

# Duurzame renovatiescenario's voor een flexibel gebouwgebruik op campus Sterre

Hannelore Scheipers, Kevin Vanlerberghe

Studentennummer: 01706090, 01708363

Promotoren: prof. dr. ir. Arnold Janssens, dr. ir. arch. Eline Himpe

Begeleiders: arch. Raf De Preter, ing. Martijn Vyncke

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van Master  
of Science in de ingenieurswetenschappen: architectuur

Academiejaar 2021-2022



# Duurzame renovatiescenario's voor een flexibel gebouwgebruik op campus Sterre

Hannelore Scheipers, Kevin Vanlerberghe

Studentennummer: 01706090, 01708363

Promotoren: prof. dr. ir. Arnold Janssens, dr. ir. arch. Eline Himpe

Begeleiders: arch. Raf De Preter, ing. Martijn Vyncke

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van Master  
of Science in de ingenieurswetenschappen: architectuur

Academiejaar 2021-2022



## Dankwoord

Om te beginnen willen we onze promotoren Arnold Janssens en Eline Himpe van harte bedanken voor het aanreiken van dit onderwerp, de frequente en interessante begeleidingen en de sturende inzichten. Ook de snelle feedback op onze vragen heeft ervoor gezorgd dat we steeds verder konden met het onderzoek.

Daarnaast gaat onze dank ook uit naar onze begeleiders Martijn en Raf om altijd tijd vrij te maken in hun drukke agenda. Hun inzichten uit het vakgebied waren erg leerrijk en doorslaggevend.

Verder willen we graag Dries Mouton bedanken voor de extra inzichten omtrent de draagstructuur van de geanalyseerde gebouwen. Ook Klaas De Jonge bedanken we van harte voor de hulp bij het opstellen van het simulatiemodel in Dymola en de vele tips.

De Dienst Gebouwen en Facilitair Beheer zouden we graag bedanken voor het beschikbaar stellen van de benodigde documenten, en het snelle antwoord op al onze vragen.

Niet te vergeten zijn onze twee nalezers, vrienden en familie. In het bijzonder onze ouders om er steeds te zijn als steun en toeverlaat, ons de kans te geven om verder te studeren en ons voldoende vrij te laten in het leven als student.

Als laatste willen we iedereen bedanken die de tijd neemt om deze masterproef met aandacht en interesse door te nemen.



*Dankjewel Robbe voor het uitlenen van je camera! (Eigen afbeelding)*

## Toelating tot bruikleen

De auteurs geven de toelating deze masterproef voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de masterproef te kopiëren voor persoonlijk gebruik.

Elk ander gebruik valt onder de bepalingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze masterproef.

The author(s) gives (give) permission to make this master dissertation available for consultation and to copy parts of this master dissertation for personal use.

In all cases of other use, the copyright terms have to be respected, in particular with regard to the obligation to state explicitly the source when quoting results from this master dissertation.

10 augustus 2022

## Toelichting in verband met het masterproefwerk en de mondelinge uiteenzetting

Deze masterproef vormt een onderdeel van een examen. Eventuele opmerkingen die door de beoordelingscommissie tijdens de mondelinge uiteenzetting van de masterproef werden geformuleerd, werden niet verwerkt in deze tekst.

This master's dissertation is part of an exam. Any comments formulated by the assessment committee during the oral presentation of the master's dissertation are not included in this text.

# Duurzame renovatiescenario's voor een flexibel gebouwgebruik op campus Sterre

Auteurs: Hannelore Scheipers en Kevin Vanlerberghe

Promotoren: Prof. dr. ir. Arnold Janssens en dr. ir. arch. Eline Himpe

Begeleiders: Arch. Raf De Preter en Ing. Martijn Vyncke

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van Master of Science in de ingenieurswetenschappen: architectuur

Faculteit ingenieurswetenschappen en Architectuur

Vakgroepvoorzitter: prof. dr. ir. -arch. Johan Lagae

Academiejaar: 2021-2022

## Abstract

Binnen de EU-ambitie om klimaatneutraal te zijn tegen 2050, heeft de UGent haar eigen klimaatplan ontwikkeld. Hierbij wordt ingezet op ruimte- en energie- efficiëntie en hernieuwbare energie. Concreet wordt er gestreefd naar een fossielvrij bouwpark met BEN-gebouwen waarbij zo veel mogelijk verdicht wordt.

Deze masterproef onderzoekt hoe de doelstellingen concreet behaald kunnen worden op campus Sterre, de campus van de wetenschappen gebouwd in de jaren '60. Om de gebouwen toekomstbestendig te maken, is een grondige energetische renovatie nodig, waarbij flexibel gebouwgebruik centraal staat. Voor elk deelaspect van het onderzoek (renovatie van de constructieonderdelen, ventilatie, koeling en verwarming) zijn er verschillende opties bij renovatie, met gevolgen op vlak van oververhitting, daglichttoetreding, akoestiek en netto-energiebehoefte voor verwarming, koeling en ventilatoren. Hierbij wordt ook het beschermde karakter van de campus in gedachten gehouden, waarbij getracht wordt het gevelbeeld te bewaren.

Het onderzoek spitst zich toe op één gebouw op de campus, gebouw S4, waarvan de resultaten makkelijk door te trekken zijn naar de rest van de campus door de generieke vorm van de S-gebouwen. Er worden twaalf bezettingsprofielen opgesteld die een potentieel toekomstig gebruik van campus Sterre voorstellen, gaande van kantoren tot studentenhuisvesting. Hieruit worden een aantal kritieke scenario's gekozen waarop het onderzoek focust, zodoende dat het uiteindelijke ontwerp ook volstaat in andere gevallen. Op basis van deze profielen worden de mogelijkheden bij de renovatie van het gebouw onderzocht aan de hand van (E-peil-) berekeningen, ontwerp onderzoek, daglichtsimulaties, windsimulaties en dynamische simulaties. Het onderzoek toont de complexiteit van de materie; de verschillende keuzes die gemaakt worden bij de verschillende deelaspecten beïnvloeden elkaar onderling. Deze wisselwerking wordt vertaald in vier tabellen, waarin de invloed van de parameters op elkaar onderzocht wordt. De tabellen vormen een set van richtlijnen voor de uiteindelijke ontwerper van de renovatie/herbestemming van de S-gebouwen, zodat men doordacht keuzes kan maken om tot een energetisch efficiënt en flexibel ontwerp te komen.

Kernwoorden: energetische renovatie, herbestemming, multifunctionaliteit, naoorlogs bouwpatrimonium UGent, dynamische simulaties.

# Sustainable renovation scenarios towards a flexible building use on campus Sterre

Hannelore Scheipers, Kevin Vanlerberghe

Supervisors: Arnold Janssens, Eline Himpe, Martijn Vyncke, Raf De Preter

**Abstract** This research studies how the buildings on Campus Sterre of the UGent can be renovated in a sustainable manner that allows a flexible, energy-efficient use of the building. Possible scenarios of building use are translated into occupancy profiles. Using (dynamic) simulations, calculations and design research the possibilities and consequences of the design choices for renovation are evaluated per research topic. Next to this the interaction between the different research topics is investigated. These results are then compiled into summary tables that serve as guidelines for the designer of the (energetic) reconversion of the buildings on campus Sterre. In this way, the final design and the choice of program is left to the designer, but an overview of the possible scenarios of building use and corresponding energetic implications is given.

**Keywords** energy-efficient renovations, reconversion, multi-functionality, post-war building stock UGent, dynamic simulations

## I. INTRODUCTION

The EU has set the goal to create a climate-neutral economy and society towards 2050, in order to become the first climate-neutral continent. The building stock has a prominent role in energy consumption, it is therefore necessary to tackle this problem by renovating the building stock in an energy-efficient manner.

Based on this EU-target, the Flemish government has developed the 'Flemish long-term strategy for buildings'. For non-residential buildings it focusses on the realization of a carbon-neutral building stock in terms of heating, cooling, domestic hot water and lighting.

The University of Ghent has also set its own targets in a climate plan to fulfill the goal of the EU, with as primary goal to become climate-neutral towards 2050. The climate plan mainly focusses on energy efficiency, efficient use of space and the use of renewable energy. These three goals are translated into the realization of a nearly zero energy (nZEB) building stock, the densification of the building stock and the elimination of the use of fossil energy by using renewable energy instead. The UGent has an extensive building stock, with a lot of outdated buildings. To reach the goal of 2050, the UGent has to increase the renovation rate. [1] This research focusses on the case study 'Campus Sterre'. This is the campus of the faculties of the sciences, build in the 1960'ies. This greenfield campus consists out of several S-buildings that show a lot of similarities in terms of shape, façade, orientation, construction method and program. The campus has been listed as a historical heritage site. The heritage value is mainly contained in the rationality and rhythmicity of the site. An important aspect of this - which must be respected when renovating the S-buildings - is the typical rhythm of the façades, which recurs throughout the campus. However, these façades are not insulated, resulting in high energy losses.

In order to reduce the emissions and energy losses of the buildings on campus Sterre while respecting the heritage values, a well-considered (energetic) renovation approach is needed. As the university does not have a specific plan for each building in terms of program, it is needed to invest in flexible building use in order to avoid vacancy. [2]

On the other hand, an energetic analysis of the site has been made by Sweco, with a masterplan for the future energy use. This plan requires that the net energy demand for heating of renovated buildings should not exceed 75 kWh/(m<sup>2</sup>.year). [3]

This research focusses on the energetic renovation of the S-buildings to enable flexible building use in the future. More specifically, the research will focus on the S4 building. In a later stage, the results obtained for this building can be extended to other buildings on the campus.

## II. METHODOLOGY

### *Analysis of the current state*

In a first phase, the current state of the building on Campus Sterre is analysed. Extensive research is being carried out on the S4 building, examining its structure, façade and current energetic situation. This analysis forms the basis of the following phases.

In addition, the S8 and the already renovated buildings on the campus are also briefly examined. The S8 to investigate similarities between the S4 and the other S-buildings. The analysis of the renovated buildings serves as an example.

### *Conceptual investigation of renovation possibilities at building level*

The second phase consists of a conceptual examination of the renovation possibilities at building level. First, the E-level of the current situation is calculated, in order to determine how extensive the renovation should be. Then, general principles and possible applications are defined for each research topic. At the end of every topic, the extent to which the principles discussed can be applied to the S4 building, will be examined.

### *Investigation of renovation possibilities at floor level*

In the next phase, the research continues at a more detailed level. An example of a type floor is shown in figure 1.



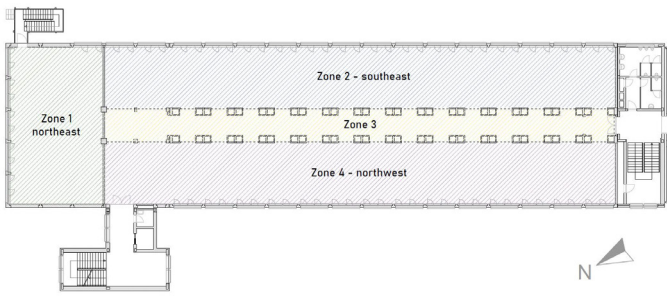


Figure 1: Lay-out of a type floor

Flexible building use is a key element in the study of how the building can be renovated. Therefore, multiple user profiles were drawn up, which represent the possible future use of campus Sterre. Offices, classrooms, PC-classrooms, lecture halls, laboratories and student housing have been taken into account. For these profiles a division between a high and a low occupancy rate has been made. An overview of the weighted temperature exceeding hours [4] for the most critical zone and the net energy demand for heating – when renovating the façade and using a ventilation C - can be found in the graph below.

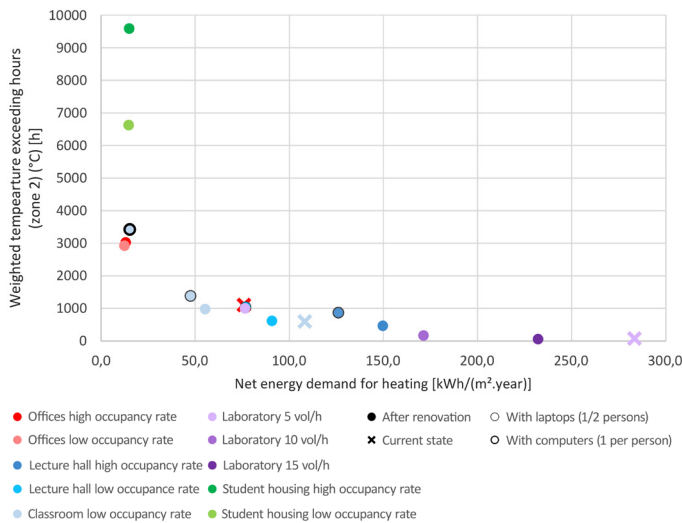


Figure 2: Yearly net energy demand for heating vs weighted temperature exceeding hours when using system C for the different occupancy scenarios

Based on these user profiles, the principles mentioned in the previous phase, are further elaborated per research topic. Specifically, this concerns the renovation of the construction elements of the building, an LCA analysis of the used materials for renovation, the acoustics, daylight and overheating, ventilation, cooling and heating. Furthermore, the parameters

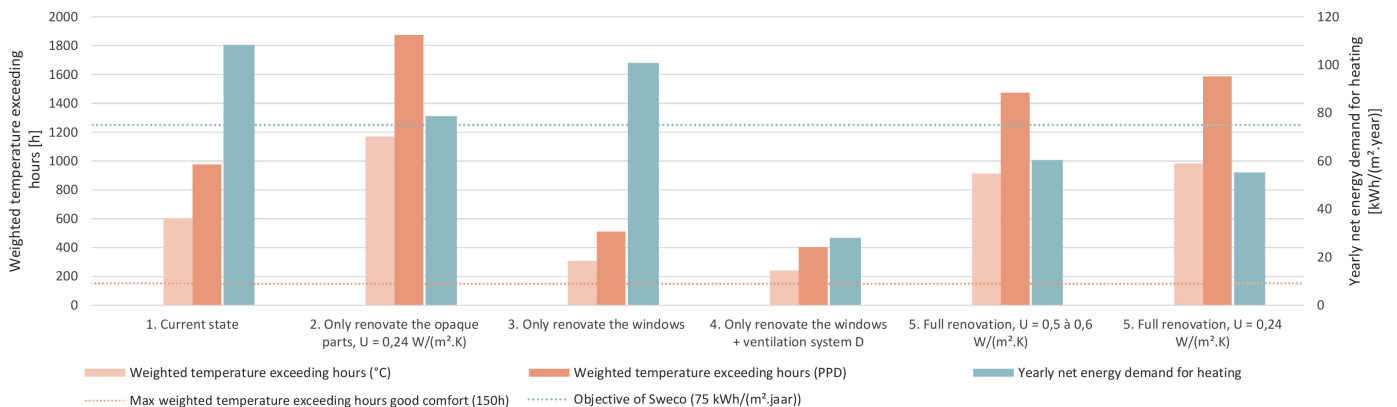


Figure 3: Comparison of different renovation scenarios for classrooms with a low occupancy rate.

for each research topic are examined for the most critical user profile.

This is done by means of calculations, design research in the form of construction details and daylight-, heat transport- and dynamic simulations using the Modelica software Dymola.

For this research the use of a BTES system is assumed in combination with a heat network which is fed by the residual heat of the servers of the UGent on campus Sterre.

### Guidelines for the designer

The interaction between the parameters of the different research topics from the previous sections are summarised in four tables. These tables represent guidelines for the future designer of the renovation/reconversion of the building. Given the similarities between the S-buildings, the results for the S4 building can be extended to the other S-buildings on campus Sterre.

### Referring back to building level

In this phase, the results of the in-depth research on the floor level are fed back to the building level, where the E-level is calculated for different renovation scenarios. This makes it possible to check whether the objective of achieving an nZEB building after renovation is achieved for different building uses.

## III. RESULTS

### Renovating the construction components

The analysis of the current state of the campus shows that the buildings are in need of an energetic renovation. Even for the scenario of offices with a high occupancy rate and a lot of internal heat gains, the net energy demand for heating exceeds the objective stated by Sweco.

A TOTEM-analysis points out that the use of mineral wool as interior insulation material has the lowest environmental impact. However, the environmental impact of an ETICS system does not differ much from the mineral wools, because of the good insulating capacities and the absence of thermal bridging.

Since campus Sterre is listed as a historical heritage site, there can be opted for interior insulation, in order to respect the original design of the façade. However, this causes thermal bridges at the level of the building floors, which makes the overall U-value drop from 0,24 W/(m².K) – the required U-value according to EPB [5] - to 0,50 W/(m².K). In terms of energy efficiency, it is thus more appropriate to use exterior insulation. However, research using dynamic simulations

points out that the net energy demand for heating only shows a light increase when the U-value is higher. For classrooms with a low occupancy rate, the increase in net energy demand for heating amounts to 9%. For offices with a high occupancy rate it amounts to 22,8%, which is a strong relative increase. But as the absolute heat demand is very low, there is only an increase from 13,19 to 17,10 kWh/(m<sup>2</sup>.year). Besides this, also a stepwise renovation is possible, figure 3 shows the results of possible stepwise renovation scenarios for classrooms with a low occupancy rate. It is thus clear that a very performant renovation is not needed to fulfil the objectives. Reducing the costs of renovation, spreading the costs over a longer period of time, or using interior insulation to respect the original façade are feasible options.

For the renovation of the floors, a raised floor would be used for offices and educational features. This type of floor allows multiple building uses and tolerates changes over time. An acoustic study shows this is an option, but certain measures need to be taken such as a dampening floor covering or filling the plenum with rock wool. In student housing, a floating screed can be adopted.

### Daylight and overheating

Due to the large percentage of glazed façade, there is a risk of overheating in almost all possible occupancy scenarios. Only laboratories with a ventilation flow rate of 15 volumes per hour are an exception. A first way to tackle this problem is to lower the g-value of the glass. For offices with a high occupancy rate, a decrease of the g-value of the glass from 0,55 to 0,28 causes a 30% decrease of the weighted temperature exceeding hours. Limiting the transmission of short-wave radiation of the sunscreens is also an option. Using high-performance exterior sunscreens with a transmittance of shortwave radiation of 10% instead of high-performance interior screens that reflect 74% of the solar irradiation, reduces the weighted temperature exceeding hours with 9%. If the screens are lowered when the direct solar irradiation reaches 150 W/m<sup>2</sup> on the façade instead of 300 W/m<sup>2</sup>, the weighted temperature exceeding hours decrease by 12%. When combining all these measures, a reduction of up to 56% of the weighted temperature exceeding hours can be achieved. A complete overview of the impact of different measures for offices with a high occupation rate can be found in figure 4.

Besides the better performances in terms of overheating, there are a few side notes to these measures. First of all, the required daylight factor is still achieved when the g-value of the

glass is lowered to 0,28, but daylight comfort is reduced. In addition, when (high-performance) sunscreens are used, the view outside is disturbed. Second, reducing solar heat gains leads to an increase in net energy demand for heating. For high-occupancy offices, the increase can be as high as 41% when all the high-efficiency measures to reduce the solar heat gains are combined.

Consequently, it is not always energy-efficient to take far-reaching measures to reduce solar heat gains. For scenarios with a low ratio internal heat gains/ventilation flow rate – such as laboratories – it is not recommended to improve the performance of the glass or sunscreens, even if a ventilation system D is applied, since there is no (or only a low) risk of overheating in this case.

In the case of scenarios with an average ratio internal heat gains/ventilation flow rate – for example class rooms with a low occupancy rate – it is only energy-efficient to use high-performing glazing or solar screens when a ventilation system D is implemented in combination with a mechanical cooling system. Otherwise the total primary energy demand for heating, cooling and energy use of the fans increases when the glass and/or sunscreens are upgraded.

For scenarios with a high ratio of internal heat gains/ventilation flow rate, – such as offices or student housing - it is recommended to optimise the glazing and/or the sunscreens to a more high-performance level when mechanical cooling is combined with a ventilation system C or D. This ensures the lowest net energy use for heating, cooling and fans.

### Hygienic ventilation

At building level, all possible ventilation systems were examined. In many cases, the use of natural ventilation is not a conclusive solution. As with ventilation system C, the ventilation losses can be high at high flow rates. But most importantly: natural ventilation relies on the natural stack effect, the existing shafts need to be enlarged so that large ventilation flows can be discharged naturally. If the air is extracted mechanically, the section of the existing shafts is sufficient. Besides that, the behaviour of the wind on campus Sterre is very specific due to the geometry and location of the buildings. This makes it almost impossible to realise a flawless ventilation concept at building level based on natural ventilation. As a result, mechanical (or hybrid) ventilation is inevitable. The ventilation flows can be achieved without any problems when using system C or D.

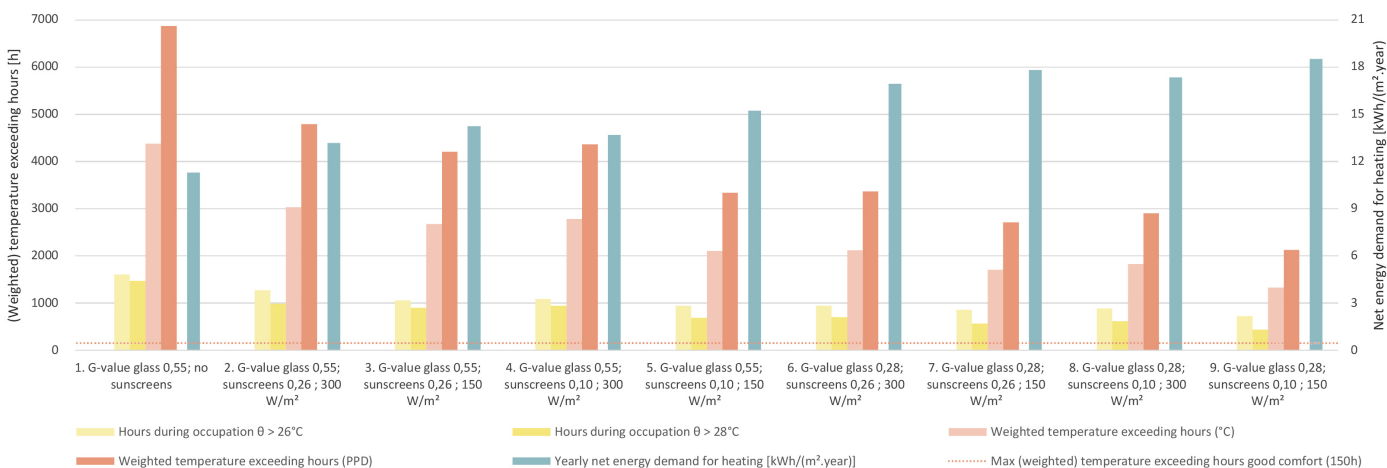


Figure 4: Effect of the glazing and sunscreens on the (weighted) temperature exceeding hours and the net energy demand for heating for offices with a high occupancy rate

Almost all the scenarios investigated show that system C is more energy-efficient than system D, in terms of primary energy use of heating, cooling and fans. Only student housing with high occupancy rates, high-performance glazing and sunscreens are exceptions. This is due to the use of a very energy-efficient heat pump, combined with a demand-controlled ventilation system that minimizes the ventilation losses. Besides that, when large hygienic ventilation flow rates are needed, this causes a high energy use of the fans in the case of a system D.

However, for occupancy scenarios with a high heat demand, the use of a system C is not possible. Sweco's objective of a maximum net energy demand for heating is not achieved here, due to high ventilation losses. In addition, the study shows that in these scenarios, the comfort temperature is not always achieved when heating at a high temperature regime, when using a system C. When the building is renovated, a switch will be made to a lower temperature regime for heating and the heating output will be further reduced. This would cause unacceptable low temperatures in winter making the implementation of a system D with a heat recovery system inevitable.

When using a heat recovery system, a full or partial bypass can be used. A partial bypass ensures that the supplied air always reaches a certain comfort temperature - in this case 15°C -, but it reduces the cooling potential of the ventilation system. With full bypass, the weighted temperature exceeding hours can be reduced by 12% compared to a partial bypass, thus reducing the net energy demand for mechanical cooling.

As high ventilation flow rates – of 40 m<sup>3</sup>/(h.pers) - become more common, it is almost inevitable to use demand-controlled ventilation systems to reduce ventilation losses. If the ventilation flow rates are dimensioned for a high occupancy rate, but only a low occupancy rate – with corresponding internal heat gains – is present, the net energy demand for heating increases. For example, if the ventilation system of a lecture hall is dimensioned for high occupancy, but only the occupancy of a classroom is present, the net energy demand for heating increases with 266% when using a system C (from 55,3 to 202, 76 kWh/(m<sup>2</sup>.year)) and with 550% when using a system D (from 4,7 to 30,5 kWh/(m<sup>2</sup>.year)). From an energetic point of view, this is unacceptable in a sustainable renovation.

These high increases in net energy demand for heating, are partly a consequence of the high ventilation flow rates, that weren't this common in the past. Using ventilation flow rates of 22 m<sup>3</sup>/(h.person) instead of 40 m<sup>3</sup>/(h.person) for educational functions, decreases the net energy demand for heating up to 60% when using a ventilation system C and almost halves the energy use of the fans.

## Cooling

Using a mechanical cooling system is a reliable way to achieve the desired indoor comfort and can be energetically optimised by selecting the appropriate glazing and sunscreens. Furthermore, the net energy demand for cooling can be met by various transfer systems, such as radiators with a high convective part or chilled beams.

However, in terms of energy efficiency, it is more appropriate to use passive cooling. On the one hand this can be done by opening the windows during the day. For offices with high occupancy rates, this reduces the weighted temperature exceeding hours by 55%, for classrooms with low occupancy rates, it is reduced by 52%. This is an efficient measure, but not sufficient to achieve the desired indoor comfort. On the other hand, night cooling can be used, by using the thermal mass of the concrete floor. An important requirement here is that no false ceiling may be used, so that the thermal mass of the ceiling is accessible. The acoustical study shows that the reverberation time requirement is met when using acoustic ceiling panels and thus a false ceiling can be avoided.

The required ventilation flow rates for night cooling can be achieved using single-sided ventilation or cross-flow ventilation. A ventilation flow rate of 5 vol/h can be achieved with single-sided ventilation by opening the bottom and top windows per segment. A ventilation rate of 10 vol/h can be achieved using crossflow ventilation. In this case, the user is responsible for the proper functioning of the crossflow ventilation, since the doors must be opened at night to guarantee the ventilation flow.

However, night cooling at a ventilation rate of 5 vol/h is sufficient in almost all scenarios and single-sided ventilation can be used. Only for offices with a high occupancy rate and a g-value of the windows of 0,55 this is not sufficient. Here, 10 vol/h are needed to guarantee a good indoor comfort.

The impact of passive cooling on the weighted temperature exceeding hours and on the net energy demand for cooling in case of offices with a high occupancy rate is shown in figure 5 and 6.

Passive night cooling is not an option for student housing, only opening windows can be used as a passive cooling technique. Because of the high percentage of glazing, the weighted temperature exceeding hours raise up to 9591 h based on the °C-hours criteria and 15070 h based on the PPD weighted criteria when no measures are taken. Although sunscreens are not common for student housing, it is recommended to install sunscreens here to reduce extreme overheating. When using glass with a g-value of 0,28 and sunscreens with a transmittance of the shortwave radiation of 26%, opening the windows during the day is sufficient to eliminate the risk of overheating. The weighted temperature

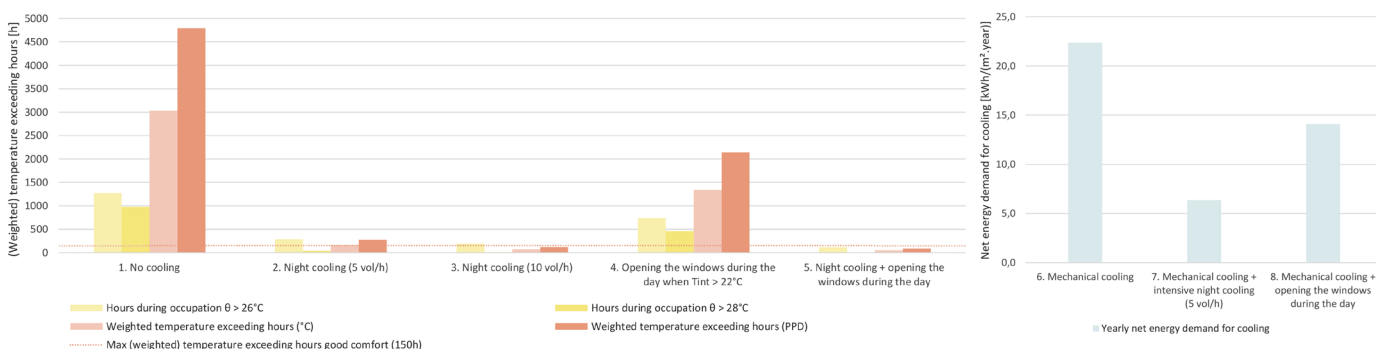


Figure 5 and 6: Impact of passive cooling on the weighted temperature exceeding hours and on the net energy demand of mechanical cooling for offices with a high occupancy rate

exceeding hours (PPD) then drop to 28h, which more than meets the limit of very good comfort of 100h.

### Heating

When the net energy demand for heating does not exceed 75 kWh/(m<sup>2</sup>.year), the heating demand can be met by various transfer systems, such as radiators or underfloor heating. The possibility of retaining the existing radiators has been investigated, but this is only an option for occupancy profiles with a very low net energy demand for heating, such as offices or student housing with a high occupancy rate.

### E-level

As a result of the energy-efficiency measures taken, such as the use of a BTES system and the demand-controlled ventilation system with pollution sensors, the E-level complies with the requirements for an nZEB building for offices, educational buildings and student housing. When ventilation system D is used, the resulting E-level comfortably meets the limit for an nZEB building. Therefore the E-level for a ventilation system C has been calculated for offices and student housing, which also meets the requirement. Although a system C is the most energy-efficient according to the simulations, the E-level is higher. This is due to the calculation method of the E-level.

Even when only renovating the façade up to a U-value of 0,5 to 0,6 W/(m<sup>2</sup>.K), for offices with a ventilation system C and classrooms with ventilation system D, the calculated E-level meets the requirements for a nZEB-building. An overview of the obtained E-levels can be found in the table below.

Function	Ventilation system	Renovation level of the opaque construction parts	Obtained E-level
Offices	System C+	U-value that fulfills the EPB objective	43
		U-value 0,5 à 0,6 W/(m <sup>2</sup> .K)	50
Classrooms	System D (with heat recovery)	U-value that fulfills the EPB objective	34
		U-value 0,5 à 0,6 W/(m <sup>2</sup> .K)	34
Lecture halls	System D (with heat recovery)	U-value that fulfills the EPB objective	27
Laboratory	System D (with heat recovery)	U-value that fulfills the EPB objective	30
Student housing	System C+	U-value that fulfills the EPB objective	39
	System D (with heat recovery)	U-value that fulfills the EPB objective	36

Table 1: Overview of the obtained E-levels

## IV. DISCUSSION AND CONCLUSION

The research shows that the interaction between the parameters of the different research topics is very complex. In addition, every occupancy scenario has different requirements, which makes it difficult to come up with one ideal renovation scenario that is suited for all possible future building uses. However, it is possible to renovate in such a way that flexible building use is possible in the future.

The results of the research can be used as a tool for the renovation of the campus. The designer can use the guidelines to make well-considered choices in the renovation process. The results of this research can be extended to the other S-buildings, since all the S-buildings are very similar. However, before doing so, a more detailed study can be carried out to investigate the differences between the S-buildings and the consequences of these differences.

When interpreting the results of this research, it is important to be aware of the assumption that a BTES system will be used in combination with a heat network and heat pumps. This affects the results of what systems have the lowest total primary energy use, as the heat pumps are very efficient in this scenario.

### REFERENCES

- [1] Werkgroep energiebeleid UGent, DGFB, DOZA, DSV en DFIN. (2019, 28 June). *Energiebeleidsplan 2020-2030: het pad voor de UGent in de energietransitie*. UGent. <https://www.ugent.be/nl/univgent/waarvoor-staat-ugent/duurzaamheidsbeleid/leidraad/energie/energiebeleidsplan.pdf>
- [2] Directie Gebouwen en Facilitair Beheer. (2022, 10 May). *Campusplan De Sterre*.
- [3] Verstraeten, J., Sweco. (2020, 16 May). *Masterplan energie campus Sterre: Campus Sterre fossielvrij in 2050: Eindrapport*.
- [4] Norm NBN EN 15251
- [5] Vlaams Energie- en Klimaatagentschap. [Energiesparen.be](https://www.energiesparen.be)



# Inhoudsopgave

<b>INLEIDING</b>	1
<b>1 SITUERING EN CONTEXT</b>	3
1.1 Europese en Vlaamse richtlijnen	3
1.1.1 Europese Unie	3
1.1.2 Vlaamse langetermijnrenovatiestrategie gebouwen 2050	3
1.2 Energiebeleidsplan UGent	4
1.3 Circulariteit	5
<b>2 PARAMETERS EN EISEN</b>	6
2.1 Energieprestatie en binnenklimaat	6
2.1.1 Netto-energiebehoefte na renovatie	6
2.2 GRO	6
2.3 Ontwerprichtlijn UGent	7
<b>3 ONDERZOEK OP SITENIVEAU - CAMPUS STERRE</b>	8
3.1 Historiek	8
3.1.1 UGent	8
3.1.2 Campus Sterre	8
3.1.3 Evolutie campus Sterre	9
3.1.4 Inventaris onroerend erfgoed	10
3.2 Toekomstvisie Campus Sterre	11
3.2.1 Masterplan UGent	11
3.2.2 Masterplan Sweco	13
<b>4 ANALYSE VAN DE BESTAANDE TOESTAND OP GEBOUWNIVEAU</b>	14
4.1 Analyse S8	14
4.1.1 Inplanting en oriëntatie	14
4.1.2 Programma	15
4.1.3 Plan	15
4.1.4 Structuur	15
4.1.5 Gevels	17
4.1.6 Energetisch	17
4.2 Analyse S4 en S4bis	18
4.2.1 Inplanting en oriëntatie	18
4.2.2 Programma	18

4.2.3 Plan	18
4.2.4 Draagstructuur	20
4.2.5 Gevels	22
4.2.6 Ventilatie	24
4.2.7 Verwarming	24
4.2.8 Energetisch	25
4.3 Reeds gerenoveerde gebouwen	26
4.3.1 Beschrijving	26
4.3.2 Renovatie van de gevel	26
4.3.3 Renovatie van het dak	28
4.3.4 Energieprestatie	28
<b>5 CONCRETISERING VAN DE ONDERZOEKSVRAAG EN -METHODE</b>	<b>29</b>
5.1 Onderzoeksmethode	29
5.2 Primaire onderzoeksonderwerpen	29
5.2.1 Multifunctionaliteit	29
5.2.2 Energieprestatie en comfort	30
5.2.3 Renovatie van de constructieonderdelen	30
5.2.4 Daglichttoetreding en oververhitting	31
5.2.5 Ventilatie	31
5.2.6 Koeling en verwarming	31
5.3 Secundaire onderzoeksonderwerpen	31
5.3.1 Circulariteit	31
5.3.2 Akoestiek	32
5.4 Aangenomen randvoorwaarden	32
5.4.1 Gebruik van groene energie	32
5.4.2 Lage temperatuur verwarming	32
<b>6 CONCEPTUEEL ONDERZOEK NAAR RENOVATIEMOGELIJKHEDEN OP GEBOUWNIVEAU</b>	<b>33</b>
6.1 Energieprestatie	33
6.1.1 Berekening E-peil	33
6.1.2 Berekening huidige E-peil	35
6.2 Daglichttoetreding en oververhitting	38
6.2.1 Daglicht	38
6.2.2 Oververhitting	38
6.2.3 Omgaan met daglichttoetreding en oververhitting	39

6.2.4 <i>Toegepast op de S4(bis)</i>	41
6.3 Ventilatie	42
6.3.1 <i>Natuurlijke ventilatie</i>	42
6.3.2 <i>Mechanische ventilatie</i>	50
6.3.3 <i>Hybride ventilatie</i>	53
6.4 Koeling	55
6.4.1 <i>Passieve koeling</i>	55
6.4.2 <i>Mechanische koeling</i>	56
6.4.3 <i>Toegepast op de S4(bis)</i>	58
6.5 Verwarming	59
6.5.1 <i>Warmteopwekking</i>	59
6.5.2 <i>Afgiftelichamen</i>	59
<b>7 ONDERZOEK NAAR RENOVATIEMOGELIJKHEDEN OP VERDIEPINGSNIVEAU</b>	62
7.1 Methodieken	62
7.1.1 <i>Berekeningen</i>	62
7.1.2 <i>Ontwerpend onderzoek</i>	62
7.1.3 <i>Simulatie</i>	62
7.2 Herbestemmingsscenario's	63
7.2.1 <i>Kantoorgebouw</i>	63
7.2.2 <i>Schoolgebouw</i>	65
7.2.3 <i>Studentenhuisvesting</i>	69
7.2.4 <i>Samenvatting bezettingsprofielen</i>	71
7.3 Onderzoek op basis van dynamische simulaties	72
7.3.1 <i>Simulatiemodel</i>	72
7.3.2 <i>Structuurmodel</i>	73
7.3.3 <i>Bezettingsmodel - interne warmtewinsten</i>	75
7.3.4 <i>Ventilatiemodel</i>	75
7.3.5 <i>Verwarmingsmodel</i>	76
7.3.6 <i>Gebouwmodel</i>	76
7.3.7 <i>Metingen en simulatieresultaten</i>	77
7.3.8 <i>Resultaten dynamische simulaties - Bestaande toestand</i>	78
7.4 Renovatie van de constructieonderdelen	83
7.4.1 <i>Renovatie van de verdiepingsvloer</i>	84
7.4.2 <i>Renovatie van het dak</i>	96



7.4.3	<i>Renovatie van de gevel</i>	99
7.4.4	<i>Bouwknopen</i>	120
7.4.5	<i>Resultaten dynamische simulaties - Renovatie van de constructieonderdelen</i>	132
7.5	Milieu- impact bij renovatie	141
7.5.1	<i>Renovatie van het dak</i>	142
7.5.2	<i>Renovatie van de gevel</i>	144
7.6	Akoestiek	147
7.6.1	<i>Luchtgeluid en contactgeluid</i>	147
7.6.2	<i>Nagalmtijd</i>	153
7.6.3	<i>Conclusie</i>	155
7.7	Daglichttoetreding en omgaan met oververhitting	156
7.7.1	<i>Beperken van de zontoetreding</i>	156
7.7.2	<i>Daglichttoetreding</i>	156
7.7.3	<i>Keuze van het glas</i>	157
7.7.4	<i>Zonnewering</i>	160
7.7.5	<i>Resultaten dynamische simulaties - Daglichttoetreding en omgaan met oververhitting</i>	164
7.8	Ventilatie	168
7.8.1	<i>Natuurlijke ventilatie</i>	169
7.8.2	<i>Mechanische ventilatie</i>	176
7.8.3	<i>Hybride ventilatie</i>	190
7.8.4	<i>Resultaten dynamische simulaties - Ventilatie</i>	193
7.9	Koeling	200
7.9.1	<i>Comfortgrenzen koeling</i>	200
7.9.2	<i>Passieve koeling</i>	200
7.9.3	<i>Mechanische koeling</i>	207
7.9.4	<i>Resultaten dynamische simulaties - Koeling</i>	209
7.10	Verwarming	219
7.10.1	<i>Comfortgrenzen verwarming</i>	219
7.10.2	<i>Lagetemperatuurverwarming</i>	219
7.10.3	<i>Afgiftelichamen</i>	219
7.10.4	<i>Resultaten dynamische simulaties - Verwarming</i>	222

<b>8 RICHTLIJNEN VOOR DE ONTWERPER</b>	232
8.1 Inhoud van de tabellen	232
8.1.1 <i>Herbestemmingsscenario's</i>	232
8.1.2 <i>Parameters</i>	233
8.1.3 <i>Achterliggende aannames</i>	235
8.1.4 <i>Evaluatiecriteria</i>	236
8.1.5 <i>Kanttekening bij de resultaten</i>	237
8.2 Kantoren met een hoge bezettingsgraad	238
8.3 Klaslokalen met een lage bezettingsgraad en laptops	240
8.4 Laboruimtes met 10 volumewisselingen per uur	242
8.5 Studentenkamers met een hoge bezettingsgraad	244
8.6 Conclusie	246
<b>9 TERUGKOPPELING NAAR GEBOUWNIVEAU</b>	247
9.1 Doelstelling BEN-gebouw	247
9.2 Overzicht Herbestemmingsscenario's	247
9.3 Ingave gegevens in de software	247
9.3.1 <i>Aard van de werken</i>	247
9.3.2 <i>Functionele delen</i>	248
9.3.3 <i>Indeling ruimten</i>	248
9.3.4 <i>Lekdebiet</i>	249
9.3.5 <i>Technische opwekkers en verdeelsystemen</i>	249
9.3.6 <i>Inertie</i>	251
9.3.7 <i>Verlichting</i>	251
9.3.8 <i>Ventilatie</i>	251
9.3.9 <i>Scheidingsconstructies en zonnewering</i>	252
9.4 Resultaten	252
<b>10. CONCLUSIE EN KRITISCHE REFLECTIE</b>	254
10.1 Algemene conclusie	254
10.2 Kritische reflectie en verder onderzoek	257
<b>11. REFERENTIES</b>	259
<b>BIJLAGEN</b>	269

## Lijst met figuren

Figuur 1: Inplantingsplan van architect G. De Smet voor de gebouwen van 'domein De Sterre' (UGent, Morlion, P.)	9
Figuur 2: Bestaande toestand – Masterplan De Sterre (Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2022)	12
Figuur 3: Centraal groen hart (Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2022)	12
Figuur 4: Bestaande toestand- creatie van nieuwe dichtere gebouwenclusters (Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2021)	12
Figuur 5: wintersituatie 5e generatie warmtenet (Verstaeten, J. 2020, p. 32)	13
Figuur 6: inplantingsplan S8 op campus Sterre	14
Figuur 7: Vide in de kern van S8 (eigen afbeelding)	16
Figuur 8: Structuursnede S8	16
Figuur 9: Structuurplan S8, gelijkvloers	16
Figuur 10: Geveltekening S8, inkomzijde	16
Figuur 11: inplantingsplan S4(bis) op campus Sterre	18
Figuur 12: Zijgevel van de S4	19
Figuur 13: Zicht op de S4(bis) aan de kant van de Krijgslaan	19
Figuur 14: Gang in de S4bis	19
Figuur 15: Laboruimte op de bovenste verdieping van de S4	19
Figuur 16: Plan van de vierde verdieping in de S4(bis) (Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2022)	19
Figuur 17: Bekistingsvoeg zichtbaar in het gevelbeeld (eigen afbeelding)	21
Figuur 18: Bekistingsvoeg zichtbaar in het interieur (eigen afbeelding)	21
Figuur 19: Bekistingsvoeg zichtbaar in het interieur (eigen afbeelding)	21
Figuur 20: Vereenvoudigde weergave van de draagstructuur in de S4(bis)	21
Figuur 21: Vereenvoudigde weergave van de draagstructuur in de S4(bis)	21
Figuur 22: Massief volume tussen S4 en S4bis	21
Figuur 23: Kops volume van de S4bis	21
Figuur 24: Kops volume van de S4	21
Figuur 25: Geveltekening S4(bis)	23
Figuur 26: Gevelbeeld S4 (eigen afbeelding)	23
Figuur 27: Geveltekening S4(bis), kant van de De Pintelaan	23
Figuur 28: Geveltekening S4(bis), kant van de Krijgslaan	23
Figuur 29: inplantingsplan S2, S5 en S12 op campus Sterre	26
Figuur 30: Detail van de originele borstwering in de S5	27
Figuur 31: Detail van de borstwering na renovatie door Abscis architecten (Abscis, 2013)	27
Figuur 32: Detail van het originele dakpakket in de S5	27
Figuur 33: Detail van het dakpakket na renovatie door Abscis architecten	27
Figuur 34: Plan van het gelijkvloers in de S4, zoals ingegeven in de EPB software (Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2022)	35
Figuur 35: windprofiel gebruikt bij windsimulatie op campus Sterre (Swiss Wind Power Data Website, 2022)	45
Figuur 36: winddrukken op de gevels van de S4(bis) aan de kant van de De Pintelaan (Dlupal, RWind, 2021)	46
Figuur 37: winddrukken op de gevels van de S4(bis) aan de kant van de De Pintelaan (Dlupal, RWind, 2021)	46
Figuur 38: dwarsventilatie toegepast op de S4(bis)	48
Figuur 39: schachtventilatie toegepast op de S4(bis)	48
Figuur 40: terugloop bij schachtventilatie bij wind bij de S4(bis)	48
Figuur 41: windvanger toegepast op de S4(bis)	48
Figuur 42: systeem D toegepast op de S4(bis)	51
Figuur 43: systeem C toegepast op de S4(bis)	51
Figuur 44: Interne warmtewinsten bij een kantoor met hoge bezetting in een zomer- en winterscenario	64
Figuur 45: Interne warmtewinsten bij een kantoor met lage bezetting in een zomer- en winterscenario	64
Figuur 46: Interne warmtewinsten bij een auditorium met lage bezetting in een zomer- en winterscenario	66
Figuur 47: Interne warmtewinsten bij een auditorium met hoge bezetting in een zomer- en winterscenario	66
Figuur 48: Interne warmtewinsten bij een leslokaal met lage bezetting in een zomer- en winterscenario	67
Figuur 49: Interne warmtewinsten bij een auditorium met lage bezetting met 1 laptop/2 personen in een zomer- en winterscenario	67
Figuur 50: Interne warmtewinsten bij een auditorium met hoge bezetting met 1 laptop/2personen in een zomer- en winterscenario	68
Figuur 51: Interne warmtewinsten bij een leslokaal met lage bezetting met 1 laptop/2 personen in een zomer- en winterscenario	68
Figuur 52: Interne warmtewinsten bij een computerklas in een zomer- en winterscenario	68
Figuur 53: Interne warmtewinsten bij een laboratorium in een zomer- en winterscenario	69
Figuur 54: Interne warmtewinsten bij studentenhuisvesting met hoge bezetting in een zomer- en winterscenario	70
Figuur 55: Interne warmtewinsten bij studentenhuisvesting met lage bezetting in een zomer- en winterscenario	71
Figuur 56: Overzicht van de zones in het simulatiemodel (Dymola)	73
Figuur 57: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor laboruimtes met 10 vol/h in de bestaande toestand	78
Figuur 58: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor klaslokalen met lage bezetting in de bestaande toestand	79

Figuur 59: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor kantoren met hoge bezetting in de bestaande toestand	79
Figuur 60: Gewogen temperatuuroverschrijding voor 3 bezettingsscenario's in de bestaande toestand	80
Figuur 61: Netto-energiebehoefte voor verwarming voor 3 bezettingsscenario's in de bestaande toestand	81
Figuur 62: Vermogen-tijd grafiek van de verwarming in de bestaande toestand bij laboruimtes met 10 vol/h	81
Figuur 63: Doorsnede van een verdiepingsvloer in bestaande toestand, schaal 1/20	84
Figuur 64: Mogelijk inplantingsplan van permanente vloerdozen en kabelgoten in de S4(bis)	85
Figuur 65: Mogelijk inplantingsplan van permanente vloerdozen en kabelgoten in een leslokaal	86
Figuur 66: Mogelijk inplantingsplan van permanente vloerdozen en kabelgoten in kantoren	86
Figuur 67: Mogelijk inplantingsplan van permanente vloerdozen en kabelgoten in vergaderzalen	87
Figuur 68: Mogelijk inplantingsplan van permanente vloerdozen en kabelgoten in auditoria	88
Figuur 69: Mogelijk inplantingsplan van permanente vloerdozen en kabelgoten in een PC-lokaal	88
Figuur 70: Mogelijk inplantingsplan van permanente vloerdozen en kabelgoten in studentenkamers	89
Figuur 71: Doorsnede van een zeer lage verhoogde paneelvloer als verdiepingsvloer, schaal 1/20	90
Figuur 72: Doorsnede van een holtevloer als verdiepingsvloer, schaal 1/20	91
Figuur 73: Doorsnede van een klassieke dekvloer als verdiepingsvloer, schaal 1/20	92
Figuur 74: Doorsnede van een zwevende dekvloer als verdiepingsvloer, schaal 1/20	92
Figuur 75: Doorsnede van een droge dekvloer als verdiepingsvloer, schaal 1/20	93
Figuur 76: Doorsnede van een mogelijke verdiepingsvloer boven de onverwarmde kelder, schaal 1/20	94
Figuur 77: Doorsnede van het dak in bestaande toestand, schaal 1/20	96
Figuur 78: Doorsnede van een warm dak na renovatie, schaal 1/20	97
Figuur 79: Doorsnede van een omkeerdak na renovatie, schaal 1/20	98
Figuur 80: Verband tussen het infiltratievoud en de gebouwcompactheid in functie van de luchtdoorlatendheid (WTCB, 2015, p. 21)	100
Figuur 81: Horizontale doorsnede van de borstwering in de S4 in bestaande toestand, schaal 1/20	101
Figuur 82: Horizontale doorsnede van de borstwering in de S4bis in bestaande toestand, schaal 1/20	101
Figuur 83: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4 in bestaande toestand, schaal 1/20	102
Figuur 84: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4bis in bestaande toestand, schaal 1/20	102
Figuur 85: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. een houten voorzetwand, schaal 1/20	105
Figuur 86: Horizontale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. een houten voorzetwand, schaal 1/20	105
Figuur 87: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. kalk-hennep blokken, schaal 1/20	106
Figuur 88: Horizontale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. kalk-hennep blokken, schaal 1/20	106
Figuur 89: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. Multipor, schaal 1/20	107
Figuur 90: Horizontale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. Multipor, schaal 1/20	108
Figuur 91: Opbouw van een ETICS (WTCB, 2016, p.11)	109
Figuur 92: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. ETICS, schaal 1/20	110
Figuur 93: Horizontale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. ETICS, schaal 1/20	110
Figuur 94: Verticale doorsnede van een kolom in de gevel van de S4 in huidige toestand, schaal 1/20	111
Figuur 95: Horizontale doorsnede van de kolom in de gevel van de S4 in huidige toestand, schaal 1/20	111
Figuur 96: Horizontale doorsnede van een balk in de gevel van de S4 in huidige toestand, schaal 1/20	111
Figuur 97: Verticale doorsnede van een kolom in de gevel van de S4 na isoleren m.b.v. Kalk- hennep en PIR-isolatie, schaal 1/20	113
Figuur 98: Verticale doorsnede van een kolom in de gevel van de S4 na isoleren m.b.v. Multipor-isolatie, schaal 1/20	113
Figuur 99: Verticale doorsnede van een kolom in de gevel van de S4 na isoleren m.b.v. ETICS, schaal 1/20	113
Figuur 100: Formule voor de berekening van de U-waarde van een schrijnwerkgeheel (TRD)	115
Figuur 101: Mogelijke installatiewijzes RTO, schaal 1/4	117
Figuur 102: Schrijnwerkgeheel van de S4 na renovatie, schaal 1/30	118
Figuur 103: Aansluiting tussen het schrijnwerk en de binnenisolatie, schaal 1/20	121
Figuur 104: Isoleren aan de binnenzijde met behulp van Multipor - en PIR-isolatie, schaal 1/20	122
Figuur 105: Temperatuurverloop bij isoleren aan de binnenzijde met een isolatiedikte van 15 cm	123
Figuur 106: Temperatuurverloop bij isoleren aan de binnenzijde met een isolatiedikte van 25 cm	124
Figuur 107: Aansluiting tussen het schrijnwerk en de buitenisolatie, schaal 1/20	125
Figuur 108: Isoleren aan de buitenzijden m.b.v. ETICS, schaal 1/20	125
Figuur 109: Waterdichting bij isoleren aan de binnenzijde, optie 1, schaal 1/10	127
Figuur 110: Waterdichting ter hoogte van de aansluiting tussen het schrijnwerk en de borstwering bij binnenisolatie, optie 1, schaal 1/10	127
Figuur 111: Waterdichting ter hoogte van de aansluiting tussen het schrijnwerk en de betonnen balk bij binnenisolatie, schaal 1/10	127
Figuur 112: Waterdichting ter hoogte van de aansluiting tussen het schrijnwerk en de borstwering bij binnenisolatie, optie 2, schaal 1/10	128
Figuur 113: Detail van de waterdichting onder de dorpel bij optie 2, schaal 1/10	128
Figuur 114: Waterdichting bij isoleren aan de binnenzijde, optie 2, schaal 1/10	129
Figuur 115: Waterdichting ter hoogte van de aansluiting tussen het schrijnwerk en de borstwering bij buitenisolatie,	

schaal 1/10	129
Figuur 116: Waterdichting ter hoogte van de aansluiting tussen het schrijnwerk en de betonnen balk bij buitenisolatie, schaal 1/10	129
Figuur 117: Waterdichting bij isoleren aan de buitenzijde, schaal 1/10	130
Figuur 118: Luchtdichting bij isoleren aan de buitenzijde, optie 1, schaal 1/10	131
Figuur 119: Luchtdichting bij isoleren aan de buitenzijde, optie 2, schaal 1/10	131
Figuur 120: Verband tussen de GTO (°C) en de netto-energiebehoefte voor verwarming in geval van systeem C voor de verschillende bezettingsprofielen in gerenoveerde toestand:	134
Figuur 121: Vergelijking tussen verschillende gevelrenovatiescenario's voor klaslokalen met een lage bezetting in geval van systeem C	137
Figuur 122: Vergelijking tussen verschillende gevelrenovatiescenario's voor kantoren met hoge bezetting in geval van systeem C	139
Figuur 123: Vergelijking van milieuscore van de renovatie scenario's en bestaande toestand van het dak (TOTEM, 2022)	142
Figuur 124: Milieu-impact op elementniveau van de bestaande toestand en renovatie scenario's van het dak	142
Figuur 125: Impact per component bij het dak van de S4(bis) in bestaande toestand (TOTEM, 2022)	143
Figuur 126: Impact per component bij de renovatie van het dak van de S4(bis) volgens scenario 1 (TOTEM, 2022)	143
Figuur 127: Impact per component bij de renovatie van het dak van de S4(bis) volgens scenario 2 (TOTEM, 2022)	143
Figuur 128: Impact per component bij de renovatie van het dak van de S4(bis) volgens scenario 3 (TOTEM, 2022)	143
Figuur 129: Vergelijking van milieuscore van de renovatie scenario's en bestaande toestand van de borstwering (TOTEM, 2022)	144
Figuur 130: Milieu-impact op elementniveau van de bestaande toestand en renovatiescenario's van de	144
Figuur 131: Impact per component bij de borstwering van de S4 in bestaande toestand (TOTEM, 2022)	145
Figuur 132: Impact per component bij de renovatie van de borstwering van de S4 volgens scenario 1 (TOTEM, 2022)	145
Figuur 133: Impact per component bij de renovatie van de borstwering van de S4 volgens scenario 2 (TOTEM, 2022)	145
Figuur 134: Impact per component bij de renovatie van de borstwering van de S4 volgens scenario 3 (TOTEM, 2022)	145
Figuur 135: De belangrijkste geluidstransmissiewegen in een verhoogde vloer (WTCB, 2006, p. 27)	150
Figuur 136: Mogelijke plaatsing akoestische plafondeilanden	155
Figuur 137: Resultaten voor de daglichtfactor in huidige toestand (Velux Daylight Visualizer, 2022)	157
Figuur 138: Resultaten voor de gemiddelde daglichtfactor in huidige toestand (Velux Daylight Visualizer, 2022)	158
Figuur 139: Resultaten voor de daglichtfactor in gerenoveerde toestand (Velux Daylight Visualizer, 2022)	158
Figuur 140: Resultaten voor de gemiddelde daglichtfactor in gerenoveerde toestand (Velux Daylight Visualizer, 2022)	158
Figuur 141: Resultaten voor de minimale daglichtfactor in gerenoveerde toestand	159
Figuur 142: Resultaten voor de gemiddelde daglichtfactor in gerenoveerde toestand bij onderverdeling in zones	159
Figuur 143: Resultaten voor de gemiddelde daglichtfactor in gerenoveerde toestand bij onderverdeling in segmenten	159
Figuur 144: Resultaten voor de gemiddelde daglichtfactor in gerenoveerde toestand bij onderverdeling in segmenten	160
Figuur 145: Temperatuurverloop tijdens gebruiksuren voor een kantoor met hoge bezetting in gerenoveerde toestand	164
Figuur 146: Absolute overschrijdingsuren, GTO en NEB voor verwarming voor verschillende scenario's met variatie in beglazing en zonnewering	166
Figuur 147: Gewogen temperatuuroverschrijding in de 4 zones voor de verschillende scenario's met variatie in beglazing en zonnewering	167
Figuur 148: Voorbeeld van dagmaat van een toevoeropening (Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2021)	169
Figuur 149: Toe- en afvoeropeningen bij schachtventilatie in de S4(bis)	171
Figuur 150: Integratie van natuurlijke (schacht)ventilatie met een afvoerdebiet van 160 m <sup>3</sup> /h per segment	174
Figuur 151: Integratie van natuurlijke (schacht)ventilatie met een afvoerdebiet van 360 m <sup>3</sup> /h per segment	175
Figuur 152: Illustratie van een VAV-systeem met VAV-regelaars (Bhatia, A., 2014, p.32)	177
Figuur 153: Integratie van mechanische ventilatie (Systeem C) met een afvoerdebiet van 360 m <sup>3</sup> /h per segment	180
Figuur 154: Integratie van mechanische ventilatie (systeem C) met een afvoerdebiet van 360 m <sup>3</sup> /h per segment, onderverdeling in zones	182
Figuur 155: Verticale integratie van de afvoerkanalen bij een systeem C richting luchtgroepen	183
Figuur 156: Verticale integratie van de afvoerkanalen bij een systeem C zonder luchtgroepen	183
Figuur 157: Integratie van mechanische ventilatie (systeem D) met een afvoerdebiet van 360 m <sup>3</sup> /h per segment	185
Figuur 158: Integratie van mechanische ventilatie (systeem D) met een afvoerdebiet van 360 m <sup>3</sup> /h per segment, onderverdeling in zones	186
Figuur 159: Combinatie van natuurlijke en mechanische luchtafvoer	192
Figuur 160: Vergelijking ventilatiesysteem C en D met volledige of gedeeltelijke bypass voor labo's met 10 vol/h	

	194
Figuur 161: Vergelijking ventilatiesysteem C en D met volledige of gedeeltelijke bypass voor kantoren met hoge bezetting	195
Figuur 162: Vergelijking pollutiesensor en aanwezigheidsdetectie bij kantoren voor een systeem C en een systeem D	196
Figuur 163: Vergelijking pollutiesensor en aanwezigheidsdetectie bij auditoria voor een systeem C en een systeem D	197
Figuur 164: Temperatuurverloop van een auditorium met hoge bezetting met aanwezigheidsdetectie met de bezetting van een klas met lage bezetting	198
Figuur 165: Vergelijking hygiënische ventilatiedebieten voor klassen en auditoria	198
Figuur 166: Lopende meters plafondoppervlakte	200
Figuur 167: Enkelzijdige ventilatie a.d.h.v. twee gevelopeningen, enkel gedreven door natuurlijke convectie (Cibse, 2005, p.45)	202
Figuur 168: Enkelzijdige ventilatie door 1 gevelopening, enkel gedreven door natuurlijke convectie (Cibse, 2005, p.45)	203
Figuur 169: Ventilatievoud in verhouding tot windsnelheid voor verschillende temperatuurverschillen	204
Figuur 170: Dwarsventilatie gedreven door enkel wind (Cibse, 2005, p.46)	205
Figuur 171: Ventilatievoud in verhouding tot windsnelheid voor verschillende temperatuurverschillen	206
Figuur 172: Ventilatievoud in verhouding tot windsnelheid voor verschillende temperatuurverschillen	206
Figuur 173: Ventilatievoud in verhouding tot windsnelheid voor verschillende temperatuurverschillen	207
Figuur 174: Impact passieve koeling op de absolute temperatuuroverschrijding en op de GTO bij kantoren met hoge bezetting	210
Figuur 175: Impact passieve koeling op de NEB voor koeling bij kantoren met hoge bezetting	211
Figuur 176: Vermogen-tijd grafiek van de koelvraag bij kantoren met hoge bezetting	212
Figuur 177: Vermogen-tijd grafiek van de koelvraag als de ramen overdag geopend worden bij kantoren met hoge bezetting	212
Figuur 178: Impact passieve koeling op de absolute temperatuuroverschrijding en op de GTO bij studentenhuysvesting met hoge bezetting	213
Figuur 179: Impact passieve koeling op de NEB voor koeling bij studentenhuysvesting met hoge bezetting	214
Figuur 180: Vermogen-tijd grafiek van de koelvraag bij studentenhuysvesting met hoge bezetting	214
Figuur 181: Impact passieve koeling op de absolute temperatuuroverschrijding en op de GTO bij Klassen met lage bezetting + 1 laptop/2 personen	215
Figuur 182: Impact passieve koeling op de NEB voor koeling bij klassen met lage bezetting + 1 laptop/2 personen	216
Figuur 183: Vermogen-tijd grafiek van de koelvraag bij klassen met lage bezetting + 1 laptop/2 personen	216
Figuur 184: Impact van de bezetting, en het bijhorend ventilatiedebiet, op de oververhitting (en de NEB voor verwarming) voor 3 verschillende scenario's	217
Figuur 185: Vermogen-tijd grafiek voor radiatoren met een ideaal vermogen bij een auditorium met lage bezetting en 1 laptop/2 personen	223
Figuur 186: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende jaar voor auditoria met lage bezetting en 1 laptop/2 personen en radiatoren van Radson	223
Figuur 187: Vermogen-tijd grafiek voor radiatoren met een ideaal vermogen bij klassen met lage bezetting	224
Figuur 188: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor klassen met lage bezetting met radiatoren Radson	225
Figuur 189: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor klassen met lage bezetting met de bestaande radiatoren op een LTV regime	225
Figuur 190: Vermogen-tijd grafiek voor radiatoren met een ideaal vermogen bij kantoren met hoge bezetting	226
Figuur 191: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor kantoren met hoge bezetting met de bestaande radiatoren op een LTV regime	226
Figuur 192: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor studentenhuysvesting met hoge bezetting met vloerverwarming	227
Figuur 193: Vermogen-tijd grafiek voor radiatoren van Radson bij een auditorium zonder bezetting	228
Figuur 194: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor auditoria zonder bezetting met radiatoren van Radson	229
Figuur 195: Vermogen-tijd grafiek voor de bestaande radiatoren op een LTV regime bij een klas zonder bezetting	229
Figuur 196: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor klassen zonder bezetting met behoud bestaande radiatoren op een LTV regime	230
Figuur 197: Vermogen-tijd grafiek voor de bestaande radiatoren op een LTV regime bij een labo 10 vol/h zonder bezetting (systeem D)	230
Figuur 198: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor labo's met 10 vol/h zonder bezetting met behoud bestaande radiatoren op een LTV regime	231
Figuur 199: Aanduiding van de gekozen herbestemmingsscenario's bij de richtlijnen voor de ontwerper	232
Figuur 200: Overzicht van de zones in het simulatiemodel (Dymola)	235
Figuur 201: Opdeling zones voor ingave in de EPB software	248

## Lijst met tabellen

Tabel 1: U-waarden van de schildelen van de S8	17
Tabel 2: U-waarden van de schildelen van de S4(bis)	25
Tabel 3: Samenvatting interne warmtewinsten van de verschillende bezettingsprofielen	71
Tabel 4: Overzicht oppervlaktes van de constructieonderdelen in Dymola	74
Tabel 5: Overzicht van de debieten die in het simulatiemodel ingegeven zijn voor de bestaande toestand	75
Tabel 6: overzichtstabel maximale overschrijdingsuren volgens de ontwerprichtlijn van de UGent (Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2020)	77
Tabel 7: Richtwaarden GTO (NBN EN 152151, 2007)	78
Tabel 8: Verhouding interne warmtewinsten/ventilatie-debiet voor 3 bezettingsscenario's in de bestaande toestand	79
Tabel 9: Gewogen temperatuuroverschrijding voor 3 bezettingsscenario's in de bestaande toestand	80
Tabel 10: Netto-energiebehoefte voor verwarming voor 3 bezettingsscenario's in de bestaande toestand	81
Tabel 11: Overzicht U-waarden van verschillende types beglazing (Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2019)	115
Tabel 12: Overzicht U-waarden van verschillende types raamprofielen	116
Tabel 13: Overzicht U-waarden en installatiewijze van verschillende types RTO's	117
Tabel 14: Overzicht U-waarden in Dymola in de gerenoveerde toestand	132
Tabel 15: Verhouding interne warmtewinsten/ventilatie-debiet in de gebruikszones voor de verschillende bezettingsprofielen	134
Tabel 16: Verband tussen de GTO (°C) en de netto-energiebehoefte voor verwarming in geval van systeem C voor de verschillende bezettingsprofielen in gerenoveerde toestand:	135
Tabel 17: Overzicht gevelrenovatiestrategieën	136
Tabel 18: Vergelijking tussen verschillende gevelrenovatiescenario's voor klaslokalen met een lage bezetting in geval van systeem C	138
Tabel 19: Vergelijking tussen verschillende gevelrenovatiescenario's voor kantoren met hoge bezetting in geval van systeem C	139
Tabel 20: Milieu-impact op elementniveau van de bestaande toestand en renovatie scenario's van het dak (TOTEM, 2022)	143
Tabel 21: Milieu-impact op elementniveau van de bestaande toestand en renovatiescenario's van de (TOTEM, 2022)	145
Tabel 22: Eisen omtrent luchtgeluidisolatie en contactgeluid volgens verschillende normen	148
Tabel 23: Eisen omtrent de nagalmtijd in verschillende lokalen volgens verschillende normen	154
Tabel 24: Berekening equivalente absorptieoppervlak van de verschillende oppervlakken in de ruimte zonder akoestische maatregelen	154
Tabel 25: Berekening equivalente absorptieoppervlak van de verschillende oppervlakken in de ruimte met akoestische eilanden	155
Tabel 26: Overzicht nagalmtijden bij verschillende akoestische ingrepen	155
Tabel 27: Richtwaarden voor de verlichtingssterkte doorheen gevelopeningen (NBN EN 17037, 2021)	156
Tabel 28: Waarden voor de te behalen daglichtfactor in België (NBN EN 17037, 2021)	157
Tabel 29: Overzicht van windkrachten, windsnelheden en de effecten ervan (Harol, 2015, p. 11)	162
Tabel 30: Absolute overschrijdingsuren, GTO en NEB voor verwarming bij kantoren met hoge bezetting in gerenoveerde toestand	164
Tabel 31: Overzicht 9 scenario's met variaties in beglazing en zonnewering	165
Tabel 32: Overzicht met het aantal uren dat de zonnewering omlaag gaat voor de verschillende oriëntaties	165
Tabel 33: Absolute overschrijdingsuren, GTO en NEB voor verwarming voor verschillende scenario's met variatie in beglazing en zonnewering	166
Tabel 34: Gewogen temperatuuroverschrijding in de 4 zones voor de verschillende scenario's met variatie in beglazing en zonnewering	167
Tabel 35: Ventilatie-debieten bij verschillende herbestemmingsscenario's bij lage en hoge bezetting	168
Tabel 36: Overzicht van RTO's en hun eigenschappen bij natuurlijke luchtafvoer	170
Tabel 37: Overzicht van de variabelen ter berekening van het verschil in dichtheid	172
Tabel 38: Grootte van de toe- en afvoeropeningen bij schachtventilatie in de S4(bis) bij een toevoer-debiet van 180 m <sup>3</sup> /h per segment	173
Tabel 39: Grootte van de toe- en afvoeropeningen bij schachtventilatie in de S4(bis) bij een toevoer-debiet van 360 m <sup>3</sup> /h per segment	173
Tabel 40: Vereiste afmetingen van het hoofdkanaal bij een afvoer-debiet van 360 m <sup>3</sup> /h per segment	174
Tabel 41: Vereiste afmetingen van het hoofdkanaal bij een afvoer-debiet van 160 m <sup>3</sup> /h per segment	174
Tabel 42: Overzicht van RTO's en hun eigenschappen bij mechanische luchtafvoer	178
Tabel 43: Vereiste afmetingen van de extractiekanalen bij een systeem C met een afvoer-debiet van 360 m <sup>3</sup> /h per segment	180
Tabel 44: Vereiste afmetingen van de pulsiekanalen bij een systeem D met een toevoer-debiet van 360 m <sup>3</sup> /h per segment	185
Tabel 45: Vereiste afmetingen van de pulsiekanalen bij een systeem D met een toevoer-debiet van 720 m <sup>3</sup> /h per segment	187
Tabel 47: Verbruik ventilatoren bij een SFP van 1250 W/(m <sup>3</sup> .s) voor de verschillende herbestemmingsscenario's	188
Tabel 48: Verbruik ventilatoren bij een SFP van 750 W/(m <sup>3</sup> .s) voor de verschillende herbestemmingsscenario's	188

Tabel 49: Vergelijking ventilatiesysteem C en D met volledige of gedeeltelijke bypass voor labo's met 10 vol/h	194
Tabel 50: Vergelijking ventilatiesysteem C en D met volledige of gedeeltelijke bypass voor kantoren met hoge bezetting	195
Tabel 51: Vergelijking pollutiesensor en aanwezigheidsdetectie bij kantoren voor een systeem C en een systeem D	196
Tabel 52: Vergelijking pollutiesensor en aanwezigheidsdetectie bij auditoria voor een systeem C en een systeem D	197
Tabel 53: Vergelijking hygiënische ventilatiedebieten voor klassen en auditoria	198
Tabel 54: Comfortcriteria uit de Ontwerprichtlijn van de UGent	200
Tabel 55: Resultaten van de berekeningen van het ventilatievoud bij nachtventilatie	207
Tabel 56: Impact passieve koeling op de absolute temperatuuroverschrijding en op de GTO bij kantoren met hoge bezetting	211
Tabel 57: Impact passieve koeling op de NEB voor koeling bij kantoren met hoge bezetting	211
Tabel 58: Impact passieve koeling op de absolute temperatuuroverschrijding en op de GTO bij studentenhuisvesting met hoge bezetting	213
Tabel 59: Impact passieve koeling op de NEB voor koeling bij studentenhuisvesting met hoge bezetting	214
Tabel 60: Impact passieve koeling op de absolute temperatuuroverschrijding en op de GTO bij Klassen met lage bezetting + 1 laptop/2 personen	215
Tabel 61: Impact passieve koeling op de NEB voor koeling bij klassen met lage bezetting + 1 laptop/2 personen	216
Tabel 62: Impact van de bezetting, en het bijhorend ventilatiedebiet, op de oververhitting (en de NEB voor verwarming) voor 3 verschillende scenario's	217
Tabel 63: Comfortcriteria uit de Ontwerprichtlijn van de UGent	219
Tabel 64: Uren tijdens bezetting dat de comforttemperatuur niet behaald wordt gedurende een jaar voor auditoria met lage bezetting en 1 laptop/2 personen met radiatoren van Radson	224
Tabel 65: Vergelijking NEB voor verwarming voor verschillende afgiftesystemen voor auditoria met lage bezetting en 1 laptop/2 personen	224
Tabel 66: Uren tijdens bezetting dat de comforttemperatuur niet behaald wordt gedurende een jaar voor klassen met lage bezetting met radiatoren van Radson	225
Tabel 67: Uren tijdens bezetting dat de comforttemperatuur niet behaald wordt gedurende een jaar voor klassen met lage bezetting met de bestaande radiatoren op een LTV regime	225
Tabel 68: Vergelijking NEB voor verwarming voor verschillende afgiftesystemen voor klassen met lage bezetting	226
Tabel 69: Uren tijdens bezetting dat de comforttemperatuur niet behaald wordt gedurende een jaar voor kantoren met hoge bezetting met de bestaande radiatoren op een LTV regime	227
Tabel 70: Vergelijking NEB voor verwarming voor verschillende afgiftesystemen voor kantoren met hoge bezetting	227
Tabel 71: Uren tijdens bezetting dat de comforttemperatuur niet behaald wordt gedurende een jaar voor studentenhuisvesting met hoge bezetting met vloerverwarming	227
Tabel 72: Vergelijking NEB voor verwarming voor verschillende afgiftesystemen voor studentenhuisvesting met hoge bezetting	228
Tabel 73: Uren tijdens gebruikstijd dat de comforttemperatuur niet behaald wordt gedurende een jaar voor auditoria met radiatoren van Radson	229
Tabel 74: Uren tijdens gebruikstijd dat de comforttemperatuur niet behaald wordt gedurende een jaar voor klassen met behoud bestaande radiatoren op een LTV regime	230
Tabel 75: Uren tijdens gebruikstijd dat de comforttemperatuur niet behaald wordt gedurende een jaar voor labo's met 10 vol/h zonder bezetting met behoud bestaande radiatoren op een LTV regime	231
Tabel 76: Richtlijnen voor de ontwerper - Kantoren met een hoge bezettingsgraad	238
Tabel 77: Legende bij kantoren met een hoge bezettingsgraad	238
Tabel 78: Richtlijnen voor de ontwerper - Klaslokalen met een lage bezettingsgraad en laptops	240
Tabel 79: Legende bij klaslokalen met een lage bezettingsgraad en laptops	240
Tabel 80: Richtlijnen voor de ontwerper - Laboruimtes met 10 volumewisselingen per uur	242
Tabel 81: Legende bij laboruimtes met 10 volumewisselingen per uur	242
Tabel 82: Richtlijnen voor de ontwerper - Studentenkamers met hoge bezettingsgraad	244
Tabel 83: Legende bij studentenkamers met hoge bezettingsgraad	244
Tabel 84: Overzicht herbestemmingsscenario's waarvan een E-peil berekend is	247
Tabel 85: U-waarden en g-waarden van de extra scheidingsconstructies in de EPB software	252
Tabel 86: Overzicht van de E-peilen voor verschillende scenario's na renovatie	252



## Lijst met afkortingen

Afkorting	Betekenis
EPB	Energieprestatie en Binnenklimaat
WTCB	Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
BEN	Bijna Energie Neutraal
NEB	Netto-Energie Behoeft
EPN	Energieprestatie van Niet-residentiële gebouwen
EPC	Energieprestatiecertificaat
PVC	Polyvinyl Chloride
EPS	Geëxpandeerd Polystyreen
PUR	Polyurethaan
PIR	Polyisocyanuraat
XPS	Geëxtrudeerd Polystyreen
PE	Polyethyleen
EPDM	Ethyleen Propyleen Dieen Monomeer
ETICS	External Thermal Insulation Composite Systems
BEO-veld	Boorgat Energie Opslagveld
LTV	Lage Temperatuur Verwarming
SWW	Sanitair Warm Water
IDA	Indoor Air control
VAV	Variable Air Volume
CAV	Constant Air Volume
SFP	Specific Fan Power
COP	Coefficient Of Performance
SCOP	Seasonal Coefficient Of Performance
DGFB	Dienst Gebouwen en Facultair Beheer
LTA	Lichttoetredingsfactor
ZTA	Zontoetredingsfactor
GTO	Gewogen Temperatuuroverschrijding
RTO	Regelbare Toevoeropening
TOTEM	Tool to Optimise the Total Environmental impact of Materials
LCA	Levenscyclusanalyse



# INLEIDING

## Context

De Europese Unie wil tegen 2050 een klimaatneutrale economie en samenleving realiseren om zo het eerste klimaatneutrale continent te worden. Aangezien het huidig gebouwenpatrimonium een groot aandeel heeft in het energieverbruik, is het realiseren van gerenoveerde energie-efficiënte gebouwen een van de belangrijkste pijlers binnen deze ambitie.<sup>1</sup>

Het behalen van deze doelstelling is onder meer een taak voor de Vlaamse overheid en vertaalt zich in de Vlaamse Klimaatstrategie 2050. In de Vlaamse langetermijnstrategie voor de renovatie van gebouwen wordt voor niet-residentiële gebouwen gefocust op het realiseren van een koolstofneutraal gebouwenpark op het vlak van verwarming, sanitair warm water, koeling en verlichting.<sup>2</sup>

Naast de Vlaamse overheid heeft ook de UGent haar ambities in een klimaatplan gebundeld om de doelstellingen van de EU te behalen, met als primaire doelstelling klimaatneutraal te zijn tegen 2050. Binnen het plan wordt voornamelijk gefocust op ruimte- en energie-efficiëntie en hernieuwbare energie. De eerste pijler vertaalt zich in het realiseren van BEN-gebouwen en de verdichting en inbreiding van het gebouwpatrimonium. De tweede pijler focust op het afkoppelen van fossiele energie en inzetten op groene energie en warmte.<sup>3</sup>

Het omvangrijke, verouderde gebouwenpatrimonium van de UGent heeft nood aan een versnelde renovatiebeweging om de doelstelling tegen 2050 te halen. In deze masterproef wordt onderzoek uitgevoerd naar verschillende renovatiescenario's van de S-gebouwen op campus Sterre richting een toekomstbestendige, flexibele en duurzame campus.

## Doelstellingen

De centrale onderzoeksvraag luidt: 'Hoe kunnen de S-gebouwen op campus Sterre energetisch en toekomstbestendig gerenoveerd worden zodat zij flexibel gebouwgebruik toelaten?'. Er wordt onderzocht hoe campus Sterre gerenoveerd kan worden met respect voor het oorspronkelijke ontwerp en hoe verschillende herbestemmingsscenario's zich in het gebouw kunnen vestigen na renovatie. Hieruit volgen richtlijnen voor de ontwerper die de wisselwerking tussen verschillende parameters duiden en toelaten gerichte keuzes te maken bij de renovatie/herbestemming van campus Sterre.

De primaire onderzoeksonderwerpen bij deze vraagstelling zijn: multifunctionaliteit, energiestaat en comfort, renovatie van de constructieonderdelen, daglichttoetreding, oververhitting, ventilatie, verwarming en koeling. De parameters bij deze verschillende onderwerpen worden onderzocht m.b.v. ontwerpend onderzoek, berekeningen, daglichtsimulaties, windsimulaties en vooral dynamische simulaties.

## Onderzoek

Het onderzoek wordt opgedeeld in verschillende hoofdstukken waar telkens op een andere schaal gewerkt wordt. Er wordt eerst een analyse gedaan van de brede context op siteniveau, waarna steeds op kleinere schaal verder gewerkt wordt. Het grootste deel van het onderzoek bevindt zich op verdiepingsniveau, waar gedetailleerd en nauwkeurig te werk gegaan kan

1. Europese Raad, 2022

2. Vlaamse Energie- en Klimaatagentschap, 2021

3. Werkgroep energiebeleid UGent et al., 2019

worden. Als laatste worden de resultaten teruggekoppeld naar gebouwniveau om te kijken hoe de resultaten toepasbaar zijn op deze schaal en of aan de vooropgestelde doelstelling om een BEN-gebouw te behalen voldaan wordt.

Ter inleiding wordt in hoofdstuk een het onderzoek gesitueerd binnen de Europese en Vlaamse context. Daarnaast wordt ook het toekomstplan van de UGent om haar doelstellingen tegen 2050 te behalen, uitgelicht. De visies en doelstellingen geformuleerd door deze drie instellingen vormen de insteek van deze masterproef.

In het tweede hoofdstuk wordt de historiek van campus Sterre geschetst en wordt er gekeken naar de toekomstplannen op stedenbouwkundig en energetisch vlak. Hieruit wordt duidelijk wat de toekomstvisie van de universiteit is voor campus Sterre.

In hoofdstuk drie worden mogelijke parameters en eisen gebundeld die gebruikt kunnen worden als richtlijn bij de renovatie, waarbij gefocust wordt op energetische en functionele aspecten. Deze worden later in het onderzoek aan concrete doelstellingen gekoppeld.

Het vierde hoofdstuk is een analyse van de huidige toestand van een aantal S-gebouwen op campus Sterre. Er wordt eerst gekeken naar twee gebouwen die nog te renoveren zijn. Zo wordt uitgebreid onderzoek gedaan naar de S4 die later centraal staat in het onderzoek en ook de S8 wordt kort bekeken. Daarnaast worden enkele reeds gerenoveerde gebouwen geanalyseerd.

In hoofdstuk vijf worden de (primaire en secundaire) onderzoeksonderwerpen geconcretiseerd, a.d.h.v. de informatie uit voorgaande hoofdstukken. Aan elk van deze onderwerpen worden doelstellingen gekoppeld. Bovendien wordt er toegelicht welke methodieken gehanteerd worden in het onderzoek.

Het zesde hoofdstuk is een conceptueel onderzoek naar de renovatiemogelijkheden op gebouwniveau. Eerst wordt het E-peil van de huidige toestand berekend, om na te gaan hoe ingrijpend de renovatie moet zijn. Daarna worden algemene principes en mogelijke toepassingen per onderzoeksonderwerp geschetst. Ten slotte wordt nagegaan in welke mate de besproken principes toepasbaar zijn op de S4.

In hoofdstuk zeven gaat het onderzoek verder op verdiepingsniveau en worden de besproken principes uit het voorgaande hoofdstuk in detail ontworpen, berekend en gesimuleerd. Zo worden concrete resultaten behaald die getoetst kunnen worden aan de vooropgestelde doelstellingen.

In hoofdstuk acht worden tabellen opgesteld die richtlijnen vormen voor de toekomstige ontwerpervanderenovatie/herbestemmingvandeS-gebouwen. In deze tabellen wordt gefocust op de wisselwerking tussen de parameters van de verschillende onderzoeksonderwerpen.

In het voorlaatste hoofdstuk worden de resultaten van het onderzoek op verdiepingsniveau teruggekoppeld naar het gebouwniveau, waarbij het E-peil voor verschillende renovatiescenario's berekend wordt. Op deze manier kan worden nagegaan of ook de doelstelling om een BEN-gebouw te realiseren behaald wordt na renovatie.

Ten slotte wordt in hoofdstuk tien een algemene conclusie en kritische reflectie van het onderzoek geformuleerd. Daarnaast worden de mogelijkheden tot verder onderzoek geschetst.

# 1 SITUERING EN CONTEXT

## 1.1 Europese en Vlaamse richtlijnen

### 1.1.1 Europese Unie

De klimaatopwarming is een hot topic. Dit werd nogmaals duidelijk tijdens de laatste VN-klimaatconferentie (COP26), waar het standpunt van de EU-delegatie luidde dat de mensheid nu moet optreden om de opwarming van de aarde te beperken tot onder de 1,5°C. Hier zijn echter meer inspanningen voor nodig dan wat er in het Klimaatpact van Glasgow besproken wordt.

Eén van de voornaamste initiatieven die genomen werd op deze klimaatop, is de voltooiing van het regelboek voor de Overeenkomst van Parijs.<sup>4</sup> In de overeenkomst van Parijs (2015) is men tot een actieplan gekomen om de opwarming van de aarde "ruim" onder de 2°C te beperken. Om dit te bereiken, is men overeengekomen binnen de EU dat men tegen 2050 een klimaatneutrale economie en samenleving moet realiseren. Een eerste stap hierin is dat de broeikasgasuitstoot in 2030 met 55% moet verlagen ten opzichte van 1990, om de doelstellingen van 2050 te behalen.<sup>5</sup> Deze doelen zijn ook onderdeel van de Europese Green deal, waarbij Europa het eerste klimaatneutrale continent wil worden. Het realiseren van gerenoveerde energie-efficiënte gebouwen en het gebruiken van schonere energie in combinatie met baanbrekende schone technologische innovaties is een van de belangrijkste pijlers hierin.<sup>6</sup>

### 1.1.2 Vlaamse langetermijnrenovatiestrategie gebouwen 2050

Om deze Europese doelstelling te bereiken, heeft Vlaanderen onder meer een Vlaamse langetermijnstrategie voor gebouwen tot leven geroepen. Dit is een verdere uitwerking van de algemene Vlaamse Klimaatstrategie 2050, waarbij men zich nu specifiek richt op (de verwarming van) gebouwen. Het is een strategie die uitvoering geeft aan een onderdeel van de Europese EPBD-richtlijn ('Energy Performance of Buildings Directive'). Ze concretiseert dus op welke manier Vlaanderen een aantal doelen wil bereiken tegen 2050. Dit wordt uitgeschreven voor zowel woongebouwen als niet-woongebouwen. Eén van de doelen hierbij is om tegen 2050 een koolstofneutraal gebouwenpark aan niet-woongebouwen te hebben op vlak van verwarming, sanitair warm water, koeling en verlichting.<sup>7</sup>

Voor zowel woongebouwen als niet-woongebouwen wordt er uiteengezet hoe men op een kosteneffectieve wijze kan renoveren om deze langetermijndoelstellingen te halen. Men focust hierbij op verschillende gebouweigenschappen: de energieprestatie van de gebouwschil, de compactheid van het gebouw, de oriëntatie en de energiedragers en verwarmingstechnieken. Naast de focus op het verminderen van de energievraag voor verwarming, wordt er ook nog met andere aspecten rekening gehouden. Enerzijds wordt er gekeken naar de verduurzaming van de restwarmtevraag, omdat er bij gebouwen altijd een restvraag aan energie zal blijven. Inzetten op warmtenetten die gevoed worden door restwarmte uit bijvoorbeeld industrie en

4. Europese raad, 2022

5. Europese raad, 2022

6. Europese commissie, 2019

7. Vlaams energie- en klimaatagentschap, 2021

groene warmte maakt hier deel van uit. Anderzijds is er ook aandacht voor de verlaging van de milieu-impact van het gebouw an sich, los van de warmtevraag. De materialen waaruit een gebouw is opgebouwd zijn verantwoordelijk voor 15 tot 18% van de totale milieu-impact van dat gebouw. Naarmate de energie-efficiëntie van een gebouw stijgt, daalt het verbruik, maar stijgt de indirecte koolstof- en materialenvoetafdruk. Daarom is het belangrijk om in te zetten op hoogwaardige, milieuverantwoorde recycling en hergebruik van materialen.

Anders dan bij woongebouwen, spelen koeling en ventilatie een grote rol in de energievraag van niet-woongebouwen. Door hogere comforteisen, stijgt deze energie-impact. Dit vraagt om aandacht en innovatie rond passieve en natuurlijke technieken voor koeling en ventilatie.<sup>8</sup>

## 1.2 Energiebeleidsplan UGent

De UGent heeft een eigen klimaatplan ontwikkeld dat kadert binnen de EU-ambitie om klimaatneutraal te zijn tegen 2050. Hierin wordt het traject voor de komende tien jaar vastgelegd.<sup>9</sup>

Binnen dit klimaatplan, is er een energiebeleidsplan ontwikkeld dat telkens verder uitgewerkt en opgevolgd wordt. In 2009 was het doel aanvankelijk om het energieverbruik van het patrimonium met 20% te reduceren tegen 2020 ten opzichte van het energieverbruik in 1998. Daarnaast moest extra energieverbruik voor de nieuwe gebouwen sinds 2009 gecompenseerd worden door eigen hernieuwbare energieopwekking. Het doel van de energie-reductie is echter niet behaald.

Om de doelstellingen van het klimaatakkoord van Parijs te halen tegen 2050, zijn er doordachte plannen en drastische maatregelen nodig. Daarom is er in 2019 een nieuw energiebeleidsplan gemaakt voor 2020-2030.<sup>10</sup> Een opvolging en bijsturing van dit plan in 2020 stelde dat de UGent zich schaaft achter de EU-ambitie om CO<sub>2</sub>-neutraal te zijn tegen 2050, ter vervanging van de vorige doelstelling om de uitstoot met 80 tot 95% te verminderen ten opzichte van 1990. In het energiebeleidsplan van 2020 - 2030 zal de universiteit zich voornamelijk focussen op het reduceren van de CO<sub>2</sub>-uitstoot met 40% t.o.v. 1998, het energieverbruik jaarlijks te verminderen met 2,5 % en enkel nog fossielvrij te bouwen en renoveren.<sup>11</sup> Dit plan focust voornamelijk op twee pijlers: ruimte- en energie efficiëntie en hernieuwbare energie.<sup>12</sup>

In de eerste pijler focust de universiteit op bijna energie-neutraal bouwen (BEN-bouwen) en groene elektriciteit. Om tegen 2050 het volledige gebouwenpark BEN en fossielvrij te krijgen zal de universiteit met een verhoogd tempo moeten (her)bouwen en renoveren. Hiernaast moet ook dringend ingezet worden op proactief gebouwbeheer, wat een vereiste is om op een energiebesparende manier een gebouw te onderhouden. Het laatste focuspunt binnen deze pijler is het verdichten en inbreiden van het gebouwenpatrimonium. De universiteit moet efficiënt en rationeel met de beschikbare ruimte omgaan, met als doel dat er minder ruimte gebruikt wordt en de gebruikte ruimte intensiever wordt ingezet. Hierdoor zijn er minder nutteloze energieverliezen ten gevolge van leegstand. Om dit mogelijk te maken is het belangrijk ruimtes correct in te richten, zodat ze voor meerdere gebruikers geschikt zijn. Dit is een werkpunt voor de bestaande (verouderde) gebouwen van de UGent waar er vaak leegstand voorkomt.

8. Vlaams energie- en klimaatagentschap, 2020

9. Vlaams energie- en klimaatagentschap, 2020

10. Werkgroep energiebeleid UGent et al., 2019

11. Werkgroep energiebeleid UGent et al., 2019

12. Werkgroep energiebeleid UGent et al., 2020

Investeren in groene energie is de tweede pijler van het energiebeleidsplan 2020- 2030. Het aandeel van groene warmte aan de universiteit is miniem in vergelijking met het aandeel aan fossiele energie. In de komende jaren moet dus sterk ingezet worden op de afkoppeling van fossiele energie en het creëren van groene warmte en groene eigen elektriciteitsproductie.<sup>13</sup>

## 1.3 Circulariteit

### 1.3.1 Circulair bouwen in Vlaanderen

De bouwsector is een zeer grote verbruiker van materialen en energie, zo was in 2019 de bouwsector goed voor 50% van het energieverbruik en 40% van de uitstoot van broeikasgassen binnen de Europese unie.<sup>14</sup> Een circulaire economie moet ervoor zorgen dat deze massaconsumptie een halt toegeroepen wordt en dat het milieu minder belast wordt. Het basisprincipe van circulariteit is het hergebruiken van materialen en grondstoffen om zo een gesloten kringloop te vormen waarbij niets meer wordt weggegooid. In de bouwsector vertaalt zich dat in het hergebruiken van bouwmaterialen en grondstoffen, maar ook in het renoveren en herbesteden van bestaande gebouwen. Door onder andere minder materialen te gebruiken, minder afval te produceren en leegstand aan te pakken, draagt de bouwsector bij aan de duurzame toekomst van Vlaanderen.<sup>15</sup>

### 1.3.2 Circulair bouwen aan de UGent

De Universiteit Gent bezit een patrimonium dat deels verouderd is, en niet altijd beantwoordt aan de huidige vragen van onderwijs en onderzoek. Renovatie en nieuwbouw zijn nodig. In het streven naar klimaatneutrale en duurzamere campussen dient dit zo circulair, energie-efficiënt en duurzaam mogelijk te gebeuren.<sup>16</sup> Een geïntegreerde aanpak wordt vooropgesteld waarbij de flexibiliteit, aanpasbaarheid en de milieu-impact op levenscyclusniveau sturende factoren zijn. De richtlijnen die de universiteit hierbij volgt zijn deze van de GRO, de duurzaamheidsbarometer van de Vlaamse Overheid.<sup>17</sup> Hiernaast worden ook enkele initiatieven ondernomen zoals het traject duurzaam bouwen aan de Stadsacademie en de verhoogde aandacht binnen theoretische vakken en ontwerpstudio's.

13. Werkgroep energiebeleid UGent et al., 2019

14. Vlaanderen circulair bouwen, 2022

15. Vlaanderen circulair bouwen, 2022

16. De Stadsacademie, 2022

17. Directie gebouwen en facilitair beheer UGent, 2020

## 2 PARAMETERS EN EISEN

Er bestaan verschillende parameters en eisen die als richtlijnen gebruikt kunnen worden bij het energetisch en functioneel ontwerpen van gebouwen. Energetische parameters vindt men terug in de verplichte eisen geformuleerd in de EPB-regelgeving, maar ook in de GRO-handleiding wordt dit behandeld. Parameters omtrent ruimtelijk en efficiënt gebouwgebruik worden geformuleerd in de GRO en in de ontwerprichtlijn van de UGent.

Deze drie bronnen van richtlijnen, parameters en eisen zijn verweven in elkaar. Zo steunt de GRO-handleiding deels op de eisen geformuleerd in de EPB-regelgeving en neemt de ontwerprichtlijn van de UGent zaken over uit zowel de GRO-handleiding als de EPB-eisen.

### 2.1 Energieprestatie en binnenklimaat

De (ingrijpende energetische) renovatie van de gebouwen op campus Sterre, valt onder de EPB-eis: 'Energieprestatie en Binnenklimaat'. Dit betekent dat er bepaalde energetische en ventilatie-eisen van kracht zijn. De energetische eisen betreffen de maximale U-waarden voor nieuwe en vernieuwde/na-geïsoleerde scheidingsconstructies en een maximaal E-peil. Daarnaast moet er ook 15 kWh/m<sup>2</sup>.jaar aan energie met hernieuwbare energiebronnen opgewekt worden. De ventilatie-eisen gaan over minimumeisen op het vlak van hygiënische ventilatie.<sup>18</sup> Voor gebouwen opgenomen in de inventaris bouwkundig erfgoed, gelden bij renovatie uitzonderingen op maximale U-waarden en ventilatie-eisen. Bij een ingrijpende energetische renovatie zoals op campus Sterre gelden deze uitzonderingen echter niet.<sup>19</sup>

#### 2.1.1 Netto-energiebehoefte na renovatie

Binnen de EPB-eisen wordt bij nieuwe (woon)gebouwen ook rekening gehouden met de netto-energiebehoefte van het gebouw. Deze waarde vertelt hoeveel energie er nodig is om te koelen en verwarmen. Ze zegt dus iets over de effectieve energievraag van een gebouw, maar minder over de isolatiewaarde.<sup>20</sup> De totale netto-energiebehoefte kan echter ook een nuttige parameter zijn om rekening mee te houden. Het masterplan van Sweco stelt bijvoorbeeld een maximale waarde voor de netto-energiebehoefte voor verwarming van 75 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar) na renovatie, waarover verder meer.<sup>21</sup>

## 2.2 GRO

De GRO is een duurzaamheidsbarometer, gebaseerd op het rapport 'Our Common Future', ofte het 'Brundtland-rapport'. Dit rapport definieert duurzame ontwikkeling als volgt:

*"Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs."*<sup>22</sup>

Het doel van de GRO is om te komen tot een geïntegreerd ontwerpproces, gebaseerd op de principes van People, Planet, Profit. Daarnaast houdt ze ook rekening met circulaire economie en climate-responsive design. Zo wil ze tot toekomstgerichte, leefbare gebouwen komen en gebruik maken van (nieuwe) technologie om het energieverbruik te beperken.

18. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2022

19. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2021

20. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, z.d.

21. Werkgroep energie UGent, Sweco, 2020

22. Het agentschap Facilitair Bedrijf, 2020, p3



De GRO bundelt een divers aantal duurzaamheidsaspecten en maakt het hierbinnen ook mogelijk om kwalitatieve aspecten meetbaar te maken. Op deze manier maakt de GRO het mogelijk om tot een duurzamer ontwerp te komen.

De geïntegreerde aanpak geldt niet enkel tijdens de ontwerpfase, maar ook tijdens uitvoering en beheer. Zo kan er rekening gehouden worden met de toekomstige levenscyclus van het gebouw, aangezien alle informatie vanaf het begin bijgehouden wordt. Het belangrijkste doel is dan ook een toekomstgericht gebouw realiseren, waar de circulaire principes en duurzaamheidsbelangen van het gebouw centraal staan. Naargelang de schaal en functie, worden toepasbare criteria geselecteerd. Bijgevolg is de GRO voor elk project bruikbaar, maar is ze ook voor elk project verschillend. Aangezien de GRO geen verplicht instrument is, hangt er ook geen officiële controle-instantie aan vast. De bewijslast van de eisen moet beoordeeld worden door de opdrachtgever zelf.

Bij verschillende criteria grijpt de GRO terug naar de regelgeving vervat in de normen van de Vlaamse overheid of de EPB-regelgeving. Dit vooral bij criteria gaande over energieprestatie en comfort van de binnenomgeving zoals zomercomfort, ontwerpdebieten bij ventilatie en energieprestatie (E-peil eis).

## 2.3 Ontwerprichtlijn UGent

De ontwerprichtlijn opgesteld door de universiteit Gent benadrukt de aandachtspunten en specifieke keuzes die de universiteit wil volgen bij het onderhouden, renoveren en uitbreiden van haar patrimonium. De focus bij het uitwerken van concrete projecten ligt op samengebruik en economisch gebruik van ruimte, infrastructuur en middelen. Samengebruik doelt op efficiënt ruimtegebruik door gemeenschappelijk gebruik. Het economisch gebruik van ruimte legt de nadruk op flexibiliteit, waarbij de ruimtes snel van functie kunnen veranderen. Ook het optimaliseren van bestaande ruimte liever dan het creëren van bijkomende ruimte is een belangrijke richtlijn.

In de richtlijn worden verschillende types functionele lokalen en ruimtes behandeld. Verder gaat het in het algemeen ook over brandveiligheid, compartimentering, toegankelijkheid etc. Naast eerder duidende richtlijnen worden er ook concrete doelstellingen geformuleerd over bijvoorbeeld oppervlaktegebruik en verlichtingssterkte. Verder wordt vaak verwezen naar de GRO bij specifieke toekomstgerichte maatregelen. In het kader van het beleid rond 'Anders Werken' werd met de oppervlakenorm in 2016 een nieuwe visie geïntroduceerd over het inrichten van een werkplek aan de universiteit. Deze norm stelt bijvoorbeeld een maximale kantooroppervlakte van 10 m<sup>2</sup> per voltijds tewerkgestelde werknemer.<sup>23</sup>

23. Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2020

## 3 ONDERZOEK OP SITENIVEAU - CAMPUS STERRE

### 3.1 Historiek

#### 3.1.1 UGent

De UGent werd in 1817 opgericht. Bij de oprichting was het een stadsuniversiteit, met verschillende gebouwen over de stad verspreid. Doorheen de jaren werd de universiteit steeds groter door een toenemend aantal studenten. Het uitbreiden van het gebouwenpatrimonium gebeurde aanvankelijk in de stad zelf. Door een exponentiële stijging aan studenten na de Tweede Wereldoorlog was dit niet meer haalbaar en werd er uitgeweken richting de stadsrand. Het stijgende aantal studenten in combinatie met financiële moeilijkheden lag aan de basis van een pragmatische aanpak bij het uitbreiden van de universiteitsgebouwen.<sup>24</sup>

Na de periode van uitbreiding buiten het stadscentrum, is er sinds 2000 terug een grotere focus op de stad zelf. Studenten worden opnieuw meer in het stadsleven betrokken, al blijft de verschuiving voor campussen (zoals de wetenschappencampus) naar de zuidelijke stadsrand nuttig. Deze campussen hebben namelijk meer ruimte en bereikbaarheid nodig dan dat ze culturele voordelen hebben van een inplanting in de stad.<sup>25</sup>

#### 3.1.2 Campus Sterre

In de jaren 1960 was er nood aan een nieuwe campus voor de wetenschappen. Om hierin te voorzien werden militaire oefenterreinen van 2,5 hectare groot omgevormd tot een site voor de licenties van de faculteiten wetenschappen. Hier kende campus Sterre haar oorsprong. Bij alle gebouwen die in de jaren 1960 en 1970 gebouwd werden, waren snelheid, prijs en functionaliteit belangrijker dan architecturale klasse en stedelijke integratie. Op campus Sterre wordt dit vertaald in 'grijze monolieten', die in sterk contrast staan tot de levendige studentikoze omgeving in de stad. Rond 2000 komt er echter een shift op de site. Home Bertha De Vriese wordt gebouwd met een veel menselijker en groener uitzicht, wat in contrast staat tot de andere gebouwen op de campus.

Campus Sterre volgt een campusmodel, het is een 'greenfield' campus. Ze is erg groen, heeft een monofunctioneel karakter (enkel licentie/masters en laboratoria van de faculteit wetenschappen) en ligt geïsoleerd buiten het stadscentrum. Op deze campus worden les- en onderzoeksvoorzieningen gecombineerd met studentenhuisvesting op de campus, wat zelden voorkomt aan de UGent. In het algemeen volgt de Universiteit echter geen campusmodellen, ze maakt gebruik van verschillende terreinen buiten de stad maar blijft ook verankerd in de stad; wegtrekken uit het stadscentrum zou een te grote verarming van het stedelijk leven betekenen.<sup>26 27</sup>

24. Danniau, 2010

25. Danniau, 2015

26. Danniau, 2010

27. UGent, z.d.

### 3.1.3 Evolutie campus Sterre

In 1962 werden de eerste twee gebouwen, de S1 en S2 ontworpen door Jules Trenteseau. Later zijn de S3, S4, S4bis, S5 en S12 op hun voorgangers geïnspireerd. Initieel waren er twaalf gelijke blokken voorzien, waarvan slechts zes werden gerealiseerd, de S1 tot en met S5 langs de Krijgslaan en S12 langs de De Pintelaan. Enkele auditoria die voorzien waren, werden nooit uitgevoerd.



*Figuur 1: Inplantingsplan van architect G. De Smet voor de gebouwen van 'domein De Sterre' (UGent, Morlion, P.)*

Wanneer de S1 in 1966 officieel werd geopend was de S2 bijna voltooid en waren de S3 tot en met de S5 al in opbouw. In 1970 werd de S4 nog uitgebreid door de S4bis, de S12 werd pas midden jaren '70 opgetrokken. De S4 werd ontworpen door ingenieur-architecten H. Debbaut en H. Fraeye onder nazicht van stagemester professor-ingenieur G. De Leye. De uitbreiding, S4bis werd ontworpen door G. Desmet. Afwijkend van de S1 typologie werden nog enkele andere gebouwen opgericht, onder andere de S8 in 1970, waarbij het plan bestaat uit een combinatie van een Y- en cirkelvormig grondplan van de hand van J. Trenteseau. Gebouw S2, S5 en S12 werden al gerenoveerd en heringericht in 2014-2015 naar een ontwerp van Abscis Architecten.<sup>28</sup>

28. Vandeweghe, 2019

### 3.1.4 Inventaris onroerend erfgoed

De Universiteitscampus Sterre is opgenomen in de inventaris onroerend erfgoed van de Vlaamse Overheid als een bouwkundig geheel. Ze zijn erkend als universiteitscolleges van na WOII in een modernistische stijl. De universiteitscampus bestaat dan ook uit rationeel-modernistische middelhoogbouw op een typische greenfield campus. Daarnaast bevinden er zich nog militaire gebouwen van het vierde kwart van de 19de eeuw op deze voormalige militaire site.<sup>29</sup>

Een belangrijke pijler bij modern onroerend erfgoed is het verzekeren van de continuïteit in het gebruik. Het is logisch dat de functie en betekenis van een beschermde site evolueren in de tijd. Een herbestemming kan bijdragen tot de verdere ontwikkeling van een gebouw en zijn betekenis voor de samenleving vandaag en in de toekomst.<sup>30</sup> Zowel bij aanvragen voor sloop als bij functiewijzigingen gaat het lokale bestuur na wat de aanwezige erfgoedwaarden zijn en wat de impact van de werkzaamheden op deze erfgoedwaarden zijn. Op basis van deze afweging neemt zij zelf een beslissing.<sup>31</sup>

Bij de reeds uitgevoerde renovatie door Abscis architecten bleven de contouren van de oorspronkelijke gevelopeningen en hun ritmiek behouden samen met de invulling in aluminium schrijnwerk, waardoor het gebouw blijft aansluiten op de ontwerplogica van de overige gebouwen op de site. De gevelopeningen werden voorzien van een nieuwe invulling met sandwichpanelen en ruime glaspartijen.<sup>32</sup> Om koudebruggen te vermijden is er gekozen voor buitenisolatie met pleisterwerk. Het betonnen karakter dat het gebouw voordien had, is niet meer aanwezig. De erfgoedwaarde van campus Sterre zit dus vooral vervat in de rationaliteit en ritmiek van de site. Een belangrijk aspect hierin – dat gerespecteerd moet worden bij de renovatie van de S-gebouwen - is het typische ritme in de gevels dat op de hele campus terugkomt.

29. Vandeweghe, 2019

30. Agentschap onroerend erfgoed, z.d.

31. Agentschap onroerend erfgoed, z.d.

32. Abscis architecten, z.d.

## 3.2 Toekomstvisie Campus Sterre

De UGent heeft verschillende toekomstplannen voor campus Sterre. Enerzijds is er een stedenbouwkundig masterplan uitgewerkt, dat een toekomstvisie schetst voor het gebruik van gebouwen, renovaties, afbraak en nieuwbouw. Anderzijds is er een masterplan opgesteld door het bedrijf Sweco dat mogelijke pistes om de energetische doelstellingen te behalen onderzoekt.

### 3.2.1 Masterplan UGent

De UGent heeft een ruimtelijk kader ontwikkeld, met een visie tegen 2050. Er wordt sterk ingezet op drie clusters die onderling verbonden zijn en versterkend werken, maar wel hun eigen sterktes, sfeer en identiteit hebben. Het gaat om de clusters Sint-Pieters Nieuwstraat, Sterre/UZ en Ardoyen.

Kenmerkend aan de Sterre is dat ze een groenklimatecampus is. Hier wordt in (de voorlopige versie van) het masterplan nog verder op ingezet richting een klimaatneutrale campus. Het belangrijkste concept van het huidige masterplan is het uitbreiden en ontwikkelen van het centrale groene hart in het midden van de campus, met een bijzondere aandacht voor de biodiversiteit. Verder wordt er ook ingezet op de inbedding in de groenklimateas, de interactie met wijk en stad, het verdichten in ontwikkelingszones en een heldere ontsluiting en mobiliteit.<sup>33</sup>

Momenteel bestaat de Sterre uit een groot aantal academische gebouwen, twee studentenhuisvestingen en een aantal gebouwen met andere functies. De gebouwen gaan van één tot vijf bouwlagen. De UGent wil structuur en coherentie brengen in de bebouwing op de campus door bestaande gebouwen en nieuwe toevoegingen slim te gaan clusteren in afgebakende bouwvelden. Om de gebouwclusters dener te maken zou er ingezet kunnen worden op het ophogen van de bestaande, waardevolle S-gebouwen. Zo krijgen de bestaande gebouwen de kans om mee te groeien met de universiteit.<sup>34</sup>

Initieel had de universiteit het plan om de S4bis af te breken zodat het centrale groene hart maximaal ontwikkeld kon worden. In de latere versies van het masterplan wordt het gebouw behouden. De S4(bis) zou in de nabije toekomst ingericht worden als een 'chemical teaching lab', een onderwijslandschap voor chemiepractica.<sup>35</sup>

Aan de andere kant van de campus, aan de De Pintelaan, wordt de bestaande zone met studentenhuisvesting uitgebreid. Hier schetst de UGent verschillende scenario's met al dan niet een grote impact op de omliggende bosgehelen. Deze mogelijke boskap rekent echter op veel tegenspraak van burens, studenten en natuurverenigingen.<sup>36</sup> De tegenstanders vragen de universiteit om andere pistes te onderzoeken, wat in het achterhoofd gehouden wordt bij dit onderzoek.

33. Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2022

34. Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2022

35. Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2022

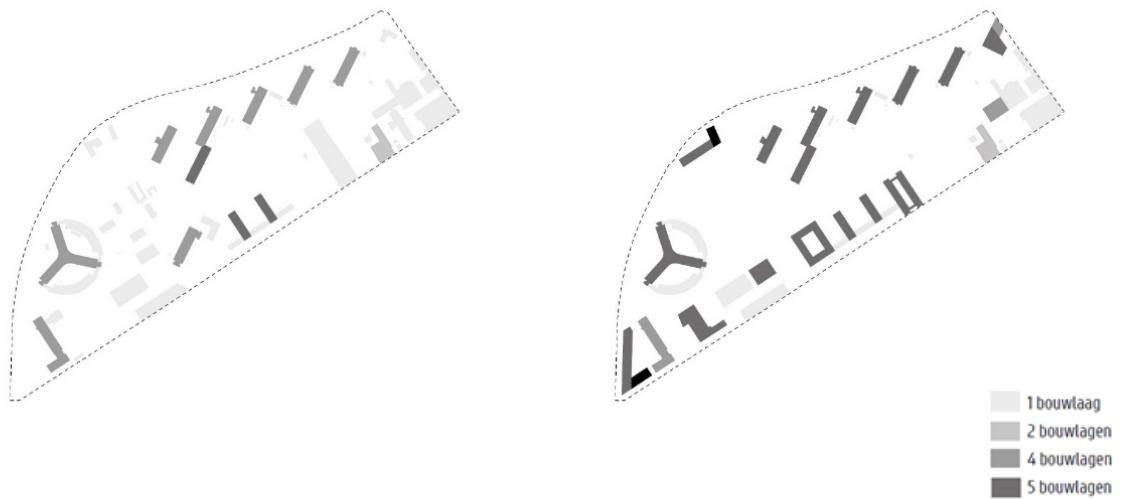
36. Decoubele, Segers 2021



Figuur 2: Bestaande toestand – Masterplan De Sterre (Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2022)



Figuur 3: Centraal groen hart (Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2022)



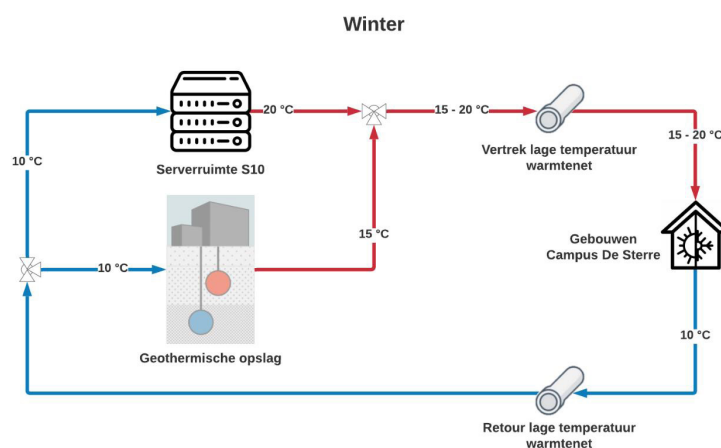
Figuur 4: Bestaande toestand- creatie van nieuwe dichtere gebouwenclusters (Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2021)

### 3.2.2 Masterplan Sweco

Sweco heeft een masterplan energie opgesteld voor campus Sterre. Hierbij hebben ze het huidige energieverbruik bestudeerd, om daaruit verschillende pistes te onderzoeken voor de toekomst.

Uit het vooronderzoek van de warmtevraag blijkt dat S3 en S12 het minst geïsoleerd zijn. S4 en S8 zijn de grootste verbruikers op vlak van aardgas/stookolie. Het doel is om bij alle toekomstige renovaties de netto-energiebehoefte (NEB) lager te houden dan  $75 \text{ kWh/m}^2$ , voor nieuwbouw is de richtwaarde  $30 \text{ kWh/m}^2$ . Daarnaast heeft de S10 een erg hoog elektriciteitsverbruik door de aanwezigheid van een supercomputer. De restwarmte die deze supercomputer genereert is aanzienlijk, wat mogelijkheden biedt tot verwarmen van gebouwen op de site met deze restwarmte als fossielvrije energiebron.

Er zijn drie scenario's onderzocht om De Sterre in de toekomst fossielvrij te verwarmen. Als eerste is er geopteerd om aan te sluiten op het stadswarmtenet van IVAGO. Dit is een relatief goedkope optie die weinig complexiteit met zich meebrengt, maar ze heeft verschillende nadelen. Koeling is bijvoorbeeld niet te realiseren via dit systeem en er zijn ook grote energetische verliezen omwille van de afstand die overbrugd moet worden tussen warmtebron en warmteafgifte. Als tweede scenario werden luchtwater-warmtepompen onderzocht. Hierbij voorziet elk gebouw individueel zijn koeling en verwarming. Ook dit is een weinig complexe optie, die erg toekomstbestendig is. De technische levensduur van de installatie is echter lager in vergelijking met de vorige optie en opnieuw is er sprake van energetische verliezen. Als laatste optie werd een vijfde generatie warmtenet bestudeerd, waarbij er gebruik gemaakt wordt van de restwarmte van de server in S10. Dit is een complex en kostelijk scenario, maar kent erg veel voordelen. Het is de duurzaamste optie van de drie, er zijn weinig energetische verliezen en koelen is zeer effectief met deze techniek. Bovendien heeft ze de snelste terugverdientijd, namelijk 16 jaar, tegenover 24 jaar bij het warmtenet van IVAGO en een negatieve terugverdientijd in geval van de lucht-waterwarmtepompen.<sup>37</sup> Op onderstaande figuur wordt de werking van het vijfde generatie warmtenet in de winter (met bijhorend temperatuurregime) afgebeeld.



Figuur 5: wintersituatie 5e generatie warmtenet (Verstaeten, J. 2020, p. 32)

37. Werkgroep energie UGent, Sweco, 2020

## 4 ANALYSE VAN DE BESTAANDE TOESTAND OP GEBOUWNIVEAU

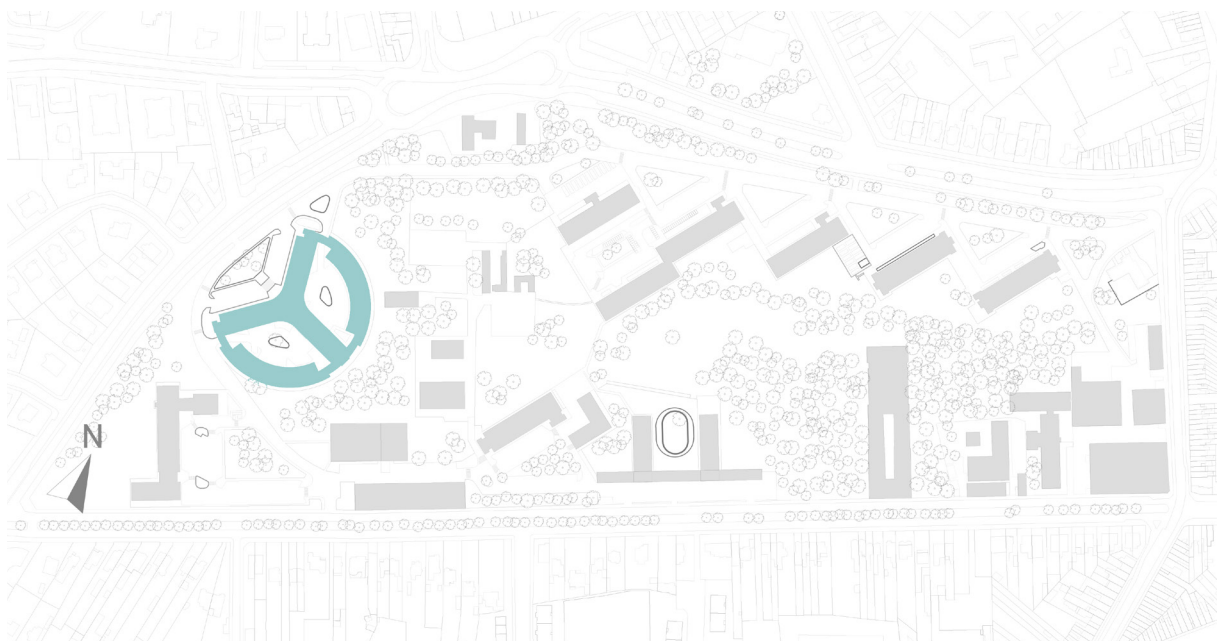
Volgens het masterplan zullen er in de toekomst heel wat gebouwen op campus Sterre gerenoveerd worden. Bij het vooronderzoek van de gebouwen in hun bestaande toestand wordt de focus gelegd op gebouwen S4(bis) en S8. Gebouw S4(bis) omwille van zijn gevel, structuur en planvorm die typisch is voor de ontwerplogica op de site. De S8 omdat het een karakteristiek gebouw is op de site en een bijzondere aandacht vraagt bij renovatie in de toekomst. Een bijkomende reden om deze gebouwen te onderzoeken zijn hun hoge warmtevragen. Volgens het rapport van Sweco blijken S4(bis) en S8 uitschieters op het vlak van aardgas- of stookolieverbruik en is hier dus dringend nood aan een ingrijpende energetische renovatie. Bovendien hebben ze ook een zeer hoge NEB van bijna 200 kWh/m<sup>2</sup>, Sweco wil dit tegen 2050 verlagen naar minimum 75 kWh/m<sup>2</sup>.<sup>38</sup>

S4(bis) vertoont meer overeenkomsten met andere S-gebouwen dan de S8, waardoor de bevindingen en mogelijke oplossingen voor de S4(bis) vermoedelijk makkelijker op de andere gebouwen toepasbaar zijn. Het vervolg van het onderzoek zal zich bijgevolg op dit gebouw toespitsen. Ook de S8 vertoont echter veel gelijkenissen met de S4(bis) qua opbouw, structuur en gevel, wat aantoont dat de resultaten van gebouw S4(bis) breder toepasbaar zijn dan enkel op de gelijkaardige balkvormige gebouwen op de site.

### 4.1 Analyse S8

#### 4.1.1 Inplanting en oriëntatie

De S8 is een Y-vormig gebouw waarvan de vleugels NW-ZO, NO-ZW en N-Z georiënteerd zijn. Daarnaast zijn er ook nog 2 maanvormige vleugels. Deze volumes zijn NO-ZW en NW-ZO georiënteerd. Het verschil in oriëntatie geeft aanleiding tot een variatie aan zonnewinsten in de verschillende vleugels van het gebouw.



Figuur 6: inplantingsplan S8 op campus Sterre

38. Werkgroep energie UGent, Sweco, 2020



## 4.1.2 Programma

Het Y-vormig gedeelte van S8 bevat 4 bouwlagen en een kelder. De maanvormige vleugels bestaan uit 1 bouwlaag, ook inclusief kelder. Het gebouw huisvest de vakgroepen geologie, geografie en biologie. De voornaamste functies van de lokalen zijn laboratoria, leslokalen en kantoren.<sup>39</sup>

## 4.1.3 Plan

Centraal in het Y-vormig grondplan bevindt zich een circulatiekoker, waar de drie vleugels elkaar ontmoeten. In deze circulatiekoker bevindt zich ook een vide die vanaf het gelijkvloers tot de bovenste verdieping doorloopt en een van de meest karakteristieke elementen van het gebouw is (figuur 7). Deze vide wordt omsloten door een gang waar de trap en de liften op aansluiten. Vanaf de circulatiekoker is er toegang tot de drie vleugels van het gebouw die een corridor typologie volgen en waarbij er een centrale gang is met lokalen aan beide kanten van de gang. Aan de uiteinden van de vleugels bevinden zich telkens secundaire trappenkokers. Deze geven ook toegang tot de 2 maanvormige volumes.<sup>40</sup>

## 4.1.4 Structuur

De draagstructuur van het Y-vormig gebouw bestaat uit een combinatie van kolommen, balken massieve muren, TT-gewelven en ter plaatse gestorte betonnen vloeren. Zoals typerend voor de S-gebouwen, veruitwendigt de structuur zich hier ook in de gevel door een betonnen grid van balken en kolommen. In tegenstelling tot bij de meeste andere S-gebouwen, wordt bij de S8 de dragende structuur zelf niet getoond, maar wordt ze nagebootst door betonnen panelen die dienen als afwerkingslaag op een zeer dunne laag isolatie.

De kern van het gebouw bevat langwerpige betonnen kolommen die zorgen voor de stijfheid en wellicht instaan voor de schrankingsweerstand. Deze werking wordt nog extra ondersteund door de massieve muren waarin de kolommen ingewerkt zijn. In deze kern lijkt de vloer deels ter plaatse gestort te zijn, wat logisch is omwille van de specifieke vorm van de vloer. In de vleugels is de structuur eenvoudiger. Ze zijn opgebouwd uit drie rijen van kolommen, met daartussen balken die de TT-gewelven dragen. De TT-gewelven dragen in de dwarse richting en garanderen zo waarschijnlijk ook de schrankingsweerstand in de dwarse richting. Ondanks de corridor typologie, bevindt er zich maar één rij kolommen in het midden van het gebouw. Dit geeft aanleiding tot lokalen met een verschillende diepte, aangezien de gang met één zijde aan de kolommen grenst en dus niet midden in het gebouw ligt.

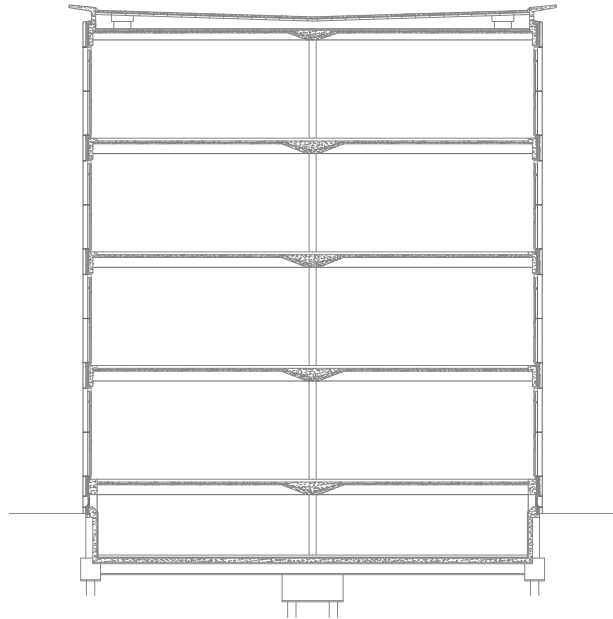
De trapkokers aan het uiteinde van de vleugels bevatten massieve muren, maar zijn slechts met een smal gedeelte verbonden met de rest van de vleugel. Hierdoor kunnen de muren geen schranke van de rest van het gebouw opnemen, ze staan enkel in voor de stabiliteit van de trapkokers zelf.

39. Coryn, M. persoonlijke communicatie, 15 november 2021

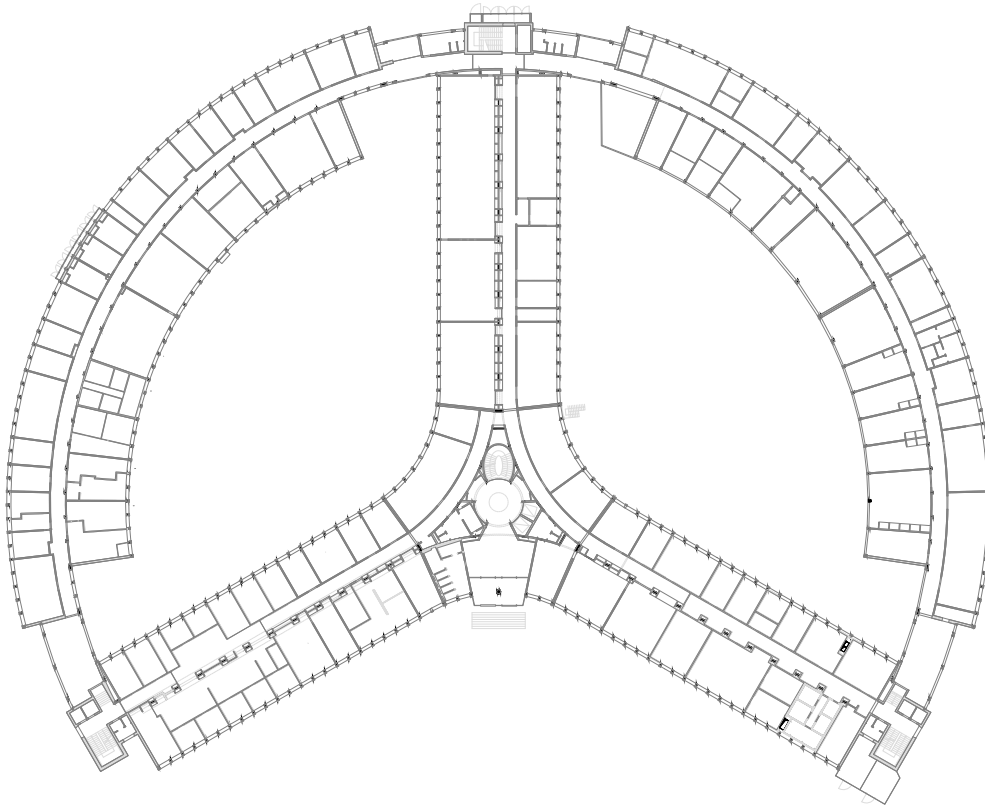
40. Directie Gebouwen en Facilitair beheer, 2021



*Figuur 7: Vide in de kern van S8 (eigen afbeelding)*



*Figuur 8: Structuursnede S8*



*Figuur 9: Structuurplan S8, gelijkvloers*



*Figuur 10: Geveltekening S8, inkomzijde*

## 4.1.5 Gevels

Ondanks de specifieke vorm van S8, lijkt de opbouw en ritmiek van de gevels sterk op deze van de andere S-gebouwen, waarbij de structuur telkens in de gevel veruitwendigd wordt. Wanneer de gevels van 2 benen openvouwen worden, bekomt men figuur 9. Het ritme wordt 56 keer herhaald over de lengte van de gevel.

De openingen tussen de kolommen zijn opgevuld met schrijnwerk en sandwichpanelen, waarbij er telkens een betonnen afwerkingspaneel tussen de schrijnwerkelementen geplaatst is ter hoogte van de verdiepingsvloer. Achter deze betonnen afwerkingspanelen is een laag van 3 cm isolatie voorzien. De sandwichpanelen bevatten 2,4cm isolatie en zijn afgewerkt met asbesthoudende vezelcementplaten. Het schrijnwerk bevat aluminium raamkaders zonder thermische onderbreking.

Aan de uiteinden van het gebouw bevinden zich slanke volumes met een circulatiekoker en sanitaire voorzieningen. Het ritme van de gevel wordt onderbroken in deze koker. De gevel bestaat uit massief geglazuurde bakstenen muurvlakken, waarbij er op de kopse gevel 1 strook ramen voorzien is. Hier is tussen het schrijnwerk in geen gebruik gemaakt van betonnen afwerkingselementen, maar van lichtbruine panelen

## 4.1.6 Energetisch

Het gebouw is op energetisch vlak sterk verouderd. Er is een dunne laag isolatie voorzien, maar die voldoet niet aan de hedendaagse eisen. De raamprofielen bevatten geen thermische onderbreking en zijn niet meer erg luchtdicht. Bovendien zijn ze sterk verouderd, waardoor ze soms ongewenst openen. De slechte isolerende capaciteiten van de gebouwschil veroorzaken grote transmissieverliezen.

De U-waarden van de gebouwschilonderdelen en de bijhorende eis opgelegd door het EPB worden op hieronder weergegeven. De berekeningen zijn in bijlage 1 te vinden<sup>41</sup>. Deze waarden liggen veel hoger dan de eisen die gesteld worden door EPB<sup>42</sup>. Om aan de doelstelling van de UGent te voldoen en tegen 2050 te evolueren naar een BEN-gebouw, is een grondige energetische renovatie dan ook onvermijdelijk.

Gevelelement	U-waarde [W/(m <sup>2</sup> /K)]	U-waarde eis volgens EPB [W/(m <sup>2</sup> /K)]
Massieve buitenmuur (30cm)	2,92	0,24
Schrijnwerk + sandwichpanelen	3,48	1,50
Beglazing	2,90	1,10
Aluminium raamkader	5,90	-
Sandwichpanelen	1,38	0,24
Betonpaneel onder ramen	1,98	0,24
Betonnen kolommen	2,01	0,24
Kelderwand	0,49	0,24
Vloer op volle grond	0,49	0,24
Dakpakket	1,06	0,24

Tabel 1: U-waarden van de schildelen van de S8

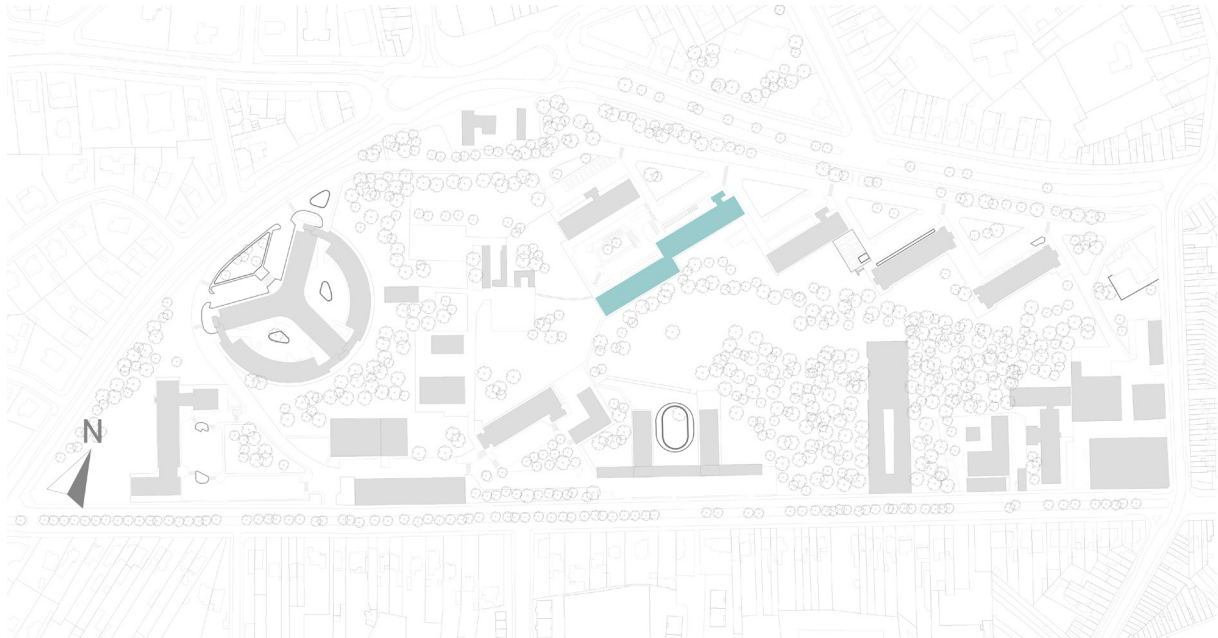
41. Transmissie referentie document, 2010

42. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2020

## 4.2 Analyse S4 en S4bis

### 4.2.1 Inplanting en oriëntatie

De gebouwen S4 en S4bis zijn aaneengeschakeld in een getrappt volume. De S4 werd eerst gebouwd in de jaren '60, in de jaren '70 werd dit gebouw uitgebreid met de S4bis aan de zuidzijde. De vleugels van de gebouwen zijn OZO-WNW georiënteerd.



*Figuur 11: inplantingsplan S4(bis) op campus Sterre*

### 4.2.2 Programma

In wat volgt slaat S4(bis) op het geheel van de S4 en de S4bis, wanneer het over één deel van het gebouw gaat wordt er respectievelijk over de S4 of de S4bis gesproken. De S4 bestaat uit vier bouwlagen en een kelder en heeft als hoofdprogramma de huisvesting van laboratoria voor de vakgroep organische en macromoleculaire chemie. Later werd deze uitgebreid door de S4bis die vijf bouwlagen en een kelder heeft, ook hier zijn voornamelijk laboratoria. Beide gebouwen doen ook dienst als centrale werkplaats voor de faculteit wetenschappen.<sup>43</sup>

### 4.2.3 Plan

Het plan volgt de typische corridor typologie waarbij - op elke verdieping - een centrale gang aan beide zijden toegang geeft tot lokalen die grenzen aan de buitenomgeving. Dit principe wordt in bijna elk S- gebouw op de Sterre toegepast. Kenmerkend voor de S4 en de S4bis zijn de omvangrijke kasten aan beide zijden van de gang. In deze kasten worden de afzuigvoorzieningen van de vele trekkasten in het gebouw weggewerkt. Deze extractiekanalen lopen tot aan het dak van het gebouw waar de extractielucht wordt vrijgegeven aan de omgeving.<sup>44</sup>

43. Coryn, M. persoonlijke communicatie, 15 november 2021

44. Directie Gebouwen en Facilitair beheer, 2021



Figuur 12: Zijgevel van de S4  
(eigen afbeelding)



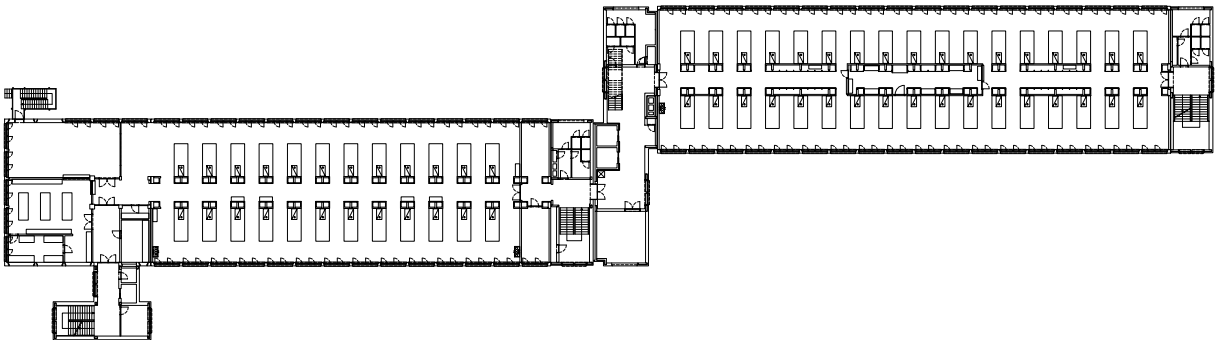
Figuur 13: Zicht op de S4(bis) aan de kant van de Krijgslaan  
(eigen afbeelding)



Figuur 14: Gang in de S4bis  
(eigen afbeelding)



Figuur 15: Laboruimte op de bovenste verdieping van de S4  
(eigen afbeelding)



Figuur 16: Plan van de vierde verdieping in de S4(bis) (Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2022)

#### 4.2.4 Draagstructuur

Na het bezoeken van het gebouw, het bestuderen van archiefplannen en Autocadplannen gemaakt op basis van latere opmetingen, kan een beeld geschetst worden van de dragende structuur van de S4(bis).

Het merendeel van het geveleppervlak is opgebouwd uit een kolommen- en balkengrid, typisch voor de S4(bis) en andere S-gebouwen. Ook binnen in het gebouw bestaat de draagstructuur uit ter plaatse gestorte balken en kolommen. De vloeren werden tussen de balken gestort. Initieel werd gedacht dat geprefabriceerde elementen op de werf aan elkaar gestort werden met behulp van wachtwapening. Aangezien er bij veel elementen bekistingsvoegen of kleine foutjes te bemerken zijn, wordt er echter van uitgegaan dat het grootste deel ter plaatse gestort werd. De bekistingsvoegen zijn enerzijds aanwezig in het gevelbeeld, tussen de verticale kolommen en de horizontale balken (figuur 17). Daarnaast zijn ook aan de onderzijde van de vloerplaten duidelijke bekistingsvoegen op te merken waardoor men kan concluderen dat hier geen gebruik gemaakt werd van geprefabriceerde, voorgespannen TT-gewelven (figuur 18 en 19). De vloeropbouw in de gang bestaat net als in de gebruiksruidtes uit ter plaatse gestorte TT-gewelven. De richting van de ribben staat hier echter haaks op deze in de naastliggende ruidtes.

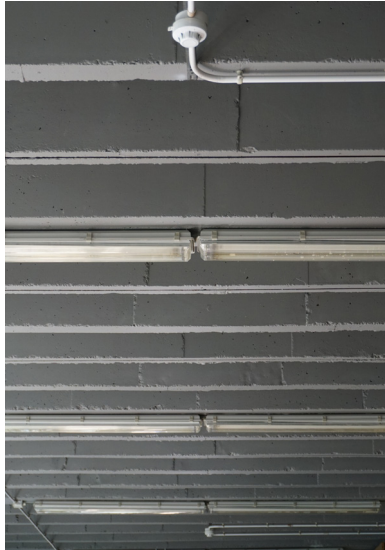
Het vereenvoudigde beeld (figuur 20 en 21) geeft weer hoe de bouwlagen structureel opgebouwd werden. De eerste stap was het ter plaatse storten van de kolommen met behulp van een bekisting. Deze werden al dan niet aan de hand van uitstekende wachtwapening stijf verbonden aan de onderliggende bouwlaag. Hierna werden de kolommen met elkaar verbonden door ter plaatse gestorte balken. Vervolgens werd de draagvloer tussen de balken gestort, met behulp van bekistingen werden TT-gewelven verkregen. Na het storten van de draagvloer werd de bakstenen of betonnen borstwering in respectievelijk S4 of S4bis opgebouwd. Hierna stortte men een dekvloer op de draagvloer en werd het proces op de volgende bouwlaag herhaald.

De kopse gebouwdelen en de zone in het midden, waar de S4 en S4bis elkaar ontmoeten werden opgebouwd aan de hand van massieve muren en vloerplaten om voldoende schrankweerstand te realiseren (figuur 22 en 23). De kopse gevel van de S4bis is opgebouwd uit een spouwmuurconstructie waarbij het binnenspouwblad uit een massieve betonnen wand bestaat. Aan het uiteinde van het volume van de S4, werden aan beide zijden openingen in het kolommen- en balken grid in de gevel opgevuld met metselwerk (figuur 24).

De schrankingsweerstand in de langsrichting wordt opgenomen door de gevulde gevelvlakken in S4 en de betonnen circulatiekokers aan beide uiteinden van S4bis. Een andere mogelijkheid was dat de borstweringen deze horizontale belasting zouden opnemen. Deze borstweringen bestaan uit baksteen in de S4 en uit beton in de S4bis. Aangezien dit geen stijve verbinding lijkt te zijn, is dit geen plausibele optie.



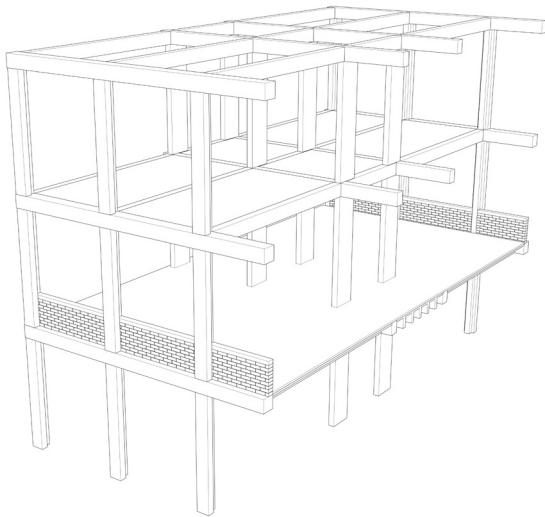
*Figuur 17: Bekistingsvoeg zichtbaar in het gevelbeeld (eigen afbeelding)*



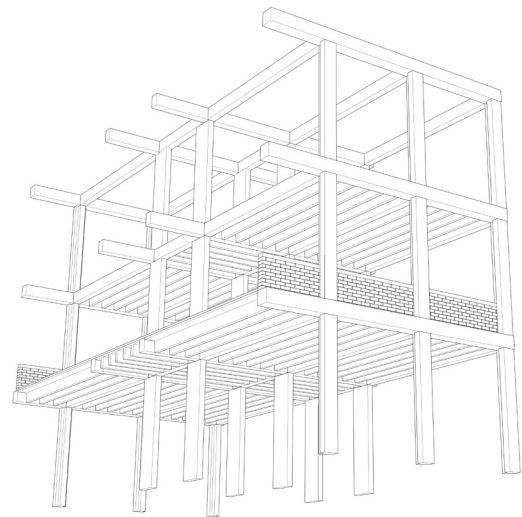
*Figuur 18: Bekistingsvoeg zichtbaar in het interieur (eigen afbeelding)*



*Figuur 19: Bekistingsvoeg zichtbaar in het interieur (eigen afbeelding)*



*Figuur 20: Vereenvoudigde weergave van de draagstructuur in de S4(bis)*



*Figuur 21: Vereenvoudigde weergave van de draagstructuur in de S4(bis)*



*Figuur 22: Massief volume tussen S4 en S4bis (eigen afbeelding)*



*Figuur 23: Kops volume van de S4bis (eigen afbeelding)*



*Figuur 24: Kops volume van de S4 (eigen afbeelding)*

De schrankingsweerstand in de dwarse richting wordt opgenomen door de kolommen- en balken structuur. Hierbij heeft de manier waarop de verdiepingen aan elkaar gestort zijn een grote invloed. Wanneer een stijve verbinding tussen de kolommen van opeenvolgende bouwlagen gerealiseerd wordt aan de hand van wachtwapening, zal de horizontale weerstand groter zijn. Wanneer deze elementen zonder wachtwapening aan elkaar gestort zijn, zal de schrankingsweerstand kleiner zijn. Beide opties zijn echter mogelijk en zullen genoeg weerstand bieden tegen de horizontale dwarse belastingen. Bovendien mag de schijfwerking van het vloerpakket en de weerstand van de circulatiekokers niet verwaarloosd worden. De structuur vertoont – op enkele plaatsen in de gevel na – niet veel vormen van schade of verlies aan kwaliteit. Dit biedt mogelijkheden naar de renovatie en herbestemming van het gebouw toe.

#### 4.2.5 Gevels

De gevels van de S4 en S4bis hebben een rationeel uiterlijk en zijn sterk geritmeerd. Dit als gevolg van de eerder besproken draagstructuur, die zichtbaar is in het gevelbeeld en hier een duidelijk aanwezig raster vormt. De meeste openingen van dit raster zijn ingevuld met schrijnwerk, met daaronder een borstwering die afgewerkt is met geglazuurde bakstenen.

De borstwering bij de S4bis bestaat uit een massieve betonnen wand waar steenstrips tegen verlijmd werden. Bij de S4 werd de borstwering aan de hand van een spouwmuurconstructie opgebouwd. Het binnenspouwblad bestaat uit bakstenen, het buitenspouwblad bestaat uit geglazuurde bakstenen. In beide gevallen werd geen isolatie voorzien.

De raamprofielen van de S4 bestaan uit PVC en polyester waar de profielen van de S4bis naast polyester ook uit staal werden opgebouwd. Deze profielen zijn sterk verouderd waardoor de luchtdichtheid van de gevel niet meer naar wens is. Naast de luchtdichtheid zijn de profielen ook beschadigd waardoor ze op sommige plaatsen niet meer degelijk gesloten kunnen worden en ze openvliegen bij hevige wind.

Bij de zijgevels van de S4 wordt dezelfde gridstructuur 19 maal herhaald. Bovendien werden – bij beide zijgevels – de 2 laatste segmenten van het grid volledig opgevuld. Aan de kant van de Krijgslaan, wordt het grid in de gevel doorbroken door een aangebouwde traphal. De zijgevels van de S4bis bestaan uit 18 herhalingen van dezelfde structuur.

Aan de kop van de S4bis, en in het midden tussen beide gebouwdelen vindt men massievere volumes terug. Deze werden afgewerkt met een buitenspouwblad uit bakstenen gevelelementen. Ook de kopse gevel van de S4bis bestaat uit een spouwmuurconstructie, in het midden opengewerkt met een strook schrijnwerk bestaande uit ramen en sandwichpanelen. Bij de kopse gevel van de S4 komt opnieuw het grid naar voor, ingevuld met schrijnwerk en borstweringen.





*Figuur 25: Geveltekening S4(bis)*



*Figuur 26: Gevelbeeld S4  
(eigen afbeelding)*



*Figuur 27: Geveltekening S4(bis), kant van de De Pintelaan*



*Figuur 28: Geveltekening S4(bis), kant van de Krijgslaan*

## 4.2.6 Ventilatie

De ventilatie in het gebouw is naargelang de functie anders geregeld. Kantoren zijn niet voorzien van mechanische ventilatie. Daarnaast is er wel mechanische ventilatie voorzien in de laboratoria, die niet enkel instaan voor de afvoer van chemisch vervuilde lucht, maar ook voor de hygiënische ventilatie. De trekkasten zorgen voor extractie, waarbij er enkel grote debieten aan lucht afgevoerd worden als het labo in gebruik is. In de gangen of labo's zijn er op druk gestuurde compensatieluchtgroepen voorzien om deze extractie te compenseren. Zo geraakt het gebouw niet in onderdruk en kan er geen terugslag zijn van giftige dampen. Bij de practica wordt er echter niet gecompenseerd met mechanische ventilatie. Hierbij moeten de ramen opengezet worden om de grote extractiedebieten van de trekkasten te compenseren. Verder zijn er ook soms raamventilatoren of box ventilatoren voorzien voor mechanische ventilatie in laboratoria. Er is echter nergens in het gebouw een vorm van warmteterugwinning voorzien.<sup>4546</sup>

In de kasten die men terugvindt in de centrale gang op elk niveau, werden verticale schachten weggewerkt. Deze schachten zijn nodig om de lucht uit de trekkasten af te voeren naar het dak waar de lucht vrijgegeven wordt aan de atmosfeer. Daar er erg veel van deze trekkasten aanwezig zijn, werd aan beide zijden van elke kolom - aan weerszijden van de gang om de 3 meter - een omkasting voorzien in baksteen. Binnen deze omkasting konden verticale extractieschachten geïmplementeerd worden. De omkastingen ontsluiten een doorsnede van 0,36 m<sup>2</sup> aan elke zijde van de kolom.

De structurele opbouw van de vloer ter hoogte van de verticale schachten beïnvloedt de beschikbare doorsnede van het kanaal naar boven- of onderliggende bouwlagen. De beschikbare doorsnede tussen twee bouwlagen bedraagt 0,24 m<sup>2</sup> aan elke zijde van de kolom. Deze doorsnede is kleiner dan de doorsnede binnen de kasten, aangezien een balk de doorsnede verkleint. Naast luchtafvoer, worden deze schachten in de bestaande toestand ook ingezet voor watertoevoer en -afvoer, elektriciteitsvoorzieningen etc.

## 4.2.7 Verwarming

Gebouw S4(bis) wordt verwarmd aan de hand van gietijzeren radiatoren. Hierbij wordt gebruik gemaakt van stookcurves in functie van de buitentemperatuur. Bij 0°C of lager, wordt er een regime van 75°C-55°C voorzien, als het buiten warmer wordt, verlaagt de toevoertemperatuur. In de stookcurves is ingesteld dat de verwarming blijft werken tot een buitentemperatuur van 20°C. Daarnaast worden de ruimtes nageregeld aan de hand van thermostatische kranen, die gemiddeld ingesteld staan op 21°C.

Naast deze temperatuurregeling, is er ook nog een tijdregeling voorzien. S4 wordt verwarmd van 6h 's ochtends tot 17h 's avonds, met daarna nachtverlaging, terwijl S4bis continu verwarmd wordt. Bovendien zou de verwarming uitgeschakeld worden in het zomerregime van ongeveer 15 mei tot ongeveer 15 september, naargelang de buitentemperatuur.<sup>47</sup> In de praktijk werd echter opgemerkt dat de verwarmingen nog steeds in werking waren begin juni.

45. Himpe, E. persoonlijke communicatie, 6 mei 2022

46. Cox, K. persoonlijke communicatie, 19 april 2022

47. Cox, K. persoonlijke communicatie, 20 mei 2022

## 4.2.8 Energetisch

De huidige toestand van de gebouwschil voldoet niet aan de hedendaagse eisen. Door het aftakelen van het schrijnwerk en het gebrek aan isolatie zijn er enorme warmteverliezen doorheen de gebouwschil. De U-waarden van de verschillende gebouwdelen zijn de volgende.<sup>48</sup> De berekeningen hiervan zijn in bijlage 2 te vinden.

Schildeel	U-waarde [W/(m <sup>2</sup> .K)]	EPB-eis [W/(m <sup>2</sup> .K)]
Borstwering S4	1,31	0,24
Borstwering S4bis	3,28	0,24
Raamgeheel	3,12	1,50
Glas	2,90	1,10
Dakpakket	4,28	0,24
Betonnen kolommen	2,84	0,24
Vloer op volle grond	0,49	0,24
Kelderwand	1,00	0,24
Spouwmuren	1,76	0,24

Tabel 2: U-waarden van de schildelen van de S4(bis)

Zoals in de tabel te zien is, liggen de U-waardes van de huidige toestand ver boven de U-waardes die geëist worden door het EPB.<sup>49</sup>

Daarnaast blijkt uit metingen dat de verwarmingsvraag van S4 jaarlijks 189 kWh/m<sup>2</sup> bedraagt, wat ver boven de eis van Sweco ligt.<sup>50</sup> De verwarmingsvraag is slechts een onderdeel van het jaarlijks primair energieverbruik, om een correcte inschatting te maken van de energetische situatie van het gebouw wordt later het E-peil berekend.

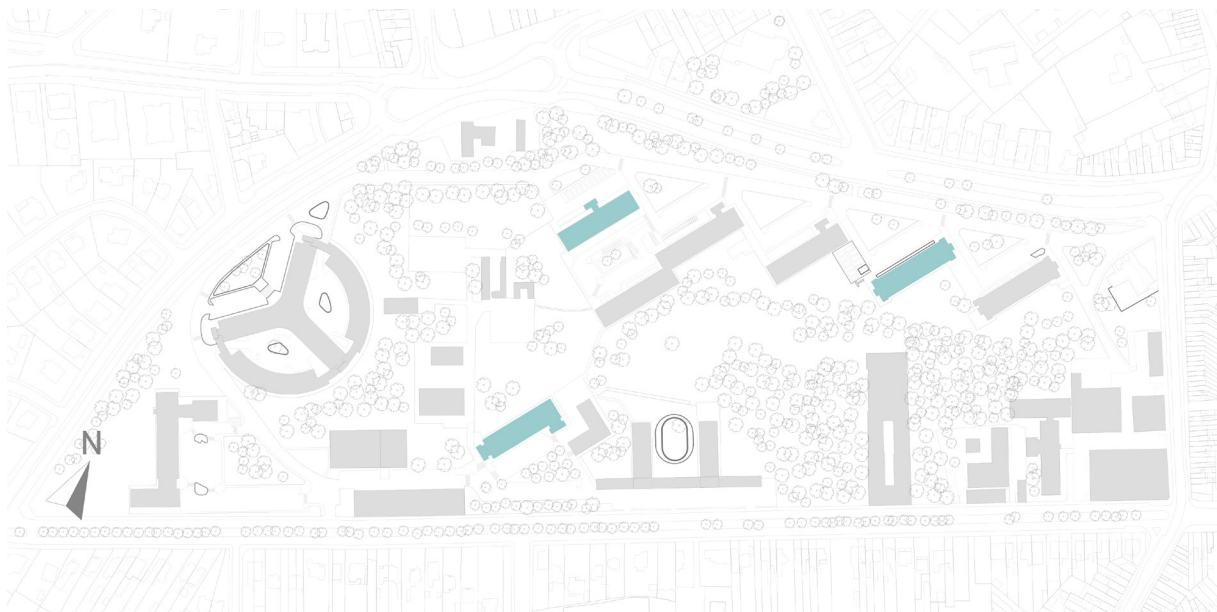
48. Transmissie referentie document, 2010

49. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2020

50. UGent, 2022

## 4.3 Reeds gerenoveerde gebouwen

### 4.3.1 Beschrijving



Figuur 29: inplantingsplan S2, S5 en S12 op campus Sterre

De S2, S5 en S12 werden gerenoveerd door Abscis architecten. De S2 en S5 werden ingrijpend geïsoleerd. Het schrijnwerk werd vervangen door thermisch onderbroken aluminium schrijnwerk. Daarnaast werd de buitenschil geïsoleerd om de energievraag, en bijgevolg de stookkosten, te beperken en condensatie te vermijden. Bovenop de gevelisolatie werd een gevelpleister voorzien. Bij de renovatie van de S12 werd de renovatie van de gevel niet uitgevoerd, hier ging het uiteindelijk om minder ingrijpende werken. De S5 onderging een grondige functiewijziging en werd met een studentenrestaurant en bibliotheek de centrale ontmoetingsplek op de campus.<sup>51</sup> Concreet heeft dit bij de S5 zoals voorspeld gezorgd voor een drastische verlaging in energieverbruik. Dit is af te leiden uit de gasmeterstanden en het verschil in verbruik tussen de verschillende S-gebouwen.

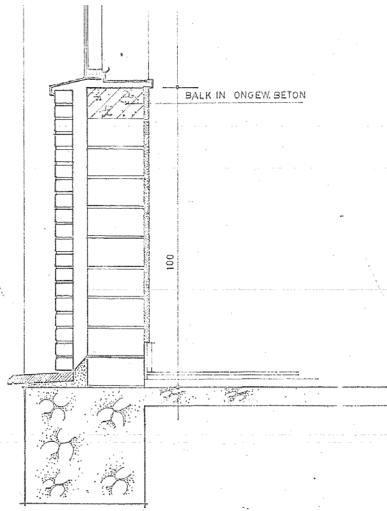
### 4.3.2 Renovatie van de gevel

Het gebruik van verschillende gevelmaterialen werd bij renovatie van de S2 en S5 vervangen door een uniforme gevelpleister. Hierdoor valt de benadrukking van het betonnen raster in de gevel weg ten opzichte van de S4(bis) en andere S-gebouwen. Het voorzien van extra buitenisolatie heeft er bovendien voor gezorgd dat het spel van diepte in de gevel wegvalt. Zo had de S5 oorspronkelijk dezelfde borstweringen in geglazuurde baksteen zoals de S4(bis). Bij renovatie werden het buitenspouwblad en het schrijnwerk verwijderd en over het gehele gebouw vervangen door een invulpaneel. Hierdoor is er geen verschil meer in diepte tussen de ramen en de borstwering. Deze panelen zitten bovendien meer naar voor in vergelijking met de originele borstweringen wat het betonnen raster ook minder tot uiting laat komen.

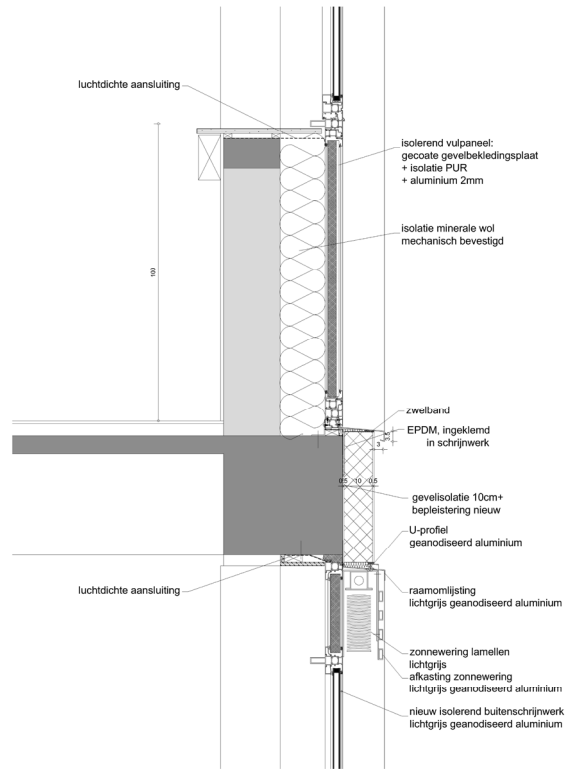
Bij renovatie werd gebruik gemaakt van verschillende isolatiematerialen. Het merendeel van deze materialen zijn kunststoffen isolatiematerialen, namelijk EPS en PUR. Tussen het binnenspouwblad van de borstwering en de nieuwe invulpanelen bevindt zich minerale wol.<sup>52</sup>

51. Abscis Architecten, z.d.

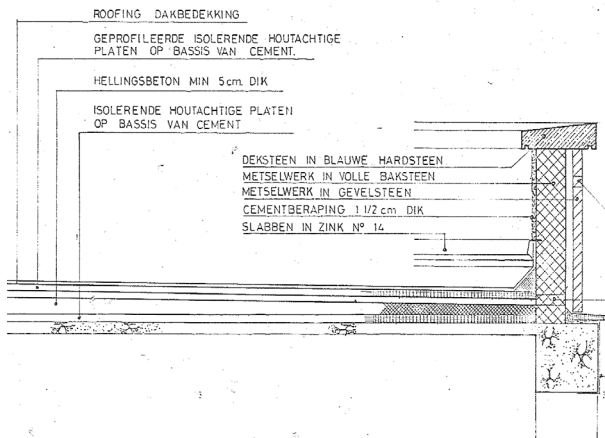
52. Abscis, 2013



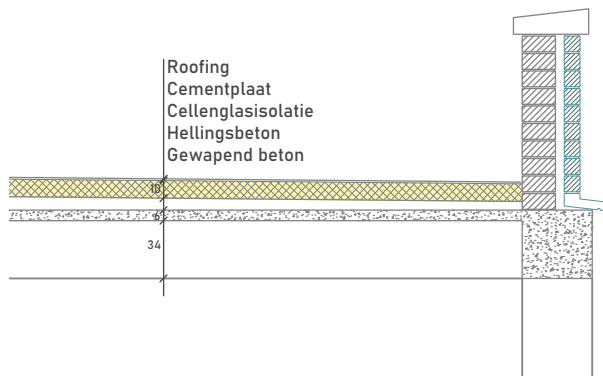
Figuur 30: Detail van de originele borstwering in de S5 (Directie Gebouwen en Facilitair Beheer)



Figuur 31: Detail van de borstwering na renovatie door Abscis architecten (Abscis, 2013)



Figuur 32: Detail van het originele dakpakket in de S5 (Directie Gebouwen en Facilitair Beheer)



Figuur 33: Detail van het dakpakket na renovatie door Abscis architecten

### 4.3.3 Renovatie van het dak

Naast de gevel onderging ook het dak een ingrijpende renovatie. Het oorspronkelijke dak was een verlucht dak, opgebouwd uit geprofileerde houtcementplaten en hellingsbeton. Bij renovatie werd het pakket gestript tot op de structurele dakvloer waarna deze opnieuw werd voorzien van een laag hellingsbeton en cellenglas-isolatie.<sup>53</sup>

### 4.3.4 Energieprestatie

De verwarming gebeurt door twee condenserende gasketels, in combinatie met radiatoren. Het huidige verwarmingssysteem in de twee gebouwen beantwoordt dus niet aan de doelstelling om tegen 2050 fossielvrij te verwarmen. In de toekomst zal de manier van warmteopwekking moeten wijzigen, het gebouw zou aangesloten kunnen worden op het vijfde generatie warmtenet wanneer dit opgeleverd wordt op de site. Aangezien er momenteel verwarmd wordt aan de hand van radiatoren en een watercircuit met een hoog temperatuurregime, is het mogelijk dat ook de verwarmingslichamen vervangen moeten worden bij overschakelen naar lage temperatuurverwarming. Uit het energieboekhoudsysteem Erbis van de UGent blijkt dat de NEB voor verwarming van het S5 gebouw 61,90 kWh/m<sup>2</sup>/jaar bedraagt.<sup>54</sup> Deze waarde ligt lager dan de vooropgestelde waarde door Sweco.

De S5 wordt op mechanische wijze geventileerd, door een systeem D. Het gebouw is voorzien van vier luchtgroepen. Het restaurant en de bibliotheek hebben elk een luchtgroep met warmterecuperatie door een plaatwarmtewisselaar. De keuken heeft een luchtgroep voor de extractie van de dampkap en daarnaast een pulsieluchtgroep voor compensatielucht. Het S2 gebouw wordt geventileerd door een systeem C in de kantoren. De labo's en de raadzaal worden geventileerd door een systeem D met warmterecuperatie.

53. Abscis, 2013

54. UGent Erbis Web Vision, z.d.

## 5 CONCRETISERING VAN DE ONDERZOEKSVRAAG EN -METHODE

### 5.1 Onderzoeksmethode

Na het doornemen van de verschillende beleidsplannen, parameters en eisen en het schetsen van de historiek, de huidige toestand en de toekomstvisie van campus Sterre, werd besloten om dit onderzoek toe te spitsen op het optimaliseren van de multifunctionaliteit, de gebouwschil, de energieprestatie en het binnencomfort van de S-gebouwen bij renovatie. De centrale onderzoeksvraag luidt: 'Hoe kunnen de S-gebouwen op campus Sterre energetisch en toekomstbestendig gerenoveerd worden zodat zij flexibel gebouwgebruik toelaten?'. Daarnaast wordt geanalyseerd hoe het originele ontwerp gerespecteerd kan worden, welke herbestemmingsscenario's na renovatie in het gebouw geïmplementeerd kunnen worden en wat de wisselwerking tussen de verschillende parameters van de onderzoeksonderwerpen is.

Hierbij ligt de focus op één gebouw in het bijzonder, de S4. De resultaten kunnen doorgetrokken worden naar de andere S-gebouwen. Op die manier wordt een beeld geschetst van de renovatie- en herbestemmingsmogelijkheden bij de transitie van campus Sterre richting duurzame universiteitscampus. Het onderzoek start op gebouwniveau. Per onderzoeksonderwerp worden algemene principes en concepten overlopen, met telkens aandacht voor de toepasbaarheid op de S4. Vervolgens wordt op verdiepingsniveau gedetailleerd onderzocht hoe aan de eisen voldaan kan worden per onderzoeksonderwerp. Het uiteindelijke resultaat van het onderzoek zijn vier tabellen waarin de wisselwerking tussen de parameters van de verschillende onderzoeksonderwerpen naar voren komt. De tabellen vormen richtlijnen voor de ontwerper bij de renovatie/herbestemming van de S-gebouwen. Ten slotte wordt teruggekoppeld naar gebouwniveau om het E-peil na renovatie te berekenen. Aan de hand van het behaalde E-peil wordt bekeken of het BEN-statuut bereikt wordt.

In dit hoofdstuk wordt een overzicht geschetst van de doelstellingen van dit onderzoek. Dit gebeurt aan de hand van verschillende onderwerpen die van primair of secundair belang zijn.

### 5.2 Primaire onderzoeksonderwerpen

#### 5.2.1 Multifunctionaliteit

Het masterplan voor campus Sterre, opgesteld door de UGent, toont aan dat nog niet exact geweten is welke functies in de S-gebouwen gehuisvest zullen worden in de toekomst. De UGent wil naar een rationeel en efficiënt gebouwgebruik evolueren, waarbij leegstand te allen tijde vermeden moet worden. Er is dus nood aan een herbestemmingsvisie voor de S-gebouwen, waarbij flexibel gebouwgebruik centraal staat.

De mogelijke herbestemmingsscenario's zijn zeer uiteenlopend. Na renovatie kunnen er klassieke functies zoals kantoren, vergaderzalen, leslokalen, PC-lokalen en laboratoria geïmplementeerd worden. Daarnaast wordt ook onderzoek gedaan naar de mogelijkheid tot studentenhuysvesting, als mogelijk alternatief voor de uitbreiding van Home Bertha De Vriese. Flexibel gebouwgebruik wordt gerealiseerd door de mogelijkheid tot combinatie en wijziging van bezettingsprofielen doorheen de tijd.

Bij het onderzoek naar de verschillende herbestemmingsscenario's in S4 wordt gefocust op diverse bezettingsprofielen met bijhorende interne warmtewinsten en comforteisen. Het doel is het ontwerpen van technische voorzieningen zoals koeling, ventilatie en verwarming die bij de verschillende herbestemmingsscenario's voldoen aan de eisen op vlak van binnenklimaat en comfort. Zo wordt onderzocht welke functies gecombineerd kunnen worden en welke functies bijkomende maatregelen met zich meebrengen.

Het onderzoeken van de mogelijkheden vertaalt zich uiteindelijk in een set van richtlijnen die de ontwerper kan volgen bij het herbestemmen van de bestaande S-gebouwen. Op die manier wordt de programmakeuze en het ruimtelijk ontwerp aan de ontwerper overgelaten, maar wordt wel geschetst welke functies zich mogelijks in de S-gebouwen kunnen vestigen na renovatie en op welke manier dit gerealiseerd kan worden.

### 5.2.2 Energieprestatie en comfort

Bij de renovatie van de gebouwen van campus Sterre wordt naar een aangenaam binnenklimaat gestreefd. Aan de hand van dynamische simulaties wordt nagegaan of het gewenste binnencomfort behaald wordt. Om dit comfort te realiseren in combinatie met een beperkte energievraag, moet de energieprestatie ook geoptimaliseerd worden. Hierbij is het belangrijk de netto-energiebehoefte te beperken naar hedendaagse normen. De waarde van 75 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar) die geformuleerd werd in het energetisch toekomstplan van Sweco wordt hierbij als eerste maatstaf gebruikt. Daarnaast wordt ook de doelstelling van de UGent gevolgd om tegen 2050 voor alle gebouwen het BEN-statuut te behalen. Hiervoor moet een niet-residentieel gebouw voldoen aan de EPB-eisen en een bepaalde E-peileis behalen naargelang de functie van het gebouw.<sup>55</sup> Zo moet onderwijs bijvoorbeeld een E-peil halen van 55.<sup>56</sup> Bij de terugkoppeling naar gebouwniveau wordt het E-peil in verschillende renovatiescenario's berekend, om na te gaan of aan deze eis voldaan wordt.

### 5.2.3 Renovatie van de constructieonderdelen

Eén van de maatregelen die genomen kan worden om de energieprestatie van het gebouw te verbeteren, is het isoleren van de gebouwschil. De gevels van S4 en van de andere niet-gerenoveerde S-gebouwen voldoen niet aan de hedendaagse normen. Het is dus van groot belang voldoende aandacht te besteden aan de renovatie van de gevel. Verschillende manieren van renoveren zijn mogelijk en worden onderzocht aan de hand van ontwerp onderzoek, U-waarde berekeningen en warmtetransportsimulaties. Er wordt enerzijds aandacht geschonken aan de energetische aspecten, waarbij de eisen uit de EPB-regelgeving gevolgd worden. Anderzijds wordt gefocust op de architecturale aspecten, de daglichttoetreding en de milieu-impact volgens een levenscyclusanalyse. Verder wordt ook nagegaan wat de impact van andere aspecten op het gevelontwerp is - zoals het ventilatieconcept, het herbestemmingsscenario en de nood aan zonnewering - aan de hand van dynamische simulaties.

Daarnaast wordt ook onderzocht hoe de verdiepingsvloer gerenoveerd kan worden zodat deze flexibel gebouwgebruik toelaat.

55. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2019

56. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2020



## 5.2.4 Daglichttoetreding en oververhitting

Daglichttoetreding en het beperken van oververhitting zijn twee belangrijke, maar tegenstrijdige parameters voor het comfort van de gebruikers. De grote glasoppervlakken bij S4 brengen oververhittingsrisico's met zich mee. Bovendien verhoogt renovatie de kans op oververhitting: door luchtdicht te bouwen en goed te isoleren kan de warmte moeilijker uit het gebouw ontsnappen. Hierdoor kan de binnentemperatuur hoog oplopen.<sup>57</sup> Anderzijds zijn de grote glasoppervlakken wel gewenst voor de daglichttoetreding. De wisselwerking tussen de maatregelen om oververhitting te bestrijden en voldoende daglicht binnen te laten, zal onderzocht worden en zal leiden tot scenario's waarbij aan beide parameters voldaan wordt. De oververhitting wordt geanalyseerd aan de hand van dynamische simulaties, de daglichttoetreding wordt onderzocht op basis van daglichtsimulaties.

## 5.2.5 Ventilatie

De verschillende herbestemmingsscenario's hebben verschillende bezettingsgraden. Aangezien het benodigde ventilatiedebiet afhangt van het aantal personen, varieert de ventilatie-eis naargelang het bezettingsprofiel. De flexibiliteit van het gebouw wordt bepaald door het maximale debiet dat het ventilatiesysteem kan leveren en de mate waarin de debieten aangepast kunnen worden aan de bezettingsgraad.

Het onderzoek focust onder andere op hoe de gevraagde toevoer- en afvoerdebieten gerealiseerd kunnen worden via natuurlijke, mechanische of hybride ventilatie en hoe dit in het gebouw geïntegreerd kan worden. Daarnaast wordt op basis van dynamische simulaties geanalyseerd wat de impact van het gekozen ventilatiedebiet en de regeling van de ventilatiedebieten op de koel- en warmtevraag is.

## 5.2.6 Koeling en verwarming

Een comfortabel binnenklimaat wordt grotendeels bepaald door de binnentemperatuur. Bij het onderzoek naar de impact van de verschillende parameters, wordt steeds gekeken wat het effect is op de warmtevraag en op de oververhitting - die rechtstreeks verbonden is met de koelvraag. Daarnaast wordt voor een aantal (extreme) situaties nagegaan hoe de koel- en warmtevraag in de ruimte gerealiseerd kan worden. Voor koeling wordt een onderscheid gemaakt tussen passieve en mechanische koeling. Daarnaast wordt ook nagegaan of het behoud van de bestaande radiatoren een optie is. Dit onderzoek gebeurt aan de hand van dynamische simulaties.

# 5.3 Secundaire onderzoeksonderwerpen

## 5.3.1 Circulariteit

Het begrip circulariteit moet in deze context breed geïnterpreteerd worden. Naast het hergebruiken van materialen en grondstoffen, is ook het herbestemmen en renoveren van gebouwen een circulaire praktijk. Bij het onderzoek naar de renovatie van de S-gebouwen zal circulariteit zich vooral uiten in het mogelijk maken van meerdere indelingen/functies. Hierbij is het belangrijk het gebouw in zijn indeling flexibel te maken. De technieken dienen op een toekomstbestendige manier geïmplementeerd te worden.

57. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2020

### 5.3.2 Akoestiek

Verschillende functies hebben verschillende akoestische eisen die behaald worden door de opbouw van vloeren, wanden en plafonds. Er bestaan verscheidene mogelijkheden voor de opbouw van deze constructieonderdelen. De implicaties hiervan en aspecten om rekening mee te houden, worden kort geschetst. Daarnaast wordt ook onderzocht of de nagalmtijd behaald kan worden zonder verlaagd plafond.

## 5.4 Aangenomen randvoorwaarden

### 5.4.1 Gebruik van groene energie

Het gebruik van groene/hernieuwbare energie wordt in het kader van dit onderzoek als vanzelfsprekend aangenomen. Dit als gevolg van de klimaatdoelstellingen geformuleerd door de Europese Unie, de Vlaamse overheid en de universiteit van Gent. Aangezien alle UGent gebouwen tegen 2050 fossielvrij moeten zijn, wordt groene energie een kritisch punt binnen de transitie van campus Sterre richting een duurzame campus.

Het gebruik van een BEO-veld in combinatie met een warmtenet met restwarmte van de servers, komt als beste optie naar voor in de studie van Sweco. In het onderzoek wordt daarom aangenomen dat dit scenario gebruikt zal worden - in combinatie met een warmtepomp - om aan de koel- en warmtevraag te voldoen. De warmtepomp kan overigens in dit scenario erg efficiënt werken door de hoge brontemperatuur van het warmtenet voor verwarming en de lage grondtemperatuur van het BEO-veld voor koeling.

### 5.4.2 Lage temperatuur verwarming

Het gebruik van hernieuwbare energiebronnen om het gebouw te verwarmen zal zich vertalen in het toepassen van een lage temperatuur verwarming (LTV). Bij verwarmen met een warmtepomp stijgt het rendement namelijk naarmate de watertemperatuur daalt. Verwarmen op lage temperatuur vraagt dus minder energie en wordt zo energie-efficiënter.<sup>58</sup>

58. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, z.d.

## 6 CONCEPTUEEL ONDERZOEK NAAR RENOVATIEMOGELIJKHEDEN OP GEBOUWNIVEAU

Werken op verschillende schalen, vertrekkende van globaal niveau en siteniveau, laat toe om doelstellingen te vertalen in specifieke onderzoeksonderwerpen zoals hierboven beschreven. De volgende stap is het onderzoeken van renovatiemogelijkheden op gebouwniveau. Hierbij worden algemene principes geschetst en wordt er gekeken hoe ze toegepast kunnen worden op de S4(bis), rekening houdend met haar deels beschermde karakter. Later zullen deze principes meer in de diepte onderzocht, berekend en uitgewerkt worden op verdiepingsniveau.

### 6.1 Energieprestatie

Zoals eerder vermeld, is het doel een BEN-gebouw te bereiken met een bijhorend E-peil naargelang de functie. Er wordt eerst gekeken wat het huidige E-peil is, om een beeld te krijgen hoe ingrijpend de genomen maatregelen bij renovatie moeten zijn. Later worden concrete maatregelen uitgewerkt op verdiepingsniveau. Op het einde van het onderzoek wordt er teruggekoppeld naar gebouwniveau, waarbij er gekeken wordt of de eisen gehaald worden op vlak van E-peil bij de voorgestelde renovatie.

#### 6.1.1 Berekening E-peil

Voor niet-residentiële gebouwen wordt het E-peil berekend aan de hand van de EPN-methode (rekenmethode voor de bepaling van het E-peil van niet-residentiële gebouwen). Deze methode is in gebruik sinds 2017 en is gebaseerd op de EPU-methode (rekenmethode voor de bepaling van het E-peil van kantoren en schoolgebouwen) en de EPW-methode (rekenmethode voor de bepaling van het E-peil van woningen). De EPU-methode was van toepassing tot 2017, maar gold enkel voor scholen en kantoren.<sup>59</sup> De EPW-methode is de basismethode om het E-peil te berekenen die geldt voor wooneenheden.<sup>60</sup>

De berekening van het E-peil gebeurt met de EPB-software 3G. Om de resultaten ervan te begrijpen, is het belangrijk de achterliggende berekeningen van de software eerst kort te verklaren.

De ‘notional building approach’ wordt hierin toegepast. Het jaarlijks primair energieverbruik van het werkelijke gebouw wordt berekend, waarna dit gedeeld wordt door een referentiewaarde voor het karakteristiek jaarlijks energieverbruik van een ‘notional building’. Dit is een vergelijkbaar gebouw met dezelfde geometrie, inplanting en indeling in functionele delen waarop een vast referentiemaatregelenpakket voor de gebouwschil en de systemen wordt toegepast. Door deze twee getallen met elkaar te vergelijken, kan de energie-efficiëntie van het werkelijke gebouw objectief bepaald worden.

59. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2018

60. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2018

$$E_{EPNR} = 100 * \frac{E_{char\ ann\ prim\ en\ cons}}{E_{char\ ann\ prim\ en\ cons,ref}} [-]$$

Met:

$E_{EPNR}$ : het E-peil van de EPN-eenheid

$E_{char\ ann\ prim\ en\ cons}$ : Karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik EPN-eenheid [MJ]

$E_{char\ ann\ prim\ en\ cons,ref}$ : Referentiewaarde voor het karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik [MJ]

Hoe de verschillende componenten concreet berekend worden en welke correcties erop toegepast worden, is deel van het Energiebesluit van de Vlaamse Overheid en wordt toegelicht in de EPN-cursus van het Vlaams energieagentschap.<sup>61</sup>

### Opdeling in functionele delen

Zowel de noemer als de teller worden bepaald per EPN-eenheid. Dit zijn gebouwdelen met verschillende functies, die andere energetische karakteristieken hebben, bijvoorbeeld kantoor, school, zwembad... Deze karakteristieken bepalen mee de energiebehoefte omdat er een ander gebouwgebruik is, het is dus belangrijk hier rekening mee te houden. In de software worden deze EPN-eenheden ingegeven als aparte functionele delen, waaraan telkens de respectievelijke functie toegekend wordt.

Als er zich maar 1 functie in het gebouw bevindt, dan geldt de bijhorende eis omtrent het E-peil van deze functie voor het volledige gebouw. Indien er meerdere functionele delen aanwezig zijn, dan wordt aan elk functioneel deel een andere eis voor het E-peil gekoppeld, zoals vastgelegd door de EPB-regelgeving. De E-peileis voor het totale gebouw wordt dan berekend aan de hand van een oppervlaktegewogen gemiddelde.<sup>62</sup>

### Berekening karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik

Het karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik wordt in een aantal stappen berekend. Eerst wordt de maandelijks netto-energiebehoefte per functioneel deel bepaald voor ruimteverwarming en – koeling, bevochtiging en warm tapwater. Hieruit wordt de bruto-energiebehoefte berekend door de thermische energieverliezen van de verdeellicingen te bepalen en in te rekenen. Daarna wordt het rendement van (de) opwerkingstoestel(len) ingebracht, waarmee men tot het eindenergieverbruik komt. Daarnaast wordt ook de hulpenergie en verlichting ingerekend. Als men deze verbruiken van alle functionele delen samentelt, komt men tot het karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik. Bij de berekening van het energieverbruik wordt telkens rekening gehouden met de functie-specifieke parameters van het functionele deel.

61. Vlaams energieagentschap, 2018

62. Vlaams energieagentschap, 2018

## 6.1.2 Berekening huidige E-peil

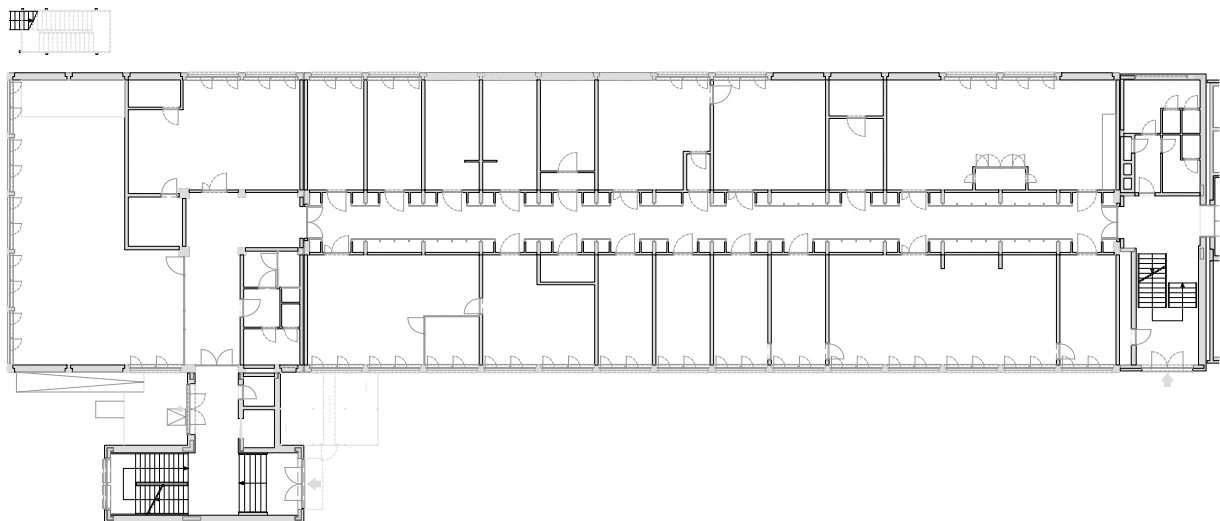
Het E-peil is normaal een instrument dat gebruikt wordt bij nieuwbouw of (ingrijpende) energetische renovaties, om na te gaan of aan de energetische eisen voldaan wordt. Aangezien het E-peil een maat is voor de globale energieprestatie van een gebouw, wordt het E-peil hier ook berekend voor de huidige situatie van S4. Hieruit kan afgeleid worden hoe het op theoretisch vlak gesteld is met de energieprestatie van de S4.

### Ingave gegevens in de software

Voor de berekening werd gebruik gemaakt van de beschikbare info die verkregen werd vanuit de UGent, zoals inventarissen omtrent technische installaties en (archief)plannen. Ondanks de info die ter beschikking gesteld werd, zijn er nog steeds veel onzekerheden over de eigenschappen van de huidige toestand. Er werden bijgevolg een aantal aannames gemaakt om het E-peil te berekenen. De belangrijkste gegevens die gebruikt zijn in het E-peil worden hieronder aangehaald, samen met de aannames die hierbij gemaakt zijn.

#### *Functionele delen*

Elke verdieping in gebouw S4 is ingegeven als een apart functioneel deel. Aan de kelder is de functie 'Technische ruimten' gegeven waarbij geen verwarming ingerekend wordt. Dit is toegelaten aangezien deze volledige verdieping niet verwarmd wordt.<sup>63</sup> De andere verdiepingen krijgen de functie 'Onderwijs'. Op elke verdieping zijn de ruimtes ingegeven met bijhorende functie, zoals leslokaal, kantoor, laboratorium..., zoals aangegeven staat op de fysische inventarisplannen die verkregen zijn via de Directie Gebouwen en facilitair beheer (DGFB).<sup>64</sup> Het gebouw S4 is ingegeven tot aan de scheidingsmuur met S4bis, ter referentie is hieronder het grondplan van het gelijkvloers weergegeven, zoals ingegeven in EPB.



Figuur 34: Plan van het gelijkvloers in de S4, zoals ingegeven in de EPB software (Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2022)

#### *Lekdebiet*

Ook het lekdebiet bij 50Pa per eenheid oppervlakte is niet gekend. Er wordt aangegeven dat hier met de waarde van ontstentenis gerekend moet worden, deze is gelijk aan  $12 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ .

63. Vlaams energieagentschap, 2018

64. Directie Gebouwen en Facilitair beheer, 2021

### *Technische opwekkers en verdeelsystemen*

De aanwezige ketels in de S4 staan vermeld in de ketelinventaris van de UGent. Als primaire opwekker is de gascondensatieketel 310 ECO7 van Remeha geïnstalleerd. Deze heeft een vermogen van 425 kW en is geïnstalleerd in 2009. De ketel heeft een rendement van 108,90% en een temperatuur van 40°C bij 30% deellast. Als secundaire opwekker is de Buderus G505/15 geïnstalleerd in 1989 met een vermogen van 465 kW. Omdat hiervan geen rendement te vinden was, werd de waarde bij ontstentenis aangeduid.<sup>65</sup> Voor de verwarming is er een verdeelsysteem ingegeven met water als transportmedium. De opwekkers zijn opgesplitst in een preferente en een niet-preferente opwekker met een piekvermogensschakelregeling.<sup>66</sup>

Er zijn een aantal lokale koelinstallaties aanwezig in S4. Aangezien de EPB software ervan uitgaat dat er draagbare koeling geplaatst zal worden bij oververhitting - die overigens erg efficiënt werkt aangezien ze manueel bediend wordt en enkel gebruikt wordt als er effectief oververhitting voorkomt – werd ervoor gekozen de werkelijke toestellen niet manueel in te geven in de EPB software. Wegens gebrek aan voldoende informatie zou de berekening van de manueel ingevoerde toestellen namelijk niet veel verschillen van de waarde bij ontstentenis voor koeling.<sup>67</sup>

De ventilatoren worden ook ingerekend aan de hand van een waarde bij ontstentenis.

### *Inertie*

Voor de inertie is er gebruik gemaakt van de vereenvoudigde berekening. Hierbij is de massa van de vloeropbouw berekend aan de hand van de diktes en materialen die in de archiefplannen van de UGent vermeld staan.<sup>68</sup> Dit komt neer op 345,4 kg/m<sup>2</sup>. Voor de massa van de vloer- en plafondconstructies is er dus gekozen voor  $100 \leq \text{min} \leq 400 \text{ kg/m}^2$ .

### *Verlichting*

Er zijn geen concrete vermogens gekend van de verlichting, maar in een vragenlijst daterende van 2018 omtrent het EPC wordt wel vermeld dat de verlichtingsarmaturen en lampen in S4 energie-efficiënt zijn. Bijgevolg wordt er gewerkt met de vuistregel dat energie-efficiënte verlichting maximaal 2,5 W/m<sup>2</sup> per 100 lux mag verbruiken. Deze waarde is telkens omgerekend naar de oppervlakte van de ruimte, met het bijhorende aantal vereiste lux naargelang de functie. Er is geen daglichtregeling of aanwezigheidsdetectie aanwezig.<sup>69 70</sup>

### *Sanitair warm water*

De aanmaak van het sanitair warm water gebeurt aan de hand van decentrale elektrische boilers. Verder zijn hierover echter geen gegevens gekend.<sup>71</sup> Aangezien er maar weinig locaties in het gebouw zijn met sanitair warm water (SWW) en bijgevolg ook weinig elektrische boilers, wordt aangenomen dat deze maar een beperkte impact hebben op het E-peil en wordt hier geen rekening mee gehouden.

65. Remeha, z.d.

66. UGent, 2022

67. Vlaams energieagentschap, 2018

68. Cnockaert, E. persoonlijke communicatie, 14 december 2021

69. UGent, 2018

70. Belgisch Instituut voor de Verlichtingskunde, z.d., p. 24

71. Cox, K. persoonlijke communicatie, 22 april 2022

### *Ventilatie*

Zoals eerder vermeld is er enkel mechanische ventilatie voorzien in de laboratoria, met afzuiging van lucht door de trekkasten en toevoer van lucht via compensatieluchtgroepen, zonder warmteterugwinning. Er is gekozen om in het E-peil enkel de debieten voor hygiënische ventilatie in te rekenen, gezien de extra debieten functiespecifiek zijn voor de laboratoria en een vertekend beeld zouden geven van de algemene energieprestatie van het gebouw op zich. De debieten van de hygiënische ventilatie in de labo's zijn echter niet gekend, als aanname hiervoor zijn de opgelegde minimumdebieten gebruikt die de EPB-software voorstelt voor de laboruimtes.

In de andere ruimtes is/zijn er geen mechanische ventilatie of natuurlijke toevoerroosters voorzien, maar berust de ventilatie op het openen van de ramen. Hierbij is ingegeven dat er geen toevoer- of afvoeropeningen aanwezig zijn, aangezien er geen permanent debiet gerealiseerd wordt. Er is wel aangegeven dat er aanvullende natuurlijke ventilatie is bij de ramen zelf.

### *Scheidingsconstructies*

De U-waarden die berekend zijn in hoofdstuk 4 zijn ingegeven in de software, waarbij de afmetingen en materialen uit de archiefplannen van de S4 gebruikt werden. De afmetingen van de ingegeven scheidingsconstructies zijn in bijlage 3 te vinden. De bouwknopen zijn niet in detail berekend, hierbij is aangeduid dat er een forfaitaire toeslag ingerekend moet worden voor de bouwknopen in EPB.

De g-waarde van het glas is niet gekend, maar er is een waarde van 0,78 aangenomen. Dit is de standaardwaarde voor verouderde beglazing in de IDEAS bibliotheek van Dymola, welke later in dit onderzoek gebruikt wordt voor dynamische simulaties.<sup>72</sup>

### *Zonnewering*

Er zijn enkel manueel bediende screens aanwezig aan de zuidoost kant van het gebouw van het gelijkvloers t.e.m. de tweede verdieping. Dit is ingegeven als mobiele buitenzonnewering die handbediend wordt. Voor de reductiefactor wordt de waarde bij ontstentenis gebruikt van 0,50, aangezien er geen gegevens beschikbaar zijn over de gebruikte zonneweringsdoeken.

## **Resultaat E-peil bestaande toestand**

Voor gebouw S4 wordt er een E-peil van 182 gehaald. Dit ligt ver boven de eis van 64 die het gebouw met de gedefinieerde samenstelling van functionele delen dient te halen bij een ingrijpende energetische renovatie. Ook de eis voor een BEN-gebouw, die bij deze samenstelling vastligt op 54, wordt ruim overschreden.<sup>73</sup>

Op verdiepingsniveau zal er een onderzoek gedaan worden hoe deze renovatie concreet vorm zou krijgen. Daarna wordt er teruggekoppeld naar gebouwniveau en wordt er gekeken of de E-peil eis gehaald wordt met de voorgestelde maatregelen.

72. IDEAS library, 2022

73. EPB-software 3G, 2022

## 6.2 Daglichttoetreding en oververhitting

### 6.2.1 Daglicht

Voor de gebruikers van een gebouw is natuurlijk licht aangenamer dan kunstmatig licht. In het tweede deel van de vorige eeuw werd echter massaal gebruik gemaakt van de mogelijkheden van kunstmatig licht. Na de energiecrisis werd natuurlijk licht opnieuw gewaardeerd, met als originele insteek het verlagen van de energiefactuur. Vandaag wordt daglicht ook gewaardeerd omwille van zijn invloed op het comfort en welzijn van de gebruiker. Daglichttoetreding in gebouwen moet dus geoptimaliseerd worden om een hoger comfort en welzijn voor de gebruiker te realiseren en het energieverbruik van kunstlicht te laten dalen.<sup>74</sup>

Nadelig aan een overvloedige daglichttoetreding is de kans op oververhitting door het teveel aan ongewenste zonnepinsten. Naast daglicht en zonlicht dringt namelijk ook de stralingswarmte van de zon de ruimte binnen. In de zomer moet daglicht ingezet worden om de ruimte op een natuurlijke manier te verlichten maar moeten extra warmtewinsten door zonnestraling zo veel mogelijk vermeden worden. In de winter daarentegen zijn deze warmtewinsten wel nuttig om de ruimte deels op te warmen.

Belangrijk voor de daglichttoetreding zijn de afmetingen van de gevelopeningen, deze zullen bepalen hoe groot de zone is die van natuurlijk licht kan genieten en hoe diep het licht de ruimte kan binnendringen. Om de daglichttoetreding binnen een ruimte te bepalen wordt er gebruik gemaakt van de daglichtfactor, dit is de verhouding van de verlichtingssterkte binnen tot de verlichtingssterkte buiten op een bewolkte dag. Concreet is de daglichtfactor de procentuele verhouding tussen de verlichtingssterkte binnen en buiten (lux-waarde) berekend bij een bewolkte hemel met een verlichtingssterkte van 10.000 lux. Men kan dus stellen dat een verlichtingssterkte in de binnenruimte van 500 lux overeenkomt met een daglichtfactor van 5%. Aan verschillende programma's worden verschillende minimale daglichtfactoren gekoppeld. In de norm NBN EN 12464-1<sup>75</sup> wordt de vereiste verlichtingssterkte bij verschillende programma's geschetst; laboratoria, kantoren en andere werkplaatsen hebben een verlichtingssterkte van 500 lux nodig.

Om te vermijden dat er veel energie verbruikt wordt door kunstmatig licht, moet men zoveel mogelijk daglicht de ruimte binnen laten om aan deze 500 lux te komen. Tabel A.3 in norm EN 17037:2018+A1 stelt de minimale waarde voor de daglichtfactor in België gelijk moet zijn aan 3,3% om aan een verlichtingssterkte groter dan of gelijk aan 500 lux te voldoen.<sup>76</sup> De daglichttoetreding in de ruimte kan bestudeerd worden aan de hand van een daglichtsimulatie.

### 6.2.2 Oververhitting

Bij goed geïsoleerde, luchtdichte gebouwen neemt de kans op oververhitting toe. De binnentemperatuur kan door de warmte van de zon snel stijgen en aangezien het gebouw sterk geïsoleerd en luchtdicht is, kan de warme lucht het gebouw niet gemakkelijk verlaten. Het probleem van oververhitting kan gecompenseerd worden door het voorzien van passieve of mechanische koeling. Men kan echter in de ontwerpfase al enkele beslissingen maken die het risico op oververhitting zullen verkleinen. Wanneer deze maatregelen niet genoeg blijken, moet ingezet worden op koeling.

74. Lechner, N, 2015, p. 403

75. NBN EN 12464-1, 2021

76. NBN EN 17037:2018+A1, 2021, p. 19



Zo moet men aandacht besteden aan de locatie en oriëntatie van glaspartijen en in het algemeen de hoeveelheid beglazing beperken. Ook de zonnewering en het type beglazing zullen een rol spelen. Men kiest het best voor beglazing met een lage g-factor, alhoewel deze de zonneprestaties in de winter beperkt. Ook een hoge thermische massa van het gebouw kan oververhitting tegengaan, door de thermische inertie wordt er warmte onttrokken aan de omgeving, opgeslagen en later weer vrijgegeven.<sup>77</sup> Bij het ontwerpen van het programma, implementeert men functies met veel interne warmtewinsten het best niet op plaatsen waar de kans op oververhitting het grootst is. Zo wordt bijvoorbeeld het best geen PC-lokaal aan een zuidgevel geplaatst omwille van de hoge interne warmtewinsten van de apparatuur.

### 6.2.3 Omgaan met daglichttoetreding en oververhitting

Zoals eerder vermeld is de daglichttoetreding afhankelijk van het seizoen, de oriëntatie van het gebouw, de omgeving en de afmetingen van de gevelopeningen. De grootste hoeveelheid direct zonlicht komt uit het zuiden, deze oriëntatie wordt dus als optimaal gezien om daglicht binnen te krijgen. Zonlicht uit het zuiden heeft echter wel een grote impact op de opwarming van de binnenruimte waardoor ruimtes met ramen georiënteerd op het zuiden een grote kans op oververhitting kennen. Gevels op het oosten en westen worden gekenmerkt door laag invallend zonlicht, het indringend licht kan reflecteren in de binnenruimte en verblinding veroorzaken wat voor ongemak bij de gebruiker zorgt. Gevels op het noorden krijgen typisch weinig zonlicht maar dit wel gedurende de hele dag.

Omgaan met daglichttoetreding en oververhitting kan met behulp van systemen die het binnendringen van daglicht en zonneprestaties in de ruimte regelen. Daarnaast speelt ook het kleurenpalet van de ruimte een rol bij het verspreiden en reflecteren van licht binnen de ruimte. Om het comfort te optimaliseren moet de vloer zo min mogelijk licht reflecteren om verblinding te voorkomen, terwijl het plafond typisch wel in een lichte kleur wordt afgewerkt om licht beter te reflecteren doorheen de ruimte.<sup>78</sup>

Er bestaan eenvoudige en meer complexe systemen die daglichttoetreding in gebouwen regelen. Aangezien er bij renovatie van S4(bis) gestreefd wordt naar een behoud van de vorm van het gebouw, worden systemen die de daglichttoetreding door de gevelopeningen regelen meegenomen.

#### Zonneweringen

Rolluiken, zonneschermen en gordijnen zijn voorbeelden van klassieke manieren om daglicht en zonnestraling buiten te houden. Deze systemen kunnen door de gebruiker zelf geregeld worden. Tegenwoordig bestaan er echter ook veel gestuurde systemen, bijvoorbeeld dynamische schermen die gestuurd kunnen worden door het meten van zonlicht, wind of temperatuur. Sterke wind zou buitenzonneweringen kunnen beschadigen, waardoor ze bij een bepaalde snelheid ingetrokken worden. Men moet er dus rekening mee houden dat bij hoge gebouwen, op winderige, zonnige zomerdagen buitenzonneweringen oververhitting niet zullen verhelen. Een ander nadeel aan zonneschermen, is dat ze in grote mate het zicht op de buitenomgeving wegnemen. Zonneschermen aan de buitenzijde vragen bovendien veel onderhoud en zijn gevoelig voor schade. Zonneweringen aan de binnenzijde houden de warmte moeilijker buiten.

77. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2019

78. Lechner, N, 2015, p. 415

De zonnewering absorbeert warmte van de zon en zal deze afgeven aan de binnenruimte, daarnaast kan de ruimte tussen het glas en de zonnewering opwarmen en kan ook deze warmte naar de binnenruimte ontsnappen. Hierdoor zijn buitenzonneweringen tot vier keer performanter dan binnenzonneweringen.<sup>79</sup>

### **Keuze van het glas**

De keuze van het gebruikte glas en bijkomende coatings is belangrijk voor de daglichttoetreding en de zonnewinsten binnen het gebouw. Bij glas bepaalt de lichttoetredingsfactor hoeveel licht het glas doorlaat. Deze factor wordt de LTA-waarde genoemd, een LTA-factor van 80% laat dus 80% van het invallend zichtbaar licht op het glas door. Daarnaast is ook de ZTA-factor of g-waarde van belang, de zontoetredingsfactor. Deze vertelt iets over hoeveel van de invallende zonne-energie door het glas doorgegeven wordt aan de binnenomgeving. Om de oververhitting te beperken, bijvoorbeeld in warme klimaten, wordt er best gekozen voor een zo laag mogelijke g-factor. De twee factoren staan in principe los van elkaar, maar kunnen elkaar wel in beperkte mate beïnvloeden.

Doorzichtig glas bestaat in verschillende vormen zoals helder, getint, warmte-absorberend, reflecterend en selectief glas. Elk type heeft een verschillende toepassing, getint, warmte-absorberend en reflecterend glas kunnen een negatieve invloed hebben op de daglichttoetreding.<sup>80</sup> In vergelijking met helder glas houden ze echter beter de warmte van de zon tegen, waardoor oververhitting tegengegaan wordt. Vandaag de dag zijn getint en reflecterend glas vervangen door 'selective low-e glazing'. De 'low-e coating' (lage emissiviteit) houdt de warme infraroodstraling tegen maar laat het zichtbaar licht door, wat zorgt voor een lage g-waarde en hoge LTA-factor.<sup>81</sup>

### **Dynamisch glas**

De laatste jaren wordt er meer en meer onderzoek gedaan naar dynamische beglazingsystemen. Dit zijn systemen die reageren op een impuls zoals licht, elektriciteit of warmte waardoor ze van kleur veranderen en hun g- en LTA-factor wijzigt. Door toenemend onderzoek worden deze systemen betrouwbaarder en goedkoper, waardoor ze zeker in aanmerking komen als systeem om met daglicht en oververhitting om te gaan. Binnen de dynamische beglazing is er een onderscheid tussen de passieve en de actieve systemen. De passieve systemen reageren op een niet-elektrische impuls zoals warmte en UV-straling, dit systeem kan niet door de gebruiker bestuurd worden. Actieve systemen reageren op een elektrische impuls en kunnen door de gebruiker manueel of automatisch bestuurd worden. Passieve systemen behoeven minder technologie en randapparatuur, maar reageren niet altijd even snel, waardoor er soms te weinig of te veel zonnewinsten en licht tegengehouden worden.

Onder de passieve systemen is thermochroom glas de bekendste toepassing. Dit glas wijzigt zijn transparantie als gevolg van een temperatuurwijziging. Het glas is doorzichtig bij lage temperaturen en reflecterend wit bij hoge temperaturen. Bij hoge temperaturen valt het zicht dus quasi volledig weg. Naast thermochroom glas bestaat ook foto-elektrochroom glas, een vorm van dynamische beglazing die reageert op wijzigende lichtomstandigheden. Een kleurstof geeft onder invloed van zonlicht een elektrische impuls door waardoor de transparantie van het glas wijzigt.

79. Lechner, N, 2015, p. 276

80. Lechner, N, 2015, p. 424

81. Lechner, N, 2015, p. 274

'Liquid crystal' glas, 'suspended-particle' glas en elektrochrom glas zijn voorbeelden van actieve systemen. De eerste twee systemen hebben ongeveer dezelfde werking waarbij kristallen zich herpositioneren onder invloed van een elektrische impuls waardoor ze transparant kunnen worden. De volledig transparante toestand vereist een constante stroomtoevoer, deze is echter zeer klein. 'Liquid crystal' glas kan niet naar een opake toestand gebracht worden, het glas kan hoogstens naar een doorschijnende stand gebracht worden. Hierdoor biedt het in beperkte mate weerstand tegen binnendringende zonnewarmte. 'Suspended-particle' glas komt wel in aanmerking omdat verschillende transparantiestanden mogelijk zijn en het zicht naar buiten niet volledig wegvalt. Electrochrom glas is echter de meest belovende onder de drie. Bij dit glas zijn er veel verschillende gradaties qua transparantie mogelijk. Het grootste voordeel zit in het feit dat er geen voortdurende stroomtoevoer nodig is om in verschillende toestanden te verkeren, er is telkens slechts een korte impuls nodig.<sup>82</sup>

#### 6.2.4 Toegepast op de S4(bis)

Het S4(bis) gebouw is OZO-WNW georiënteerd, hierdoor is er geen enkele gevel echt op het zuiden gericht, behalve de kopse gevel van de S4bis. Hier zijn de glaspartijen echter beperkt. Aangezien de S-gebouwen op campus Sterre opgenomen zijn in de inventaris onroerend erfgoed, moet het uitzicht van de gevel met zijn sterke ritmering en uitzicht van de gevelopeningen bewaard worden. Aanpassingen aan de gevel zoals het aanbrengen van luifels of verwijderen van gevelopeningen is dus niet vanzelfsprekend bij renovatie. De hierboven besproken principes kunnen echter wel ingezet worden om de daglichttoetreding en oververhitting in het gebouw te controleren. Op verdiepingsniveau zal er via een energetische simulatie nagegaan worden in welke ruimtes er mogelijks oververhitting zal optreden. Daarnaast kan er aan de hand van een daglichtsimulatie onderzocht worden wat de impact van de beglazing op de daglichttoetreding binnen de ruimte is.

82. Lechner, N, 2015, p. 275

## 6.3 Ventilatie

Bij ventilatie dient een onderscheid gemaakt te worden tussen hygiënische ventilatie en ventilatie voor koeling (of verwarming). Hygiënische ventilatie slaat op het verversen van de binnenlucht om een zekere binnenluchtkwaliteit te behalen. Deze binnenluchtkwaliteit wordt opgedeeld in verschillende klassen waarbij per klasse een bepaald toevoerdebiet per persoon per uur vastgelegd is. Volgens de norm NBN EN 13779<sup>83</sup> moet elke binnenruimte bestemd voor menselijke bezetting minstens voldoen aan de debieten van klasse IDA3 ('Indoor Air Quality'). Deze eist een toevoerdebiet tussen 22 en 36 m<sup>3</sup>/h per persoon. Afgelopen jaren werd duidelijk hoe belangrijk het verzekeren van een bepaalde binnenluchtkwaliteit is, waardoor nu steeds vaker gestreefd wordt naar een hoger toevoerdebiet dan dit van klasse IDA3.

Bij het inzetten van ventilatie om de ruimte te koelen, gaat het om een temperatuurverlaging door het binnenbrengen van lucht aan een temperatuur lager dan de binnenlucht. Het toevoerdebiet is hier afhankelijk van de temperatuurdaling die gerealiseerd moet worden.

Zowel ventilatie voor koeling als hygiënische ventilatie kunnen op natuurlijke, mechanische of hybride manier gerealiseerd worden. Bovendien kunnen ze ook beide gestuurd worden, hygiënische ventilatie door bijvoorbeeld een CO<sub>2</sub>-meter, ventilatie voor koeling door bijvoorbeeld de binnentemperatuur te meten. In wat volgt worden de mogelijke manieren van luchttoevoer en luchtafvoer besproken, later wordt dieper ingegaan op het koelen van de binnenruimte.

### 6.3.1 Natuurlijke ventilatie

Bij een natuurlijk ventilatiesysteem, ook wel een systeem A genoemd, gebeurt de toe- en afvoer van verse lucht binnen het gebouw op natuurlijke wijze. De toevoer van verse lucht verloopt via toevoerroosters in vensters of muren, maar kan ook gerealiseerd worden door openstaande ramen. Er kan gewerkt worden met gestuurde systemen die op bepaalde momenten de roosters of ramen openzetten om een bepaald toevoerdebiet te verkrijgen. Het afvoeren van vervuilde lucht in natte ruimten gebeurt op natuurlijke wijze via (verticale) afvoerkanalen met regelbare roosters. Tussen plaatsen met toevoer en afvoer is er doorstroom van lucht. Dit verloopt langs roosters in binnenwanden of -deuren, of langs spleten onder de binnendeuren.<sup>84</sup>

Het systeem kent enkele voor- en nadelen. Het grootste voordeel is de lage kostprijs aangezien er geen energie vereist is voor de toe- en afvoer. Bovendien is er beperkt onderhoud nodig. Een belangrijk nadeel is dat het systeem niet regelbaar is, het is volledig afhankelijk van de weersomstandigheden. Bij weinig wind zal er niet veel circulatie doorheen het gebouw zijn, bij veel wind treden soms grote ventilatieverliezen op. Bovendien moet terugstroming van lucht vermeden worden om de doorstroming doorheen het gebouw te verzekeren.

83. NBN EN 13779 NL, 2010

84. Vlaams energie- en klimaatagentschap, 2019

## Principes

Natuurlijke ventilatie kan op verschillende manieren gerealiseerd worden. De methodes worden onderverdeeld in dwarsventilatie, schachtventilatie en luchten. Dwarsventilatie is gebaseerd op het luchtdrukverschil tussen twee tegenoverliggende gevels, waardoor lucht van de ene gevel naar de andere gevel stroomt. Schachtventilatie maakt gebruik van een ventilatieschacht over de hoogte van het gebouw. Door luchtdrukverschil tussen de onderkant en de bovenkant van de schacht, ontstaat er een luchtstroming. Bij luchten wordt er per vertrek een raam geopend, om de binnenlucht te verversen met buitenlucht die het vertrek binnenkomt.<sup>85</sup>

### *Dwarsventilatie*

Lucht stroomt van plaatsen met een hoge druk naar plaatsen met een lage druk. Wind die op een gebouw inslaat kan drukverschillen over de verschillende gevels veroorzaken. Wind botst op de loefzijde van het gebouw, hier ontstaan positieve winddrukken. Aan de bovenzijde en de lijzijde van het gebouw wordt er een negatieve winddruk gecreëerd. Bij dwarsventilatie circuleert de lucht binnen het gebouw door het drukverschil tussen loef- en lijzijde.<sup>86</sup>

De winddrukken op een gevel bereiken een maximale waarde wanneer de wind loodrecht op de gevel inslaat. De druk wordt tot 50% gereduceerd wanneer de invalshoek richting de 45° evolueert. Het is echter zo dat de circulatie van lucht binnen de ruimte beter is wanneer de wind niet loodrecht op de gevel inslaat. In dat laatste geval loopt men namelijk het gevaar dat de wind bijvoorbeeld enkel door het midden van de ruimte loopt.<sup>87</sup>

Het drukverschil over beide gevels moet voldoende groot zijn zodat lucht kan doorstromen tussen beide kanten van het gebouw. Bovendien moeten er genoeg doorstroombmogelijkheden zijn bij de verschillende scheidingsconstructies tussen twee gevels. Bij windstilte moet de circulatie van lucht doorheen het gebouw ook gerealiseerd worden om de continuïteit van de ventilatie te verzekeren. Het realiseren van dwarsventilatie is haast onmogelijk bij de afwezigheid van wind aangezien er geen drukverschil ontstaat.

### *Schachtventilatie*

Naast dwarsventilatie kan er ook gebruik gemaakt worden van schachtventilatie. Om de extractie van binnenlucht mogelijk te maken, steunt men op het schouweffect, dat berust op natuurlijke convectie. Warme lucht heeft een lagere massadichtheid dan koude lucht, waardoor ze volgens de wet van Archimedes zal stijgen. Door het drukverschil tussen binnen en buiten zal onderaan het gebouw koude lucht binnenstromen en hoger in het gebouw zal de warme lucht naar buiten stromen.<sup>88</sup> Het voordeel hier is de onafhankelijkheid van de wind, maar het is een erg zwak natuurlijk proces waarbij lucht traag circuleert.<sup>89</sup>

Een combinatie van wind en het schouweffect zorgt voor een betere luchtcirculatie doorheen het gebouw. De snelheid van de wind neemt toe met de hoogte, waardoor de statische druk ook afneemt. Door het drukverschil bovenaan de schouw zal de lucht van de onderste verdiepingen naar de bovenste verdiepingen gezogen worden, dit is het Bernoulli effect.<sup>90</sup>

85. Notenbomer, 2009, p17

86. Lechner, N, 2015, p. 294

87. Lechner, N, 2015, p. 297

88. CIBSE, 2005, p.11

89. Lechner, N, 2015, p. 297

90. Lechner, N, 2015, p. 295

Systeem A maakt gebruik van deze drukverschillen om de luchtcirculatie doorheen een gebouw te realiseren. Echter is het wel belangrijk dat de doorstroming verzekerd kan worden en de te overbruggen afstand tussen aan- en afvoerpunt dus beperkt wordt. Wanneer de afstand groter wordt, zal er een groter drukverschil nodig zijn om de doorstroom te verzekeren.

### *Windtorens en windvangers*

De windtoren is een eeuwenoud concept waarbij een toren de wind vangt, waarna deze in het gebouw geleid wordt ter koeling van de binnenruimte. Met windtorens is het mogelijk om natuurlijke ventilatie op een gecontroleerde toe te passen in een gebouw. De werking van windtorens is gebaseerd op een luchtdrukverschil. Doordat wind over het gebouw waait - waar een toren geïnstalleerd is waar de wind door waait - wordt de wind 'gevangen' op het dak, waarna ze door het gebouw heen wordt geleid.<sup>91</sup> Naast torens worden tegenwoordig ook windvangers gebruikt. Deze zijn het moderne equivalent van windtorens aangezien deze in alle richtingen kunnen draaien om de wind op te vangen en zo hun effectiviteit te verhogen. Windtorens en windvangers steken best zo hoog mogelijk boven het gebouw uit, aangezien de snelheid van de wind daar hoger ligt. Verder hebben deze constructies een grote architecturale impact op een gebouw, waar men ook rekening mee moet houden bij de keuze voor deze strategie.

91. Notenbomer, 2009, p31

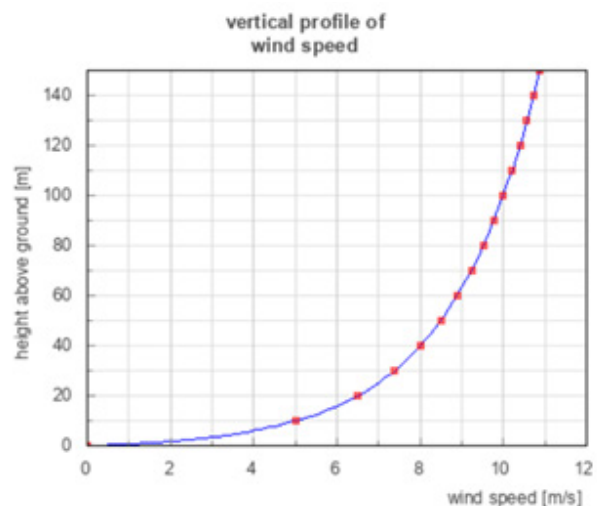
## Toegepast op de S4(bis)

### Windanalyse S4(bis)

In België komt de wind vooral uit het zuidwesten, met een gemiddelde snelheid van 4,9 m/s gemeten te Ukkel op 10 meter hoogte.<sup>92</sup> De S4(bis) is ZZW-NNO georiënteerd waardoor het gebouw dus bijna evenwijdig ligt met de dominante windrichting, wat niet optimaal is voor de luchtdrukken op de verschillende gevels. Zoals eerder vermeld kan de niet-loodrechte inval wel zorgen voor een betere circulatie binnen de ruimte.

Om de winddrukken op de gevels van het S4(bis) gebouw te onderzoeken wordt een simulatie uitgevoerd in het programma RWind van Dlubal.<sup>93</sup> Hier wordt een model van campus Sterre in een windtunnel geplaatst die de windsituatie op de site nabootst. Zo wordt ook de invloed van omliggende gebouwen meegenomen. Om een correcte situatie te simuleren werd een zuidwestenwind nagebootst met volgend windprofiel.

height above ground	wind speed
150 m	10.88 m/s
140 m	10.73 m/s
130 m	10.57 m/s
120 m	10.40 m/s
110 m	10.21 m/s
100 m	10.00 m/s
90 m	9.77 m/s
80 m	9.52 m/s
70 m	9.23 m/s
60 m	8.89 m/s
50 m	8.49 m/s
40 m	8.01 m/s
30 m	7.39 m/s
20 m	6.51 m/s
10 m	5.00 m/s



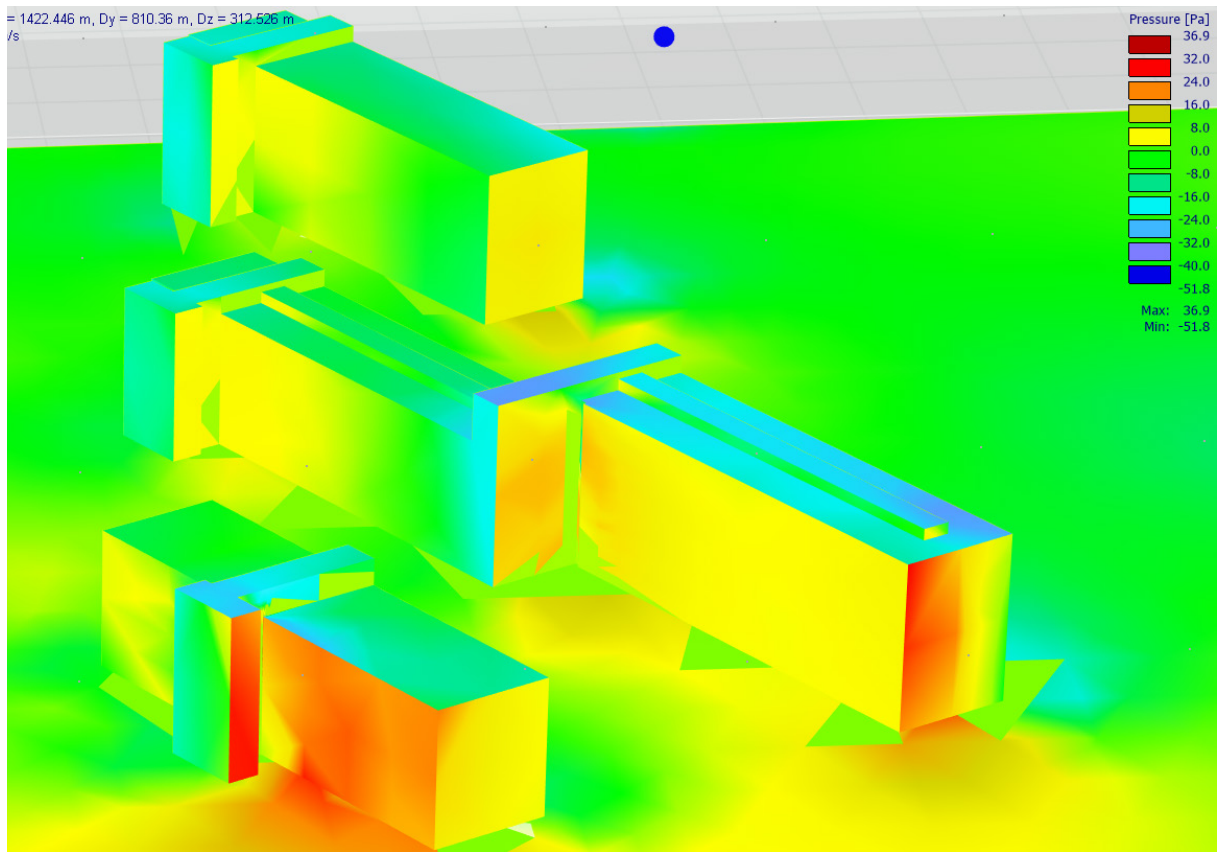
Figuur 35: windprofiel gebruikt bij windsimulatie op campus Sterre (Swiss Wind Power Data Website, 2022)

Het simuleren van de wind op de campus geeft resultaten voor de druk [Pa] die de wind veroorzaakt op de verschillende gevels. Zoals voorspeld blijven de winddrukken eerder laag gezien de oriëntatie van het gebouw. De gevel van het gebouw aan de Krijgslaan krijgt zo winddrukken die variëren tussen de 18 Pa en -6 Pa. De gevel van de S4bis geniet grotere overdrukken (gemiddeld 8 Pa) dan de gevel van de S4, deze gevel wordt door de S5 grotendeels afgeschermd waardoor er zelfs negatieve winddrukken aan de gevel voorkomen zoals te zien op figuur 36.

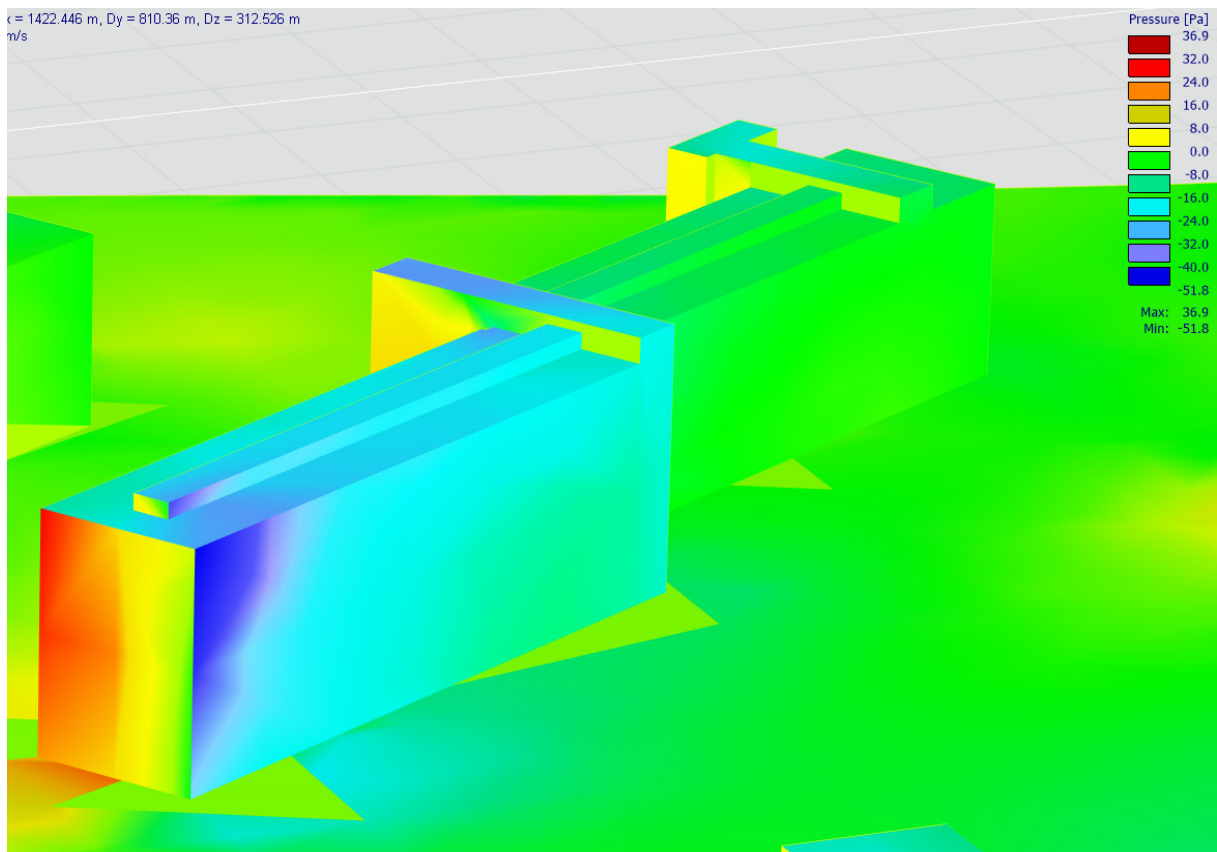
Hetzelfde principe komt voor aan tegenovergestelde gevels. De gevel van de S4bis heeft de grootste onderdrukken, bij de S4 zijn deze opnieuw beperkt. Gemiddeld gezien bedraagt de onderdruk aan de gevel van de S4bis -15 Pa, aan de gevel van de S4 is dit gemiddeld gezien slechts -4 Pa. Het grootste drukverschil tussen tegenovergestelde gevels, is te vinden bij de S4bis. Het drukverschil tussen deze gevels bij de S4 is eerder beperkt. In wat volgt wordt nagegaan of deze drukverschillen mogelijkheid bieden tot natuurlijke ventilatie.

92. Deboosere, F., z.d.

93. Dlubal, RWind, 2021



Figuur 36: winddrukken op de gevels van de S4(bis) aan de kant van de De Pintelaan (Dlubal, RWind, 2021)



Figuur 37: winddrukken op de gevels van de S4(bis) aan de kant van de De Pintelaan (Dlubal, RWind, 2021)



## *Principes*

### *Dwarsventilatie*

Gezien het kleine drukverschil tussen loef- en lijzijde van de S4, de weinige doorstroombmogelijkheden binnen het gebouw en de afstand van 16 meter tussen aan- en afvoer van lucht lijkt het implementeren van dwarsventilatie overal in het gebouw geen goede keuze. Bijkomende doorstroomvoorzieningen implementeren zou een grote kost met zich meebrengen en een grote impact hebben op programmafexibiliteit in het gebouw door de akoestische nadelen. De drukverschillen bij de S4bis zijn echter wel aanzienlijk, waardoor dwarsventilatie voor dit deel van het gebouw wel een optie is.

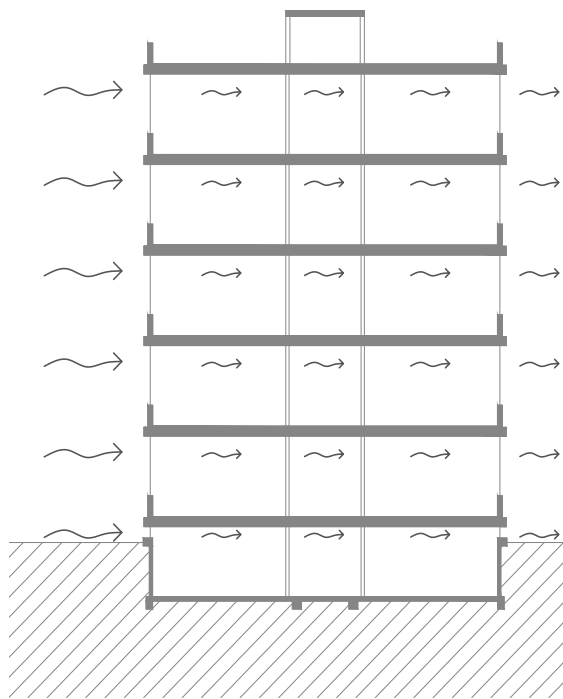
### *Schachtventilatie*

Het schouweffect is een natuurlijk proces dat ook in de afwezigheid van wind voorkomt, maar zoals eerder vermeld is het een traag proces waarbij lucht niet snel circuleert. Opdat schachtventilatie in werking kan treden in het gebouw moeten er verticale schachten aanwezig zijn. Zoals eerder vermeld zijn er om de 3 meter, aan weerszijden van de gang verticale schachten ingebouwd, die over de volledige hoogte van het gebouw lopen. Na renovatie kunnen deze schachten ingezet worden om ventilatievoorzieningen in te verwerken.

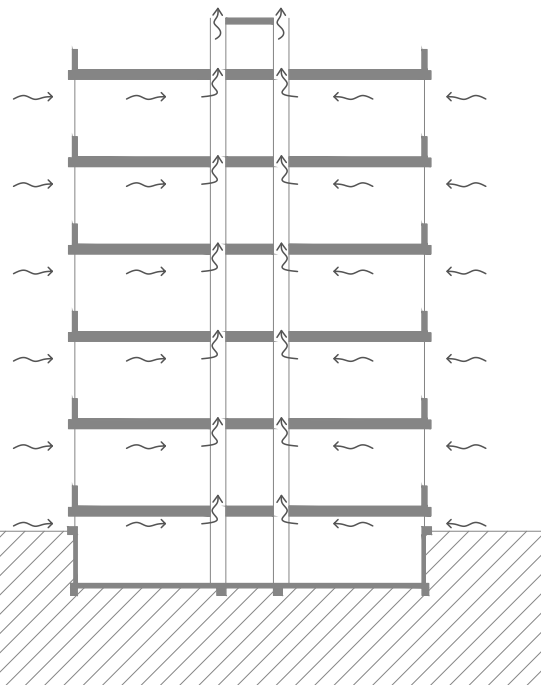
Wanneer wind opsteekt, wordt aan beide zijden van het gebouw een verschillende invloed bekomen. Aan de loefzijde van het gebouw zal de wind het schouweffect versterken, terwijl aan de bovenkant van de schouw de wind een zuigende kracht realiseert door negatieve drukken. Dit effect kan versterkt worden door gebruik te maken van zogenaamde windgekken. Deze vergroten de onderdruk bovenaan de extractieschacht waardoor er een grotere zuigkracht ontstaat. Aan de lijzijde van het gebouw zal echter ook een negatieve winddruk gecreëerd worden die de lucht uit de binnenruimte zal zuigen aangezien haar kracht de werking van het schouweffect overstemt. Hierdoor zal de schachtventilatie verstoord worden en zal er geen toevoer van verse buitenlucht ontstaan in de binnenruimtes aan de lijzijde.

### *Windvanger*

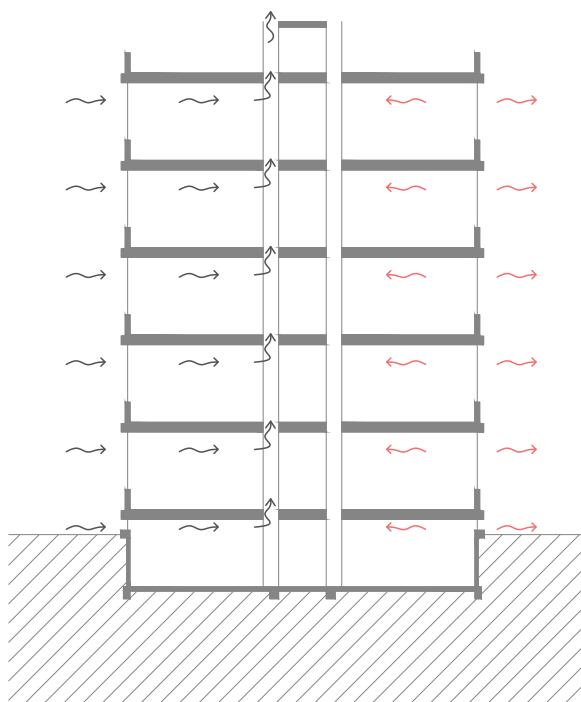
Bovenstaand probleem zou bij wind opgelost kunnen worden door het installeren van windvangers. Bij sterke wind kunnen deze windvangers de wind opvangen en de ruimtes aan de lijzijde van verse lucht voorzien. Opnieuw zouden de bestaande extractiekanalen hier dienst kunnen doen. Om verse lucht zo diep mogelijk in het gebouw te krijgen zullen de windvangers zich positioneren naar de richting van de wind.



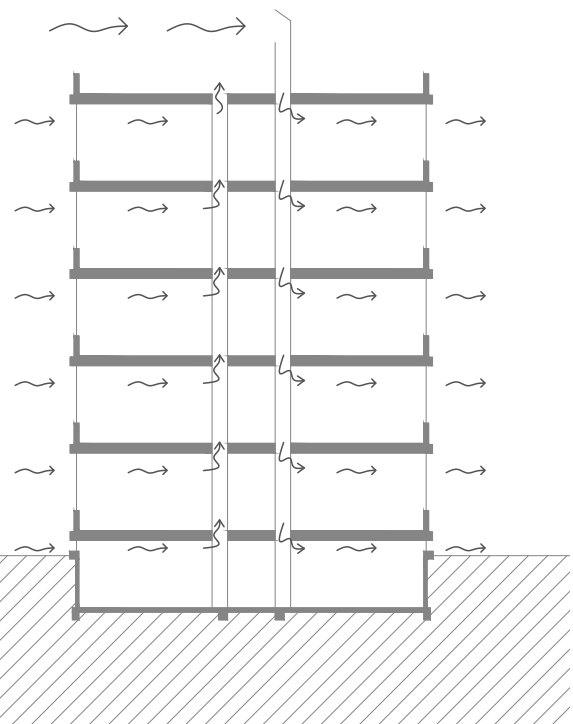
Figuur 38: dwarsventilatie toegepast op de S4(bis)



Figuur 39: schachtventilatie toegepast op de S4(bis)



Figuur 40: terugloop bij schachtventilatie bij wind bij de S4(bis)



Figuur 41: windvanger toegepast op de S4(bis)

### *Conclusie*

Het implementeren van natuurlijke ventilatie op gebouwniveau, na renovatie van de S4(bis) lijkt enkel mogelijk wanneer er berust wordt op het principe van het schouweffect bijgestuurd door windvangers. Deze combinatie biedt de mogelijkheid om op een natuurlijke wijze verse lucht in elke binnenruimte te krijgen, gezien de oriëntatie van het gebouw en de aangrijpende windlasten.

De kans tot slagen van dit principe moet afgeleid worden uit het nodige toevoerdebiet van elke ruimte. Aangezien natuurlijke convectie geen grote luchtverplaatsingen met zich meebrengt, zal op een windstille dag naar alle waarschijnlijkheid niet voldaan worden aan de vereiste debieten. Voor verschillende gevallen van geen, weinig of veel wind moet men doorstroomberekeningen uitvoeren om na te gaan of elke ruimte op het nodige debiet toevoerlucht kan rekenen. De windanalyse van de gevels van het S4(bis) gebouw vertoont echter wel veel variatie in winddrukken over de gevels. Zo is de druk op de gevel van de S4 eerder beperkt is en zelfs negatief op bepaalde delen van de gevel. Bijgevolg zal ook hier een zuigende kracht heersen bij wind, wat net zoals aan de lizijde gevaar op terugloop inhoudt.

Er wordt geconcludeerd dat het berusten op schachtventilatie in combinatie met luchttoevoer via windvangers wellicht geen sluitende oplossing is voor de ventilatie van het gebouw. Er zijn te grote variaties in winddrukken over de gevel waardoor het systeem niet op elke plaats in het gebouw naar behoren zal werken. Bovendien is het behalen van de nodige toevoerdebieten wanneer er enkel op het schouweffect berust wordt een zaak die gedetailleerd onderzocht moet worden.

## 6.3.2 Mechanische ventilatie

### Systeem D

Mechanische ventilatie is het tegenovergestelde van natuurlijke ventilatie. Bij een systeem D gebeurt het aan- en afvoeren van lucht op mechanische wijze, aan de hand van ventilatoren. Dit resulteert in een controleerbaar systeem dat onafhankelijk is van de buitenomgeving. Het systeem brengt enkele voor- en nadelen met zich mee. Aangezien toe- en afvoeren mechanisch gebeurt, is het systeem volledig onafhankelijk van de buitenomgeving. De gebruiker kan het systeem regelen volgens zijn noden en op elk gewenst moment de debieten (en temperatuur) regelen naar zijn wens. Een ander groot voordeel is de mogelijkheid tot warmteterugwinning, waarbij de warmte van de afgevoerde lucht gerecupereerd wordt. Door de regelbaarheid van aan- en afvoer zijn er minder problemen met onder- en overdruk, wat meer voorkomt bij hybride ventilatie.<sup>94</sup> Aangezien er geen natuurlijke toevoeringen zijn, worden bijkomende ventilatieverliezen vermeden.

Nadelig aan het systeem is het hoge energiegebruik, aangezien lucht aan- en afgevoerd wordt door meerdere elektrische ventilatoren. Dit wordt vaak gecompenseerd door lagere ventilatieverliezen als gevolg van de warmterecuperatie uit afgevoerde lucht. Daarnaast neemt het inwerken van dubbel kanaalwerk in het gebouw zeer veel plaats in, en heeft dit een grote impact op het ontwerp. De omvang van de installatie brengt ook een verhoogde kost en onderhoud met zich mee.

### Systeem C

Hier wordt lucht op een natuurlijke manier aangevoerd en mechanisch afgevoerd. De toevoer van verse lucht verloopt via natuurlijke toevoerroosters. De afvoer van vervuilde lucht gebeurt mechanisch aan de hand van elektrische ventilatoren. Tussen plaatsen met toevoer en afvoer is er doorstroom van lucht. Dit verloopt langs roosters in binnenwanden of -deuren, of langs spleten onder de binnendeuren.<sup>95</sup> Door het deels mechanische karakter van het systeem wordt de afhankelijkheid van weersomstandigheden beperkt. Het afvoeren van vervuilde lucht uit de ruimte zorgt voor een automatische aanvoer van verse lucht. Het is wel belangrijk voor het binnencomfort dat men geen te grote onderdruk creëert.

Aangezien enkel de afvoer op mechanische wijze gebeurt, wordt er bespaard op infrastructuur en energie. De grootste troef van mechanische ventilatie - de warmteterugwinning om de toevoerlucht voor te verwarmen - valt hier weg. Wel zijn er warmtewisselaars beschikbaar die bij een systeem C de warmte recupereren door deze door te geven aan het water van de centrale verwarming.

94. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2020

95. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2019

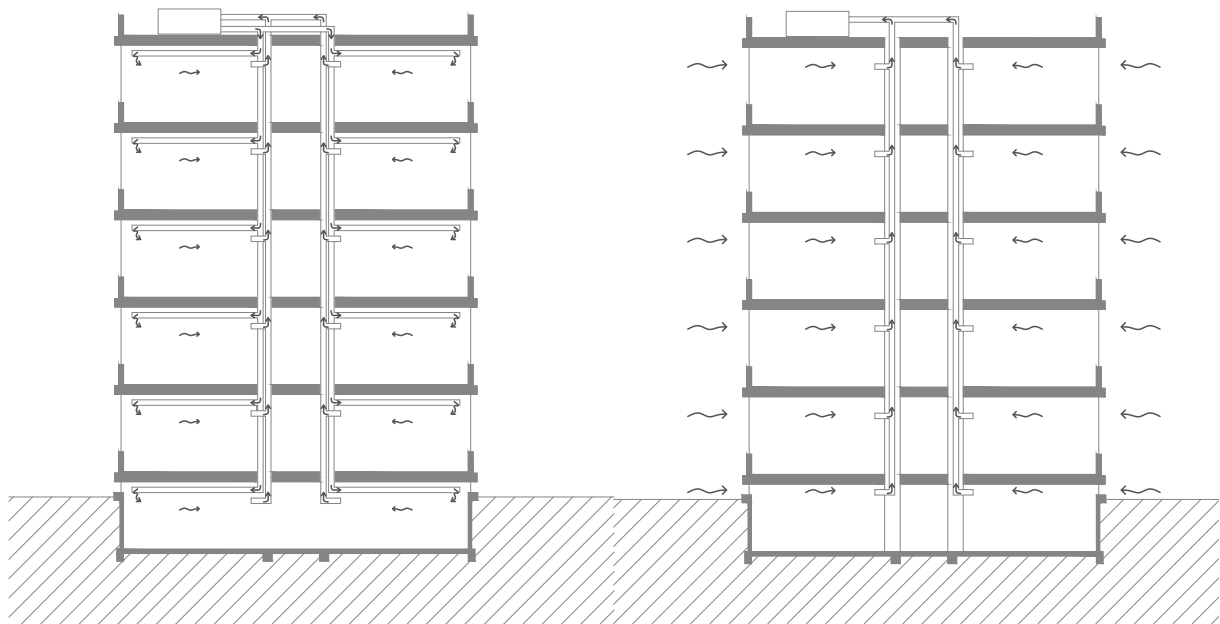
## Toegepast op de S4(bis)

### *Systeem D*

In het S4(bis) gebouw zou men mechanische ventilatie kunnen implementeren door gebruik te maken van de verticale schachten in het gebouw. Er moet wel nagegaan worden welke doorsnedes de kanalen zouden hebben na het berekenen van de nodige aan- en afvoerdebieten. Aangezien er zeer veel van deze schachten aanwezig zijn, lijkt het wel dat er genoeg mogelijkheden zijn om mechanische ventilatie te implementeren op gebouwniveau. Een luchtgroep kan geplaatst worden in de kelder of op het dak van het gebouw.

### *Systeem C*

Het installeren van een systeem C zou vlotter moeten verlopen aangezien er geen dubbel kanaalwerk voorzien moet worden. Lucht komt het gebouw binnen langs natuurlijke toevoerroosters in de ramen en wordt mechanisch uit de ruimte gezogen door ventilatoren die verbonden zijn met extractiekanalen. Deze kanalen worden opnieuw geplaatst in de bestaande verticale schachten. Een luchtgroep kan geplaatst worden in de kelder of op het dak van het gebouw.



### *Conclusie*

Zowel een systeem C als een systeem D kan toegepast worden in het S4(bis) gebouw. Het realiseren van de gevraagde toe- en afvoerdebieten zou hier vlotter moeten verlopen dan bij natuurlijke ventilatie. Er mag niet van uitgegaan worden dat mechanische ventilatie altijd eenvoudig te installeren is. Zo moet er gelet worden op voldoende afstand tussen pulsie- en extractielocatie van de luchtgroep. Wanneer de luchtgroep op het dak geplaatst wordt, warmt de luchtgroep op door de rechtstreekse straling van de zon. Daarnaast loopt men het risico op aanzuigen van warme lucht (door de opwarming van het dak) terwijl men in de zomer liefst koude lucht zou aanzuigen om in de ruimte toe te voeren. Dit kan deels verholpen worden door op andere plaatsen, zoals aan de gevel of bij de kelder lucht aan te zuigen. Bij het bepalen van de locatie van de luchtgroep en de pulsie- en extractielocatie moet er steeds rekening gehouden worden met de impact van het kanaalwerk op de binnenomgeving.

Wanneer mechanische ventilatie aan de hand van een systeem D naast natuurlijke ventilatie geplaatst wordt, zitten de grootste verschillen in de regelbaarheid en energiezuinigheid van de systemen. Bij mechanische ventilatie wordt het hoogste comfort voor de gebruiker verkregen, maar bij veel systemen is het verbruik van de ventilatoren enorm. Wanneer natuurlijke ventilatie toepasbaar is, kunnen grote energiebesparingen doorgevoerd worden, aangezien er dan geen verbruik van de ventilatoren is. Deze energiebesparingen kunnen bij natuurlijke ventilatie echter wel tenietgedaan worden door de ventilatieverliezen. Het inleveren van mechanische toe- of afvoer betekent natuurlijk ook het deels inleveren van de regelbaarheid van het systeem en de garantie dat de gewenste debieten steeds behaald worden. De afweging tussen energiegebruik en stuurbaarheid van het binnencomfort moet steeds gemaakt worden.

### 6.3.3 Hybride ventilatie

Natuurlijke ventilatie voldoet geregeld niet aan de eisen van de gebruiker en mechanische ventilatie heeft een grote impact op de kost en het gebouw. De gulden middenweg kan gevonden worden in hybride systemen. Let wel, er wordt pas gesproken van een hybride systeem wanneer de wisselwerking tussen natuurlijke en mechanische ventilatie geoptimaliseerd wordt. Dit betekent zo veel mogelijk gebruik maken van de mogelijkheden tot natuurlijke ventilatie en mechanisch bijsturen wanneer nodig.<sup>96</sup> Een groot voordeel bij mechanische ventilatie is de warmterecuperatie door de warmtewisselaar. De mogelijkheden om warmterecuperatie door te voeren bij hybride ventilatie moeten zeker ook onderzocht worden.

#### Principes

De drie voornaamste principes van hybride ventilatie zijn natuurlijke ventilatie ondersteund door ventilatoren, de combinatie van natuurlijke en mechanische ventilatie en mechanische ventilatie ondersteund door wind en het schouweffect.<sup>97</sup> Bovendien is het in sommige gevallen noodzakelijk om ventilatie met het oog op binnenluchtkwaliteit en ventilatie ter controle van de binnentemperatuur van elkaar te scheiden.

##### *Natuurlijke ventilatie ondersteund door ventilatoren*

Bij 'natuurlijke ventilatie ondersteund door ventilatoren' wordt de natuurlijke schachtventilatie ondersteund door mechanische extractieventilatoren. Zo kan er bijvoorbeeld bovenaan de extractieschacht een ventilator geplaatst worden die op nodige momenten extra zuigkracht biedt zodat de luchtcirculatie doorheen het gebouw constant blijft. Het systeem kan gestuurd worden op basis van het CO<sub>2</sub>-gehalte in de ruimte, of de binnentemperatuur. Wanneer het CO<sub>2</sub>-gehalte te hoog ligt kan de lucht sneller ververst worden door de ventilator in te schakelen. Men kan ook koelen in de zomer door bijvoorbeeld 's nachts de luchtstroom van koude buitenlucht in het gebouw te verhogen.<sup>98</sup> Dit principe heeft veel weg van een systeem C, maar ook wanneer de mechanische extractie uitgeschakeld wordt, kan er gesteund worden op natuurlijke ventilatie.

##### *Combinatie van natuurlijke en mechanische ventilatie*

Een voorbeeld van dit principe is het gebruiken van natuurlijke ventilatie om de binnenluchtkwaliteit en binnentemperatuur in tussenseizoenen te controleren. In andere seizoenen wordt hiervoor beroep gedaan op een mechanisch ventilatiesysteem. De mogelijkheid tot natuurlijke ventilatie op gebouwniveau moet gegarandeerd worden. Wanneer men wil berusten op het schouweffect zal men dus verticale kanalen moeten voorzien waarbinnen warme lucht kan stijgen en het gebouw verlaten. Wanneer men dwarsventilatie wil realiseren moet ervoor gezorgd worden dat er doorstroombmogelijkheden zijn over de volledige diepte van het gebouw. Het doel van dit systeem is zo veel mogelijk berusten op de natuurlijke ventilatie en pas wanneer deze niet meer voldoet aan de wens van de gebruiker, over te schakelen op mechanische ventilatie.

96. Heiselberg, P, 2002, p.10

97. Heiselberg, P, 2002, p.17

98. Heiselberg, P, 2002, p.20

### *Mechanische ventilatie ondersteund door wind en het schouweffect*

Het opvangen van invoerlucht gebeurt hier aan de hand van een windvanger of -toren, waarna de lucht door een luchtgroep gestuurd wordt en in de binnenruimte geblazen wordt. De afvoer van de binnenlucht wordt gerealiseerd door het schouweffect en kan net als bij het vorige principe bijgestaan worden door mechanische extractie. Het systeem kan op verschillende vlakken geoptimaliseerd worden. Een voorbeeld hier is de Media School in Noorwegen, waar de lucht gecapteerd wordt door een windtoren op enige afstand van het gebouw, vervolgens door de grond geleid wordt waardoor de lucht voorverwarmd wordt. Hierna wordt ze de lokalen ingeblazen en verlaat ze het gebouw terug door een schoorsteen op het dak van het gebouw.<sup>99</sup>

### **Toegepast op S4(bis)**

Het implementeren van een volledig mechanisch ventilatiesysteem zonder hybride opties te overwegen is niet het meest energie-efficiënt. Aangezien reeds geconcludeerd is dat het puur berusten op natuurlijke ventilatie in het geval van S4(bis) ook niet vanzelfsprekend is, kan hybride ventilatie hier van toepassing zijn.

De verticale schachten in het gebouw bieden mogelijkheden naar natuurlijke ventilatie toe. Door de grote variatie aan winddrukken overheen de gevels zou het schouweffect echter verstoord kunnen worden en zal niet elke ruimte naar wens geventileerd worden. Dit probleem kan opgelost worden door het schouweffect bij te staan aan de hand van mechanische extractie. Wanneer het nodige afvoerdebiet niet gerealiseerd wordt, kan dit vergoot worden door bijvoorbeeld bovenaan de extractieschacht een windgek te plaatsen die voor meer onderdruk zal zorgen. Daarnaast kan een ondersteunende extractieventilator geplaatst worden die voor meer trek kan zorgen. Ook hier schuilt het gevaar te veel onderdruk te verkrijgen in de binnenruimtes wat als oncomfortabel wordt ervaren. Verder onderzoek zal moeten uitwijzen of het plaatsen van één ventilator bovenaan de schacht ervoor zal zorgen dat in elke ruimte evenveel onderdruk gecreëerd wordt. Het risico bestaat namelijk dat de binnenruimte op de bovenste verdieping een veel grotere zuigkracht ervaart dan de verdiepingen eronder. Wanneer dit het geval is, zou men ventilator op elke verdieping geplaatst kunnen worden, waarbij in de richting van een systeem C geëvolueerd wordt.

### **Conclusie**

In voorgaande delen werd een overzicht geformuleerd van de verschillende ventilatiemogelijkheden op gebouwniveau. Het toepassen van natuurlijke of hybride ventilatie moet de voorkeur krijgen op volledig mechanische ventilatie wanneer dit mogelijk is en wanneer dit een voordeel biedt op vlak van energiezuinigheid. Bovendien moet er nagegaan worden of het beoogde binnencomfort behaald kan worden bij het inzetten op natuurlijke toevoerlucht, denk aan binnentemperatuur en nodige debieten. Wanneer er geconcludeerd wordt dat de ventilatieverliezen te groot zijn en niet te compenseren zijn door het verwarmingsconcept moet er toch overgeschakeld worden op volledig mechanische toevoer. Een hybride systeem kan bijvoorbeeld natuurlijke toevoer in de tussenseizoenen afwisselen door mechanische toevoer in winter en zomer. Evengoed kan een natuurlijk ventilatiesysteem (permanent) mechanisch ondersteund worden. Later zal op verdiepingsniveau geanalyseerd worden wat de (toevoer) mogelijkheden zijn om het gevraagde debiet en het gewenste binnencomfort te realiseren.

99. Heiselberg, P, 2002, p.22



## 6.4 Koeling

Om in de zomer het gewenste comfort op een duurzame manier te realiseren, moet de warmte die de ruimte kan binnendringen beperkt worden. Hierbij ligt de focus op oriëntatie, zonnewering, isolatie, daglichttoetreding. Daarnaast spelen ook interne warmtewinsten een grote rol bij oververhitting. Het beperken van zonnewinsten en interne warmtewinsten is vaak niet genoeg om de gewenste binnentemperatuur doorheen de zomer te behouden, er zal dus wellicht nood zijn aan koeling.<sup>100</sup> Het koelen van de ruimte kan op een passieve of mechanische wijze gebeuren.

### 6.4.1 Passieve koeling

Bij passieve koeling wordt de binnentemperatuur verlaagd door op een natuurlijke wijze verse, koudere lucht aan te voeren. Dit kan op verschillende manieren gebeuren, de vijf meest voorkomende strategieën zijn de volgende: koelen aan de hand van natuurlijke ventilatie, koeling uit de grond, stralingskoeling, adiabatische koeling en ontvochtigen van toevoerlucht.<sup>101</sup> Passieve koeling doet zich voor wanneer het energieverbruik zich beperkt tot dat van de pompen en/of de ventilatoren die nodig zijn om de ruimte te koelen.<sup>102</sup> In wat volgt worden enkele van deze principes besproken.

#### **Koelen aan de hand van natuurlijke ventilatie**

Zoals eerder vermeld wordt er bij ventilatie een onderscheid gemaakt tussen hygiënische ventilatie en ventilatie om de ruimte te koelen (of verwarmen). Bij het inzetten van ventilatie om de ruimte te koelen gaat het om een temperatuurverlaging door het binnenbrengen van lucht aan een temperatuur lager dan de binnenlucht. Bij koelen aan de hand van natuurlijke ventilatie wordt vooral ingezet op nachtkoeling. 's Nachts zorgt de natuurlijke ventilatie voor toevoer van koude, verse lucht. De binnentemperatuur zal dalen en de gebouwmassa zal hierdoor afkoelen. 's Morgens blijven de ramen gesloten om warme lucht buiten te houden, het stijgen van de binnentemperatuur zal trager verlopen door de thermische inertie van de gebouwmassa.

De thermische massa van het gebouw is doorslaggevend in dit proces. Dit is de capaciteit om warmte op te slaan door deze uit de binnenruimte op te nemen, en later terug vrij te geven. Door de massa 's nachts te koelen zal deze overdag warmte aan de ruimte onttrekken met een tragere temperatuurstijging als gevolg. Om dit te kunnen realiseren moet de massa van het gebouw voldoende groot zijn. Een richtwaarde voor een ideale massa van een vloerpakket is 390 kg/m<sup>2</sup>. Een vuistregel stelt bovendien dat de totale oppervlakte of surface area van de gebouwmassa groter moet zijn dan tweemaal de vloeroppervlakte.<sup>103</sup> Bovendien is het belangrijk dat de koude nachtlucht over de gebouwmassa stroomt zodat de massa de warmte kan afgeven. Een fenomeen dat hiermee verband houdt is de faseverschuiving en demping van het beton. Door de thermische capaciteit wordt er warmte opgeslagen, waardoor de temperatuurstijging in de ruimte gedempt wordt. Daarnaast treedt er een faseverschuiving op, doordat het beton deze opgenomen warmte later weer afgeeft.<sup>104</sup>

100. Lechner, N, 2015, p. 286

101. Lechner, N, 2015, p. 286

102. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2018

103. Lechner, N, 2015, p. 311

104. De Herde, A. en Evrard, A., 2005

## Koeling uit de grond

Naast de gebouwmassa kan ook de grond gebruikt worden om warmte uit op te nemen of warmte aan af te staan. Op een zekere diepte is de temperatuur van de grond nagenoeg constant en laag genoeg om in de zomer te koelen. Deze koude grond kan dus gebruikt worden om gebouwen te koelen op een directe of indirecte manier. Bij de directe manier staat het gebouw rechtstreeks in contact met de koude grond en is de scheidingsmuur tussen binnenruimte en grond weinig geïsoleerd. Bij indirecte koeling wordt lucht door buizen in de grond gestuwd waarbij de grond de warmte uit de lucht opneemt en deze zo afkoelt.

### 6.4.2 Mechanische koeling

Wanneer enkel passieve koeling niet volstaat om het beoogde binnencomfort te realiseren, kan mechanische koeling overwogen worden. Dit kan aan de hand van koelmachines die de warmte aan de ruimte onttrekken, de meest voorkomende koelmachine is de compressiekoelmachine. Hier neemt een koelvloeistof de warmte uit de ruimte op en wordt de vloeistof door een compressor omgezet naar een gas. Bij warmteafgifte aan de buitenomgeving wordt het gas terug een vloeistof en kan de cyclus herhaald worden. Het grootste nadeel aan dit systeem is dat de compressor vrij veel energie verbruikt. Tijdens de winter kan de richting van de koelvloeistof omgedraaid worden en zal de warmte aan de omgeving onttrokken worden om de binnenruimte op te warmen. Compressiemachines die in de zomer koelen en in de winter verwarmen noemt men warmtepompen. Voor koeling en verwarming kan men een beroep doen op een warmtepomp. De vier meest voorkomende types warmtepompen zijn de lucht-luchtwarmtepomp, de lucht-waterwarmtepomp, de geothermische warmtepomp en de water-waterwarmtepomp.

De lucht-luchtwarmtepomp zal warmte onttrekken of afstaan aan de buitenomgeving. Aangezien er niet altijd een groot temperatuurverschil tussen binnen- en buitenomgeving is, zal de compressor geregeld veel energie verbruiken om zijn warmte aan de buitenomgeving te kunnen afstaan of onttrekken. Lucht-water warmtepompen onttrekken warmte aan de buitenomgeving, geven deze door aan een gesloten watercircuit dat verbonden is met afgiftesystemen. In de zomer onttrekken ze warmte aan de binnenomgeving en geven ze deze af aan de buitenomgeving. Ook hier zal de compressor vrij veel energie nodig hebben. Geothermische warmtepompen gebruiken de grond als buffer, in de winter onttrekken ze warmte uit de grond en stuwen ze koud water terug de grond in. In de zomer kan er gekoeld worden door water op lage temperatuur uit de grond te halen en warm water opnieuw in de grond te sturen waardoor de cyclus herhaald kan worden in de winter. Bij een geothermische warmtepomp moet men een evenwicht tussen koelvraag en warmtevraag nastreven om het BEO-veld in evenwicht te houden. De water-waterwarmtepomp zal op hetzelfde principe berusten maar warmte onttrekken of afgeven aan grondwater in plaats van grond.<sup>105</sup>

### Afgiftesystemen

Bij mechanische koeling dient er een onderscheid gemaakt te worden tussen enkelvoudige systemen en systemen op gebouwniveau. Zo kan men op zich staande systemen aanschaffen die één ruimte zullen koelen (en verwarmen). Voorbeelden van deze systemen zijn het monoblok systeem, het split systeem en het multi split systeem. Aangezien men voor campus Sterre naar een oplossing op gebouwniveau zoekt, worden deze enkelvoudige systemen niet besproken.

105. Janssens, A., 2019

Afgiftesystemen die aan een koelcircuit op gebouwniveau gekoppeld kunnen worden, worden in wat volgt besproken.

### *Ventilo-convectoren*

Ventilo-convectoren zuigen de binnenlucht aan en zullen deze opwarmen of koelen, naargelang de wens van de gebruiker. Bovendien is er soms ook de mogelijkheid om het afgiftesysteem te koppelen aan een luchtgroep waardoor verse lucht met de binnenlucht gemengd kan worden. Het systeem kan dus ook de verdeling voor hygiënische ventilatie op zich nemen. Voordelig aan dit systeem is dat het energiezuinig is, er veel mogelijkheden zijn om het in de ruimte te integreren en het redelijk goedkoop is. Nadelig zijn de mogelijke tochtklachten bij slechte dimensionering, de lawaaihinder door het aanzuigen en inblazen van lucht en wanneer te koude lucht wordt ingeblazen zal de gebruiker dit als oncomfortabel ervaren.<sup>106</sup>

### *Koelbalken*

De passieve koelbalk berust op natuurlijke convectie waarbij warme lucht stijgt tot aan de balk, hier gekoeld wordt door een koudwatercircuit en vervolgens terug neerdaalt. Passieve koelbalken zijn erg stil, gebruiken geen nuttige vloeroppervlakte en hebben een hoge efficiëntie. Het systeem is moeilijk combineerbaar met natuurlijke ventilatie, dit moet dus apart voorzien worden. Bovendien kunnen door de passieve werking slechts kleine koelvermogens gerealiseerd worden van ongeveer 55 W/m<sup>2</sup>. Daarnaast is de omvang van de balk redelijk groot en mag de temperatuur van het koelwater niet te laag zijn om condensvorming aan het balkoppervlak te voorkomen. Het systeem kan enkel koelen en is bovendien redelijk duur.<sup>107</sup>

Dynamische koelbalken zuigen de binnenlucht aan en mengen deze met verse buitenlucht, ze zijn dus aangesloten op het koudwatercircuit en het ventilatiesysteem. Ze zijn stiller dan ventilo-convectoren maar maken wel nog lawaai door het aanzuigen van lucht. In tegenstelling tot de passieve koelbalken kan de dynamische versie zowel koelen als verwarmen. Ze zijn duurder dan de passieve koelbalken en er moet ook gelet worden op condensvorming. In de zomer kan de ruimte gekoeld worden bij een temperatuurregime van 15 – 20 °C. Het vermogen van de dynamische koelbalk blijft eerder beperkt tot een koelvermogen van om en bij de 70 W/m<sup>2</sup>.<sup>108</sup>

### *Koelplafonds*

Een koelplafond kan gezien worden als een zeer grote koelbalk. Wanneer een groot plafondoppervlak beschikbaar is, zal er gemakkelijker met koelplafonds gewerkt kunnen worden. Door de grote oppervlakte van het koelplafond is de kans op tochtklachten kleiner dan bij de balken, bovendien is er een zeer gelijkmatige warmteafgifte aangezien er op een zeer grote oppervlakte gewerkt wordt. Het systeem kent een snelle reactietijd en kan naast koelen ook verwarmen. Het vermogen voor koeling en verwarming bevindt zich tussen de 60 en 90 W/m<sup>2</sup>.<sup>109</sup>

106. Janssens, A., 2019

107. Janssens, A., 2019

108. Janssens, A., 2019

109. Janssens, A., 2019

### 6.4.3 Toegepast op de S4(bis)

De koelvraag bij verschillende herbestemmingsscenario's zal op verdiepingsniveau gedetailleerd berekend worden aan de hand van simulaties. Hier zal ook concreet uitgewerkt worden hoe deze koelvraag beantwoord kan worden aan de hand van natuurlijke of mechanische koeling. Passieve koeling krijgt voorrang op mechanische koeling, wanneer deze het gevraagde koelvermogen kan realiseren. De energievraag van mechanische koeling kan beperkt worden door te werken met warmtepompen en warmtewisselaars, idealiter in combinatie met groene stroom. De manier van koelen hangt ook samen met de manier van ventileren. Wanneer er besloten wordt mechanisch te ventileren kan bijvoorbeeld ingezet worden op dynamische koelbalken.

Bij mechanische koeling kan gebruik gemaakt worden van het vijfde generatie warmtenet waarbij een BEO-veld als koelingsbron (en verwarmingsbron) kan dienen. Deze fossielvrije manier van koelen, zoals omschreven in het energetisch masterplan opgesteld door Sweco, zou in de zomer een toevoertemperatuur van 10 °C kunnen realiseren waarmee de gebouwen gekoeld kunnen worden. Zoals eerder vermeld wordt ervan uitgegaan dat de universiteit voor deze optie zal kiezen, en wordt verwarming en koeling na renovatie van de S4(bis) ook gebaseerd op de temperatuurregimes verkregen bij dit warmtenet. Dit is op lange termijn de meest duurzame optie en bovendien kan hierbij koeling op een energiezuinige manier voorzien worden. Daarnaast wordt ervan uitgegaan dat de koel- en warmtevraag op siteniveau in evenwicht is waardoor deze op gebouwniveau niet noodzakelijk in evenwicht moet zijn.

## 6.5 Verwarming

Het S4(bis) gebouw op campus Sterre wordt momenteel aan de hand van aardgasketels verwarmd, het temperatuurregime hierbij is 75-55 °C. Doorheen de jaren werd de stookolieketel vervangen door aardgasketels, de oorspronkelijke afgiftelichamen werden behouden. Aangezien de universiteit tegen 2050 fossielvrij wil zijn, zal er ingezet moeten worden op een transitie naar duurzame en energiezuinige warmtebronnen.

### 6.5.1 Warmteopwekking

Het vijfde generatie warmtenet op de campus zou gevoed worden door warmte afkomstig van een BEO-veld, aangevuld met restwarmte van de serverruimte in het S10 gebouw. In de winter zouden deze twee bronnen de gebouwen een toevoertemperatuur tussen de 15 en 20 °C kunnen leveren. Daarnaast wordt de restwarmte van de serverruimte in de zomer opgeslagen in het BEO-veld zodat de bodemtemperatuur in de winter hoog genoeg ligt. Water-waterwarmtepompen op gebouwniveau kunnen de warmte geleverd door het warmtenet omzetten in een toevoertemperatuur tussen de 40 en 50 °C. Hierdoor kan men in de gebouwen lage temperatuurverwarming implementeren om de binnenruimtes te verwarmen. Na warmteafgifte aan de warmtepompen van de gebouwen zal de temperatuur van het water richting BEO-veld en server nog 10°C bedragen.<sup>110</sup>

In het tussenseizoen kan er op gebouwniveau enkel gekoeld of verwarmd worden bij gebruik van het warmtenet. Wanneer er dus nood is aan gelijktijdige koeling en verwarming zal er ingezet moeten worden op passieve koeling. Een andere optie is het zoeken naar een extra manier waarop verwarmd of gekoeld kan worden zonder gebruik te maken van het warmtenet, maar dit is een minder geprefereerde optie aangezien dit bijkomend energieverbruik met zich meeneemt. Zo kan bijvoorbeeld een lucht-waterwarmtepomp per gebouw geïnstalleerd worden om koeling/verwarming in het tussenseizoen te voorzien. Per gebouw een extra warmtepomp voorzien is een kostelijke ingreep, de nood aan koeling in het tussenseizoen moet dus grondig geëvalueerd worden.

### 6.5.2 Afgiftelichamen

Ongeacht het gekozen scenario voor warmteopwekking, zal er gebruik gemaakt worden van lage temperatuurverwarming in de gebouwen op campus Sterre. De drie scenario's leveren namelijk elk lage toevoertemperaturen. Wanneer men deze temperaturen wil omzetten naar een hoog temperatuurregime, zou de warmtepomp erg veel energie verbruiken. De gebouwschillen moeten dus gerenoveerd worden, zodat de transmissieverliezen doorheen de gevel dalen. Zo zijn er lagere vermogens nodig en wordt lage temperatuurverwarming mogelijk. Er zijn verschillende mogelijkheden om de ruimte te verwarmen.

110. Werkgroep energie UGent, Sweco, 2020

## Huidige afgiftesystemen

Om de kosten bij renovatie te drukken kan men de huidige gietijzeren radiatoren behouden. Radiatoren zijn de meest gebruikte verwarmingslichamen in gebouwen. Ze realiseren een warmteafgifte door straling en convectie, die afhankelijk is van hun ontwerp, opstelling en wijze van aansluiting, maar vooral ook van het verschil tussen de gemiddelde watertemperatuur en de omgevingstemperatuur.<sup>111</sup> Voordelig aan verwarmen door radiatoren is hun snelle reactietijd, eenvoudige regeling en het groot aanbod dat beschikbaar is op de markt.

Momenteel leveren de radiatoren het gevraagde vermogen bij een temperatuurregime van 75-55 °C. Bij renovatie zullen de warmteverliezen doorheen de gevel sterk dalen. De kans bestaat dus dat het geleverde vermogen van de huidige warmtelichamen bij een laag temperatuurregime volstaat om de gewenste binnentemperatuur te behalen. Door de radiatoren te behouden wordt het aanschaffen van nieuwe systemen en de hoge kostprijs die hierbij komt kijken vermeden.

## Nieuwe radiatoren

Algemeen geldt dat radiatoren bij LTV een groter afgifteoppervlak nodig hebben dan bij een hoog temperatuurregime om de ruimte op te warmen. De kans bestaat dat de huidige radiatoren een te klein oppervlak hebben waardoor het geleverde vermogen te laag is om de ruimte op te warmen. In dat geval kan men overwegen nieuwe radiatoren te installeren die een groter afgifteoppervlak hebben en zo de ruimte naar wens kunnen verwarmen. Radiatoren nemen echter wel nuttige vloeroppervlakte in, andere systemen hebben dit nadeel niet.<sup>112</sup>

## Vloerverwarming

In tegenstelling tot klassieke radiatoren is bij vloerverwarming warmtestraling de grootste vorm van warmtetransport en wordt er in mindere mate berust op convectie. Een buizenet waar warm water door stroomt, wordt in de dekvloer ingewerkt. Op deze manier wordt er warmte afgegeven aan de vloerafwerking die op zijn beurt warmte afgeeft aan de gebruiker. Aangezien de temperatuur aan het oppervlak beperkt moet blijven om een aangenaam comfort te verzekeren, wordt er bij vloerverwarming ook een laag temperatuurregime toegepast. Men moet dus een groot afgifteoppervlak voorzien om het gewenste vermogen te kunnen leveren en bovendien moet de gebouwschil goed geïsoleerd zijn.

Vloerverwarming heeft veel voordelen, de verwarmingslichamen zijn onzichtbaar en realiseren een aangenaam comfort voor de gebruiker. Daarnaast heeft het systeem typisch een hoger rendement dan een systeem met een hoog temperatuurregime. Bij gebruik van een warmtepomp wordt dit rendement verder geoptimaliseerd en kan het systeem eventueel (in beperkte mate) dienstdoen als koelsysteem. Nadelig aan vloerverwarming is de trage reactietijd omwille van de grote thermische inertie. Hierdoor moeten ze op sommige plaatsen bijgestaan worden door andere warmtelichamen en kunnen ze niet altijd als hoofdsysteem gezien worden.<sup>113</sup> Bovendien is vloerverwarming bij renovatie niet altijd mogelijk aangezien de installatie van het systeem een ophoging van de bestaande vloer met zich meebrengt. Het ophogen van de vloeren daar waar vloerverwarming toegepast wordt, brengt ingrijpende werken met zich mee en kan zorgen voor hoogteverschillen. De toepasbaarheid is dus afhankelijk van de mate waarin gerenoveerd wordt, bij een ingrijpende renovatie waarbij niets

111. WTCB, 2013, p. 66

112. Janssens, A., 2019

113. WTCB, 2013, p. 77

of weinig van de afwerking bewaard moet blijven is vloerverwarming zeker toepasbaar.

### **Koelbalken**

Er bestaan twee soorten koelbalken, de statische of passieve koelbalk en de dynamische koelbalk. De dynamische koelbalk kan zowel koelen als verwarmen, de passieve koelbalk kan enkel koelen. De dynamische koelbalk zal de binnenlucht aanzuigen en mengen met verse buitenlucht, ze is dus aangesloten op een watercircuit en op het ventilatiesysteem. Er zijn zowel twee-pijp systemen als vier-pijp systemen op de markt, deze laatste kunnen gelijktijdig koelen en verwarmen waardoor men zeer vraaggericht het binnencomfort kan sturen. Zo kan men in het tussenseizoen bepaalde lokalen verwarmen terwijl sommige lokalen omwille van hun oriëntatie reeds gekoeld moeten worden. Twee-pijpsystemen kunnen enkel koelen of enkel verwarmen. Net zoals vloerverwarming nemen koelbalken geen nuttige vloeroppervlakte in. Voordelig aan dynamische koelbalken is dat men slechts een type afgiftesystemen moet installeren om te koelen en verwarmen. Om in de winter de ruimte op te warmen is er een temperatuurregime van ongeveer 45 – 35 °C nodig. Dynamische koelbalken kunnen een beperkt verwarmingsvermogen leveren van ongeveer 90 W/m<sup>2</sup>, bovendien moet de snelheid van de ingeblazen lucht groot genoeg zijn om de warme lucht over de ruimte te verspreiden. Wanneer de snelheid te hoog ligt, zal dit door de gebruiker als oncomfortabel ervaren worden. Een goede installatie van het systeem is noodzakelijk aangezien dynamische koelbalken een enorm leidingnetwerk vragen, waardoor de kans op waterlekken toeneemt.<sup>114</sup>

### **6.5.3 Toegepast op de S4(bis)**

Net als de koelvraag zal de warmtevraag bij de verschillende herbestemmingsscenario's op verdiepniveau nagegaan worden met behulp van simulaties en wordt bekeken hoe aan de warmtevraag beantwoord kan worden. Hierbij wordt niet gezocht naar het ideale afgiftelichaam. Het onderzoek zal zich richten op de vermogens van enkele warmtelichamen om richtlijnen te geven aan de ontwerper, en te schetsen bij welke herbestemmingsscenario's bijvoorbeeld de bestaande radiatoren behouden kunnen worden of vloerverwarming geïmplementeerd kan worden.

Daarnaast dient nog vermeld te worden dat in het bovenstaande een manier van mechanische koeling en verwarming niet is aangehaald, namelijk het inzetten op luchtverwarming/ koeling, de zogenaamde 'All-air' systemen. Hierbij wordt de lucht in de luchtgroep aan de hand van een batterij voorverwarmd/ gekoeld. Aangezien de temperatuur van de toevoerlucht niet te warm of te koud mag zijn met betrekking tot het binnencomfort, is er nood aan een groot toevoerdebiet om de gewenste binnentemperatuur te realiseren. Deze hoge debieten zorgen voor grote kanaalsecties wat een grote impact heeft op gebouwniveau. Het gebruik van lucht als transportmedium voor warmteoverdracht is bovendien minder efficiënt door de lagere specifieke warmtecapaciteit en warmteflux van lucht ten opzichte van water. Er zijn bijgevolg grotere volumes lucht nodig om eenzelfde vermogen warmte af te geven aan de ruimte als men lucht gebruikt in plaats van water. Hierdoor is er meer pompenergie nodig om deze grotere debieten rond te sturen, wat het proces minder energie-efficiënt maakt. Bijgevolg wordt dit systeem verder niet onderzocht.<sup>115</sup>

114. Janssens, A., 2019

115. Janssens, A., 2019

## **7 ONDERZOEK NAAR RENOVATIEMOGELIJKHEDEN OP VERDIEPINGSNIVEAU**

In het voorgaande hoofdstuk lag de focus op het overlopen van de verschillende onderzoeksonderwerpen en het schetsen van hun bijhorende algemene principes op gebouwniveau. Hierbij werd vooral gefocust op de mogelijke toepassingen bij het S4(bis) gebouw.

In wat volgt wordt het onderzoek op verdiepingsniveau verder uitgediept en verfijnd. De verschillende principes die per onderwerp op gebouwniveau omschreven werden, worden in het volgende deel geconcretiseerd en getoetst aan hun respectieve doelstellingen en de uiteindelijke doelstelling om een BEN-statuuut en beperkte netto-energiebehoefte voor verwarming na renovatie te realiseren.

Aangezien de verschillende verdiepingen van het gebouw dezelfde structurele opbouw en gevelopbouw hebben kan het onderzoek van 1 verdieping iets vertellen over de andere verdiepingen van het gebouw. Het toetsen van de verschillende onderzoeksonderwerpen aan hun respectieve doelstellingen kan aan de hand van verschillende methodieken gebeuren.

### **7.1 Methodieken**

#### **7.1.1 Berekeningen**

Bij de energetische renovatie van een gebouw kunnen veel berekeningen uitgevoerd worden. Hieronder worden berekeningen verstaan zoals U-waarden van schildelen, kanaalsecties bij ventilatie en vermogens van warmtelichamen. Daarnaast is er ook de complexere en eerder allesomvattende berekening van het E-peil, die een globaal zicht op gebouwniveau geeft. In dit hoofdstuk worden berekeningen op verdiepingsniveau gemaakt, waarna ook nog teruggekoppeld wordt naar gebouwniveau met de berekening van het E-peil.

#### **7.1.2 Ontwerpend onderzoek**

Op basis van een ontwerpend onderzoek worden de verschillende mogelijkheden nagegaan om de technieken en de renovatie van de constructieonderdelen af te stemmen op een variatie aan invullingen en functies. Hierbij wordt er rekening gehouden met de verschillende bezettingsprofielen en mogelijke comforteisen. Het doel is om een richtlijn te maken die illustreert hoe van de S4(bis) een toekomstbestendig gebouw gemaakt kan worden, dat flexibel gebruik toelaat en verschillende functies kan huisvesten.

#### **7.1.3 Simulatie**

Aanvullend op de berekeningen, worden complexere fenomenen aan de hand simulaties onderzocht. Via de Modelica software Dymola wordt een typeverdieping gemodelleerd, waarmee verschillende herbestemmingsscenario's gesimuleerd worden. Hieruit kan het risico op oververhitting, de NEB voor verwarming en het zomer- en wintercomfort ingeschat worden aan de hand van een aantal uiterste scenario's. In dit hoofdstuk worden de onderzoeksonderwerpen apart onderzocht. In een volgend hoofdstuk wordt meer diepgaand onderzoek gevoerd naar de wisselwerking en samenhang tussen de verschillende onderzoeksonderwerpen. Naast dynamische simulaties worden ook daglicht- en warmtetransportsimulaties uitgevoerd.



## 7.2 Herbestemmingsscenario's

Het doel van deze thesis is om een renovatiescenario te formuleren voor een zo breed mogelijk gebruik van campus Sterre. Er zijn verschillende gebruikerspatronen opgesteld waar ontwerpbeslissingen aan getoetst kunnen worden. Op deze manier kan er per scenario gekeken worden wat de mogelijkheden zijn, om later te onderzoeken hoe een combinatie of opeenvolging van verschillende scenario's zo duurzaam mogelijk ontworpen kan worden.

De mogelijke herbestemmingsscenario's voor de S4 die onderzocht worden zijn een schoolgebouw, kantoorgebouw en studentenhuysvesting. Hierbinnen moet er rekening gehouden worden met leslokalen, auditoria, laboruimtes, (landschaps)kantoren, vergaderzalen en studentenkamers. Daarnaast zijn er nog dienende functies zoals keukens en sanitair, maar deze worden in dit onderzoek achterwege gelaten, omdat ze te specifiek zijn en wegens de relatief beperkte oppervlakte ervan zullen ze wellicht niet doorslaggevend zijn in de energetische renovatie.

Om deze functies te benaderen worden er een aantal profielen geschetst, gebaseerd op verschillende normen en op het onderzoek van R. Mahmoud et al. (2020), waarin verschillende bezettingsprofielen opgesteld zijn op basis van normen, literatuur en bestaande projecten.<sup>116</sup> De profielen zijn een abstractie van de werkelijkheid, maar zijn wel voldoende accuraat om de impact van verschillende ontwerpbeslissingen aan te toetsen. Op deze manier kunnen de extremen onderzocht worden waartegen het gebouw bestand moet zijn.

### 7.2.1 Kantoorgebouw

Bij het kantoorgebouw wordt er in hoofdzaak gekeken naar een kantoor met hoge bezetting en een kantoor met lage bezetting. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat een landschapskantoor onder de lage bezettingsgraad valt.

In het kader van dit onderzoek, wordt er steeds aan de veilige kant gerekend om ook te kunnen voldoen aan meer extreme scenario's. Bij kantoren is oververhitting een groter probleem en is een hogere bezetting bijgevolg een kritischer scenario. Daarom wordt er gerekend met een abstractie van het bezettingsprofiel in norm NBN EN 52120-1 (2021)<sup>117</sup>, waar met een hogere bezetting gewerkt wordt dan in het onderzoek van R. Mahmoud et al. (2020). Er wordt aangenomen dat de gebruiker aanwezig is van 8h 's ochtends tot 18h 's avonds, met een middagpauze van 12h tot 14h, waar de bezetting maar terugvalt tot 65%, gezien sommige mensen op hun bureau blijven over de middag en niet iedereen tegelijk pauze neemt.

De warmteafgifte van personen wordt vastgelegd op 75 W/pers, volgens het ASHRAE 'Handbook Fundamentals'. Dit is de voelbare warmteafgifte bij matig actief kantoorwerk, waarbij rekening gehouden wordt met een normale verdeling van mannen en vrouwen, gezien vrouwen maar 85% van de warmteafgifte van mannen hebben. De latente warmteafgifte wordt niet ingerekend, gezien deze geen impact heeft op de voelbare temperatuur in de ruimte.<sup>118</sup>

Voor de verlichting wordt een waarde van 8W/m<sup>2</sup> aangenomen, wat overeenkomt met een zuinige verlichtingsinstallatie om de eis van 500 lux op het werkvlak te halen.<sup>119</sup> Daarnaast wordt er onderscheid gemaakt tussen een zomer- en een winterprofiel van de verlichting, om

116. Mahmoud, R. et al., 2020

117. NBN EN ISO 52120-1, 2022

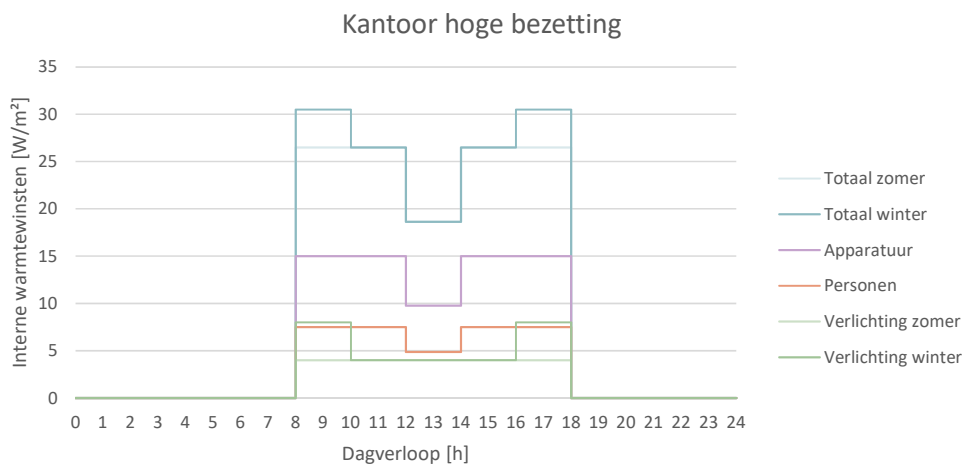
118. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993

119. Mahmoud, R. et al., 2020

een meer realistische inschatting te maken van de NEB voor verwarming en de oververhitting. Aangezien er erg grote raampartijen aanwezig zijn, is er geen permanente verlichting nodig. In de winter wordt uitgegaan van een reductie van 50% van 10h tot 16h, gebaseerd op de zonsopkomst en zonsondergang.<sup>120</sup> In de zomer is er heel de dag een reductie tot 50%.

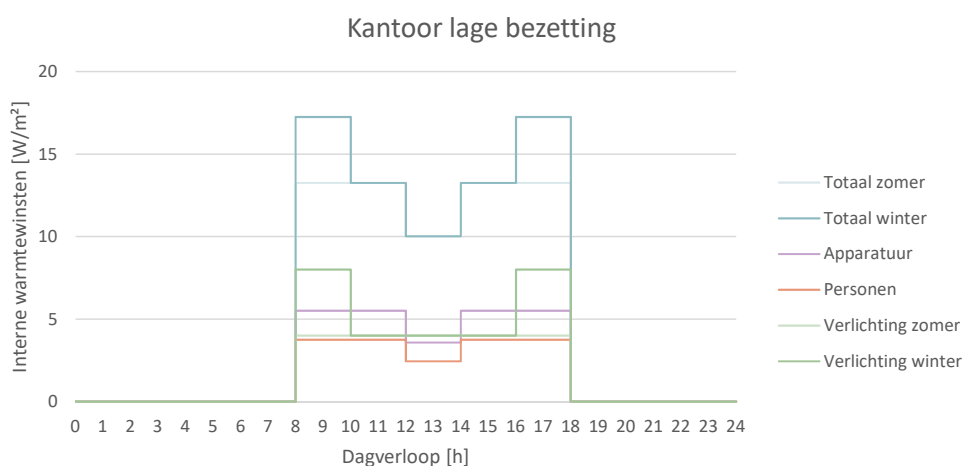
In de gang worden geen interne warmtewinsten ingerekend gezien hier enkel kortstondig gebruik verondersteld wordt met aanwezigheidsdetectie voor de verlichting.

Voor de kantoren met hoge bezetting definieert R. Mahmoud de bezettingsgraad als 1 persoon/10m<sup>2</sup>, wat overeenkomt met de wettelijke minimumeis voor ruimte bij kantoren om voldoende luchtverversing te kunnen realiseren. De apparatuur hierbij wordt vastgelegd op 15 W/m<sup>2</sup>.<sup>121 122</sup>



Figuur 44: Interne warmtewinsten bij een kantoor met hoge bezetting in een zomer- en winterscenario

De kantoren met lage bezetting hebben een bezettingsgraad van 1 persoon/20 m<sup>2</sup>, met daarbij 5,5 W/m<sup>2</sup> voor de apparatuur.<sup>123</sup>



Figuur 45: Interne warmtewinsten bij een kantoor met lage bezetting in een zomer- en winterscenario

120. Royal Observatory of Belgium, 2021

121. Vlaamse overheid, z.d.

122. Mahmoud, R. et al., 2020

123. Mahmoud, R. et al., 2020

Daarnaast zijn er nog vergaderzalen. Volgens norm NBN EN 16798-1<sup>124</sup> hebben deze een bezetting van 9h tot 18h met een middagpauze van 13h tot 14h. Er wordt gerekend met een bezetting van 2 m<sup>2</sup>/persoon en voor de apparatuur neemt met 12 W/m<sup>2</sup> aan. Er is echter een 'diversity factor' van gemiddeld 0,8 van kracht, waardoor deze waarden nog licht zakken. In het onderzoek van R. Mahmoud wordt dit echter verfijnd, en wordt aangenomen dat er enkel interne warmtewinsten zijn van personen en verlichting, met een bezetting van 3,5m<sup>2</sup>/persoon. Hierbij wordt uitgegaan van een variabel bezettingsprofiel van 2 dagen bij een kantoor met lage bezetting en een variabel profiel over 4 dagen bij een kantoor met hoge bezetting.

Beide scenario's vallen echter binnen de extremen van mogelijke scenario's op vlak van interne warmtewinsten die voorkomen in schoolgebouwen, zoals in de volgende paragraaf beschreven wordt. Er wordt van uitgegaan dat deze resultaten ook gelden voor vergaderzalen. Bijgevolg worden de vergaderzalen niet verder apart behandeld op vlak van bezettingsprofiel.

## 7.2.2 Schoolgebouw

Binnen het schoolgebouw zijn er klaslokalen, auditoria, laboratoria en werkplaatsen mogelijk. De profielen zijn deels gebaseerd op het onderzoek van R. Mahmoud, maar gezien dit profielen zijn van leslokalen op een lagere school, zijn ze licht aangepast aan de hand van verschillende relevante normen.

Voor leslokalen en auditoria wordt er gewerkt met de bezettingsuren voor een 'lecture hall' beschreven in norm NBN EN ISO 52120-1.<sup>125</sup> Deze typologie sluit nauw aan bij de mogelijke toekomstige onderwijsfuncties in het gebouw, gezien de 'lecture hall' typisch voorkomt in hoger onderwijs. Er wordt een bezetting ingerekend van 8h tot 18h met een middagpauze van 12h tot 13h, waar er met een gereduceerde bezetting van 25% gerekend wordt. De bezetting bij het begin en einde van de dag is in de norm ook gereduceerd, in het kader van deze thesis wordt hier echter gerekend met een volledige bezetting als abstractie. Gezien ongeveer dezelfde activiteit verricht wordt als in kantoren, geldt voor personen dat ze een warmteafgifte van 75 W/persoon hebben. Voor verlichting en apparatuur worden de waarden uit het onderzoek van R. Mahmoud gebruikt, respectievelijk 8 W/m<sup>2</sup> en 4 W/m<sup>2</sup>.<sup>126</sup> De waarde van 4 W/m<sup>2</sup> voor apparatuur geldt overigens ook voor auditoria volgens norm NBN EN ISO 52120-1.<sup>127</sup> In de gang worden opnieuw geen interne warmtewinsten ingerekend.

Auditoria hebben een bezetting van 2 m<sup>2</sup>/persoon volgens bijlage X uit de EPB regelgeving<sup>128</sup> en 1 m<sup>2</sup>/persoon in norm EN ISO 52120-1 (2022).<sup>129</sup> In het kader van dit onderzoek, representeren deze bezettingsgraden respectievelijk een auditorium met lage en met hoge bezetting.

124. NBN EN 16798, 2019

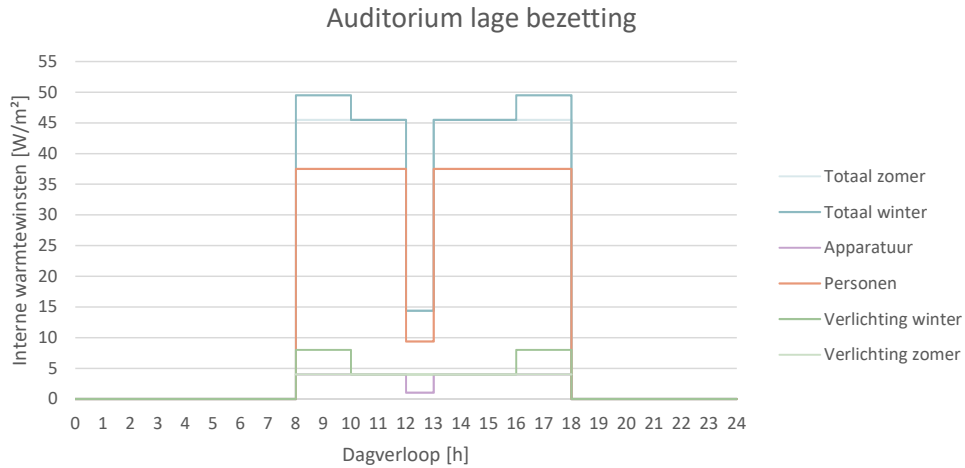
125. NBN EN ISO 52120-1, 2022

126. Mahmoud, R. et al., 2020

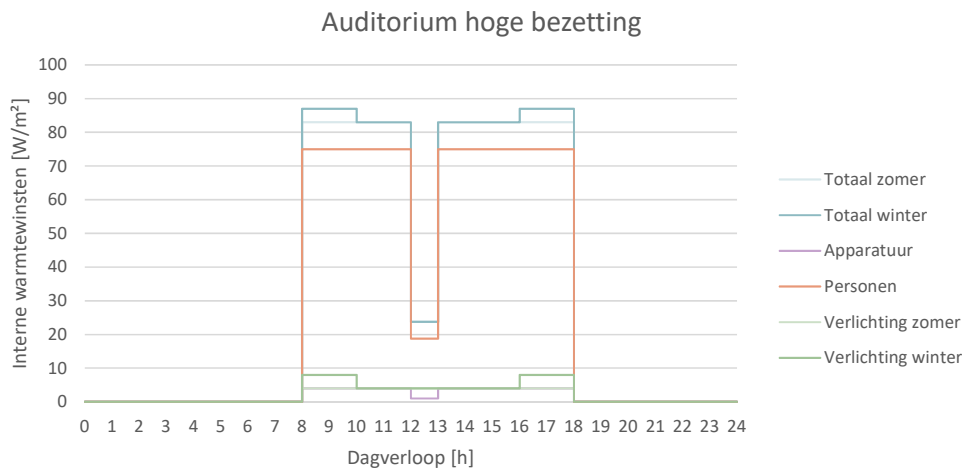
127. NBN EN ISO 52120-1, 2022

128. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2021

129. NBN EN ISO 52120-1, 2022



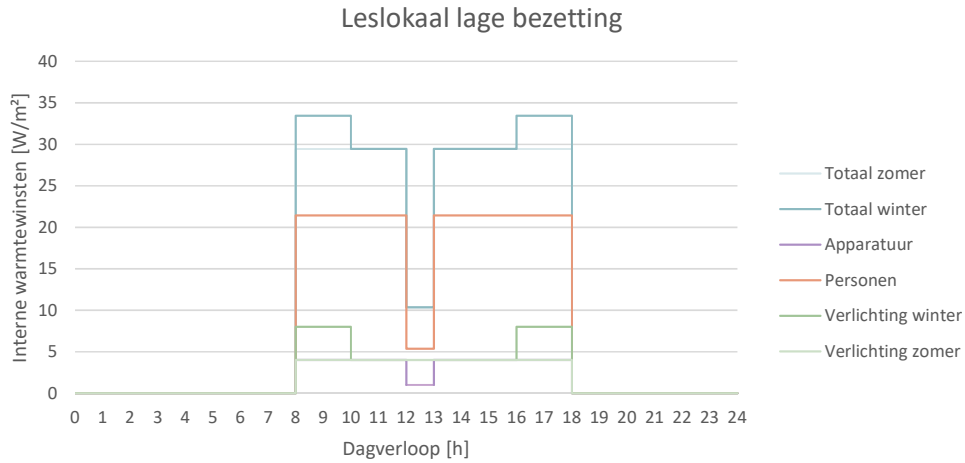
Figuur 46: Interne warmtewinsten bij een auditorium met lage bezetting in een zomer- en winterscenario



Figuur 47: Interne warmtewinsten bij een auditorium met hoge bezetting in een zomer- en winterscenario

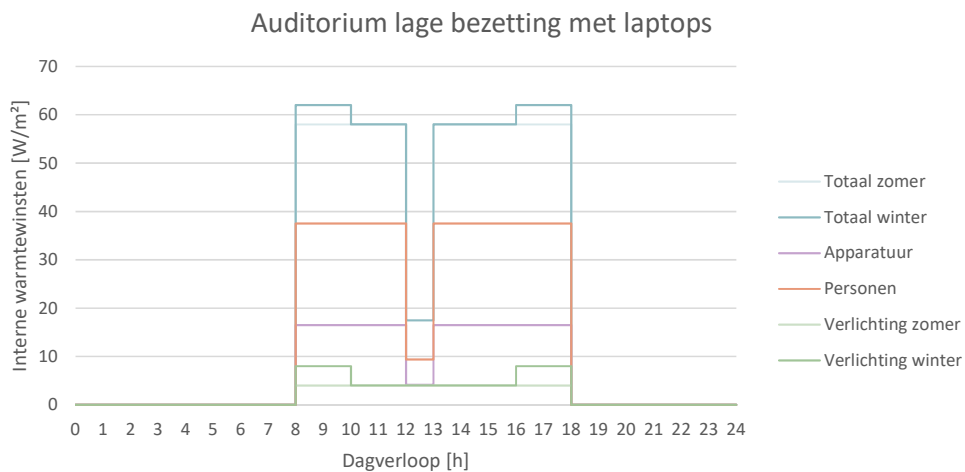
Volgens het onderzoek van R. Mahmoud heeft een leslokaal met hoge bezetting een bezettingsgraad van 2,5 m<sup>2</sup>/persoon. Dit ligt tussen de waarde van het auditorium met lage bezetting en een leslokaal met lage bezetting en wordt bijgevolg niet meegenomen in het onderzoek.

Een leslokaal met lage bezetting wordt gedefinieerd als 3,5 m<sup>2</sup>/persoon volgens R. Mahmoud.

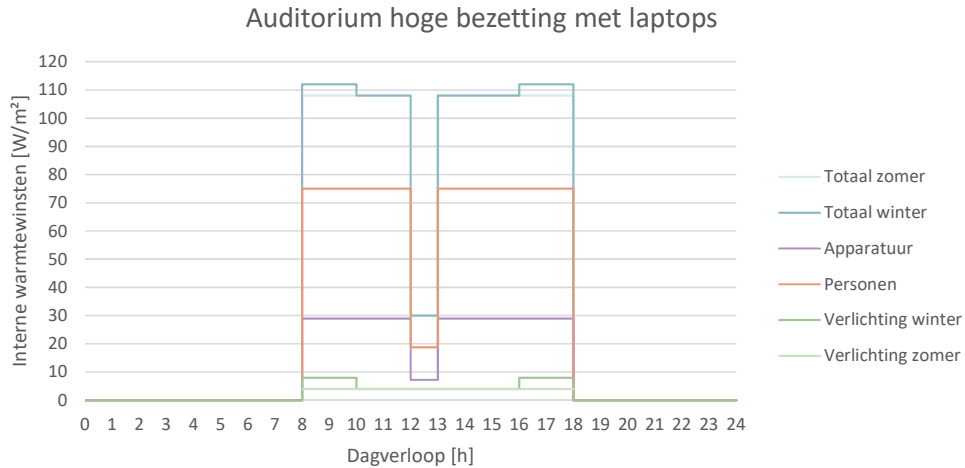


Figuur 48: Interne warmtewinsten bij een leslokaal met lage bezetting in een zomer- en winterscenario

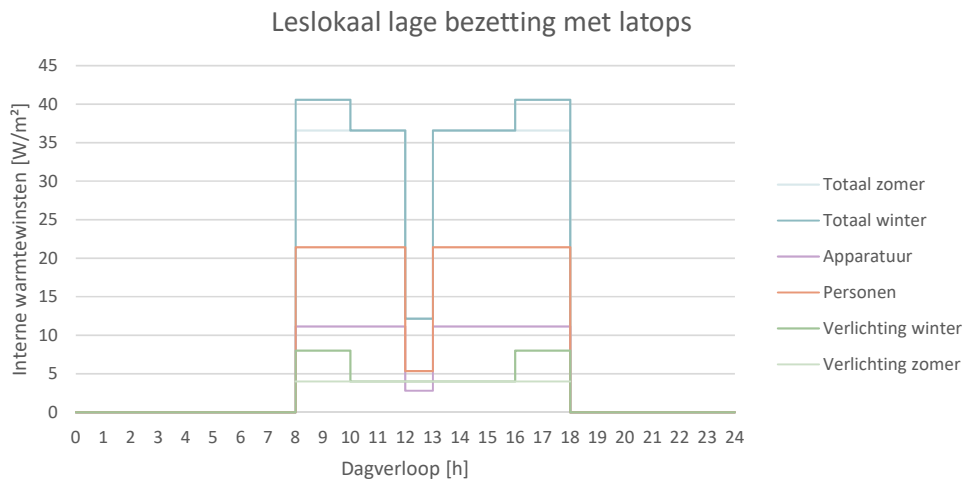
Verder kan men ervan uitgaan dat steeds meer studenten hun laptop meenemen naar de les. Als inschatting wordt aangenomen dat een op de twee studenten een laptop gebruikt, wat in alle configuraties van leslokalen en auditoria mogelijk is. De warmtewinsten van een laptop, namelijk 50W, worden bij de algemene apparatuur geteld die aanwezig is in de leslokalen/ auditoria. Dit geeft de volgende resultaten:



Figuur 49: Interne warmtewinsten bij een auditorium met lage bezetting met 1 laptop/2 personen in een zomer- en winterscenario

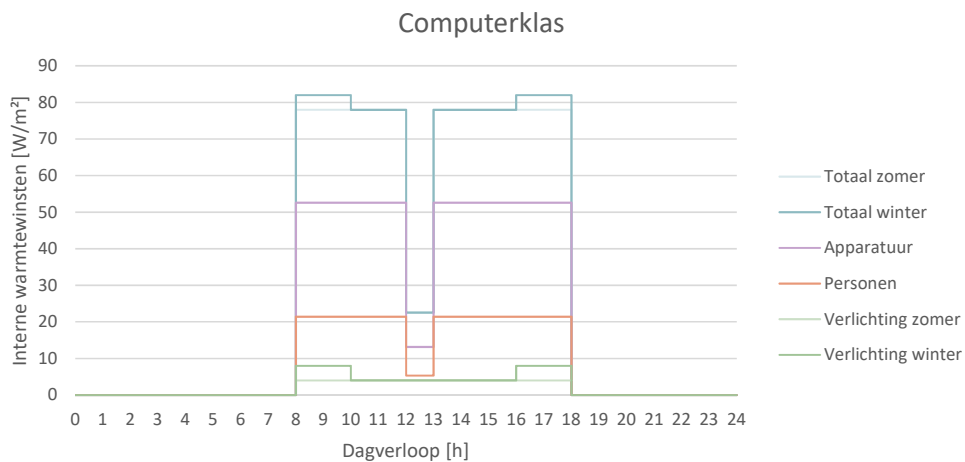


Figuur 50: Interne warmtewinsten bij een auditorium met hoge bezetting met 1 laptop/2 personen in een zomer- en winterscenario



Figuur 51: Interne warmtewinsten bij een leslokaal met lage bezetting met 1 laptop/2 personen in een zomer- en winterscenario

Verder kunnen ook nog computerklassen voorzien worden, hier wordt gerekend op leslokalen met lage bezetting met 1 vaste computer en beeldscherm per persoon, met respectievelijk een warmtewinst van 145 W en 25W.<sup>130</sup>

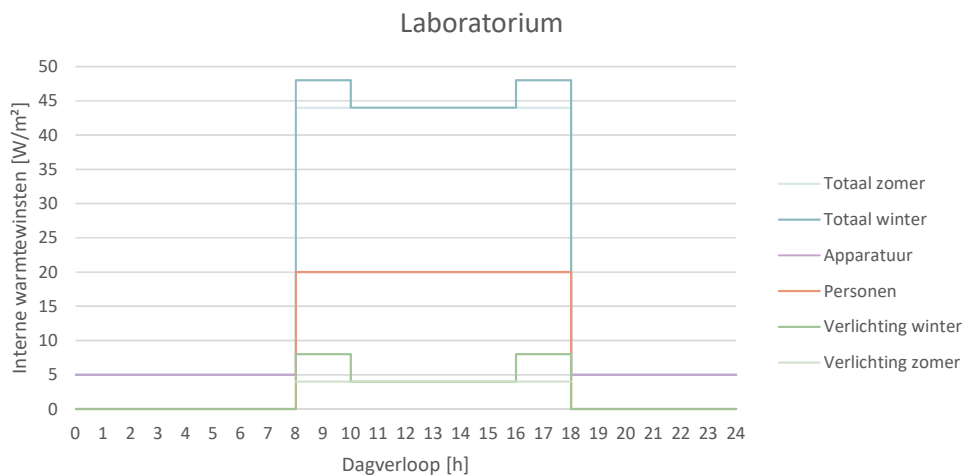


Figuur 52: Interne warmtewinsten bij een computerklas in een zomer- en winterscenario

130. Vabi, 2022

Voor een laboratorium wordt een bezetting van 4 m<sup>2</sup>/persoon aangenomen, volgens bijlage X van de EPB regelgeving (2022). De interne warmtewinsten van apparatuur zijn afgeleid uit de thesis van Verhelle S.<sup>131</sup>, waarbij er onderzoek gevoerd is naar de gemiddelde vermogensdichtheden in verschillende labo's aan de UGent. De meeste laboratoria zitten in een vermogensklasse van 10 tot 20 W/m<sup>2</sup> tijdens piekuren – dus tijdens bezetting - en 0 tot 5 W/m<sup>2</sup> tijdens daluren. Er wordt vervolgens gekozen om met de waarden van 20 W/m<sup>2</sup> en 5W/m<sup>2</sup> verder te gaan. De bezetting tijdens piekuren is volgens dit onderzoek aanwezig van 8h 's ochtends tot 19h 's avonds. Om coherent te blijven met de rest van de bezettingsprofielen vervroegt het einduur naar 18h. De middagpauze wordt hier echter niet ingerekend, gezien er volgens de thesis van Verhelle S. een doorlopende bezetting aanwezig is.

De interne warmtewinsten van de verlichting zijn gelijk aan die van de andere klaslokalen, de interne warmtewinsten van personen nemen echter toe. De gebruiker in een labo werkt al staand, wat overeenkomt met 'light bench work' uit het ASHRAE handbook met een voelbare warmtewinst van 80 W/pers.<sup>132</sup>



Figuur 53: Interne warmtewinsten bij een laboratorium in een zomer- en winterscenario

Als laatste optie zijn er nog werkplaatsen mogelijk. Dit wordt gezien als plaatsen met een relatief lage bezetting, waar de minimale binnentemperatuur lager ligt dan in andere situaties, bijvoorbeeld 18°C. Gezien dit scenario geen extreme scenario's zou opleveren, valt dit niet binnen het kader van dit onderzoek.

### 7.2.3 Studentenhuisvesting

Bij studentenhuisvesting zal er vaak een variatie zijn tussen de bezettingsprofielen van de studenten onderling. Er wordt een profiel met hoge bezetting opgesteld met hoge interne warmtewinsten en een profiel met lage bezetting en warmtewinsten, vertrekkende van het profiel voor appartementen uit norm NBN EN 16798-1.<sup>133</sup> Bij beide profielen wordt er geen bezetting ingerekend in het weekend.

Per segment wordt een studentenkamer voorzien, dit komt neer op een bruto oppervlak van 19,5 m<sup>2</sup>/persoon. Per verdieping kan eventueel nog een gemeenschappelijke keuken voorzien worden of andere collectieve delen, dit wordt in het gebruikersprofiel achterwege gelaten, gezien dit buiten het kader van dit onderzoek valt.

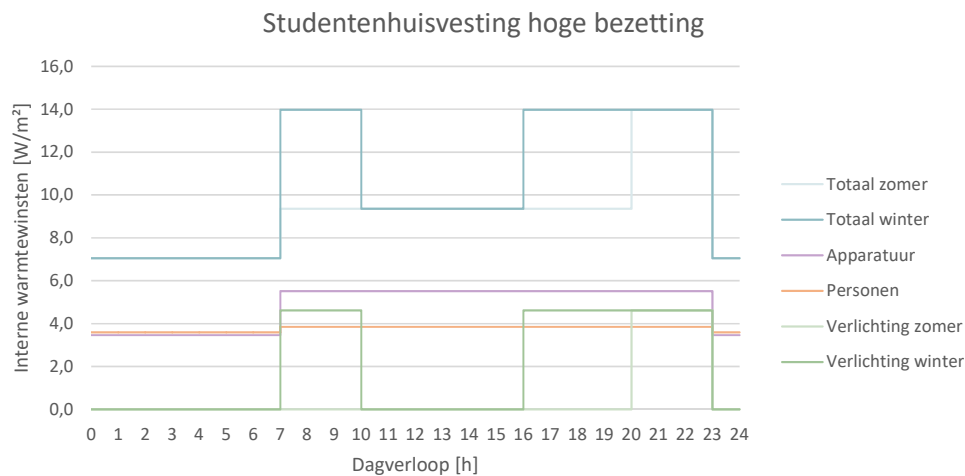
131. Verhelle, S. 2003

132. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993

133. NBN EN 16798-1, 2019

Bij de hoge bezetting wordt op een permanente aanwezigheid gerekend, wat bijvoorbeeld kan voorkomen in examenperiodes. Hier is 's nachts, van 23h tot 7h, een reductie van de interne warmtewinsten ingerekend, uitgaande van een slapend persoon. Gezien de activiteit gelijkaardig is aan kantoorwerk, wordt ook hier de waarde van 75W/pers aangehouden, 's nachts wordt er echter met 70W/pers gerekend.<sup>134</sup> De verlichting kent een reductie, er wordt uitgegaan van een lamp van 80W, met daarnaast nog twee kleinere lampen van 50W, waarbij een gebruiksfactor van 50% ingerekend wordt, wat bijgevolg neerkomt op 4,6W/m<sup>2</sup>.<sup>135</sup> Daarnaast wordt ook hier een zomer- en winterregime gebruikt voor de verlichting, met daarnaast ook een dag- en nachtregime. De verlichting is steeds uit in de nacht en ze staat ook uit tussen 10h en 16h en in de zomer tussen 7h en 20h. Hier wordt niet met de 50% terugval gewerkt, gezien in studentenkoten men vaak minder snel geneigd is de verlichting aan te steken dan in klassen of auditoria.

Als apparatuur wordt een koelkast en een laptop ingerekend, waarbij nog een marge gerekend wordt voor andere aanwezige apparatuur. De koelkast heeft een warmteafgifte van 40W als ze aanstaat, wat ongeveer een kwartier per uur het geval is, en een warmteafgifte van 10W als ze in stand-by staat. Dit resulteert in een verbruik van gemiddeld 17,5W.<sup>136</sup> De laptop levert 50W in werking, 's nachts staat deze stand-by met bijhorend 30W. Verder wordt er overdag een marge van 40W gerekend voor andere apparatuur zoals bijvoorbeeld een beeldscherm of een muziekinstallatie, 's nachts wordt dit tot 20W gereduceerd. Samen komt dit overdag op 5,5W/m<sup>2</sup> en 's nachts op 3,5W/m<sup>2</sup> voor apparatuur. Daarnaast worden ook hier in de gang geen interne warmtewinsten ingerekend, om dezelfde reden als bij de voorgaande profielen.



Figuur 54: Interne warmtewinsten bij studentenhuisvesting met hoge bezetting in een zomer- en winterscenario

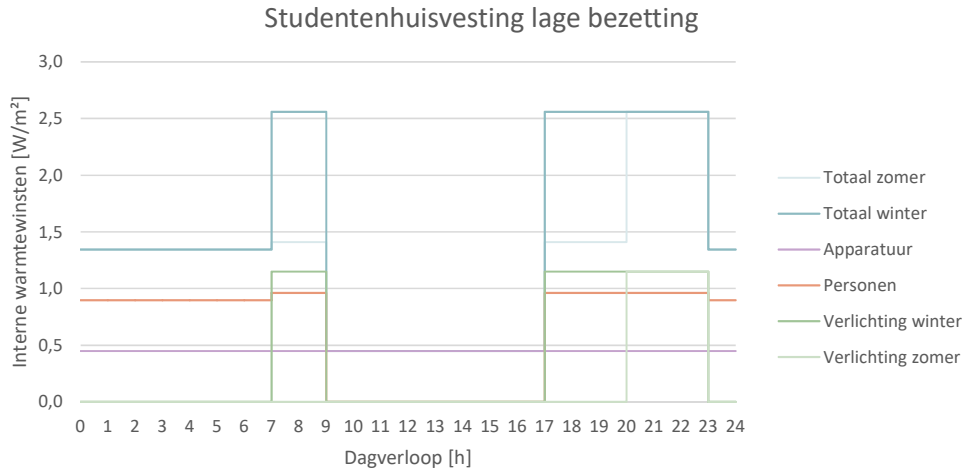
Vervolgens wordt ook een profiel met lage bezetting en weinig interne warmtewinsten onderzocht, wat bijvoorbeeld het geval kan zijn in de vakantie. De bezetting wordt gereduceerd tot 25%, waarbij de personen niet permanent aanwezig zijn, maar hun kamer verlaten tussen 9h en 17h. Daarnaast wordt voor de apparatuur enkel een koelkast ingerekend, met een gebruik van 50% over de zones, gezien niet iedereen een werkende frigo heeft staan.

134. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993

135. Mahmoud, R. et al., 2020

136. Mahmoud, R. et al., 2020





Figuur 55: Interne warmtewinsten bij studentenhuisvesting met lage bezetting in een zomer- en winterscenario

## 7.2.4 Samenvatting bezettingsprofielen

Het is duidelijk dat er een grote variatie is tussen de verschillende bezettingsprofielen. Hieronder worden de verschillende profielen samengevat in een tabel.

Bezettingsprofiel	m <sup>2</sup> /persoon	W/persoon	Interne warmtewinsten [W/m <sup>2</sup> ]				TOTAAL	Aanwezigheid (ma tot vrij)	middagpauze	Graad van bezetting tijdens middagpauze
			Personen	Apparaten	Verlichting (bij 100%)	TOTAAL				
Kantoor hoge bezetting	10	75	7,5	15	8	30,5	8-18h	12-14h	65%	
Kantoor lage bezetting	20	75	3,8	5,5	8	17,3	8-18h	12-14h	65%	
Auditorium hoge bezetting	1	75	75,0	4	8	87	8-18h	12-13h	25%	
Auditorium lage bezetting	2	75	37,5	4	8	49,5	8-18h	12-13h	25%	
Klas lage bezetting	3,5	75	21,4	4	8	33,4	8-18h	12-13h	25%	
Auditorium hoge bezetting + laptops	1	75	75,0	29	8	112,0	8-18h	12-13h	25%	
Auditorium lage bezetting + laptops	2	75	37,5	16,5	8	62,0	8-18h	12-13h	25%	
Klas lage bezetting + laptops	3,5	75	21,4	11,1	8	40,6	8-18h	12-13h	25%	
Computerklas	3,5	75	21,4	52,6	8	82,0	8-18h	12-13h	25%	
Labo	tijdens bezetting	4	80	20,0	20,0	8	48,0	8-18h		
	buiten bezetting	/	/	/	5,0	/	5,0	18 - 8h	geen	
Studentenkamer lage bezetting	dag	19,5	75	3,8	0,4	1,15	5,4	7-23h		
	nacht		70		0,4	0,0	4,3	23-7h	9-17h	0%
Studentenkamer hoge bezetting	dag	19,5	75	3,8	5,5	4,6	14,0	7-23h		
	nacht		70		3,5	0,0	7,3	23-7h	Geen	

Tabel 3: Samenvatting interne warmtewinsten van de verschillende bezettingsprofielen

## 7.3 Onderzoek op basis van dynamische simulaties

Op verdiepingsniveau werden dynamische simulaties uitgevoerd om realistische inschattingen te kunnen maken op vlak van comfort en energieverbruik. Hiervoor werd gebruik gemaakt van de software Dymola<sup>137</sup>, die werkt op basis van de 'open-source' Modelica modelleertaal, waarin complexe fysische systemen gemodelleerd en gesimuleerd kunnen worden.<sup>138</sup>

Het simulatiemodel zelf wordt opgesteld aan de hand van componenten uit de 'open-source' IDEAS bibliotheek: 'Integrated District Energy Assessment Simulations'. De bibliotheek bevat onder andere componenten om thermische en elektrische systemen te simuleren op gebouwniveau.<sup>139</sup> De componenten bestaan uit vergelijkingen en variabelen die onderdelen representeren die in het echt ook bestaan zoals ramen, muren etc. Bovendien kunnen de componenten makkelijk aangepast worden, waardoor het model gespecificeerd kan worden naargelang wat er gesimuleerd moet worden op een intuïtieve manier. Daarnaast laat de IDEAS bibliotheek ook toe om modellen met meerdere zones te maken, om zo erg accurate resultaten te bekomen op gebouwniveau.<sup>140</sup>

### 7.3.1 Simulatiemodel

Het basismodel wordt opgesteld op basis van de bestaande toestand. Het model is gebaseerd op plannen en andere info die via de DGFB verkregen is. Gezien echter niet alle info gekend is, worden hier enkele weloverwogen aannames in gemaakt.

Het simulatiemodel bestaat in feite uit meerdere modellen - structuurmodel, gebruikersmodel, ventilatiemodel en verwarmingsmodel - die samenkomen in een gebouwmodel. Dit gebouwmodel bevat dan alle nodig info, waarop de simulatie kan gebeuren.

Vanuit het basismodel van de bestaande toestand, kan later de impact van verschillende wijzigingen grondig onderzocht worden. Hierbij is er telkens bijzondere aandacht voor de wijzigingen die zich voordoen op vlak van energieverbruik en thermisch comfort.

137. Dymola software, versie 2021

138. Claytex Technia Company, 2010 - 2022

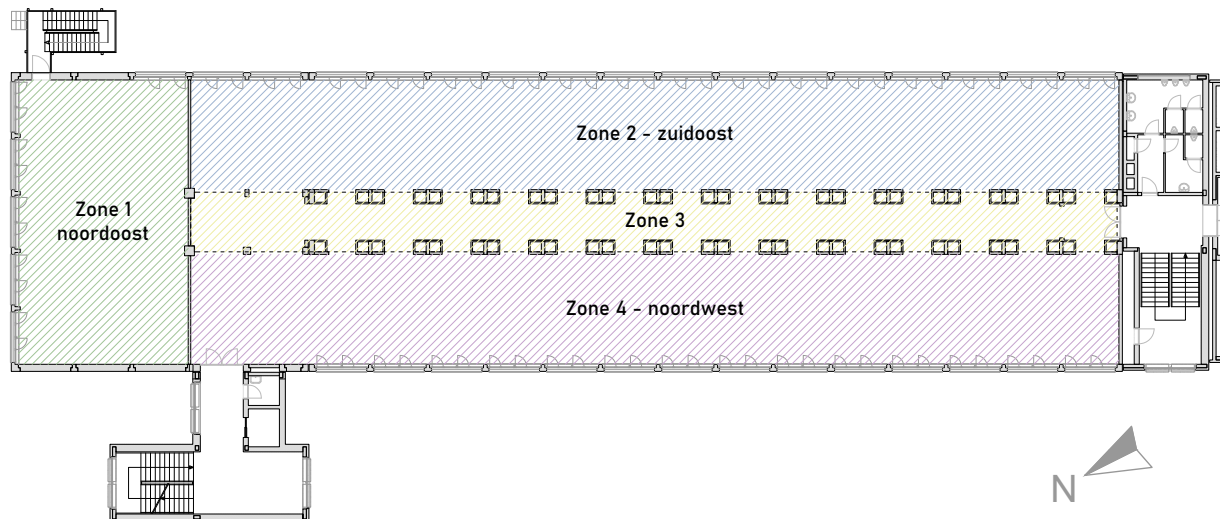
139. Github, 2022

140. Jorissen, F. et al., 2018

## 7.3.2 Structuurmodel

### Typeverdieping

In het model wordt een typeverdieping gemodelleerd om de simulatie uit te voeren. Het model bestaat uit vier zones, die gekozen zijn op basis van oriëntatie en draagstructuur. De onderverdeling is als volgt gemaakt:



Figuur 56: Overzicht van de zones in het simulatiemodel (Dymola)

Elke gevel met een andere oriëntatie geeft aanleiding tot een aparte zone, om zo de impact van de oriëntatie toonbaar te maken in de simulatieresultaten. Daarnaast markeert de draagstructuur samen met de ventilatieschachten een duidelijke gang in het midden van het gebouw. Gezien deze structuur fundamenteel is in de opbouw van het gebouw, kan deze gang niet weggedacht worden. Bijgevolg is de gang die erdoor gevormd wordt als een aparte zone gemodelleerd, die al dan niet open verbonden kan worden met de naastliggende zones.

### Ligging en geometrie

De langsgevels van het gebouw zijn zuidoost en noordwest georiënteerd. Het gebouw is echter  $27^\circ$  naar het westen gedraaid ten opzichte van het noorden. Dit geeft als oriëntaties  $-153^\circ$  voor de kopse gevel van zone 1,  $-63^\circ$  voor de zuidoost georiënteerde gevel en  $117^\circ$  voor de gevel die noordwest georiënteerd ligt.

Zone 1 heeft een oppervlakte van  $148,6 \text{ m}^2$  met een volume van  $577,3 \text{ m}^3$ . Zone 2 en 4 hebben een oppervlakte van  $314,6 \text{ m}^2$  met een volume van  $1222,0 \text{ m}^3$  en zone 3 heeft een oppervlakte van  $144,9 \text{ m}^2$  met een bijhorend volume van  $562,2 \text{ m}^3$ . Zone 1 wordt beschouwd als een aparte zone met een gesloten muur naar de andere zones toe. Zone 2, 3 en 4 kunnen echter verbonden worden met elkaar, of ook afgescheiden worden van elkaar.

Voor het model van de bestaande toestand, is er een raamkader en beglazing gekozen uit de IDEAS bibliotheek, waarbij de waarden overeenkomen met bestaand schrijnwerk met een aluminium kader. De beglazing heeft een U-waarde van  $2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  en een g-waarde van  $0,78$  en heeft het raamkader een U-waarde van  $5,68 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .<sup>141</sup> Voor de overige constructieonderdelen worden de U-waardes gehanteerd zoals berekend in bijlage 2.

141. IDEAS library, 2022

In Dymola worden de constructie-elementen apart ingegeven, met bijhorende opbouw zoals ze gedocumenteerd staan in de archiefplannen van de UGent.<sup>142</sup> Deze constructie-elementen worden dan in het structuurmodel aan de juiste component gelinkt. De gehanteerde oppervlakken van de scheidingsconstructies worden hieronder weergegeven. Een gedetailleerd overzicht van de ingegeven constructieonderdelen is in bijlage 4 te vinden.

Gevelement	Zone 1 [m <sup>2</sup> ]	Zone 2 [m <sup>2</sup> ]	Zone 3 [m <sup>2</sup> ]	Zone 4 [m <sup>2</sup> ]
Betonnen kolommen	35,6	47,5	0	45,6
Ramen boven borstwering	44,0	117,4	0	102,8
Borstwering	16,0	42,6	0	37,2
Gevulde gevelvlakken	50,0	0	0	2,9
Vloer / plafond	164,3	338,8	145	336,7
Scheidingsmuur S4bis	0	26,0	13	26,0
Scheidingsmuur trappenhal	0	0	0	19,1
Binnemuren	65,2	224,7	411	224,7

Tabel 4: Overzicht oppervlaktes van de constructieonderdelen in Dymola

De dragende structuur van de vloerplaten is ter plaatse gestort. Door het grote oppervlak van deze betonnen constructieonderdelen spelen ze een belangrijke rol in de warmteregulering van het gebouw omwille van de thermische inertie. Om dit thermisch zo correct mogelijk in te rekenen, is de vloerplaat opgesplitst in twee delen: de betonnen vloerplaat van 6cm die meegerekend wordt bij de vloeropbouw, met daarnaast muren in het model die dezelfde dikte en hetzelfde oppervlak hebben als de ribben. Op deze manier kloppen het beschikbare oppervlak en de massa van het beton om de thermische inertie in rekening te brengen.

### Randvoorwaarden

Gezien er enkel een typeverdieping gesimuleerd wordt en niet het volledige gebouw, werden een aantal randvoorwaarden toegevoegd om abstractie te maken van de aangrenzende gebouwdelen. De typeverdieping grenst aan twee binnentrappenhallen en aan een onder- en bovenverdieping. De temperatuur van deze ruimtes is gelijkgesteld aan de temperatuur van de ruimte waaraan ze grenzen, wat iteratief berekend wordt in Dymola. De grenzen zijn bijgevolg niet strikt adiabatisch, er is een warmtetransport door de constructieonderdelen mogelijk. Gezien de aangrenzende ruimtes een gelijke temperatuur hebben, zal dit warmtetransport erg beperkt zijn, maar de isolatielagen die zich tussen beide ruimtes bevinden worden op deze manier correct ingerekend alsook is er warmteopname en warmteafgifte aan beide zijden van het bouwelement mogelijk om de thermische inertie correct te berekenen.

### Zonnewering

In de bestaande toestand van de S4 is er buitenzonnewering aanwezig aan de zuidoostgevel van het gelijkvloers tot en met de tweede verdieping. De screens worden manueel bediend, waarbij er in de simulaties aangenomen wordt dat ze omlaag gaan als de directe zonnestraling groter of gelijk is aan 300 W/m<sup>2</sup> op de respectievelijke gevel. De zonnewering is al wat verouderd en is vrij doorschijnend, bovendien zijn sommige screens niet meer functioneel. Daarom is er gekozen voor klasse 1, 'little effect' uit norm NBN EN 14501<sup>143</sup> waarbij de totale transmissie van de zonne-energie  $g_{tot}$  is vastgelegd op 0,4.

142. Cnockaert, E., persoonlijke communicatie, 14 december 2021

143. NBN EN 14501, 2021

### 7.3.3 Bezettingsmodel - interne warmtewinsten

Het bezettingsmodel voegt aan het model de interne warmtewinsten toe die voortkomen uit het gebruik. De interne warmtewinsten worden ingerekend zoals beschreven in paragraaf 7.2. Hierbij wordt rekening gehouden met de variaties in interne warmtewinsten naargelang de bezetting aanwezig is, inclusief terugval tijdens de middagpauze en het verschil in zomer- en winterprofiel om meer of minder interne warmtewinsten van verlichting in rekening te brengen. Deze worden ingegeven als 67% convectief en 33% radiatief, wat een typische waarde is voor een gebruikersprofiel.<sup>144</sup>

Er is telkens eenzelfde bezettingsprofiel ingerekend voor een volledige verdieping, om per profiel apart de impact te kunnen onderzoeken. In de gang worden nooit interne warmtewinsten ingerekend, omdat hier enkel kortstondig gebruik verwacht wordt, met een automatische detectie voor de verlichting.

### 7.3.4 Ventilatiemodel

Zoals vermeld in paragraaf 4.2.6, zijn er verschillende vormen van ventilatie voorzien in het gebouw. In de simulatie van de bestaande toestand worden er verschillende bezettingsprofielen gesimuleerd. Het kantoor en het leslokaal worden voorzien van natuurlijke ventilatie, waarbij er als abstractie aangenomen wordt dat er een constant toevoer- en afvoerdebiet van 22 m<sup>3</sup>/persoon aanwezig is, waarbij de toevoer met buitenlucht gebeurt. De buitenlucht bevat de gegevens uit de TMY-file en heeft dus een realistische temperatuur. Buiten bezettingstijd valt dit debiet terug naar 10%. De middagpauze wordt echter niet in rekening gebracht in de simulaties, het debiet blijft daar even hoog als tijdens volledige bezetting. Daarnaast wordt ook een practicumruimte gesimuleerd waar uitgegaan wordt van een ventilatiedebiet van 10 vol/h, waarbij de compensatie voorzien wordt met buitenlucht. Ook hier valt het debiet buiten bezettingsuren terug tot 10%.

Er wordt van uitgegaan dat de ventilatie in de gang aan de hand van doorstroomlucht gebeurt. Hier wordt echter abstractie van gemaakt in het model om de simulatietijd te beperken. Gezien de doorstroomlucht al verwarmd wordt in de ruimte waar ze binnenkomt, zal ze op comforttemperatuur zijn eens ze in de gang komt. Het is bijgevolg energetisch gezien acceptabel geen ventilatiedebiet te voorzien in de gang. Gezien het in de simulaties te vermijden is met waarden gelijk aan nul te werken, wordt er een verwaarloosbaar toevoerdebiet voorzien. De debieten die gehanteerd worden in bestaande toestand worden weergegeven in de volgende tabel.

	Zone 1 [m <sup>3</sup> /h]	Zone 2 [m <sup>3</sup> /h]	Zone 3 [m <sup>3</sup> /h]	Zone 4 [m <sup>3</sup> /h]
Labo 10 vol/h	5773	12220	20	12220
Klas lage bezetting	934	1977	20	1977
Kantoor hoge bezetting	327	692	20	692

Tabel 5: Overzicht van de debieten die in het simulatiemodel ingegeven zijn voor de bestaande toestand

144. Janssens, A. & Laverge, J., 2021-2022

### 7.3.5 Verwarmingsmodel

Zoals beschreven in paragraaf 4.2.7, wordt de toevoertemperatuur van de verwarming geregeld aan de hand van stookcurves. In de simulaties worden deze echter niet in rekening gebracht. De vermogens van de verwarmingselementen worden ingegeven zoals berekend in paragraaf 7.10.3, waarbij er een aandeel van 70% convectief afgegeven wordt en 30% radiatief, wat een typische verdeling is van de warmteafgifte bij radiatoren.<sup>145</sup> Daarnaast wordt ook de nachtverlaging in rekening gebracht, gezien dit toegepast wordt in de S4 en er een typeverdieping uit de S4 gesimuleerd wordt. Hierbij wordt er echter gekozen om tot op comforttemperatuur te verwarmen van 6h tot 18h i.p.v. tot 17h, gezien de eerder opgestelde bezettingsprofielen tot dan aanwezig zijn. Dit laat toe om achteraf een correcte vergelijking te maken met de gerenoveerde toestand.

Overdag wordt de verwarming ingesteld op 21°C, 's nachts en in het weekend is er een setbacktemperatuur van 16°C voorzien. De insteltemperatuur heeft een bandbreedte van 1°C, waarbij de verwarming in werking treedt als de binnentemperatuur een halve graad onder de gevraagde temperatuur zakt en stopt met werken als ze er een halve graad boven gaat. Gezien de verwarming in de praktijk nog in werking bleek te zijn in juni, wordt het zomerregime niet toegepast, maar kan de verwarming heel het jaar in werking treden als de setpointtemperatuur niet behaald zou worden. Wel wordt er ingesteld dat de verwarming uitgeschakeld wordt als het buiten warmer is dan 20°C.

### 7.3.6 Gebouwmodel

In het gebouwmodel worden de verschillende modellen die hierboven beschreven zijn aan elkaar gelinkt. Daarnaast wordt hier ook een weerfile en een  $n_{50}$ -waarde aan gekoppeld op gebouwniveau.

#### Buitenklimaat

Er is gebruik gemaakt van een TMY-bestand van Ukkel om het buitenklimaat in te rekenen. TMY is een 'Typical Meteorological Year' en bevat meteorologische data per uur, voor een volledig jaar. De data werd geselecteerd uit metingen van tien jaar of meer, waarbij telkens per maand de data gekozen werden uit het jaar dat de meest typische karakteristieken heeft voor die bepaalde maand.<sup>146</sup>

#### Infiltratie

De  $n_{50}$ -waarde van de bestaande toestand is niet gekend. Bijgevolg werd de waarde bij ontstentenis uit de norm 'EN12831 nationale bijlage 2015'<sup>147</sup> van 6 gebruikt. De  $n_{50}$ -waarde is ingegeven op gebouwniveau. Dit heeft als gevolg dat alle volumes en lekoppervlakken van de zones samengeteld worden, waarop de  $n_{50}$ -waarde wordt berekend, waarna deze infiltratie weer verdeeld wordt over alle zones en oppervlakken.

145. Janssens, A. & Laverge, J., 2021-2022

146. European Energy Efficiency Platform (E3P), 2022

147. NBN EN 12831-1, 2020

## 7.3.7 Metingen en simulatieresultaten

### Instellingen simulaties

De simulatie start op 1 januari om 0h 's nachts en simuleert een volledig jaar. Voor de simulatie is een tijdstap van 1h gebruikt; de resultaten worden bijgevolg per uur gegeven. Om de berekeningen zo correct mogelijk uit te voeren, berekent Dymola echter alles bij elke belangrijke wijziging, zoals bijvoorbeeld een verandering in interne warmtewinsten. Hierdoor zijn de resultaten accuraat. Er wordt gewerkt met het Dassl algoritme met een tolerantie van  $1 \cdot 10^{-5}$  om voldoende precieze resultaten te verkrijgen.<sup>148</sup>

### Output simulaties

In Dymola wordt van elke component die in het model geplaatst wordt een output gegeven. De relevante resultaten voor dit onderzoek worden geanalyseerd en verwerkt. De belangrijkste resultaten zijn de temperatuur, de oververhittingsuren en het energieverbruik. De temperatuur wordt gemeten door de temperatuursensor in Dymola per zone. De output hiervan is een grafiek met het temperatuurverloop van een jaar. Daarnaast is ook ingesteld dat de oververhittingsuren – dus de tijd dat de temperatuursensor boven temperaturen van 26, 27, 28 en 29°C gaat - in Dymola zelf gemeten worden, om zo'n precies mogelijke resultaten te verkrijgen. De output hiervan is een cumulatieve grafiek per temperatuur waarin de oververhittingsuren worden weergegeven. Ook het energieverbruik voor verwarming (en later ook koeling), worden in het model zelf gemeten. Het vermogen van de verwarming wordt aan de hand van de tijd dat de verwarming aanstaat omgezet naar een verbruik in kWh over de volledige verdieping. Deze resultaten worden dan later omgerekend naar een verbruik in kWh/(m<sup>2</sup>.jaar).

### Interpretatie van de oververhitting

Om de oververhitting in rekening te brengen, wordt met twee parameters rekening gehouden. Enerzijds werkt de ontwerprichtlijn van de UGent met de absolute overschrijdingsuren in de zomer. Hierbij worden volgende criteria gehanteerd.<sup>149</sup>

Criteria	Grenswaarde (minimaal)	Richtwaarde (normaal)	Streefwaarde (optimaal)
Absolute overschrijdingsuren (zomer) > 26°C	150 - 200 h	100 h	< 100 h
Absolute overschrijdingsuren (zomer) > 28°C		20 h	

Tabel 6: overzichtstabel maximale overschrijdingsuren volgens de ontwerprichtlijn van de UGent (Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2020)

Anderzijds werkt norm NBN EN 15251 met de gewogen temperatuuroverschrijding (GTO), wat een iets verfijnder beeld geeft van de oververhitting. De overschrijdingstemperaturen worden hier gewogen op basis van weegfactoren, de temperatuur of het aantal PPD, 'the predicted percentage of dissatisfied'. De eerste factor is dus enkel op het objectieve criterium temperatuur gebaseerd. De tweede factor houdt rekening met de beleving van personen zelf en is een strenger criterium dan de temperatuur.<sup>150</sup>

148. Dymola software, versie 2021

149. Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2020

150. NBN EN 15251, 2007

Temperature °C		PPD %	Weighting factors	
			wf(°C)	wf(PPD)
Cool	20	47	3	4,7
	21	31	2	3,1
	22	19	1	1,9
Neutral	23	10	0	0
	24	<10	0	0
	25	<10	0	0
	26	10	0	0
Warm	27	19	1	1,9
	28	31	2	3,1
	29	47	3	4,7

Tabel 7: Richtwaarden GTO (NBN EN 152151, 2007)

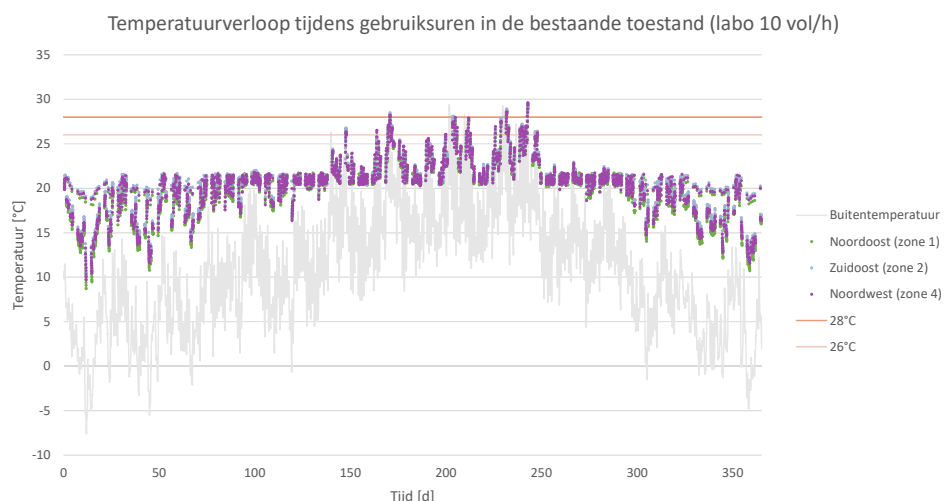
De Rijksgebouwdienst van Nederland heeft hierbij richtwaarden opgesteld voor de GTO. 100 overschrijdingsuren is zeer goed comfort, 150 overschrijdingsuren is goed en 250 overschrijdingsuren is acceptabel.<sup>151</sup>

### 7.3.8 Resultaten dynamische simulaties - Bestaande toestand

In de bestaande toestand worden 3 typische profielen gesimuleerd ter referentie, namelijk het kantoor met hoge bezetting, een leslokaal met lage bezetting en een labo met 10 volumewisselingen per uur. Bij het kantoor en het leslokaal zijn de zones gescheiden van elkaar d.m.v. een binnenwand, in geval van het labo zijn zone 2, 3 en 4 als één grote ruimte gesimuleerd in de bestaande toestand.

#### Temperatuurverloop

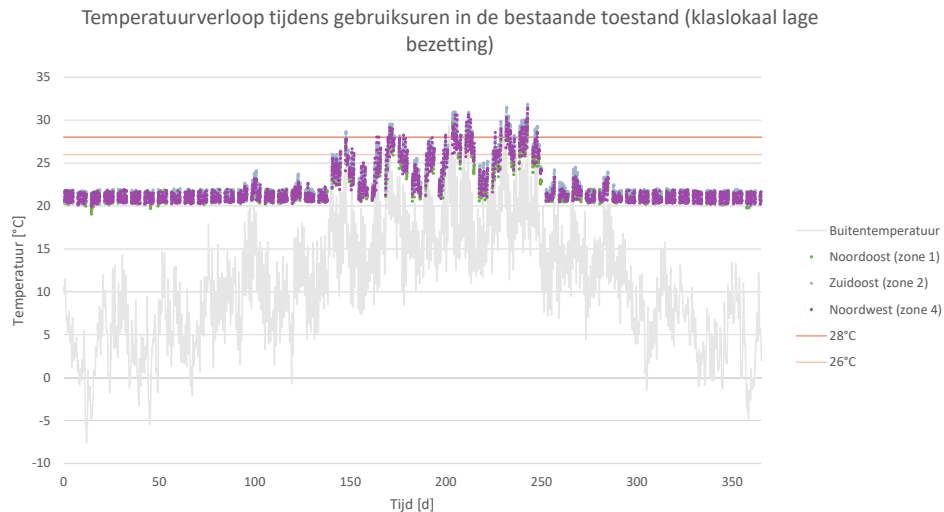
Als eerste wordt gekeken naar het algemene temperatuurverloop in de verschillende zones tijdens gebruiksuren voor een volledig jaar.



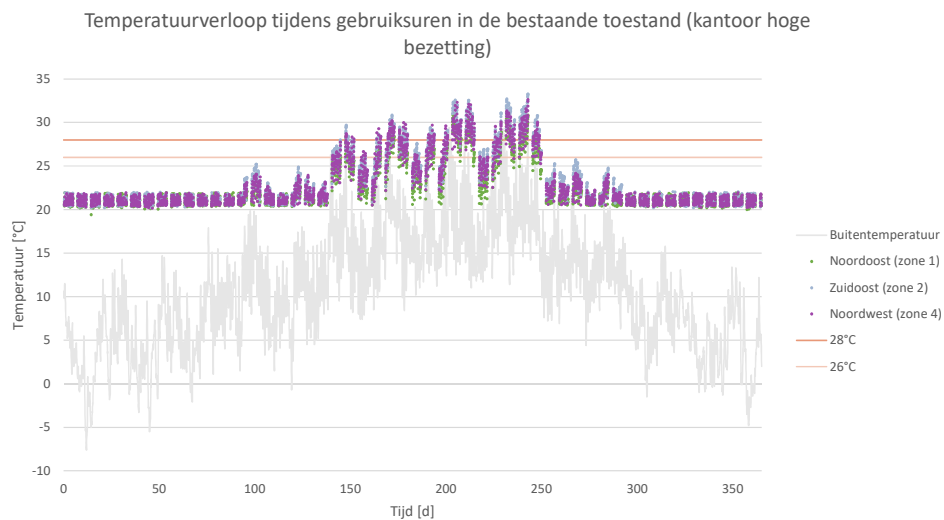
Figuur 57: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor laboruimtes met 10 vol/h in de bestaande toestand

151. WVOI, z.d.





Figuur 58: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor klaslokalen met lage bezetting in de bestaande toestand



Figuur 59: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor kantoren met hoge bezetting in de bestaande toestand

In alle scenario's is er sprake van oververhitting, ook in de laboruimtes waar er sterk geventileerd wordt. De kantoren halen echter de hoogste temperaturen. Dit is een gevolg van de hoge interne warmtewinsten in combinatie met een relatief laag ventilatiedebiet in vergelijking met de andere twee scenario's. Volgende grafiek geeft de verhouding ventilatiedebiet t.o.v. de interne warmtewinsten weer in de gebruikszones (zone 1, 2 en 4) in de bestaande toestand.

	Ventilatiedebiet [m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> )]	Interne warmtewinsten [W/m <sup>2</sup> ]	Verhouding interne warmtewinsten / ventilatiedebiet
Labo 10 vol/h	38,8	46,8	1,2
Klas lage bezetting	6,3	33,4	5,3
Kantoor hoge bezetting	2,2	30,5	13,9

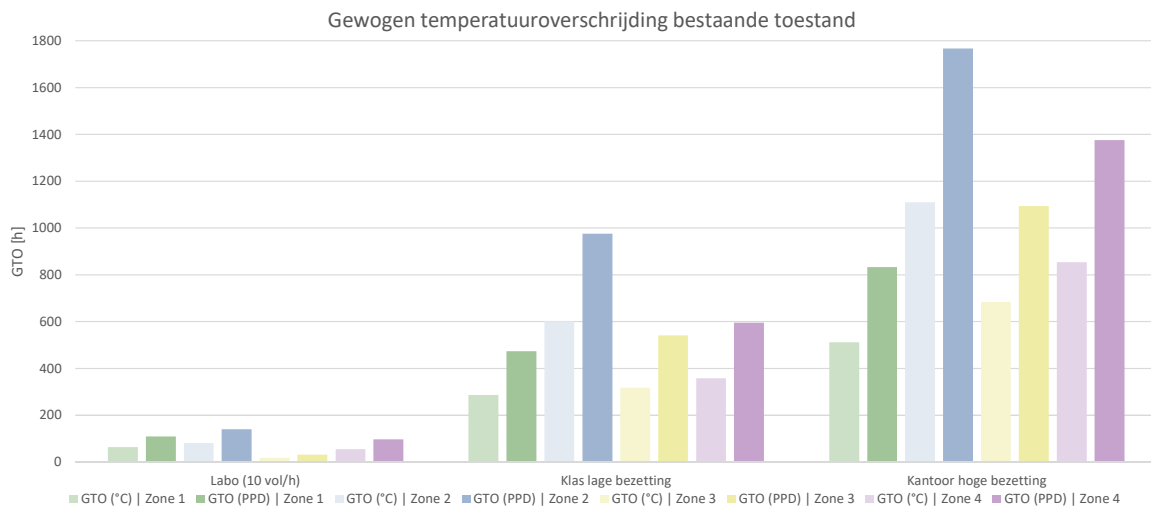
Tabel 8: Verhouding interne warmtewinsten/ventilatiedebiet voor 3 bezettingsscenario's in de bestaande toestand

Daarnaast valt op dat de comforttemperatuur van 20°C niet altijd gehaald kan worden. In de laboratoria voldoet het vermogen van de radiatoren in de winter niet om de ventilatieverliezen te compenseren. In de werkelijke bestaande toestand wordt de inblaasluucht daarom naverwarmd zoals vermeld in paragraaf 4.2.6, dit effect werd echter niet meegenomen in de simulatie.

Verder valt er uit de grafiek af te leiden dat de verwarming in werking treedt wanneer de buitentemperatuur onder ongeveer 15°C zakt, ook in de zomer. Dit is zelfs het geval bij de kantoren, ondanks de hoge interne warmtewinsten. Dit is zichtbaar in de grafieken, doordat de temperatuur soms daalt, om dan op een plateau van 20,5°C te landen, de ondergrens van de insteltemperatuur van de verwarming.

### Gewogen temperatuuroverschrijding

Op bovenstaande grafieken is zichtbaar dat er in alle scenario's sprake is van oververhitting. De concrete oververhitting wordt hieronder gekwantificeerd aan de hand van de gewogen temperatuuroverschrijding.



Figuur 60: Gewogen temperatuuroverschrijding voor 3 bezettingsscenario's in de bestaande toestand

	GTO (°C) Zone 1 [h]	GTO (PPD) Zone 1 [h]	GTO (°C) Zone 2 [h]	GTO (PPD) Zone 2 [h]	GTO (°C) Zone 3 [h]	GTO (PPD) Zone 3 [h]	GTO (°C) Zone 4 [h]	GTO (PPD) Zone 4 [h]
Labo (10 vol/h)	64	110	82	140	19	33	56	97
Klas lage bezetting	537	190	287	473	602	976	318	541
Kantoor hoge bezetting	701	381	512	833	1110	1768	684	1094

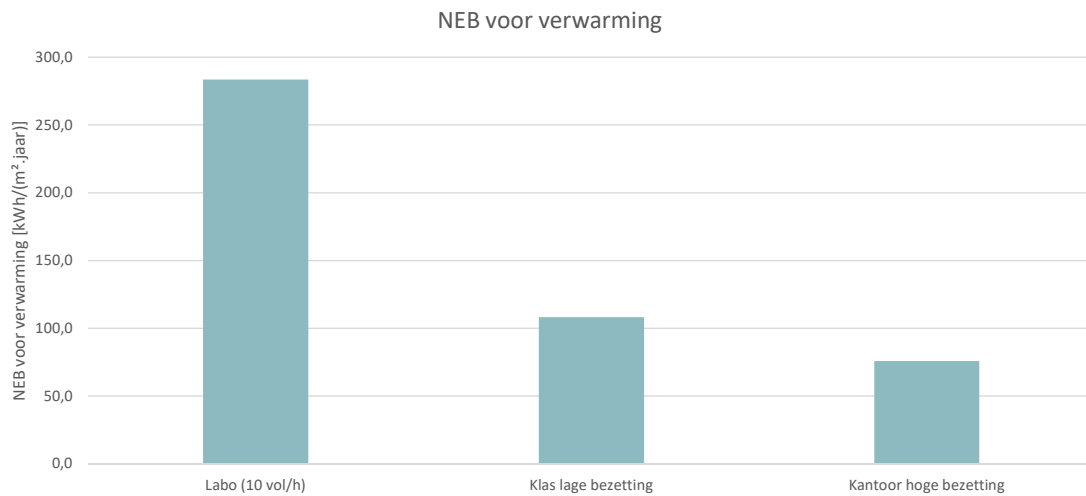
Tabel 9: Gewogen temperatuuroverschrijding voor 3 bezettingsscenario's in de bestaande toestand

De oververhitting is een gevolg van de verhouding tussen interne warmtewinsten, zonnwinsten en ventilatiedebieten. De zonnwinsten zijn echter in elk scenario gelijk, dus zorgt voornamelijk de verhouding tussen interne warmtewinsten en ventilatie voor het verschil in oververhitting. Bij kantoren ligt deze verhouding het hoogst, bijgevolg is hier de hoogste oververhitting waar te nemen. Het omgekeerde geldt voor de laboratoria. Daarnaast is in alle situaties duidelijk dat zone 2 de meest kritische zone is, ondanks dat deze zone als enige voorzien is van zonnewering. Dit is het gevolg van de oriëntatie naar het zuidoosten waarbij er de meeste zoninval is. Zone 4 is noordwest georiënteerd en krijgt vooral 's avonds zon, zone 1 is noordoost gericht en krijgt enkel 's ochtends zon.

In het geval van de klassen met lage bezetting en kantoren met hoge bezetting zijn zone 2 en 4 de meest kritieke zones. Bij de labo's zijn dit echter zone 1 en 2. Dit komt omdat zone 2, 3 en 4 verbonden zijn met elkaar in het geval van de labo's. De ruimte is dieper en heeft twee gevels met een andere oriëntatie. De warmte kan zich bijgevolg over de gehele ruimte verspreiden, in plaats van geconcentreerd te blijven in de ondiepe ruimte achter het raam, waardoor de extreme temperaturen uitgemiddeld worden.

## Jaarlijkse NEB voor verwarming

Naast de oververhitting, wordt ook de netto-energiebehoefte voor verwarming bekeken. Ook hier is het verschil in warmtevraag een gevolg van het samenspel tussen de ventilatie en de interne warmtewinsten.

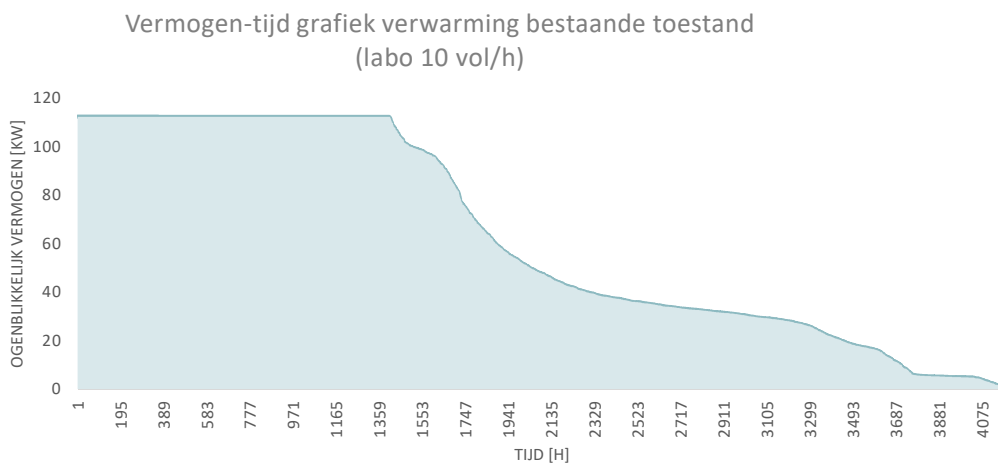


Figuur 61: Netto-energiebehoefte voor verwarming voor 3 bezettingsscenario's in de bestaande toestand

NEB voor verwarming [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	
Labo (10 vol/h)	283,38
Klas lage bezetting	108,24
Kantoor hoge bezetting	75,95

Tabel 10: Netto-energiebehoefte voor verwarming voor 3 bezettingsscenario's in de bestaande toestand

Logischerwijs hebben de scenario's met veel oververhitting een lage warmtevraag, en omgekeerd. Bij een groter ventilatievoud ten opzichte van de interne warmtewinsten stijgt de warmtevraag namelijk. In principe ligt de energievraag van de laboratoria nog hoger dan op bovenstaande grafiek te zien is. De verwarming werkt voor ongeveer een derde van haar werkingsuren op maximaal vermogen, waarbij ze de gewenste comforttemperatuur niet kan behalen, zoals hieronder aangetoond wordt in een vermogen-tijd grafiek van de verwarming, waarbij de x-as het aantal uren weergeeft dat de verwarming aan staat en de y-as het gemiddelde vermogen per uur.



Figuur 62: Vermogen-tijd grafiek van de verwarming in de bestaande toestand bij laboruimtes met 10 vol/h

Mocht er een groter vermogen voorhanden zijn, zou er wel tot op de comforttemperatuur verwarmd kunnen worden, met een hogere energievraag tot gevolg. In de bestaande toestand wordt dit gerealiseerd aan de hand van een naverwarmingsbatterij in de luchtgroep, zoals eerder vermeld.

### **Conclusie**

De dynamische simulaties van de bestaande toestand bevestigen dat de staat van het gebouw niet erg energie-efficiënt is. Zowel voor labo's, leslokalen en kantoren, die erg hoge warmtewinsten hebben, voldoet de NEB voor verwarming niet aan de vooropgestelde eis door Sweco van 75 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar). Het gebouw dient gerenoveerd te worden om te voldoen aan de hedendaagse eisen.

De simulaties tonen aan dat zone 2 de meest kritieke zone is op vlak van oververhitting, omwille van de zuidoost gerichte oriëntatie. In wat volgt zal er op zone 2 gefocust worden om de oververhitting te beoordelen.

## 7.4 Renovatie van de constructieonderdelen

Bij het renoveren van de bestaande constructieonderdelen wordt gefocust op functioneel en energetisch renoveren. Functioneel renoveren gaat hier bijvoorbeeld over het renoveren van het vloerpakket waarin voorzieningen geïntegreerd moeten worden om aan de noden van de gebruiker tegemoet te komen. Maar ook het installeren van zonnepanelen en regelbare toevoeropeningen voor natuurlijke ventilatie zijn hier voorbeelden van. Het energetisch renoveren gaat over het beperken van de warmteverliezen doorheen de gevel. Concreet worden verschillende renovatiescenario's voor gebouwschil en verdiepingsvloer ontworpen.

In de EPB-regelgeving worden eisen gesteld omtrent de maximale U-waarden bij een ingrijpende energetische renovatie. Bij het na-isoleren van bestaande scheidingsconstructies die het beschermd volume omhullen, bedraagt de maximale U-waarde van de schildelen na renovatie  $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Hierbij wordt een uitzondering gemaakt voor het na-isoleren van bestaande muren aan de binnenzijde van de bestaande constructie waar momenteel geen eisen op het vlak van U-waarde gesteld worden. Daarnaast bedraagt de maximaal toelaatbare U-waarde voor transparante geveldelen  $1,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , met een maximale U-waarde van  $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  voor de beglazing.<sup>152</sup> Isolatiematerialen worden gekenmerkt door hun  $\lambda$ -waarde [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ], deze geeft de warmtegeleidbaarheid van het materiaal aan. Des te hoger de waarde, des te beter het materiaal de warmte geleidt, en dus hoe minder goed het materiaal isoleert. De dikte van de isolatie zal door de vooropgestelde U-waarde en de  $\lambda$ -waarde van het isolatiemateriaal bepaald worden. De berekeningen van de U-waarden van de verschillende constructieonderdelen zijn terug te vinden in bijlage 2.

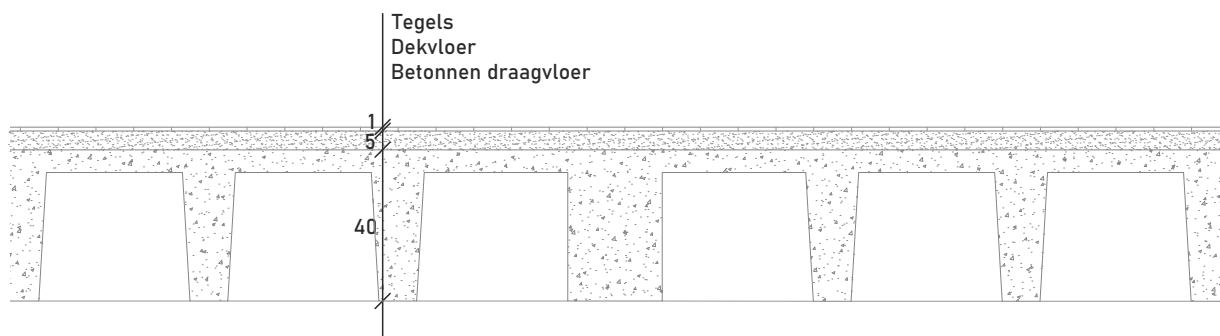
152. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2020

### 7.4.1 Renovatie van de verdiepingsvloer

Bij de renovatie van het vloerpakket wordt er gefocust op de gebruiker en zijn noodzaak aan voorzieningen zoals elektrische stroomtoevoer en internetaansluiting. Hiernaast zijn ook verwarming, koeling en akoestiek bepalende factoren voor de opbouw van de verdiepingsvloer. Bij het ontwerpen moet flexibel gebouwgebruik centraal staan, waarbij 1 vloerpakket een antwoord kan bieden op de noden die bij verschillende herbestemmingsscenario's komen kijken. In wat volgt wordt de impact van elektriciteits- en internetvoorzieningen op de opbouw van het vloerpakket onderzocht. Daarnaast worden verschillende renovatiescenario's voor de verdiepingsvloer ontworpen.

#### Bestaande toestand

Initieel werd ervan uitgegaan dat de vloeren in het S4 gebouw uit geprefabriceerde TT-elementen bestonden. Na een analyse op de site bleek dat de vloeren ter plaatse gestort werden. De totale dikte van het pakket inclusief de ribben van het gewelf bedraagt 46 cm. De dikte van het vloerpakket zonder ribben bedraagt minimaal 12 cm.



Figuur 63: Doorsnede van een verdiepingsvloer in bestaande toestand, schaal 1/20

#### Renovatie van de bestaande toestand

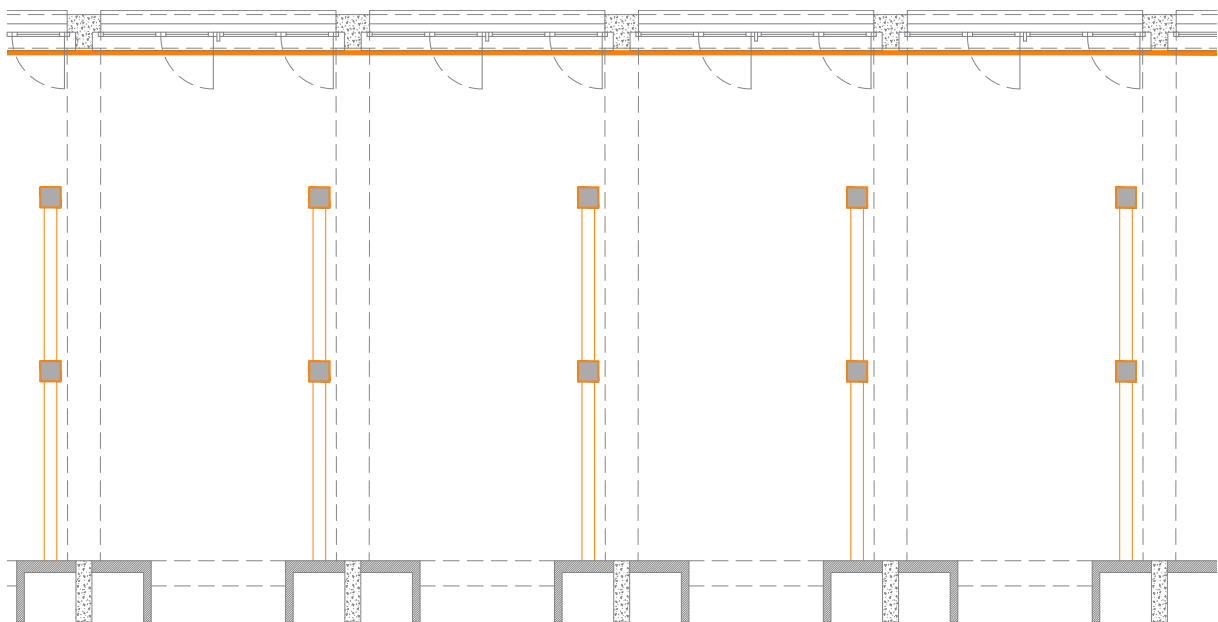
##### *Elektriciteits- en internetvoorzieningen*

De nodige elektriciteits- en internetvoorzieningen wijzigen bij verschillende herbestemmings-scenario's. Om het correcte aantal elektrische aftappunten en datapunten te voorzien, kan gesteund worden op de ontwerprichtlijn van de UGent.

Er zijn meerdere mogelijkheden om de voorzieningen binnen de ruimte te implementeren, denk aan permanente oplossingen zoals vloerdozen of flexibelere elementen zoals kabelgoten. Wanneer men een permanent aantal aftappunten wil voorzien en men zich hiervoor baseert op de nodige voorzieningen in het uiterste scenario, zou dit leiden tot overdimensionering. De benodigdheden bij een PC-lokaal verschillen namelijk erg van deze in een kantoor. Omwille hiervan moet men naast permanente aftappunten ook werken met meer flexibele oplossingen.

Vloerdozen kunnen voorzien worden in verscheidene vloerpakketten, maar zijn typisch voor de verhoogde vloeropbouw. Daarnaast kunnen ze ook in dekvloeren gestort worden wat echter niet zeer flexibel is en scheurvorming met zich kan meebrengen. Kabelgoten kunnen in de S4 en S4bis onder de vensterbanken bevestigd worden, waardoor men niet enkel afhankelijk is van de vloerdozen.

In wat volgt wordt op een segment van een typeverdieping in de S4 gewerkt, concreet gaat het over vier segmenten van 18 m<sup>2</sup> wat tot een totaaloppervlakte van ongeveer 80 m<sup>2</sup> leidt. Een mogelijke combinatie van permanente vloerdozen en kabelgoten wordt hieronder weergegeven. Verschillende herbestemmingsscenario's worden afgetoetst aan dit plan en er wordt gekeken waar nog extra voorzieningen nodig zijn. Afhankelijk van de keuze van het vloerpakket kunnen in bepaalde ruimtes - waar het aantal stopcontacten en datapunten opgevoerd moet worden - vloerdozen bijgeplaatst worden. Bij een permanent, niet- flexibel vloerpakket zal men moeten inzetten op wand- of vloerkabelgoten.



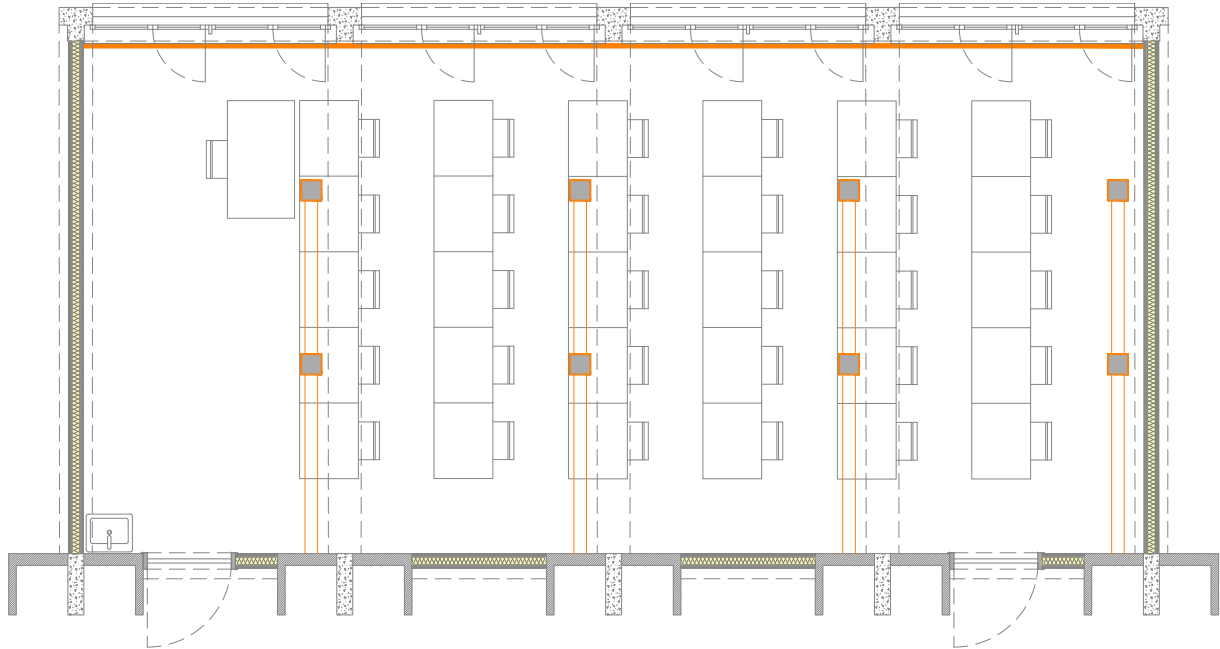
Figuur 64: Mogelijk inplantingsplan van permanente vloerdozen en kabelgoten in de S4(bis)

De plannen zijn voorbeelden van mogelijke inrichtingen van de ruimte, om een beeld te geven van de nood aan elektriciteits- en internetvoorzieningen. Bij de herbestemming van het gebouw wil men inzetten op flexibel ruimtegebruik waardoor het gebruik van losse tafels en stoelen aangeraden wordt. Aangezien de UGent vanaf bezettingen groter dan 49 aanwezigen vast meubilair verkiest, wordt er dus ingezet op kleinere leslokalen en auditoria.<sup>153</sup>

153. Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2020

### Leslokaal

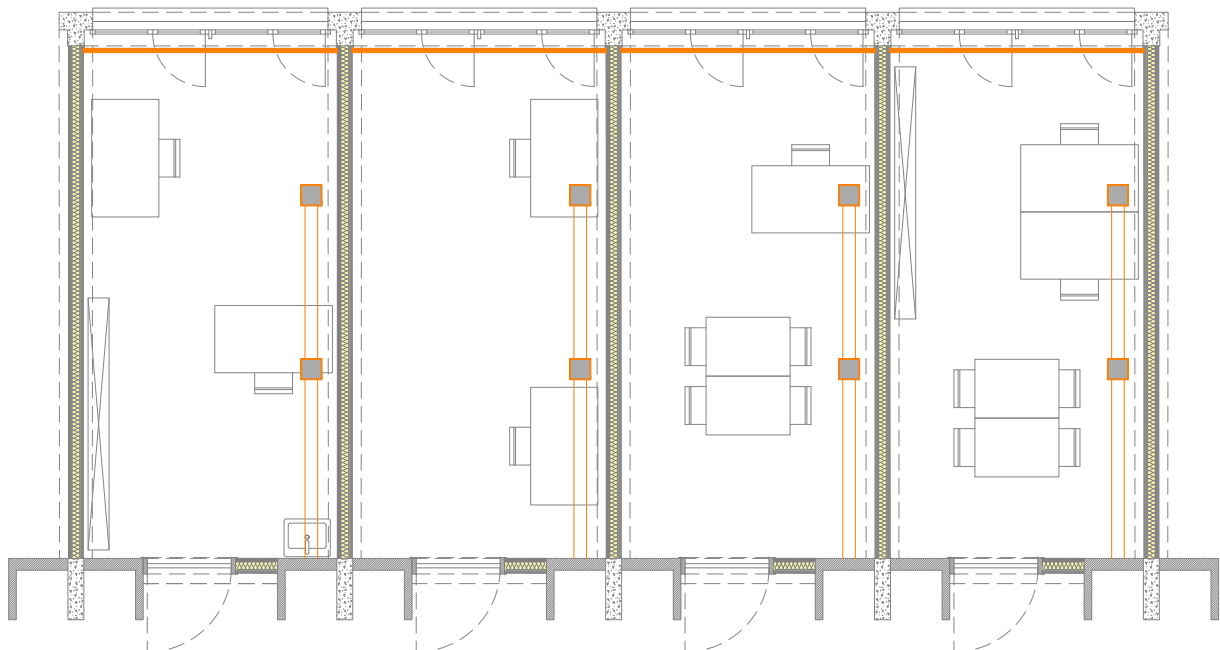
In leszalen wordt per drie zitplaatsen een stopcontact voorzien, in lokalen met los meubilair bij voorkeur via vloerdozen.<sup>154</sup> Bij een hoge bezetting van 2,00 m<sup>2</sup>/persoon ziet een mogelijke indeling van het leslokaal er als volgt uit.



Figuur 65: Mogelijk inplantingsplan van permanente vloerdozen en kabelgoten in een leslokaal

Ook werkplaatsen worden op dezelfde manier als leslokalen ingericht. Wanneer de ruimte ingezet wordt voor kleinschalige proeven zonder bijkomende machines zullen deze voorzieningen namelijk voldoen. Bij proeven met zware apparatuur zullen de voorzieningen hieraan aangepast moeten worden.

### Kantoren



Figuur 66: Mogelijk inplantingsplan van permanente vloerdozen en kabelgoten in kantoren

154. Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2020

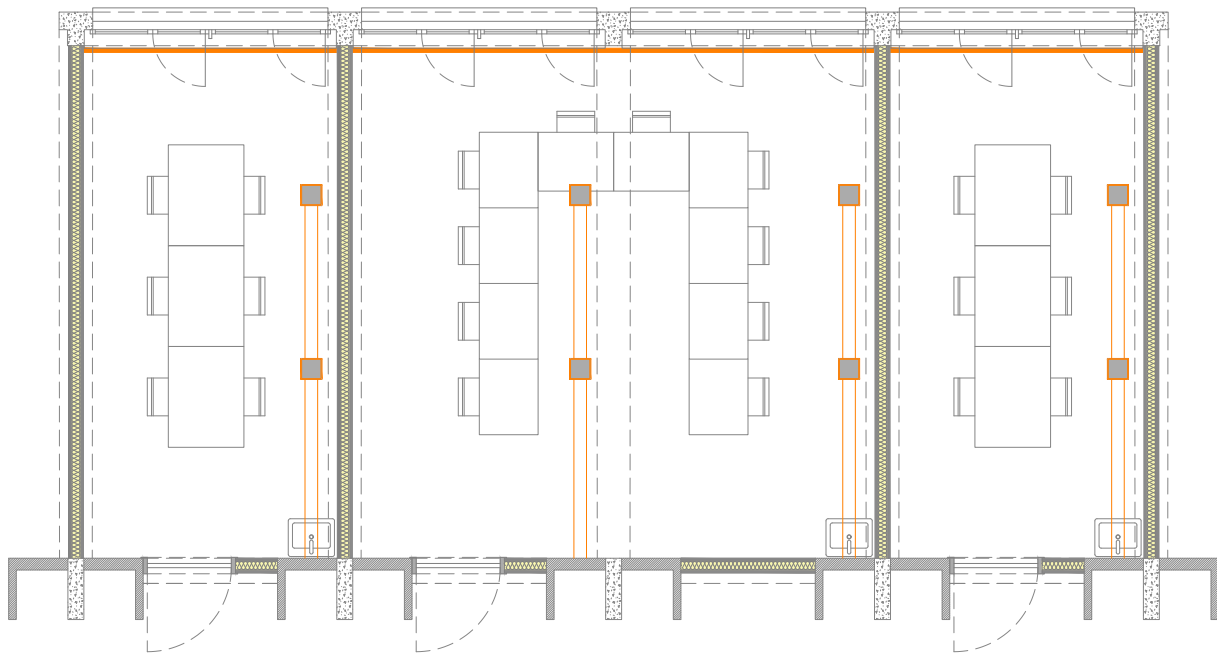


Voor kantoren stelt de UGent een maximale kantooroppervlakte van 10 m<sup>2</sup> per voltijds equivalent volgens een werkplekratio van 70% (voor 100 voltijdse medewerkers worden 70 individuele werkplekken voorzien).<sup>155</sup> Per werkplek moeten vier stopcontacten en twee dubbele datapunten voorzien worden.

Dezelfde maximumnorm voor kantooroppervlakte wordt ook toegepast op landschapkantoren. Ook hier moeten vier stopcontacten en twee dubbele datapunten per werkplek van ongeveer 10 m<sup>2</sup> voorzien worden. In groepskantoren – waaronder landschapkantoren - kan het aantal stopcontacten en datapunten eventueel verkleind worden.

### *Vergaderzaal*

Vergaderzalen worden op dezelfde wijze als kantoren uitgerust om flexibel wisselen tussen de functies kantoor en vergaderzaal toe te laten.



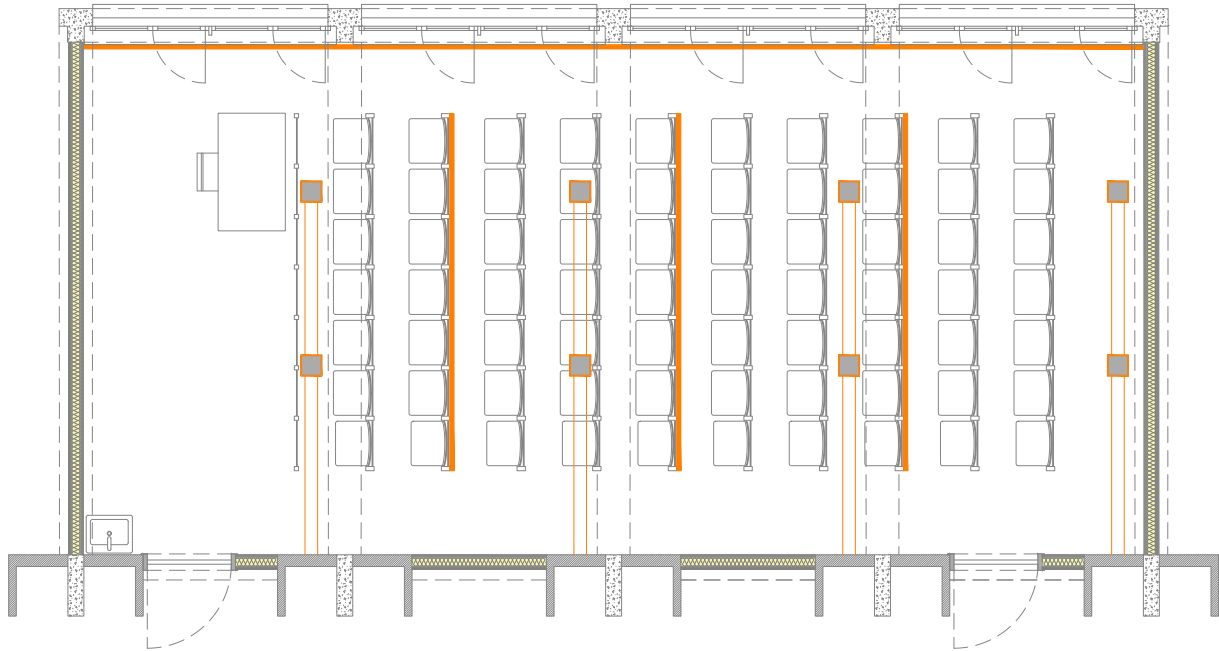
Figuur 67: Mogelijk inplantingsplan van permanente vloerdozen en kabelgoten in vergaderzalen

### *Auditoria*

De beschikbare ruimte in de S4 laat toe kleine auditoria in te richten. Dit naar het voorbeeld van de auditoria die men na renovatie in het technicum- T2 gebouw geïnstalleerd heeft. De ontwerprichtlijn van de UGent raadt aan auditoria in helling uit te voeren vanaf ca. 100 zitplaatsen. Aangezien de auditoria in het S4 gebouw naar alle waarschijnlijkheid een lagere bezetting zullen hebben, wordt het implementeren van een helling niet overwogen. Bovendien zou het implementeren van een helling in de ruimte, flexibel ruimtegebruik op lange termijn niet ten goede komen. In auditoria wordt net zoals in leslokalen per drie zitplaatsen een stopcontact voorzien. Aangezien men in auditoria met vast meubilair werkt, is het installeren van vloergoten of kabelgoten bevestigd aan het meubilair hier een optie.

Bij de auditoria zal men aan de achterzijde van enkele rijen een bijkomende kabelgoot moeten installeren om het nodige aantal stopcontacten te bekomen.

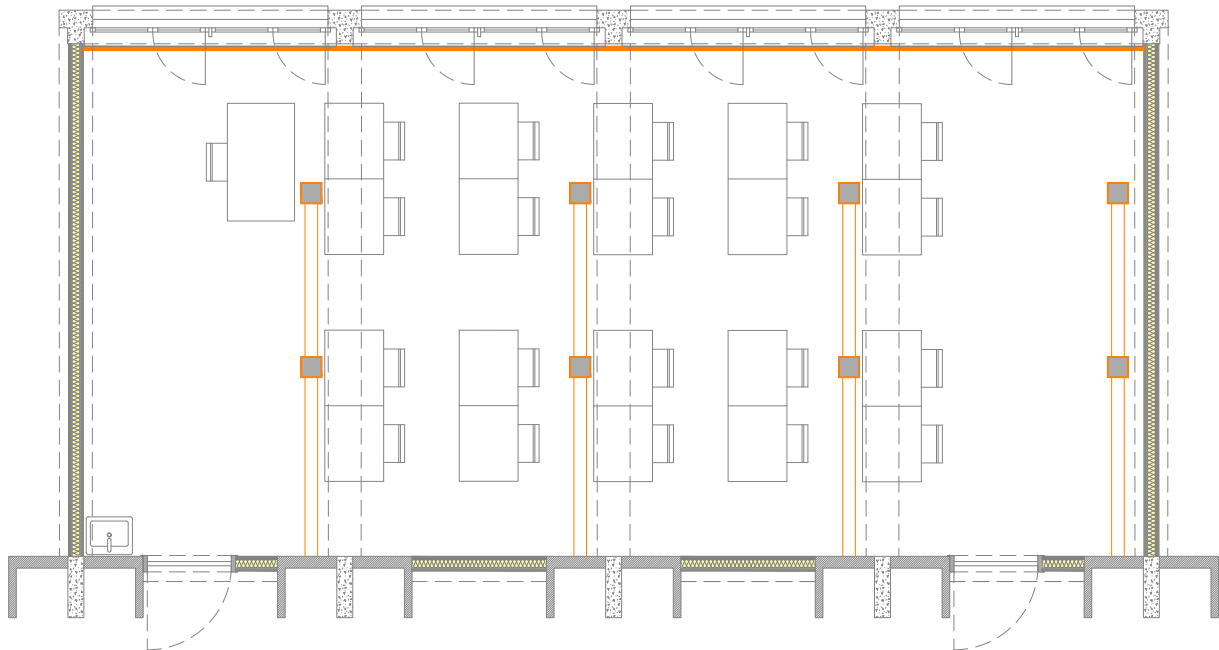
155. Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2020



Figuur 68: Mogelijk inplantingsplan van permanente vloerdozen en kabelgoten in auditoria

### PC-lokaal

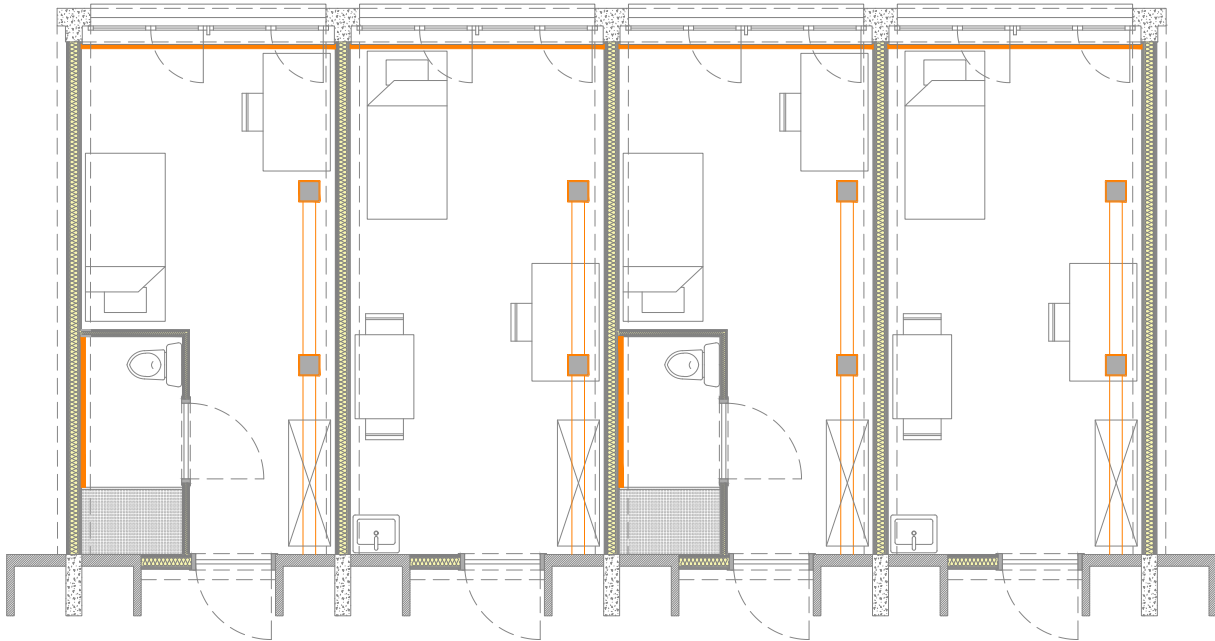
In PC-klassen en laptopklassen is een stopcontact per zitplaats te voorzien, hier wordt ook een datapunt per zitplaats voorzien.



Figuur 69: Mogelijk inplantingsplan van permanente vloerdozen en kabelgoten in een PC-lokaal

## *Studentenkamer*

De minimumnormen voor studentenkamers, opgesteld door de stad Gent, dicteren dat er minstens twee stopcontacten per studentenkamer voorzien moeten worden.<sup>156</sup> Daarnaast moet men bijkomende stopcontacten voorzien in de badkamer.



Figuur 70: Mogelijk inplantingsplan van permanente vloerdozen en kabelgoten in studentenkamers

## *Renovatiescenario's*

Het renoveren van de vloer kan op verschillende manieren gebeuren. In wat volgt wordt een overzicht geschetst van types vloeren die al dan niet een antwoord kunnen bieden op de noden die bij flexibel ruimtegebruik naar voren komen. Het vloerpakket van circulatieruimtes, sanitaire ruimtes en gebruiksruimtes verschilt logischerwijs van elkaar. De focus ligt in het komende deel op het vloerpakket van de gebruiksruimtes.

Het vloerpakket in zijn huidige toestand is aan de dunne kant. Bij renovatie zal de dikte naar alle waarschijnlijkheid toenemen, wat voor uitdagingen kan zorgen. Het ophogen van het vloerpakket vereist nauwkeurigheid bij aansluitingen met bestaande trappen, liften... en kan zo de toegankelijkheid van de ruimte in gedrang brengen. Daarnaast zorgt het ophogen van de binnenvloer voor een afname van de hoogte van de borstwering. Momenteel bevindt de borstwering zich ca. 95 cm boven de vloerafwerking. De ontwerprichtlijn van de UGent stelt dat tafels een vrije hoogte van minstens 70 cm moeten hebben, idealiter ca. 75 cm. Bij het ophogen van de vloer moet er dus rekening mee gehouden worden dat deze tafelhoogte gerealiseerd kan worden onder het venstertablet. Daarnaast stelt de UGent een eis aan de vrije hoogte bij nieuwbouw van minimaal 2,80 meter (exclusief verlaagd plafond). Deze eis kan ook bij de renovatie van de S4 als doelstelling genomen worden.<sup>157</sup> Vooraleer men een nieuw vloerpakket voorziet op het bestaande pakket doet men er goed aan de bestaande dekvloer uit te breken. Dit zal de totale ophoging van de vloeropbouw beperken.

156. Stad Gent, z.d.

157. Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2020

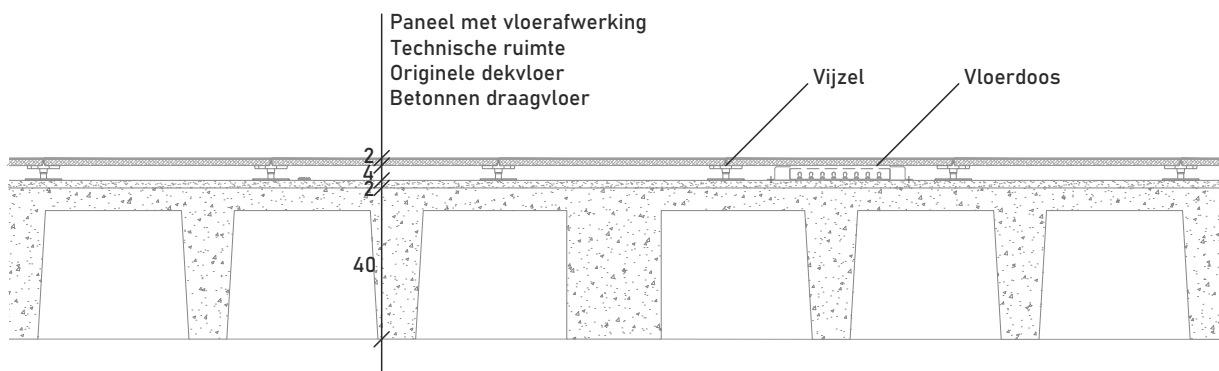
## Verhoogde vloeropbouw

Een verhoogde vloer is een droog vloersysteem bestaande uit panelen, die ondersteund worden door vijzels en/of dwarsprofielen. Belangrijk voor een verhoogde vloeropbouw is de vlakheid van de ondergrond. Vijzels zijn al dan niet in de hoogte verstelbaar, maar moeten wel op een vlakke ondergrond geplaatst worden. Wanneer men de bestaande dekvloer uitbreekt, moet men nadien een vlakke ondergrond voorzien waarop de vijzels geplaatst worden.<sup>158</sup>

### Paneelvloeren

Kenmerkend voor dit vloertype is de vlotte bereikbaarheid van de ruimte tussen de verhoogde vloer en de onderliggende structuur. Aangezien de panelen individueel verwijderd kunnen worden, kan men op elke plaats de vloer openmaken om de onderliggende infrastructuur te onderhouden. Men maakt het onderscheid tussen standaard verhoogde vloeren en zeer lage verhoogde vloeren.<sup>159</sup> Wanneer men een programmawijziging van de ruimte wil doorvoeren kan men de locatie van vloerdozen wijzigen door de panelen te vervangen en het kabelwerk in de tussenruimte te herorganiseren.

Bij renovatieprojecten is het implementeren van een standaard verhoogde vloer eerder een uitdaging. Het spreekt voor zich dat het plaatsen van een verhoogde vloer van 10 cm of meer grote gevolgen met zich meebrengt. Het is dus wenselijk om de hoogte zo beperkt mogelijk te houden door te werken met een zeer lage verhoogde vloer. Hier is de hoogte van de vijzels eerder beperkt ten opzichte van de standaard verhoogde vloer, waardoor de hoogte van het totale pakket aanzienlijk kleiner is. De verstevigingsprofielen tussen de vijzels zorgen voor horizontale stabiliteit en dragen de panelen die de vloer vormen. Deze panelen zijn typisch houtspaanplaten of calciumsulfaatplaten die voorzien worden van een vloerbekleding zoals bijvoorbeeld PVC, linoleum, tegels, parket etc.<sup>160</sup>



Figuur 71: Doorsnede van een zeer lage verhoogde paneelvloer als verdiepingvloer, schaal 1/20

Wanneer bij renovatie een zeer lage verhoogde paneelvloer wordt geïnstalleerd, wordt het ophogen van het origineel vloerpakket beperkt tot 2 cm. De panelen kunnen stuk voor stuk verwijderd worden waardoor de technische ruimte tussen draagstructuur en afwerking vlot te bereiken is. Bovendien kan de locatie van de vloerdozen redelijk eenvoudig gewijzigd worden.

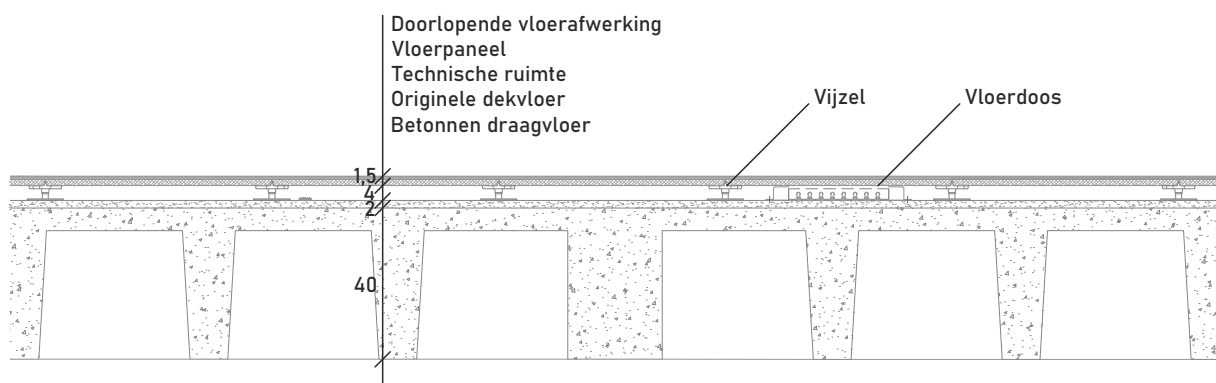
158. WTCB, 2006

159. WTCB, 2006

160. WTCB, 2006

## Holtevloeren

Een holtevloer of holle vloer verschilt van een paneelvloer in de bereikbaarheid van de tussenruimte. Bij dit vloertype kan niet elk paneel verwijderd worden aangezien de panelen met elkaar verbonden worden door verlijmde verbindingen. Een holle vloer kan zowel droog als nat uitgevoerd worden. Bij een droge uitvoering werkt men met een of twee lagen, waarbij de tweede laag een afwerkingslaag is die geschrapt op de eerste laag ligt. De natte uitvoering is opgebouwd uit panelen, gedragen door een onderstructuur, boven op de panelen wordt een dekvloer gestort. Deze natte uitvoering biedt bovendien de mogelijkheid tot vloerverwarming. In vergelijking met een paneelvloer daalt de flexibiliteit van de vloeropbouw aangezien men de panelen niet eenvoudig kan verplaatsen of vervangen. Het sterk ritmische karakter van de paneelvloer kan bij een holtevloer echter wel vermeden worden door een vloerafwerking naar wens boven de panelen van de verhoogde vloer te voorzien. Bij een holle vloer worden op strategische plaatsen toegangsluiken voorzien waar de tussenruimte en voorzieningen zoals internettoegang en elektriciteit toegankelijk zijn.



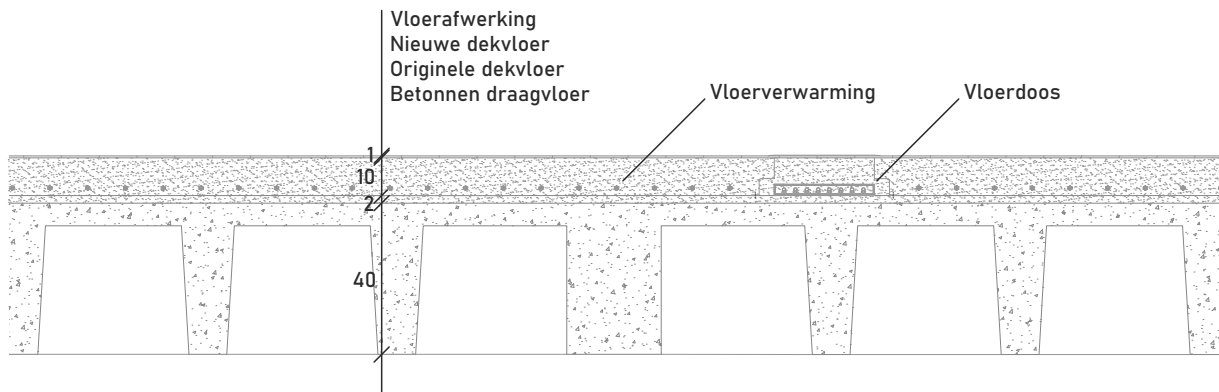
Figuur 72: Doorsnede van een holtevloer als verdiepingsvloer, schaal 1/20

Hierboven wordt een renovatiescenario met een holle vloer geschetst, dit volgens de droge uitvoeringsmethode. De natte uitvoeringsmethode lijkt weinig meerwaarde, en meer implicaties met zich mee te brengen in vergelijking met een klassieke dekvloeropbouw.

### *Dekvloeropbouw*

#### Klassieke vloeropbouw

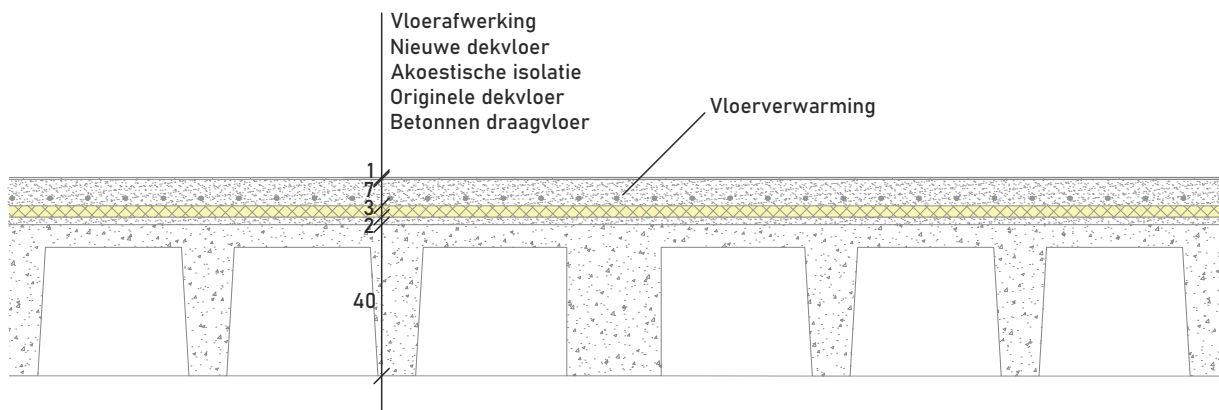
Naast een verhoogde vloer is ook de klassieke dekvloer een optie die te overwegen valt aangezien de totale ophoging van de vloer hierbij minimaal is. Hierbij zal men de bestaande dekvloer uitbreken en egaliseren, waarna men kabelgoten en vloerdozen kan aanbrengen. Deze zorgen ervoor dat de gebruiker op welgekozen locaties toegang heeft tot stroom en internet. Wanneer men goed nadenkt over het traject dat de kabelgoten volgen kan men eventueel bijkomende vloerverwarming in deze dekvloer voorzien. Het wegwerken van kabelgoten en vloerdozen in de dekvloer resulteert in een vaste configuratie van punten waar elektriciteit en andere zaken afgetapt kunnen worden. Wanneer men dus een vloerpakket wil ontwerpen dat aan de noden van verschillende gebruiken kan beantwoorden, zal overdimensionering moeilijk te vermijden zijn. Bovendien moet men bij het inwerken van vloerdozen in een betonnen dekvloer, deze dekvloer voldoende dik uitvoeren om scheurvorming ter hoogte van de bekabeling te vermijden.



Figuur 73: Doorsnede van een klassieke dekvloer als verdiepingsvloer, schaal 1/20

### Zwevende dekvloer

Bij een zwevende dekvloer wordt om akoestische of thermische redenen een isolatielaag aangebracht tussen de dekvloer en de uitvullaag. Deze akoestische isolatie wordt aan de randen naar boven opgetrokken waardoor er geen harde verbinding mogelijk is tussen de dekvloer en de muren. Dit zorgt voor een extra verhoging van de vloer, maar kan noodzakelijk zijn om de geluidstransmissie tussen verschillende ruimtes te reduceren.<sup>161</sup> Bijvoorbeeld bij studentenkamers is dit meer van belang, terwijl het gebrek aan een flexibele indeling van aftappunten, die wel mogelijk is bij verhoogde vloeren, hier geen probleem vormt. Bij een zwevende dekvloer wordt typisch niet met vloerdozen gewerkt, waardoor de elektriciteits- en datavoorzieningen in vloer- of wandgoten weggewerkt moet worden. In studentenkamers lijkt het inzetten op de verdeling van internet en elektriciteit via de wand een evenwaardige, al dan niet voor de hand liggende piste in vergelijking met het inzetten op vloerdozen.

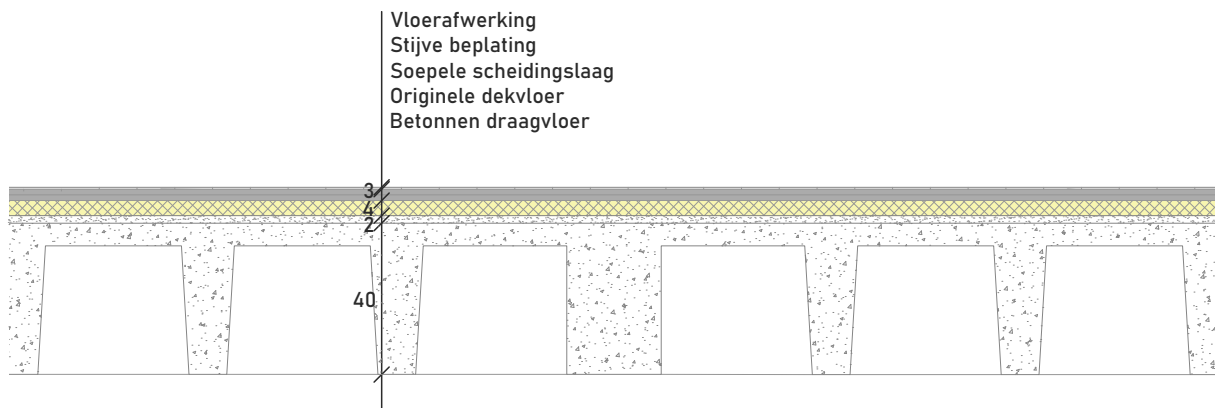


Figuur 74: Doorsnede van een zwevende dekvloer als verdiepingsvloer, schaal 1/20

161. WTCB, 2022

## Droge dekvloer

Een variant op de zwevende dekvloer is de droge dekvloer. Dit zijn vloeren die droog geïnstalleerd kunnen worden en een beperkte dikte en massa hebben, waardoor ze ideaal zijn voor renovaties. De vloer moet geïnstalleerd worden op een vlakke ondergrond, dit wordt gerealiseerd door het aanbrengen van een soepele tussenlaag tussen de draagvloer en de droge dekvloer. Dit in de vorm van droge egalisatiekorrels of andere soepele egalisatiematerialen. De droge dekvloer zelf bestaat uit plaatmateriaal, zoals gipskartonplaten of OSB-platen. Deze worden net zoals bij de zwevende dekvloer van de muren gescheiden door een strook isolatiemateriaal. Als afwerking wordt er nog een vloerbekleding op het plaatmateriaal bevestigd. Door de droge verbindingen is de vloer achteraf ook makkelijk te demonteren.<sup>162</sup> Bovendien kunnen er ook leidingen en vloerverwarming verwerkt worden in dit systeem.<sup>163</sup> Wanneer men egalisatiekorrels gebruikt als materiaal voor de soepele tussenlaag kan men vloerdozen en bijkomende bekabeling in deze laag wegwerken. Wanneer men een dekvloer installeert bij het implementeren van studentenkamers kan men voor de droge variant kiezen, wat bij een functiewijziging een eventuele vervanging van het vloerpakket gemakkelijker zal maken.



Figuur 75: Doorsnede van een droge dekvloer als verdiepingsvloer, schaal 1/20

### *Verdiepingsvloer boven onverwarmde kelder*

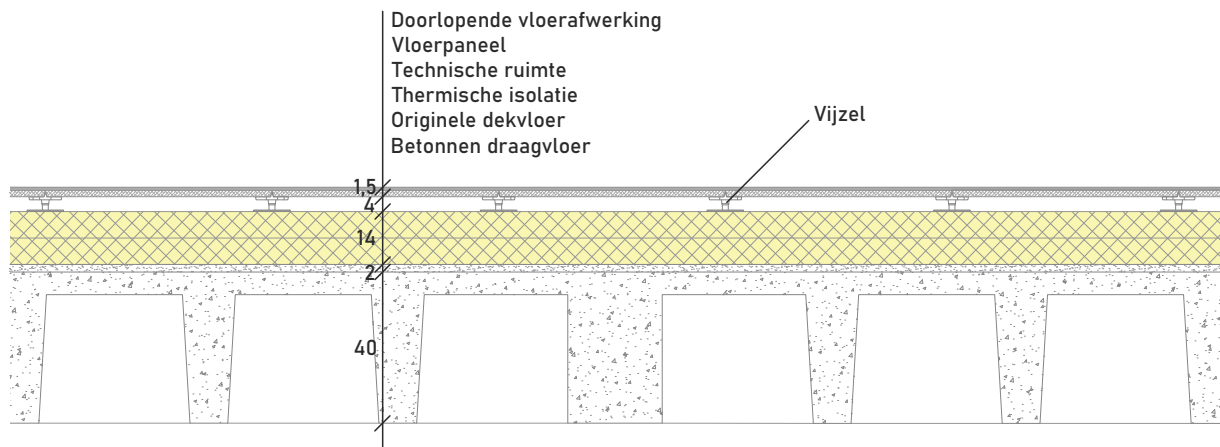
Bij de herbestemming van het gebouw zullen in de kelder naar alle waarschijnlijkheid enkel technische functies geplaatst worden. De kelder van de S4 is grotendeels een kruipkelder, deze van de S4bis heeft een vrije hoogte van 3,48 m. Wanneer de kelder ingezet wordt als gebruiksruimte, moet de vloer op volle grond geïsoleerd worden om warmteverliezen te vermijden. Wanneer de kelder een onverwarmde ruimte wordt, moet men de verdiepingsvloer tussen de kelder en het bovenliggende verdieping na-isoleren. Dit kan op verschillende manieren gebeuren, zowel aan onder- als bovenzijde van het bestaande vloerpakket.

Aanbrengen van isolatie aan de onderzijde is de uitdagendste optie aangezien men hier botst op de ribben van het vloerpakket. Isoleren tussen de gewelven kan vermeden worden door isolatie te voorzien tussen de gewelven en een verlaagd plafond. Renoveren langs de bovenzijde is eenvoudiger, concreet moet men tussen de mogelijke vloerpakketten bij renovatie (hierboven besproken) en de bestaande constructie een bijkomende thermische schil voorzien.

162. Leefmilieu Brussel, 2017

163. Fermacell, z.d.

De dikte van deze schil wordt bepaald door de  $\lambda$ -waarde van het gebruikte isolatiemateriaal. Bij renovatie moet de maximale U-waarde van  $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  gerespecteerd worden. Nadelig aan het isoleren aan de bovenzijde is de aanzienlijke verhoging van het vloerpeil ten opzichte van het bestaande vloerpakket. Dit zal complicaties met zich meebrengen bij aansluitingen met bestaande trappen en liften. Een mogelijk renovatiescenario waarbij men een zeer lage verhoogde vloer installeert boven op de thermische onderbreking wordt hieronder weergegeven.



Figuur 76: Doorsnede van een mogelijke verdiepingsvloer boven de onverwarmde kelder, schaal 1/20

Wanneer de gevel aan de binnenzijde geïsoleerd wordt, kan deze na-isolatie aansluiten met het isolatiepakket aan de binnenzijde om een doorlopende thermische schil te creëren. Wanneer men de gevel aan de buitenzijde isoleert zal men ter hoogte van de betonnen balk boven het kelderraam een koudebrug tegenkomen. Door de borstwering op de verdieping boven de onverwarmde kelder te voorzien van binnen- en buitenisolatie kan een doorlopende thermische schil tussen buitenisolatie en na-isolatie van de verdiepingsvloer aan de bovenzijde verkregen worden.



## Conclusie

Het inplantingsschema van elektriciteits- en datapunten dat bij het merendeel van de herbestemmingsscenario's het gewenste aantal voorzieningspunten kan aanbieden kan ook bij de meeste renovatiescenario's van de verdiepingsvloer verwezenlijkt worden. Enkel daar waar een natte, dunne dekvloer gestort wordt - zoals bij een natte zwevende dekvloer - is het aanbrengen van vloerdozen en bijkomende bekabeling niet aan te raden wegens de kans op scheurvorming in de dekvloer. Bij een klassieke dekvloer kan een dikkere laag chape gestort worden waardoor het risico op scheurvorming vermindert, al blijft dit nog steeds niet uitgesloten. Gestorte vloeren brengen bovendien een vaste, niet-flexibele inplanting van vloerdozen met zich mee waardoor men in de toekomst de locatie van deze punten niet eenvoudig kan wijzigen en het toevoegen van aftappunten absoluut niet vanzelfsprekend is.

Alhoewel het inplantingsplan een configuratie schetst die voor verschillende herbestemmingsscenario's volstaat, hebben natte vloerpakketten hierdoor een nadeel ten opzichte van droge vloerpakketten. Tussen de verschillende scenario's met een droge vloeropbouw is er ook nog een verschil in flexibiliteit. Bij een droge dekvloer ligt de locatie van de aftappunten redelijk vast, maar kan een wijziging doorgevoerd worden wanneer men de vloerafwerking en de stijve beplating kan wegnemen. In dat geval kan men aftappunten verplaatsen, wegnemen of toevoegen. Een holtevloer kan ook aangepast worden bij een functiewijziging van de ruimte door de vloerafwerking te verwijderen en de aftappunten te herorganiseren. De paneelvloer heeft het meest flexibele karakter, deze biedt de mogelijkheid tot het verplaatsen of toevoegen van aftappunten volgens de noden van de gebruiker wanneer de ruimte een functiewijziging ondergaat. Dit zonder dat er lagen weggenomen moeten worden, men dient enkel de gewenste vloerpanelen te vervangen en bijkomende bekabeling te voorzien. Let wel dat het hier gaat over een wijziging op lange termijn, niet over een dagelijkse functiewijziging. Het herorganiseren van paneelvloeren vraagt namelijk tijd en een zekere expertise.

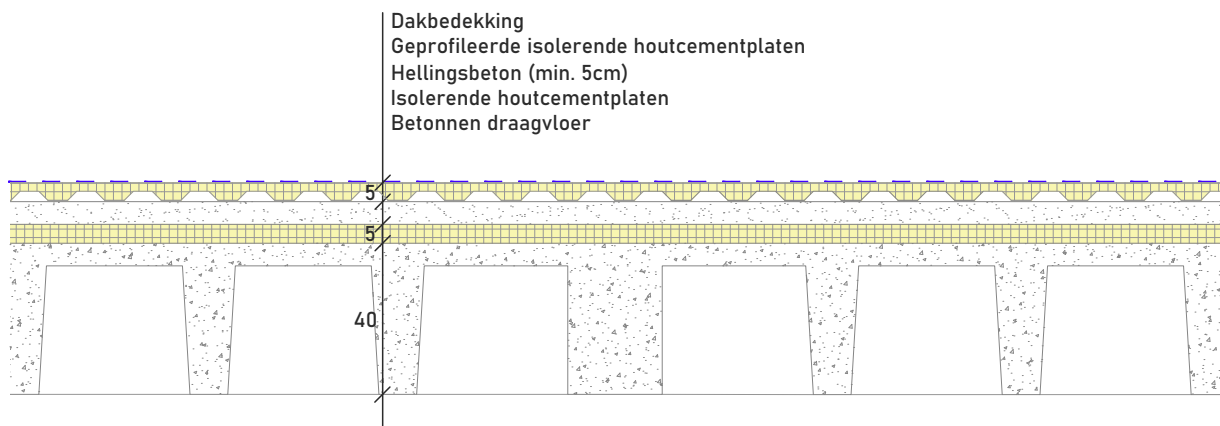
Wanneer bij renovatie ingezet wordt op een vlotte functiewijzigingen van ruimtes, zoals bijvoorbeeld het ombouwen van een leslokaal naar een PC-lokaal kan er dus best gekozen worden voor een verhoogde vloeropbouw.

## 7.4.2 Renovatie van het dak

Het renoveren van het dak van de S4 vertoont logischerwijs veel verschillen met het renoveren van de verdiepingsvloer aangezien het dak deel uitmaakt van de gebouwschil. Bijgevolg moet hier sterker geïsoleerd worden om warmteverliezen te beperken en aan de energetische eisen te voldoen. In wat volgt wordt onderzocht hoe het bestaande dakpakket gerenoveerd kan worden.

### Bestaande toestand

Het dak in huidige toestand is een verlucht dak, de onderzijde van de geprofileerde houtcementplaten doet dienst als luchtspouw en wordt verlucht via open stootvoegen in de borstwering van de windvanger op het dak. Het verluchten van het dakpakket kan aanleiding geven tot aanzienlijke schade door inwendige condensatie als een gevolg van luchtlekken en onderkoelingscondensatie, met als gevolg het rotten van vochtgevoelige dakvloeren. Daarnaast is het hellingsbeton op een isolatielaag is aangebracht, wat wil zeggen dat het bouwvocht ingesloten werd tussen de twee betonlagen en de isolatie hierbij onvermijdelijk nat geworden is. Deze uitvoering wordt bij nieuwbouw afgeraden, Bij renovatie kan men dit dak best omvormen tot een warm dak of een omkeerdak op de bestaande dakafdichting.<sup>164</sup> Aangezien men het verluchten van het dak wil vermijden, kunnen bij renovatie best de dakbedekking en de geprofileerde platen verwijderd worden. Wanneer de rest van het pakket nog in goede staat verkeert, kan een warm dak of omkeerdak aangebracht worden op het hellingsbeton.



Figuur 77: Doorsnede van het dak in bestaande toestand, schaal 1/20

164. WTCB, 2000

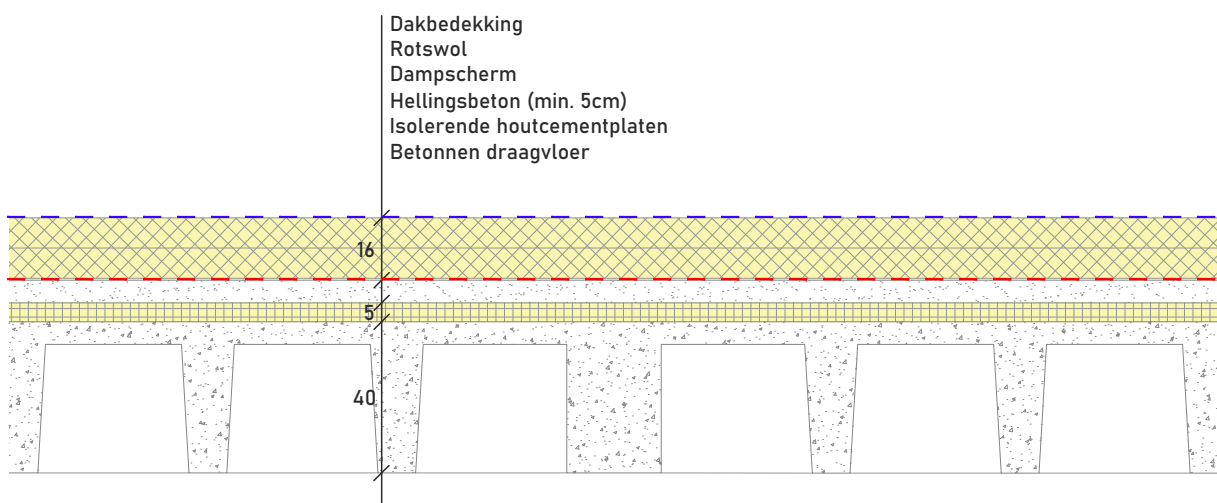
## Renovatie van de bestaande toestand

Bij het renoveren van het dak in zijn bestaande toestand moet net als bij een vloer boven een onverwarmde ruimte, het dakpakket na renovatie een U-waarde van  $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  hebben.<sup>165</sup>

### Warm dak

Bij een warm dak wordt de isolatie op de dakvloer aangebracht en wordt de dakbedekking op de isolatie aangebracht. Om ontoelaatbare inwendige condensatie ten gevolge van convectie van vochtige binnenlucht en diffusie van waterdamp of van bouwvocht te vermijden, wordt bij de meeste platte daken een dampscherm bevestigd tussen dakvloer en isolatie.<sup>166</sup>

Er zijn meerdere mogelijkheden wat betreft de materialen die voor elke laag gebruikt kunnen worden. De dakvloer is in dit geval het aanwezige hellingsbeton. Als dampscherm kan hierop een PE-folie, gewapend bitumen of polymeerbitumen aangebracht worden.<sup>167</sup> Indien men bij het isoleren van het dak wil inzetten op minerale isolatiematerialen, kiest men best voor rotswolplaten. Deze worden gekenmerkt door een gunstig brandgedrag en een goede thermische stabiliteit.<sup>168</sup> Een ander mineraal materiaal dat mogelijks gebruikt kan worden is cellenglas, let wel dat dit veel duurder is dan rotswolplaten. Bij de renovatie van het dak van de S5 werd cellenglas-isolatie gebruikt. Als dakafdichting kan geopteerd worden voor een bitumineuze dakafdichting of een kunstofdakafdichting zoals EPDM of PVC. Een mogelijke uitvoering van een warm dak bij renovatie van de S4 wordt hieronder weergegeven.



Figuur 78: Doorsnede van een warm dak na renovatie, schaal 1/20

165. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2020

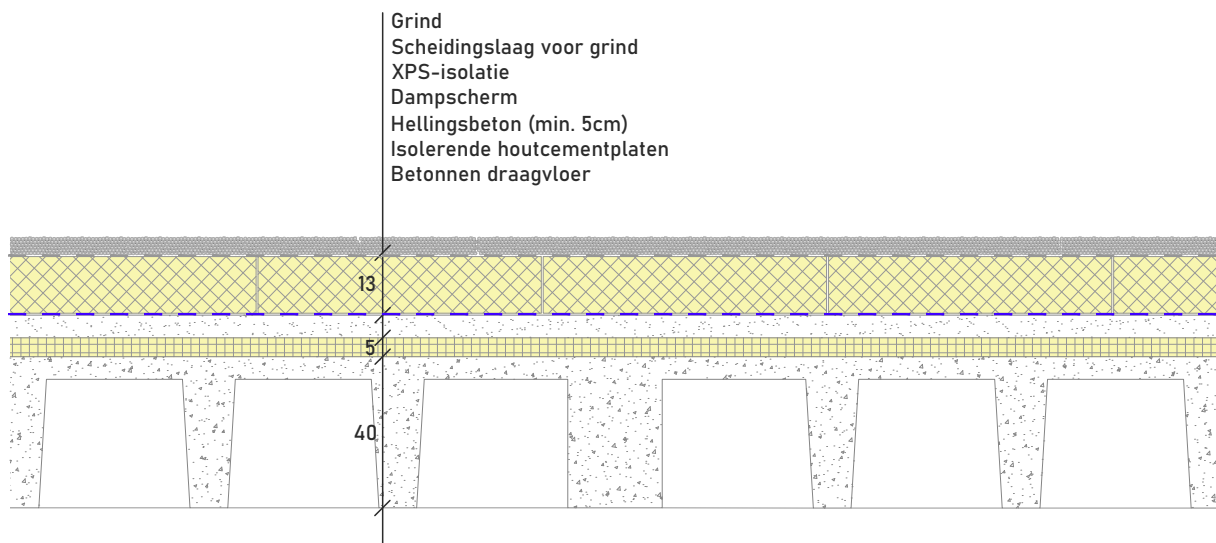
166. WTCB, 2000

167. WTCB, 2000

168. WTCB, 2000

## Omkeerdak

Ook bij een omkeerdak ligt de isolatie op de dakvloer. Deze opbouw verschilt van een warm dak daar de afdichting op de dakvloer bevestigd wordt en de isolatie op zijn beurt los op de afdichting ligt. Om de isolatieplaten op hun plaats te houden moeten ze geballast worden, dit gebeurt typisch met grind of tegels (op tegel dragers). De isolatie bestaat uit geëxtrudeerde polystyreenplaten (XPS) gezien de beperkte vochtopname bij rechtstreekse blootstelling aan regenwater op, onder en tussen de platen.<sup>169</sup> Let wel dat water onder de isolatieplaten tot bijkomende warmteverliezen leidt, wat in rekening gebracht moet worden bij de dikte van het isolatiemateriaal. Bij een omkeerdak wordt de functie van dampscherm vervuld door de dakafdichting die zich onder de isolatie bevindt, waardoor geen dampscherm geplaatst moet worden. Een mogelijke uitvoering van een omkeerdak bij renovatie van de S4 wordt hieronder weergegeven.



Figuur 79: Doorsnede van een omkeerdak na renovatie, schaal 1/20

Bij het renoveren van de gebouwschil van de S4 moet men een doorlopende thermische schil creëren. Aangezien het na-isoleren van het dakpakket uitsluitend aan de buitenzijde zal gebeuren, is het aansluiten van de dakisolatie op renovatiescenario's van de gevel met binnenisolatie minder vanzelfsprekend in vergelijking met scenario's met buitenisolatie. Bij buitenisolatie kan een doorlopende thermische schil zonder grote uitdagingen gerealiseerd worden door rond de dakopstand te isoleren. Bij binnenisolatie krijgt men echter onvermijdelijk een grote koudebrug door de betonnen balk in de gevel waar de betonnen draagvloer aan gestort is. Er is geen contact tussen de dakisolatie en de binnenisolatie, waardoor men moet inzetten op tussengevoegde isolerende delen of het creëren van een weg van de minste weerstand met een lengte van minimaal 1 meter om een EPB- aanvaarde bouwknop te verkrijgen.<sup>170</sup>

169. WTCB,2000

170. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2020

### 7.4.3 Renovatie van de gevel

Bij de renovatie van de gevel wordt gefocust op de renovatie van de borstwering, de renovatie van de draagstructuur die zichtbaar is in het gevelbeeld en de renovatie van het schrijnwerk. Eerst worden de verschillende renovatiescenario's per element apart geschetst. Daarna worden de aansluitingsdetails tussen verschillende constructieonderdelen geanalyseerd en wordt nagegaan of de bouwknopen EPB-conform zijn.

In wat volgt wordt gefocust op het renoveren van het generieke, ritmische grid van balken en kolommen opgevuld met borstweringen en schrijnwerk. Er wordt niet gefocust op het renoveren van de gevulde gevelvlakken en de uitwendige trappenkoker aan de S4. Deze geveldelen bestaan uit een massief betonnen binnenspouwblad, een luchtspouw van enkele centimeters diep en een buitenspouwblad uit baksteen. Algemeen wordt aangenomen dat de renovatiescenario's van de borstwering ook toegepast kunnen worden op deze gevels.

#### Luchtdichtheid

Om warmteverliezen te beperken, is het belangrijk voldoende aandacht te besteden aan de luchtdichtheid van gebouwen. Een slechte luchtdichtheid heeft bijvoorbeeld een impact op de doeltreffendheid van de isolatie en kan tocht en inwendige condensatie in de wanden veroorzaken. Daarnaast hangt de goede werking van het ventilatiesysteem ook af van de luchtdichtheid. Verder heeft ze ook een invloed op de akoestische isolatie van het gebouw en op de brandveiligheid.<sup>171</sup>

#### *Uitdrukking van de luchtdichtheid*

De luchtdichtheid van gebouwen kan aan de hand van verschillende waarden uitgedrukt worden. De meest gebruikte uitdrukkingen zijn het lekdebiet  $V_{50}$ , de luchtdoorlatendheid  $v_{50}$  en het infiltratievoud  $n_{50}$ .

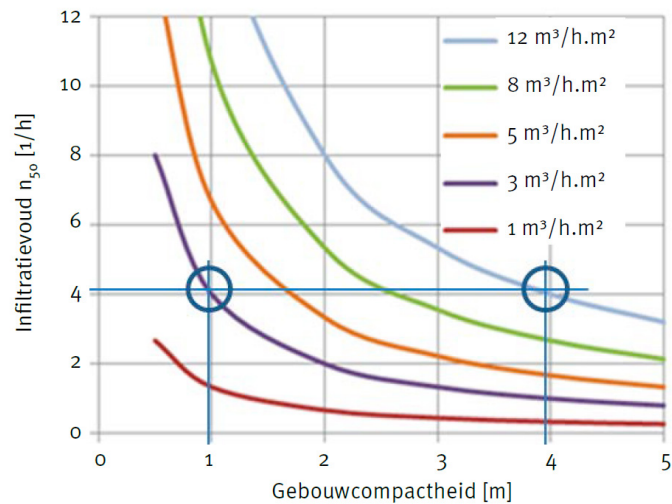
Het lekdebiet ( $V_{50}$ ) wordt uitgedrukt in  $m^3/h$  en geeft aan welk debiet doorheen de gebouwschil lekt bij een drukverschil tussen binnen- en buitenomgeving van 50Pa. De luchtdoorlatendheid ( $v_{50}$ ) wordt uitgedrukt in  $m^3/(h.m^2)$ . Ze is gelijk aan het lekdebiet van het gebouw gedeeld door de totale beproefde gebouwschiloppervlakte (gemeten op basis van buitenafmetingen). De luchtdoorlatendheid wordt gebruikt in het kader van de EPB-regelgeving.

Daarnaast is er nog het infiltratievoud ( $n_{50}$ ), dat rekening houdt met de compactheid van het gebouw. De waarde wordt uitgedrukt in  $vol/h$  of  $h^{-1}$  en geeft aan hoeveel verversingen van het volume lucht er per uur plaats vinden. Dit kan berekend worden door het totale lekdebiet te delen door het binnenvolume van het gebouw (gemeten volgens binnenafmetingen). Dit getal geeft een beeld van de globale luchtdichtheidsprestatie van het gebouw en wordt vaak gebruikt om prestatie-eisen te definiëren.

Gezien het infiltratievoud afhangt van de compactheid van het gebouw, is er geen lineair verband tussen het infiltratievoud en de luchtdoorlatendheid. Een compacter gebouw heeft een kleinere  $n_{50}$ -waarde dan een niet-compact gebouw als de luchtdichting even zorgvuldig uitgevoerd wordt en er een gelijke luchtdoorlatendheid is.<sup>172</sup>

171. WTCB, 2015

172. WTCB, 2015



Figuur 80: Verband tussen het infiltratievoud en de gebouwcompactheid in functie van de luchtdoorlatendheid (WTCB, 2015, p. 21)

### Eisen en regelgeving

De EPB-regelgeving legt geen concrete eisen op omtrent de luchtdichtheid van gebouwen. De graad van luchtdichtheid heeft wel een impact op het E-peil van een gebouw. Als er bij meting aangetoond kan worden dat de  $v_{50}$ -waarde lager ligt dan de waarde bij ontstentenis van  $12 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ , kan het E-peil met 10 tot 15 punten verbeteren.

In tegenstelling tot de EPB-regelgeving, legt het passieflabel wel een eis op aan de luchtdichtheid van gebouwen. Men eist hier dat de  $n_{50}$ -waarde kleiner of gelijk moet zijn aan  $0,6 \text{ vol/h}$ .<sup>173</sup> Verder geeft de Belgische norm NBN D 50-001<sup>174</sup> de aanbeveling om de  $n_{50}$ -waarde lager te houden dan  $3 \text{ vol/h}$  indien er een standaard mechanisch ventilatiesysteem aanwezig is en lager dan  $1 \text{ vol/h}$  in geval er een warmtewisselaar aanwezig is.<sup>175</sup> De UGent stelt in haar ontwerprichtlijn dat de  $v_{50}$ -waarde lager moet zijn dan  $3 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ .<sup>176</sup>

### Luchtdichtheid S4

Bovenstaande informatie in beschouwing nemende, is er gekozen om te streven naar een infiltratievoud van  $1 \text{ vol/h}$ . Gezien de compactheid van het gebouw, is deze waarde niet moeilijk te bereiken in uitvoering. Daarnaast is de kans relatief groot dat er (op termijn) een systeem met warmteterugwinning geïnstalleerd zal worden. Op deze manier voldoet het gebouw dan meteen aan de richtlijn van norm NBN D 50-001<sup>177</sup> voor gebouwen met ventilatiesystemen met warmteterugwinning. Bij het renoveren van de gevel moet men bij de aansluitingen tussen verschillende constructieonderdelen een zekere luchtdichtheid realiseren opdat het infiltratievoud van  $1 \text{ vol/h}$  behaald kan worden.

173. WTCB, 2015

174. NBN D 50-001, 1991

175. Isover Saint-Gobain, z.d.

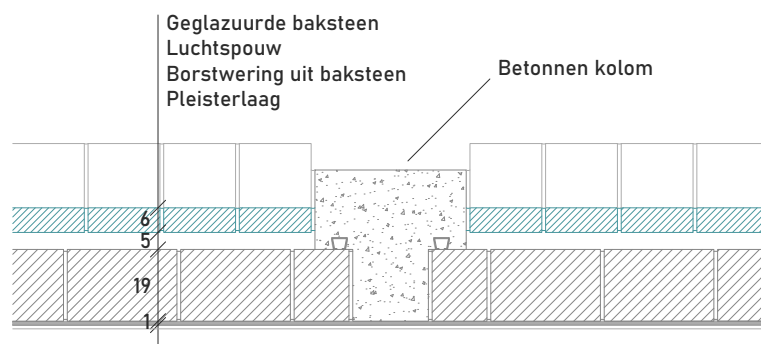
176. Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2020

177. NBN D 50-001, 1991

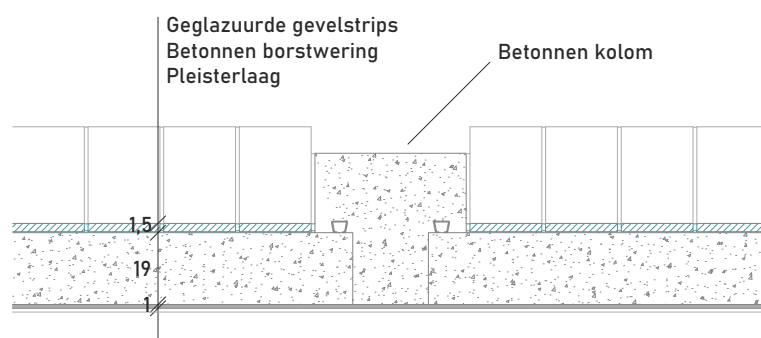
## Renovatie van de borstwering

### *Bestaande toestand*

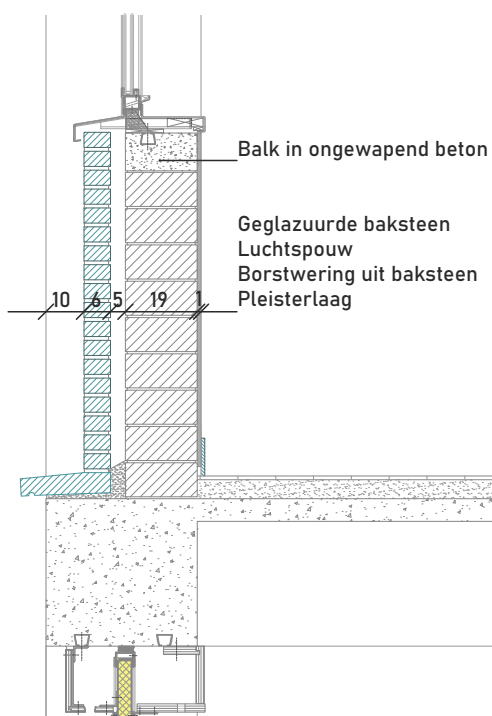
De S4 en S4bis werden niet gelijktijdig gebouwd, wat voor kleine verschillen in manier van bouwen zorgt. Zo is bijvoorbeeld de borstwering in beide delen van het gebouw verschillend opgebouwd. De borstwering van de S4 is een spouwconstructie waarbij het binnenspouwblad bestaat uit dragend metselwerk en het buitenspouwblad opgebouwd is uit geglazuurde bakstenen. Tussen beide lagen bevindt zich een luchtspouw van ongeveer 5 cm. De borstwering van de S4bis bestaat uit een massieve betonnen wand die aan de buitenzijde voorzien is van geglazuurde gevelstrips. Beide borstweringen hebben hetzelfde uitzicht maar zijn dus op een andere manier opgebouwd.



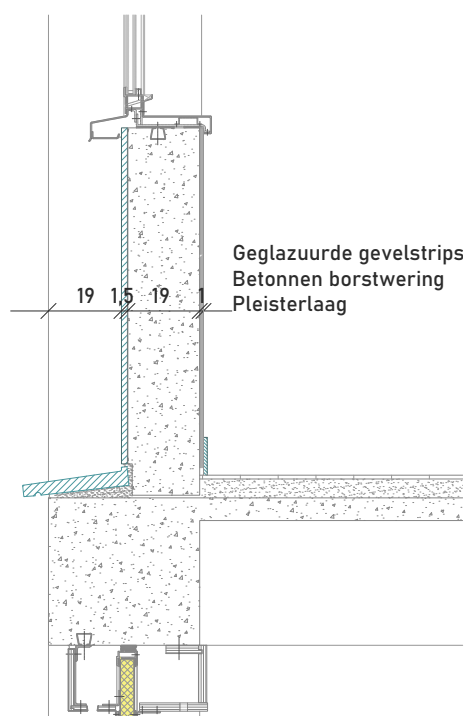
Figuur 81: Horizontale doorsnede van de borstwering in de S4 in bestaande toestand, schaal 1/20



Figuur 82: Horizontale doorsnede van de borstwering in de S4bis in bestaande toestand, schaal 1/20



Figuur 83: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4 in bestaande toestand, schaal 1/20



Figuur 84: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4bis in bestaande toestand, schaal 1/20

### *Renovatie van de bestaande toestand*

Er zijn meerdere mogelijkheden wanneer het gaat over het na-isoleren van de bestaande borstwering. De luchtspouw in de borstwering van de S4 biedt de mogelijkheid tot na-isolatie van de spouw. Hiernaast kan men de borstwering langs de binnenzijde en de buitenzijde thermisch isoleren. Zoals eerder vermeld kunnen de bekomen resultaten van de renovatie van de borstwering meenemen bij de renovatie van gelijkaardige geveldelen. Ondanks de verschillen in opbouw zullen de bekomen bouwpakketten en bouwknopen bij de S4 en de S4bis gelijkaardig zijn. Aangezien in de simulaties gewerkt wordt met een typeverdieping van de S4, zal in wat volgt steeds de toepassing op schildelen van de S4 getoond worden. De renovatiescenario's zijn echter ook voor de S4bis uitgewerkt, welke terug te vinden zijn in bijlage 5.

#### *Na-isolatie van de spouw*

Het na-isoleren van spouwmuren door het opvullen van de luchtspouw is een gekende toepassing bij het renoveren van bestaande gebouwen. Hierbij wordt een isolatieproduct in de spouw aangebracht via voorgeboorde openingen in het gevelmetselwerk of het binnenspouwblad. Wanneer men bij renovatie aan de binnenzijde van de bestaande gevel wil na-isoleren, kan het aangebrachte isolatiepakket leiden tot een groot oppervlakteverlies van de binnenruimte. Door de luchtspouw te isoleren kan de dikte van het isolatiepakket aan de binnenzijde van de gevel beperkt worden waardoor ook de invloed op de ruimte beperkt wordt. Het isoleren van een bestaande spouwmuur is enkel mogelijk als de spouw voldoende breed is, als minimale breedte wordt 50 mm voorgeschreven. Bovendien moet de spouwmuur in goede staat verkeren, wat wordt nagegaan door een voorafgaande inspectie.



Bestaande, niet-geïsoleerde spouwmuren bestaan normaliter uit een dragend binnenspouwblad en een buitenspouwblad uit metselwerk, ook wel gevelstenen genoemd. In een spouwmuur vervult het buitenspouwblad de functie van regenscherm. De luchtspouw fungeert hierbij als een capillaire snede, die tot doel heeft te vermijden dat er regendoorslag zou optreden naar het binnenspouwblad. Het regenwater dat bij hevige slagregen door het buitenspouwblad naar binnen dringt, loopt langs de spouwzijde naar beneden om vervolgens via de open stootvoegen boven de spouwafsluitingen terug naar buiten afgevoerd te worden ter hoogte van de waterkerende laag.<sup>178</sup>

Voor men overgaat tot het aanbrengen van spouwisolatie bij een bestaande spouwmuur, moet men nagaan of de muur in kwestie hier wel voor geschikt is. De blootstelling, conditie en eigenschappen van het buitenspouwblad zullen hierbij cruciaal zijn. Wanneer de spouw drainerend werkt, zal deze het water dat door het buitenspouwblad naar de spouw migreert, afvoeren. Bij na-isolatie moet een goede inschatting gemaakt worden van de hoeveelheid water dat door de spouw afgevoerd moet worden. De doorlatendheid van de gevel en de staat van het voegwerk zullen hier een belangrijke rol spelen.

Een andere, doorslaggevende factor is de vorstbestendigheid van het buitenspouwblad. Indien de spouwmuur nageïsoleerd wordt, zal het buitenspouwblad in de winter blootgesteld worden aan een verhoogde vorstbelasting en zal het aan slagregen blootgestelde metselwerk minder snel kunnen drogen.<sup>179</sup> De vorstbestendigheid van het materiaal kan afgeleid worden uit technische fiches, wanneer deze niet beschikbaar zijn kan een analyse van de huidige situatie een eerste indicatie van vorstgevoeligheid geven. Naast het metselwerk, zal ook het voegwerk blootgesteld worden aan een verhoogde vorstbelasting. Ook hier kan de toestand van het bestaande voegwerk een indicatie geven van de vorstgevoeligheid.

#### Materialen

Bij het opvullen van de luchtspouw kan men gebruik maken van verschillende materialen, men onderscheidt kunststofschuimen, vezels en granulaten. Voorbeelden van kunststofschuimen gebruikt om de spouw te vullen zijn polyurethaanschuim (PUR) en ureumformaldehydeschuim (UF), deze worden de spouw ingespoten en zullen daar beginnen uitzetten.<sup>180</sup> Waterafstotende rots- of glaswolvezels worden de spouw ingeblazen, waar ze een dicht pakket vormen dat de lucht vasthoudt. Het gamma aan mogelijke granulaten is iets uitgebreider en bestaat uit onder andere geëxpandeerde cellulose-vlokken, polystyreenparels, silicaatschuimkorrels, aerogelgranulaat, perliet en geëxfolieerd vermiculiet. De korrels hebben een verschillende diameter waardoor ze al dan niet ingeblazen kunnen worden. Bovendien moet men bij granulaten met een zeer fijne diameter het wegstromen van de korrels voorkomen.<sup>181</sup>

#### Toegepast op S4

De exacte breedte van de luchtspouw in de borstweringen van het S4 gebouw is niet gekend. Naar schatting heeft in België 80% van de ongeïsoleerde spouwmuren een minimale breedte van 50 mm.<sup>182</sup> Wanneer men bovendien de archiefplannen en details van het S4 gebouw bekijkt, kan geconcludeerd worden dat de breedte van de luchtspouw ongeveer overeen zal stemmen met deze 50 mm. Het buitenspouwblad van de borstweringen bestaat zoals eerder

178. WTCB, 2012

179. WTCB, 2012

180. WTCB, 2012

181. WTCB, 2012

182. WTCB, 2012

vermeld uit geglazuurde bakstenen. Deze bakstenen hebben een hoge diffusieweerstand waardoor ze een sterk dampremmende werking hebben. Concreet zal waterdamp zich zeer traag door de stenen verplaatsen, waardoor vochtophoping niet uit te sluiten valt en het risico op vorstschade toeneemt. Om dit risico te vermijden, wordt na-isolatie van de spouw bij een buitenspouwblad opgebouwd uit stenen met een hoge diffusieweerstand ten stelligste afgeraden.<sup>183</sup> Bijgevolg wordt het na-isoleren van de luchtspouw in de borstwering van de S4 beter vermeden.

### *Binnenisolatie*

Het binnen-isoleren van een bestaand gebouw zorgt ervoor dat de bestaande gevel in zijn huidige toestand bewaard kan worden. Zoals eerder vermeld wordt het karakter van de S-gebouwen gevormd door het betonnen raster in de gevel, de borstweringen in geglazuurde bakstenen en de typische ritmering van het schrijnwerk. Enerzijds zorgt het aanbrengen van binnenisolatie dat deze waarden bewaard kunnen blijven. Anderzijds verliest men een stuk bruikbare oppervlakte van de binnenruimte door de aangebrachte isolatie. Hiernaast is het bekomen van een doorlopende isolatieschil bij binnenisolatie een grote uitdaging aangezien men niet altijd alle koudebruggen eenvoudig kan wegwerken. Zoals eerder vermeld bestaan er geen eisen omtrent de U-waarde bij het na-isoleren van scheidingsconstructies aan de binnenzijde. In wat volgt wordt de dikte van het isolatiemateriaal bepaald door het nastreven van de maximale U-waarde bij na-isoleren aan de buitenzijde, namelijk  $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .<sup>184</sup>

Isoleren aan de binnenzijde kan met behulp van een groot gamma aan materialen. Een klassieke methode is een houten of metalen voorzetwand gecombineerd met minerale wol. Minerale wol verliest zijn isolerende werking wanneer vocht het materiaal binnendringt. Concreet moet men de voorzetwand dampdicht maken, opdat de isolerende werking van het pakket verzekerd wordt. Een continu dampscherm voorzien over de gehele binnengevel is een zeer complex werk. Vochtregulerende isolatiematerialen waarvan de isolerende capaciteiten niet afnemen bij vochtopname, worden bijgevolg een te onderzoeken piste. Voorbeelden van deze materialen zijn kalk-hennep blokken en Multipor. Naast vochtregulerende materialen horen ook vochtbestendige materialen tot de mogelijkheden, zoals bijvoorbeeld XPS, PUR- of PIR-isolatie.

### *Houten voorzetwand*

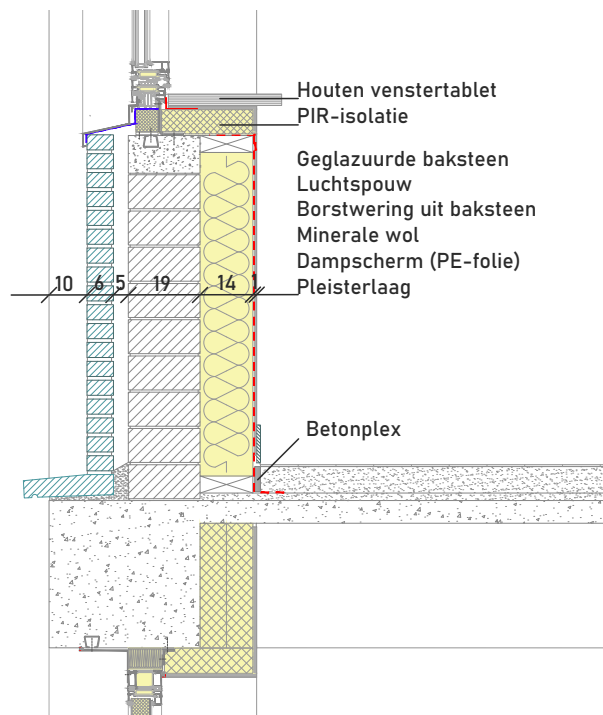
Naast de houten voorzetwand, bestaat ook de metalen voorzetwand. Uit U-waarde berekeningen blijkt dat een metalen structuur tot een veel grotere koudebrug leidt dan een houten structuur. Om dit te compenseren, zou men het isolatiepakket veel dikker moeten uitvoeren waardoor meer binnenoppervlakte verloren gaat dan bij gebruik van een houten structuur. Deze bevinding leidt tot het elimineren van de metalen structuur, er wordt verder gefocust op de houten voorzetwand.

De voorzetwand bestaat uit een houten frame, opgebouwd uit een horizontale stijl onder- en bovenaan met daartussen verticale stijlen. De tussenafstand van deze stijlen wordt gebaseerd op de afmetingen van het isolatiemateriaal en de gipsplaten, die later als afwerking tegen het houten frame bevestigd worden. De houten stijlen worden verankerd in de draagconstructie, waarna de ruimte tussen de verschillende verticale stijlen opgevuld wordt met isolatiemateriaal, meestal isolatiedekens bestaande uit minerale wol. In wat volgt wordt gewerkt met

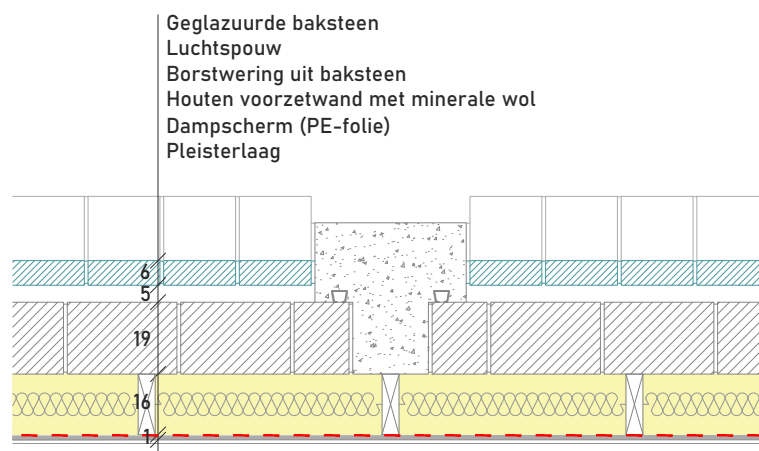
183. WTCB, 2012

184. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2020

rotswoldekens om de ruimte tussen de stijlen op te vullen. Dit isolatiemateriaal heeft een  $\lambda$ -waarde van 0,036 W/(mK). Zoals eerder vermeld moet een doorlopend damp scherm tussen het isolatiemateriaal en de afwerking voorzien worden om vochtinfiltratie tegen te gaan. Dit kan getapet of geniet worden tegen het houten frame.



Figuur 85: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. een houten voorzetwand, schaal 1/20



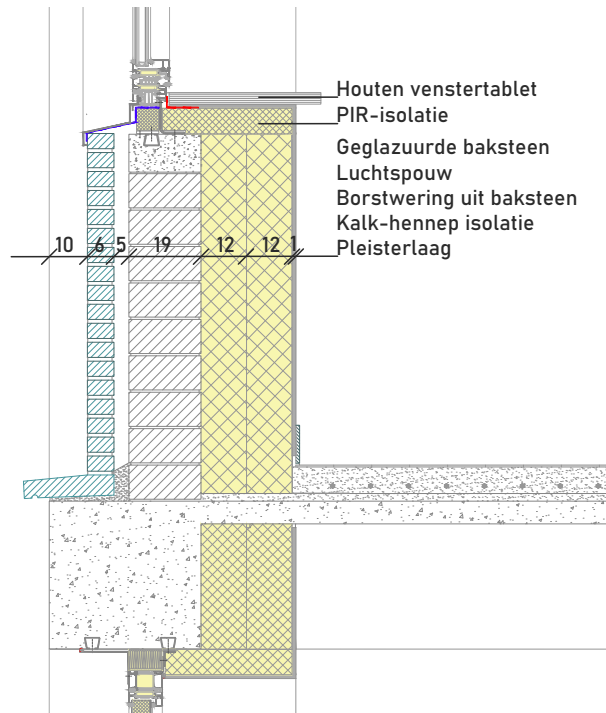
Figuur 86: Horizontale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. een houten voorzetwand, schaal 1/20

### Kalk-hennep blokken

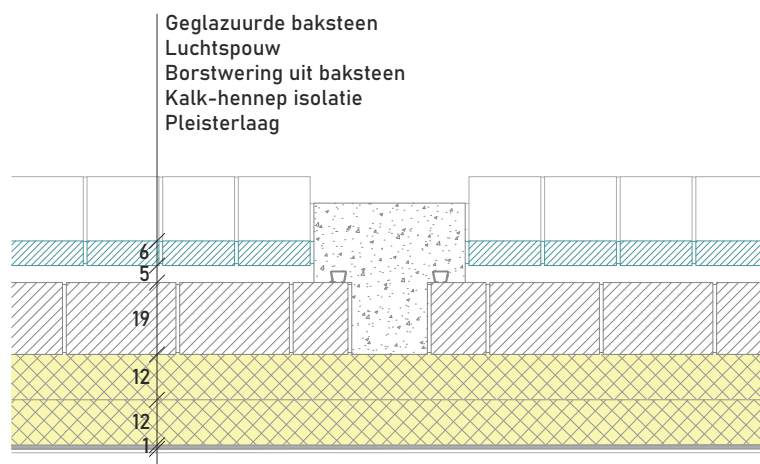
Een voorbeeld van dit product zijn de hennepblokken van de producent Isohemp. Deze hennepblokken zijn vormvaste, druckbestendige en zelfdragende isolerende elementen zonder constructieve eigenschappen. Ze bestaan uit hennepscheven en een mengsel van luchtkalk en hydraulische kalk. Bovendien worden ze in België geproduceerd.<sup>185</sup> Het werken met hennepblokken biedt vele voordelen. Het een vochtregulerend materiaal waardoor geen doorlopend damp scherm voorzien moet worden. Daarnaast zijn de blokken niet ontvlambaar en geven ze geen giftige rook af, waardoor ze erg brandbestendig zijn. Ten slotte absorberen kalk-hennep blokken het merendeel van de geluidsgolven waardoor ze ook vaak gebruikt

185. IsoHemp, 2021

worden bij scheidende wanden.<sup>186</sup> De producent Isohemp claimt dat zijn hennepblokken een positieve koolstofbalans hebben als gevolg van hun capaciteit om CO<sub>2</sub> op te slaan. Dit opslaan van CO<sub>2</sub> gebeurt tijdens het groeien van de hennepplant. Bovendien stellen ze 100% natuurlijk te zijn aangezien ze enkel de natuurlijke producten kalk en hennep gebruiken. Het product wordt gegoten, geperst, daarna aan de lucht uitgehard en gedroogd, waarbij geen warmtebron gebruikt hoeft te worden. De isolerende laag wordt gerealiseerd door het verlijmen van de hennepblokken, ze worden geschrinkt gestapeld om de stabiliteit van het pakket te verzekeren. De hennepblokken zijn eenvoudig naar de juiste afmetingen te verzagen. Tot slot kan er een binnenpleister op de blokken voorzien worden als afwerkingslaag. De hennepblokken hebben een  $\lambda$ -waarde van 0,074 W/(mK).



Figuur 87: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. kalk-hennep blokken, schaal 1/20

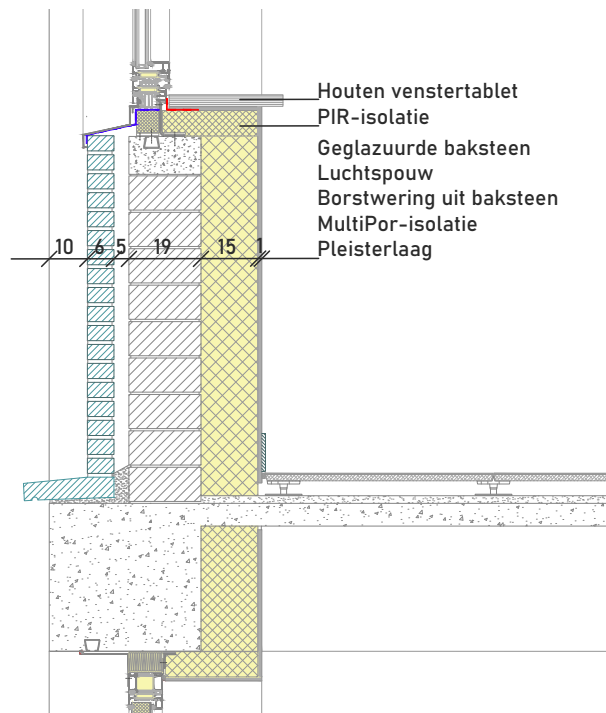


Figuur 88: Horizontale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. kalk-hennep blokken, schaal 1/20

186. IsoHemp, 2022

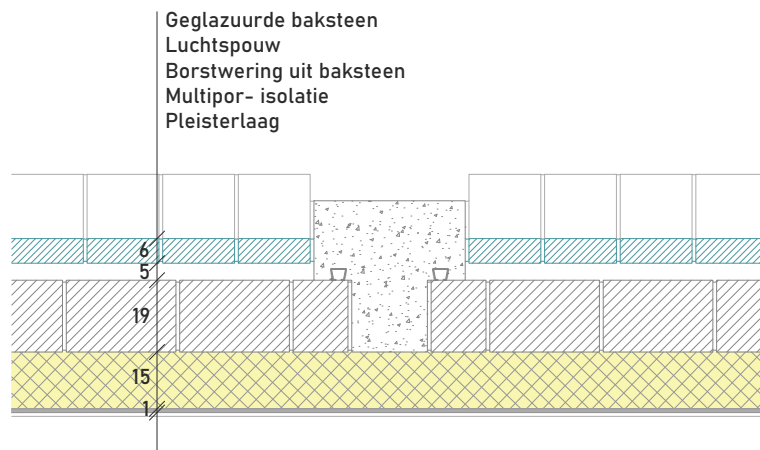
## Multipor

Multipor is een isolatiemateriaal ontwikkeld door het bedrijf Xella. De minerale isolatieplaten kunnen vergeleken worden met cellenbeton, maar bevatten meer ingesloten luchtcellen wat het materiaal lichter maakt. Daarnaast is het een damp-open materiaal, de vochtregulatie gebeurt op natuurlijke wijze waardoor er geen dampremmende folie voorzien moet worden. De Multipor minerale isolatieplaten en de bijbehorende lijm mortel zijn bovendien onbrandbaar en brandwerend en zorgen daarmee in geval van brand voor absolute brandveiligheid.<sup>187</sup> Xella stelt bovendien dat Multipor isolatie natuurlijk en volledig te hergebruiken is. Ze bestaan namelijk uitsluitend uit de natuurlijke grondstoffen kalk, cement, zand en water. Net zoals de hennepblokken kan de Multipor-isolatie eenvoudig verzaagd worden tot de gewenste afmetingen. De isolatieplaten worden tegen een steenachtige ondergrond gelijmd. Bovendien worden ze ook geschrant op elkaar geplaatst en gelijmd met elkaar verbonden. Als afwerkingslaag kan opnieuw een binnenpleister voorzien worden. Multipor isolatieplaten hebben een  $\lambda$ -waarde van  $0,043 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ . Wanneer men na renovatie een U-waarde van  $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  wil bekomen, zal de uitvoeringsdikte van Multipor beperkter zijn in vergelijking met deze van hennepblokken, daar deze laatste een hogere  $\lambda$ -waarde heeft.



Figuur 89: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. Multipor, schaal 1/20

187. XELLA, 2019



Figuur 90: Horizontale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. Multipor, schaal 1/20

### Synthetische isolatiematerialen

Onder isolatieplaten uit kunststof worden isolatiematerialen zoals bijvoorbeeld PUR, PIR, XPS en EPS verstaan. Deze isolatiematerialen zijn samen met organische materialen de laatste jaren de norm geworden bij het isoleren van gebouwen. Kunststof isolatiematerialen hebben typisch een zeer lage  $\lambda$ -waarde waardoor ze dunner uitgevoerd kunnen worden. Nadelig aan kunststof-isolatie is hun grote milieu-impact, ze worden namelijk gemaakt op basis van aardolie waardoor ze veel vervuilender zijn dan organische isolatiematerialen. Met het oog op een duurzame renovatie moet het gebruik van deze materialen tot een minimum beperkt worden. Daar waar een zeer dun isolatiepakket gerealiseerd moet worden, zijn deze materialen vaak niet uit te sluiten. In vergelijking met minerale wollen, hennepblokken en Multipor doen de meeste synthetische isolatiematerialen het zeer slecht op vlak van brandveiligheid. Zo zijn EPS en XPS zeer brandbaar, PUR-isolatieplaten zijn brandwerend, maar vatten vuur na verloop van tijd. PIR-isolatie, de verbeterde versie van PUR-isolatie, is zeer moeilijk brandbaar.<sup>188</sup> Bij de renovatie van de borstwering worden kunststof isolatiematerialen als secundair beschouwd omwille van hun milieu-impact en gebrek aan brandveiligheid. Initieel wordt gekeken naar de natuurlijke isolatiematerialen. Bij aansluitingen, waar slechts beperkte ruimte om te isoleren voor handen is, wordt teruggegrepen naar kunststoffen isolatiematerialen. Denk bijvoorbeeld aan de aansluiting tussen het isolatiepakket van de borstwering en de raamprofielen of het na-isoleren van de gevel ter hoogte van de verdiepingsvloeren.

188. Dekoevoet, 2019

## Buitenisolatie

Het inpakken van het gebouw langs de buitenkant verkleint de kans op koudebruggen. De eisen geformuleerd in de EPB-regelgeving zijn hier dan ook strenger waardoor een U-waarde van  $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  na renovatie wel behaald moet worden. De uitdaging hier zit in het bewaren en respecteren van het oorspronkelijke karakter van het gebouw. Buitenisolatie werd reeds toegepast bij de renovatie van meerdere S-gebouwen op de campus. De originele borstweringen werden hierbij verwijderd, waardoor het spel van diepte in de oorspronkelijke gevels verdween. In wat volgt wordt onderzoek gedaan naar hoe men buitenisolatie kan toepassen op een manier die rekening houdt met de originele gevelopbouw.

Een klassieke manier van buiten-isoleren is het isoleren van de bestaande gevel met isolatieplaten die op hun beurt bepleisterd worden. Deze systemen worden verzameld onder de naam 'ETICS' ('External Thermal Insulation Composite Systems with rendering').<sup>189</sup> De thermische isolatie wordt met mechanische bevestigingen of verlijmde verbindingen aan de bestaande gevel bevestigd. Hierna wordt een grond- en afwerkpleister op het isolatiemateriaal aangebracht. De bepleistering moet de wand beschermen tegen weersinvloeden gedurende zijn volledige levensduur en moet voldoende waterdampdoorlaatbaar zijn. Tussen de lagen van de grondpleister wordt wapeningsweefsel voorzien om de treksterkte van de grondlaag te verbeteren en mechanische beschadigingen te vermijden.<sup>190</sup> In het geval van de renovatie van de S4 zou de borstwering niet afgewerkt worden met een afwerkpleisterlaag, maar wel met steenstrips om het originele ontwerp in ere te houden. Alternatieve afwerkingen met steenstrips of tegels zijn mogelijk, al zoekt men best een aannemer die hier ervaring mee heeft.<sup>191</sup>

Het meest gebruikte isolatiemateriaal bij een ETICS-systeem is EPS, goed voor meer dan 85% van de markt. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen EPS en EPS-grafiet, deze laatste heeft betere thermische prestaties waardoor het aan populariteit wint. Vanwege de donkere kleur moet het materiaal tijdens plaatsing en opslag beschermd worden tegen de zon om het risico op vervorming te vermijden.<sup>192</sup> EPS-grafiet heeft een  $\lambda$ -waarde van  $0,034 \text{ W}/(\text{mK})$ .



Figuur 91: Opbouw van een ETICS (WTCB, 2016, p.11)

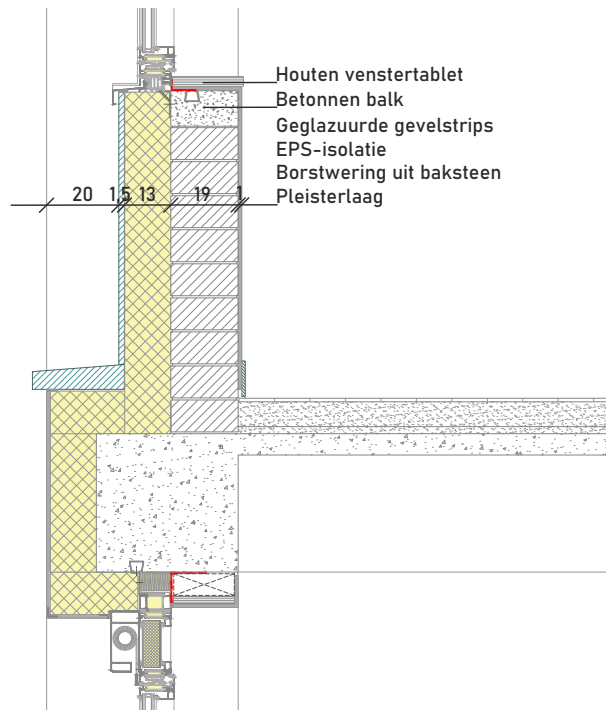
189. WTCB, 2016

190. WTCB, 2016

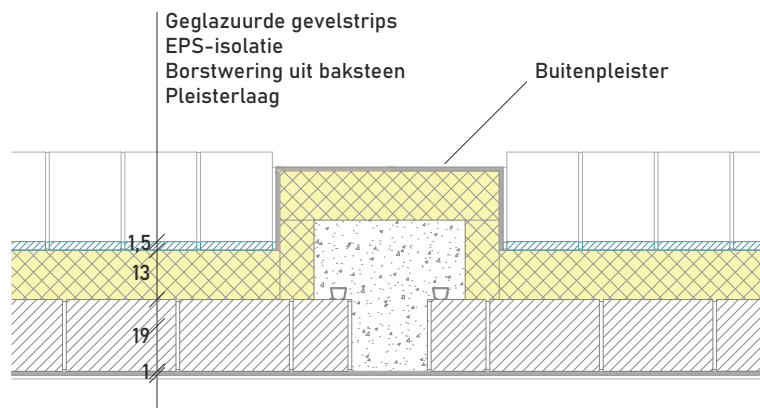
191. WTCB, 2016

192. WTCB, 2016

Wanneer buitenisolatie toegepast wordt ter hoogte van de borstwering van de S4 bekomt men volgende verticale en horizontale doorsnede.



Figuur 92: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. ETICS, schaal 1/20



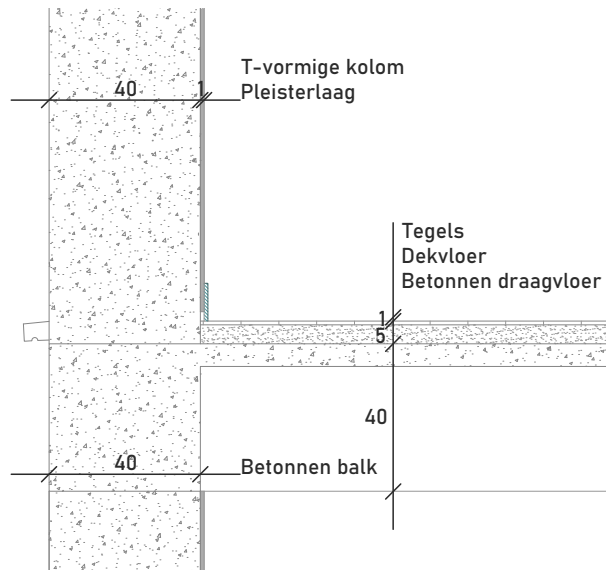
Figuur 93: Horizontale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. ETICS, schaal 1/20



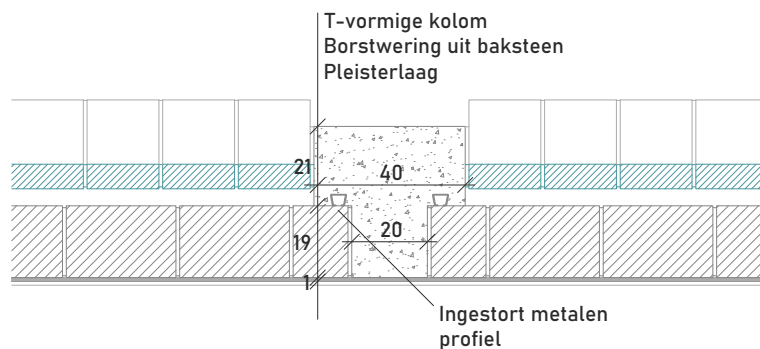
## Renovatie van de draagstructuur in de gevel

### Bestaande toestand

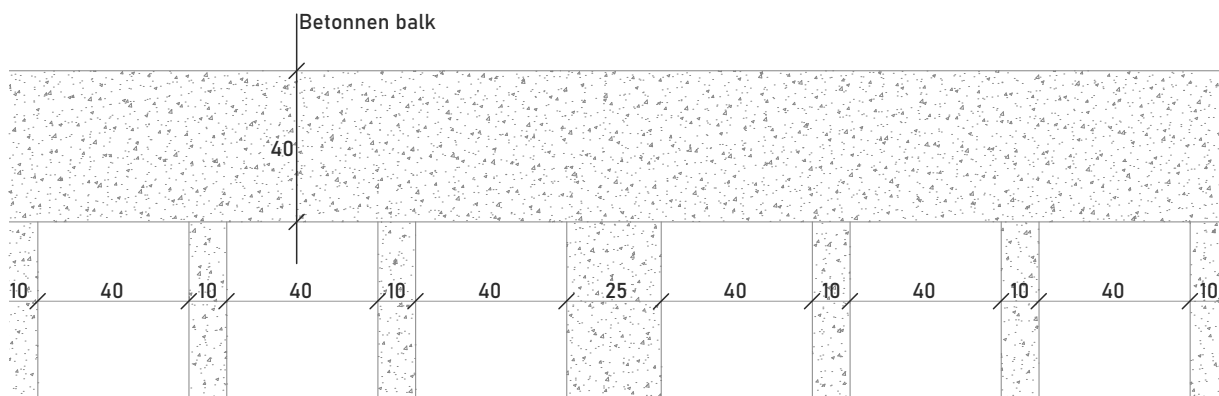
Naast de borstweringen komt in de gevel het betonnen raster naar voren. Dit bestaat uit kolommen en balken die de verdiepingvloeren ondersteunen. Concreet bestaat het raster verticaal uit T-vormige kolommen en horizontaal uit ter plaatste gestorte balken die de last van de vloerplaten afdragen naar de kolommen. Zowel de balken als de kolommen nemen een groot oppervlak van de gevel op zich, waardoor ze bijgevolg een grote rol spelen in het warmtetransport naar de buitenomgeving.



Figuur 94: Verticale doorsnede van een kolom in de gevel van de S4 in huidige toestand, schaal 1/20



Figuur 95: Horizontale doorsnede van de kolom in de gevel van de S4 in huidige toestand, schaal 1/20



Figuur 96: Horizontale doorsnede van een balk in de gevel van de S4 in huidige toestand, schaal 1/20

### *Renovatie van de bestaande toestand*

Om warmteverliezen door de balken en kolommen in de gevel te beperken moet men deze gaan isoleren. Net zoals bij de renovatie van de borstwering is thermisch isoleren aan zowel binnen- als buitenzijde mogelijk. Let wel dat het isoleren van de horizontale draagstructuur aan de binnenzijde een veel groter koude-transport met zich meebrengt. Het realiseren van een thermische onderbreking tussen de balken in de gevel en de ribben van de verdiepingsvloer is namelijk niet mogelijk, wat voor veel koudebruggen zorgt. Daarnaast is het voorzien van isolatie tussen de ribben ook niet vanzelfsprekend aangezien de bestaande vloeropbouw ter plaatse gestort werd, met veel onregelmatigheden als gevolg. Binnenisolatie aanbrengen ter hoogte van de verticale kolommen resulteert niet in koudebruggen.

#### *Binnenisolatie*

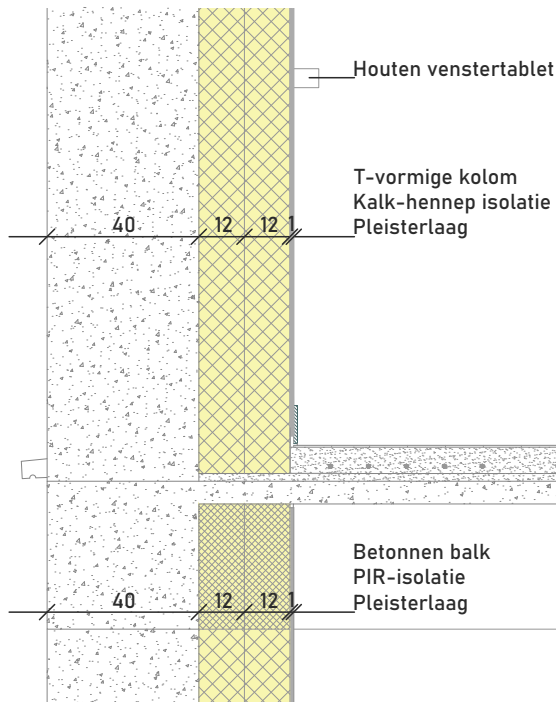
Het aanbrengen van binnenisolatie kan op dezelfde wijze gebeuren als bij de borstwering. Het spreekt echter voor zich dat het verlijmen van een isolatiemateriaal waar een pleisterlaag op bevestigd kan worden hier de voorkeur geniet. Het aanbrengen van een houten constructie - gevuld met minerale wol en voorzien van een doorlopend dampscherm - is een te ingewikkelde optie, zeker tussen de ribben van de verdiepingsvloer. De ribben hebben een breedte van 10 cm en werden geplaatst met een hart-op hartafstand van 0,50 m (figuur 96).

Wanneer isolatie tussen de ribben geplaatst wordt, moet de fractie beton ook in rekening gebracht worden. De verhouding beton tot tussenruimte bedraagt ongeveer 20%, dit wil zeggen dat men bij de U-waarde berekening van het pakket deze heterogene laag in rekening moet brengen om een correcte inschatting van het warmtetransport te bekomen. Bijgevolg zal de nodige isolatiedikte ten opzichte van de borstwering toenemen. Het berekenen van de U-waarde van een heterogene laag kan volgens de werkwijze vooropgesteld in het transmissiereferentiedocument van de Vlaamse overheid.<sup>193</sup> De berekeningen zijn terug te vinden in bijlage 6.

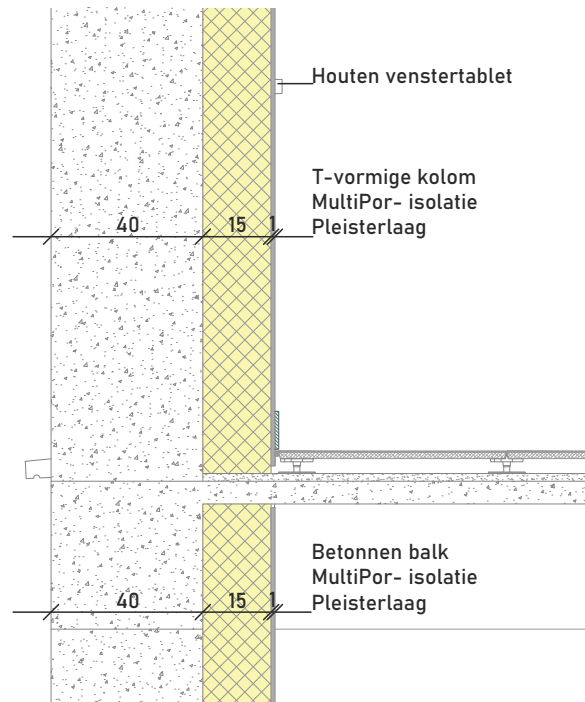
De impact van de betonnen ribben op het warmtetransport tussen binnen- en buitenomgeving is gigantisch. Uit de berekeningen van de U-waarde van de heterogene laag wordt geconcludeerd dat ter hoogte van de betonnen balk in de gevel, het behalen van een U-waarde van  $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  aan de hand van binnenisolatie onmogelijk is. Dit ongeacht het gebruikte isolatiemateriaal. Zo zou men bijvoorbeeld 1,35 m aan kalk-hennep blokken of 1,25 meter Multipor moeten aanbrengen om deze waarde te bekomen. Dit is een zeer onrealistische dikte die in werkelijkheid nooit uitgevoerd zal worden. Bij het na-isoleren aan de binnenzijde van de gevel tussen de ribben van het vloerpakket, kan men zich dus niet laten leiden door de U-waarde die daar verkregen wordt.

Bij renovatie kan men in de binnenomgeving een effen afwerkingsoppervlak verkrijgen door de dikte van het isolatiepakket ter hoogte van de borstwering te volgen. Ter hoogte van de horizontale balk en bij de kolommen in de gevel voorziet men dus dezelfde isolatiedikte om verspringingen te vermijden. Een hybride oplossing, waarbij het isolatiemateriaal bij de borstwering verschilt van dat bij de kolommen en het vloerpakket, is mogelijk. Zo kan men bijvoorbeeld tussen de ribben kiezen voor synthetisch isolatiemateriaal met een lagere  $\lambda$ -waarde. Onderstaande verticale snedes geven weer hoe aan de hand van kalk-hennep-, PIR- en Multiporisolatie aan de binnenzijde van de draagstructuur gerenoveerd kan worden.

193. Transmissie Referentie Document, 2010



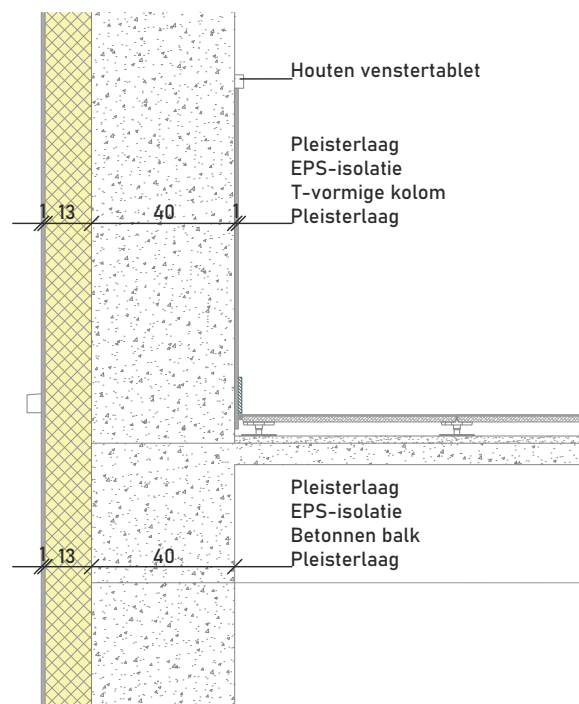
Figuur 97: Verticale doorsnede van een kolom in de gevel van de S4 na isoleren m.b.v. Kalk- hennep en PIR-isolatie, schaal 1/20



Figuur 98: Verticale doorsnede van een kolom in de gevel van de S4 na isoleren m.b.v. Multipor-isolatie, schaal 1/20

### Buitenisolatie

Bij het isoleren van de bestaande gevel langs de buitenkant verkrijgt men een doorlopende isolatieschil en botst men niet op de problemen die opduiken bij isoleren langs de binnenzijde. EPS-isolatie kan verlijmd worden op de gevel en afgewerkt worden met pleisterlagen. In tegenstelling tot de borstweringen zou men de rest van de gevel kunnen afwerken met een pleisterlaag, waarvan men de afwerking vrij kan kiezen.



Figuur 99: Verticale doorsnede van een kolom in de gevel van de S4 na isoleren m.b.v. ETICS, schaal 1/20

## Renovatie van het schrijnwerk

### *Bestaande toestand*

Met het oog op duurzaamheid en hergebruik is het behouden en herstellen van schrijnwerk een te onderzoeken piste. Het huidige schrijnwerk in de S4 heeft doorheen de jaren echter veel schade opgelopen, Ook de luchtdichtheid en de warmtedoorgangscoefficiënt van de profielen zijn niet conform de hedendaagse normen. De aanwezige dubbele beglazing heeft een te hoge U-waarde ( $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ )<sup>194</sup> in vergelijking met de EPB-eis van  $1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ . De actuele toestand van het schrijnwerk in combinatie met de hedendaagse eisen bij energetische renovaties wijzen op de nood aan vervanging van het schrijnwerk bij renoveren van het gebouw.

Het huidige schrijnwerk heeft op gebouw- en siteniveau hetzelfde uitzicht, de erfgoedwaarde van campus Sterre uit zich in de typische ritmiek van de gevel en het schrijnwerk. Bij het vervangen van het schrijnwerk voorziet men dan ook bij voorkeur gehele die dezelfde indeling volgen, of daar licht van afwijken zoals bij de renovatie van de S2 en S5 door Abscis architecten.



Figuur 25: Geveltekening S4(bis)



Figuur 26: Gevelbeeld S4

### *Renovatie van de bestaande toestand*

Bij het vervangen van het schrijnwerk moet het nieuwe geheel aan de hedendaagse EPB-eisen voldoen: transparante scheidingsconstructies mogen een maximale U-waarde van  $1,50 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  hebben waarbij de U-waarde van de beglazing niet groter mag zijn dan  $1,10 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ .<sup>195</sup> Eventuele bijkomende zaken zoals regelbare toevoeropeningen (RTO's) voor natuurlijke ventilatie zullen een invloed hebben op de U-waarde van het geheel en moeten zeker in beschouwing genomen worden. Daarnaast moet men ook rekening houden met zaken die geen invloed hebben op de U-waarde, maar wel een impact hebben op het installeren van een nieuw schrijnwerkgeheel. Denk aan interne of externe zonnepanelen, dynamische beglazing, gestuurd openen van raamdelen etc.

194. Transmissie Referentie Document, 2010

195. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2020

De U-waarde van een raam wordt als volgt berekend:

$$U_w \text{ (of } U_D) = \frac{A_g U_g + A_f U_f + A_p U_p + A_r U_r + l_g \psi_g + l_p \psi_p}{A_g + A_f + A_p + A_r} \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

Figuur 100: Formule voor de berekening van de U-waarde van een schrijnwerkgeheel (TRD)

Met

$A_x$  : de oppervlakte van respectievelijk glas, raamprofiel, vulpaneel of rooster

$U_x$  : de U-waarde van respectievelijk glas, raamprofiel, vulpaneel of rooster

$l_x$  : de omtrek van respectievelijk glas of vulpaneel

$\psi_x$  : de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt ten gevolge van de gecombineerde effecten van respectievelijk glas of vulpaneel met de randverbinding en het raamprofiel

Vooraleer de U-waarde van het geheel berekend wordt, worden verschillende opties van de invloedsfactoren overlopen. Dit geeft de mogelijkheid factoren te combineren tot een geheel dat aan de eisen voldoet.

### Beglazing

Het glas maakt het grootste deel uit van het schrijnwerkgeheel, en speelt dus een grote rol bij de warmteverliezen doorheen de gevel. Aangezien het huidige dubbel glas een te hoge  $U_g$ -waarde heeft, zal men bij renovatie moeten inzetten op beter isolerend glaswerk. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de U-waarden bij verschillende types beglazing.

Type	U-waarde [W/(m <sup>2</sup> .K)]
Enkel glas	5,80
Dubbel glas	2,90
Hoogrendementsglas	0,80 - 1,10
Driedubbel glas	0,60
Heat mirror glas'	0,45

Tabel 11: Overzicht U-waarden van verschillende types beglazing (Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2019)

Hoogrendementsglas is dubbele beglazing waarbij een of meerdere coatings op de glasbladen worden aangebracht. De spouw tussen de glasbladen kan opgevuld worden met een edelgas.<sup>196</sup> Een edelgas beperkt het convectief warmtetransport tussen de glasbladen. Dezelfde principes kunnen toegepast worden bij driedubbele beglazing om de U-waarde van het glas nog lager te krijgen. Let wel dat driedubbel glas een hoog gewicht kent waardoor men bij renovatieprojecten moet nagaan of de bestaande draagstructuur in de gevel geschikt is om de zware beglazing te dragen. De zware structuur van de borstweringen in de S4 zorgt ervoor dat men bij renovatie over voldoende draagkracht beschikt om driedubbel glas te installeren. Wanneer men driedubbel glas wil vermijden, kan men werken met 'heat mirror glass'. Dit is een type dubbele beglazing waar in de spouw tussen beide glasbladen een of meerdere 'low-e' folies aangebracht worden. Dit zorgt voor het ontstaan van twee of meer afzonderlijke spouwen die vervolgens met Argon- of Kryptongas gevuld worden waardoor het geheel een zeer lage U-waarde heeft. 'Heat mirror' dubbel glas zou tot 33% minder wegen dan driedubbel glas met dezelfde thermische prestaties.<sup>197</sup> Naast de warmteverliezen doorheen de gevel heeft de keuze van het glas ook invloed op de lichttoetreding en de zontoetreding naar de binnenruimte, dit wordt later besproken. Bij renovatie heeft de ontwerper dus keuze wat betreft de beglazing. In wat volgt wordt verder gewerkt met hoogrendementsglas.

196. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2019

197. Alpen, z.d.

## Raamprofielen

In bovenstaande formule slaat de  $U_f$ -factor op de U-waarde van het raamprofiel en de Af-factor op de oppervlakte van het profiel. Aangezien de profielen op de beglazing na de grootste oppervlakte innemen, zal hun U-waarde doorslaggevend zijn voor de totale U-waarde. De ontwerprichtlijn van de UGent raadt aan om onderhoudsvriendelijke materialen zoals staal of aluminium, met thermisch onderbroken profielen te gebruiken als raamprofielen.<sup>198</sup> Gezien de grotere beschikbaarheid aan thermisch onderbroken aluminium raamprofielen wordt hiermee verder gewerkt. Bij verschillende producenten zijn verschillende profielen te verkrijgen, de ene al beter thermisch isolerend dan de andere. Afhankelijk van de keuze van het glas en de andere onderdelen van het raamelement zal het raamkader al dan niet beter thermisch geïsoleerd moeten zijn. In onderstaande tabel vindt u een overzicht van mogelijke aluminium raamkaders bij verschillende verdelers.

In verder onderzoek wordt gewerkt met de raamprofielen 'Decalu 88 Standard' van de verdeler Deceuninck.

Product	Type	U-waarde [W/(m <sup>2</sup> .K)]
Slim Line 38 HI	Enkel glas	5,80
Masterline 8	Dubbel glas	2,90
Masterline 10	Hoogrendementsglas	0,80 - 1,10
Decalu 88 Hidden	Driedubbel glas	0,60
Decalu 88 Standard	Driedubbel glas	1,60
Allura +81	Driedubbel glas	2,60
Artica +91	Heat mirror glas <sup>1</sup>	0,45

Tabel 12: Overzicht U-waarden van verschillende types raamprofielen

## Regelbare toevoeropeningen

RTO's worden gebruikt wanneer men een ruimte op natuurlijke wijze wil voorzien van lucht. De grootte van de roosters wordt bepaald door de nodige toevoerdebieten voor het hygiënisch ventileren van de binnenruimte. Aangezien RTO's de toevoer van verse buitenlucht naar binnen mogelijk maken, hebben ze een negatieve invloed op de isolerende capaciteiten van de ramen. In de winter wordt zo bijvoorbeeld lucht aan een lage temperatuur de ruimte binnengebracht, waardoor de ventilatieverliezen stijgen. Daarnaast moet een continue luchtstroom van buiten naar binnen gerealiseerd worden, waardoor het voorzien van een thermische onderbreking in de RTO slechts in bepaalde mate mogelijk is. Dit laatste heeft een negatieve impact op de transmissieverliezen doorheen de gevel. Bovendien brengt een hoge U-waarde van RTO's condensatierisico's met zich mee.<sup>199</sup>

Er zijn verschillende manieren om een RTO aan het schrijnwerk te verbinden. Populaire installatiewijzen zijn op het glas, op traverse (kalfplaatsing) of op de raamprofielen. Bij een installatie op het glas wordt het rooster in het glasvlak geplaatst, de verbinding tussen glas en rooster gebeurt aan de hand van een beglazingsrubber. Installatie op traverse, ook wel kalfplaatsing genoemd, duidt op een plaatsing tussen twee raamprofielen. Hiernaast kan men de RTO ook bovenaan het profiel plaatsen. Wanneer men de RTO's niet in het gevelbeeld terug wil zien kan men voor een verborgen installatie kiezen waarbij de opening zich achter lamellen bevindt. Dit kan bij een installatie op traverse en op het raamkader toegepast worden.

198. Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2020

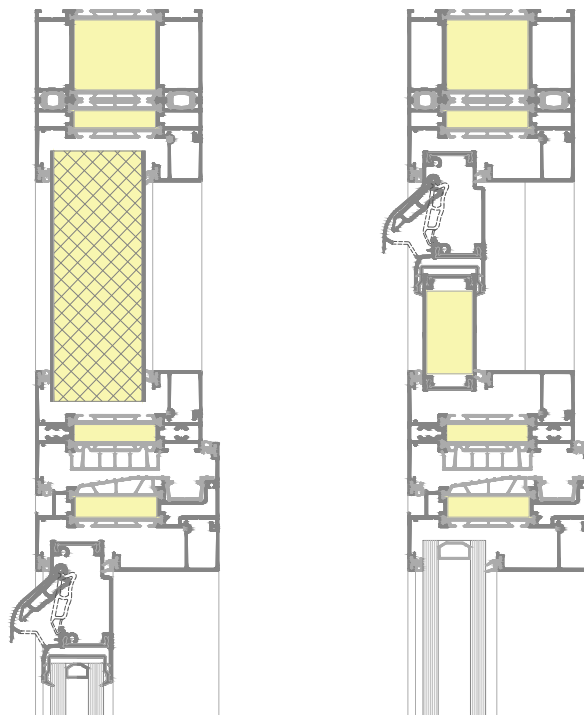
199. Afdeling Energie en Klimaat WTCB, 2007

Bij het ontwerpen van een ventilatieconcept op verdiepingsniveau zullen meerdere RTO's van verschillende producenten opgelijst worden. Deze hebben allemaal een verschillende U-waarde zoals in volgende tabel waar te nemen is.

Product	U-waarde [W/(m <sup>2</sup> .K)]	Installatiewijze
TC60	3,30	op glas/ traverse
THK90	3,90	op glas/ traverse
THL100	3,90	op glas/ traverse
AR75	3,00	op glas/ traverse
Sonovent Xlarge	4,70	op glas/ traverse/ achter lamellen
TronicventAK	1,88	op raamkader
TronicGlasMax	1,56	op glas/ traverse/ raamkader
SkyVent ZR	3,60	op raamkader

Tabel 13: Overzicht U-waarden en installatiewijze van verschillende types RTO's

Volgende details geven weer hoe het rooster TC60 van de producent Renson geïnstalleerd kan worden op raamprofielen 'Decalu 88 standard', van de producent Deceuninck. Dit enerzijds in het glasvlak en anderzijds op traverse, waar de RTO tussen raamprofielen wordt geplaatst met behulp van een traverseprofiel.



Figuur 101: Mogelijke installatiewijzes RTO, schaal 1/4

### Vulpaneel

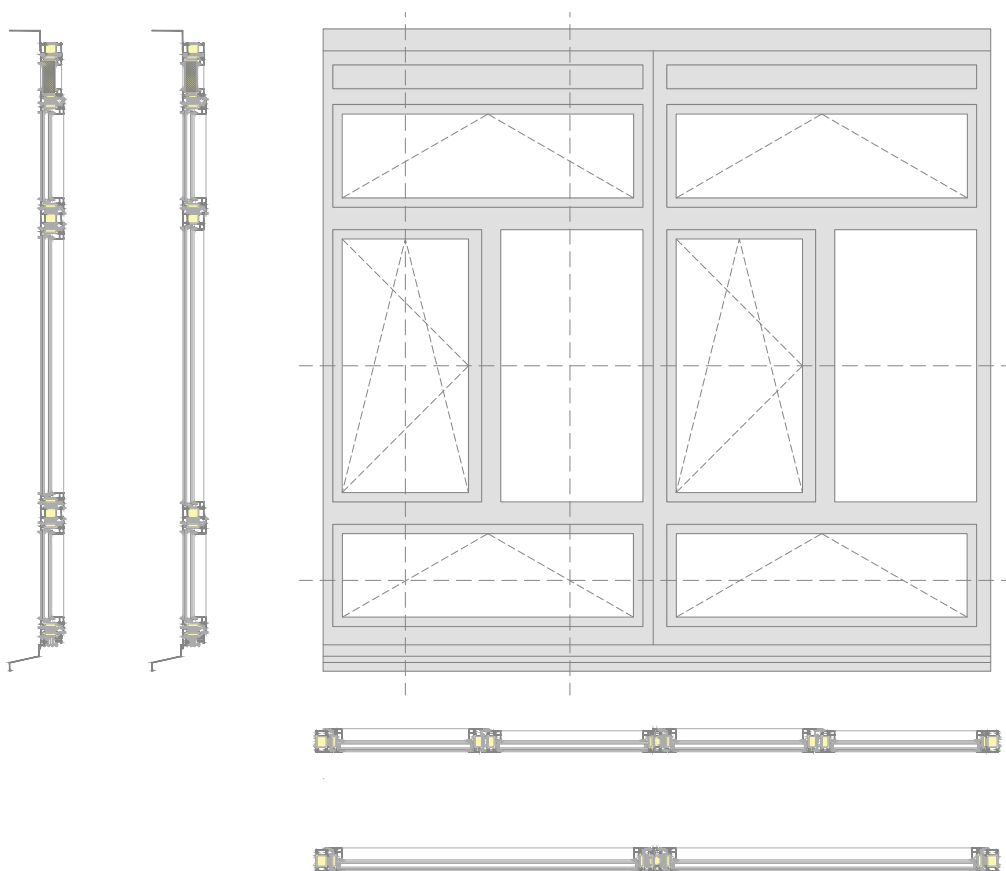
Bovenaan het raamelement wordt een vulpaneel tussen de raamprofielen geplaatst. Op die manier kan aan de binnen- of buitenzijde zonnewering geïnstalleerd worden, met respect voor de originele indeling van het schrijnwerkgeheel. Zoals hierboven weergegeven kan het vulpaneel ook vervangen worden door een RTO. Wanneer men voor een paneel kiest, opgebouwd uit aluminium platen langs beide zijden met in het midden PIR-isolatie met een dikte van 2 cm, bekomt men een U-waarde van 0,89 W/m<sup>2</sup>K.

## Zonnewering

Om oververhitting en verblinding tegen te gaan kan men zonneweringen installeren aan de binnenzijde of buitenzijde van het schrijnwerk. Er zijn verschillende manieren waarop zonneweringen aangebracht kunnen worden, van zeer eenvoudige manuele systemen tot geavanceerde, op gebouwniveau gestuurde zonneweringen. De locatie van de zonnewering wordt bepaald door het type beglazing en de aanwezigheid van RTO's. De toevoer van verse lucht doorheen deze roosters kan negatief beïnvloed worden door een zonnewering die voor of achter het rooster geïnstalleerd is.

### *Toegepast op de S4*

Er zijn verschillende combinaties van de elementen mogelijk die leiden tot een U-waarde van het geheel kleiner dan of gelijk aan  $1,50 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ . Bij het simuleren van een typeverdieping worden raamprofielen met een  $U_f$ -waarde van  $1,13 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  en beglazing met een  $U_g$ -waarde van  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  gebruikt. Wanneer met een vulpaneel en RTO's gewerkt wordt, wordt een  $U_w$ -waarde van  $1,50$  voor het schrijnwerkgeheel verkregen. Wanneer men niet werkt met RTO's zal de U-waarde van het geheel lager zijn aangezien de RTO's een grotere U-waarde hebben dan de onderdelen die hun plaats zouden innemen, namelijk glas of vulpaneel. Onderstaand beeld schetst een mogelijk scenario van het schrijnwerkgeheel na renovatie, dat qua uitzicht heel gelijkaardig is aan de huidige schrijnwerkgehelen.



Figuur 102: Schrijnwerkgeheel van de S4 na renovatie, schaal 1/30



## Conclusie

Er kan geconcludeerd worden dat bij het isoleren aan de binnenzijde van de gevel, het behalen van een U-waarde van  $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  geen optie blijkt ter hoogte van de verdiepingsvloeren. De U-waarde van de gebouwschil zal hier groter zijn waardoor er meer warmtetransport naar de buitenomgeving mogelijk is. In tegenstelling tot binnenisolatie, wordt de gewenste U-waarde bij buitenisolatie wel behaald. Dit aangezien de isolatieschil hier continu uitgevoerd kan worden. Hierbij zijn echter twee kanttekeningen. Als eerste moet bij isoleren aan de binnenzijde de U-waarde van  $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  niet behaald worden en wordt deze hier eerder als richtwaarde gebruikt. Ten tweede is het berekenen van een U-waarde een tweedimensionale manier van warmtetransportberekeningen, in het volgende deel worden de bouwknopen driedimensionaal bestudeerd, waar de mogelijkheden en gevolgen van binnen-isoleren van de gebouwschil verder onderzocht worden.

Het behalen van de vooropgestelde U-waarde van het schrijnwerkgeheel vormt geen probleem bij renovatie. Belangrijk hierbij is dat de gevolgen van de toename in U-waarde van een van de componenten in het geheel niet onderschat mag worden. Deze stijging moet namelijk gecompenseerd worden door een daling in U-waarde van andere componenten van het geheel, wat een grote investering met zich kan meebrengen.

#### 7.4.4 Bouwknopen

Waar de isolatieschil onderbroken wordt of de dikte van het isolatiepakket onderbroken wordt, bevindt zich een bouwknop. Ook locaties waar twee scheidingsconstructies samenkomen, zijn bouwknopen. Op de plaats van de bouwknopen kan extra warmteverlies optreden waardoor deze aandachtig bestudeerd en ontworpen moeten worden.<sup>200</sup> Naast warmtetransport verdienen water- en luchtdichting extra aandacht bij bouwknopen aangezien ook deze twee eigenschappen een invloed zullen hebben op warmteverliezen en binnencomfort.

##### Warmteverliezen door bouwknopen

Bij het bepalen van de transmissieverliezen op gebouwniveau moet rekening gehouden worden met de invloed van de bouwknopen. De berekening wordt gemaakt per EPB-eenheid en kan op drie manieren gebeuren. Aan de hand van de gedetailleerde methode, door het realiseren van EPB-aanvaarde bouwknopen of aan de hand van een forfaitaire toeslag.<sup>201</sup>

Bij de eerste methode wordt de invloed berekend door de lineaire – en puntwarmtedoorgangscoefficienten te sommeren. Deze kunnen berekend worden of gelijkgesteld worden aan een forfaitaire waarde. Bij de tweede methode wordt nagegaan of de bouwknop EPB-aanvaard is. De laatste optie stelt dat bij het niet volgen van de eerste twee manieren een forfaitaire bijdrage van transmissieverliezen doorheen bouwknopen bij het totale transmissieverlies opgeteld moet worden.<sup>202</sup>

##### *EPB- aanvaarde bouwknopen*

In dit deel wordt nagegaan of de bouwknopen aan de normen van de EPB-regelgeving voldoen. Een bouwknop wordt als EPB-aanvaard beschouwd wanneer hij voldoet aan één van de drie basisregels of wanneer de lineaire warmtedoorgangscoefficient kleiner is dan de grenswaarde.

##### *Basisregel 1 – minimale contactlengte isolatielagen*

Wanneer de isolatielagen van twee scheidingsconstructies van het verliesoppervlak ter plaatse van de aansluiting minstens gedeeltelijk en rechtstreeks op elkaar aansluiten over een bepaalde lengte, wordt de bouwknop als EPB-aanvaard gezien. De minimale contactlengte is de kleinste waarde van de helft van de diktes van beide isolatiematerialen. Bij raam- en deurprofielen wordt een uitzondering gemaakt: hier moet de thermische onderbreking van het raamprofiel over zijn volledige breedte in contact staan met de aansluitende isolatielaag.<sup>203</sup>

##### *Basisregel 2 – tussenvoeging van isolerende delen*

Waar isolatielagen niet rechtstreeks op elkaar aangesloten kunnen worden, kan niet voldaan worden aan basisregel 1. Men kan echter isolerende delen tussenvoegen om een continue schil te bekomen. Deze isolerende delen moeten voldoen aan drie regels: de  $\lambda$ -waarde van het isolerend deel moet klein genoeg zijn, de warmteweerstand R moet voldoende groot zijn en tenslotte moet een bepaalde contactlengte gerealiseerd worden. Concrete eisen en waarden zijn terug te vinden in bijlage VIII van de Vlaamse overheid.<sup>204</sup>

200. Van Linden, S, 2020

201. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2017

202. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2017

203. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2017

204. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2017

Opnieuw gelden er uitzonderingen voor raam- en deuraansluitingen. Het isolerende deel tussen raam- of deurprofiel en de isolatielaag van de aansluitende scheidingsconstructie moet een R-waarde hebben die groter is dan de helft van deze van de isolatielaag van de opake scheidingsconstructie of groter dan  $1,5 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ .

#### *Basisregel 3 – weg van minste weerstand*

Onder de weg van minste weerstand wordt het kortste traject tussen binnenomgeving en buitenomgeving of aangrenzende onverwarmde ruimte verstaan. Dit traject mag nergens een isolatielaag of isolerend deel snijden dat een warmteweerstand heeft die groter dan of gelijk is aan de kleinste van de R-waarden van beide isolatielagen die niet op elkaar kunnen aansluiten. Deze regel is dus van toepassing wanneer isolatielagen niet op elkaar kunnen aansluiten en het niet mogelijk is om een isolerend deel toe te voegen. De minimale lengte voor de weg van de minste weerstand bedraagt 1 meter.<sup>205</sup>

#### *Grenswaarde*

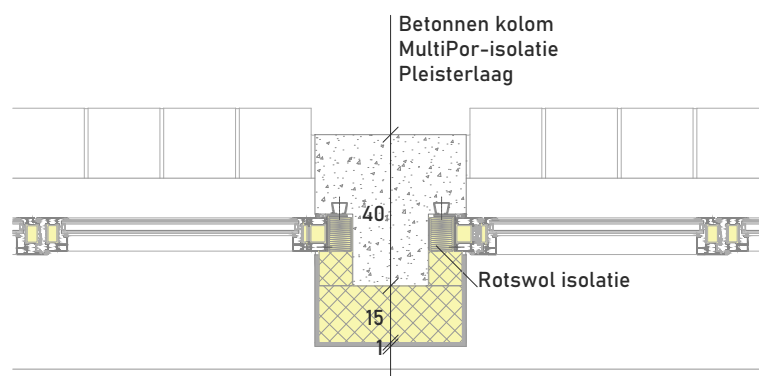
Naast het controleren of de bouwknoop aan één van de drie basisregels voldoet, kan men ook nagaan of de waarde voor de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt kleiner is dan de grenswaarde geformuleerd door de Vlaamse overheid.

#### *Toegepast op de S4*

In wat volgt wordt voornamelijk gefocust op de bouwknoepen die voorkomen bij de verschillende renovatiescenario's van de gevel.

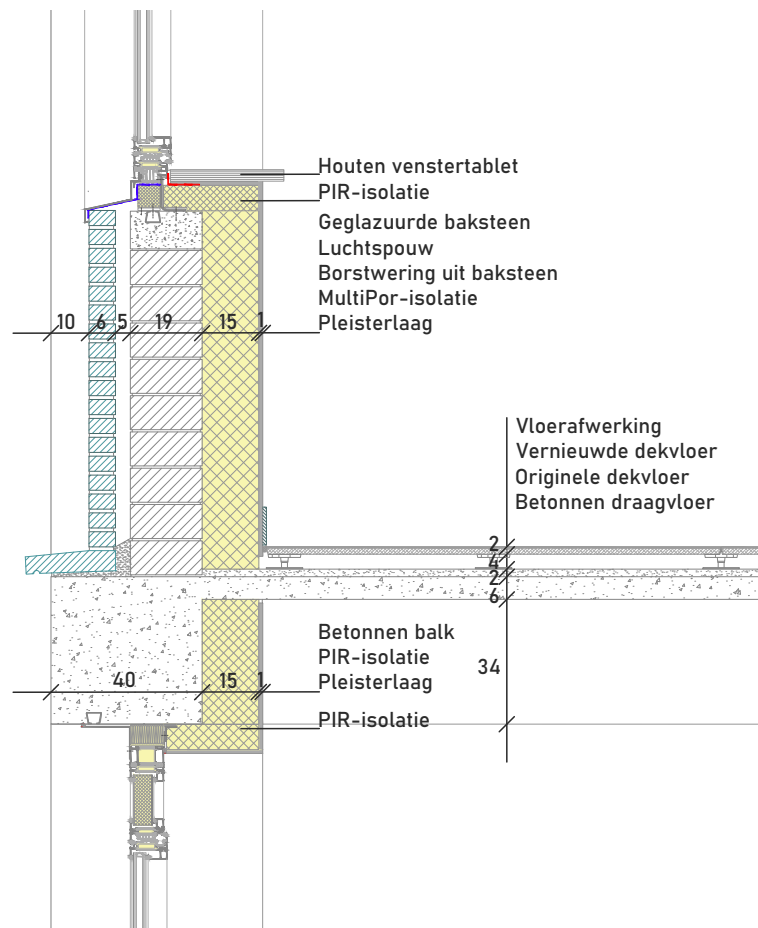
#### *Binnenisolatie*

Bij het isoleren aan de binnenzijde van de bestaande constructie ontstaan enkele bouwknoepen en koudebruggen. In wat volgt worden de bouwknoepen bij het binnen-isoleren aan de hand van Multipor isolatie geschetst. Op de verticale snede vindt men bouwknoepen terug in de aansluitingen ter hoogte van het schrijnwerk en daar waar de isolatieschil onderbroken wordt door het vloerpakket. In de horizontale snede verkrijgt men aan beide zijden van de T-vormige kolom een bouwknoop ter hoogte van de raamaansluitingen.



Figuur 103: Aansluiting tussen het schrijnwerk en de binnenisolatie, schaal 1/20

205. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2017



Figuur 104: Isoleren aan de binnenzijde met behulp van Multipor - en PIR-isolatie, schaal 1/20

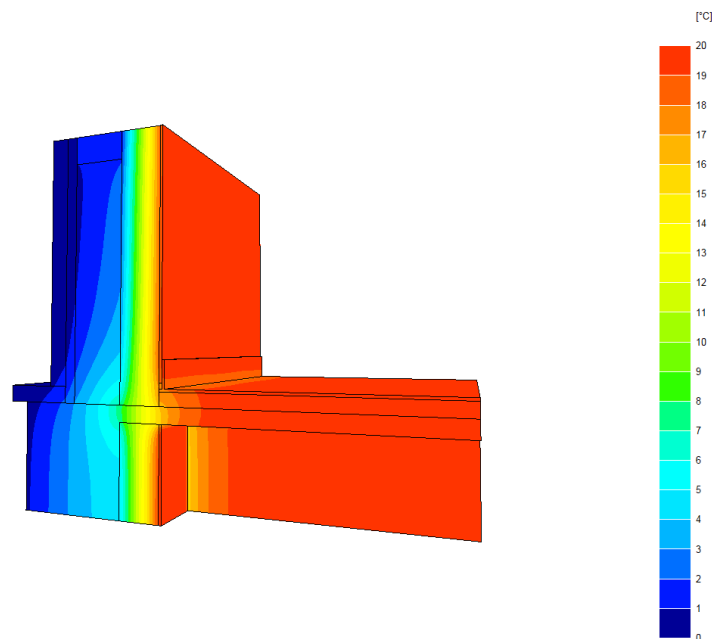
Bij de raamaansluitingen wordt rondom het schijnwerkgeheel steeds gesteund op basisregel 2. Zowel aan de zijkanten, als onder en boven aan het schijnwerkgeheel wordt de thermische onderbreking van het profiel verbonden met het isolatiepakket aan de binnenzijde van de gevel door het tussengevoegen van een isolerend deel. Aan de zijkanten en bovenzijde is dit rotswolisolatie, aan de onderzijde gecomprimeerd hardschuim. Een drukvast materiaal is hier nodig aangezien het schijnwerkgeheel op dit tussengevoegd deel zal steunen. De dikte van het tussengevoegd isolerend materiaal wordt steeds bepaald door de  $\lambda$ -waarde van het materiaal aangezien de R-waarde groter moet zijn dan  $1,5 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ . De raamprofielen worden aan de hand van raamankers met andere geveldelen verbonden. Daar waar de profielen aan de koude zijde van de gevel verbonden worden, wordt met een isolerend tussenstuk uit gecomprimeerd hardschuim gewerkt.

Waar de verdiepingvloer de balk in de gevel ontmoet, perforeren de draagvloer en de ribben van het vloerpakket de isolatieschil. De isolatie tussen de ribben en de isolatie aan de borstwering kunnen elkaar niet raken. Bovendien kan er geen isolerend element tussengevoegd worden opdat deze elkaar wel zouden raken. Het creëren van een weg van minste weerstand langer dan 1 meter is hier ook geen optie aangezien de afstand tussen binnen- en buitenzijde van de balk slechts 40 cm bedraagt en dit altijd de kortste weg zal blijven tenzij men buitenisolatie aanbrengt. Een laatste optie om na te gaan of deze bouwknop EPB-conform is, is het berekenen van de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt en deze te toetsen aan de grenswaarde.

De coëfficiënt kan berekend worden aan de hand van de 'Trisco-software' van Physibel. Bij het modelleren van de bouwknopen in deze software werden de regels en richtlijnen geformuleerd in de lessen van professor Jan Moens en doctoraatstudente Stéphanie Van Linden, gevolgd.<sup>206</sup> De grenswaarde voor de lineaire warmtedoorgangcoëfficiënt  $\psi$  ter hoogte van de aansluiting met de verdiepingsvloer bedraagt 0,00 W/(m.K).

Daarnaast moet men bij koudebruggen en bouwknopen ook rekening houden met de temperatuurfactor. Deze dimensieloze factor houdt rekening met de lagere temperatuur aan het binnenoppervlak ten gevolge van de koudebrug. Om schimmelvorming en oppervlaktecondensatie aan het binnenoppervlak te voorkomen moet de temperatuurfactor groter dan of gelijk zijn aan 70%. Des te lager de waarde, des te meer de temperatuur aan het binnenoppervlak naar de buitentemperatuur toe neigt, met als gevolg een grotere kans op oppervlaktecondensatie aan het binnenoppervlak.<sup>207</sup>

In wat volgt wordt bovenstaand scenario met 15 cm Multipor-isolatie ter hoogte van de borstwering en 15 cm PIR-isolatie tussen de ribben van het vloerpakket gesimuleerd in de 'Trisco-software'. Hierbij bekomt men een  $\psi$ -waarde van 0,18 W/(m.K) en een temperatuurfactor van 79,60%. Het risico op oppervlaktecondensatie is aldus beperkt, maar de bouwknop is niet EPB-aanvaard. De equivalente U-waarde van deze bouwknop bedraagt 0,53 W/(m<sup>2</sup>.K), wat ver verwijderd ligt van de U-waarde eis bij buitenisolatie van 0,24 W/(m<sup>2</sup>.K).



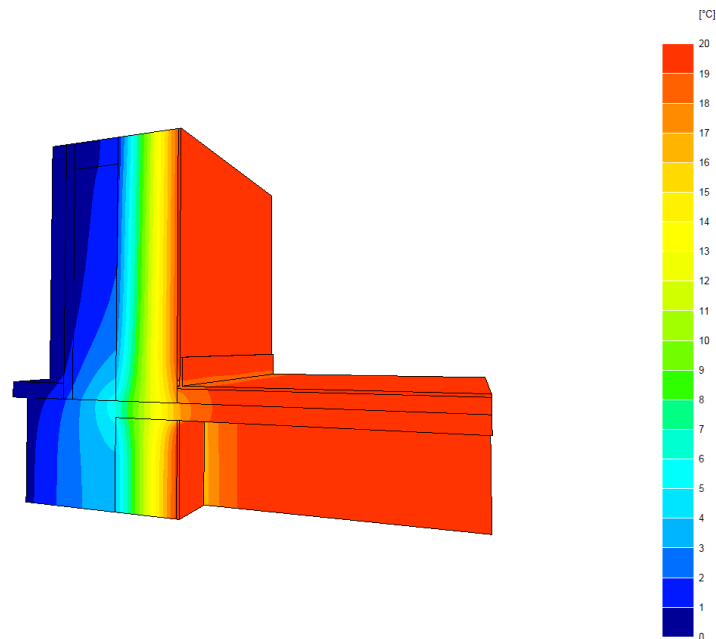
Figuur 105: Temperatuurverloop bij isoleren aan de binnenzijde met een isolatiedikte van 15 cm

Met het aanbrengen van een dikker isolatiepakket ter hoogte van de borstwering en de aansluiting met de verdiepingsvloer, kan men een lagere equivalente U-waarde bekomen. Wanneer men bijvoorbeeld werkt men een dikte van 25 cm, bekomt men een  $U_{eq}$ -waarde van 0,40 W/(m<sup>2</sup>.K), een  $\psi$ -waarde van 0,15 W/(m.K) en een temperatuurfactor van 84,00%. Ook bij deze isolatiedikte wordt geen EPB-aanvaard bouwknop verkregen, maar het warmtetransport doorheen de bouwknop is kleiner, met een lagere U-waarde tot gevolg. Dit wordt nogmaals aangetoond op onderstaande figuur waar het dikkere isolatiepakket het warmtetransport naar de buitenomgeving meer tegengaat dan voordien.

206. Van Linden, S, 2020

207. Van Linden, S, 2020

Bij een hogere  $U_{eq}$ -waarde is de temperatuur in de borstwering en de horizontale balk hoger dan bij een lagere  $U_{eq}$ -waarde.



Figuur 106: Temperatuurverloop bij isoleren aan de binnenzijde met een isolatiedikte van 25 cm

Bij het controleren van de bouwknopen bij de aansluitingen van het schrijnwerk en de andere geveldelen, kan opnieuw een Trisco-simulatie uitgevoerd worden. Bij venster- en deuraansluitingen bedraagt de grenswaarde voor de  $\psi$ -waarde  $0,10 \text{ W}/(\text{m.K})$ .<sup>208</sup> Het schrijnwerk kan in de 'Trisco-software' gemodelleerd worden aan de hand van een representatief element dat een U-waarde krijgt gelijk aan de U-waarde van het raamprofiel. Dit volgens de vereenvoudigde berekeningsmethode omschreven in bijlage D van het transmissie referentie document.<sup>209</sup>

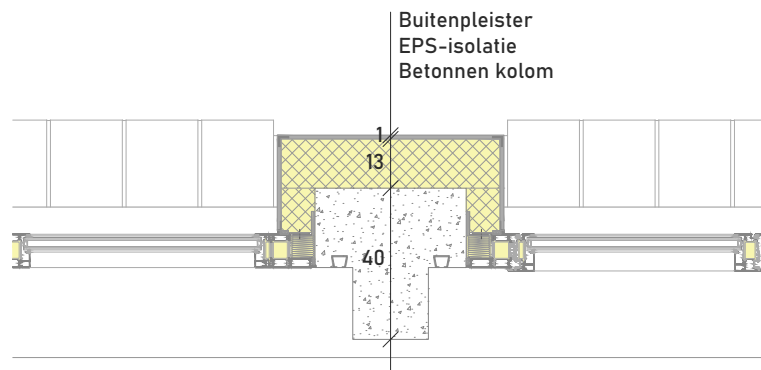
Bij het simuleren van de aansluiting tussen het schrijnwerk en de borstwering, wordt een EPB-aanvaarde bouwknop verkregen: de  $\psi$ -waarde bedraagt  $0,026 \text{ W}/(\text{m.K})$  wat lager is dan de grenswaarde. Daarnaast bedraagt de temperatuurfactor 82,50%. Ook aan de bovenzijde van het schrijnwerk, bij de aansluiting met de horizontale balk, wordt een EPB-aanvaarde bouwknop verkregen daar de  $\psi$ -waarde  $0,019 \text{ W}/(\text{m.K})$  bedraagt en de temperatuurfactor 83,00%.

208. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2017

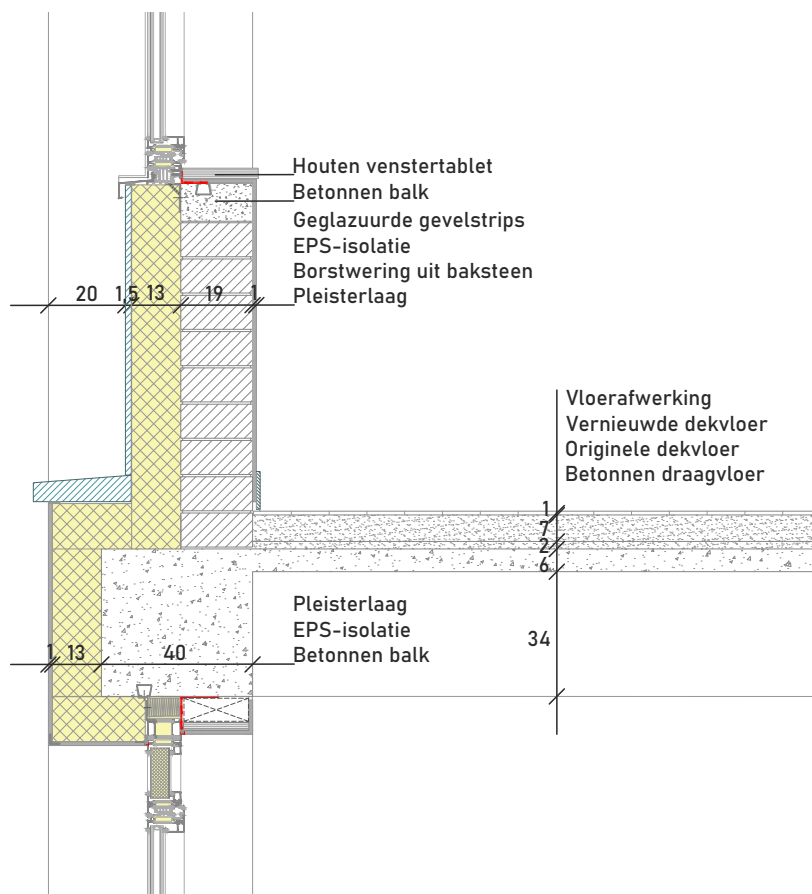
209. Transmissie Referentie Document, 2010

## Buitenisolatie

Bij het isoleren aan de buitenzijde volgens het ETICS-systeem, kan men overal EPB-aanvaarde bouwknopen verkrijgen. De koudebrug aanwezig bij binnenisolatie, wordt hier weggewerkt.



Figuur 107: Aansluiting tussen het schrijnwerk en de buitenisolatie, schaal 1/20



Figuur 108: Isoleren aan de buitenzijden m.b.v. ETICS, schaal 1/20

Opnieuw wordt op basisregel 2 gesteund bij de aansluiting tussen schrijnwerk en buitenisolatie. Door opnieuw rotswolisolatie tussen de EPS-isolatie en de thermische onderbreking in de raamprofielen te voorzien, bekomt men een doorlopende thermische schil. Verschillend ten opzichte van de binnenisolatie is de aansluiting ter hoogte van de borstwering. Door het schrijnwerk aan de hand van L-profielen aan de borstwering te bevestigen, kan de thermische onderbreking van het raamprofiel rechtstreeks aansluiten op de EPS-isolatie. Aan de hand van de 'Trisco-software' kan opnieuw een analyse van het driedimensionaal warmtetransport gebeuren om na te gaan of de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt kleiner is dan de grenswaarde.

## **Waterdichtheid**

Wat betreft de waterdichtheid, wordt vooral gefocust op de aansluitingen tussen het schrijnwerk en de opake geveldelen. Wanneer aan de binnenzijde geïsoleerd wordt, worden de massieve geveldelen voldoende waterdicht geacht waardoor de focus ligt op het vormen van een waterdicht geheel van massieve en transparante geveldelen. Wanneer aan de buitenzijde geïsoleerd wordt, wordt het ETICS-systeem waterdicht geacht waardoor opnieuw de focus bij de aansluitingen met het schrijnwerk ligt. Een voldoende waterdichtheid wordt gerealiseerd door een tweetrapsdichting: wanneer de eerste dichting faalt, zal de tweede dichting het watertransport naar de binnenomgeving tegengaan.

### *Binnenisolatie*

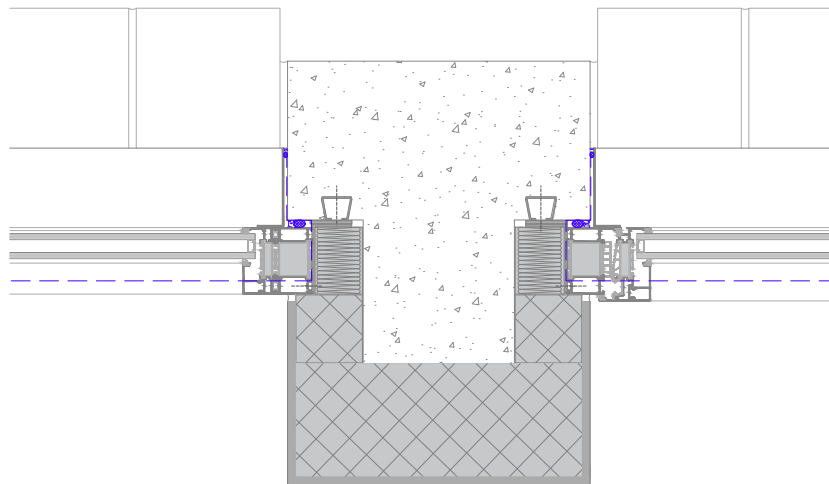
Bij het isoleren aan de binnenzijde wordt het schrijnwerk deels achter slag geplaatst: het raamkader is niet in zijn geheel zichtbaar aangezien het aan de zijkanten deels achter de betonnen kolommen zit. Aan boven- en onderzijde zit het raamkader niet achter slag. Concreet werden twee opties onderzocht om een goede waterdichting bij renovatie aan de binnenzijde te verkrijgen.

Een eerste mogelijkheid is het voorzien van een L-vormig profiel aan de zijkanten en bovenkant van het schrijnwerkgeheel. Dit profiel sluit aan de onderzijde aan op de dorpel. Op deze manier wordt rondom het geheel een profiel bevestigd aan het schrijnwerk dat dienst kan doen als eerste waterdichting. Het voorzien van een profiel aan de zijkanten laat toe de waterkerende folie onder de dorpel omhoog te trekken om waterinfiltratie in te spouw te allen tijde te vermijden. Wanneer de folie naar beneden toe verlijmd wordt aan de kolom, garandeert dit geen voldoende waterdichting naar de spouw toe.

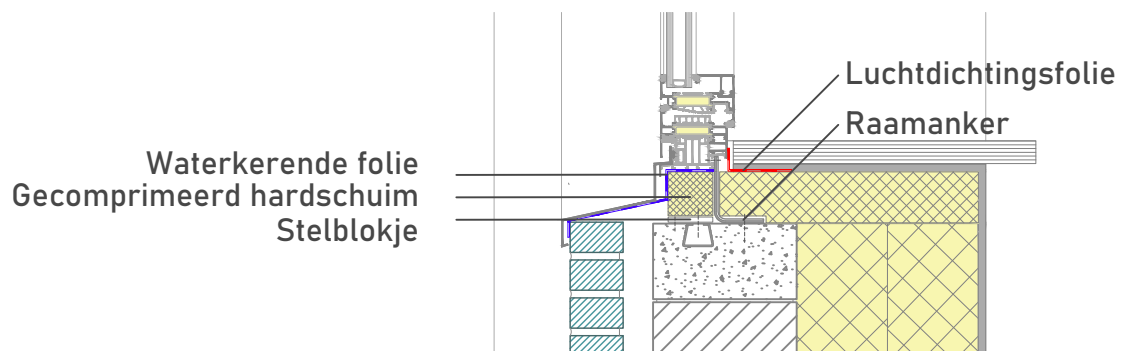
De slagregen die op de ramen en het L-profiel valt, druipt naar beneden en wordt door de dorpel afgevoerd. Tussen het L-profiel en het beton in de gevel wordt een soepele voeg aangebracht, waardoor het water niet kan infiltreren richting de binnenomgeving. Het L-profiel en de soepele voeg vormen samen de eerste waterdichting. Een tweede waterdichting wordt aan de zijkanten gerealiseerd door het voorzien van een kitvoeg op een voegbodemp. Onder de dorpel doet de waterkerende folie dienst als tweede dichting. Wanneer het L-profiel schade ondervindt, wordt het water tegengehouden aan de kitvoeg, sijpelt het naar beneden en wordt het daar afgevoerd door de waterkerende folie. Opdat dit gegarandeerd wordt, is het belangrijk dat de kitvoeg in overlap uitgevoerd wordt met de waterkerende folie. Bij de aansluiting aan de bovenzijde, tussen het raamprofiel en de horizontale betonnen balk, werd geen tweetrapsdichting gerealiseerd aangezien waterinfiltratie hier zeer onwaarschijnlijk is.



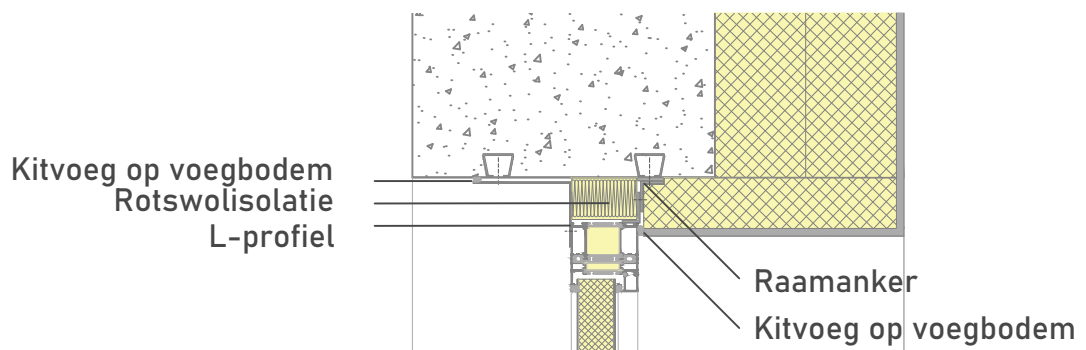
Volgende horizontale snede toont de eerste en tweede waterdichting bij de kolommen in de gevel. De stippellijn geeft het verloop van de waterkerende folie onderaan het schrijnwerkgeheel weer.



Figuur 109: Waterdichting bij isoleren aan de binnenzijde, optie 1, schaal 1/10



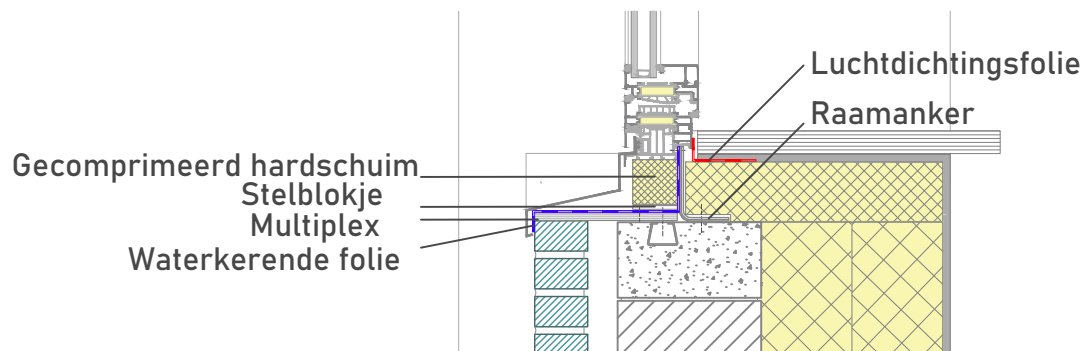
Figuur 110: Waterdichting ter hoogte van de aansluiting tussen het schrijnwerk en de borstwering bij binnenisolatie, optie 1, schaal 1/10



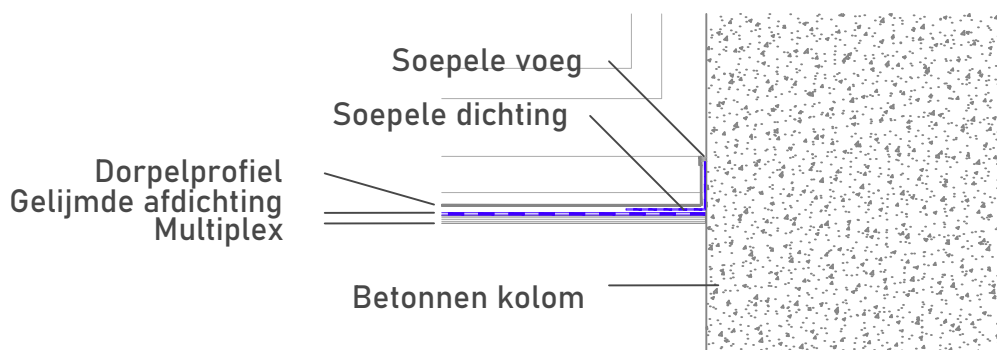
Figuur 111: Waterdichting ter hoogte van de aansluiting tussen het schrijnwerk en de betonnen balk bij binnenisolatie, schaal 1/10

Het aanbrengen van een L-profiel rondom het schrijnwerkgeheel is een scenario dat een grote architecturale impact met zich meebrengt. Bijgevolg werd een tweede optie onderzocht die op een subtielere wijze de waterdichtheid kan verzekeren.

In dit scenario wordt de spouw afgedekt door een multiplex plaat, waarop een gelijmde afdichting voorzien wordt. De dorpel wordt aan de zijkanten in beperkte mate verhoogd, wat toelaat de soepele dichting (voorzien boven op de gelijmde afdichting) naar boven te trekken en zo waterinfiltratie in de spouw te vermijden. Waterinfiltratie tussen het verhoogde deel van de dorpel en de betonnen kolom wordt vermeden door een elastische voeg. Deze voeg doet hier dienst als eerste dichting, wanneer deze faalt zal het water richting de gelijmde afdichting stromen en zo afgevoerd worden.

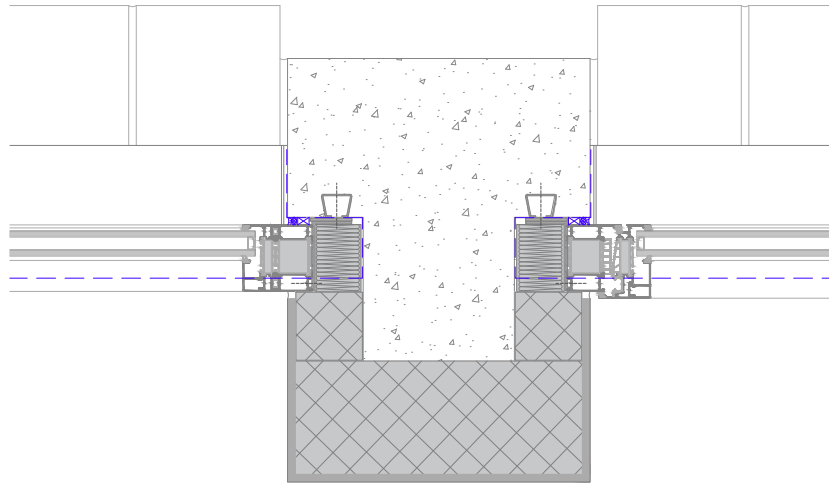


Figuur 112: Waterdichting ter hoogte van de aansluiting tussen het schrijnwerk en de borstwering bij binnenisolatie, optie 2, schaal 1/10



Figuur 113: Detail van de waterdichting onder de dorpel bij optie 2, schaal 1/10

Aan de zijkanten wordt een dubbele dichting gerealiseerd door eerst zwelband tussen raamprofiel en betonnen kolom te voorzien, welke zal fungeren als tweede dichting. 'Deze moet diep genoeg geplaatst worden zodat er nog ruimte vrij is voor de eerste dichting, die bestaat uit een kitvoeg op een voegbodem. Tussen de voegbodem en de zwelband moet ruimte gelaten worden opdat het geheel als een tweetrapsdichting werkt. De uitdaging hier zit hem in het afvoeren van het water wanneer het de zwelband bereikt. Een mogelijke oplossing is het doortrekken van de gelijmde afdichting tot tegen het been van de T-vormige kolom. De eerste dichting, zijnde de kitvoeg, doet samen met de dorpel dienst als eerste dichting. De tweede dichting wordt gerealiseerd door de zwelband en door de gelijmde en soepele afdichting. Merk op dat wanneer de tweede dichting faalt, het water eventueel de rotswolisolatie zou kunnen bereiken. Dit is echter een zeer onwaarschijnlijk scenario. De horizontale snede toont opnieuw de eerste en tweede waterdichting ter hoogte van de aansluiting tussen het raamprofiel en de kolommen. De stippellijn geeft het verloop van de waterkerende folie onderaan het schrijnwerkgeheel weer.

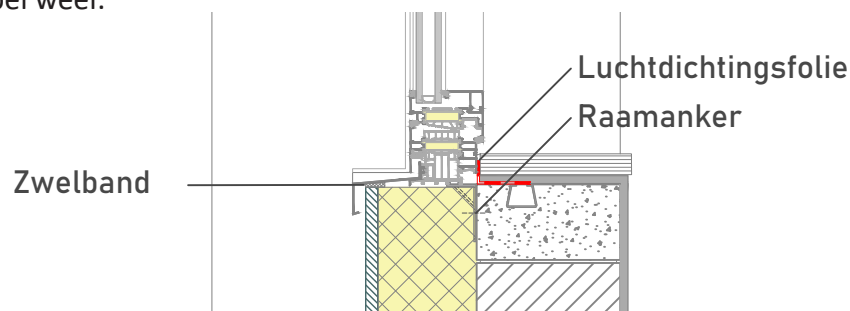


Figuur 114: Waterdichting bij isoleren aan de binnenzijde, optie 2, schaal 1/10

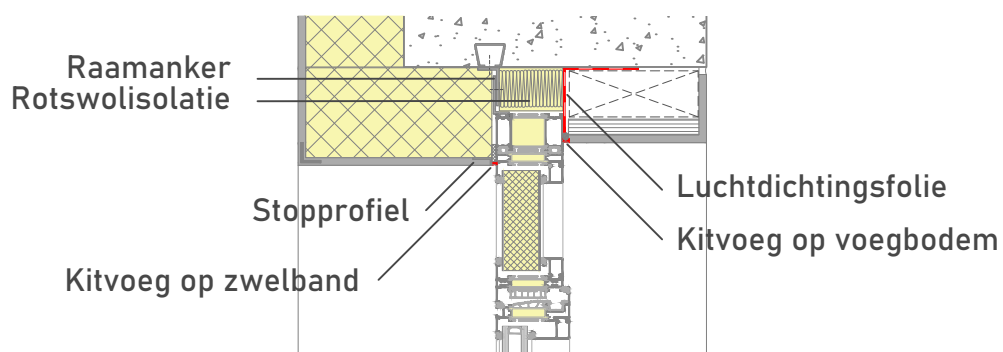
### Buitenisolatie

Bij het isoleren aan de buitenzijde met behulp van een 'ETICS'-systeem wordt typisch gewerkt met een zwelband om de waterdichtheid te verzekeren daar waar het systeem op andere bouwelementen wordt aangesloten. Daarnaast kan ook gewerkt worden met een stopprofiel in combinatie met een soepele voeg. Opnieuw zal gefocust worden op de aansluiting tussen buitenisolatie en schrijnwerk. Bij deze systemen wordt standaard geen tweede dichting voorzien, waardoor de continuïteit en het onderhoud van de eerste dichting zeer belangrijk is.

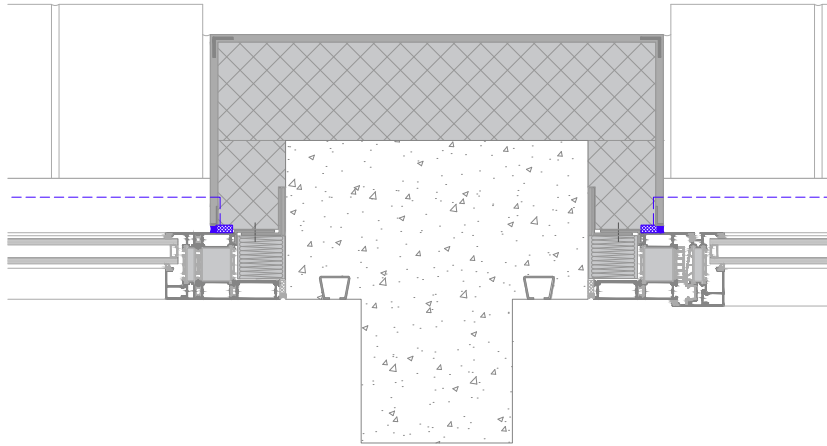
Aan de zijkanten en de bovenzijde wordt tussen het stopprofiel en het schrijnwerk met een kitvoeg op een zwelband als voegbodemp gewerkt. Aan de onderzijde wordt tussen de dorpel en de steenstrips op de EPS-isolatie een zwelband aangebracht. Een goede waterdichtheid wordt gerealiseerd door de continuïteit van de zwelband en de voeg aan alle zijden van het schrijnwerkgeheel. De stippelijijn op de horizontale snede geeft het verloop van de zwelband onder de dorpel weer.



Figuur 115: Waterdichting ter hoogte van de aansluiting tussen het schrijnwerk en de borstwering bij buitenisolatie, schaal 1/10



Figuur 116: Waterdichting ter hoogte van de aansluiting tussen het schrijnwerk en de betonnen balk bij buitenisolatie, schaal 1/10



Figuur 117: Waterdichting bij isoleren aan de buitenzijde, schaal 1/10

## Luchtdichtheid

Bij de aansluitingen tussen het schrijnwerk en de andere geveldelen moet naast waterdichtheid ook aandacht besteed worden aan luchtdichtheid. Zoals eerder vermeld wordt na renovatie een infiltratievoud van 1 vol/h nagestreefd. De luchtdichtheid van het schrijnwerkgeheel en de luchtdichting tussen de raamprofielen en de andere geveldelen zullen hier doorslaggevend zijn.

### *Binnenisolatie*

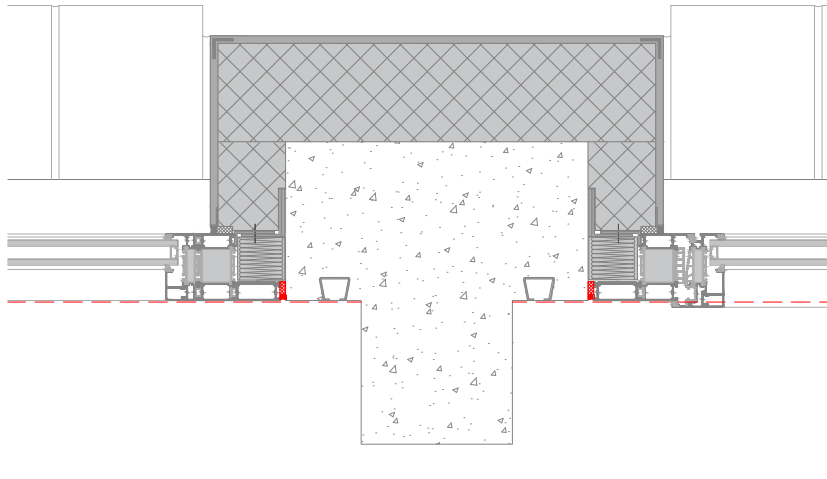
Bij het isoleren aan de binnenzijde wordt een luchtdicht geheel verkregen door de binnenisolatie te bepleisteren. Ter hoogte van de aansluitingen tussen de pleisterlaag en het schrijnwerk wordt met soepele voegen gewerkt. Aan de onderzijde, ter hoogte van de aansluiting met de borstwering, wordt ook een folie voorzien. Net zoals bij de waterdichtheid is de continuïteit van het geheel belangrijk, de pleisterlaag, de soepele voegen en de folie moeten dus goed op elkaar aansluiten.

### *Buitenisolatie*

Bij het isoleren aan de buitenzijde wordt het beton in de binnenomgeving bloot gelaten en wordt er niet met een pleisterlaag gewerkt. Het 'ETICS-systeem' is niet verantwoordelijk voor de luchtdichtheid van het gebouw, de gevelpleister en het systeem in zijn geheel dragen hier echter wel toe bij.<sup>210</sup> Daarnaast worden de borstwering en de andere massieve geveldelen luchtdicht geacht. De focus ligt bijgevolg wederom op de aansluiting tussen het schrijnwerk en deze geveldelen. Een luchtdicht geheel kan hier op twee manieren gerealiseerd worden en wordt bepaald door de manier waarop de aansluiting tussen het schrijnwerk en de betonnen kolommen uitgevoerd wordt. Wanneer de binnenkamer van het schrijnwerk verlengd wordt en het tussengevoegd isolerend element tussen de thermische onderbreking van het schrijnwerk en de EPS-isolatie afdekt, kan de luchtdichting op twee manieren gerealiseerd worden.

Een eerste manier is het aanbrengen van een soepele voeg tussen de verlengde binnenkamer en de betonnen kolom. Deze voeg kan echter wel breed uitvallen aangezien ze de schrijnwerktoleranties moet opvangen. Een soepele voeg aan de zijkanten van het schrijnwerk kan perfect aangesloten worden op de luchtdichte folie onder- en bovenaan om zo een luchtdicht geheel te vormen.

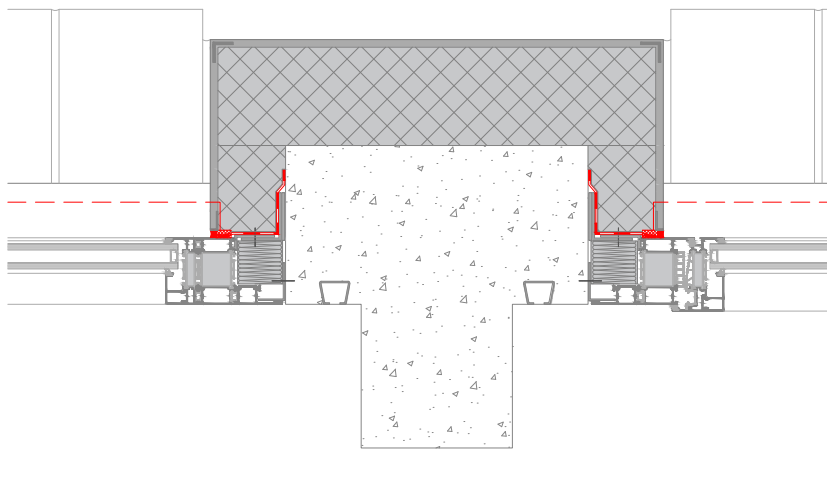
210. WTCB, 2016



*Figuur 118: Luchtdichting bij isoleren aan de buitenzijde, optie 1, schaal 1/10*

De stippellijn op de horizontale snede geeft het verloop van de luchtdichting onderaan het schrijnwerk weer.

De tweede optie vermijdt de brede kitvoeg tussen schrijnwerk en beton door met een L-profiel achter de verlengde binnenkamer te werken. Het geheel wordt zo mooier afgewerkt, maar het is een grotere uitdaging om een luchtdicht geheel te krijgen. De luchtdichting aan de zijkanten zou namelijk aan de buitenzijde van het schrijnwerk voorzien worden, aangezien de luchtdichting aan onder- en bovenkant aan de binnenzijde gerealiseerd wordt (figuur 115 en 116). Door echter de luchtdichte folie te verbinden met de zwelband die instaat voor de waterdichtheid van het systeem, wordt een luchtdicht geheel aan de buitenzijde gerealiseerd. De soepele voegen en folies aan de binnenzijde kunnen echter nog steeds uitgevoerd worden om de luchtdichtheid op lange termijn te garanderen.



*Figuur 119: Luchtdichting bij isoleren aan de buitenzijde, optie 2, schaal 1/10*

## 7.4.5 Resultaten dynamische simulaties - Renovatie van de constructieonderdelen

De impact van de gevelrenovatie op vlak van energieverbruik en thermisch comfort wordt aangetoond aan de hand van dynamische simulaties. Er is ook aandacht voor eventuele stapsgewijze renovatie en renovatie tot een minder performante U-waarde.

### Wijzigingen simulatiemodel t.o.v. de bestaande toestand

#### *Gebouwschil*

De renovatie van de bestaande constructieonderdelen heeft voornamelijk een invloed op het structuurmodel. De beglazing en raamkaders worden vervangen en de opake constructieonderdelen worden aangepast, waarbij er een laag isolatie voorzien wordt om de U-waarden die opgelegd worden door de EPB-regelgeving te behalen.

In het simulatiemodel is de isolatie ingegeven als binnenisolatie, aangezien er geopteerd wordt voor binnenisolatie bij renovatie om het gevelbeeld te respecteren. In een late fase van het onderzoek kwam aan het licht dat door het ontstaan van koudebruggen bij binnenisolatie, een U-waarde van 0,24 W/(m<sup>2</sup>.K) niet over de gehele gevel behaald kan worden, zoals aangetoond in paragraaf 7.4.4. Aangezien bij buitenisolatie geen koudebruggen optreden, waardoor deze waarde wel gehaald wordt, werd voor een aantal scenario's het verschil tussen binnen- en buitenisolatie getest. De verschillen bleken verwaarloosbaar: het verschil in NEB voor verwarming was miniem en de GTO lag net iets hoger bij binnenisolatie, waardoor er met binnenisolatie aan de veilige kant gerekend wordt. De simulatieresultaten kunnen dus geïnterpreteerd worden als quasi identiek aan die van gevelrenovatie met buitenisolatie. Samenvattend geeft dit volgende waarden voor de gerenoveerde constructieonderdelen, zoals berekend in bijlage 2.

Gevelement	U-waarde [W/(m <sup>2</sup> .K)]	g-waarde [-]
Betonnen kolommen	0,24	
Ramen boven borstwering - kader	1,13	
Ramen boven borstwering - beglazing	1,03	0,55
Borstwering	0,24	
Gevulde gevelvlakken	0,23	
Vloer / plafond	0,61	
Scheidingsmuur S4bis	0,91	
Scheidingsmuur trappenhal	0,91	
Akoestische binnenwanden	0,27	

Tabel 14: Overzicht U-waarden in Dymola in de gerenoveerde toestand

De U-waarde van het raamkader houdt rekening met een thermisch onderbroken aluminium kader, waar een RTO in is geïntegreerd, zoals beschreven in paragraaf 7.4.3. Voor de beglazing is er het type Saint Gobain Planitherm one AR 6/16/6 gekozen uit de IDEAS bibliotheek<sup>211</sup>. Als vloer/plafond is in deze tabel de U-waarde van de verhoogde kantoorvloer opgenomen, die opgevuld is met minerale wol om akoestische redenen. In studentenkamers wordt echter gewerkt met een zwevende dekvloer. De U-waarde hiervan is gelijkaardig.

Bijhorend bij de gevelrenovatie is ook de n<sub>50</sub>-waarde aangepast naar een n<sub>50</sub>-waarde van 1 vol/h, zoals beschreven in paragraaf 7.4.3. Dit is ingesteld op gebouwniveau.

211. IDEAS library, 2022

Daarnaast worden zones 2, 3 en 4 in de simulaties van de gerenoveerde toestand telkens gescheiden van elkaar. Hierdoor is het temperatuurverschil tussen de verschillende zones groter, zoals gezien bij de simulaties van de bestaande toestand. Bijgevolg kan er meer oververhitting zijn in bepaalde zones, of kan de warmtevraag hoger liggen. Op deze manier wordt aan de veilige kant gerekend, waardoor het gebouw bestand is tegen alle mogelijke invullingen.

### *Zonnewering*

Samen met de renovatie van de gebouwschil, is ook de zonnewering vernieuwd. In het standaardscenario wordt gebruik gemaakt van performante binnenzonnewering die 26% doorlaat van de korte-golflengte straling. Dit is de som van de transmissie en de absorptie, aangezien de geabsorbeerde zonnestraling in geval van binnenzonnewering afgegeven wordt aan de binnenomgeving, zoals eerder beschreven. De zonnewering is toegepast op de ramen van alle gevels en gaat naar beneden als de zoninval  $300 \text{ W/m}^2$  bereikt op de respectievelijke gevel. Bij de studentenkamers werd geen zonnewering ingerekend omdat dit standaard niet voorkomt bij studentenkamers. Zo kan de oververhitting bij studentenkamers correcter weergegeven worden.

### *Verwarming en ventilatie*

De verwarming en ventilatie worden pas later in dit onderzoek besproken en verder onderzocht. Tot dan wordt er in de simulaties met een standaard verwarmings- en verluchttingsmodel gewerkt dat nauw aansluit bij de bestaande toestand. Er zijn echter al enkele kleine wijzigingen aangebracht zodat de resultaten voldoende representatief zijn voor de gerenoveerde toestand.

Bij de verwarming zijn de bestaande vermogens behouden, maar de regeling is licht aangepast. Er is nu wel een zomerregime toegepast van 25 mei tot 8 september. Dit is iets korter dan de vooropgestelde 15 mei tot 15 september van de UGent, omdat er in de gebruikte weerfile net rond deze periodes erg koude pieken zijn, waarbij de verwarming niet uitgeschakeld zou worden in de praktijk. Daarnaast is het setpoint van de verwarming van  $21^\circ\text{C}$  verlaagd naar  $20,5^\circ\text{C}$ , met nog steeds een bandbreedte van  $1^\circ\text{C}$ . De laagste temperatuur die behaald wordt is bijgevolg  $20^\circ\text{C}$  wat overeenkomt met de ondergrens van de comforttemperatuur volgens de ontwerprichtlijn van de UGent en is dus zo energiezuinig mogelijk.<sup>212</sup> Verder is de werking van de verwarming gelijk gebleven.

Voor de ventilatie wordt gerekend met een systeem C met  $40 \text{ m}^3/\text{h}$  toevoerlucht per persoon, in plaats van  $22 \text{ m}^3/\text{h}$ . Dit is al de norm voor kantoren volgens de codex welzijn op het werk<sup>213</sup> en zal wellicht in de toekomst algemeen de norm worden, ook voor onderwijs. De terugval naar 10% van het debiet buiten bezetting blijft behouden, in de veronderstelling dat de ventilatoren 's nachts uitgeschakeld worden en er een natuurlijk ventilatiedebiet van 10% aanwezig blijft.

### **Herbestemmingsscenario's**

Om een beeld te schetsen van de verschillende bezettingsprofielen, worden de verschillende herbestemmingsscenario's geanalyseerd. Hieruit kunnen vervolgens enkele kritieke/typerende scenario's gehaald worden om verschillende deelonderzoeken op toe te passen.

Als eerste wordt gekeken naar de verhouding interne warmtewinsten/ventilatiedebiet, gezien deze verhouding een grote impact heeft op de oververhitting en de warmtevraag. Hierbij wordt

212. Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2020

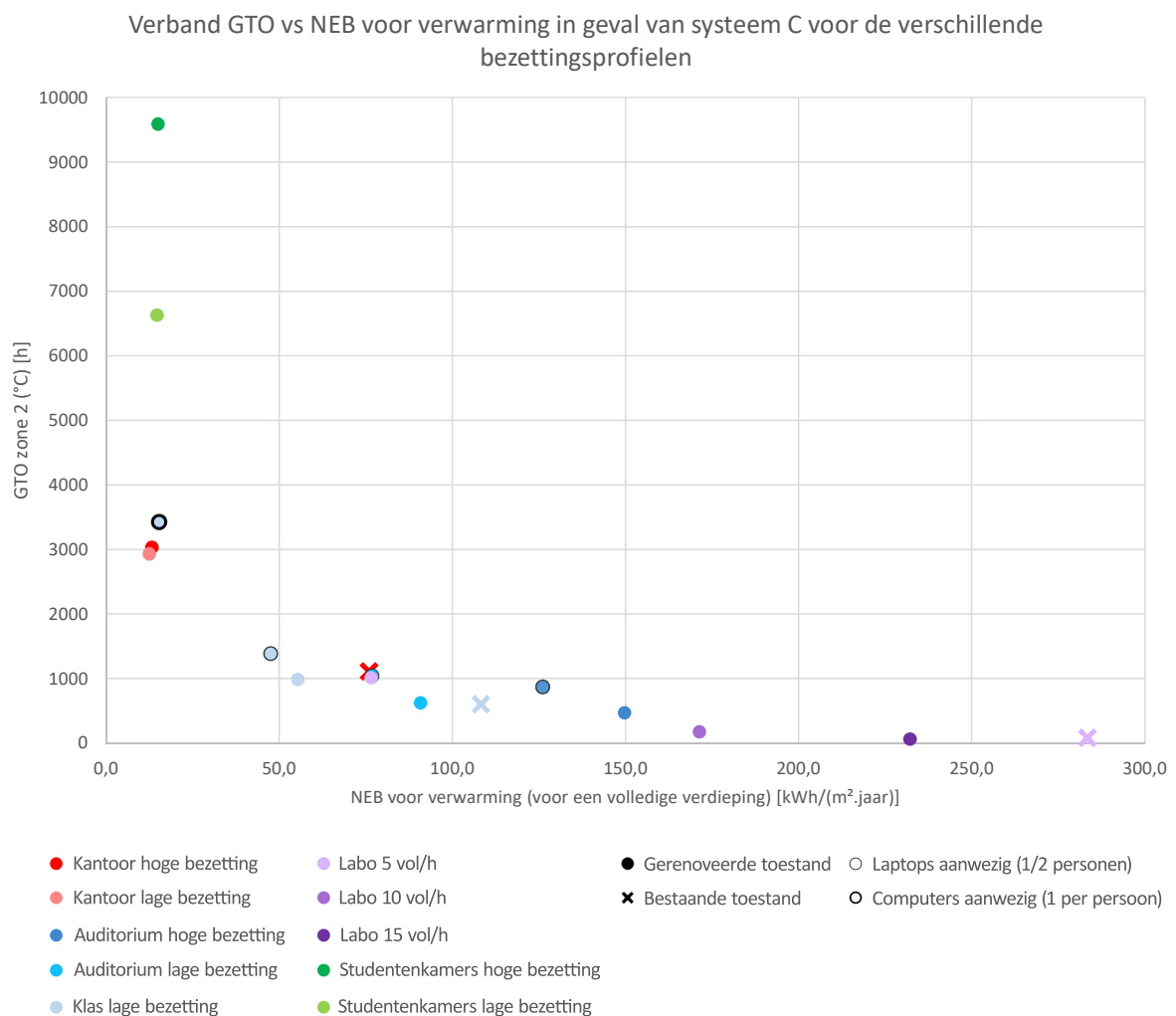
213. Codex over Welzijn op het werk, 2017

enkel gekeken naar het toevoerdebiet in de gebruikszones - zoals omschreven in 7.8 – en de interne warmtewinsten in de gebruikszones. De gang wordt buiten beschouwing gelaten.

Bezettingsscenario	Ventilatie-debiet [m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> )]	Interne warmtewinsten [W/m <sup>2</sup> ]	Verhouding interne warmtewinsten/ventilatie-debiet
Kantoor hoge bezetting	4,0	30,5	7,63
Kantoor lage bezetting	2,0	17,3	8,63
Auditorium hoge bezetting	40,0	87,0	2,18
Auditorium lage bezetting	20,0	49,5	2,48
Klas lage bezetting	11,4	33,4	2,93
Auditorium hoge bezetting + laptops	40,0	112,0	2,80
Auditorium lage bezetting + laptops	20,0	62,0	3,10
Klas lage bezetting + laptops	11,4	40,6	3,55
Computerklas	11,4	82,0	7,18
Labo 5 vol/h	19,4	46,8	2,41
Labo 10 vol/h	38,8	46,8	1,20
Labo 15 vol/h	58,3	46,8	0,80
Studentenkamers hoge bezetting	2,1	14,0	6,81
Studentenkamers lage bezetting	0,7	5,4	8,14

Tabel 15: Verhouding interne warmtewinsten/ventilatie-debiet in de gebruikszones voor de verschillende bezettingsprofielen

Daarnaast wordt elk scenario gesimuleerd voor dezelfde standaard situatie, zoals hierboven beschreven. Dit levert onderstaande resultaten:



Figuur 120: Verband tussen de GTO (°C) en de netto-energiebehoefte voor verwarming in geval van systeem C voor de verschillende bezettingsprofielen in gerenoveerde toestand:



Bezettingsprofielen	GTO (°C)   Zone 2 [h]	GTO (PPD)   Zone 2 [h]	NEB voor verwarming [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]
Kantoor hoge bezetting - bestaande toestand	1110	1768	75,95
Labo 10 vol/h - bestaande toestand	82	140	283,38
Klaslokaal lage bezetting - bestaande toestand	602	976	108,24
Kantoor hoge bezetting	3032	4789	13,19
Kantoor lage bezetting	2930	4608	12,47
Auditorium hoge bezetting	468	760	149,70
Auditorium lage bezetting	623	1010	90,76
Klas lage bezetting	984	1586	55,33
Auditorium hoge bezetting + laptop	871	1406	126,08
Auditorium lage bezetting + laptop	1044	1676	76,84
Klas lage bezetting + laptop	1386	2210	47,53
Computerklas	3423	5399	15,32
Labo 5 vol/h	1010	1626	76,50
Labo 10 vol/h	174	297	171,32
Labo 15 vol/h	61	106	232,18
Studentenkamer hoge bezetting	6629	10412	14,70
Studentenkamer lage bezetting	9591	15070	14,96

Tabel 16: Verband tussen de GTO (°C) en de netto-energiebehoefte voor verwarming in geval van systeem C voor de verschillende bezettingsprofielen in gerenoveerde toestand:

De verschillende scenario's moeten aan twee eisen voldoen. Als eerste moet de NEB voor verwarming onder de eis van 75 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar) blijven, wat in zeven scenario's het geval is, ondanks de verluchting met systeem C. Daarnaast moet de GTO onder 250 overschrijdingsuren blijven om een acceptabel comfort te bereiken. Dit wordt, op labo's met 15 vol/h na, nergens behaald na renovatie en vormt dus een groot aandachtspunt bij de renovatie.

Het verband tussen de interne warmtewinsten en de ventilatiedebieten komt duidelijk tot uiting in deze grafiek. Hoe groter de verhouding interne warmtewinsten/ventilatiedebieten, hoe hoger de oververhitting en hoe kleiner de warmtevraag. Dit verband klopt echter niet volledig. Kantoren met lage bezetting hebben bijvoorbeeld de grootste verhouding interne warmtewinsten t.o.v. het ventilatiedebiet, maar hebben toch niet de grootste oververhitting. Dit is omdat er nog een aantal andere factoren meespelen. Zo worden de zonnwinsten bijvoorbeeld niet meegerekend in de verhouding, hoewel ze wel een rol spelen en de verhouding warmtewinsten ten opzichte van de ventilatiedebieten beïnvloeden. Daarnaast hebben de studentenkamers bij uitstek de hoogste oververhitting, om meerdere redenen. Als eerste wordt er geen zonnwinsten voorzien omdat dit minder courant is bij studentenhuisvesting, waardoor de zonnwinsten aanzienlijk toenemen. Daarnaast is er een ander bezettingspatroon: bij studentenkamers met hoge bezetting is er bijvoorbeeld permanent bezetting aanwezig. Gezien de oververhittingsuren tijdens bezetting gemeten worden, heeft dit een grote impact. De uren oververhitting tussen 18h en 8h worden hier immers wel meegeteld, terwijl ze in andere scenario's niet in rekening gebracht worden. Bovendien werd hier een erg laag ventilatiedebiet ingerekend, wat geen rekening houdt met studenten die hun ramen openen bij warm weer. Ook dat zal nog een impact hebben op de oververhitting.

De grafiek maakt ook duidelijk dat de bestaande situatie telkens een lagere oververhitting en hogere warmtevraag heeft ten opzichte van de gerenoveerde toestand, hoewel er bij de bestaande situatie kleinere ventilatiedebieten ingerekend zijn. Dit toont aan dat de isolatie van de gebouwschil een grote impact heeft en de bijkomstige ventilatieverliezen ruimschoots compenseert. Daarnaast toont dit ook aan dat de hogere g-waarde van de beglazing in de bestaande toestand, met meer zonnwinsten, niet opweegt tegen de lagere U-waarde en het lagere ventilatiedebiet.

In het vervolg van dit onderzoek worden kantoren gezien als het meest kritieke scenario op vlak van oververhitting. Studentenkamers zijn een specifiek geval, zoals hierboven beschreven. Daarnaast hebben computerklassen ook een hogere oververhitting, maar hierbij is het niet opportuun deze op het zuiden te oriënteren. Gezien er gefocust wordt op de meest kritieke zone, namelijk de zuidoost gerichte zone, worden computerklassen bijgevolg buiten beschouwing gelaten.

Het meest kritieke scenario op vlak van warmtevraag is het labo met 15 volumewisselingen per uur. Dit is echter een extreme situatie die wellicht niet (in grote mate) zal voorkomen. Bovendien zijn deze debieten niet vanzelfsprekend te realiseren, waar dieper op wordt ingegaan in paragraaf 7.9.2. Bijgevolg wordt het labo met 10 vol/h als meest kritieke scenario gekozen.

## Renovatiestrategieën

Er worden een aantal cases met elkaar vergeleken op vlak van gevelrenovatie. Dit kan interessant zijn in geval van een stapsgewijze renovatie, of een minder ingrijpende gevelrenovatie met een lagere U-waarde om de renovatiekost te verlagen. De vergelijking gebeurt aan de hand van twee bezettingsprofielen. Enerzijds wordt het klaslokaal met lage bezetting onderzocht. Van de profielen die voldoen aan de eis van Sweco, is dit het profiel met de hoogste warmtevraag. De warmtevraag bedraagt echter slechts 55,3 W/(m<sup>2</sup>.jaar), wat nog marge geeft om te verhogen in geval van minder performante scenario's. Anderzijds wordt gekeken naar kantoren met hoge bezetting. Een profiel met een lage warmtevraag, waar de oververhitting een kritiek punt vormt.

De verschillende renovatiestrategieën die bekeken worden zijn de volgende:

nr.	Opake geveldelen	Schrijnwerk	Zonnewering	n50-waarde	Ventilatiesysteem
1	Niet geïsoleerd U-waarde variabel	Behoud bestaande schrijnwerk U-waarde glas = 2,9 W/(m <sup>2</sup> .K) g-waarde glas = 0,78 U-waarde kader = 5,9 W/(m <sup>2</sup> .K)	Behoud bestaande zonnewering g-waarde buitenzonnewering = 0,40	6	Systeem C
2	Geïsoleerd U-waarde = 0,24 W/m <sup>2</sup> K	Behoud bestaande schrijnwerk U-waarde glas = 2,9 W/(m <sup>2</sup> .K) g-waarde glas = 0,78 U-waarde kader = 5,9 W/(m <sup>2</sup> .K)	Behoud bestaande zonnewering g-waarde buitenzonnewering = 0,40	2	Systeem C
3	Niet geïsoleerd U-waarde variabel	Renovatie schrijnwerk U-waarde glas = 1,0 W/(m <sup>2</sup> .K) g-waarde glas = 0,55 U-waarde kader = 1,13	Vernieuwde zonnewering g-waarde binnenzonnewering = 0,26	1	Systeem C
4	Niet geïsoleerd U-waarde variabel	Renovatie schrijnwerk U-waarde glas = 1,0 W/(m <sup>2</sup> .K) g-waarde glas = 0,55 U-waarde kader = 1,13	Vernieuwde zonnewering g-waarde binnenzonnewering = 0,26	1	Systeem D
5	Geïsoleerd U-waarde = 0,5 à 0,6 W/m <sup>2</sup> K	Renovatie schrijnwerk U-waarde glas = 1,0 W/(m <sup>2</sup> .K) g-waarde glas = 0,55 U-waarde kader = 1,13	Vernieuwde zonnewering g-waarde binnenzonnewering = 0,26	1	Systeem C
6	Geïsoleerd U-waarde = 0,24 W/m <sup>2</sup> K	Renovatie schrijnwerk U-waarde glas = 1,0 W/(m <sup>2</sup> .K) g-waarde glas = 0,55 W/(m <sup>2</sup> .K)	Vernieuwde zonnewering g-waarde binnenzonnewering = 0,26	1	Systeem C

Tabel 17: Overzicht gevelrenovatiestrategieën

Hierbij is er een groot verschil in n<sub>50</sub>-waarde tussen de bestaande toestand (scenario 1) en de andere scenario's. Dit komt omdat er in de bestaande toestand met de waarde bij ontstentenis gewerkt is. Daarnaast wordt hier ook een lager hygiënisch ventilatiedebiet ingerekend, aangezien er enkel natuurlijke ventilatie is via het openen van ramen bij klaslokalen en kantoren. Bijgevolg moeten de resultaten van de bestaande situatie met voldoende omzichtigheid

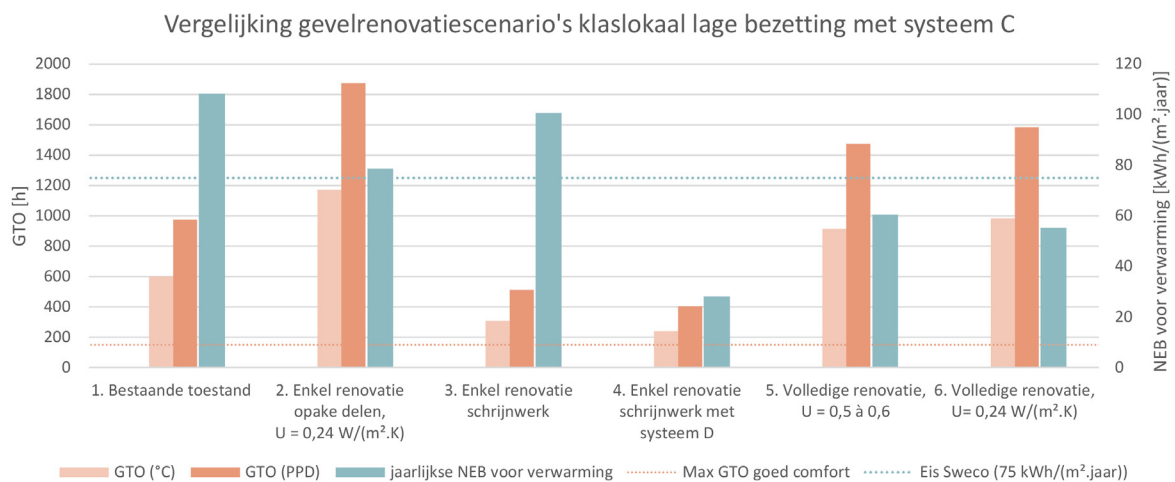
vergeleken worden met de renovatiescenario's.

In geval van enkel een schrijnwerkrenovatie wordt er aangenomen dat er een infiltratievoud van 1 vol/h behaald kan worden. Het schrijnwerk speelt namelijk een grote rol in de infiltratieverliezen, de vervanging ervan kan de  $n_{50}$ -waarde sterk laten dalen. Bovendien kan ook de aansluiting op de gevel goed afgewerkt worden bij de vervanging van het schrijnwerk en kan het binnenpleisterwerk vervangen worden indien nodig om deze luchtdichtheid te behalen.

Bij de renovatie van de opake geveldelen (scenario 2), is het infiltratievoud echter moeilijker in te schatten. Er wordt bijgevolg een inschatting gemaakt aan de hand van het verschil in lekdebiet tussen het nieuwe schrijnwerk en het verouderde schrijnwerk. Gezien de opake geveldelen ongeveer dezelfde luchtdichtheid kunnen behalen als ze geïsoleerd zijn of niet, en de aansluiting van het schrijnwerk ook mooi afgewerkt kan worden bij de isolatie van de opake geveldelen, wordt er vanuit gegaan dat voornamelijk het schrijnwerk voor het verschil in  $n_{50}$ -waarde zal zorgen. De inschatting van het verschil van lekdebiet doorheen het schrijnwerk wordt gemaakt aan de hand van de luchtdichtheidsklassen uit norm NBN EN 12207.<sup>214</sup> Het bestaande schrijnwerk is erg verouderd, waardoor er aangenomen wordt dat het in de slechtste klasse zit, met een bijhorende luchtdoorlatendheid per lopende meter opengaand raam van  $7,87 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m})$  bij een drukverschil van 50 Pa.<sup>215</sup> Het nieuwe schrijnwerk moet zich echter in klasse 4 bevinden met een luchtdoorlatendheid van  $0,47 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m})$  bij een drukverschil van 50 Pa.<sup>216</sup> Omgerekend aan de hand van het aantal lopende meters omranding van het opengaand schrijnwerk zou het lekdebiet bij de oude ramen  $15305,3 \text{ m}^3/\text{h}$  hoger liggen. Dit getal gedeeld door het volume van het gebouw geeft het verschil in infiltratievoud, namelijk 0,91 volumes per uur. De  $n_{50}$ -waarde wordt dus vastgelegd op 1,91 vol/h, wat wordt afgerond naar 2 vol/h. De berekeningen hiervan zijn in bijlage 7 te vinden.

#### *Klaslokalen met lage bezetting*

De resultaten die behaald worden bij klaslokalen met lage bezetting zijn de volgende:



Figuur 121: Vergelijking tussen verschillende gevelrenovatiescenario's voor klaslokalen met een lage bezetting in geval van systeem C

214. NBN EN 12207, 2017

215. NBN EN 12207, 2017

216. Acke, A. et al., 2012

Scenario	GTO (°C) Zone 2 [h]	Relatieve stijging GTO [°C] zone 2	GTO (PPD) Zone 2 [h]	Relatieve stijging GTO [PPD] zone 2	NEB verwarming [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	Relatieve daling NEB verwarming
1. Bestaande toestand	602	0%	976	0%	108,24	0%
2. Enkel renovatie gevel, U = 0,24	1172	95%	1875	92%	78,68	27%
3. Enkel renovatie schrijnwerk	309	-49%	511	-48%	100,76	7%
4. Enkel renovatie schrijnwerk met systeem D	241	-60%	404	-59%	28,15	74%
5. Volledige renovatie, U = 0,5 à 0,6	914	52%	1475	51%	60,51	44%
6. Volledige renovatie, U = 0,24	984	64%	1586	63%	55,33	49%

Tabel 18: Vergelijking tussen verschillende gevelrenovatiescenario's voor klaslokalen met een lage bezetting in geval van systeem C

Bovenstaande grafiek toont verschillende verbanden. Als eerste valt het op dat een daling in energieverbruik voor verwarming, meestal ook een stijging betekent op vlak van oververhitting. In de gevallen waar enkel het schrijnwerk gerenoveerd wordt, geeft dit echter andere resultaten. Enerzijds heeft het aangepaste schrijnwerk een lagere g-waarde, waardoor er minder zonneprestaties zijn. Anderzijds zorgt de hogere U-waarde van de gevel ervoor dat de warmte die voortkomt uit de interne warmtewinsten nog steeds makkelijk uit het gebouw kan ontsnappen in geval van oververhitting.

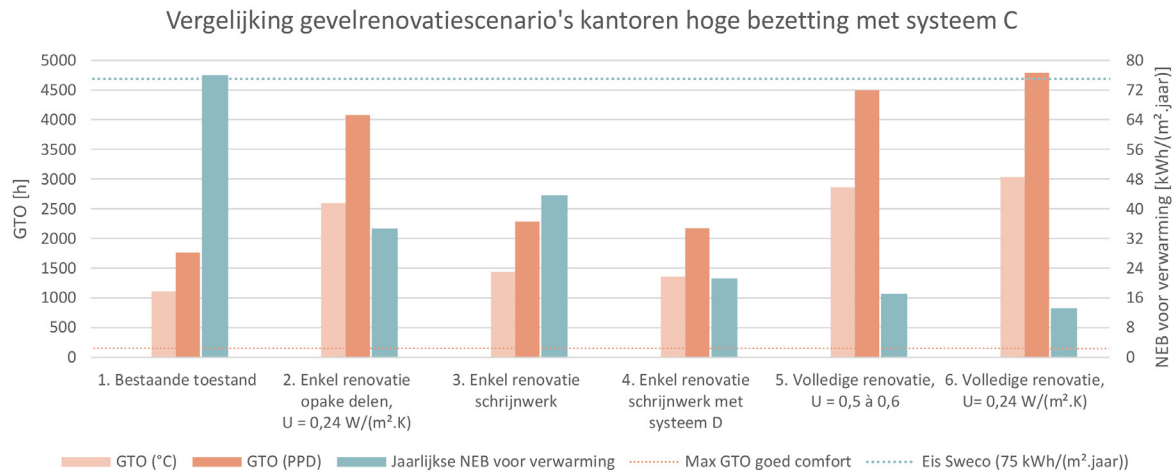
Ook het scenario waar enkel de opake geveldelen gerenoveerd worden wijkt af van de algemene trend. Dit scenario heeft wel een stijging in oververhitting en een daling in energievraag voor verwarming t.o.v. de bestaande toestand, maar niet t.o.v. scenario 5 en 6, waar zowel schrijnwerk als gevel gerenoveerd worden. De oververhitting ligt in scenario 2 hoger door de hogere g-waarde van het glas, en de warmtevraag ligt hoger door de hogere U-waarde van het glas, die in de winter niet gecompenseerd wordt door de extra zonneprestaties.

Daarnaast valt op dat enkel de renovatie van de opake geveldelen een grotere impact heeft op het energieverbruik dan enkel de renovatie van het schrijnwerk, ondanks het grote aandeel schrijnwerk, de lagere  $n_{50}$ -waarde bij de renovatie van het schrijnwerk en de procentueel gezien kleinere daling in U-waarde. Dit is te wijten aan de g-waarde van het glas die ook afneemt. Door de lagere zonneprestaties, moet de verwarming meer compenseren.

Scenario 4 - enkel schrijnwerkrenovatie in combinatie met systeem D - scoort het beste van alle scenario's. De oververhitting is het laagst doordat de g-waarde van het glas zakt en de warmte nog naar buiten kan doorheen de niet-geïsoleerde constructieonderdelen. Bovendien worden de ventilatieverliezen sterk beperkt door het gebruik van een warmtewisselaar, waardoor de warmtevraag veel lager ligt dan in de andere scenario's.

Verder is het verschil in energieverbruik tussen scenario 5 en 6 vrij beperkt, een daling van 49% tegenover een daling van 44%. Bijgevolg kan in het geval van scenario's met een beperkte energievraag de vraag gesteld worden of het wel zinvol is om te renoveren tot de U-waarden die vooropgesteld worden door het EPB. Bovendien toont dit aan dat ook binnenisolatie een valabele optie is. Het streven naar een zo laag mogelijke U-waarde bij binnenisolatie door het isolatiepakket zo dik mogelijk uit te voeren (zoals beschreven in paragraaf 7.4) brengt een hogere kostprijs en een verlies aan bruikbare ruimte met zich mee en is te vermijden. De U-waarden die bereikt worden met een normale dikte aan isolatie liggen echter rond de 0,5 W/(m<sup>2</sup>.K). Het verschil in NEB voor verwarming tussen binnenisolatie met een normale dikte en hogere U-waarde en buitenisolatie is dus aanvaardbaar.

De resultaten die behaald worden bij kantoren met hoge bezetting zijn de volgende:



Figuur 122: Vergelijking tussen verschillende gevelrenovatiescenario's voor kantoren met hoge bezetting in geval van systeem C

Scenario	GTO (°C) Zone 2 [h]	Relatieve stijging GTO [°C] zone 2	GTO (PPD) Zone 2 [h]	Relatieve stijging GTO [PPD] zone 2	NEB verwarming [kWh/(m².jaar)]	Relatieve daling NEB verwarming
1. Bestaande toestand	1110	0%	1768	0%	75,95	0%
2. Enkel renovatie gevel, U = 0,24	2590	133%	4079	131%	34,66	54%
3. Enkel renovatie schrijnwerk	1438	30%	2289	30%	43,61	43%
4. Enkel renovatie schrijnwerk met systeem D	1359	22%	2167	23%	21,27	72%
5. Volledige renovatie, U = 0,5 à 0,6	2861	158%	4499	155%	17,10	77%
6. Volledige renovatie, U = 0,24	3032	173%	4789	171%	13,19	83%

Tabel 19: Vergelijking tussen verschillende gevelrenovatiescenario's voor kantoren met hoge bezetting in geval van systeem C

De resultaten van kantoren met hoge bezetting vertonen veel gelijkenissen met de klaslokalen, maar er zitten ook verschillen op. Bij de klaslokalen lag de oververhitting in een aantal gevallen lager dan in de bestaande toestand, terwijl ze hier in alle gevallen stijgt. Dit komt omdat de verhouding interne warmtewinsten/ventilatie-debiet bij kantoren hoger ligt en de interne warmtewinsten belangrijker worden dan de zonnwinsten. In alle renovatiescenario's worden de U-waarden van (een aantal van de) de constructieonderdelen verhoogd, waardoor de warmte minder makkelijk naar buiten kan ontsnappen. Dit overcompenseert de daling aan zonnwinsten – wat bij klaslokalen niet het geval was – waardoor de oververhitting in dit geval stijgt.

Bijgevolg zijn de scenario's waar alle constructieonderdelen gerenoveerd worden de scenario's met de hoogste oververhitting. Bij klaslokalen was dit het scenario waar het bestaande schrijnwerk behouden wordt. De g-waarde van het glas speelt een minder belangrijkere rol bij kantoren dan de verhoging van de U-waarden.

Scenario 3 toont echter aan dat de zonnwinsten niet compleet te verwaarlozen zijn bij kantoren. Als enkel het schrijnwerk vervangen wordt, ligt de warmtevraag hier ook hoger dan wanneer enkel de opake geveldelen vervangen worden, door de daling aan zonnwinsten. Dit ondanks het grotere percentage aan beglazing, de relatief gezien grotere daling in U-waarde en de lagere  $n_{50}$ -waarde.

In tegenstelling tot bij klaslokalen, geldt het verband tussen de stijging en oververhitting en daling in NEB voor verwarming hier wel in alle gevallen, behalve het scenario met een systeem D, maar dit is een uitzonderingsgeval. Dit is ook een gevolg van de hogere verhouding interne

warmtewinsten/ventilatie-debiet bij kantoren, waardoor de oververhitting ook stijgt als enkel het schrijnwerk gerenoveerd wordt.

In tegenstelling tot bij de klaslokalen, scoort scenario 4 hier niet het beste op alle vlakken. De oververhitting ligt hoger dan bij de bestaande toestand en de warmtevraag ligt hoger dan in scenario 4 en 5. Dit is ook het gevolg van de hogere verhouding interne warmtewinsten/ventilatie-debiet, waardoor warmteterugwinning minder cruciaal is om de warmtevraag te laten dalen.

Als laatste is het verschil in resultaten tussen scenario 5 en 6 ook hier relatief beperkt. De warmtevraag in scenario 6 ligt 22,8% lager dan in scenario 5. In relatieve aantallen is dit niet weinig, maar gezien de warmtevraag bij kantoren erg laag ligt, is dit in absolute waarde geen grote stijging. Daarnaast daalt de GTO als er minder geïsoleerd wordt, wat een positief effect heeft op de koelvraag.

### *Kritische reflectie*

Bij een gefaseerde of gedeeltelijke renovatie kunnen deze resultaten helpen om doordachte keuzes te maken. Er zijn echter ook een aantal kanttekeningen. Als eerste wordt hier onderzocht wat het effect is als enkel de opake geveldelen gerenoveerd worden, met relatief goede resultaten. De ramen zijn echter al sterk verouderd en volgens de gebruikers van het gebouw openen ze soms door de wind, wat onveilige situaties kan opleveren. Daarnaast zijn de  $n_{50}$ -waarden in de simulatie aannames. De werkelijke  $n_{50}$ -waarden na renovatie zullen hier wellicht van verschillen en kunnen enkel met zekerheid vastgelegd worden aan de hand van een 'blower-door test'. Verder levert het resultaat bij de vervanging van het schrijnwerk in combinatie met systeem D erg goede resultaten op. Hierbij moet echter de kanttekening gemaakt worden dat een volledig mechanisch ventilatiesysteem ook enkel goed werkt indien een  $n_{50}$ -waarde van 1 behaald kan worden. Bij de renovatie van het schrijnwerk moet er bijgevolg voldoende aandacht besteed worden aan een luchtdichte plaatsing van de ramen. Daarnaast ligt de verwarmingsvraag laag, maar de gevoelstemperatuur aan de binnenzijde van de buitenmuren kan nog steeds laag liggen, wat ook discomfort kan veroorzaken.

### **Conclusie**

De resultaten van de verschillende herbestemmingsscenario's zijn erg uiteenlopend op vlak van NEB voor verwarming en oververhitting, waar rekening mee gehouden zal moeten worden bij de renovatie.

Daarnaast tonen de simulaties aan dat de eis van Sweco behaald kan worden met een minder performante renovatie. Voor klaslokalen met lage bezetting volstaat renovatie van het schrijnwerk in combinatie met systeem D, of een volledige renovatie waarbij de opake geveldelen tot een U-waarde van 0,5 à 0,6 gerenoveerd worden in combinatie met een systeem C. Bij kantoren is het al voldoende het schrijnwerk óf de opake geveldelen te renoveren in combinatie met een systeem C.

Het valt op dat de renovatie van het schrijnwerk de warmtevraag niet significant laat dalen, ondanks het grote aandeel beglaasd oppervlak en de sterke daling in U-waarde. Dit als gevolg van de daling in g-waarde die de zonnwinsten laat afnemen.

## 7.5 Milieu- impact bij renovatie

Bij het kiezen voor een bepaalde uitvoering, moet naast de uitvoeringswijze ook rekening gehouden worden met de milieu-impact van de uit te voeren werken. Deze impact kan berekend worden in TOTEM, een tool ontwikkeld door de Vlaamse, Waalse en Brusselse overheid in samenwerking met verschillende (bouw)partners. Met de tool is het mogelijk om op een uniforme manier, neutraal en aangepast aan de specifieke Belgische context, de milieu prestaties van gebouwelementen en gebouwen te berekenen en daarover te communiceren. In de LCA (levenscyclusanalyse) worden de resultaten van de analyse van de levenscyclusinventarisatie (LCI) vertaald naar een specifieke impact. Aan elk geïnventariseerd gegeven wordt een specifieke milieu-impact toegekend. Op die manier wordt een milieuprofiel bekomen van het geanalyseerde gebouw(element). Om de vergelijking van varianten mogelijk te maken, worden de verschillende milieu-impacten opgenomen in TOTEM samengevoegd tot een unieke score, uitgedrukt in millipunten per functionele eenheid (m<sup>2</sup>, m of stuk voor een element, m<sup>2</sup> vloeroppervlakte voor een gebouw).<sup>217</sup>

De methodologie van de TOTEM-tool legt de gemiddelde levensduur van gebouwen vast op 60 jaar. Dit is voorlopig van toepassing op alle mogelijke bestemmingen van gebouwen. Het uitgangspunt hierbij is dat alle dragende structuren en de voornaamste originele elementen 60 jaar meegaan, mits het normale onderhoud tijdens de levenscyclus. Als het gebouw na deze termijn nog wordt behouden, wordt ervan uitgegaan dat de gebruikte materialen grotendeels zullen worden vervangen door andere. Dit is een onderschatting van de werkelijkheid, aangezien robuuste structuren aantonen dat ze een levensduur hebben die ver voorbij deze 60 jaar gaat. Zo is de betonnen draagconstructie van de S4 nog in goede staat ook al heeft deze er al meer dan 50 jaar op zitten en wordt verwacht dat deze minstens nog even lang functioneel kan blijven.

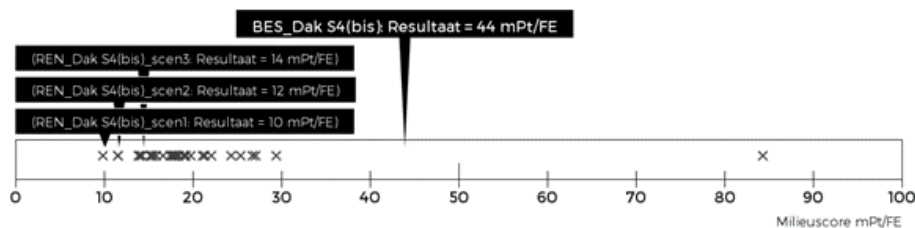
Daarnaast moet men er rekening mee houden dat TOTEM werkt met gebouwelementen zoals muren, schrijnwerk, kolommen, balken, ... en niet focust op de aansluitingen tussen deze verschillende elementen. Het inrekenen van koudebruggen en bijkomende energieverliezen bij de verbindingen van deze elementen is dus niet vanzelfsprekend en wordt vaak niet meegenomen in de analyse van de milieu-impact.

217. Trigaux, D & Chung Lam, W, 2021

## 7.5.1 Renovatie van het dak

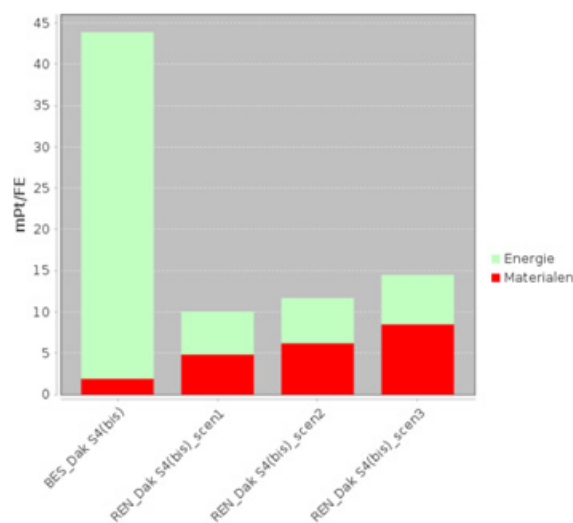
In wat volgt wordt onderzocht welk renovatiescenario van het dak de laagste milieuscore heeft en welke materialen hierbij doorslaggevend zijn. Het bestaande dakpakket wordt deels afgebroken om een verlucht dak na renovatie te vermijden. Bij het bepalen van de milieuscore wordt door TOTEM ook rekening gehouden met deze afbraakwerken. Scenario 1 toont de renovatie van het dak volgens het principe van een warm dak met rotswolisolatie. Om de milieuscore van dit scenario te vergelijken met de manier waarop het dak van de S5 gerenoveerd werd, toont scenario 2 een warm dak met cellenglasisolatie. In scenario 3 wordt een omkeerdak na renovatie geschetst.

Onderstaande figuur vergelijkt de milieuscore van de verschillende renovatiescenario's in vergelijking met deze van de bestaande toestand. Hier wordt de milieuscore uitgedrukt in milli-punten per functionele eenheid. De functionele eenheid wordt uitgedrukt per m<sup>2</sup>. Alle drie de scenario's vertonen een significante verbetering in vergelijking met deze van de bestaande toestand. Aangezien bij elk renovatiescenario gestreefd wordt naar een U-waarde van 0,24 W/(m<sup>2</sup>.K), zal de impact van de transmissieverliezen op de milieuscore bij de drie scenario's in gelijke mate verbeteren. Bijgevolg zal de materiaal-impact de bepalende factor zijn voor de milieuscore van de desbetreffende renovatiemethode van het dakpakket. Scenario 1, het warm dak in combinatie met rotswol-isolatie vertoont de laagste milieuscore.



Figuur 123: Vergelijking van milieuscore van de renovatie scenario's en bestaande toestand van het dak (TOTEM, 2022)

Bij het dieper ingaan op de materiaal- en energie-impact op elementniveau van de verschillende renovatiescenario's, bemerkt men opnieuw het grootste verschil bij de materiaal-impact. De energie-impact blijft ongeveer constant. De materiaal-impact van het omkeerdak (scenario 3) is bijna dubbel zo groot in vergelijking met de materiaal-impact van scenario 1, het warm dak met rotswolisolatie. Dit is een gevolg van de hogere milieu-impact over de volledige levensloop van XPS, onder andere door de kortere levensduur.



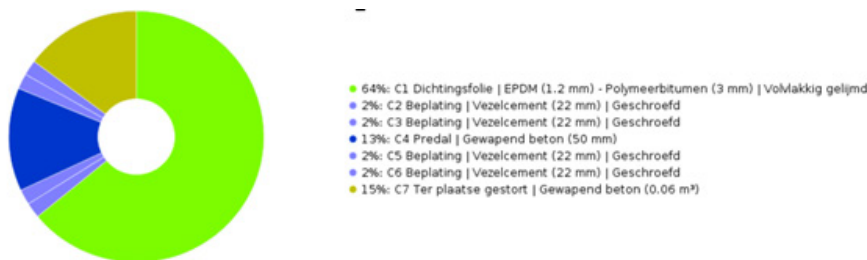
Figuur 124: Milieu-impact op elementniveau van de bestaande toestand en renovatie scenario's van het dak



	Energie [mPt/FE]	Materialen [mPt/FE]	Totaal [mPt/FE]
BES_Dak S4(bis)	42	19	44
REN_Dak S4(bis)_scen1	52	4,8	10
REN_Dak S4(bis)_scen2	55	6,2	12
REN_Dak S4(bis)_scen3	6	8,5	14

Tabel 20: Milieu-impact op elementniveau van de bestaande toestand en renovatie scenario's van het dak (TOTEM, 2022)

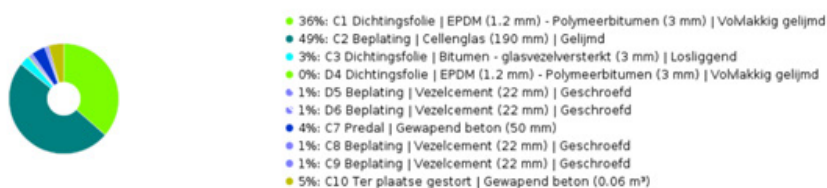
In bestaande toestand heeft de dakafdichting het grootste aandeel in de milieu-impact van het pakket. De oorzaak voor zijn grote rol is te vinden in de afvalverwerking aan het einde van de levenscyclus, slechts 10% van het materiaal kan gerecycleerd worden. Het andere deel kan niet verbrand of hergebruikt worden maar komt op de stortplaats terecht wat nefast is voor het milieu.



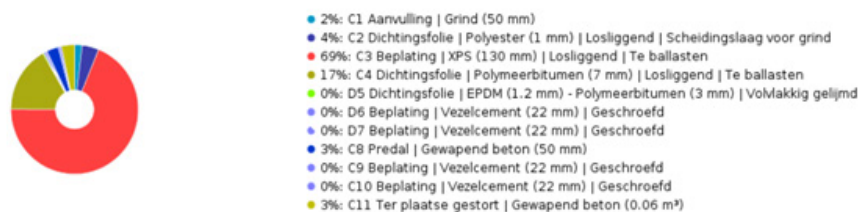
Figuur 125: Impact per component bij het dak van de S4(bis) in bestaande toestand (TOTEM, 2022)



Figuur 126: Impact per component bij de renovatie van het dak van de S4(bis) volgens scenario 1 (TOTEM, 2022)



Figuur 127: Impact per component bij de renovatie van het dak van de S4(bis) volgens scenario 2 (TOTEM, 2022)



Figuur 128: Impact per component bij de renovatie van het dak van de S4(bis) volgens scenario 3 (TOTEM, 2022)

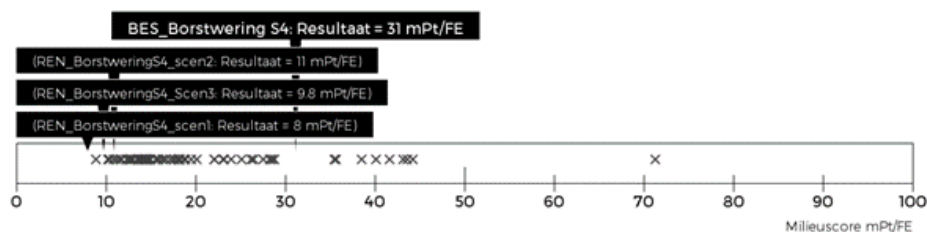
Binnen de grafieken van de verschillende scenario's valt meteen op dat het nieuw aangebrachte isolatiemateriaal bij alle scenario's de grootste impact op de milieuscore heeft. Na de isolatiematerialen is de dakbedekking ook doorslaggevend, een volvlakking gelijmd dakafdichting (scenario 2) vertoont in zijn respectieve grafiek een grotere impact in vergelijking met een losliggende dichtingsfolie (scenario 3).

Bij de renovatie van het dak komt het minder duidelijk naar voor in vergelijking met de renovatie van de gevel, maar men kan concluderen dat de milieu-impact van de toegevoegde materialen bij scenario 1 kleiner is dan bij de andere scenario's, aangezien de bestaande materialen een groter aandeel vertegenwoordigen bij scenario 1 dan bij de andere scenario's. Bij de renovatie van het dakpakket is de impact op het milieu het kleinst wanneer een warm dak met rotswolisolatie aangebracht wordt.

## 7.5.2 Renovatie van de gevel

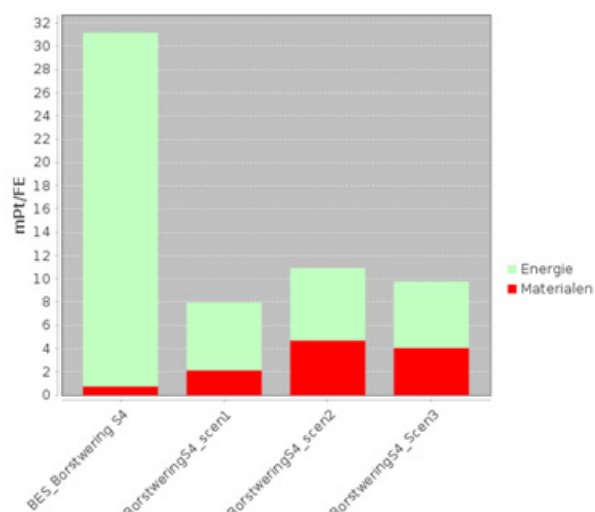
Om de milieu- impact bij de verschillende renovatiescenario's van de geveldelen in te schatten, worden de verschillende mogelijkheden bij de renovatie van de borstweringen in de S4 met elkaar vergeleken. De bevindingen die gemaakt worden bij de analyse van de borstwering zullen ook toepasbaar zijn op de andere muurconstructies in de gevel. Scenario 1 toont de renovatie aan de hand van een houten voorzetwand, in scenario 2 wordt binnenisolatie aan de hand van hennepblokken toegepast. Tenslotte wordt in scenario 3 aan de buitenzijde geïsoleerd met behulp van een ETICS-systeem. Deze drie scenario's worden vergeleken met de huidige toestand van de borstwering. Multipor-isolatie is momenteel nog niet beschikbaar in de TOTEM- materiaalbibliotheek waardoor dit scenario hier niet meegenomen wordt.

Wanneer voor de S4 de milieuscore van de drie renovatiescenario's van de borstwering vergeleken wordt met deze van de bestaande toestand, verkrijgt men onderstaande figuur. Het eerste scenario, waarbij de gevel langs de binnenzijde geïsoleerd wordt aan de hand van een houten voorzetwand, heeft de laagste milieu-score.



Figuur 129: Vergelijking van milieuscore van de renovatie scenario's en bestaande toestand van de borstwering (TOTEM, 2022)

Wanneer de materiaal- en energie-impact op elementniveau geanalyseerd wordt, dalen de transmissieverliezen aanzienlijk door de isolerende laag die toegevoegd wordt aan de wandopbouw. Dit brengt opnieuw een verhoogde materiaal-impact met zich mee ten opzichte van de bestaande toestand. Net zoals bij de renovatie van het dakpakket wordt gestreefd naar een U-waarde van  $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$  na renovatie. Wederom zal de impact van de transmissieverliezen bij de drie scenario's in gelijke mate verbeteren. Scenario 1 of renovatie met behulp van een houten voorzetwand scoort beter op materiaal-impact in vergelijking met de andere scenario's. Onderstaande figuren tonen de mathematische waarden.

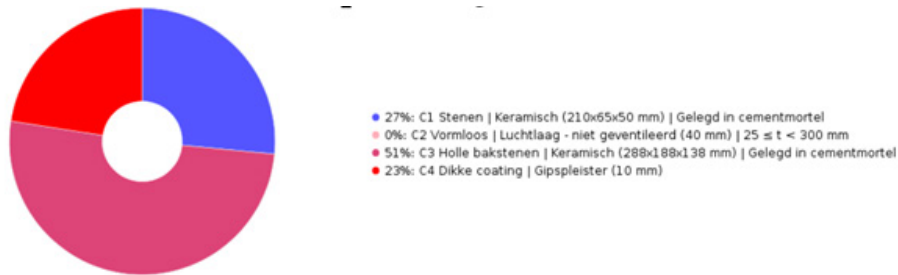


Figuur 130: Milieu-impact op elementniveau van de bestaande toestand en renovatiescenario's van de borstwering (TOTEM, 2022)

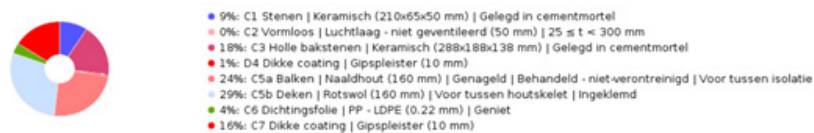
	Energie [mPt/FE]	Materialen [mPt/FE]	Totaal [mPt/FE]
BES_Borstwering S4	30	0,74	31
REN_BorstweringS4_sцен1	5,8	2,1	8
REN_BorstweringS4_sцен2	6,2	4,7	11
REN_BorstweringS4_Sцен3	5,7	4	9,8

Tabel 21: Milieu-impact op elementniveau van de bestaande toestand en renovatiescenario's van de (TOTEM, 2022) borstwering

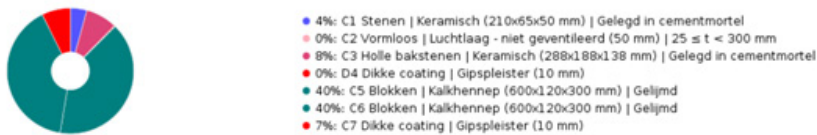
Merk op dat de milieu-score van het 3<sup>e</sup> renovatiescenario lager ligt dan deze van scenario 2, desondanks hier gebruik gemaakt wordt van synthetisch isolatiemateriaal. De verklaring hiervoor kan men vinden bij de analyse op componentniveau. Voor elke opbouw van de buitenwand wordt de impact van de gebruikte materialen vergeleken. Merk op dat dit relatieve waarden zijn, de grootte van de cirkel toont de totale milieu-impact van een component.



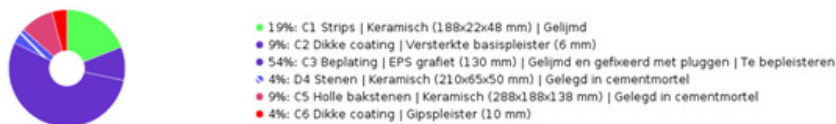
Figuur 131: Impact per component bij de borstwering van de S4 in bestaande toestand (TOTEM, 2022)



Figuur 132: Impact per component bij de renovatie van de borstwering van de S4 volgens scenario 1 (TOTEM, 2022)



Figuur 133: Impact per component bij de renovatie van de borstwering van de S4 volgens scenario 2 (TOTEM, 2022)



Figuur 134: Impact per component bij de renovatie van de borstwering van de S4 volgens scenario 3 (TOTEM, 2022)

De grootte van de cirkel bij de renovatiescenario's ligt in dezelfde lijn, wat logisch is aangezien hun respectieve milieu-scores in dezelfde lijn liggen. Binnen de grafieken valt vooral op dat de kalkhennepblokken en de EPS-platen voor respectievelijk renovatie scenario 2 en 3 de grootste impact hebben en dus (grotendeels) verantwoordelijk zijn voor de hoge milieu-score. Intuïtief lijkt het vreemd dat een natuurlijk isolatiemateriaal zoals kalkhennep een dermate grote materiaal-impact heeft. Dit heeft te maken met de hogere λ-waarde van het materiaal in vergelijking met andere isolatiematerialen zoals EPS, PUR, minerale wollen etc. waardoor de isolatielaag bestaande uit dit materiaal dikker uitgevoerd moet worden om eenzelfde U-waarde te bereiken. Er zal dus een grotere hoeveelheid kalkhennep nodig zijn in vergelijking met EPS-platen, wat de hogere milieuscore van scenario 2 verklaart.

De EPS-platen kennen een grote materiaal-impact omwille van de afvalverwerking aan de hand van verbrandingsprocessen. Het materiaal is herbruikbaar noch recycleerbaar. Bij renovatiescenario 1 vertegenwoordigen de houten structuur en het isolatiemateriaal elk een kwart van de cirkel, merk op dat het aandeel van de bestaande bakstenen borstwering hier groter is dan bij scenario 2 en 3.

Wanneer de drie grafieken van de verschillende scenario's vergeleken worden kan er geconcludeerd worden dat de milieu-impact van de toegevoegde materialen bij scenario 1 kleiner is dan bij de andere scenario's, aangezien de bestaande materialen een groter aandeel vertegenwoordigen bij scenario 1 dan bij de andere scenario's. Bij het renoveren van de borstwering en andere buitenwanden van de S4 volgens scenario 1, zal de impact op het milieu het kleinst zijn. Hierbij worden de mogelijke warmteverliezen doorheen koudebruggen bij het toepassen van binnenisolatie echter niet meegerekend. In het geval van significante warmteverliezen kan scenario 3 uiteindelijk een lagere milieu-score behalen daar deze minder koudebruggen zal vertonen.

## 7.6 Akoestiek

Naargelang de invulling zijn er andere noden op vlak van akoestiek. Bij kantoren is geluidsabsorptie vaak meer van belang dan de isolatie van het contactgeluid, terwijl dit bij studentenkoten net omgekeerd is. Hieronder wordt een kort overzicht geschetst van de belangrijkste concepten en criteria, met bijhorend de geldende akoestische eisen en de impact van ontwerpbeslissingen op de akoestiek.

### 7.6.1 Luchtgeluid en contactgeluid

De twee belangrijkste geluidsbronnen zijn luchtgeluid en contactgeluid. Luchtgeluid komt voort uit trillingen, die geluidsbronnen in de lucht creëren die zich door de lucht voortplanten. Deze trillingen worden gedeeltelijk geabsorbeerd en weerkaatst als ze in aanraking komen met een constructie, en laten verder de constructie zelf trillen waarna het geluid afgestraald kan worden naar een naburige ruimte. Contactgeluid ontstaat ook uit trillingen, maar in dit geval worden de trillingen rechtstreeks aan de constructie doorgegeven, bijvoorbeeld als gevolg van de impact van voetstappen.<sup>218</sup>

#### Standaardgrootheden

De akoestische demping van zowel lucht- als contactgeluid kunnen in situ en in laboratorium bepaald worden. Bij een meting in het laboratorium wordt het luchtgeluid gekarakteriseerd door de geluidsverzwakkingsindex  $R$ . Hoe hoger deze waarde, hoe beter de akoestische isolatie van het bouwelement. Bij een meting in situ verkrijgt men het geluidsdrukniveauverschil  $D$  tussen twee ruimten. Naast de geluidsverzwakkingsindex spelen andere fenomenen als absorptie, geometrie en flankerende overdracht hier een rol. Om de invloed van de absorptie van bijvoorbeeld de meubilering niet mee te rekenen, kan  $D$  gestandaardiseerd worden naar de nagalmtijd, waaruit men het gestandaardiseerde geluidsdrukverschil krijgt, wat enkel rekening houdt met het bouwkundig ontwerp.<sup>219</sup>

Het contactgeluid wordt beschreven door het contactgeluidsdrukniveau  $L$ , hier geldt hoe lager de waarde hoe beter de contactgeluidsisolatie. Bij laboratoriummetingen kan deze waarde genormaliseerd worden naar de absorptie, wat het genormaliseerde contactgeluidsdrukniveau  $L_n$  oplevert. Hierbij worden enkel de eigenschappen van de vloer in rekening gebracht, onafhankelijk van het volume van de ontvangstruimte en de absorptie. Bij metingen in situ wordt het gestandaardiseerde contactgeluidsdrukniveau  $L'_{nT}$  gehanteerd, waarbij  $L$  gestandaardiseerd is naar de nagalmtijd en bijgevolg onafhankelijk is van de absorptie. De flankerende overdracht en geometrie spelen hier echter wel een rol, hoe groter de ontvangstruimte, hoe beter de contactgeluidsisolatie.<sup>220</sup>

Bovenstaande waarden zijn afhankelijk van de frequentie. Voor het gebruiksgemak kunnen er echter eensgetalsgrootheden uit afgeleid worden, de gewogen geluidsisolatie  $R_w(C;C_{tr})$ ,  $D_{nT,w}(C;C_{tr})$ ,  $L_{n,w}$  en  $L_{nT,w}$ .

218. WTCB, 2006

219. WTCB, 2020

220. WTCB, 2020

## Eisen en regelgeving

Aangezien akoestiek een grote impact heeft op de comfortbeleving van de gebruikers, wordt dit ook meegenomen in de ontwerprichtlijn van de UGent. Voor lucht- en contactgeluid wordt verwezen naar GRO–BIN1 niveau goed en norm NBN S 01-400-2<sup>221</sup> voor schoolgebouwen.<sup>222 223</sup>

Daarnaast is er een nieuwe norm op komst voor andere niet-residentiële gebouwen, aangezien de vorige normen hierover verouderd zijn, maar deze is nog in revisie.<sup>224</sup> Voor kantoren wordt er bijgevolg enkel naar de eisen in de GRO gekeken. Verder is er ook een norm voor residentiële gebouwen NBN S 01-400-1<sup>225</sup>, die gebruikt kan worden voor de studentenhuysvesting, waar een kot gezien wordt als een slaapkamer/studeerruimte in het kader van dit onderzoek.<sup>226</sup>

De eisen dienen per ontwerpscenario apart nagegaan te worden en nageleefd. Aangezien er gestreefd wordt naar een flexibel gebouwgebruik, is het raadzaam om zich aan de strengste eis te houden van de potentiële toekomstige scenario's.

Hieronder zijn de meest relevante eisen samengevat uit de GRO BIN1 en normen NBN S 01-400-1 en NBN S 01-400-2. Indien er een verschil is op de eis in de twee richtingen of tussen de verschillende normen, is enkel de strengste eis vermeld. Bij de slaapkamers werd er gekeken naar de eis voor het verhoogd akoestisch comfort.<sup>227</sup>

Zendruimte	Ontvangstruimte	Eis luchtgeluidisolatie $D_A$	Eis contactgeluid $L_1$	Norm
Auditorium	Auditorium	48 dB	55 dB	GRO - BIN1
Gang	Auditorium	48 dB	50 dB	GRO - BIN1
Leslokaal	Leslokaal	44 dB	60 dB	GRO - BIN1 en NBN S 01-400-2
Gang	Leslokaal	44 dB	60 dB	GRO - BIN1
Kantoor	Kantoor	40 dB	60 dB	GRO - BIN1
Vergaderzaal	Kantoor	44 dB	60 dB	GRO - BIN1
Gang	Kantoor	40 dB	60 dB	GRO - BIN1
Elke ruimte binnen de woning	Slaapkamer	$D_{nT,w} \geq 43$ dB		NBN S 01-400-1
Elke ruimte uitgezonderd een slaapkamer	Slaapkamer		$L'_{nTw} \leq 58$ dB	NBN S 01-400-1

Tabel 22: Eisen omtrent luchtgeluidisolatie en contactgeluid volgens verschillende normen

221. NBN S 01-400-2, 2012

222. Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2020

223. WTCB, 2020

224. WTCB, 2020

225. NBN S 01-400-1, 2008

226. WTCB, 2020

227. Het Agentschap Facilitair Bedrijf, 2022

## Invloed op ontwerpbeslissingen

In de praktijk zijn er een aantal ontwerpcriteria waar rekening mee gehouden kan worden om het akoestisch comfort te garanderen en aan de eisen te kunnen voldoen.

### *Vloeropbouw*

De vloeropbouw en de vloerafwerking hebben een impact op onder andere het contactgeluid en luchtgeluid tussen bovenliggende ruimtes, maar ook naar naastliggende ruimtes. De exacte akoestische demping kan moeilijk ingeschat worden, aangezien dit van veel factoren afhangt. Deze kan wel berekend worden met akoestische software, of op voorhand getest worden met 'mock-ups'. Hieronder wordt een beeld geschetst van de verschillende mogelijkheden met bijhorende karakteristieken, aandachtspunten en impact op de akoestische isolatie.

### *Dekvloer*

Er bestaan verschillende soorten dekvloeren, met elk een andere impact op akoestisch vlak. Een zwevende dekvloer levert de beste akoestische prestaties. Bij andere dekvloeren moet voldoende aandacht besteed worden aan de akoestische haalbaarheid. Bij de hechtende en niet-hechtende variant wordt de dekvloer op de dragende vloer aangebracht. Dit al dan niet met een scheidingslaag tussen, maar zonder isolatielaag. Door de massa van de vloer kan deze goed isoleren tegen luchtgeluid, maar contactgeluid wordt makkelijk doorgegeven. Indien metalen leidingen worden weggewerkt in het vloerpakket, moet de vorming van akoestische bruggen vermeden worden.<sup>228</sup>

### *Zwevende dekvloer*

Alle contactgeluid dat op een vloer terecht komt, kan rechtstreeks naar de onderliggende ruimte doorgegeven worden door directe contactgeluidstransmissie via de plafondplaat. Aangezien de muren met de vloeren aan de hand van een harde koppeling met elkaar verbonden zijn, kan flankerende geluidstransmissie ontstaan door de muren. Om dit te vermijden, en ook om de luchtgeluidsisolatie te verbeteren, kan er geopteerd worden voor een zwevende dekvloer die volgens het massa-veer-massasysteem werkt. Hierbij vormt de dragende structuur samen met de uitvullaag de eerste massa. Hierop komt een akoestische tussenlaag die als veer werkt, meestal is dit een materiaal met ook thermisch isolerende capaciteiten. De (zware) dekvloer en vloerafwerking vormen de tweede massa, deze mogen de muur niet raken zodat flankerende contactgeluidstransmissie vermeden wordt. Ze worden van elkaar gescheiden door een voeg in akoestisch isolerend materiaal, die ook raakt aan de isolerende tussenlaag. De mate waarin de zwevende dekvloer contactgeluid kan dempen, hangt sterk af van de aard van de elastische tussenlaag en de zwevende dekvloer en dient doordacht gekozen te worden om het gewenste resultaat te behalen.<sup>229</sup>

### *Droge dekvloer*

Net als de zwevende dekvloer, werkt deze vloer volgens het massa-veer-massasysteem. De dragende structuur en de deklaag vormen de twee massa's, waartussen een soepele tussenlaag aangebracht wordt die als veer functioneert. Hierdoor verbetert ze de contactgeluidisolatie en bij lichte vloeren beperkt ze ook de luchtgeluiden. In de lage frequenties zijn de prestaties echter minder goed, hierdoor is dit vloertype minder geschikt als akoestische isolatie bij muziek- en installatiegeluid, voor bijvoorbeeld loopgeluiden zijn de prestaties wel goed. Om

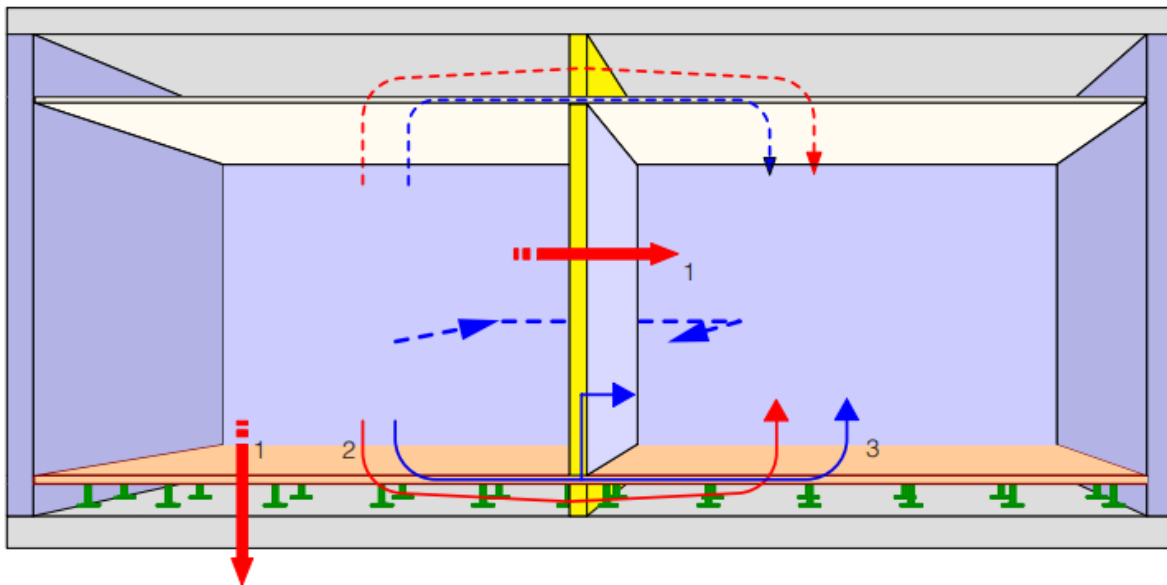
228. WTCB, 1993

229. WTCB, 2022

de geluidstransmissie naar naastliggende ruimtes te verbeteren, moet er een akoestische voeg aangebracht worden ter hoogte van de scheidingswanden. Bij een massieve betonnen vloer van 14 cm verbetert de contactgeluidisolatie met 20 tot 27 dB. Aangezien de vloer in de S4 dunner is, zal de verbetering echter nog hoger liggen. Bij de luchtgeluidstransmissie is er een beperkte impact, aangezien er maar een beperkte toename is in massa bij de betonnen draagstructuur.<sup>230</sup>

### *Verhoogde vloer*

Een verhoogde vloer wordt typisch toegepast in kantoren, omwille van de flexibiliteit op vlak van bekabeling en dergelijke. Akoestisch gezien is deze vloeropbouw vaak minder performant dan bij een zwevende dekvloer.



*Figuur 135: De belangrijkste geluidstransmissiewegen in een verhoogde vloer (WTCB, 2006, p. 27)*

De verschillende categorieën van geluidstransmissie worden op bovenstaande afbeelding weergegeven.

Weg 1 duidt de directe geluidstransmissie aan. Bij dikke dragende vloeren is dit geen probleem. Bij lichtere constructies - zoals in de S4 het geval is met maar 6cm beton - kan dit meer impact hebben. De verhoogde vloer zorgt hierbij voor een verhoging van de geluidsisolatie, door te werken als voorzetwand (massa-veer-massa systeem). Deze prestaties kunnen echter verminderd worden door de verbindingen met de wanden en vloer. Men moet ook opletten met de resonantie in de lage frequentiegebieden.

Daarnaast kan er ook sprake zijn van omloopgeluid en structurele geluidstransmissie naar naastliggende ruimtes (respectievelijk weg 2 en weg 3). De luchtgeluidstransmissie kan vermeden worden door de vloer te onderbreken door de wand. Als er echter gekozen wordt voor een doorlopende vloer voor de flexibiliteit, kan dit voor problemen zorgen. Een degelijke keuze van het vloerontwerp, waarbij het plenum opgevuld wordt met rotswol en er akoestische tussenschotten aangebracht worden onder de scheidingswanden, is dan noodzakelijk om het omloopgeluid te reduceren. Als dekvloer wordt er best voor CaSi platen gekozen om aan een voldoende hoge massa te geraken.

230. Leefmilieu Brussel, 2017



Voor de structurele geluidstransmissie worden er best snedes in de vloer aangebracht met een elastische band ter hoogte van de scheidingswanden, als alternatief kan er gekozen worden voor een lichte, dubbele wand die op de doorlopende vloer geplaatst wordt, al dan niet gescheiden van de vloer met een elastische band onder de U-profielen om de flankerende geluidswegen te vermijden. De verhoogde vloer heeft op vlak van luchtgeluid dus eerder een nadelige invloed op de totale geluidsisolatie, waar rekening mee gehouden moet worden in het ontwerp.

Men kan besluiten dat contactgeluidstransmissie via de verbindingen met de vloer minder een probleem is bij verhoogde vloeren en nog verbeterd kan worden. Zo kan men kiezen voor een dempende vloerbekleding, of een rubberen laag aanbrengen tussen de vijzels en de vloerplaten. Om flankerende geluidstransmissie naar naastliggende ruimtes te vermijden, kan men dezelfde ingrepen nemen als voor luchtgeluidstransmissie, met het verschil dat de vloerbekleding de contactgeluidstransmissie nog opmerkelijk kan verbeteren, terwijl dit weinig effect heeft op het luchtgeluid.<sup>231 232</sup>

### *Wandopbouw*

Eén van de meest doeltreffende akoestisch isolerende wanden, zijn de ontdubbelde wanden uit metselwerk, waartussen een laag akoestische isolatie geplaatst is. Bij de S4 wordt echter gestreefd naar flexibel gebouwgebruik, waardoor dit type wand niet te verkiezen is. Bijgevolg worden de akoestische prestaties van flexibelere wanden onderzocht.

### *Lichte binnenwanden*

Lichte binnenwanden worden vaak gebruikt bij renovaties en laten een flexibele invulling toe. Ze hebben hun akoestische prestaties te danken aan het massa-veer-massasysteem, waarbij een plaatmateriaal aan de buitenzijde voor de massa's zorgt, met daartussen een spouw gevuld met isolatiemateriaal als veer. Ze presteert echter minder goed bij lage frequenties en is dus niet geschikt voor muziek en installatiegeluid.

Er bestaan verschillende versies lichte wanden, waarbij de verschillen zitten in de spouwvulling, het aantal en type van de beplating, of de draagstructuur uit metaal of hout is opgebouwd en of ze enkelvoudig of ontdubbeld zijn. Om de beste akoestische prestaties te behalen kiest men best voor ontdubbelde systemen. Hierbij worden de massa's losgekoppeld en verbeterd de geluidsisolatie. Daarnaast is een metalen draagstructuur beter, aangezien door de sigma-vorm van de profielen minder trilling doorgeven worden dan bij hout. Qua beplating is een hogere massa altijd beter en doet gips beter dan hout aangezien zijn hoge kritieke frequentie niet in het bouwakoestische gebied valt. Verder bestaat de spouwvulling best uit een soepel absorberend materiaal dat de spouwresonanties bij hoge frequenties absorbeert.

Bij Soundblock-platen, waar met een enkelvoudig frame uit metal studs gewerkt wordt, kan een geluidsverzwakkingsindex  $R_w$  ( $C;C_w$ ) tot 65 (-2;-7) verkregen worden. Dit bij het aanbrengen van drievoudige beplating. Deze waarden zullen echter nog dalen in situ door andere geluidstransmissiewegen. Men dient bijgevolg voldoende aandacht te besteden aan de uitvoering om luchtlekken te vermijden, bijvoorbeeld bij de plaatsing van stopcontacten of bij de aansluiting van de wanden op andere constructieonderdelen.<sup>233</sup>

231. WTCB, 2006

232. Blasco, M., persoonlijke communicatie, 18 mei 2022

233. Leefmilieu Brussel, 2017

### *Kalkhennep*

Naast de klassieke uitvoeringswijzen, kan men ook lichte binnenwanden met goede akoestische prestaties realiseren met behulp van kalkhennepblokken. Deze wanden hebben een geluidsverzwakkingsindex  $R_w$  tot 44dB bij blokken van 36cm dik en werken ook akoestisch absorberend, met een geluidsabsorptiecoëfficiënt  $\alpha$  van 0,85.<sup>234</sup> Volgens de GRO liggen de eisen voor contactgeluid in kantoren en scholen echter al vaak boven 44dB en zijn de prestaties in situ vaak nog slechter. Bovendien zijn wanden van 36 cm als binnenwand al erg dik. Dit type binnenwand als scheidingswand is bijgevolg minder geschikt.<sup>235</sup>

### *Plafondopbouw*

#### *Verlaagd plafond*

Verlaagde plafonds kunnen voordelig zijn om de nagalmtijd in een ruimte te verbeteren, en om het geluid dat doorgegeven wordt tussen twee boven elkaar liggende ruimtes te dempen. Het verlaagd plafond werkt vrij gelijkaardig aan het principe van de verhoogde vloer, namelijk volgens het massa-veer-massaprincipe en kan zo de directe geluidstransmissie dempen. Hier moet opnieuw aandacht geschonken worden aan de resonantie in de lage frequentiegebieden. Men kan de hoogte van het plenum en de oppervlakttemassa van de panelen verhogen om dit te vermijden. De geluidstransmissie naar naastliggende ruimtes is gelijkaardig aan deze bij de verhoogde vloer, wanneer het plafond doorloopt boven de muren moet men akoestische isolatie voorzien.<sup>236</sup>

#### *Plafondeilanden*

Verlaagde plafonds schermen de betonnen draagstructuur af waardoor het inzetten op thermische inertie niet meer mogelijk is. Plafondeilanden zijn een vorm van verlaagde plafonds, waarbij de thermische massa wel bereikbaar blijft. Er worden panelen onder het plafond gehangen waarboven een luchtstroom mogelijk blijft. Aangezien ze langs beide kanten bereikbaar zijn, kunnen beide zijden meewerken om de geluidsabsorptie te realiseren.<sup>237</sup> Er bestaan bovendien akoestische plafondeilanden waarbij de achterkant glad, mat en extreem wit is, om een goede lichtreflectie en –diffusie te bereiken.<sup>238</sup>

#### *Akoestisch dempend materiaal tussen de ribben van de betonnen draagvloer*

Zoals al eerder aangehaald is gebouw S5 gerenoveerd door abscis architecten. Hierbij is er gebruik gemaakt van verlaagde plafonds in een aantal ruimtes, maar ook bijvoorbeeld van een opvulling van de ruimtes tussen de ribben van de betonnen draagvloer met houtwolcementplaat waarbij de structuur van de ribben betonvloer zichtbaar blijft.<sup>239</sup>

234. IsoHemp, 2022

235. Het Agentschap Facilitair Bedrijf, 2022

236. WTCB, 2007

237. TUDelft, 2012

238. Rockfon, 2021

239. Abscis architecten BVBA detail 707A-5Pi-20121221-AB03-21.000.11, z.d.

## 7.6.2 Nagalmtijd

De nagalmtijd  $T$  beschrijft de snelheid waarmee het geluidsniveau van een afgebroken geluidsbron afneemt in de ruimte. Ze wordt gedefinieerd als de tijd die nodig is om het geluidsdrukniveau met 60dB te verminderen. De nagalmtijd wordt bepaald door de absorptie van de oppervlakken en het volume van de ruimte. Als er meer absorptie is, neemt het geluid sneller af en wordt de nagalmtijd kleiner. Bij een groter volume duurt het langer voor een geluidsgolf een absorberend oppervlak ontmoet en wordt de nagalmtijd groter.<sup>240</sup>

### Berekening nagalmtijd

De nagalmtijd kan berekend worden met de formule van Sabine:

$$T = 0,16 \frac{V}{A} [s]$$

Met  $V$  het volume in  $m^3$  en  $A$  het equivalente absorptieoppervlak van de ruimte in  $m^2$ .

Het equivalente absorptieoppervlak van de ruimte wordt als volgt bepaald:

$$A = \alpha_{S1}S_1 + \alpha_{S2}S_2 + \dots + A_{obj1} + A_{obj2} + \dots [m^2]$$

Met

$\alpha_s$  = absorptiecoëfficiënt, wordt bepaald in het laboratorium in een nagalmkamer. Ze geeft de verhouding van het geluid dat niet gereflecteerd wordt ten opzichte van het invallende geluid.

$S$  = de oppervlakte van het materiaal.

$A_{obj}$  = het equivalente absorptieoppervlak, dit wordt bepaald in het laboratorium in een nagalmkamer. Dit wordt meegerekend als er naast de scheidingsonderdelen nog absorberende objecten in de ruimte aanwezig zijn.

De absorptiecoëfficiënt, en bijgevolg de nagalmtijd, is echter afhankelijk van de frequentie. Om de nagalmtijd eenvoudig te kunnen berekenen, wordt er gebruik gemaakt van eengetalsgrootheden, waaruit een gewogen geluidsabsorptiecoëfficiënt  $\alpha_w$  berekend wordt. Hieruit kan de gewogen equivalente geluidsabsorptieoppervlakte  $A_w$  en de gemiddelde gewogen geluidsabsorptiecoëfficiënt afgeleid worden.

Bij de nagalmtijd kan ook een karakteriserend getal berekend worden. Het gemiddelde in specifieke octaafbanden kan berekend worden om zo de nominale nagalmtijd  $T_{nom}$  of de gemiddelde nagalmtijd  $T_{mean}$  te krijgen. Voor schoolgebouwen en andere niet-residentiële gebouwen gebruikt men onderstaande formule:

$$T_{nom} = \frac{T_{500} + T_{1000} + T_{2000}}{3} [s]$$

Voor woongebouwen gebruikt men bovenstaande formule, of deze van  $T_{mean}$ :<sup>241</sup>

$$T_{mean} = \frac{T_{500} + T_{1000}}{2} [s]$$

240. WTCB, 2020

241. WTCB, 2020

## Eisen en regelgeving

Ook hier verwijst de UGent door naar de relevante normen en naar niveau GOED van GRO–BIN1 en de akoestische norm voor schoolgebouwen NBN S01-400-2. Zelf geeft ze als eis dat er voldaan moet worden aan een nagalmtijd van maximaal  $T_{125-4000\text{ Hz}} = 1,5\text{ s}$  in een leeg auditorium en in een auditorium met normale bezetting van 2/3 moet het beperkt blijven tot  $T_{125-4000\text{ Hz}} = 1\text{ s}$ . Voor kantoren wordt enkel naar de eisen uit de GRO gekeken, aangezien de norm omtrent niet-residentiële gebouwen verouderd is en onder revisie is. Voor studentenkamers wordt de norm voor residentiële gebouwen aangenomen.

Ruimte	Eis nagalmtijd [s]		Norm
	Normaal comfort	Verhoogd comfort	
Auditorium/leslokaal	$T_{\text{nom}} \leq 0,35 * \log(1,25*V)$ In dit geval = 0,997 s	$T_{\text{nom}} \leq 0,28 * \log(1,25*V)$ In dit geval = 0,797 s	GRO - BIN1 en NBN S 01-400-2
Individueel kantoor	0,6	0,5	GRO - BIN1
Open kantooruimte	0,8	0,6	GRO - BIN1
Vergaderzaal(<800 m <sup>3</sup> )	0,7	0,6	GRO - BIN1
Slaapkamer	Geen eis		GRO - BIN1
Circulatie-ruimtes residentieel	$A_w \geq 0,3 * S_H$ met $S_H$ = de horizontaal geprojecteerde begaanbare oppervlakte van gangen, trappen en bordessen		NBN S 01-400-1

Tabel 23: Eisen omtrent de nagalmtijd in verschillende lokalen volgens verschillende normen

## Toegepast op S4

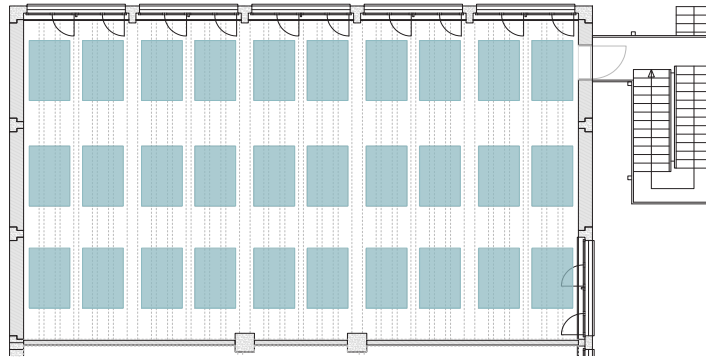
Als referentie wordt de nagalmtijd in zone 1 berekend. Bij het renoveren zonder aandacht voor akoestische maatregelen, wordt de ruimte begrensd door ramen, pleister, een stenen vloer en betonnen gewelven.

Materiaal	Oppervlak S [m <sup>2</sup> ]	Absorptiecoëfficiënt $\alpha$   Equivalente absorptieoppervlak A [m <sup>2</sup> ]	Absorptiecoëfficiënt $\alpha$   Equivalente absorptieoppervlak A [m <sup>2</sup> ]				
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Glas		$\alpha$	0,10	0,05	0,03	0,02	0,02
	29,10	A [m <sup>2</sup> ]	2,91	1,46	0,87	0,58	0,58
Pleister		$\alpha$	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04
	142,45	A [m <sup>2</sup> ]	2,85	2,85	2,85	4,27	5,70
Stenen vloer		$\alpha$	0,02	0,00	0,02	0,00	0,05
	148,60	A [m <sup>2</sup> ]	2,97	0,00	2,97	0,00	7,43
Betonnen TT-gewelven		$\alpha$	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04
	336,05	A [m <sup>2</sup> ]	6,72	10,08	10,08	10,08	13,44

Tabel 24: Berekening equivalente absorptieoppervlak van de verschillende oppervlakken in de ruimte zonder akoestische maatregelen

Met een volume van 563,66m<sup>3</sup> krijgt men hieruit  $T_{\text{nom}} = 4,91\text{ s}$  en  $T_{\text{mean}} = 5,71\text{ s}$ . Dit ligt ver boven de eisen en kan niet op deze manier als kantoor, leslokaal of auditorium gebruikt worden.

In de ruimte is er plaats voor 30 akoestische eilanden van het type rockfon eclipse – rechthoek 1760 enkelvoudig (1m16 x 1m 76) met een afhanghoogte van 500mm<sup>242</sup>, waarbij de panelen de lengterichting en breedtes van de ribben van de betonnen draagvloer kunnen volgen. Een mogelijke schikking wordt aangetoond in onderstaande figuur. Hierbij kunnen de bovenste ramen enkel nog op kip geopend worden aan de lange zijde van het lokaal. Indien dit niet gewenst is in verband met intensieve nachtventilatie, kan hier rekening mee gehouden worden in het ontwerp.



Figuur 136: Mogelijke plaatsing akoestische plafondeilanden

Materiaal	Oppervlak S [m <sup>2</sup> ]	Absorptiecoëfficiënt $\alpha$	Equivalente absorptieoppervlak A [m <sup>2</sup> ]				
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Glas		$\alpha$ 0,10					
	29,10	A [m <sup>2</sup> ]	2,91	1,46	0,87	0,58	0,58
Pleister		$\alpha$ 0,02					
	142,45	A [m <sup>2</sup> ]	2,85	2,85	2,85	4,27	5,70
Stenen vloer		$\alpha$ 0,02					
	148,60	A [m <sup>2</sup> ]	2,97	0,00	2,97	0,00	7,43
Betonnen TT-gewelven		$\alpha$ 0,02					
	336,05	A [m <sup>2</sup> ]	6,72	10,08	10,08	10,08	13,44
Plafondeiland (30)		$A_{eq}$ per element [m <sup>2</sup> ]	0,70	1,80	2,80	3,70	3,90
		A [m <sup>2</sup> ]	21	54	84	111	117

Tabel 25: Berekening equivalente absorptieoppervlak van de verschillende oppervlakken in de ruimte met akoestische eilanden

Hieruit krijgt men  $T_{nom} = 0,75$  en  $T_{mean} = 0,81$ . De stenen vloer kan vervangen worden door een linoleumvloer of een tapijt. De mogelijke nagalmtijden worden hieronder samengevat. De berekening kunnen zijn in bijlage 8 te vinden.

	Zonder akoestische ingrepen	akoestische eilanden	Linoleum vloer	linoleum vloer en akoestische eilanden	tapijt en akoestische eilanden
$T_{nom}$ [s]	4,91	0,75	3,63	0,71	0,45
$T_{mean}$ [s]	5,71	0,81	4,14	0,77	0,51

Tabel 26: Overzicht nagalmtijden bij verschillende akoestische ingrepen

Hieruit kan geconcludeerd worden dat deze ruimte met enkel akoestische eilanden voldoet als auditorium en open kantooromgeving. Als individueel kantoor of vergaderzaal zou dit niet voldoen, maar in de praktijk zullen deze ruimtes niet de grootte van de zone aannemen zoals ze nu berekend is. Aangezien de nagalmtijd daalt bij een kleiner volume, zal dit geen problemen geven.

### 7.6.3 Conclusie

Wegens de grote flexibiliteit zou er bij kantoren geopteerd worden voor verhoogde vloeren. Een akoestische analyse wijst uit dat dit mogelijk is, mits er bijkomende maatregelen genomen worden zoals het opvullen van het plenum met minerale wol of een rubberen laag tussen de vizels en de vloerplaten. Bij studentenkoten kunnen zwevende dekvloeren zonder problemen toegepast worden. Daarnaast voldoen lichte binnenwanden voor alle scenario's, mits er voldoende performante opbouwen gekozen worden.

Een verlaagd plafond is te vermijden omwille van het gebruik van de thermische massa voor intensieve nachtventilatie. Een studie omtrent de nagalmtijd wijst uit dat akoestisch absorberende plafondeilanden volstaan.

## 7.7 Daglichttoetreding en omgaan met oververhitting

### 7.7.1 Beperken van de zontoetreding

De ontwerprichtlijn van de UGent stelt dat het percentage beglazing in een gevel beperkt moet worden tot 30% à 40% om zonnetoetreding en oververhitting tegen te gaan. In geval van de renovatie van S4 zou dit echter niet verenigbaar zijn met het behoud van het uitzicht van de gevel. Er worden daarom andere manieren gezocht om met daglichttoetreding en de bijkomende oververhitting om te gaan.

### 7.7.2 Daglichttoetreding

Zoals eerder aangehaald moet in de binnenruimte, een gemiddelde daglichtfactor van 3,3% gehaald worden om een verlichtingssterkte van 500 lux te behalen voor 50% van de daglichturen. Hier moet echter een onderscheid gemaakt worden tussen de gemiddelde en minimale daglichtfactor. De norm stelt dat een ruimte voldoende daglicht krijgt wanneer, op het referentie-oppervlak de gemiddelde en minimale daglichtfactor behaald worden tijdens minstens de helft van de daglichturen.<sup>243</sup> Dit referentie-oppervlak bevindt zich op 85 cm boven het vloerniveau.

**Table A.1 — Recommendations of daylight provision by daylight openings in vertical and inclined surface**

Level of recommendation for vertical and inclined daylight opening	Target illuminance $E_T$ lx	Fraction of space for target level $F_{plane,\%}$	Minimum target illuminance $E_{TM}$ lx	Fraction of space for minimum target level $F_{plane,\%}$	Fraction of daylight hours $F_{time,\%}$
Minimum	300	50 %	100	95 %	50 %
Medium	500	50 %	300	95 %	50 %
High	750	50 %	500	95 %	50 %

NOTE Table A.3 gives target daylight factor ( $D_T$ ) and minimum target daylight factor ( $D_{TM}$ ) corresponding to target illuminance level and minimum target illuminance, respectively, for the CEN capital cities.

Tabel 27: Richtwaarden voor de verlichtingssterkte doorheen gevelopeningen (NBN EN 17037, 2021)

Bovenstaande tabel geeft de te behalen gemiddelde en minimale waarden. De gemiddelde verlichtingssterkte van 500 lux moet behaald worden op de helft van het referentieoppervlak tijdens de helft van de daglichturen. De minimale waarde stelt dat een verlichtingssterkte van 100 lux behaald moet worden op 95% van het referentieoppervlak tijdens de helft van de daglichturen. In onderstaande tabel kunnen deze waarden voor de verlichtingssterkte vertaald worden naar waarden voor de te behalen daglichtfactor. Hieruit valt te besluiten dat op de helft van het referentie-oppervlak een gemiddelde daglichtfactor van 3,3 % of meer behaald moet worden. De minimale daglichtfactor bedraagt 0,7% en moet over 95% van de oppervlakte van het referentieoppervlak behaald worden.

243. NBN EN 17037:2018+A1, 2021

**Table A.3 — Values of  $D$  for daylight openings to exceed an illuminance level of 100, 300, 500 or 750 lx for a fraction of daylight hours  $F_{\text{time},\%} = 50\%$  for 33 capitals of CEN national members**

Nation	Capital <sup>a</sup>	Geographical latitude $\varphi$ [°]	Median External Diffuse Illuminance $E_{v,d,med}$	$D$ to exceed 100 lx	$D$ to exceed 300 lx	$D$ to exceed 500 lx	$D$ to exceed 750 lx
Belgium	Brussels	50,90	15 000	0,7 %	2,0 %	3,3 %	5,0 %

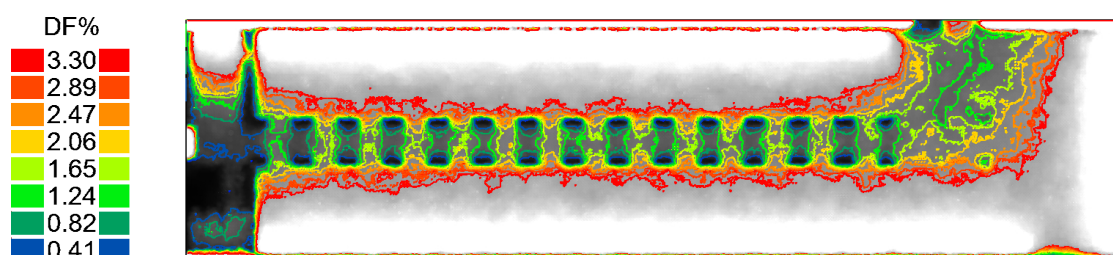
Tabel 28: Waarden voor de te behalen daglichtfactor in België (NBN EN 17037, 2021)

### 7.7.3 Keuze van het glas

Doorslaggevend voor de daglichttoetreding zijn de gevelopeningen en de lichttoetredingsfactor van het glas. Bij het kiezen van het glas selecteert men beglazing met een bepaalde  $g$ -waarde en LTA-factor. De lagere  $g$ -waarde bij zonwerend glas vertaalt zich vaak ook in een lagere LTA-factor. De  $g$ -waarde wordt gekozen in functie van de gewenste zonne-energie, de LTA-factor bepaalt hoeveel zichtbaar licht wordt doorgelaten. In wat volgt wordt een daglichtsimulatie uitgevoerd in het programma 'Velux Daylight Visualizer' van de producent Velux. Hier wordt de daglichtfactor op het referentie-oppervlak binnen in de ruimte gesimuleerd bij een 'overcast sky type 5', volgens de CIE-standaard. De focus ligt hier op de gebruiksruidtes in het midden van de verdieping.

#### Bestaande toestand

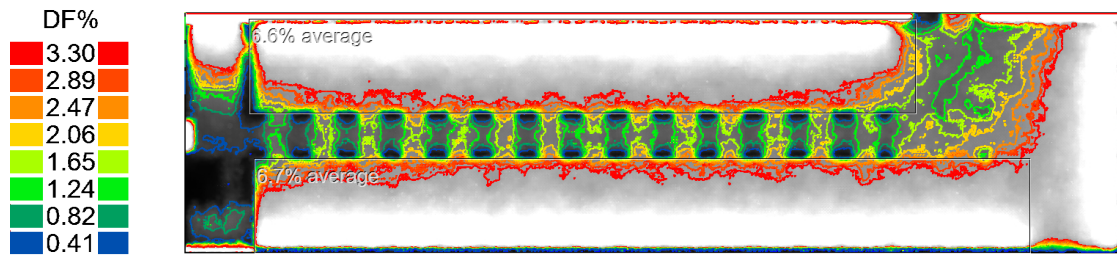
De huidige beglazing van de S4 is helder glas. Het verbond van de Belgische glasindustrie voerde in 2019 een onderzoek uit naar de samenhang tussen  $U_g$ -waarde, LTA-factor en  $g$ -waarde van verschillende soorten beglazing. Helder glas, zijnde dubbele beglazing met luchtsouw, zonder coating met luchtsouw heeft een LTA-factor van 81% en een  $g$ -waarde van 77%.<sup>244</sup> Bij een simulatie van een typeverdieping in de huidige situatie, bekomt men volgende waarden voor de daglichtfactor. De maximale daglichtfactor is hier ingesteld op 3,3 %, dit is de waarde die in het midden van het referentie-oppervlak behaald moet worden.



Figuur 137: Resultaten voor de daglichtfactor in huidige toestand (Velux Daylight Visualizer, 2022)

Bij helder glas wordt voldaan aan de gemiddelde te behalen waarden voor de daglichtfactor op het referentie-oppervlak. De donkerrode lijn geeft aan tot waar de gemiddelde daglichtfactor 3,3% of meer bedraagt, deze zone spreidt zich uit over meer dan de helft van het referentie-oppervlak. Volgende simulatie geeft de gemiddelde daglichtfactor op het referentieoppervlak waar, deze bedraagt meer dan 6,0% waardoor aan de eisen voldaan wordt.

244. Verbond van de Glasindustrie, 2019

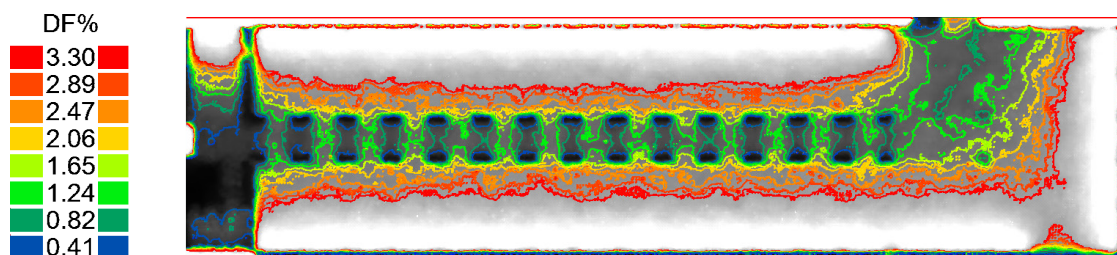


Figuur 138: Resultaten voor de gemiddelde daglichtfactor in huidige toestand (Velux Daylight Visualizer, 2022)

Let wel dat helder glas met een hoge LTA-factor typisch een redelijk hoge  $g$ -waarde heeft wat de oververhitting niet ten goede komt. Daarnaast heeft de huidige beglazing een  $U_g$ -waarde van  $2,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , wat sterk afwijkt van de hedendaagse eis van  $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Bij de renovatie van de ramen zal men dus glas met een lagere  $U_g$ -waarde moeten selecteren. Bovendien kan een hoge  $g$ -waarde een motor zijn voor oververhitting binnen het gebouw, ook de  $g$ -waarde daalt dus best. Zonwerend glas wordt donkerder naarmate de  $g$ -waarde daalt, waardoor ook de LTA-factor zal dalen. In wat volgt wordt de invloed van deze daling op de daglichttoetreding onderzocht.

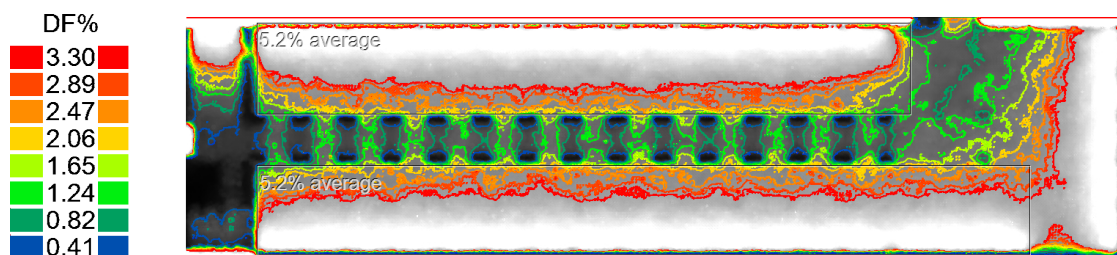
### Renovatie van de bestaande toestand

Bij renovatie kan gefocust worden op een zo laag mogelijke  $g$ -waarde in combinatie met een zo hoog mogelijke LTA-factor. Volgens het onderzoek van het verbond van de Belgische glasindustrie past dubbele zonwerende HR- beglazing, waarbij de spouw gevuld is met Argon-gas binnen dit scenario. Het glas heeft een  $U_g$ -waarde van  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , een LTA-factor van 60% en een  $g$ -waarde van 28%. Bij het opnieuw uitvoeren van de simulatie met aangepaste beglazing wordt onderstaand resultaat verkregen.



Figuur 139: Resultaten voor de daglichtfactor in gerenoveerde toestand (Velux Daylight Visualizer, 2022)

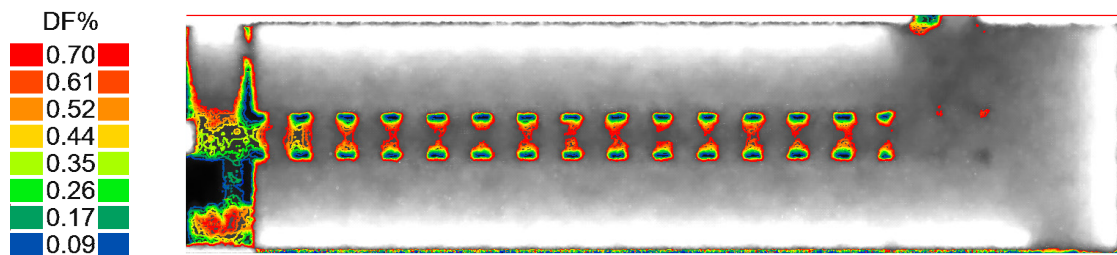
De donkerrode lijn die de daglichtfactor van 3,3% aangeeft, omsluit opnieuw een zone die groter is dan de helft van het referentie-oppervlak. Bovendien is de gemiddelde daglichtfactor nog steeds groter dan 3,3%.



Figuur 140: Resultaten voor de gemiddelde daglichtfactor in gerenoveerde toestand (Velux Daylight Visualizer, 2022)



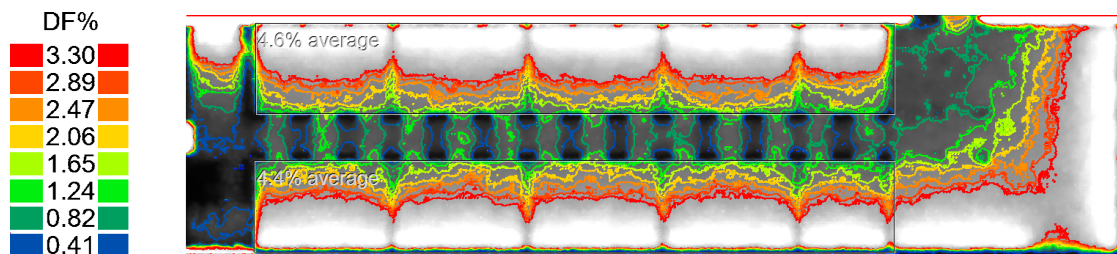
De minimale daglichtfactor van 0,7% wordt bovendien ook over 95% van het referentieoppervlak behaald.



Figuur 141: Resultaten voor de minimale daglichtfactor in gerenoveerde toestand

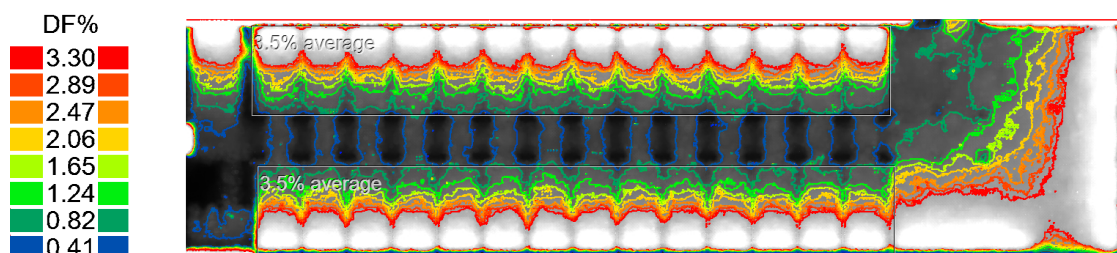
Bij bovenstaande simulaties werden scenario's zonder binnenmuren gesimuleerd. Bij de herbestemming van een typeverdieping zullen bij meerdere scenario's binnenmuren geplaatst worden, wat een gevolg zal hebben voor het binnenvallen van natuurlijk licht.

Wanneer de verdieping in enkele zones wordt onderverdeeld, wordt een gemiddelde daglichtfactor van meer dan 3,3 % nog steeds behaald.



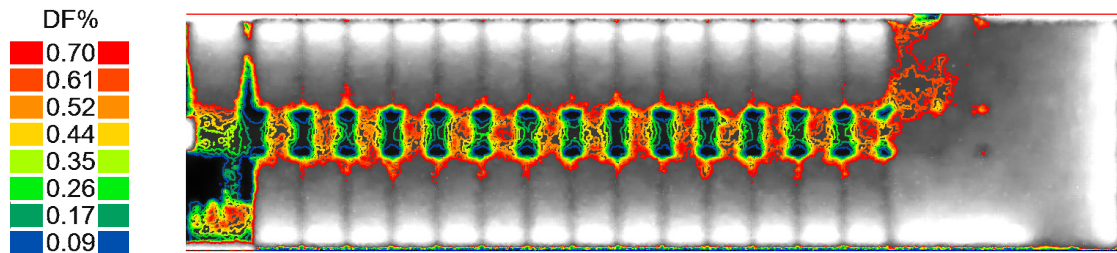
Figuur 142: Resultaten voor de gemiddelde daglichtfactor in gerenoveerde toestand bij onderverdeling in zones (Velux Daylight Visualizer, 2022)

Het meest cruciale herbestemmingsscenario voor de daglichttoetreding is het scenario met het grootst aantal binnenmuren. In het geval van studentenhuysvestiging wordt per segment van 18 m<sup>2</sup> een kamer gevormd, waardoor dus om de 3,00 meter een binnenwand geplaatst wordt. Dit heeft duidelijk een invloed op de gemiddelde daglichtfactor, desondanks blijft deze boven de gemiddelde te behalen waarde van 3,3%. Merk ook op dat een gewenste verlichtingssterkte van 500 lux op het referentieoppervlak een norm is die vooral geldt voor ruimtes waar gewerkt wordt. Zoals aangehaald op gebouwniveau mag de gemiddelde daglichtfactor iets lager liggen.



Figuur 143: Resultaten voor de gemiddelde daglichtfactor in gerenoveerde toestand bij onderverdeling in segmenten (Velux Daylight Visualizer, 2022)

Ook wanneer alle binnenmuren geplaatst worden wordt de minimale daglichtfactor van 0,7% over 95% van het referentieoppervlak behaald.



Figuur 144: Resultaten voor de gemiddelde daglichtfactor in gerenoveerde toestand bij onderverdeling in segmenten (Velux Daylight Visualizer, 2022)

## Conclusie

Door het vele glaswerk aanwezig in de gevels van de S4, kan gewerkt worden met beglazing met een redelijk lage g-waarde -wat de oververhitting ten goede komt- zonder in te boeten op de daglichttoetreding in de binnenruimte.

### 7.7.4 Zonnewering

Op gebouwniveau werden reeds verschillende zonneweringen vernoemd die geïnstalleerd kunnen worden om de oververhitting in de binnenruimte te beperken. Het type zonneweringen en de plaats van installatie bepaalt samen met de keuze van het glas de toetreding van zonnewarmte naar de binnenomgeving. In wat volgt worden vier mogelijke combinaties van zonneweringen en types beglazingen besproken.

#### Heldere beglazing in combinatie met binnenzonneweringen

Heldere beglazing met een hoge LTA-factor heeft typisch ook een hoge g-waarde waardoor het risico op oververhitting toeneemt. Het aanbrengen van performante binnenscreens kan hierbij helpen om ongewenste zonnewinsten te beperken. Op gebouwniveau werd vermeld dat buitenzonneweringen tot vier keer performanter zijn in vergelijking met binnenzonneweringen. De laatste jaren zijn er echter zeer performante binnenzonneweringen op de markt gebracht die steeds beter de interne zonnewinsten beperken. Een voorbeeld van dit soort zonneweringen is de 'Clearview' binnenzonnewering van de producent Verosol.

Wanneer er bij renovatie van de S4 voor isolerend dubbelglas HR++ gekozen wordt, zal het sluiten van de binnenzonnewering een grote impact hebben op de eigenschappen van de beglazing. Zo daalt de g-waarde van 59% naar 28% en de U-waarde van het geheel daalt van 1,2 W/m<sup>2</sup>K naar 0,8 W/m<sup>2</sup>K. Deze forse dalingen zijn te danken aan de reflecterende capaciteiten aan de buitenzijde van het zonnescherm. Deze kant, bestaande uit gemetalliseerd polyester textiel reflecteert 74% van de invallende zonnestraling.<sup>245</sup> Nadelig aan deze binnenzonneweringen is dat ze het grootste deel van de tijd naar beneden zullen zijn. Dit zal door de gebruiker van het gebouw als onaangenaam ervaren worden, ook al hebben ze volgens de producent een uitstekend doorzicht. Daarnaast zal de zonnewering de gebruiker beletten om de ramen volledig te openen, wat opnieuw als onaangenaam ervaren wordt.

Wanneer er op gebouwniveau gewerkt wordt met sensoren die de invallende zonne-energie op de gevel meten, zal bij glas met een hogere g-waarde meer energie de binnenruimte betreden. Bijgevolg zal dus voor eenzelfde hoeveelheid zonne-energie de toetredende energie

245. Verosol, 2020

in de ruimte hoger liggen en zal de zonnewering sneller moeten sluiten. Bij heldere beglazing met een LTA-waarde van ongeveer 80% komt een hoge g-waarde waardoor de grenswaarde voor interne zonnepwinsten sneller overschreden wordt en de zonnewering dus sneller automatisch zal sluiten. Het sluiten van de zonneweringen heeft ook een nadelige invloed op de daglichttoetreding, de LTA-waarde van helder glas daalt van 79% naar 4,0%. Een laatste aspect om na te gaan is de mate waarin de zonnewering verblinding tegengaat. Volgens de norm NBN EN 17037:2018+A1<sup>246</sup>, moeten zonneweringen met een openheidsfactor van 3% en een lichttransmissie van 3% tot de derde klasse behoren. Volgens de technische fiche is dit het geval bij zwarte binnenzonneweringen. Men kan besluiten dat het toepassen van heldere beglazing in combinatie met performante binnenzonneweringen zeer efficiënt de ongewenste zonnepwinsten zal tegengaan, dit helaas ten koste van het comfort van de gebruiker.<sup>247</sup>

### **Zonwerende beglazing in combinatie met binnenzonneweringen**

Het werken met zonwerende beglazing zal ervoor zorgen dat de grenswaarde voor de interne zonnepwinsten doorheen de beglazing minder snel overschreden wordt. Concreet wil dit zeggen dat de zonneweringen minder snel automatisch zullen sluiten en dat de gebruiker van de ruimte gedurende een groter deel van de dag geniet kan hebben van het uitzicht op de buitenomgeving. Bij heldere beglazing zullen performante screens het grootste deel van de invallende zonnestraling terug naar de buitenomgeving reflecteren, hierdoor zal de lucht in de ruimte tussen het glas en de zonnewering niet dermate opwarmen dat deze zone afgesloten moet worden van de binnenruimte. Bij binnenzonneweringen in combinatie met zonwerende beglazing is het risico dat de lucht in deze ruimte aanzienlijk opwarmt redelijk groot. Daarom worden zonneschermen aan de binnenzijde van de gevel vaak omsloten uitgevoerd zodat de ruimte tussen beglazing en zonnescherm van de binnenruimte afgeschermd wordt. Bij de nieuwere, performante binnenzonneweringen hoeft men de schermen niet omsloten uit te voeren.

Dit is het geval bij het toepassen van de 'Clearview' binnenzonnewering van de producent Verosol, deze keer bij zonwerend dubbelglas ZHR ++. Dit is beglazing met een lagere LTA-waarde en dus ook een lagere g-waarde. Wanneer de binnenzonneweringen gesloten worden daalt de g-waarde van 32% naar 15% en de  $U_g$ -waarde van 1,1 W/m<sup>2</sup>K naar 0,8 W/m<sup>2</sup>K. Opnieuw daalt de LTA-waarde drastisch, van 60% naar 2-3%, de zonnewering scoort opnieuw voldoende in het tegengaan van verblinding.<sup>248</sup> Er kan geconcludeerd worden dat het werken met zonwerende beglazing in combinatie met performante binnenzonnewering ervoor zorgt dat de zonneweringen minder snel automatisch zullen sluiten waardoor de gebruiker meer kan genieten van het uitzicht op de buitenomgeving.

### **Zonwerende beglazing in combinatie met buitenzonneweringen**

Buitenzonneweringen zijn typisch moeilijker te onderhouden en ondervinden sneller slijtage door blootstelling aan de buitenomgeving. Bovendien kunnen ze niet in alle omstandigheden de binnenruimte tegen oververhitting beschermen aangezien ze bij hoge windsnelheden automatisch naar boven zullen gaan om schade te vermijden. Er zijn echter steeds meer buitenzonneweringen die hoge windsnelheden kunnen trotseren.

246. NBN EN 17037:2018+A1, 2021

247. Verosol, 2020

248. Verosol, 2020

De norm NBN EN 13561:2015/AC<sup>249</sup> schetst verschillende windweerstandsklassen waartoe buitenzonneweringen kunnen behoren. Per klasse geldt er een maximale nominale- en veiligheidswinddruk die op de zonnewering mag werken. Het uitdrukken van de grenswaardes van deze klassen kan ook in windsnelheden in plaats van winddrukken. De producent Harol schetst in zijn brochure onderstaande overzichtstabel voor het verband tussen windkrachten, windsnelheden en de effecten ervan, gelinkt aan de schaal van Beaufort.

Windweerstandsklasse	Windkracht (Beaufort)	Gemiddelde windsnelheid		Aanduiding	Kenmerken
		m/s	km/h		
0	0	0 – 0,2	< 1	windstil	Rook stijgt (verticaal) omhoog.
	1	0,3 – 1,4	1 – 5	lichte tocht	Windrichting weergegeven door de trek van de rook.
	2	1,5 – 3,4	6 – 12	lichte bries	Wind in het gezicht voelbaar, bladeren en windvanes bewegen.
	3	3,5 – 5,4	13 – 19	zachte bries, zwakke wind	Wind beweegt dunne takken en strekt wimpels.
	4	5,5 – 7,4	20 – 27	matige bries, matige wind	Wind beweegt takken en dunnere twijgen, tilt stof en los papier op.
1	5	7,5 – 10,4	28 – 37	stevige bries, frisse wind	Kleine loofbomen beginnen te wiegen, op meren komen schuimkoppen.
2	6	10,5 – 13,4	38 – 48	harde wind	Stevige takken wiegen, paraplu's zijn moeilijk vast te houden, telegraafkabels fluiten in de wind.
3	7	13,5 – 17,4	49 – 62	hevige wind	Voelbare belemmeringen bij het tegen de wind in lopen, hele bomen bewegen.
4	8	17,5 – 20,4	63 – 73	stormachtige wind	Takken breken van de bomen af, maakt het buiten lopen moeilijk.
5	9	20,5 – 24,4	74 – 87	storm	Takken breken van bomen, kleine schade aan huizen (dakpannen of rookkappen worden weggelicht).
6	10	24,5 – 28,4	88 – 102	zware storm	Wind breekt bomen, grotere schade aan huizen.
	11	28,5 – 32,4	103 – 117	orkaanachtige storm	Wind ontwortelt bomen, veel stormschade.
---	12	> 32,5 m/s	> 118 km/h	orkaan	Ernstige vernielingen.

Tabel 29: Overzicht van windkrachten, windsnelheden en de effecten ervan (Harol, 2015, p. 11)

Gemiddeld bereikt of overtreft de maximale windstoot om de 2 jaar de 35 m/s aan de kust en 23 à 30 m/s in het binnenland. Dit komt in het binnenland van België dus overeen met een zware storm tot orkaanachtige storm.<sup>250</sup> Buitenzonneweringen die tot windweerstandsklasse 6 behoren, weerstaan aan windkrachten tot 10 Beaufort of windsnelheden tot 32,40 m/s, wat overeenkomt met de winddruk bij een orkaanachtige storm.

Buitenzonneweringen van windweerstandsklasse 1 tonen vervormingen vanaf windsnelheden groter dan 10,40 m/s, welke al voorkomen bij een harde wind. Wanneer men de zonnewering robuust wil ontwerpen - wat wil zeggen dat deze bij hevige wind in gesloten toestand kan blijven – moet men dus opteren voor buitenzonneweringen met een windweerstandsklasse van 3 of hoger. Op deze manier zal de maximale winddruk van de zonnewering niet snel overschreden worden, bijgevolg zal deze bij zware wind niet automatisch sluiten en zal de oververhitting in de binnenruimte beperkt worden. Men kan zich echter afvragen of het noodzakelijk is dat buitenzonneweringen in gesloten toestand kunnen blijven bij hevige winden of zware stormen. Bij de renovatie kan men dus kiezen voor buitenzonneweringen met een lagere windweerstandsklasse, men dient er dan wel rekening mee te houden dat deze bij hoge windsnelheden automatisch zullen opengaan.

249. NBN EN 13561:2015/AC, 2016

250. Koninklijk Meteorologisch Instituut, z.d.

De producent Harol heeft meerdere buitenzonneweringen binnen zijn gamma die een windbelasting tot 140 km/u (of 39 m/s) kunnen weerstaan, waardoor deze tot de hoogste windweerstandsklasse behoren. De doeken die door Harol gebruikt worden, zijn afkomstig van de producent Serge Ferrari die een groot gamma aan buitenscreens aanbiedt. Net zoals bij binnenscreens zullen de LTA- en g-waarde doorslaggevend zijn voor de daglichttoetreding en oververhitting. De producent heeft screens in zijn gamma met een g-waarde tot 3% en een LTA-waarde tussen 3% en 28%. Er zijn dus verschillende mogelijkheden bij verschillende verdelers, de mate waarin de impact van de buitenzonnewering doorslaggevend is op het vlak van interne zonnwinsten is afhankelijk van de g-waarde van de beglazing. Bij heldere beglazing met een hoge g-waarde moet gecompenseerd worden door een buitenscreen met een lage g-waarde te installeren. Wanneer men voor zonwerende beglazing kiest, zal de g-waarde van de buitenscreen een hogere waarde kunnen aannemen. Opnieuw zal de g-waarde van de beglazing bepalen hoeveel uur gedurende zonnige dagen de zonnewering zich in gesloten toestand bevindt. Bij heldere beglazing zullen de interne zonnwinsten de grenswaarde sneller overschrijden waardoor de zonneweringen sneller zullen sluiten in vergelijking met zonwerende beglazing met een lagere g-waarde.

### **Dynamische beglazing**

Er zijn verschillende types dynamische beglazing, met elk hun eigen voor- en nadelen. De twee meest gebruikte types zijn thermochrome en electrochrome beglazing. Bij het eerste type is een LTA-waarde van 10 – 20% in zonwerende stand tot 50 – 60% in zondoorlatende stand te behalen en respectievelijk een g-waarde van 10 – 15% tot 28 – 35%. Bij het tweede type kan een LTA-waarde van 0 – 5% tot 65 – 71% worden en een g-waarde van 1 – 5% tot 30 – 35%. Het tweede type is dus performanter, maar impliceert ook een lagere lichttransmissie in zonwerende stand. De g-waarde in zonwerende stand bij dynamische beglazing is lager dan de performante g-waardes die bij gewone beglazing gebruikt worden. Een groot voordeel van dynamische beglazing is bijgevolg dat de zonnwinsten nog meer beperkt worden op momenten dat er risico is op oververhitting dan bij gewone performante beglazing, terwijl er meer zonne-energie het gebouw kan betreden in koude periodes, waardoor de NEB voor verwarming lager ligt. De beglazing is echter nog steeds aan verdere ontwikkeling onderhevig om ze te optimaliseren.<sup>251</sup>

### **Conclusie**

De keuze voor zonwerende beglazing in combinatie met binnen- of buitenzonnewering lijkt de meest logische bij renovatie van de S4. Nadelig aan heldere beglazing is het sneller sluiten van de binnenzonnewering als een gevolg van de grotere warmtewinsten in de binnenomgeving. Op zonnige dagen zal de binnenzonnewering in dit geval gedurende langere tijd gesloten zijn in vergelijking met zonwerende beglazing.

Bij zonwerende beglazing kan zowel voor binnen- als buitenzonnewering gekozen worden. Binnenzonnewering heeft als nadeel dat de ramen niet meer geopend kunnen worden wanneer de zonnewering in gesloten toestand is. Buitenzonnewering vereist typisch meer onderhoud en ondervindt sneller schade.

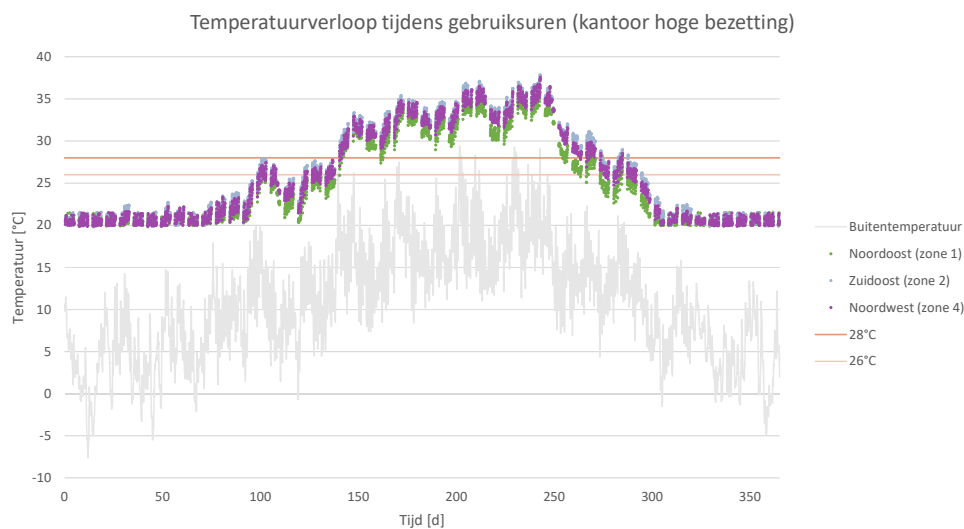
251. Clinquart, E., 2021

## 7.7.5 Resultaten dynamische simulaties - Daglichttoetreding en omgaan met oververhitting

### Oververhitting

Zoals in paragraaf 7.4.5 al aangetoond werd, is er in alle bezettingsscenario's sprake van oververhitting. In het kader van dit onderzoek wordt gekeken wat de impact is van het type beglazing en de zonnewering op kantoren met hoge bezetting, wat als meest kritieke scenario gezien wordt op vlak van oververhitting, op de uitzonderingsgevallen na.

Ter duiding van de oververhittingsproblematiek wordt hieronder het temperatuurverloop tijdens gebruiksuren van kantoren met hoge bezetting weergegeven, zoals gesimuleerd in paragraaf 7.4.5.



Figuur 145: Temperatuurverloop tijdens gebruiksuren voor een kantoor met hoge bezetting in gerenoveerde toestand

De binnentemperatuur ligt ook buiten het verwarmingsseizoen significant hoger dan de buitentemperatuur. Dit is het gevolg van een goede isolatie, waardoor warmte ten gevolge van de zonnwinsten en interne warmtewinsten niet meer naar buiten kan. Dit veroorzaakt ook in het tussenseizoen oververhitting. Onderstaande tabel geeft de oververhitting weer aan de hand van overschrijdingsuren en gewogen temperatuuroverschrijding:

Uren bezet $\theta > 26^{\circ}\text{C}$ zone 2	Uren bezet $\theta > 28^{\circ}\text{C}$ zone 2	GTO ( $^{\circ}\text{C}$ ) Zone 2	GTO (PPD) Zone 2	NEB voor verwarming [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]
1276	982	3032	4789	13,19

Tabel 30: Absolute overschrijdingsuren, GTO en NEB voor verwarming bij kantoren met hoge bezetting in gerenoveerde toestand

De absolute overschrijdingsuren overschrijden sterk de richtwaarden volgens de UGent, namelijk 100 uur een temperatuur boven 26°C en 20 uur boven 28°C. Bovendien mag de GTO maximaal 150h bedragen voor een goed comfort en 250h voor een aanvaardbaar comfort. Het is dus duidelijk dat er sprake is van sterke oververhitting. Hieraan moet aandacht besteed worden bij de keuze van beglazing, zonnewering en koeling bij de renovatie. Koeling wordt later verder besproken.

## Extra wijzigingen in het simulatiemodel

Er wordt enkel een vergelijking gemaakt op vlak van beglazing en zonnewering. Voor de rest staan de parameters vast, zoals beschreven in paragraaf 7.4.5. De wijzigingen van de parameters zoals hieronder beschreven, worden aangebracht in het structuurmodel.

### Verschillende scenario's

nr.	g-waarde beglazing	Zonnewering: transmissie van de kortegolflengtestraling	Invallende zonnestaling waarbij zonnewering omlaag gaat [W/m <sup>2</sup> ]
1.	0,55	geen zonnewering	geen zonnewering
2.	0,55	0,26	300
3.	0,55	0,26	150
4.	0,55	0,10	300
5.	0,55	0,10	150
6.	0,28	0,26	300
7.	0,28	0,26	150
8.	0,28	0,10	300
9.	0,28	0,10	150

Tabel 31: Overzicht 9 scenario's met variaties in beglazing en zonnewering

Er worden negen verschillende scenario's met elkaar vergeleken. Deze zijn een samenspel van verschillende parameters. Als eerste wordt er onderscheid gemaakt in de g-waarde van de beglazing. Naast de relatief heldere beglazing die tot nu toe gebruikt werd, wordt er ook een sterk zonwerende beglazing bekeken, namelijk het type 'SGG Cool-lite XTREME 60/28 (2) and planiclear' uit de IDEAS bibliotheek. Dit type heeft een g-waarde van 0,28 en een gelijke U-waarde aan het andere type, namelijk 1,0 W/(m<sup>2</sup>.K).<sup>252</sup>

Als tweede is er naast de performante binnenzonnewering die 26% van de zonne-energie doorlaat ook gekeken naar een performante buitenzonnewering, waar de transmissie van de kortegolflengtestraling 10% bedraagt. Bovendien wordt er ook gekeken naar een scenario zonder zonnewering.

Als laatste is er een variatie in hoe snel de zonnewering omhoog gaat. Tot nu toe werd als instelling gebruikt dat de zonnewering omlaag gaat bij een zonne-inval van 300 W/m<sup>2</sup> op de gevel. Dit leunt eerder aan bij wat mensen comfortabel vinden op vlak van daglichttoetreding, 150 W/m<sup>2</sup> is de standaardinstelling volgens de IDEAS bibliotheek<sup>253</sup>, die eerder gebruikt wordt bij performante gebouwen. Ter illustratie wordt hieronder weergegeven hoe vaak de zonnewering naar beneden gaat tijdens gebruikstijd bij de verschillende instellingen:

	Uren naar beneden tijdens gebruikstijd bij 150 W/m <sup>2</sup>	Relatief aantal uren naar beneden tijdens gebruikstijd bij 150 W/m <sup>2</sup>	Uren naar beneden tijdens gebruikstijd bij 300 W/m <sup>2</sup>	Relatief aantal uren naar beneden tijdens gebruikstijd bij 300 W/m <sup>2</sup>
Noordoost (zone 1)	410,8	15,8%	32,3	1,2%
Zuidoost (zone 2)	966,1	37,2%	519,9	20,0%
Noordwest (zone 4)	577,5	22,2%	113,9	4,4%

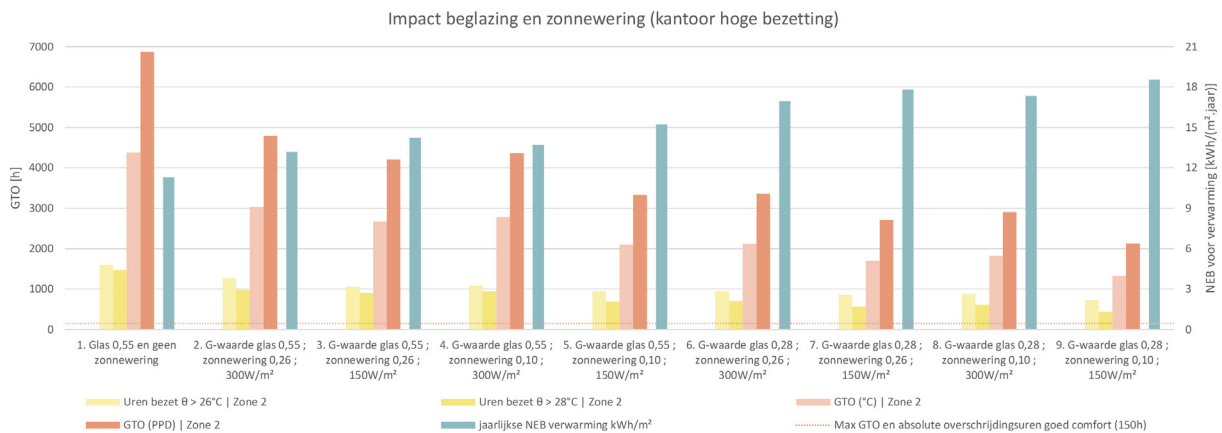
Tabel 32: Overzicht met het aantal uren dat de zonnewering omlaag gaat voor de verschillende oriëntaties

252. IDEAS library, 2022

253. IDEAS library, 2022

## Resultaten

Onderstaande grafiek en tabel geven de resultaten in alle scenario's weer:



Figuur 146: Absolute overschrijdingsuren, GTO en NEB voor verwarming voor verschillende scenario's met variatie in beglazing en zonnewering

Scenario	Uren bezet $\theta > 26^{\circ}\text{C}$ Zone 2	Relatieve daling t.o.v. scenario 1	Uren bezet $\theta > 28^{\circ}\text{C}$ Zone 2	Relatieve daling t.o.v. scenario 1	GTO ( $^{\circ}\text{C}$ ) Zone 2 [h]	Relatieve daling t.o.v. scenario 1	GTO (PPD) Zone 2 [h]	Relatieve daling t.o.v. scenario 1	NEB voor verwarming [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	Relatieve stijging t.o.v. scenario 1
1. Glas 0,55 en geen zonnewering	1606	-26%	1471	-50%	4379	-44%	6875	-44%	11,31	-14%
2. G-waarde glas 0,55 Zonnewering 0,26 ; 300W/m <sup>2</sup>	1276	0%	982	0%	3032	0%	4789	0%	13,19	0%
3. G-waarde glas 0,55 Zonnewering 0,26 ; 150W/m <sup>2</sup>	1055	17%	904	8%	2675	12%	4208	12%	14,24	8%
4. G-waarde glas 0,55 Zonnewering 0,10 ; 300W/m <sup>2</sup>	1087	15%	944	4%	2781	8%	4365	9%	13,69	4%
5. G-waarde glas 0,55 Zonnewering 0,10 ; 150W/m <sup>2</sup>	943	26%	688	30%	2102	31%	3337	30%	15,23	16%
6. G-waarde glas 0,28 Zonnewering 0,26 ; 300W/m <sup>2</sup>	945	26%	704	28%	2118	30%	3363	30%	16,95	29%
7. G-waarde glas 0,28 Zonnewering 0,26 ; 150W/m <sup>2</sup>	858	33%	564	43%	1701	44%	2710	43%	17,81	35%
8. G-waarde glas 0,28 Zonnewering 0,10 ; 300W/m <sup>2</sup>	886	31%	617	37%	1831	40%	2903	39%	17,34	32%
9. G-waarde glas 0,28 Zonnewering 0,10 ; 150W/m <sup>2</sup>	718	44%	441	55%	1328	56%	2124	56%	18,54	41%

Tabel 33: Absolute overschrijdingsuren, GTO en NEB voor verwarming voor verschillende scenario's met variatie in beglazing en zonnewering

Het is duidelijk dat de keuze van beglazing en zonnewering zowel een impact hebben op de oververhitting, alsook op de verwarmingsvraag door de lagere zonnewinsten. Bij kantoren met hoge bezetting blijft de verwarmingsvraag relatief beperkt tot 18,54 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar), wat ver onder de eis van Sweco ligt. In scenario's met een hogere warmtevraag, moet dit echter in gedachten gehouden worden wanneer men de oververhitting tracht te beperken.

Het verlagen van de g-waarde van het glas heeft duidelijk de grootste impact, zowel op oververhitting als op de verwarmingsvraag. Als vanuit het standaardscenario enkel het glas vervangen wordt, is er een sterke daling in GTO ( $^{\circ}\text{C}$ ) van 30%, maar ook een sterke stijging in verwarmingsvraag van 29%.

De impact van de zonnewering sneller omlaag te laten, is hier groter dan het kiezen voor een meer performante zonnewering. Uiteraard hangt dit af van de gekozen waarden, maar desalniettemin is dit een belangrijk gegeven. Binnenzonnwering heeft namelijk het voordeel dat ze niet wordt blootgesteld aan weersomstandigheden, dit in combinatie met de goede resultaten kan in het voordeel ervan pleiten.

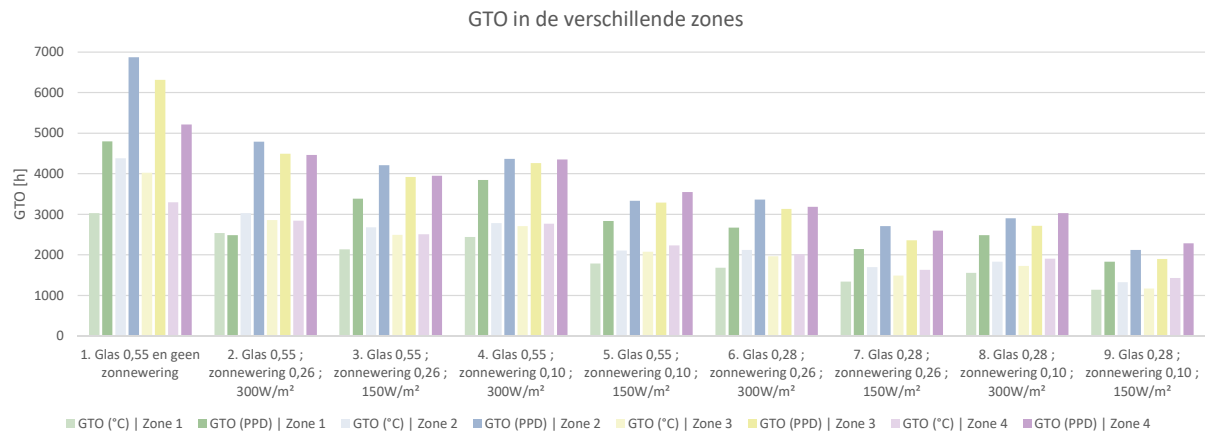
Daarnaast is de verhouding tussen daling in oververhitting en stijging in warmtevraag niet altijd proportioneel. Scenario's 5 en 6 hebben bijvoorbeeld een vrij gelijkaardige daling in oververhitting, maar de stijging in warmtevraag scheelt 13%, scenario 6 is bijgevolg te vermijden.



De temperatuurverlopen tijdens gebruikstijd van de verschillende scenario's zijn in bijlage 9 te vinden.

### Vergelijking verschillende zones

Tot nu toe werd aangenomen dat zone 2 telkens de meest kritieke zone zou zijn. Om na te gaan of deze aanname correct is, wordt hieronder de gewogen temperatuuroverschrijding in de verschillende zones weergegeven voor de verschillende scenario's.



Figuur 147: Gewogen temperatuuroverschrijding in de 4 zones voor de verschillende scenario's met variatie in beglazing en zonnepanelen

Scenario	GTO (°C) Zone 1 [h]	GTO (PPD) Zone 1 [h]	GTO (°C) Zone 2 [h]	GTO (PPD) Zone 2 [h]	GTO (°C) Zone 3 [h]	GTO (PPD) Zone 3 [h]	GTO (°C) Zone 4 [h]	GTO (PPD) Zone 4 [h]
1. Glas 0,55 en geen zonnepanelen	3031	4795	4379	6875	4021	6318	3291	5208
2. G-waarde glas 0,55 ; zonnepanelen 0,26 ; 300W/m²	2538	2488	3032	4789	2856	4490	2839	4462
3. G-waarde glas 0,55 ; zonnepanelen 0,26 ; 150W/m²	2138	3383	2675	4208	2490	3916	2503	3947
4. G-waarde glas 0,55 ; zonnepanelen 0,10 ; 300W/m²	2440	3845	2781	4365	2712	4263	2770	4350
5. G-waarde glas 0,55 ; zonnepanelen 0,10 ; 150W/m²	1789	2834	2102	3337	2072	3289	2233	3545
6. G-waarde glas 0,28 ; zonnepanelen 0,26 ; 300W/m²	1681	2673	2118	3363	1968	3131	2013	3185
7. G-waarde glas 0,28 ; zonnepanelen 0,26 ; 150W/m²	1339	2147	1701	2710	1490	2359	1629	2591
8. G-waarde glas 0,28 ; zonnepanelen 0,10 ; 300W/m²	1560	2488	1831	2903	1724	2713	1909	3025
9. G-waarde glas 0,28 ; zonnepanelen 0,10 ; 150W/m²	1144	1831	1328	2124	1165	1894	1430	2288

Tabel 34: Gewogen temperatuuroverschrijding in de 4 zones voor de verschillende scenario's met variatie in beglazing en zonnepanelen

Er zijn gevallen waarin de GTO in zone 2 niet de hoogste is. In scenario's 5, 8 en 9 ligt de oververhitting in zone 4 hoger dan deze in zone 2. Bovendien is het verschil in GTO tussen zone 2 en 4 in scenario 4 erg klein. Dit zijn de scenario's waar de transmissie van de kortegolflengtestraling van de zonnepanelen 0,10 bedraagt. Als hiervoor gekozen zou worden, kan hier aandacht aan besteed worden bij de keuze van de inplanting van de lokalen.

De aanname dat zone 2 de meest kritieke zone is, is dus bijna altijd correct. In de gevallen waar deze aanname niet klopt is het verschil oververhitting verwaarloosbaar. In het vervolg van het onderzoek wordt er bijgevolg enkel op zone 2 gefocust bij de oververhitting.

### Conclusie

Gezien de grote glasoppervlakken bij de S-gebouwen, is het belangrijk correct om te gaan met oververhitting. Het verlagen van de g-waarde van het glas van 0,55 naar 0,28 heeft de grootste impact op de oververhitting, hierbij stijgt echter ook de NEB voor verwarming sterk. Ook het sneller omlaag laten gaan van de zonnepanelen (bij 150 W/m² in plaats van 300 W/m²) heeft een grote impact, de stijging in NEB voor verwarming is hierbij kleiner. Bovendien tonen de simulaties aan dat de aanname dat zone 2 de meest kritieke zone is op vlak van oververhitting in het overgrote deel van de gevallen correct is. Deze aanname wordt bijgevolg aangehouden.

## 7.8 Ventilatie

Bij het dimensioneren van het ventilatiesysteem op verdiepniveau wordt gekeken naar de verschillende herbestemmingsscenario's en de bijhorende bezettingen. Deze bepalen het nodige toevoerdebiet ( $\text{m}^3/\text{h}/\text{pers}$ ) voor hygiënische ventilatie bij een bepaalde IDA-klasse. Bij de dimensionering wordt de codex over het welzijn op het werk gevolgd, die IDA-klasse 2 vooropstelt met een minimaal toevoerdebiet van  $40 \text{ m}^3/\text{h}/\text{pers}$ .<sup>254</sup> Bij verschillende scenario's wordt een situatie met lage en hoge bezetting geschetst, dit telkens voor een segment van een typeverdieping met een oppervlakte van  $18 \text{ m}^2$ .

De nodige toevoerdebieten verschillen erg van elkaar. Bij scenario's met een hoge bezetting zijn de debieten tot tienmaal groter dan bij scenario's met minimale bezetting. Met het oog op flexibel gebouwgebruik op lange termijn dient een ventilatiesysteem ontworpen te worden dat bij verschillende herbestemmingsscenario's de vereiste debieten voor hygiënische ventilatie kan leveren. Onder de verschillende scenario's zijn er twee functies die een beduidend groter debiet vragen dan andere functies, namelijk de laboruimte en het auditorium. Dit is een gevolg van de hoge bezettingsgraad bij auditoria en het gevraagde ventilatievoud bij laboruimtes. Voor PMGE lokalen (producten met gevaarlijke eigenschappen) wordt er bijvoorbeeld geopteerd voor 5 luchtwisselingen per uur van het lokaal. Van zodra er trekkasten aanwezig zijn, kan dit ventilatievoud echter aanzienlijk stijgen.<sup>255</sup> Bij nieuwe labo's met trekkasten kan het debiet per trekkast bijvoorbeeld oplopen tot  $975,00 \text{ m}^3/\text{u}$  per kast.<sup>256</sup> De bovengrens voor een laboruimte na herbestemming wordt voor het S4 gebouw op 15 luchtwisselingen per uur gelegd.

Gezien de grote ventilatievraag worden deze dus als uitzondering beschouwd en wordt het systeem gedimensioneerd op een maximaal debiet van  $360 \text{ m}^3/\text{h}$  per segment. Dit om een overdimensionering op gebouwniveau te vermijden. Later wordt echter wel onderzocht wat de gevolgen zijn van het implementeren van laboratoria en auditoria voor het ventilatiesysteem. In wat volgt worden mogelijke ventilatiesystemen onderzocht. De tabel geeft de bezettingsgraad en debieten bij verschillende herbestemmingsscenario's weer.

Scenario	Lage bezetting [#m <sup>2</sup> /persoon]	Hoge bezetting [#m <sup>2</sup> /persoon]	Aantal personen bij lage bezetting (per segment van 18 m <sup>2</sup> )	Aantal personen bij hoge bezetting (per segment van 18 m <sup>2</sup> )	Minimaal ventilatiedebiet [m <sup>3</sup> /h]	Maximaal ventilatiedebiet [m <sup>3</sup> /h]
(Landschaps)kantoor	20,00	10,00	1,00	2,00	40,00	80,00
Leslokaal	3,50	/	5,00	/	200,00	/
PC-lokaal	3,50	/	5,00	/	200,00	/
Auditorium	2,00	1,00	9,00	18,00	360,00	720,00
Laboruimte	4,00	/	5,00	/	325,00	975,00
Studentenkamer	/	20,00	/	1,00	4,00	40,00

Tabel 35: Ventilatiedebieten bij verschillende herbestemmingsscenario's bij lage en hoge bezetting

254. Codex over het welzijn op het werk, 2017

255. Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2020

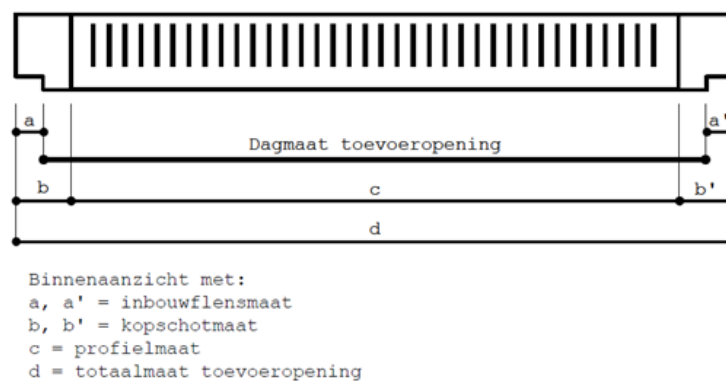
256. Seeuws, M., persoonlijke communicatie, 1 juni 2022

## 7.8.1 Natuurlijke ventilatie

### Componenten

Eerder werden de principes van natuurlijke ventilatie op gebouwniveau besproken, op verdiepingsniveau worden de mogelijke debieten verkregen door toevoerroosters in de gebouwschil bepaald. Zoals eerder vermeld dient men bij de renovatie van de gevel het oorspronkelijke ontwerp in ere te houden. Het implementeren van RTO's kan enerzijds heel subtiel gebeuren met minimale raamroosters, anderzijds zijn ook grotere gevelroosters een optie. Let wel dat grotere roosters vaak grotere ventilatieverliezen met zich meebrengen. Om de U-waarde van het raam in zijn geheel onder de EPB-eis te houden, wordt het best gewerkt met RTO's die voorzien zijn van thermische isolatie.

Verse buitenlucht komt het gebouw binnen langs RTO's, vervolgens baant het zich een weg doorheen doorstroomopeningen naar afvoerruimtes. Men moet dus doorstroom-, toevoer- en afvoeropeningen correct dimensioneren om een continue luchtstroom doorheen het gebouw te realiseren. De luchtstroom is namelijk afhankelijk van het debiet doorheen de kleinste opening. De toevoeropeningen van een natuurlijk ventilatiesysteem worden gedimensioneerd voor een maximaal drukverschil van 2 Pa.<sup>257</sup> Bij de dimensionering van de toevoeropeningen spreekt men van de dagmaat, de inbouwflensmaat, de kopschotmaat en de profielmaat. Deze worden bepaald langs de binnenzijde van het gebouw. In het geval van de S4 wordt geschat dat er per schrijnwerkgeheel na renovatie 2,50 lopende meter beschikbaar zal zijn voor de implementatie van RTO's. De effectieve profielmaat is afhankelijk van de installatiewijze en het type rooster. Om verschillende producten met elkaar te kunnen vergelijken, wordt in wat volgt met een profielmaat van 2,50 m gewerkt.



Figuur 148: Voorbeeld van dagmaat van een toevoeropening (Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2021)

Om het debiet doorheen een rooster bij een drukverschil van 2Pa te berekenen wordt volgende formule gebruikt.

$$Q = q_1 \times (\text{totaalmaat RTO} - 2 \times \text{kopschot} - L_0)$$

Wanneer de kopschotmaat twee keer van de totaalmaat wordt afgetrokken, krijgt men de profielmaat, waarvoor zoals eerder vermeld een waarde van 2,50 m wordt aangenomen. De  $L_0$ - en  $q_1$ - waarde karakteriseren RTO's met veranderlijke lengte. Deze waarden worden proefmatig vastgelegd door de producent waarbij de druk-debiet verhouding van één type RTO voor tenminste drie verschillende roosterlengten beschouwd wordt. Voor elk van de lengten wordt het debiet bij een drukverschil van 2Pa bepaald.

257. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2021, p.10

Vervolgens wordt de relatie tussen het nominale debiet en de lengte van de RTO bepaald.<sup>258</sup>

In wat volgt worden bij verschillende producenten enkele RTO's vergeleken op het vlak van het verkregen debiet bij een drukverschil van 2Pa. Hierbij wordt voor raamroosters gekozen met beperkte afmetingen. Dit in de veronderstelling dat werken met gevelroosters met grotere openingen te grote warmteverliezen met zich mee zou brengen. Bovendien hebben grotere roosters typisch een hogere U-waarde waardoor de U-waarde van het schrijnwerkgeheel zal toenemen.

Om het debiet door een rooster te berekenen, wordt gebruik gemaakt van de  $L_0$ - en  $q_1$ -waarden die in de technische fiches van de producent vermeld worden. In tabel 36 wordt de  $L_0$ -waarde slechts eenmaal van de totale profielmaat afgetrokken. Wanneer met twee roosters per gevelsegment gewerkt wordt, moet men van de profielmaat van elk van deze roosters de  $L_0$ -waarde aftrekken. Dit leidt echter tot een klein verschil in toevoerdebiet van slechts enkele  $m^3/h$ .

Naast de installatiewijze wordt ook de manier van bediening meegegeven. De roosters die bij de producent Duco beschikbaar zijn, zijn zelfregelende roosters. Door de zelfregelende klep in het toevoerrooster die reageert op drukverschillen, is het mogelijk om ook bij hoge winddrukken het luchtdebiet constant te houden en tocht te vermijden. De zelfregelendheid wordt uitgedrukt in verschillende klassen, van klasse P0 (niet zelfregelend) tot P4 (uitstekend zelfregelend).<sup>259</sup> De meeste roosters bij producent Renson hebben geen zelfregelende werking waardoor het risico op tocht bij hoge winddrukken toeneemt. Deze roosters kunnen manueel of met een motor bestuurd worden, de gebruiker kan dus het rooster sluiten wanneer hij tocht ondervindt. Nadelig bij manueel bestuurde roosters is het wegvallen van hygiënische ventilatie wanneer de gebruiker het rooster sluit, bij zelfregelende roosters zorgt het constante luchtdebiet voor constante luchttoevoer.

Het debiet bij herbestemmingsscenario's met een lage en hoge bezetting verschilt erg van elkaar. Om overbodige ventilatieverliezen te beperken moeten de toevoerdebieten door de roosters aangepast kunnen worden aan de bezetting van de ruimte, dit is vraaggestuurde ventilatie. Bij een natuurlijk ventilatiesysteem kan dit geregeld worden door bijvoorbeeld  $CO_2$ -sensoren in de ruimte te installeren die op basis van het  $CO_2$ -gehalte in de ruimte de RTO's regelen in toevoerdebiet; bij hoge  $CO_2$ -waarden zullen de kleppen vaker openstaan dan bij lage waarden. Idealiter kunnen de roosters aan de hand van motoren bestuurd worden, welke reageren op impulsen van de sensoren.

Product	Verdeler	U-waarde [W/m <sup>2</sup> K]	$q_1$ bij 2 Pa [m <sup>3</sup> /h/m]	$L_0$ bij 2 Pa [m]	Profielmaat S4 [m]	Debiet bij 2 Pa [m <sup>3</sup> /h]	Installatiewijze	Bediening
TC60	Renson	3,30	65,50	n.g.	2,50	163,75	op glas/ traverse	manueel
THK90	Renson	3,90	61,10	0,05	2,50	149,70	op glas/ traverse	manueel/motor
THL100	Renson	3,90	76,80	0,13	2,50	182,02	op glas/ traverse	manueel/motor
AR75	Renson	3,00	105,00	0,05	2,50	257,25	op glas/ traverse	zelfregelend P4
Sonovent XLarge	Renson	4,70	95,40	0,03	2,50	235,64	op glas/op traverse/achter lamellen	zelfregelend P3
TronicVent AK	Duco	1,88	65,00	0,22	2,50	148,20	op raamkader	zelfregelend P3
TronicGlasMax	Duco	1,56	123,90	-0,01	2,50	310,99	op glas/traverse/raamkader	zelfregelend P4
SkyVent ZR	Duco	3,60	65,00	0,11	2,50	155,35	op raamkader	zelfregelend P3

Tabel 36: Overzicht van RTO's en hun eigenschappen bij natuurlijke luchtafvoer

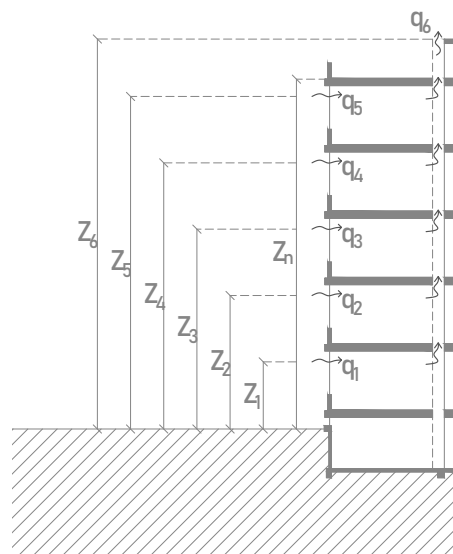
258. Afdeling Energie en Klimaat WTCB, 2007

259. Renson, 2022

Wanneer de verkregen debieten vergeleken worden met de nodige toevoerdebieten bij hoge bezetting in verschillende herbestemmingsscenario's, kan besloten worden dat geen van deze roosters het gewenste maximaal debiet kan leveren. Zoals eerder vermeld, kan er geopteerd worden voor grotere raamroosters of gevelroosters, maar dit brengt een groter warmteverlies met zich mee. Daarnaast is het volledig berusten op natuurlijke ventilatie in het geval van de S4 geen sluitende oplossing door de specifieke situatie van winddrukken over de verschillende gevels heen zoals reeds besproken op gebouwniveau. Bij herbestemmingsscenario's met een lagere bezettingsgraad en kleinere debieten kunnen de RTO's wel het gewenste toevoerdebiet leveren.

### *Integratie*

Naast het moeilijk behalen van het maximale toevoerdebiet is ook het creëren van een vlotte luchtcirculatie op verdiepings- en gebouwniveau een uitdaging. De afvoer van de binnenlucht kan gebeuren aan de hand van verschillende natuurlijke ventilatieprincipes, zoals reeds geformuleerd op gebouwniveau. Bij de analyse op gebouwniveau werd geconcludeerd dat het realiseren van dwarsventilatie op verdiepingsniveau geen sluitende oplossing is als een gevolg van de specifieke winddrukken over de verschillende gevels van het gebouw. Het inzetten op het schouweffect, bij wind bijgestaan door windvangers is het meest passende scenario wanneer men volledig wil inzetten op natuurlijke ventilatie. In wat volgt worden de nodige secties van de ventilatieschachten bepaald opdat het gewenste afvoerdebiet gerealiseerd kan worden door het schouweffect. Daarnaast wordt de mogelijkheid tot integratie van deze kanalen in het gebouw geanalyseerd.



Figuur 149: Toe- en afvoeropeningen bij schachtventilatie in de S4(bis)

Om een beeld te krijgen van de dimensies van de verticale extractiekanalen bij natuurlijke ventilatie wordt bovenstaand, vereenvoudigd scenario uitgewerkt naar een voorbeeld van David Etheridge uit het handboek 'Natural ventilation in non-domestic buildings'.<sup>260</sup> In deze vereenvoudigde situatie komt lucht door openingen in de gevel het gebouw binnen, na verloop van tijd verlaat de binnenlucht het gebouw langs een centrale extractieschacht. Men gaat ervan uit dat de opening tussen de binnenruimte en de extractieschacht voldoende groot is zodat het debiet niet verkleind wordt en de luchtstroom niet verstoord wordt. De openingen worden bij deze berekening echter niet meegenomen. Daarnaast gaat men ervan uit dat er

260. Cibse, 2005, p.48

openingen in de gevel zitten, waar RTO's geïnstalleerd zijn. Als vertrekpunt wordt gerekend met de toevoerdebieten verkregen door het rooster THL100 van de producent Renson, namelijk een toevoerdebiet van ongeveer 180 m<sup>3</sup>/h. Men werkt hier dus niet met de afmetingen van het rooster, maar met de afmetingen van een gevelopening met een gelijkaardig toevoerdebiet. Bij het uitvoeren van deze berekening worden de binnen- en buitentemperaturen op een hete zomerdag genomen. De situatie met een klein verschil tussen binnen- en buitentemperatuur is de meest kritieke situatie aangezien de gewenste debieten bij een klein temperatuurverschil moeilijker te realiseren zijn.<sup>261</sup> Meer specifiek wordt er gewerkt met een buitentemperatuur van 22°C en een binnentemperatuur van 25°C.

De  $z_i$ -factor slaat op de hoogte van de toevoeropening boven het maaiveld. De  $z_n$ -factor duidt de positie van de neutrale lijn aan, dit is de hoogte waarop het dimensieloze drukverschil,  $\Delta p_0$ , gelijk is aan 0, waar het drukverschil bijgevolg van teken verandert. Aangezien het van  $q_1$  tot  $q_5$  over positieve drukken gaat (toevoer van lucht) en het enkel bij  $q_6$  over een negatieve druk gaat (extractie van lucht) moet deze neutrale lijn zich tussen  $z_5$  en  $z_6$  bevinden. Hier wordt de hoogte van het dak als  $z_n$ -waarde aangenomen, namelijk 21 meter. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de nodige factoren om het drukverschil  $\Delta p_0$  over de lengte van de extractieschacht te berekenen. Dit drukverschil wordt als volgt berekend:

$$\Delta p_0 = \Delta \rho_0 g z_n$$

Om het verschil in dichtheid  $\Delta \rho_0$  te berekenen wordt volgende formule gebruikt.

$$\frac{\Delta \rho_0}{\rho_0} = \frac{T_I - T_E}{T_E + 273}$$

met

Binnentemperatuur	$T_I$	25,00	[°C]
Buitentemperatuur	$T_E$	22,00	[°C]
Temperatuurverschil	$\Delta T_0$	3,00	[K]
Referentiedichtheid	$\rho_0$	1,20	[kg/m <sup>3</sup> ]
Vershil in dichtheid	$\Delta \rho_0$	0,01	[kg/m <sup>3</sup> ]
Drukverschil	$\Delta p_0$	2,49	[Pa]

Tabel 37: Overzicht van de variabelen ter berekening van het verschil in dichtheid

Als waarde voor de referentiedichtheid wordt de dichtheid van lucht genomen. Men verkrijgt een drukverschil van 2,49 Pa. Na deze waarde bepaald te hebben kan men het drukverschil  $\Delta p_i$  tussen de verschillende toevoeropeningen en het extractiepunt bepalen. Vervolgens kan men dit drukverschil gebruiken om een waarde te bepalen voor het product  $C_{di} A_i$ . Voor alle gevelopeningen wordt eenzelfde waarde voor de stromingscoëfficiënt  $C_{di}$  aangenomen aangezien deze van hetzelfde type zijn. De stromingscoëfficiënt geeft de verhouding van de werkelijke stroming tot de ideale stroming door een opening weer. Voor gevelopeningen wordt een waarde van 0,60 genomen.<sup>262</sup> Aangezien deze waarde bij elke opening dezelfde is, kan uit het product  $C_{di} A_i$ , nu de oppervlakte van de opening berekend worden.

261. Cibse, 2005, p. 10

262. Cibse, 2005, p. 45

Onderstaande formules worden gebruikt bij de berekeningen.

$$\Delta p_i = \Delta \rho_0 g z_n - \Delta \rho_0 g z_i$$

$$C_{di} A_i = \frac{q_i}{S_i} \sqrt{\frac{\rho_0}{2|\Delta p_i|}}$$

De  $S_i$ -factor geeft de stromingsrichting van de lucht weer, waarbij +1 staat voor het stromen van lucht van buiten naar binnen, en -1 geeft een stroming van binnen naar buiten weer. Onderstaande tabel geeft de resultaten van de berekeningen mee.

Opening	Type	Hoogte $z_i$ [m]	$q_i$ [m <sup>3</sup> /s]	$S_i$	$\Delta P_i$ [Pa]	$C_{di} * A_i$ [m <sup>2</sup> ]	$C_{di}$	$A_i$ [m <sup>2</sup> ]
1	pulsie	4,40	0,05	1	1,9873	0,0275	0,60	0,05
2	pulsie	8,40	0,05	1	1,5084	0,0315	0,60	0,05
3	pulsie	12,40	0,05	1	1,0296	0,0382	0,60	0,06
4	pulsie	16,40	0,05	1	0,5507	0,0522	0,60	0,09
5	pulsie	20,40	0,05	1	0,0718	0,1445	0,60	0,24
6	extractie	23,50	-0,25	-1	-0,2993	0,3540	0,60	0,59

Tabel 38: Grootte van de toe- en afvoeropeningen bij schachtventilatie in de S4(bis) bij een toevoerdebiet van 180 m<sup>3</sup>/h per segment

De oppervlakte van de toevoeropening neemt toe naar de bovenste bouwlaag toe. Des te dichter men de neutrale lijn nadert, des te kleiner het drukverschil tussen binnen en buiten wordt. Bijgevolg neemt ook de toevoer van lucht af, wat gecompenseerd moet worden door een grotere toevoeropening. De onderste rij geeft de resultaten weer voor het extractiepunt, waarbij de extractieschacht bovenaan een opening moet hebben van 0,59 m<sup>2</sup> bij toevoerdebieten van 180m<sup>3</sup>/h op elke verdieping. Let wel dat dit de helft is van het nodige toevoerdebiet bij een hoge bezetting. Bij een toevoerdebiet van 360 m<sup>3</sup>/h op elke verdieping is er nood aan een opening van 1,18 m<sup>2</sup>. Bijgevolg moet de opening dubbel zo groot zijn wanneer het debiet verdubbelt.

Opening	Type	Hoogte $z_i$ [m]	$q_i$ [m <sup>3</sup> /s]	$S_i$	$\Delta P_i$ [Pa]	$C_{di} * A_i$ [m <sup>2</sup> ]	$C_{di}$	$A_i$ [m <sup>2</sup> ]
1	pulsie	4,40	0,10	1	1,9873	0,0549	0,60	0,09
2	pulsie	8,40	0,10	1	1,5084	0,0631	0,60	0,11
3	pulsie	12,40	0,10	1	1,0296	0,0763	0,60	0,13
4	pulsie	16,40	0,10	1	0,5507	0,1044	0,60	0,17
5	pulsie	20,40	0,10	1	0,0718	0,2890	0,60	0,48
6	extractie	23,50	-0,50	-1	-0,2993	0,7079	0,60	1,18

Tabel 39: Grootte van de toe- en afvoeropeningen bij schachtventilatie in de S4(bis) bij een toevoerdebiet van 360 m<sup>3</sup>/h per segment

Na het bepalen van de nodige extractie-opening kan ook de doorsnede van het extractiekanaal bepaald worden. De EPB-regelgeving stelt in bijlage X dat afvoerkanalen bij natuurlijke ventilatie gedimensioneerd moeten worden voor een maximale luchtsnelheid van 1m/s.<sup>263</sup> Wanneer de situatie per schacht berekend wordt, kunnen zo op elke verdieping de nodige afmetingen van de extractiekanalen bepaald worden.

Verdieping	Extractiedebiet		Kanaal	$V_{\max}$ [m/s]	Nodige sectie [m <sup>2</sup> ]
	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /s]			
Gelijkvloers	360,00	0,10	hoofdkanaal	1,00	0,10
Eerste verdieping	720,00	0,20	hoofdkanaal	1,00	0,20
Tweede verdieping	1080,00	0,30	hoofdkanaal	1,00	0,30
Derde verdieping	1440,00	0,40	hoofdkanaal	1,00	0,40
Vierde verdieping	1800,00	0,50	hoofdkanaal	1,00	0,50

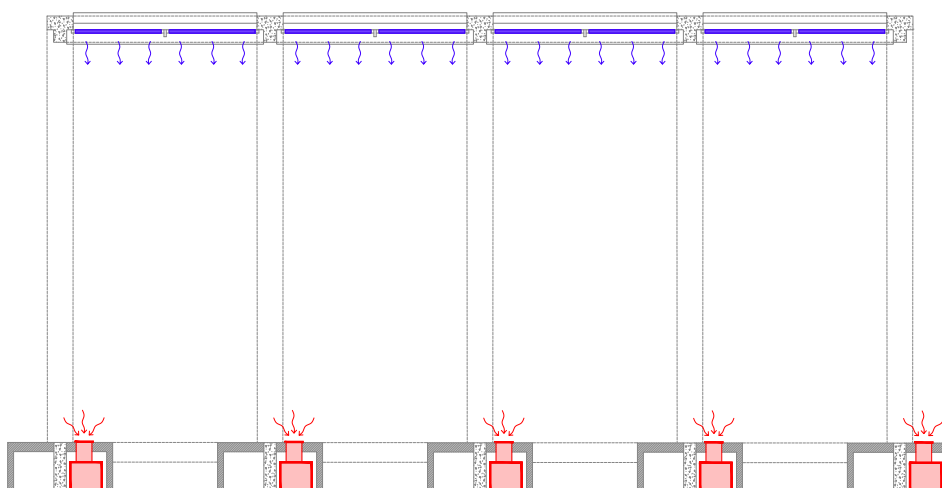
Tabel 40: Vereiste afmetingen van het hoofdkanaal bij een afvoerdebiet van 360 m<sup>3</sup>/h per segment

Zoals uit de analyse van de S4 blijkt, bestaat elk verticaal kanaal uit twee schachten, met elks een beschikbare oppervlakte van 0,24 m<sup>2</sup>. Wanneer beide kanalen ingezet worden voor luchtafvoer, zou men het maximale debiet voor hygiënische ventilatie aan de hand natuurlijke ventilatie ongeveer kunnen verwezenlijken. Naast ventilatiekanalen moeten ook leidingen voor sanitair warm water, verwarming, koeling, elektriciteitsvoorzieningen etc. weggewerkt worden in deze schachten. Het volledig inzetten van de doorsnede voor ventilatie heeft dus gevolgen voor de integratie van andere voorzieningen. Het afvoeren van lucht bij hoge bezettingsgraden doorheen de bestaande verticale kanalen vormt dus een uitdaging gezien de beschikbare afmetingen.

Wanneer men omgekeerd redeneert en kijkt welk toevoerdebiet afgevoerd zou kunnen worden op een natuurlijke wijze door één verticaal kanaal, wordt een toevoerdebiet van 160,00 m<sup>3</sup>/h verkregen, per segment op elk verdiep. Concreet is dit het geval bij de herbestemmingsscenario's met een bezetting van 5 m<sup>2</sup>/persoon, rekening houdende met een toevoerdebiet van 40 m<sup>3</sup>/h/persoon.

Verdieping	Extractiedebiet		Kanaal	$V_{\max}$ [m/s]	Nodige sectie [m <sup>2</sup> ]
	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /s]			
Gelijkvloers	160,00	0,04	hoofdkanaal	1,00	0,04
Eerste verdieping	320,00	0,09	hoofdkanaal	1,00	0,09
Tweede verdieping	480,00	0,13	hoofdkanaal	1,00	0,13
Derde verdieping	640,00	0,18	hoofdkanaal	1,00	0,18
Vierde verdieping	800,00	0,22	hoofdkanaal	1,00	0,22

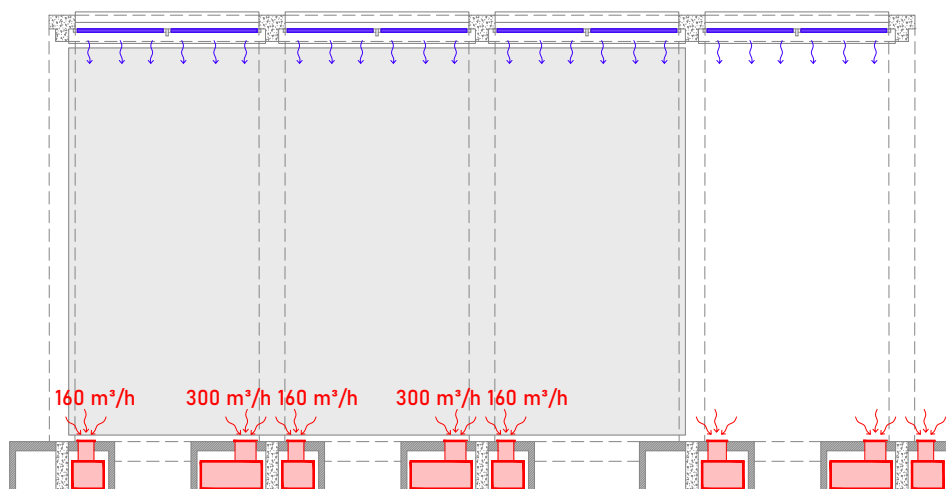
Tabel 41: Vereiste afmetingen van het hoofdkanaal bij een afvoerdebiet van 160 m<sup>3</sup>/h per segment



Figuur 150: Integratie van natuurlijke (schacht)ventilatie met een afvoerdebiet van 160 m<sup>3</sup>/h per segment



Wanneer men kost wat kost wil inzetten op natuurlijke ventilatie zou men bij de renovatie van het gebouw de bestaande extractiekanalen kunnen vergroten om grotere debieten bij natuurlijke ventilatie mogelijk te maken. Door de opbouw van de vloer ter hoogte van de gang, kunnen de kanalen niet uitbreiden naar het midden van de gang toe. Dit zou grote structurele gevolgen met zich meebrengen. In de andere richting zou de breedte van het kanaal wel vergroot kunnen worden. Rekening houdende met de regelgeving voor de toegankelijkheid van gebouwen, moet er tussen de verticale kokers een minimale toegang van 90 cm breed voorzien worden. Bovendien kan men - om aan een debiet van  $360\text{m}^3/\text{h}$  per segment te komen - beide zijden van de schacht inzetten om de nodige sectie van  $0,50\text{ m}^2$  te behalen. Wanneer men ervan uitgaat dat niet in elke schacht leidingen weggewerkt moeten worden, kan men de volledige schacht inzetten voor ventilatiekanalen. Onderstaand plan toont een mogelijke uitwerking van dit principe. Per drie segmenten worden vijf van de zes verticale kanalen ingezet als extractiekanalen, de zesde schacht kan dan gebruikt worden voor andere leidingen.



Figuur 151: Integratie van natuurlijke (schacht)ventilatie met een afvoerdebiet van  $360\text{ m}^3/\text{h}$  per segment

Op deze manier wordt er een debiet van  $1.080,00\text{ m}^3/\text{h}$  over drie segmenten afgevoerd wat overeenkomt met een extractiedebiet van  $360,00\text{ m}^3/\text{h}$  per segment. Daar waar de schachten verbreed worden bij renovatie is de doorgang  $1,15\text{ m}$  breed.

### Conclusie

Het implementeren en volledig berusten op natuurlijke ventilatie op gebouwniveau in het geval van de S4 is moeilijk realiseerbaar. Enerzijds is er de specifieke windsituatie, waardoor het toepassen van 1 werkend ventilatieconcept op gebouwniveau haast onmogelijk is. Anderzijds moeten de bestaande schachten bij renovatie verbreed worden wanneer men het maximale afvoerdebiet door natuurlijke ventilatie wil realiseren. Let hierbij op dat in bovenstaande berekeningen rekening gehouden werd met een maximaal afvoerdebiet van  $360,00\text{ m}^3/\text{h}$  per segment. Zoals hierboven vermeld zou het afvoerdebiet bij herbestemmingsscenario's met hoge bezettingen onhaalbaar zijn. Bij herbestemmingsscenario's met een lage bezettingsgraad en kleine debieten is natuurlijke ventilatie een te overwegen optie. De invloed van de ventilatieverliezen doorheen de RTO's is hierbij bepalend en wordt later aan de hand van dynamische simulaties onderzocht.

## 7.8.2 Mechanische ventilatie

### Vraaggestuurde ventilatie

Bij mechanisch gestuurde ventilatiesystemen is er een onderscheid tussen systemen met een constant debiet en systemen met een regelbaar debiet, ook wel vraaggestuurde ventilatie genoemd. Bij de renovatie van de S4 wil men inzetten op flexibel gebouwgebruik, bij verschillende herbestemmingsscenario's is het verschil in benodigd debiet voor hygiënische ventilatie aanzienlijk. Het installeren van een vraaggestuurd systeem waarbij het debiet aangepast kan worden aan de bezettingsgraad lijkt de beste optie. Op deze manier wordt overmatig ventileren en de energieverliezen die daarbij komen kijken vermeden. Let wel dat er een onderscheid gemaakt moet worden tussen VAV-systemen ('variable-air-volume') en DCV-systemen ('demand controlled ventilation'). Waar DCV-systemen of vraaggestuurde ventilatiesystemen gestuurd worden door de binnenluchtkwaliteit, worden VAV-systemen gestuurd door sensoren.

Er zijn verschillende meetmethodes om te bepalen hoeveel personen er zich in de ruimte bevinden en welk debiet daarbij gerealiseerd moet worden. Een gekende manier is het werken met een CO<sub>2</sub>-sensor, deze meet het aantal 'parts per million'. Volgens de codex over het welzijn op het werk mag het CO<sub>2</sub>-gehalte in de ruimte niet hoger liggen dan 900 ppm, dit komt overeen met een minimaal ventilatiedebiet van 40 m<sup>3</sup>/h/persoon. Naast het werken met CO<sub>2</sub>-sensoren kan een vraaggestuurd ventilatiesysteem ook werken op basis van bezettingsschema's, bezettingssensoren of het tellen van mensen aan de hand van camera's, infraroodsystemen, Wi-Fi, etc.

Er zijn verschillende sensoren beschikbaar die op verschillende manieren de luchtkwaliteit binnen de ruimte meten. Zo bestaan er onder andere sensoren die de luchtvochtigheid binnen de ruimte meten, VOC-sensoren en CO<sub>2</sub>-sensoren. VOC-sensoren ('volatile organic compound' sensoren), ook wel 'mixed gas' sensoren meten het VOC-gehalte in de ruimte. VOC-stoffen zijn een verzameling stoffen die tot verschillende chemische families behoren. Het enige punt dat ze gemeenschappelijk hebben, is dat ze bij kamertemperatuur snel verdampen. Ze zijn namelijk samengesteld uit koolstof en waterstof.<sup>264</sup> Deze sensor wordt gebruikt in ruimtes waar de concentratie aan deze stoffen hoge waarden kan halen en doorslaggevend is voor de binnenluchtkwaliteit. Denk bijvoorbeeld aan keukens, badkamers, eetzalen etc. De meest gebruikte sensor is echter de CO<sub>2</sub>-sensor.

De voordelen van het implementeren van vraaggestuurde ventilatie op basis van CO<sub>2</sub>-metingen zijn talrijk. Het grootste voordeel is het vermijden van overmatige ventilatie. Op deze manier worden energieverliezen beperkt terwijl men toch het gewenste debiet voor hygiënische ventilatie bij een bepaalde bezetting verwezenlijkt. Daarnaast houden CO<sub>2</sub>-sensoren ook rekening met de natuurlijke toevoer van verse lucht. Het ventilatiesysteem zal vervolgens enkel nog bijdragen wat nodig is om tot de gewenste toevoer van verse lucht te komen. Vraaggestuurde ventilatie op basis van CO<sub>2</sub>-metingen is gebaseerd op het nodige debiet per persoon aanwezig in het gebouw, en is bijgevolg dus zeer flexibel en ideaal bij veranderend gebouwgebruik.<sup>265</sup>

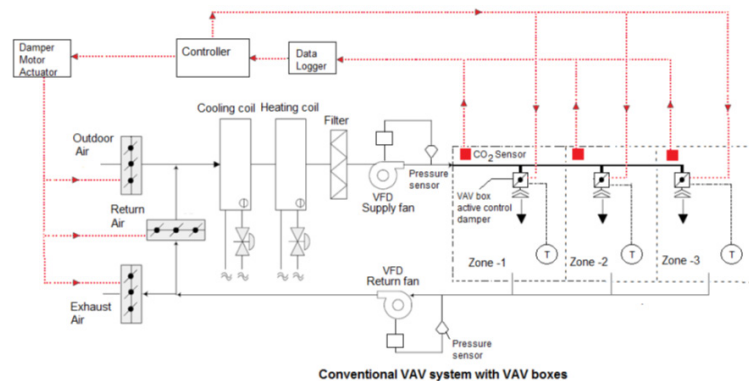
264. Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu, 2016

265. Bhatia, A., z.d. p. 6

Een vraaggestuurd ventilatiesysteem op basis van CO<sub>2</sub>-sensoren bestaat uit een ventilatiesysteem opgebouwd uit een luchtgroep en een kanalennetwerk, een controlesysteem dat de informatie van de sensoren omzet in een signaal naar de luchtgroep en tenslotte de sensoren. Deze kunnen geplaatst worden per ruimte of per zone. Idealiter zou per afgesloten ruimte in het S4 gebouw een sensor geïnstalleerd worden die lokaal metingen uitvoert. Wanneer men echter per segment van 18 m<sup>2</sup> een sensor plaatst zou men op gebouw-niveau aan meer dan 150 meetpunten komen. Het lijkt dus een aangewezen manier van werken om bij herbestemmingsontwerpen het gebouw op te delen in verschillende zones met eenzelfde programma zodat op die manier het aantal meetpunten beperkt kan worden. Een belangrijke kanttekening is dat het kan dat sommige ruimten, behorende tot een bepaalde zone, niet voldoen aan de specifieke behoeften wanneer men niet in elke ruimte vraaggestuurd ventileert.

Om in elke ruimte (of elke zone) het gevraagde debiet te kunnen realiseren, wordt best gewerkt met een VAV-systeem en niet met een CAV-systeem ('constant air volume'). Deze laatste levert in elke ruimte hetzelfde debiet, indien gewenst kan de temperatuur van de toevoerlucht gewijzigd worden in de luchtgroep. VAV-systemen variëren de hoeveelheid lucht die aan een bepaalde ruimte wordt toegevoerd, terwijl de lucht op een constante temperatuur blijft. Zoals eerder vermeld dient het systeem gestuurd te worden aan de hand van CO<sub>2</sub>-metingen, niet op basis van binnentemperatuur. Bij een CAV-systeem waar vraaggestuurde ventilatie op toegepast wordt, wordt de hoeveelheid buitenlucht die de luchtgroep onttrekt aan de buitenomgeving gewijzigd in functie van de metingen. Bij metingen in verschillende zones, zal de meest kritieke meting in de ruimte met de hoogste bezetting de werking van de luchtgroep bepalen. Bijgevolg wordt er in elke zone hetzelfde debiet geleverd, ook al zijn er zones met een lagere bezetting. Ook bij een VAV-systeem wordt de werking van de luchtgroep bepaald door ruimtes met een hoge bezetting die om een groot debiet vragen. In tegenstelling tot een CAV-systeem werkt een VAV-systeem met VAV-regelaars die het toe- en/of afvoerdebiet per ruimte regelen aan de hand van een demper.

Onderstaand ventilatieschema is een voorbeeld van een VAV-systeem met vraaggestuurde ventilatie. Sensoren meten per zone het CO<sub>2</sub>-gehalte en sturen vervolgens deze informatie naar een data-verzamelaar, de controller stuurt deze informatie naar de luchtgroep die vervolgens het gevraagde totale debiet zal onttrekken aan de buitenomgeving. Daarnaast stuurt de controller ook informatie naar de VAV-regelaar, die per zone het gewenste toevoerdebiet kunnen voorzien. Door op twee niveaus het debiet te regelen is er minimale energieverpilling. Bij grote installaties met meerdere zones van verschillende ruimten kan per zone een drukregelaar geschakeld worden om met zekerheid de gewenste debieten te realiseren.<sup>266</sup>



Figuur 152: Illustratie van een VAV-systeem met VAV-regelaars (Bhatia, A., 2014, p.32)

266. Bhatia, A., 2014, p.32

## Stelsel C

Wanneer de gewenste debieten niet behaald kunnen worden bij natuurlijke ventilatie kan men overstappen op een mechanisch ventilatiesysteem. Bij een systeem C wordt de lucht nog steeds op een natuurlijke wijze toegevoerd, wel wordt er gebruik gemaakt van mechanische extractie.

### Componenten

De toevoeropeningen van een mechanisch afvoerventilatiesysteem worden gedimensioneerd voor een maximaal drukverschil van 10 Pa. Dit zorgt ervoor dat men een groter debiet door de RTO's kan verkrijgen die mogelijk wel voldoen aan de nodige ventilatiedebieten bij een hogere bezettingsgraad. De producenten Renson en Duco geven per product een  $L_0$ - en  $q_1$ -waarde bij een drukverschil van 2Pa en een drukverschil van 10Pa, het debiet doorheen het rooster bij mechanische extractie kan dus opnieuw berekend worden. Hierbij wordt duidelijk dat het verschil in debiet bij een toenemend drukverschil beperkt is bij zelfregelende roosters in vergelijking met manueel bestuurd roosters. Waar het bij manueel bestuurd roosters vaak gaat over een verdubbeling van het toevoerdebiet bij een drukverhoging naar 10Pa, is de toename bij zelfregelende roosters beperkt tot enkele tientallen  $m^3/h$ .

Product	Verdeler	U-waarde [W/m <sup>2</sup> K]	q <sub>1</sub> bij 10 Pa [m <sup>3</sup> /h/m]	L <sub>0</sub> bij 10 Pa [m]	Profielmaat S4 [m]	Debiet bij 10 Pa [m <sup>3</sup> /h]	Installatiewijze	Bediening
TC60	Renson	3,30	146,50	n.g.	2,50	366,25	op glas/ traverse	manueel
THK90	Renson	3,90	131,10	0,05	2,50	321,20	op glas/ traverse	manueel/motor
THL100	Renson	3,90	171,30	0,13	2,50	405,98	op glas/ traverse	manueel/motor
AR75	Renson	3,00	116,00	0,05	2,50	284,20	op glas/ traverse	zelfregelend P4
Sonovent XLarge	Renson	4,70	104,90	0,03	2,50	259,10	op glas/op traverse/achter lamellen	zelfregelend P3
TronicVent AK	Duco	1,88	79,00	0,13	2,50	187,23	op raamkader	zelfregelend P3
TronicGlasMax	Duco	1,56	105,30	-0,01	2,50	264,30	op glas/traverse/raamkader	zelfregelend P4
SkyVent ZR	Duco	3,60	79,00	0,05	2,50	193,55	op raamkader	zelfregelend P3

Tabel 42: Overzicht van RTO's en hun eigenschappen bij mechanische luchtvoer

Er zijn dus niet-zelfregelende roosters beschikbaar die bij mechanische extractie van lucht uit de ruimte het gewenste debiet bij hoge bezettingsgraden halen. Let wel dat het maximale toevoerdebiet bij de besproken RTO's ongeveer 400  $m^3/h$  bedraagt. Het nodige toevoerdebiet bij auditoria en laboruimtes ligt hoger. Bij aanzienlijke debieten van 360  $m^3/h$  moet de toenemende impact van de ventilatieverliezen op het totale warmteverlies geanalyseerd worden. Zeker wanneer men het toevoerdebiet wil opdrijven richting vereist toevoerdebiet bij auditoria en laboruimtes wordt verwacht dat de ventilatieverliezen te groot zullen zijn. Hierdoor, en door de architecturale impact van grote toevoeropeningen op de gevel, wordt in het kader van dit onderzoek natuurlijke luchttoevoer van debieten groter dan 360  $m^3/h$  niet verder onderzocht. Later wordt opnieuw de impact van de ventilatieverliezen bij verschillende herbestemmingsscenario's onderzocht aan de hand van dynamische simulaties.

Een vraaggestuurd systeem C wordt een systeem C+ genoemd. Hier worden naast RTO's ook VAV-regelaars, sensoren en extractieroosters gebruikt. De VAV-regelaar regelt aan de hand van de informatie verkregen door de sensor het debiet dat door de extractieroosters afgevoerd wordt. Er zijn verschillende installatiemogelijkheden van sensoren en VAV-regelaars, afhankelijk van de werking per ruimte of per zone, waar verder dieper op ingegaan wordt. Het installeren van de CO<sub>2</sub>-sensor kan ook op verschillende manieren, zijnde op het extractiekanaal richting de luchtgroep of aan de muur in de ruimte. Het installeren van de sensor op het extractiekanaal kan het best worden toegepast wanneer alle zones die door de luchtgroep bediend worden eenzelfde bezettingsgraad op overeenkomende momenten hebben. In het

geval van een flexibel gebouwgebruik kunnen de bezettingsgraad en het bezettingspatroon in verschillende zones erg van elkaar verschillen, en lijkt het dus niet aangewezen om de sensor op het extractiekanaal te installeren. Sensors aan de wand van de ruimte worden aangeraden bij ventilatiesystemen die verschillende zones bedienen. Let wel dat deze sensors niet in de dichte nabijheid van mensen geplaatst mogen worden. Personen die dicht bij een CO<sub>2</sub>-sensor ademen zullen een verkeerd beeld geven van het CO<sub>2</sub>-gehalte in de ruimte.<sup>267</sup> Een verkeerde installatie van de CO<sub>2</sub>-sensor zal voor overbodig ventileren en bijhorende energieverliezen leiden. Uit een onderzoek van Bart Medema aan de KULeuven blijkt dat het installeren van de sensor ter hoogte van het extractiepunt een zeer correcte regeling met zich meebrengt. De CO<sub>2</sub>-concentraties liggen daar wat hoger dan in de rest van de ruimte waardoor er in kleine mate overgeventileerd wordt. Dit brengt een goede luchtkwaliteit en ventilatie-efficiëntie met zich mee.<sup>268</sup>

### *Integratie*

Bij een ventilatiesysteem C wordt de lucht mechanisch afgevoerd, naast RTO's moet men dus ook de afvoerroosters en kanalen dimensioneren. De verticale extractiekanalen zullen opnieuw in de aanwezige verticale kanalen weggewerkt worden. Deze kanalen lopen vervolgens naar de kelder of naar het dak waar ze samenkomen en aan een luchtgroep aangesloten worden. Een andere optie is het afvoeren van de lucht richting het dak waar per verticaal kanaal een extractieventilator geplaatst wordt. Op deze manier moet er geen luchtgroep geïnstalleerd worden en wordt ook de integratie van het kanaal richting de luchtgroep vermeden. Dit kanaal heeft typisch een zeer grote diameter aangezien alle afvoerlucht hier samenkomt. Let wel dat de warmte van de afgevoerde lucht op deze manier verloren gaat. Wanneer op gebouwniveau blijkt dat de warmte van deze lucht gebruikt kan worden om het energieverbruik van andere processen te verkleinen, moet men werken met een luchtgroep die de warme lucht door een warmtewisselaar kan sturen.

De lucht moet dus uit de ruimte afgevoerd worden richting de verticale extractieschachten. Men kan kiezen op hoeveel plaatsen per segment van 18m<sup>2</sup> een extractierooster geplaatst wordt. Let wel dat de luchtsnelheid aan het extractiepunt beperkt is tot 2 m/s, de snelheid van de lucht in het hoofdkanaal mag oplopen tot 5 m/s. Volgende tabel geeft een berekening mee van de nodige dimensies van de afvoerkanalen in de S4bis, waarbij gewerkt wordt met twee extractiepunten per segment van 18 m<sup>2</sup>. Deze roosters voeren elk een debiet van 180 m<sup>3</sup>/h af, de helft van het nodige toevoerdebiet bij de hoogste bezettingsgraad, 360 m<sup>3</sup>/h. Verder bevinden er zich per verdieping van de S4bis, 36 verticale kanalen. In de aanwezigheid van een luchtgroep, kan het samenbrengen van al deze kanalen op 1 hoofdkanaal zorgen voor een aanzienlijke doorsnede van het uiteindelijke hoofdkanaal. Men kan er dus voor kiezen om per gebouwdeel een of meerdere luchtgroepen te voorzien, meerdere luchtgroepen zullen leiden tot kleinere kanaalsecties. In de berekeningen wordt een scenario geschetst waarbij 18 van de 36 verticale kanalen samenkomen op 1 hoofdkanaal richting een luchtgroep. De andere 18 kanalen worden aan een tweede luchtgroep geschakeld. Hier werd ervan uitgegaan dat de luchtgroep zich op het dak bevindt. Zoals eerder vermeld wordt bij een systeem C enkel een luchtgroep gebruikt wanneer de warmte uit de afvoerlucht gerecupereerd kan worden.

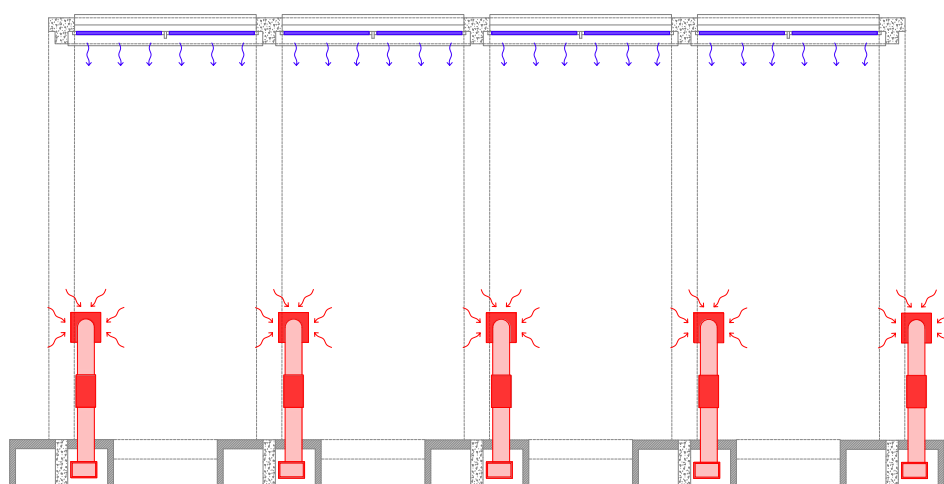
267. Bhatia, A, z.d., p.39

268. Noyez, E, z.d., p.2

Verdieping	Pulsiedebiet		Kanaal	$V_{max}$ [m/s]	Nodige sectie		Straal [cm]	Buisdiameter [mm]	Buisdiameter verdeler [mm]
	[m³/h]	[m³/s]			[m²]	[cm²]			
Gelijkvloers	360,00	0,10	hoofdkanaal	5,00	0,02	200,00	7,98	159,58	160,00
	360,00	0,10	aftakking	3,00	0,03	333,33	10,30	206,02	210,00
	180,00	0,05	eindverdeling	2,00	0,03	250,00	8,92	178,42	180,00
Eerste verdieping	720,00	0,20	hoofdkanaal	5,00	0,04	400,00	11,28	225,68	230,00
	360,00	0,10	aftakking	3,00	0,03	333,33	10,30	206,02	210,00
	180,00	0,05	eindverdeling	2,00	0,03	250,00	8,92	178,42	180,00
Tweede verdieping	1.080,00	0,30	hoofdkanaal	5,00	0,06	600,00	13,82	276,40	280,00
	360,00	0,10	aftakking	3,00	0,03	333,33	10,30	206,02	210,00
	180,00	0,05	eindverdeling	2,00	0,03	250,00	8,92	178,42	180,00
Derde verdieping	1.440,00	0,40	hoofdkanaal	5,00	0,08	800,00	15,96	319,16	320,00
	360,00	0,10	aftakking	3,00	0,03	333,33	10,30	206,02	210,00
	180,00	0,05	eindverdeling	2,00	0,03	250,00	8,92	178,42	180,00
Vierde verdieping	1.800,00	0,50	hoofdkanaal	5,00	0,10	1.000,00	17,84	356,83	360,00
	360,00	0,10	aftakking	3,00	0,03	333,33	10,30	206,02	210,00
	180,00	0,05	eindverdeling	2,00	0,03	250,00	8,92	178,42	180,00
Aankomst bij de luchtgroep	32.400,00	9,00	hoofdkanaal	6,00	1,50	15.000,00	69,10	1.382,00	1.390,00

Tabel 43: Vereiste afmetingen van de extractiekanaal bij een systeem C met een afvoerdebiet van 360 m³/h per segment

Per verticale schacht is er twee keer een doorsnede van 0,24 m² beschikbaar om leidingen in weg te werken. De doorsnede van het hoofdkanaal is het grootst op de vierde verdieping aangezien alle lucht van onderliggende verdiepingen ook dit punt moet passeren. Bij het nagaan of het mogelijk is om de ventilatiekanalen weg te werken in de bestaande verticale kanalen, zal dit de kritieke doorsnede zijn. Uit de berekeningen blijkt dat de nodige sectie van 0,10 m² per schacht in de verticale kanalen weggewerkt kan worden. Wanneer dit aan de hand van cirkelvormige kanalen verloopt heeft men een diameter van 360 mm nodig, men kan evenwel met rechthoekige kanalen werken. Aangezien de S4 een bouwlaag minder heeft dan de S4bis zal de nodige sectie kleiner zijn op de bovenste verdieping. De beschikbare oppervlakte is echter dezelfde waardoor men ook in de S4bis geen problemen zal hebben met de integratie. Wanneer men de snelheid van de lucht in de verticale schachten wenst te beperken tot 3m/s omwille van akoestische redenen, neemt de nodige doorsnede toe tot 0,17 m² of een buis met diameter 470 mm. Deze zou weggewerkt kunnen worden in de verticale schachten maar zou deze grotendeels innemen waardoor er weinig beschikbare ruimte overblijft voor ander leidingwerk. Wanneer men werkt met luchtgroepen kunnen deze beiden zowel in de kelder als op het dak geplaatst worden.



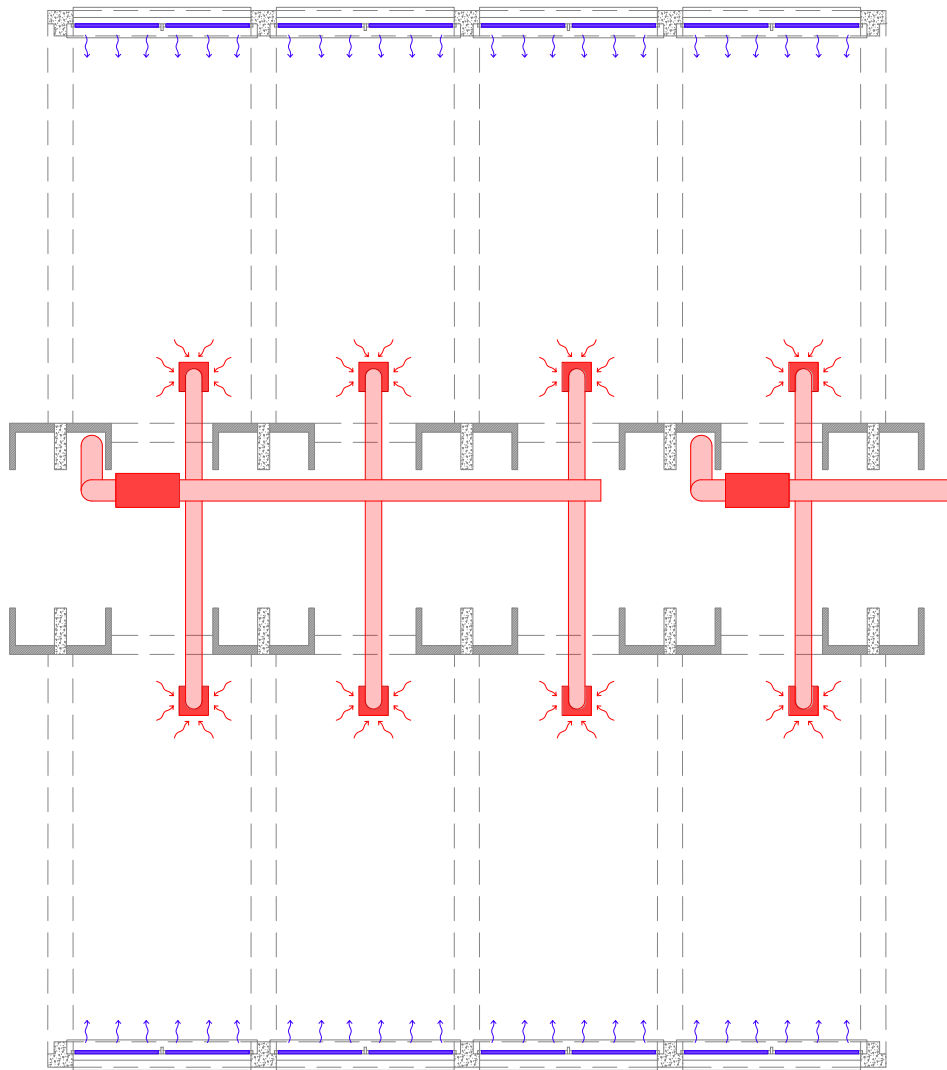
Figuur 153: Integratie van mechanische ventilatie (Systeem C) met een afvoerdebiet van 360 m³/h per segment

Na het integreren van de extractiekanalen moet de plaatsing van de extractieroosters, VAV-regelaars en sensoren bepaald worden. Bij sommige herbestemmingsscenario's vormt elk segment een aparte ruimte, om maximaal in te spelen op de behoeftes van de gebruikers zou men dus binnen elk segment vraaggestuurd kunnen ventileren.

Een eerste manier waarop dit gerealiseerd kan worden is door net zoals bij het natuurlijk ventilatiesysteem, de RTO's vraaggestuurd te regelen. Wanneer men het toevoerdebiet regelt volgens de bezettingsgraad, maar het extractiedebiet constant is, is er risico op het ontstaan van onderdruk in de binnenruimte bij een bezettingsgraad die lager is dan de voorziene bezettingsgraad. Om dit te vermijden kan men werken met drukgeregelde extractieventilatoren die ervoor zorgen dat de druk in de ruimte constant blijft. De CO<sub>2</sub>-sensor stuurt de RTO's aan en is verantwoordelijk voor het nodige toevoerdebiet. De druksensor stuurt de extractieventilator aan die voor een constante druk zorgt. Beide sensoren werken hierbij dus onafhankelijk van elkaar.

Een tweede optie is het regelen van het extractiedebiet aan de hand van een VAV-regelaar die gestuurd wordt door een CO<sub>2</sub>-sensor. De RTO's worden zo gedimensioneerd dat ze het nodige maximaal toevoerdebiet kunnen realiseren bij een drukverschil van 10 Pa. Bij een lagere bezettingsgraad, ligt ook het nodige toevoerdebiet lager waardoor het drukverschil doorheen het rooster lager zal zijn dan 10 Pa. Met andere woorden, moet de extractieventilator een kleiner drukverschil realiseren, waarbij hij geholpen zal worden door de VAV-regelaar. De regelbare klep kan namelijk meer of minder sluiten waardoor het extractiedebiet en bijgevolg het drukverschil doorheen het rooster wijzigt. Bij een vraaggestuurde regeling per segment, moet men tussen elk extractierooster en het verticaal extractiekanaal een VAV-regelaar installeren. Wanneer men ervoor kiest om niet per segment een VAV-regelaar te installeren moet men met een regelaar per zone werken. Hier is het werken met de verticale ventilatiekanalen nadelig aangezien het werken met verticale zones op gebouwniveau niet vanzelfsprekend is. Het organiseren van het gebouw in horizontale zones per verdieping is een veel logischere keuze dan het verticaal organiseren in zones. Wanneer men er dus niet voor kiest om met een regelaar per segment te werken lijkt een horizontale indeling in zones aan te raden.

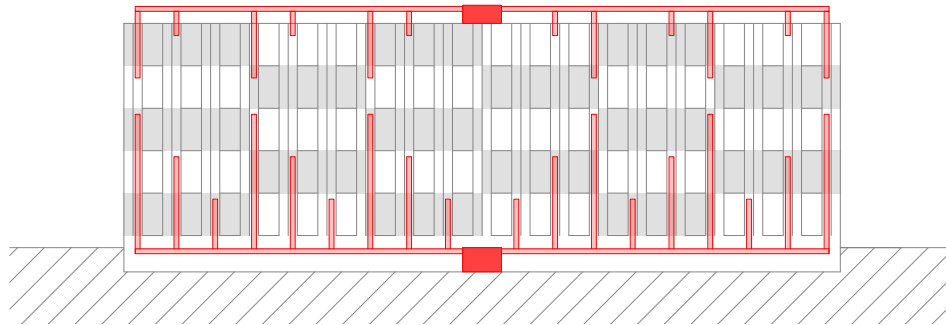
Naast het wegwerken van de extractiekanalen in de verticale schachten zou men ook de gang kunnen gebruiken bij het ontwerp van het ventilatiesysteem. De S4 is volgens de typische corridortypologie opgebouwd. De centrale gang zou dus ingezet kunnen worden om de afvoer van lucht uit de aanliggende ruimtes te realiseren. Bij het indelen in zones wordt het maximaal aantal segmenten van 18m<sup>2</sup> per zone bepaald door het afvoerdebiet van de zone. Wanneer de bestaande extractiekanalen niet verbreed worden zal de beschikbare doorsnede van 0,24 m<sup>2</sup> beslissend zijn voor de diameter van het afvoerkanaal van de zone. Bij het indelen in zones van 10 segmenten, kan men deze op 1 VAV-regelaar schakelen, waarbij het maximale afvoerdebiet van deze zone maximaal 10\*360 m<sup>3</sup>/h bedraagt, zijnde 3.600,00 m<sup>3</sup>/h. Dit brengt een sectie van 0,20 m<sup>2</sup> (bij een lichtsnelheid van 5m/s) voor het extractiekanaal per zone met zich mee. Het indelen in zones bestaande uit meer segmenten zou een te grote diameter met zich meebrengen, die niet meer in de bestaande verticale schachten weggewerkt kan worden. Ter illustratie schetst volgend plan de integratie aan de hand van horizontale zones, waar een zone bestaat uit zes segmenten van 18 m<sup>2</sup>. Tussen de verschillende extractiepunten en het verticale hoofdkanaal wordt telkens een VAV-regelaar geplaatst. Per zone kan men werken met een of meerdere CO<sub>2</sub>-sensoren, waarbij men in het geval van meerdere sensoren het afvoerdebiet bijvoorbeeld kan afstellen op de meest kritieke waarde.



Figuur 154: Integratie van mechanische ventilatie (systeem C) met een afvoerdebiet van  $360 \text{ m}^3/\text{h}$  per segment, onderverdeling in zones

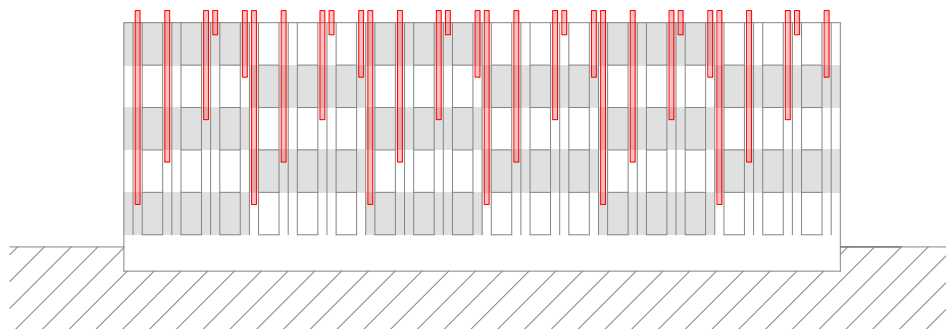
Let wel dat deze horizontale integratie op verdiepingsniveau ook uitdagingen met zich meebrengt op gebouwniveau. Wanneer men alle segmenten, over alle verdiepingen indeelt in zones van 6, krijgt men 30 zones in de S4bis en 24 zones in de S4. Wat dus wilt zeggen dat bijvoorbeeld in de S4bis 30 keer de helft van een verticale schacht ingenomen wordt door een extractiekanaal. Aangezien er 36 dubbele schachten aanwezig zijn, en best niet beide kanten ingenomen worden voor ventilatiekanalen - aangezien er nog andere leidingen in weggewerkt moeten worden - plaatst men best een luchtgroep in de kelder en op het dak. Onderstaande vereenvoudigde snede van de S4bis toont een voorbeeld van hoe de extractiekanalen hun weg kunnen vinden naar de luchtgroepen, merk op dat hierbij slechts gebruik gemaakt wordt van de extractiekanalen aan één kant van de centrale gang.





Figuur 155: Verticale integratie van de afvoerkanalen bij een systeem C richting luchtgroepen

De verticale indeling in zones bij afwezigheid van luchtgroepen ziet er als volgt uit. Opnieuw worden enkel de kanalen aan één zijde van de gang ingezet om binnenlucht af te voeren.



Figuur 156: Verticale integratie van de afvoerkanalen bij een systeem C zonder luchtgroepen

Uit bovenstaande wordt duidelijk dat een flexibel, vraaggestuurd ventilatiesysteem complex kan worden. Deze complexiteit is niet in alle herbestemmingsscenario's noodzakelijk bij een eerste reconversie van het gebouw. Stel nu dat op 1 verdieping eenzelfde programma geïmplementeerd wordt, met uitzondering van enkele zones. Bijvoorbeeld een landschapskantoor aangevuld met enkele individuele kantoren of vergaderzalen. Wanneer men ervan uitgaat dat er op de werkvloer een continue bezettingsgraad heerst, zou men het extractiedebiet van de ventilatoren kunnen afstemmen op het nodige debiet bij die bepaalde bezettingsgraad. De ventilatie van de verdieping zou volgens een kloksturing kunnen gebeuren waarbij enkel tijdens de bezettingsuren geventileerd wordt. Het afvoerdebiet van de individuele kantoren en vergaderzalen, die niet permanent gebruikt worden kan vraaggestuurd geregeld worden. Dit door een sensor in de ruimte te plaatsen waardoor via een VAV-regelaar het gewenste debiet afgevoerd wordt. Wanneer een zone van het landschapskantoor van functie wijzigt, kan men nog VAV-regelaars en sensoren bijplaatsen om - waar nodig - een vraaggestuurd systeem te realiseren. Let wel dat de afvoerkanalen in de schachten best zo gedimensioneerd worden dat ze bij maximale bezetting het gevraagde debiet kunnen afvoeren. Een functiewijziging op verdiepniveau of gebouwniveau waarbij van een lage bezettingsgraad naar een hoge bezettingsgraad omgeschakeld wordt, zou niet mogen betekenen dat het hele ventilatiesysteem vernieuwd moet worden. Dit betekent echter wel dat het systeem voor sommige herbestemmingsscenario's overgedimensioneerd zal zijn.

## Systeem D

### *Componenten*

Bij een systeem D gebeurt het aan- en afvoeren van lucht op mechanische wijze, aan de hand van ventilatoren. Dit resulteert in een controleerbaar systeem dat onafhankelijk is van de buitenomgeving. Het grootste voordeel ten opzichte van een systeem met natuurlijke aanvoer is het elimineren van de warmteverliezen die daarbij komen kijken. Bovendien wordt de warmte uit de afgevoerde lucht gerecupereerd waardoor energieverliezen beperkt worden. Nadelig aan een volledig mechanisch systeem is het vele kanaalwerk en de vele componenten nodig voor toe- en afvoer van lucht. Concreet is er ongeveer dubbel zo veel kanaalwerk nodig in vergelijking met een systeem C, gezien de lucht die bij systeem C op natuurlijke wijze wordt aangevoerd hier op mechanische wijze aangevoerd moet worden. Daarnaast moet men het toe- en afvoerdebiet op elkaar afstemmen om onder- of overdruk te vermijden, dit door beide kanalen te voorzien van een VAV-regelaar die reageert op informatie verkregen door de sensor binnen de ruimte. Ten slotte neemt het energieverbruik toe ten opzichte van een systeem C aangezien er dubbel zo veel ventilatoren gebruikt worden.

Het installeren van een systeem D brengt dus een groter geheel van componenten met zich mee wat de integratie kan bemoeilijken en zorgt voor een grotere kost van het systeem. Vooraleer men de keuze voor een systeem D maakt, moet men alle andere alternatieven onderzocht hebben. Wanneer blijkt dat deze niet energie-efficiënt genoeg zijn kan men overstappen op volledig mechanische ventilatie.

### *Warmtewisselaar*

Een groot voordeel bij systeem D is dat er een warmtewisselaar geïmplementeerd kan worden. Er bestaan verschillende types warmtewisselaars met verschillende rendementen. Het rendement wordt geclassificeerd aan de hand van de Eurovent certificering. Om aan klasse A+ te voldoen, moet de warmtewisselaar een rendement hebben van minimaal 83%, wat vrij gangbaar is bij nieuwe installaties.<sup>269</sup> Daarnaast kan er nog een type warmtewisselaar gekozen worden. De meest courante modellen zijn het warmtewiel en de platenwarmtewisselaar. Voordeel van het warmtewiel is dat hier vochtterugwinning mogelijk is, met bijhorende latente warmte. Bovendien is er een onvolledige bypass mogelijk bij het warmtewiel.<sup>270</sup> Bijvoorbeeld in scenario's in het tussenseizoen waar er gekoeld moet worden, maar dat het inblazen van koude buitenlucht negatief zou zijn voor het comfort, kan dit nuttig zijn. Op deze manier kan de ingeblazen lucht een licht koelend effect hebben doordat ze kouder is dan de binnenlucht, maar veroorzaakt ze geen discomfort door een te lage temperatuur.

### *Integratie*

Wanneer men er opnieuw van uit gaat dat de luchtgroep op het dak van de S4bis staat, en dat deze de helft van het gebouw moet voorzien van verse lucht, worden volgende verkregen voor het toevoernetwerk. Merk op dat deze dimensies overeenkomen met de berekende dimensies van het afvoernetwerk bij een systeem C.

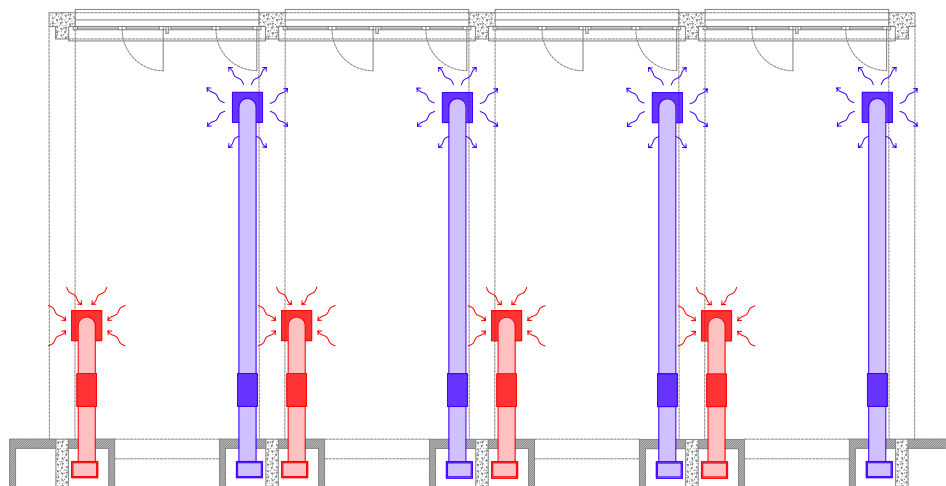
269. van Haperen, K, 2020

270. Indigne, L, 2017

Verdieping	Pulsiedebiet		Kanaal	$V_{max}$ [m/s]	Nodige sectie		Straal [cm]	Buisdiameter [mm]	Buisdiameter verdeler [mm]
	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /s]			[m <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]			
Gelijkvloers	360,00	0,10	hoofdkanaal	5,00	0,02	200,00	7,98	159,58	160,00
	360,00	0,10	aftakking	3,00	0,03	333,33	10,30	206,02	210,00
	180,00	0,05	eindverdeling	2,00	0,03	250,00	8,92	178,42	180,00
Eerste verdieping	720,00	0,20	hoofdkanaal	5,00	0,04	400,00	11,28	225,68	230,00
	360,00	0,10	aftakking	3,00	0,03	333,33	10,30	206,02	210,00
	180,00	0,05	eindverdeling	2,00	0,03	250,00	8,92	178,42	180,00
Tweede verdieping	1.080,00	0,30	hoofdkanaal	5,00	0,06	600,00	13,82	276,40	280,00
	360,00	0,10	aftakking	3,00	0,03	333,33	10,30	206,02	210,00
	180,00	0,05	eindverdeling	2,00	0,03	250,00	8,92	178,42	180,00
Derde verdieping	1.440,00	0,40	hoofdkanaal	5,00	0,08	800,00	15,96	319,16	320,00
	360,00	0,10	aftakking	3,00	0,03	333,33	10,30	206,02	210,00
	180,00	0,05	eindverdeling	2,00	0,03	250,00	8,92	178,42	180,00
Vierde verdieping	1.800,00	0,50	hoofdkanaal	5,00	0,10	1.000,00	17,84	356,83	360,00
	360,00	0,10	aftakking	3,00	0,03	333,33	10,30	206,02	210,00
	180,00	0,05	eindverdeling	2,00	0,03	250,00	8,92	178,42	180,00
Vertrek bij de luchtgroep	32.400,00	9,00	hoofdkanaal	6,00	1,50	15.000,00	69,10	1.382,00	1.390,00

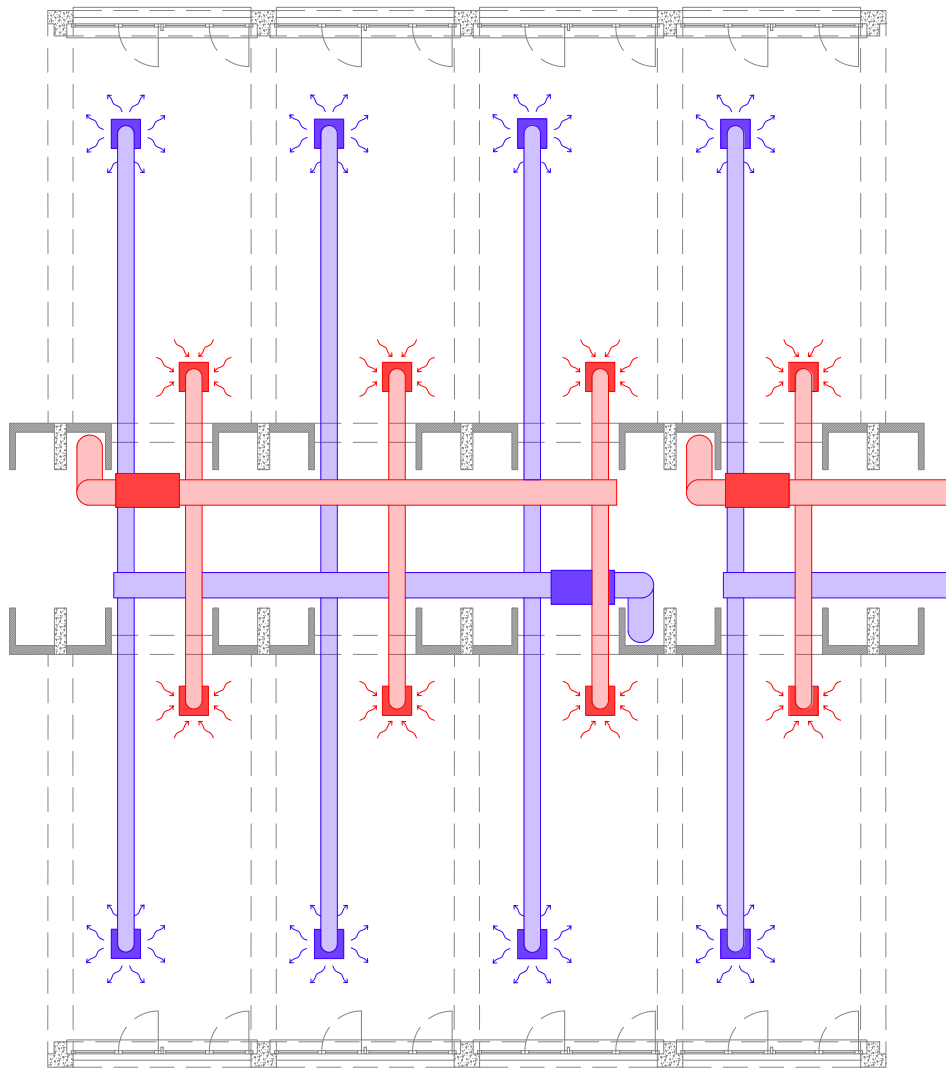
Tabel 44: Vereiste afmetingen van de pulsiekanaal bij een systeem D met een toevoerdebiet van 360 m<sup>3</sup>/h per segment

Opnieuw kunnen de verticale schachten ingezet worden om kanalen te integreren. Waar bij het systeem C enkel de ene zijde gebruikt werd voor de extractiekanalen, moet men bij volledig mechanische ventilatie ook de andere zijde van de schacht gebruiken voor de pulsiekanaal. Opnieuw kan men elk segment als afzonderlijke ruimte beschouwen waarbij pulsie en extractie per segment elk van een VAV-regelaar wordt voorzien. Een sensor meet per segment het CO<sub>2</sub>-gehalte.



Figuur 157: Integratie van mechanische ventilatie (systeem D) met een afvoerdebiet van 360 m<sup>3</sup>/h per segment

Wanneer de ruimtes niet elk afzonderlijk vraaggestuurd geventileerd worden, kan opnieuw opgedeeld worden in horizontale zones. Hier kunnen de verticale schachten aan beide zijden van de gang ingeschakeld worden, waarbij alle verticale extractiekanalen aan één zijde geïntegreerd worden, en alle pulsiekanaal aan de andere zijde. De horizontale hoofdkanaal worden in de gang weggewerkt.



Figuur 158: Integratie van mechanische ventilatie (systeem D) met een afvoerdebiet van 360 m<sup>3</sup>/h per segment, onderverdeling in zones

Bij bovenstaande berekeningen en integratieplannen werd telkens ontworpen naar een maximaal toevoerdebiet van 360 m<sup>3</sup>/h. Bij natuurlijke ventilatie en mechanische extractie was het voorzien van toevoerdebieten groter dan 360 m<sup>3</sup>/h niet haalbaar. Dit wil dus zeggen dat ventileren van auditoria en laboruimtes met behulp van een systeem D moet gebeuren. Zoals eerder vermeld zullen de meeste laboratoria gegroepeerd worden in een nieuw gebouw op campus Sterre. Daarnaast wordt ervan uitgegaan dat de S4bis bij herbestemming niet enkel zal bestaan uit auditoria.

Bij het implementeren van auditoria in sommige segmenten, zal het maximale toe- en afvoerdebiet daar verdubbelen naar 720 m<sup>3</sup>/h per segment. In een overdreven scenario, waarbij op elke verdieping een auditorium ingericht wordt, krijgt men volgende te integreren kanaalsecties. In het geval van de toevoerkanalen zien de secties er als volgt uit.

Verdieping	Pulsiedebiet		Kanaal	V <sub>max</sub> [m/s]	Nodige sectie		Straal [cm]	Buisdiameter [mm]	Buisdiameter verdeler [mm]
	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /s]			[m <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]			
Gelijkvloers	720,00	0,20	hoofdkanaal	5,00	0,04	400,00	11,28	225,68	230,00
	720,00	0,20	aftakking	3,00	0,07	666,67	14,57	291,35	300,00
	360,00	0,10	eindverdeling	2,00	0,05	500,00	12,62	252,32	260,00
Eerste verdieping	1.440,00	0,40	hoofdkanaal	5,00	0,08	800,00	15,96	319,16	320,00
	720,00	0,20	aftakking	3,00	0,07	666,67	14,57	291,35	300,00
	360,00	0,10	eindverdeling	2,00	0,05	500,00	12,62	252,32	260,00
Tweede verdieping	2.160,00	0,60	hoofdkanaal	5,00	0,12	1.200,00	19,54	390,89	400,00
	720,00	0,20	aftakking	3,00	0,07	666,67	14,57	291,35	300,00
	360,00	0,10	eindverdeling	2,00	0,05	500,00	12,62	252,32	260,00
Derde verdieping	2.880,00	0,80	hoofdkanaal	5,00	0,16	1.600,00	22,57	451,36	460,00
	720,00	0,20	aftakking	3,00	0,07	666,67	14,57	291,35	300,00
	360,00	0,10	eindverdeling	2,00	0,05	500,00	12,62	252,32	260,00
Vierde verdieping	3.600,00	1,00	hoofdkanaal	5,00	0,20	2.000,00	25,23	504,63	510,00
	720,00	0,20	aftakking	3,00	0,07	666,67	14,57	291,35	300,00
	360,00	0,10	eindverdeling	2,00	0,05	500,00	12,62	252,32	260,00
Vertrek bij de luchtgroep	64.800,00	18,00	hoofdkanaal	6,00	3,00	30.000,00	97,72	1.954,44	1.960,00

Tabel 45: Vereiste afmetingen van de pulsiekanaalen bij een systeem D met een toevoerdebiet van 720 m<sup>3</sup>/h per segment

Bij een luchtgroep op het dak zal de grootste kanaalsectie nodig zijn op de vierde verdieping, deze bedraagt 0,20 m<sup>2</sup> waardoor de integratie in de bestaande verticale schachten met doorsnede 0,24 m<sup>2</sup> net mogelijk wordt. Het kanaal dat bij de luchtgroep vertrekt daarentegen neemt nu een doorsnede aan van 3,00 m<sup>2</sup>. Dit gigantisch kanaal zal zeer moeilijk in het gebouw te integreren zijn. Wanneer dezelfde berekening uitgevoerd wordt voor laboratoria met een afvoerdebiet van 975,00 m<sup>3</sup>/h wordt op de vierde verdieping een nodige sectie van 0,27 m<sup>2</sup> verkregen. Mits het uitbreiden van de bestaande schachten is ook dit scenario haalbaar.

Let wel dat bij deze berekeningen ervan wordt uitgegaan dat in elk segment op gebouwniveau dit aanzienlijk toe- en afvoerdebiet geëist wordt. In werkelijkheid zullen er na renovatie maximaal enkele auditoria of laboratoria in het gebouw geïntegreerd worden waardoor deze berekening een forse overschatting is. Wanneer men auditoria en laboratoria in het gebouw wil plaatsen zal hun locatie bepaald worden door de locatie van de luchtgroepen. Het is namelijk aangeraden om deze zo dicht mogelijk bij de luchtgroep te plaatsen om grote leidingsecties over het gehele gebouw te vermijden.

## Verbruik ventilatoren

Bij de keuze van het type ventilatie, hoort ook een zeker energieverbruik voor de ventilatoren. Dit energieverbruik wordt uitgedrukt aan de hand van de SFP, de 'specific fan power'. Bij natuurlijke ventilatie is dit vanzelfsprekend gelijk aan nul. Bij mechanische toevoer en/of afvoer, kan dit verbruik echter significant worden.<sup>271</sup>

Bij toepassingen zoals S4, moet minstens klasse 3 behaald worden voor de SFP, zoals beschreven in norm NBN EN 16798-3.<sup>272</sup> Voor een SFP van 1250 W/(m<sup>3</sup>.s) - de bovengrens van klasse 3 - geeft dit onderstaand verbruik bij een ventilatiedebiet van 40m<sup>3</sup>/(h.pers). Hierbij wordt er gerekend op toevoer van de benodigde hygiënische ventilatiedebieten in de gebruiksruidtes, waarbij er doorstroom is naar de gang en afvoer in de gang en/of sanitaire ruidtes. Bijgevolg is het benodigde ventilatiedebiet gelijk aan het benodigde ventilatiedebiet in de gebruiksruidtes, maar wordt het verbruik/m<sup>2</sup> berekend over de volledige verdieping.

Het verbruik wordt over het volledige jaar berekend. Tijdens bezetting leveren de ventilatoren het gewenste hygiënische ventilatiedebiet. Buiten bezetting worden de ventilatoren van systeem C uitgeschakeld, uitgaande van het feit dat er een minimale vorm van ventilatie doorheen de RTO's is. Bij systeem D draaien de ventilatoren echter op een minimaal debiet van 15% buiten bezetting. Dit zorgt ervoor dat het verbruik van systeem D meer dan dubbel zo hoog ligt als het verbruik van systeem C.

Herbestemmingsscenario	Ventilatiedebiet [m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> )]	Ventilatiedebiet [m <sup>3</sup> /(s.m <sup>2</sup> )]	Vermogen [W/m <sup>2</sup> ]	Verbruik toevoer of afvoer [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	Verbruik toevoer en afvoer [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]
Kantoor hoge bezetting	3,37	0,00	1,17	3,06	8,27
kantoor lage bezetting	1,69	0,00	0,59	1,53	4,14
Klaslokaal lage bezetting	9,63	0,00	3,35	8,73	23,63
Auditorium lage bezetting	16,86	0,00	5,85	15,28	41,36
Auditorium hoge bezetting	33,72	0,01	11,71	30,56	82,72
Computerlokaal	9,63	0,00	3,35	8,73	23,63
Labo 5 vol/h	16,37	0,00	5,68	14,84	40,16
Labo 10 vol/h	32,74	0,01	11,37	29,67	80,33
Labo 15 vol/h	49,12	0,01	17,05	44,51	120,49
Studentenkamer	1,73	0,00	0,60	3,76	7,52

Tabel 47: Verbruik ventilatoren bij een SFP van 1250 W/(m<sup>3</sup>.s) voor de verschillende herbestemmingsscenario's

Voor een SFP van 750 W/(m<sup>3</sup>.s) - de ondergrens van klasse 3 - geeft dit volgend verbruik/m<sup>2</sup>:

Herbestemmingsscenario	Ventilatiedebiet [m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> )]	Ventilatiedebiet [m <sup>3</sup> /(s.m <sup>2</sup> )]	Vermogen [W/m <sup>2</sup> ]	Verbruik toevoer of afvoer [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	Verbruik toevoer en afvoer [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]
Kantoor hoge bezetting	3,37	0,00	0,70	1,83	4,96
kantoor lage bezetting	1,69	0,00	0,35	0,92	2,48
Klaslokaal lage bezetting	9,63	0,00	2,01	5,24	14,18
Auditorium lage bezetting	16,86	0,00	3,51	9,17	24,81
Auditorium hoge bezetting	33,72	0,01	7,02	18,33	49,63
Computerlokaal	9,63	0,00	2,01	5,24	14,18
Labo 5 vol/h	16,37	0,00	3,41	8,90	24,10
Labo 10 vol/h	32,74	0,01	6,82	17,80	48,20
Labo 15 vol/h	49,12	0,01	10,23	26,71	72,29
Studentenkamer	1,73	0,00	0,36	2,26	4,51

Tabel 48: Verbruik ventilatoren bij een SFP van 750 W/(m<sup>3</sup>.s) voor de verschillende herbestemmingsscenario's

Een daling van 1250 W/(m<sup>3</sup>.s) naar 750 W/(m<sup>3</sup>.s) betekent een daling in verbruik van 40%. Bij beide tabellen valt echter op dat het verbruik erg hoog kan uitvallen, zeker in scenario's met een hoge ventilatievraag zoals auditoria of labo's waar het verbruik tot 83 à 120 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar) kan stijgen. Ter referentie: de NEB voor verwarming mag volgens Sweco bijvoorbeeld maar 75

271. NBN EN 16798, 2017

272. NBN EN 16798, 2017

kWh/m<sup>2</sup> bedragen bij renovatie, wat al niet erg streng is in vergelijking met de eis van 30 kWh/m<sup>2</sup> voor nieuwbouw. Hierbij ligt de primaire energiebehoefte uiteindelijk nog lager door de efficiëntie van de warmtepomp. De ventilatoren kunnen dus een aanzienlijk aandeel innemen van het totale energieverbruik.<sup>273 274</sup>

In principe is het verschil tussen systeem C en systeem D nog groter dan wat hierboven berekend is. Bij luchtafvoer is er qua filters namelijk vaak enkel een groffilter nodig. Bij de luchttoevoer zijn er meer en fijnere filters nodig gezien de lucht erg zuiver moet zijn als ze in het gebouw ingeblazen wordt. Dit veroorzaakt een grotere weerstand, waardoor het verbruik van de toevoerventilatoren hoger ligt dan van de afvoerventilatoren. Hierdoor verbruikt systeem D meer dan dubbel zo veel als systeem C als ze in hetzelfde debiet aan lucht voorzien. Aangezien het exacte verschil in verbruik niet gekend is, is dit verschil niet meegenomen in bovenstaande berekening van het ventilatorverbruik.<sup>275</sup>

## Conclusie

Het implementeren van een systeem C op gebouwniveau lijkt een haalbare optie bij het renoveren en herbestemmen van de S4. De mechanische extractie zorgt ervoor dat er aanzienlijke debieten door de RTO's toegevoerd kunnen worden. In tegenstelling tot een natuurlijk ventilatiesysteem kan hier het nodige toevoerdebiet tot 360 m<sup>3</sup>/h steeds gerealiseerd worden. Daarbij moeten de bestaande schachten niet verbreed worden en moeten ze niet allemaal ingezet worden voor ventilatie, wat ruimte laat voor andere voorzieningen. Het ventilatiesysteem kan op maat van de gebruiker ontworpen worden, waarbij zeer sterk ingezet kan worden op vraaggestuurd ventileren. Dit is echter geen vereiste, ventileren in zones en afvoeren van constante debieten zijn ook mogelijke opties. Dit kan na verloop van tijd nog aangepast worden aan de noden van de gebruiker door sensoren en VAV-regelaars toe te voegen aan het systeem.

Bij herbestemmingsscenario's met zeer hoge ventilatiedebieten zoals auditoria en laboruimtes zullen de ventilatieverliezen vermoedelijk zeer sterk toenemen. Daardoor is het ventileren aan de hand van een systeem C bij deze scenario's geen plausibele optie. In dit geval zou een systeem D geïmplementeerd kunnen worden. Het nadelige effect van koude toevoerlucht doorheen RTO's wordt zo vermeden, de lucht wordt namelijk voorverwarmd door de warmtewisselaar in de luchtgroep. Men moet echter wel rekening houden met de groeiende energievraag van de ventilatoren - waarbij het verbruik meer dan dubbel zo hoog ligt als bij systeem C - en de kost van het systeem ten opzichte van een systeem C.

Het implementeren van een vraaggestuurd systeem D op gebouwniveau is een realistisch scenario. Bij een maximaal toe- en afvoerdebiet van 360 m<sup>3</sup>/h vormt de integratie van de kanalen op gebouwniveau geen probleem. Wanneer deze debieten hoger zouden liggen moet de mogelijkheid tot integratie in de bestaande kanalen nauwkeurig onderzocht worden. Hierbij zal ook de locatie van de ruimtes met deze aanzienlijke debieten een grote rol spelen in de integratie van het ventilatiesysteem op gebouwniveau.

273. Indigne, L, 2017

274. NBN EN 16798, 2017

275. Indigne, L, 2017

### 7.8.3 Hybride ventilatie

Uit het onderzoek naar de mogelijkheden tot natuurlijk ventileren bij de S4 blijkt dat het behalen van de gewenste debieten niet eenvoudig is. Dit enerzijds door de windsituatie op de site, en anderzijds door het feit dat de bestaande kanalen verbreed moeten worden om een debiet van 360 m<sup>3</sup>/h per segment af te kunnen voeren. Vooraleer over te schakelen op mechanische ventilatie kunnen mogelijkheden tot hybride ventilatie onderzocht worden. In wat volgt wordt onderzocht hoe de principes die reeds op gebouwniveau geschetst werden, in de S4 toegepast en geïntegreerd kunnen worden. In tegenstelling tot de vorige ventilatieprincipes wordt hier minder gefocust op berekeningen en dynamische simulaties, er wordt aangenomen dat het verbruik van de hybride ventilatieprincipes zich tussen de uitersten van de natuurlijke ventilatie en een systeem D zullen bevinden.

#### *Natuurlijke ventilatie ondersteund door ventilatoren*

Uit de berekeningen bij de integratie van een natuurlijk ventilatiesysteem bleek het realiseren van een afvoerdebiet van 360m<sup>3</sup>/h door de bestaande verticale schachten per segment onhaalbaar. Het maximale afvoerdebiet bedraagt 160 m<sup>3</sup>/h per segment. Concreet wil dit zeggen dat bij alle herbestemmingsscenario's met een lage bezetting van minimaal 5 m<sup>2</sup> per persoon, de lucht op een natuurlijke wijze afgevoerd kan worden. Wanneer men de sectie van de verticale kanalen maximaal vergroot, kan men een debiet tot 360 m<sup>3</sup>/h per segment afvoeren wat overeenkomt met een bezetting van minimaal 2 m<sup>2</sup>/persoon. Wanneer men het uitbreiden van de verticale schachten wil vermijden kan men inzetten op mechanische ondersteuning van de natuurlijke ventilatie. Concreet kan dit door het drukverschil over de lengte van de verticale kanalen te vergroten waardoor er meer lucht naar buiten gezogen wordt. Deze mechanische ondersteuning kan bovendien de onzekerheid bij natuurlijke ventilatie als een gevolg van de specifieke windsituatie compenseren.

Een toenemend drukverschil kan op meerdere manieren gerealiseerd worden. Vooraleer mechanisch te ondersteunen, kan de onderdruk aan de bovenzijde van de ventilatieschacht vergroten door te werken met een 'windgek'. Deze draait zich altijd zodanig dat de opening van het extractiekanaal weg draait van de wind, wat voor een extra onderdruk aan de opening zorgt. Een gekend voorbeeld waar dit principe is toegepast is het stadsdeelkantoor Ypenburg-Leidschenveen in Den Haag, Nederland. Hier werd een architecturale windgek bovenaan een centrale extractieschacht geplaatst. De windgek versterkt bij wind de schachtventilatie door bijkomende trek te leveren. Wanneer het windstil is wordt de lucht het gebouw uitgezogen door een grote ventilator. In de binnenruimtes wordt verse buitenlucht aangevoerd door RTO's die gestuurd worden door CO<sub>2</sub>-sensoren.<sup>276</sup>

Dit principe kan kleinschaliger toegepast worden op de S4. De binnenruimte wordt vraaggestuurd geventileerd door het regelen van het toevoerdebiet door RTO's aan de hand van CO<sub>2</sub>-sensoren. De binnenlucht wordt op natuurlijke wijze afgevoerd. Per extractieschacht wordt bovenaan een ventilatiekap geïnstalleerd die werkt zoals een windgek. Let wel dat de afvoeropening van de ventilatiekap even groot moet zijn als de uitkomst van de berekeningen in deel 7.8.1 om het drukverschil nodig voor natuurlijke afvoer te garanderen. Tussen de windgek en het einde van de extractieschacht kan een mechanische extractieventilator geplaatst worden. Deze zal gestuurd worden volgens drukmetingen over de lengte van de extractieschacht en CO<sub>2</sub>-metingen in de binnenruimte. Wanneer het gemeten CO<sub>2</sub>-gehalte

276. Nederlandse Bouwdocumentatie, 2017



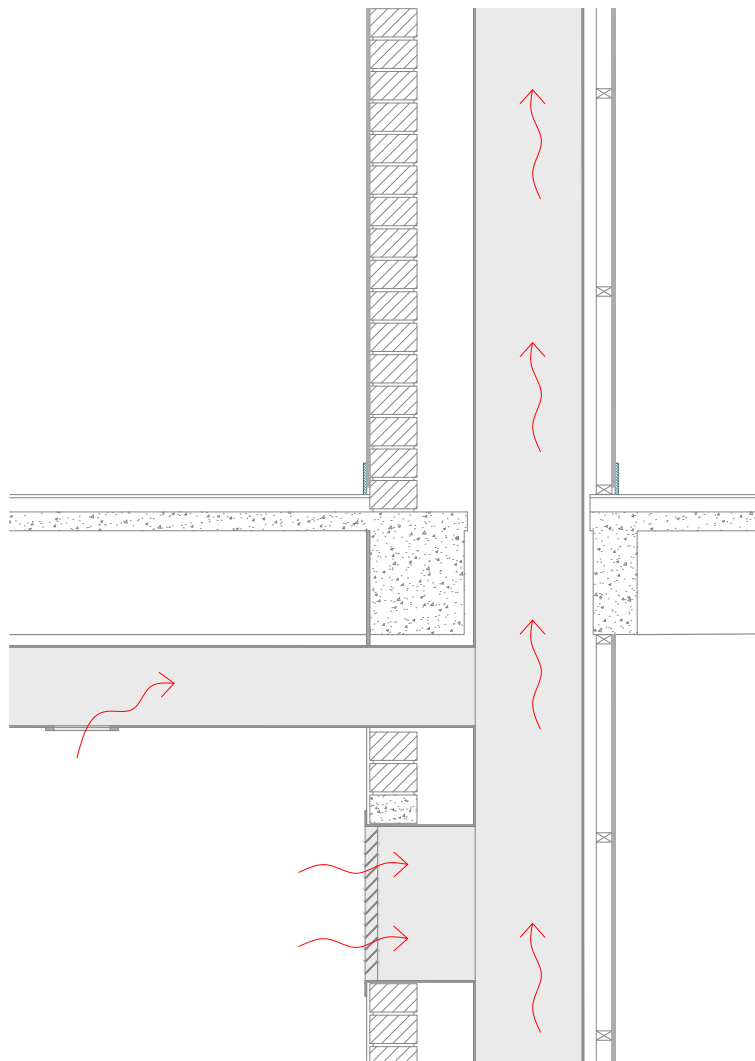
een bepaalde 'ppm'-waarde overschrijdt zal het drukverschil over het verticaal kanaal te klein zijn om het gewenste debiet af te voeren. Op dat moment moet de extractieventilator ingeschakeld worden om het debiet te vergroten.

#### *Combinatie van natuurlijke en mechanische ventilatie*

Bij dit principe wordt maximaal ingezet op natuurlijk ventileren. Wanneer de nodige toevoerdebieten niet op natuurlijke wijze gerealiseerd kunnen worden, of wanneer de ventilatieverliezen door natuurlijke luchttoevoer te groot worden, kan overgeschakeld worden op een mechanisch ventilatiesysteem.

Dit kan in verschillende stappen gebeuren. In het tussenseizoen kan men bij een lage bezetting natuurlijk gaan ventileren. De gewenste debieten kunnen door de RTO's toegevoerd worden, de binnenlucht kan het gebouw op natuurlijke wijze verlaten. Het afvoerdebiet is beperkt tot 160 m<sup>3</sup>/h per segment wanneer men de bestaande kanalen gebruikt. Wanneer de bestaande kanalen uitgebreid worden, kan men een groter debiet afvoeren. Bij een toenemende bezettingsgraad zal het natuurlijk toevoerdebiet door de RTO's te klein worden, in dat geval kan men de lucht mechanisch afvoeren om zo een grotere onderdruk in de ruimte te creëren. Dit met als gevolg dat door het toenemend drukverschil tussen binnen en buiten, het natuurlijk toevoerdebiet zal toenemen. In de winter kan de temperatuur van de toevoerlucht te laag liggen, wat grote warmteverliezen met zich meedraagt, in de zomer kan de temperatuur van de toevoerlucht te hoog liggen waardoor deze de oververhitting van de ruimte in de hand werkt. Op deze momenten kan men overschakelen op mechanische toevoer, de temperatuur van de toevoerlucht wordt hier geregeld aan de hand van een warmtewisselaar waardoor de warmteverliezen en oververhitting beperkt worden.

Het toepassen van dit systeem is enkel voordelig wanneer het besparen van energie door deels in te zetten op natuurlijke ventilatie opweegt tegen de hoge investeringskost. Wanneer de ventilatieverliezen doorheen de RTO's zo groot blijken waardoor men grotendeels op mechanische wijze lucht toevoert, is de bijkomende investeringskost in de componenten en integratie van natuurlijke ventilatie best te vermijden. Bij dit principe wordt zowel mechanisch als natuurlijk ventileren in het gebouw mogelijk. Men moet toevoeropeningen in de gevel voorzien waardoor lucht het gebouw kan binnenkomen. Daarnaast moeten de extractiekanalen zo gedimensioneerd worden dat lucht op een natuurlijke wijze het gebouw kan verlaten. Het voorzien van ventilatiekanalen voor mechanische ventilatie bovenop de nodige ventilatiekanalen voor natuurlijke ventilatie is enerzijds moeilijk te integreren en anderzijds een dubbele kost. Men moet dus een ventilatiesysteem implementeren waarbij zowel natuurlijke als mechanische afvoer doorheen dezelfde kanalen geschiedt. Een mogelijke integratie wordt op volgende snede weergegeven.



Figuur 159: Combinatie van natuurlijke en mechanische luchtafvoer

### *Conclusie*

Het ondersteunen van natuurlijke ventilatie door mechanische extractie biedt geen oplossing tot het beperken van de ventilatieverliezen bij natuurlijke luchttoevoer. Dit systeem biedt echter wel een mogelijkheid om grote debieten aan de hand van natuurlijke toevoer te realiseren. Het zijn echter de ventilatieverliezen die doorslaggevend zullen zijn, waardoor de mogelijkheid tot toepassing van dit systeem door deze verliezen bepaald zullen worden.

Gezien de grote ventilatieverliezen bij natuurlijke luchttoevoer en grote energieverliezen van de ventilatoren bij een mechanisch systeem, kan ingezet worden op een afwisseling tussen natuurlijke en mechanische ventilatie. Dit afwisselen biedt namelijk de mogelijkheid tot het beperken van zowel ventilatie- als energieverliezen op verschillende momenten in het jaar. Belangrijk hierbij is het nagaan of het mogelijk maken van beide opties ter beperking van de verliezen opweegt tegen de investeringskost die hierbij komt kijken.

## 7.8.4 Resultaten dynamische simulaties - Ventilatie

Zowel het thermisch comfort als het energieverbruik zijn belangrijke parameters in de keuze voor een bepaald type ventilatiesysteem. Bij scenario's met grote ventilatiedebieten kan dit een significante impact hebben. De laboratoria met 10 volumewisselingen per uur worden als de meest kritieke situatie gezien op vlak van warmtevraag en ventilatiedebieten. De impact van verschillende ventilatiesystemen wordt bijgevolg verder onderzocht voor dit scenario.

De vergelijking wordt gemaakt tussen een ventilatiesysteem C+, een ventilatiesysteem D met volledige bypass en een ventilatiesysteem D met gedeeltelijke bypass. Een warmtewisselaar zonder bypass is geen optie gezien het oververhittingsrisico dat in bijna alle scenario's voorkomt.

### Extra wijzigingen in het simulatiemodel

De wijzigingen in de simulaties gebeuren in het ventilatiemodel. In geval van systeem D wordt er een warmtewisselaar toegevoegd met een effectiviteit van 0,83 en wordt de terugval van het ventilatiedebiet 's nachts op 15% ingesteld i.p.v. 10% in het geval van systeem C+, aangezien er steeds een minimale ventilatie nodig is die in geval van een systeem D niet via natuurlijke ventilatie kan gebeuren en de ventilatoren niet lager dan dit debiet kunnen werken.

Bij de warmtewisselaar met volledige bypass wordt er ingesteld dat de warmtewisselaar in werking treedt als de binnenlucht voorverwarmd of voorgekoeld moet worden. Meer specifiek betekent dit dat de bypass in werking treedt als het binnen kouder is dan 22°C en buiten kouder is dan binnen, of als het binnen warmer is dan 22°C, maar de temperatuur binnen lager is dan buiten. In de andere gevallen treedt de warmtewisselaar niet in werking. In situaties met grote interne warmtewinsten komt er echter al oververhitting voor in het tussenseizoen. Dit heeft als gevolg dat er koude buitenlucht rechtstreeks zou worden ingeblazen, waarbij er een risico is op discomfort. Dit is een nadeel aan dit systeem en kan vermeden worden door het implementeren van een onvolledige bypass.

Bij de onvolledige bypass wordt er een temperatuur van de aanblaaslucht gevraagd van 20,5°C als het binnen kouder is dan 22°C en een temperatuur van 15°C als het binnen warmer is dan 22°C. Hierbij is ingesteld dat de toevoerlucht een temperatuur haalt die zo dicht mogelijk ligt bij de gevraagde waarde, rekening houdende met de binnen- en buitentemperatuur en de effectiviteit van de warmtewisselaar volgens volgende formule:  $\theta_{su,i} = \theta_e + \varepsilon(\theta_{m,ex} - \theta_e)$ <sup>277</sup>

De temperatuur van 15°C ligt eerder aan de lage kant, om de oververhitting zo veel mogelijk in te perken. Gezien de hoge plafondhoogte in de S4 zou dit echter geen discomfort mogen veroorzaken als de inblaaslucht voldoende gemengd wordt met de binnenlucht door de manier van inblazen, bijvoorbeeld aan de hand van wervelroosters.

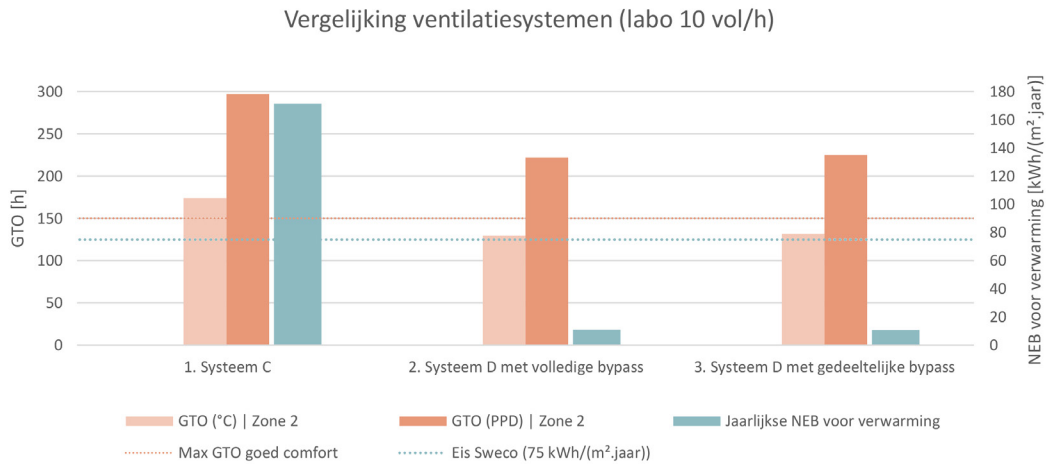
Bij beide vormen van warmtewisselaars is er echter een vertraging van 5 minuten toegevoegd op de meting van de binnentemperatuur om te bepalen in welke stand de bypass moet staan, omdat Dymola deze berekening anders niet kon uitvoeren. Aangezien de tijdsstap van de simulatie een uur bedraagt, is de fout die hieruit voorkomt verwaarloosbaar.

277. Janssens, A. & Boydens, W., 2019-2020

## Vergelijking ventilatiesystemen

Als eerste wordt er gekeken naar de impact van de verschillende ventilatiesystemen op de NEB voor verwarming en de oververhittingsuren.

### Resultaten – labo 10 vol/h



Figuur 160: Vergelijking ventilatiesysteem C en D met volledige of gedeeltelijke bypass voor labo's met 10 vol/h

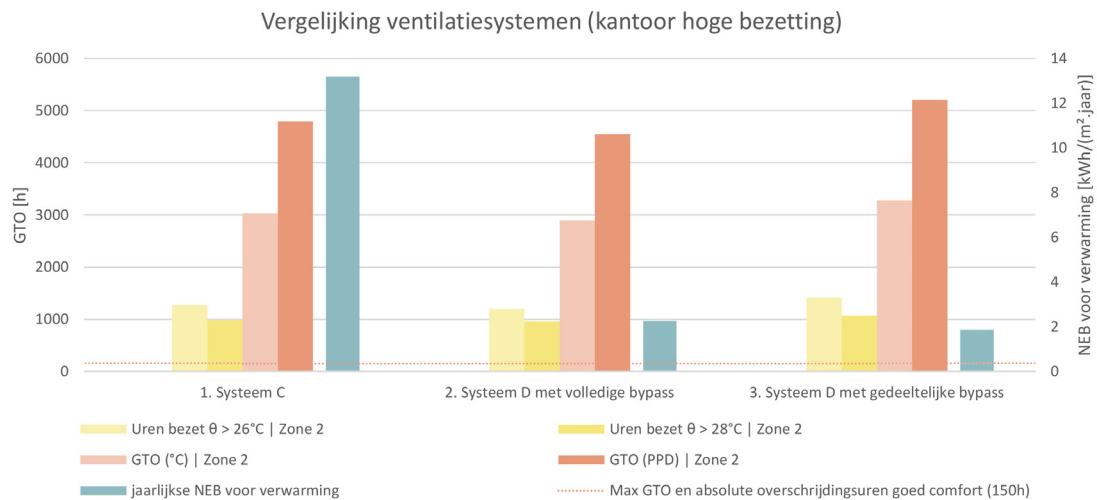
Scenario	GTO (°C) Zone 2 [h]	Relatieve daling GTO [°C] zone 2	GTO (PPD) Zone 2 [h]	Relatieve daling GTO [PPD] zone 2	NEB verwarming [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	Relatieve daling NEB verwarming
1. Systeem C	174	0%	297	0%	171,32	0%
2. Systeem D met volledige bypass	129	26%	222	25%	10,97	94%
3. Systeem D met gedeeltelijke bypass	132	24%	225	24%	10,93	94%

Tabel 49: Vergelijking ventilatiesysteem C en D met volledige of gedeeltelijke bypass voor labo's met 10 vol/h

Hieruit blijkt dat bij een laboruimte met 10 volumewisselingen per uur zowel de oververhitting als de netto-energiebehoefte voor verwarming sterk verminderen bij het gebruik van een systeem D. De GTO (°C) daalt tot 26%, de GTO (PPD) tot 25% en de netto-energiebehoefte voor verwarming daalt met 94%. Dit wil zeggen dat de warmtewisselaar zowel de warmte binnenhoudt bij lage buitentemperaturen en de warmte buitenhoudt bij hoge buitentemperaturen. Daarnaast is de warmtevraag bij de twee types warmtewisselaars ongeveer gelijk, maar zit er wel een verschil op de oververhitting. Bij de gedeeltelijke bypass ligt de oververhitting net iets hoger, doordat de inblaasluucht voorverwarmd wordt tot 15°C, waardoor het koelpotentieel lager ligt. Er zou hier ingesteld kunnen worden dat de onvolledige bypass ook overschakelt op een volledige bypass buiten bezettingstijd als er gekoeld moet worden. Dit zou echter maar een beperkte invloed hebben, aangezien het debiet dan ook terugvalt tot 15%.

## Resultaten - kantoor hoge bezetting

Daarnaast wordt ook naar het verschil in ventilatiesystemen gekeken bij de andere uiterste situatie waarbij de oververhitting overheerst, namelijk kantoren met hoge bezetting.



Figuur 161: Vergelijking ventilatiesysteem C en D met volledige of gedeeltelijke bypass voor kantoren met hoge bezetting

Scenario	Uren bezet $\theta > 26^{\circ}\text{C}$   Zone 2 [h]	Uren bezet $\theta > 28^{\circ}\text{C}$   Zone 2 [h]	GTO ( $^{\circ}\text{C}$ )   Zone 2 [h]	Relatieve daling GTO [ $^{\circ}\text{C}$ ] zone 2	GTO (PPD)   Zone 2 [h]	Relatieve daling GTO [PPD] zone 2	NEB verwarming kWh/m <sup>2</sup>	Relatieve daling NEB voor verwarming
1. Systeem C	1276	982	3032	0%	4789	0%	13,19	0%
2. Systeem D met volledige bypass	1198	955	2892	5%	4552	5%	2,26	83%
3. Systeem D met gedeeltelijke bypass	1409	1069	3280	-8%	5201	-9%	1,86	86%

Tabel 50: Vergelijking ventilatiesysteem C en D met volledige of gedeeltelijke bypass voor kantoren met hoge bezetting

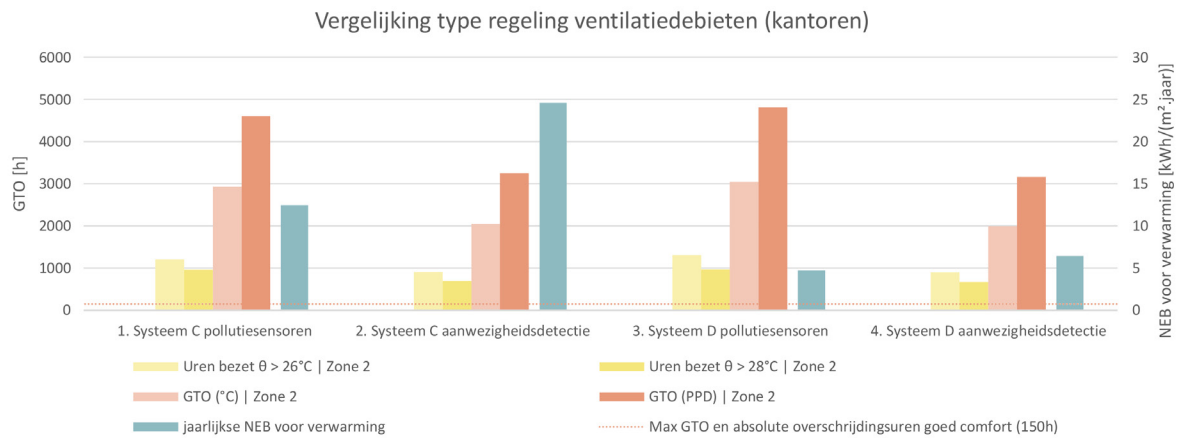
Hierbij is er ook een grote daling in energieverbruik tot 86%. In tegenstelling tot de laboruimtes, daalt de oververhitting in dit geval echter zeer weinig in het geval van de volledige bypass en stijgt ze zelfs bij de gedeeltelijke bypass. Deze resultaten zijn als volgt te verklaren: in het geval van de volledige bypass is de oververhitting quasi gelijk, aangezien de warmtewisselaar volledig uitschakelt in geval van oververhitting en de ruimte dus gekoeld kan worden met buitenlucht. De lichte daling is een gevolg van het in werking treden van de bypass op de momenten dat het buiten warmer is dan binnen en de warmte buiten gehouden kan worden. Bij de onvolledige bypass is er echter een minimumtemperatuur ingesteld van  $15^{\circ}\text{C}$ , waardoor de ruimtes niet evenveel afgekoeld kunnen worden als in de andere scenario's als er oververhitting optreedt. Dit zorgt ervoor dat er geen discomfort is door een te koude inblaaslucht, maar laat het comfort wel dalen door meer oververhittingsuren.

## Regeling ventilatiesysteem

Bovenstaande resultaten gaan uit van een systeem waarbij de ventilatiedebieten afgestemd worden op de bezetting, bijvoorbeeld door pollutiesensoren op basis van  $\text{CO}_2$ . Om het aantal sensoren te verminderen, kan er bijvoorbeeld met een aanwezigheidsdetectie gewerkt worden. Ter illustratie van de impact op de oververhitting en de warmtevraag worden de 2 scenario's met elkaar vergeleken. In beide scenario's is er een lage bezetting aanwezig met bijhorende interne warmtewinsten. In het eerste scenario – met pollutiesensoren – komt het debiet overeen met de bezetting. In het tweede scenario – met aanwezigheidsdetectie – wordt er een debiet voor hoge bezetting toegevoerd. Deze vergelijking wordt gemaakt voor systeem C en voor systeem D met onvolledige bypass.

## Resultaten – kantoor

Een kantoor met lage bezetting en bijhorend ventilatiedebiet wordt vergeleken met een kantoor met lage bezetting met het ventilatiedebiet van een kantoor met hoge bezetting, wat dubbel zo hoog ligt als dat voor de lage bezetting.



Figuur 162: Vergelijking pollutiessensor en aanwezigheidsdetectie bij kantoren voor een systeem C en een systeem D

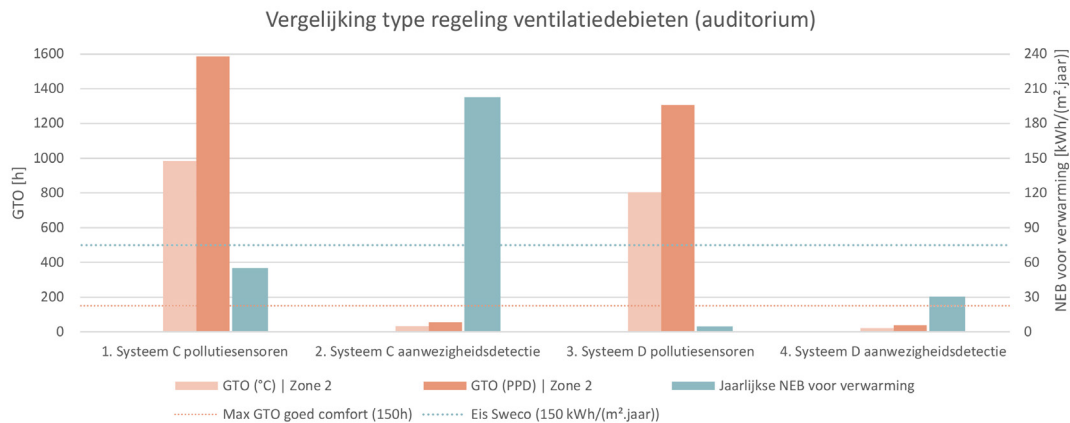
Scenario	Uren bezet $\theta > 26^{\circ}\text{C}$   Zone 2 [h]	Uren bezet $\theta > 28^{\circ}\text{C}$   Zone 2 [h]	GTO ( $^{\circ}\text{C}$ )   Zone 2 [h]	Relatieve daling t.o.v. pollutiessensoren	GTO (PPD)   Zone 2 [h]	Relatieve daling t.o.v. pollutiessensoren	NEB voor verwarming [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	Relatieve stijging t.o.v. pollutiessensoren
1. Systeem C pollutiessensoren	1211	967	2930	0%	4608	0%	12,47	0%
2. Systeem C aanwezigheidsdetectie	912	695	2052	30%	3246	30%	24,58	97%
3. Systeem D pollutiessensoren	1310	970	3039	0%	4811	0%	4,72	0%
4. Systeem D aanwezigheidsdetectie	905	670	1989	35%	3157	34%	6,43	36%

Tabel 51: Vergelijking pollutiessensor en aanwezigheidsdetectie bij kantoren voor een systeem C en een systeem D

In geval van kantoren heeft dit een positief effect op de oververhitting. De GTO ( $^{\circ}\text{C}$ ) daalt 30 à 35%. De NEB voor verwarming verdubbelt echter bijna in geval van systeem C tot 24,58 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar), maar blijft nog steeds ver onder de eis van Sweco. Al bij al lijkt dit hogere ventilatiedebiet bijna een positief effect, op basis van deze resultaten. Hierbij dient echter de kanttekening gemaakt te worden dat het verbruik voor ventilatoren ook significant stijgt. Het ventilatiedebiet verdubbelt, waardoor het verbruik van de ventilatoren ook verdubbelt. In geval van systeem D met een SFP klasse 3 (ondergrens) stijgt het verbruik van 4,14 naar 8,27 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar) en in geval van systeem C van 1,53 naar 3,06 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar), zoals berekend in paragraaf 7.8.2. Samen met de stijging in NEB voor verwarming, zeker in geval van systeem C, compenseert dit wellicht niet voor de daling in energievraag voor koeling.

## Resultaten – auditorium

Daarnaast is dit ook onderzocht voor auditoria. Er wordt gekeken naar een auditorium waarbij de ventilatie voorzien is voor een hoge bezetting, maar waarbij er maar een lage bezetting aanwezig is, namelijk deze van een klas met lage bezetting. Een auditorium met hoge bezetting heeft een ventilatiedebiet dat 3,5 keer hoger ligt dan bij klassen met lage bezetting.



Figuur 163: Vergelijking pollutiesensor en aanwezigheidsdetectie bij auditoria voor een systeem C en een systeem D

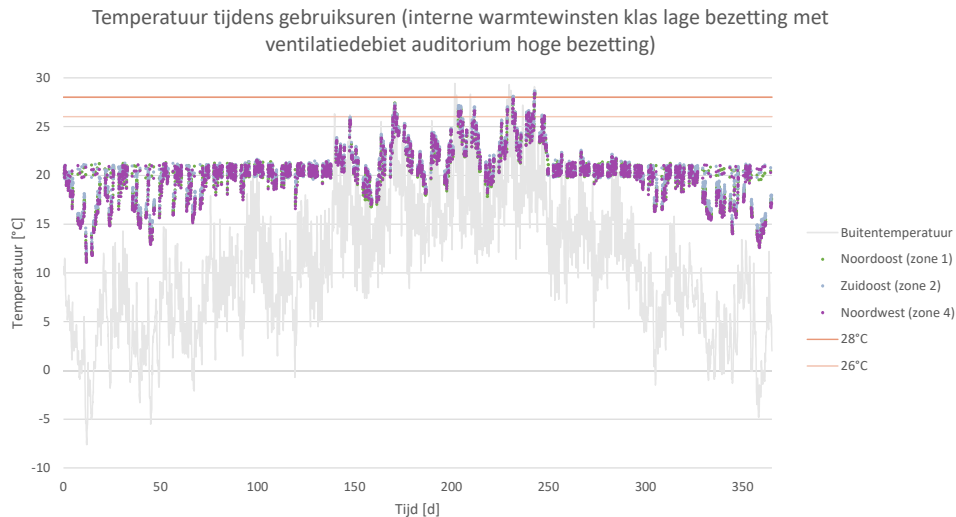
Scenario	GTO (°C) Zone 2 [h]	Relatieve daling t.o.v. pollutiesensoren	GTO (PPD) Zone 2 [h]	Relatieve daling t.o.v. pollutiesensoren	NEB voor verwarming [kWh/(m².jaar)]	Relatieve stijging t.o.v. pollutiesensoren
1. Systeem C pollutiesensoren	984	0%	1586	0%	55,33	0%
2. Systeem C aanwezigheidsdetectie	32	97%	56	96%	202,76	266%
3. Systeem D pollutiesensoren	804	0%	1307	0%	4,70	0%
4. Systeem D aanwezigheidsdetectie	22	97%	38	97%	30,50	550%

Tabel 52: Vergelijking pollutiesensor en aanwezigheidsdetectie bij auditoria voor een systeem C en een systeem D

De verschillen zijn hier veel groter dan in het scenario van de kantoren. Een groter verschil in ventilatiedebiet heeft duidelijk een grotere impact. Bovendien ligt de stijging in verwarmingsvraag bij systeem D procentueel gezien hoger dan deze bij systeem C, terwijl dit bij kantoren omgekeerd was. Dit is ook een gevolg van de grotere stijging in ventilatiedebiet en een kleinere verhouding van interne warmtewinsten ten opzichte van het ventilatiedebiet. Hierdoor kan de lucht minder ver voorverwarmd worden, waardoor de resterende warmtevraag groter is.

Naast de sterke stijging in warmtevraag is er ook een erg grote daling in oververhitting. Het aantal uren GTO blijft zelfs onder de grens van 150h. Hierbij dient echter dezelfde kanttekening gemaakt te worden als bij de kantoren, namelijk dat het verbruik van de ventilatoren hierbij niet genegeerd mag worden. Het verbruik wordt vermenigvuldigd met 3,5, van 8,73 naar 30,56 kWh/(m².jaar) in geval van systeem C met een SFP klasse 3 en van 23,63 naar 82,72 kWh/(m².jaar) in geval van systeem D. Dit verbruik is enorm hoog en is best te vermijden.

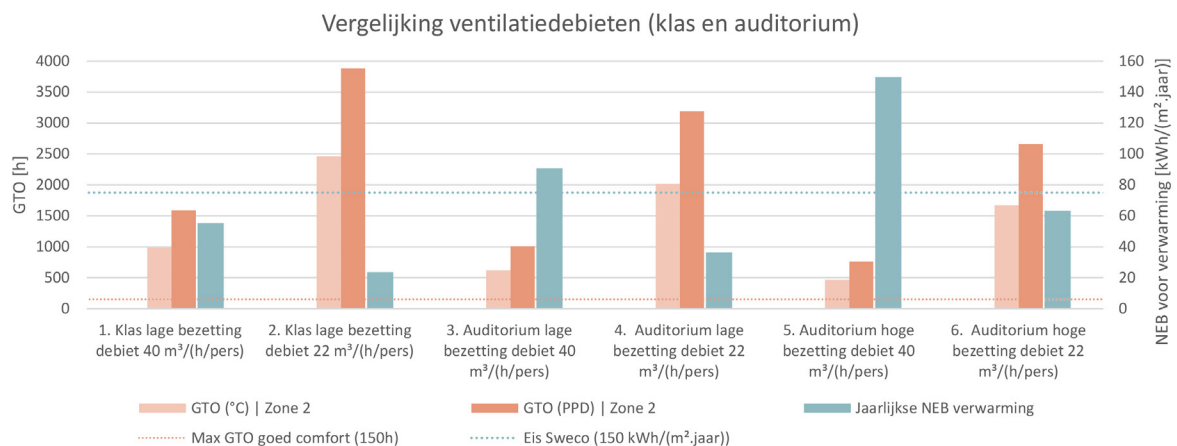
Bovendien ligt de warmtevraag in scenario 2 zo hoog dat de bestaande verwarming op een hoog temperatuurregime - en dus met een hoog vermogen - niet voldoet om de comforttemperatuur te realiseren. Dit wordt aangetoond op onderstaande grafiek die het temperatuurverloop tijdens gebruiksuren weergeeft. Hierop is te zien dat de temperatuur onacceptabel laag daalt bij lage buitentemperaturen.



Figuur 164: Temperatuurverloop van een auditorium met hoge bezetting met aanwezigheidsdetectie met de bezetting van een klas met lage bezetting

## Ventilatie debieten

Daarnaast focust dit onderzoek vooral op een debiet van 40 m<sup>3</sup>/pers, aangezien ventilatie in deze tijden steeds belangrijker wordt en de regelgeving zich hier wellicht aan zal aanpassen. In kantoren is een ventilatiedebiet van 40 m<sup>3</sup>/(h.pers) verplicht volgens de codex over het welzijn op het werk.<sup>278</sup> Voor schoolgebouwen is er echter opgegeven dat de binnenluchtkwaliteit moet voldoen aan IDA klasse 3, volgens norm NBN EN 13779. Deze klasse geeft een debiet van 22 – 36 m<sup>3</sup>/(h.pers) aan.<sup>279</sup> Ter illustratie wordt het verschil aangetoond tussen een debiet van 22 m<sup>3</sup>/(h.pers) en 40 m<sup>3</sup>/(h.pers) bij gebruik van een systeem C.



Figuur 165: Vergelijking hygiënische ventilatiedebieten voor klassen en auditoria

Scenario	GTO (°C) Zone 2 [h]	Relatieve stijging t.o.v. 40 m <sup>3</sup> /(h.pers)	GTO (PPD) Zone 2 [h]	Relatieve stijging t.o.v. 40 m <sup>3</sup> /(h.pers)	NEB voor verwarming [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	Relatieve daling t.o.v. 40 m <sup>3</sup> /(h.pers)
1. Klas lage bezetting debiet 40 m <sup>3</sup> /(h.pers)	984	0%	1586	0%	55,33	0%
2. Klas lage bezetting debiet 22 m <sup>3</sup> /(h.pers)	2461	150%	3886	145%	23,56	57%
3. Auditorium lage bezetting debiet 40 m <sup>3</sup> /(h.pers)	623	0%	1010	0%	90,76	0%
4. Auditorium lage bezetting debiet 22 m <sup>3</sup> /(h.pers)	2018	224%	3192	216%	36,36	60%
5. Auditorium hoge bezetting debiet 40 m <sup>3</sup> /(h.pers)	468	0%	760	0%	149,70	0%
6. Auditorium hoge bezetting debiet 22 m <sup>3</sup> /(h.pers)	1672	257%	2659	250%	63,14	58%

Tabel 53: Vergelijking hygiënische ventilatiedebieten voor klassen en auditoria

278. Codex over het welzijn op het werk, 2017

279. NBN EN 13779 NL, 2010



Het verschil in ventilatiedebiet zorgt voor een sterke stijging op vlak van oververhitting, maar ook voor een sterke daling in warmtevraag van ongeveer 60%. Zelfs in auditoria met hoge bezetting zou er aan de eis van Sweco voldaan kunnen worden ingeval van een systeem C. Bovendien wordt het verbruik van de ventilatoren ook bijna gehalveerd, aangezien de debieten bijna halveren. Bij auditoria met hoge bezetting zou dit een daling betekenen van 30,56 naar 16,81 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar) bij systeem C. Hierbij kan in vraag gesteld worden of de hoge ventilatiedebieten van 40 m<sup>3</sup>/pers energetisch gezien wel acceptabel zijn.

### **Conclusie**

De grote ventilatieverliezen – omwille van de hoge benodigde (hygiënische) ventilatiedebieten – laten de NEB voor verwarming sterk stijgen. Systeem D met warmterecuperatie kan hiervoor een oplossing zijn. Hierbij kan voor een volledige bypass – die een groter koelpotentieel heeft - gekozen worden of voor een onvolledige bypass waarbij de lucht altijd op comforttemperatuur ingeblazen wordt, maar waarbij de oververhitting hoger ligt dan bij een volledige bypass.

Als er met een systeem C gewerkt wordt, is een vraaggestuurd ventilatiesysteem quasi onvermijdelijk, om de ventilatieverliezen te beperken. Ook bij een systeem D is dit voordelig om de ventilatorenergie te beperken.

## 7.9 Koeling

In wat volgt wordt besproken wat de comfortgrenzen zijn op vlak van koeling en welke koelstrategieën er mogelijk zijn bij passieve en mechanische koeling.

### 7.9.1 Comfortgrenzen koeling

De ontwerprichtlijn van de UGent geeft comfortgrenzen aan waaraan de temperatuur moet voldoen in de zomer, dus wanneer er een koelvraag is. Dit wordt weergegeven in onderstaande tabel.

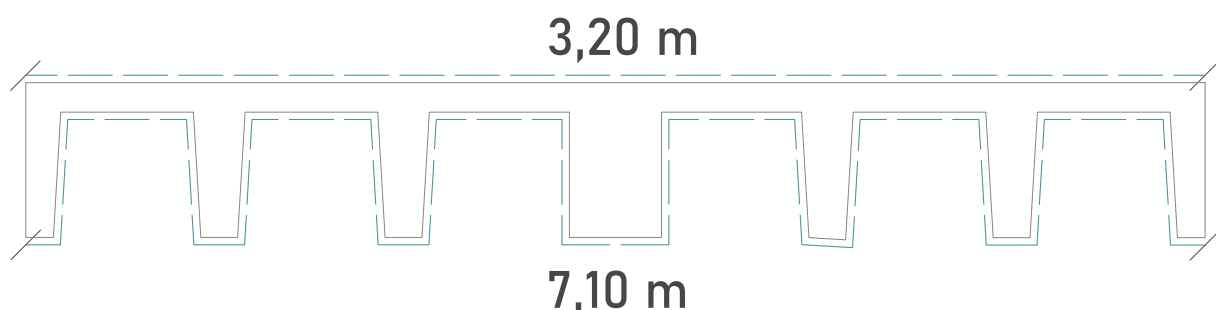
Criteria	Grenswaarde (minimaal)	Richtwaarde (normaal)	Streefwaarde (optimaal)
Comforttemperatuur in de zomer	22 - 27 °C	23 - 26 °C	23,5 - 25,5 °C
Comforttemperatuur in de winter	19 - 25 °C	20 - 24 °C	21 - 23 °C

Tabel 54: Comfortcriteria uit de Ontwerprichtlijn van de UGent

Gezien de koeling wellicht aan de hand van een BEO-veld zal gebeuren<sup>280</sup>, wat een erg energiezuinige manier van koelen is, wordt er naar de optimale streefwaarde gekoeld. Er wordt gestreefd naar een binnentemperatuur van maximaal 25°C in koelseizoen in het kader van dit onderzoek.

### 7.9.2 Passieve koeling

De ontwerprichtlijn van de UGent stelt dat in het kader van de EPB-regelgeving en het BEN-bouwen maximaal ingezet moet worden op passief koelen aan de hand van nachtkoeling ten voordele van actieve koeling.<sup>281</sup> In wat volgt worden de mogelijkheden tot nachtkoeling in de S4 onderzocht. Zoals besproken op gebouwniveau, wordt bij nachtkoeling de thermische massa van het gebouw aangesproken, waarbij de 'surface area' doorslaggevend is. Voordien werden enkele vuistregels voor nachtkoeling aangehaald. Zo is een richtwaarde voor de massa van het vloerpakket 390 kg/m<sup>2</sup>. Afgeleid van het feit dat het soortelijk gewicht van gewapend beton 2400 kg/m<sup>3</sup> bedraagt, en dat het vloerpakket per m<sup>2</sup> vloeropbouw uit ongeveer 0,156 m<sup>3</sup> gewapend beton bestaat, wordt een massa van 385 kg/m<sup>2</sup> voor het vloerpakket bekomen. Daarnaast zorgt de vorm van de welfsels ervoor dat de 'surface area' van het plafond zeker tweemaal groter is dan de vloeropervlakte in de ruimte. Per lopende meter vloer is er namelijk 2,20 lopende meter gewelf. Onderstaande doorsnede maakt dit duidelijk.



Figuur 166: Lopende meters plafondoppervlakte

280. Sweco, 2020

281. Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2020

Naast vuistregels kan ook nagegaan worden op welke manier de nodige debieten voor nachtkoeling behaald kunnen worden. Algemeen is het nodige ventilatievoud voor nachtkoeling gelijk aan 5 tot 10 luchtverversingen per uur. Wanneer opnieuw met een segment met een oppervlakte van 18 m<sup>2</sup> gewerkt wordt, en de hoogte van de binnenruimte gelijk is aan 3,60 m, bekomt men een volume van 64,80 m<sup>3</sup> achter elk raamelement. Door op deze manier tewerk te gaan, kunnen per raamelement de nodige openingen bepaald worden om het nodige debiet voor nachtkoeling te realiseren. Het toevoerdebiet om aan een ventilatievoud van 10 vol/h te komen, bedraagt ongeveer 650 m<sup>3</sup>/h. Om 5 luchtverversingen per uur te realiseren, is er een toevoerdebiet van 325 m<sup>3</sup>/h nodig.

De principes geschetst bij natuurlijke ventilatie kunnen opnieuw ingezet worden om de ruimte 's nachts te ventileren. In principe kan ook aan de hand van een systeem C nachtkoeling verwezenlijkt worden door de extractieventilatoren een grotere onderdruk in de ruimte te laten creëren waardoor het gewenste ventilatievoud behaald wordt. In de meeste gevallen zal het energieverbruik bij mechanische extractie groter zijn dan het energieverbruik bij mechanische koeling, waardoor het beter is mechanische koeling te implementeren.

Nachtkoeling op verdiepingsniveau kan gerealiseerd worden aan de hand van enkelzijdige ventilatie, dwarsventilatie of schachtventilatie. Aangezien per segment een debiet van 0,19 m<sup>3</sup>/s afgevoerd moet worden, en dit aan de hand van schachtventilatie al moeilijk te integreren bleek bij een afvoerdebiet van 0,10 m<sup>3</sup>/s per segment, wordt schachtventilatie bij nachtkoeling niet als optie meegenomen.

In wat volgt wordt het verkregen toevoerdebiet doorheen gevelopeningen en het bijkomende aantal luchtverversingen van de ruimte bij enkelvoudige- en dwarsventilatie begroot. Er zijn verschillende manieren om dit te berekenen. Bij een conservatieve aanname kan bijvoorbeeld de invloed van wind bij enkelzijdige ventilatie achterwege gelaten worden. De berekeningen in het volgende deel zijn gebaseerd op formules uit het handboek 'Natural ventilation in non-domestic buildings'. Daarnaast wordt ook de 'Air change rate calculator' van het bedrijf Windowmaster <sup>282</sup> gebruikt om het aantal luchtverversingen per uur in te schatten. Dit bedrijf zet in op componenten die natuurlijke ventilatie mogelijk maken.

### **Enkelzijdige ventilatie**

In het geval van enkelvoudige ventilatie zijn er meerdere mogelijkheden. Wanneer gewerkt wordt met twee verschillende openingen, kan 1 opening dienstdoen als toevoeropening en de andere als extractiepunt. Bij gebruik van slechts 1 opening, kan enkel de helft van de oppervlakte als toevoeropening gerekend worden, aangezien het toe- en afvoerdebiet gelijkgesteld wordt aan elkaar. Daarnaast moet nog rekening gehouden worden met de wind. Wanneer het windstil is, gebeurt het luchttransport doorheen de openingen door natuurlijke convectie. Wanneer het waait, zal de wind een andere invloed hebben aan verschillende zijden van het gebouw.

282. Air Change Rate Calculator, Windowmaster, z.d.

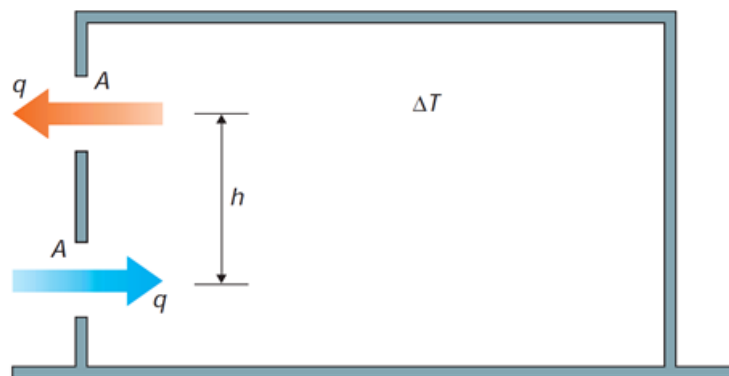


Figuur 25: Geveltekening S4(bis)



Figuur 26: Gevelbeeld S4 (eigen afbeelding)

De eerste situatie die beschouwd wordt, is een windstille situatie waarbij twee openingen in de gevel openstaan. Concreet gaat het over de bovenste en onderste ramen van een raamelement van de S4 die op kiepstand staan.



Figuur 167: Enkelzijdige ventilatie a.d.h.v. twee gevelopeningen, enkel gedreven door natuurlijke convectie Cibse, 2005, p.45)

Aangezien de oppervlakte van de toevoeropening bij een raam in kiepstand kleiner is dan bij een volledig opengedraaid raam, wordt volgende formule toegepast.<sup>283</sup>

$$A = \text{kiepafstand} * (b + h)$$

Waarbij de kiepafstand staat voor de diepte die het raamprofiel naar binnen kan kiepen, de breedte en de hoogte slaan op deze van het raam in gesloten positie. De oppervlakte van de toevoeropening per raam bedraagt 0,32 m<sup>2</sup> wanneer de kiepafstand 0,20 m bedraagt. Verder kan het debiet door de opening bepaald worden uit volgende formule.

$$A = \frac{q}{C_d} \sqrt{\frac{(T_i + 273)}{\Delta T g h}}$$

283. Janssens, A., 2021

Bij het omvormen naar  $q$  wordt volgende formule bekomen.

$$q = \frac{A * C_d}{\sqrt{\frac{(T_i + 273)}{\Delta T * g * h}}}$$

Met  $q$  = ventilatiedebiet [m/s]

$A$  = oppervlakte van de toevoeropening [m<sup>2</sup>]

$C_d$  = stromingscoëfficiënt

$T_i$  = binnentemperatuur [°C]

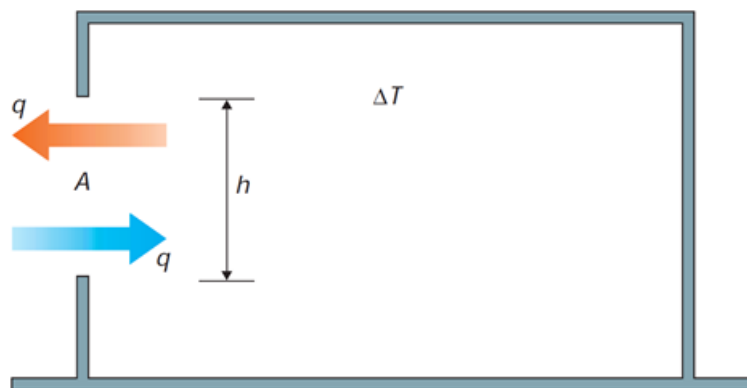
$\Delta T$  = temperatuurverschil tussen binnen en buiten [K]

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$  (valversnelling)

$h$  = hoogte tussen de middens van beide openingen [m]

Per schrijnwerkelement wordt lucht het gebouw binnengebracht door twee ramen in kiepstand, de totale toevoeropening bedraagt dus 0,64 m<sup>2</sup>. Net zoals bij de berekeningen bij natuurlijke ventilatie, worden de binnen- en buitentemperaturen op een hete zomerdag genomen. De situatie met een klein verschil tussen binnen- en buitentemperatuur is de meest kritieke situatie aangezien de gewenste debieten bij een klein temperatuurverschil moeilijker te realiseren zijn.<sup>284</sup> Meer specifiek wordt gewerkt met een buitentemperatuur van 22°C en een binnentemperatuur van 25°C. Voor de stromingscoëfficiënt wordt opnieuw een waarde van 0,60 genomen. Verder bedraagt de hoogte tussen het midden van beide toevoeropeningen 1,90 m. Als uiteindelijk toevoerdebiet levert dit ongeveer 600,00 m<sup>3</sup>/h op, wat net onder 10 luchtverversingen per uur ligt. Door de kiepafstand te vergroten, kan dit debiet nog opgevoerd worden.

Bij de tweede situatie wordt er met 1 opening in de gevel gewerkt in plaats van met 2 openingen boven elkaar. Hierbij kunnen de middelste ramen ingezet worden voor nachtventilatie. Wanneer enkel de middelste ramen opengezet worden, kan slechts de helft van de opening als toevoeropening beschouwd worden. Via de stromingscoëfficiënt  $C_d$  wordt dit in rekening gebracht: bij een opening waardoor verse lucht het gebouw betreedt en verlaat bedraagt deze 0,25 in plaats van 0,60 bij openingen die enkel als toevoeropening werken. In eerste instantie wordt het toevoerdebiet door de middelste ramen berekend wanneer ze in kiepstand staan.



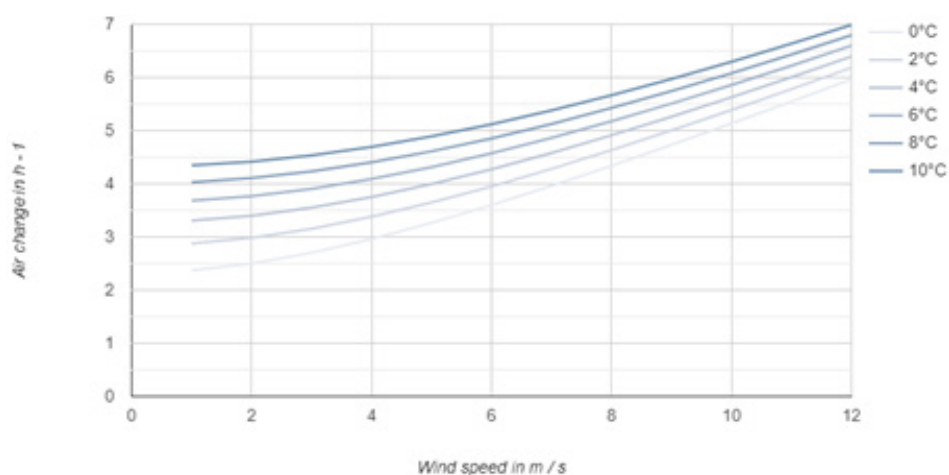
Figuur 168: Enkelzijdige ventilatie door 1 gevelopening, enkel gedreven door natuurlijke convectie (Cibse, 2005, p.45)

284. Cibse, 2005

De berekeningswijze is grotendeels hetzelfde als in situatie 1. De oppervlakte van de toevoeropening door het middelste raam dat op kiepafstand 0,20m staat, bedraagt 0,40m<sup>2</sup>. Wanneer twee ramen op kiepstand staan, bedraagt de totale toevoeropening 0,80m<sup>2</sup>. De hoogte is hier niet de afstand tussen het midden van beide openingen, wel de totale hoogte van het raam zijnde 1,40 m. Alle andere waarden blijven dezelfde, zo bekomt men een toevoerdebiet doorheen de toevoeropening van ongeveer 270,00 m<sup>3</sup>/h. Bij dit toevoerdebiet worden de gewenste 5 luchtwisselingen per uur niet behaald, wat te wijten valt aan de beperkte toevoeropening die slechts voor de helft ingezet kan worden om verse lucht toe te voeren.

Er zijn verschillende manieren waarop deze ramen 's nachts opengezet kunnen worden. De meest gebruikte manier bij nachtventilatie is het automatisch openen van de ramen op kiepstand, maar er bestaan ook andere mogelijkheden waarbij grotere toevoeropeningen verkregen worden, bijvoorbeeld opendraaiende ramen en horizontaal of verticaal pivoterende ramen. Deze ramen hebben typisch een grotere toevoeropening, maar scoren minder op het vlak van inbraakveiligheid. Toch vallen ze vanaf een zekere gebouwhoogte te overwegen. Wanneer bij de laatste berekening (met de middelste ramen op kiep), gewerkt wordt met horizontaal pivoterende ramen, kan men rekenen op een totale toevoeropening van 1,68 m<sup>2</sup> waardoor een toevoerdebiet van ongeveer 570,00 m<sup>3</sup>/h bekomen wordt.

Bij bovenstaande berekening wordt op conservatieve wijze geen rekening gehouden met de windsnelheid. Wanneer men die wel in rekening wil brengen en een tweede inschatting wil maken van het verkregen toevoerdebiet bij enkelzijdige ventilatie, kan gebruik gemaakt worden van de 'windowmaster' tool. Hier kunnen locatie, afmetingen, stromingscoëfficiënt en oriëntatie van de vensters ingegeven worden, waarop de software vervolgens het aantal luchtverversingen in functie van de windsnelheid en het temperatuurverschil tussen binnen en buiten berekent. Aan de hand van deze grafieken kan de impact van de wind op het toevoerdebiet ingeschat worden. Wanneer de middelste ramen in horizontaal gepivoteerde stand openstaan, bekomt men een toevoeropening van 1,68 m<sup>2</sup> en een stromingscoëfficiënt van 0,25. De tool geeft onderstaande resultaten.



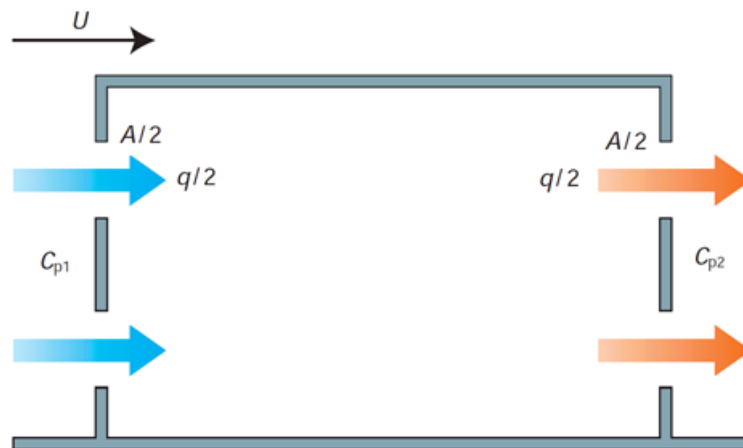
Figuur 169: Ventilatievoud in verhouding tot windsnelheid voor verschillende temperatuurverschillen tussen binnen en buiten bij enkelzijdige ventilatie (Windowmaster, 2022)

In een windstille situatie voorspelt de tool een lager aantal luchtwisselingen per uur in vergelijking met bovenstaande berekening. Bij een windsnelheid van 2 m/s en een temperatuurverschil van 3°C, worden volgens onderstaande figuur slechts 3,25 luchtwisselingen per uur gerealiseerd. Dit voldoet niet aan de nodige 5 luchtwisselingen. Pas wanneer de windsnelheid toeneemt tot 8 m/s zal bij een temperatuurverschil van 3°C het gewenste aantal van 5 luchtwisselingen per

uur behaald worden. Aangezien deze windsnelheid overeenkomt met een vrij krachtige wind, zal het nodige aantal luchtverversingen niet behaald worden bij gemiddelde windsituaties.

### Dwarsventilatie

Naast enkelvoudige ventilatie kan bij nachtcooling ook ingezet worden op dwarsventilatie, wat typisch tot grotere toevoerdebieten en meer luchtwisselingen per uur leidt. Bij dwarsventilatie wordt het toevoerdebiet en bijgevolg het ventilatievoud bepaald door de winddrukcoëfficiënten over de verschillende gevels. Deze winddrukken kunnen uit de windsimulatie gehaald worden. De winddrukcoëfficiënt bedraagt 0,10 op de loefzijde, -0,30 op de lijzijde.



Figuur 170: Dwarsventilatie gedreven door enkel wind (Cibse, 2005, p.46)

Het toevoerdebiet bij dwarsventilatie kan berekend worden met volgende formule.

$$q = A * C_d * U * \sqrt{\frac{\Delta C_p}{2}}$$

Met  $q$  = ventilatiedebiet [m<sup>3</sup>/s]

$A$  = oppervlakte van de toevoeropening [m<sup>2</sup>]

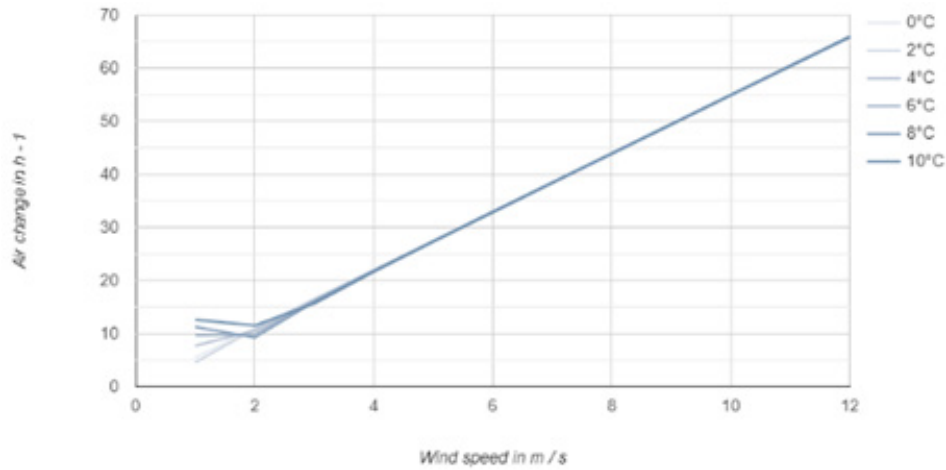
$C_d$  = stromingscoëfficiënt

$U$  = windsnelheid [m/s]

$\Delta C_p$  = verschil in winddrukcoëfficiënt tussen loef- en lijzijde

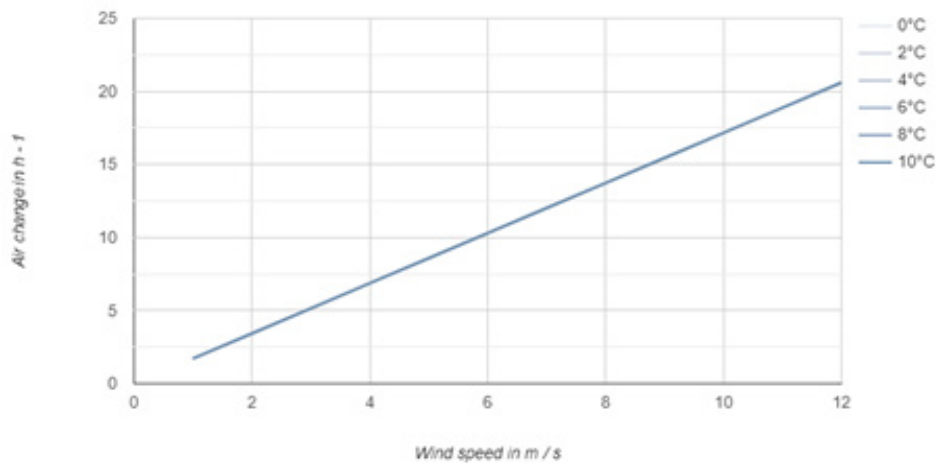
Wanneer het toevoerdebiet berekend wordt voor situatie 1, bedraagt de oppervlakte van de toevoeropening 1,28 m<sup>2</sup>, namelijk de onderste en bovenste ramen die op kiep staan met een kiepafstand van 0,20 m. Als waarde voor de stromingscoëfficiënt wordt opnieuw 0,60 genomen en als windsnelheid 2 m/s. Het verschil in winddrukcoëfficiënt over loef- en lijzijde bedraagt 0,40. Het uiteindelijke toevoerdebiet bedraagt ongeveer 2.500,00 m<sup>3</sup>/h. Situatie 2, met de middelste ramen op kiepstand, levert een toevoerdebiet van ongeveer 1.500,00 m<sup>3</sup>/h. Wanneer deze ramen horizontaal gepivoteerd openstaan aan beide zijden van de gevel, is het debiet ongeveer 3.250,00 m<sup>3</sup>/h. In deze situatie wordt geen rekening gehouden met doorstroomopeningen. Om nachtventilatie via dwarsventilatie te realiseren, moet een continue luchtdoorstroming gegarandeerd zijn. Concreet wil dit zeggen dat er geen kleinere openingen dan de toevoeropeningen op het pad tussen de twee gevels mogen voorkomen. Wanneer de verdiepingen opgedeeld worden in verschillende zones, zullen alle deuren dus maximaal moeten openstaan 's nachts.

Ook de uitkomsten van de verschillende scenario's bij dwarsventilatie in de 'windowmaster' tool vertonen gelijkaardige toevoerdebieten en luchtverversingen per uur. Situatie 1, met de onderste en bovenste ramen in kiepstand, levert onderstaande figuur. Reeds bij een minimale windsnelheid van 2m/s is er een ventilatievoud van 10 luchtwisselingen per uur. Vanaf een zekere windsnelheid blijkt de invloed van temperatuurverschil aldus verwaarloosbaar.



Figuur 171: Ventilatievoud in verhouding tot windsnelheid voor verschillende temperatuurverschillen tussen binnen en buiten bij dwarsventilatie in situatie 1 (Windowmaster, 2022)

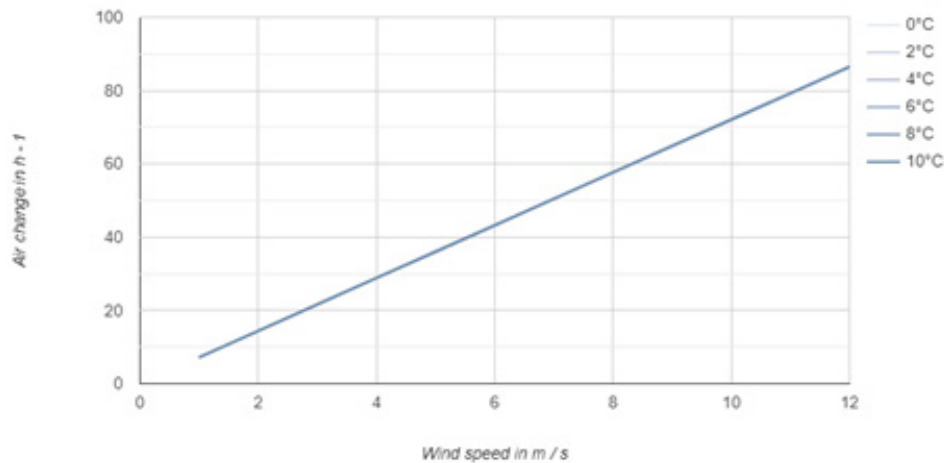
Situatie 2, waarbij de middelste ramen op kiepstand staan en een totale toevoeropening van 0,80 m<sup>2</sup> opleveren, is te zien in onderstaande grafiek. Hier wordt het minimale aantal luchtwisselingen van 5 per uur pas behaald bij een windsnelheid van 3 m/s.



Figuur 172: Ventilatievoud in verhouding tot windsnelheid voor verschillende temperatuurverschillen tussen binnen en buiten bij dwarsventilatie in situatie 2 (Windowmaster, 2022)

Wanneer de middelste ramen een maximale toevoeropening van 1,68 m<sup>2</sup> hebben - in horizontaal gepivoteerde stand – wordt reeds bij een lage windsnelheid van 2 m/s een ventilatievoud van meer dan 10 luchtwisselingen per uur gehaald.





Figuur 173: Ventilatievoud in verhouding tot windsnelheid voor verschillende temperatuurverschillen tussen binnen en buiten bij dwarsventilatie in situatie 3 (Windowmaster, 2022)

## Conclusie

Een vergelijking tussen de berekeningen en de grafieken van de ‘windowmaster-tool’, levert licht verschillende resultaten op. Onderstaande tabel geeft de resultaten van de berekeningen weer.

Type opening	Enkelzijdige ventilatie			Dwarsventilatie		
	Toevoeropening [m <sup>2</sup> ]	Toevoerdebiet [m <sup>3</sup> /h]	Ventilatievoud [# /h]	Toevoeropening [m <sup>2</sup> ]	Toevoerdebiet [m <sup>3</sup> /h]	Ventilatievoud [# /h]
Bovenste en onderste ramen op kiepstand	0,64	600,00	9,23	1,28	2500,00	13,89
Middelste ramen op kiepstand	0,80	270,00	4,15	0,80	1500,00	8,33
Middelste ramen horizontaal gepivoteerd	1,68	570,00	8,77	1,68	3250,00	18,06

Tabel 55: Resultaten van de berekeningen van het ventilatievoud bij nachtventilatie

Uit deze tabel en bovenstaande grafieken blijkt een duidelijk verschil in grootteorde tussen de behaalde toevoerdebieten bij enkelzijdige ventilatie en dwarsventilatie. Het gewenste ventilatievoud voor intensieve nachtkoeling lijkt eenvoudig te behalen met behulp van dwarsventilatie. Uit de berekeningen volgt dat dit ventilatievoud ook haalbaar is bij enkelzijdige ventilatie in de eerste en laatste situatie, maar de grafieken van de *windowmaster* tool spreken dit enigszins tegen. Inzetten op dwarsventilatie in functie van intensieve nachtkoeling is de veilige optie. Bij enkelzijdige ventilatie zullen hoe dan ook enkele luchtwisselingen per uur gerealiseerd worden als een gevolg van natuurlijke convectie. De berekeningen en de *windowmaster*-tool geven hier echter wel verschillende waarden voor de toevoerdebieten en bijhorend ventilatievoud.

### 7.9.3 Mechanische koeling

Mechanische koeling kan gebruikt worden als passieve koeling niet volstaat of niet betrouwbaar genoeg is, of wanneer er koeling nodig is om het BEO-veld in balans te houden.

#### Ventilo-convectoren

De werking van ventilo-convectoren werd al eerder besproken in paragraaf 6.5.2. Volgens de UGent ontwerprichtlijn is dit systeem echter te vermijden wegens het onderhoud en de potentiële geluidshinder.<sup>285</sup>

285. Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2020

## Radiatoren

Het is een optie de bestaande radiatoren te vervangen door radiatoren die ontworpen zijn voor lage temperatuurverwarming. Deze radiatoren hebben ingebouwde ventilatoren, waardoor ze tot 80% convectief werken.<sup>286</sup> Hierdoor zijn ze ook geschikt om te koelen. Voor het model met dezelfde afmetingen als de huidige radiatoren, zoals beschreven in paragraaf 7.10.3, kan een koelvermogen van 485 W per radiator behaald worden bij een temperatuurregime van 17/19/26. Bij gebruik van het BEO-veld, is er echter een toevoertemperatuur mogelijk van 12°C in geval van passieve koeling.<sup>287</sup> Daarnaast wordt er ook gekozen om te koelen tot 25°C. Omgerekend volgens dezelfde formule als in paragraaf 7.10.3 met een n-coëfficiënt van 0,926, geeft dit een vermogen van 814,32W per radiator bij een temperatuurregime van 12/10/25. Dit leidt tot een vermogen van 41,88 W/m<sup>2</sup> in de gebruikszones, of een totaal piekvermogen van 32,6 kW over alle gebruikszones samen.<sup>288</sup>

## Passieve koelbalken

Wanneer bij renovatie de bestaande radiatoren behouden blijven, kan gebruik gemaakt worden van passieve koelbalken om het nodige koelvermogen te realiseren. Er wordt vanuit gegaan dat er twee koelbalken geplaatst zouden worden per segment. Mochten er minder koelbalken geplaatst worden, moeten de vermogens namelijk hoger liggen, wat zou leiden tot zeer omvangrijke koelbalken. Bij de plaatsing van twee koelbalken per segment, komen er 74 koelbalken in totaal, verspreid over de drie gebruikszones: zone 1, 2 en 4.

Er wordt gekozen voor passieve koelbalken uit het gamma van TROX die geplaatst kunnen worden zonder verlaagd plafond. Deze koelbalken hebben een lengte van 2 meter, een breedte van 45,5 cm een hoogte van 30 cm, waardoor ze per segment in beide richtingen geïnstalleerd kunnen worden. De koelbalken kunnen een vermogen halen van 150 tot 801W per koelbalk, naargelang het type en de afstand tot het plafond. Wanneer één van de drie afmetingen toe- of afneemt, zal dit logischerwijs een invloed hebben op de andere twee afmetingen. Er zijn dus meerdere mogelijkheden voor de afmetingen van passieve koelbalken, waarbij de vermogens licht variëren. Mocht er gekozen worden voor de koelbalken met afmetingen 2m x 45,5 cm x 30 cm met een ophanghoogte op 30cm van het plafond, dan bestaat er een type met een vermogen van 513W per passieve koelbalk. Voor alle gebruikszones samen komt dit neer op een piekvermogen van 38,0 kW.<sup>289</sup>

## Dynamische koelbalken

Wanneer de bestaande radiatoren verwijderd worden, kunnen dynamische koelbalken ingezet worden om de ruimte te verwarmen en koelen. Ook hier kunnen twee koelbalken per segment geïnstalleerd worden om het gevraagde vermogen te realiseren. Dynamische koelbalken worden typisch in een verlaagd plafond weggewerkt om de vele leidingen weg te werken, maar ze kunnen ook vrijhangend uitgevoerd worden.

286. Radson, z.d.

287. François, L & Van Lysebetten, G (WTCB), 2017

288. Radson, 2020

289. TROX Technik, 2015

In het gamma van de producent TROX zijn er vrijhangende dynamische koelbalken terug te vinden met een koelvermogen tot 1600 W per balk van 3m x 50cm x 20cm. Dit ligt meteen veel hoger ligt dan het vermogen bij de passieve koelbalken die voor gelijkaardige afmetingen maar een vermogen hebben tot 801W per koelbalk.<sup>290 291</sup>

#### **7.9.4 Resultaten dynamische simulaties - Koeling**

Zoals uit de simulaties in paragraaf 7.7.5 gebleken is, volstaat het niet enkel de beglazing en zonnewering aan te passen om oververhitting te beperken. Bijgevolg wordt onderzocht wat de impact van intensieve nachtcooling en extra ventilatie overdag kan zijn en wat het jaarverbruik is van mechanische koeling.

##### **Debieten passieve koeling**

Intensieve nachtventilatie is een erg effectieve en energiezuinige maatregel. Naargelang de manier van ventileren, zijn er verschillende volumewisselingen per uur mogelijk. Zoals paragraaf 7.9.2 aantoont, kunnen er bij enkelzijdige ventilatie tot 9,23 volumewisselingen per uur behaald worden en bij dwarsventilatie tot 18,06 volumewisselingen per uur. Aangezien er veel variatie zit op de verschillende configuraties en op de debieten die effectief behaald worden naargelang de windsituatie, wordt als vereenvoudiging nagegaan wat het effect is van 5 en van 10 volumewisselingen per uur. Achteraf kan dan beslist worden voor welke oplossing er gekozen wordt om deze debieten te behalen.

Daarnaast wordt het openen van de ramen ook gezien als een methode voor passieve koeling. Ook hier wordt een abstractie gemaakt van de werkelijke situatie en wordt er met een vast debiet gerekend. Volgens paragraaf 7.9.2, kan een debiet van 135 m<sup>3</sup>/h behaald worden bij een groot raam dat op kiep staat. In principe kunnen er twee ramen op kiep staan per segment, maar om aan de veilige kant te rekenen wordt ervan uit gegaan dat de gebruikers maar één raam openen per segment en wordt hier het effect van onderzocht. Bovendien wordt er gekozen om te simuleren met ramen op kiep, omdat dit meer onafhankelijk is van weersomstandigheden dan een raam te openen in draaistand.

##### **Extra wijzigingen in het simulatiemodel**

Als eerste wordt nachtventilatie geïmplementeerd, een aanpassing in het ventilatiemodel. De nachtventilatie gebeurt aan de hand van ramen die op kiepstand staan. Als abstractie wordt een constant debiet van 5 of 10 volumes per uur aan buitenlucht toegevoerd en afgevoerd. De intensieve nachtventilatie wordt enkel toegepast van 22h 's avonds tot 6h 's ochtends, zodat het gebouw nog tijd heeft om terug op comforttemperatuur te komen tegen 8h, wanneer de bezetting begint. Daarnaast is er ook een temperatuurregeling op ingesteld. De intensieve nachtventilatie treedt in werking als de binnentemperatuur hoger is dan 22°C en stopt met werken als deze temperatuur tot 20,5°C gezakt is. Deze ondergrens is gekozen om te voorkomen dat de verwarming zou beginnen werken om 6h 's ochtends, gezien die in werking treedt als het binnen kouder is dan 20°C.

290. TROX Technik, 2010

291. TROX Technik, 2015

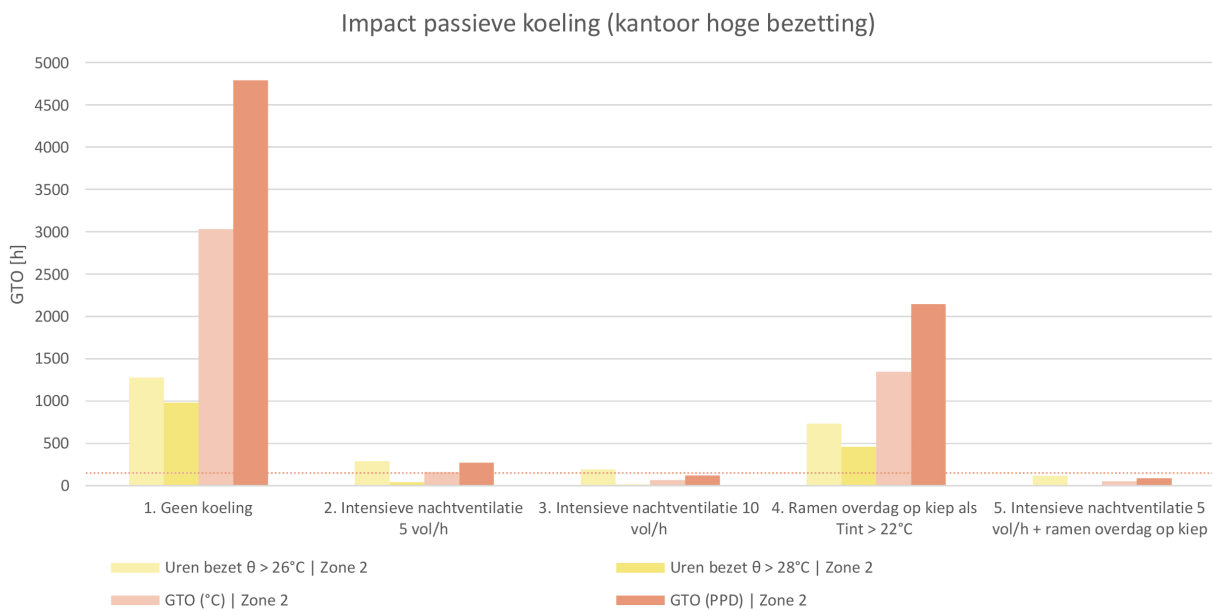
Daarnaast wordt het openen van de ramen ook ingesteld in het ventilatiemodel. Hierbij wordt het debiet dat per zone gerealiseerd kan worden via de ramen op kiep, bijgeteld bij het ventilatiedebiet met buitenlucht. Bij de bezettingsscenario's van kantoren en scholen wordt er ingesteld dat de ramen geopend kunnen worden van 8h 's ochtends tot 18h 's avonds. Binnen dit tijdsbestek worden de ramen geopend als het binnen warmer is dan 22°C. Bij een lagere binnentemperatuur zijn ze gesloten. In geval van studentenkamers is de temperatuurinstelling dezelfde, maar de tijdsregeling wordt aangepast. De ramen kunnen geopend worden van 7h 's ochtends tot 23h 's avonds.

Als laatste is ook mechanische koeling ingesteld, dit is een wijziging in het verwarmingsmodel. In de simulaties is koeling namelijk verwarming met een negatief vermogen. Er wordt een ideaal vermogen ingesteld dat 100% convectief werkt, uitgaande van dynamische koelbalken.<sup>292</sup> De koeling treedt in werking als het binnen warmer wordt dan 25°C en stopt met werken als de temperatuur onder de 24°C zakt. Ook hiervan wordt het vermogen in kWh in Dymola berekend voor een volledige verdieping, waarna het omgerekend wordt naar kWh/(m<sup>2</sup>.jaar).

### Kantoren met hoge bezetting

Ook hier wordt gekeken naar kantoren met hoge bezetting als meest kritieke scenario op vlak van oververhitting. De verwarmingsvraag in de verschillende scenario's schommelt tussen 13,19 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar) en 13,54 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar). Het is duidelijk dat de koeling hier quasi geen impact op heeft, bijgevolg is de verwarmingsvraag niet meegenomen in de weergave van de resultaten en wordt er enkel gefocust op de oververhitting.

Als eerste wordt gekeken naar het effect van passieve koeling. De grafieken met temperatuurverloop tijdens gebruikstijd voor passieve koeling bij kantoren met hoge bezetting zijn in bijlage 10 te vinden.



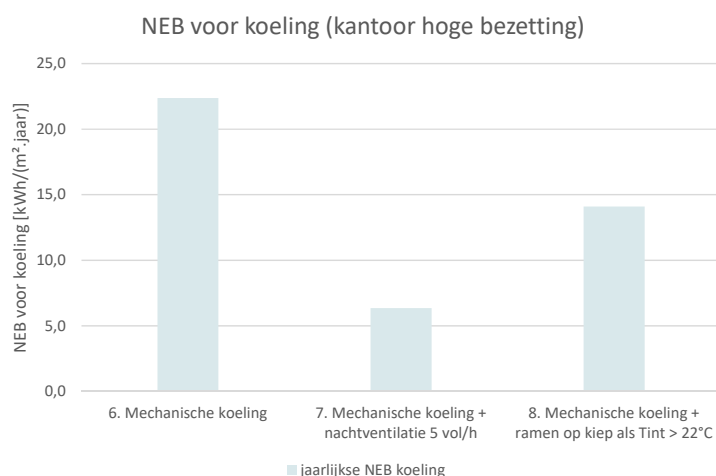
Figuur 174: Impact passieve koeling op de absolute temperatuuroverschrijding en op de GTO bij kantoren met hoge bezetting

Scenario	Uren bezet $\theta > 26^{\circ}\text{C}$   Zone 2	Uren bezet $\theta > 28^{\circ}\text{C}$   Zone 2	GTO ( $^{\circ}\text{C}$ ) Zone 2 [h]	Relatieve daling GTO [ $^{\circ}\text{C}$ ] zone 2	GTO (PPD) Zone 2 [h]	Relatieve daling GTO [PPD] zone 2
1. Geen koeling	1276	982	3032	0%	4789	0%
2. Intensieve nachtventilatie 5 vol/h	287	41	159	95%	272	94%
3. Intensieve nachtventilatie 10 vol/h	193	13	67	98%	117	98%
4. Ramen overdag op kiep als $T_{\text{int}} > 22^{\circ}\text{C}$	735	457	1344	56%	2145	55%
5. Intensieve nachtventilatie 5 vol/h + ramen overdag op kiep	116	7	50	98%	89	98%

Tabel 56: Impact passieve koeling op de absolute temperatuuroverschrijding en op de GTO bij kantoren met hoge bezetting

De intensieve nachtventilatie heeft een enorme impact, waarbij de GTO tot 98% daalt ten opzichte van het scenario zonder koeling. De impact van het openen van de ramen is kleiner, maar heeft ook een groot effect met een daling van de GTO van 56%. Twee van de mogelijkheden met passieve koeling voldoen aan de eis omtrent GTO. Namelijk de intensieve nachtventilatie met 10 vol/h en de combinatie van intensieve nachtventilatie met 5 vol/h en het openen van ramen overdag. Indien 1 van deze mogelijkheden voorzien wordt, zou een mechanisch koelsysteem dus niet geïmplementeerd moeten worden.

Daarnaast wordt het verbruik van mechanische koeling geanalyseerd, al dan niet in combinatie met passieve koeling.

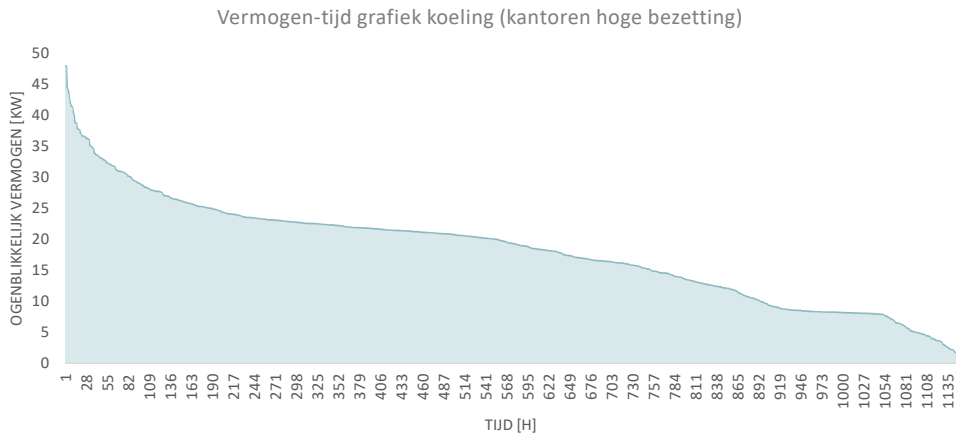


Figuur 175: Impact passieve koeling op de NEB voor koeling bij kantoren met hoge bezetting

Scenario	Uren bezet $\theta > 26^{\circ}\text{C}$   Zone 2	Uren bezet $\theta > 28^{\circ}\text{C}$   Zone 2	GTO ( $^{\circ}\text{C}$ ) Zone 2 [h]	GTO (PPD) Zone 2	NEB koeling [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	Relatieve daling NEB koeling
6. Mechanische koeling	0	0	0	0	22,37	0%
7. Mechanische koeling + nachtventilatie 5 vol/h	0	0	0	0	6,36	72%
8. Mechanische koeling + ramen op kiep als $T_{\text{int}} > 22^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	14,10	37%

Tabel 57: Impact passieve koeling op de NEB voor koeling bij kantoren met hoge bezetting

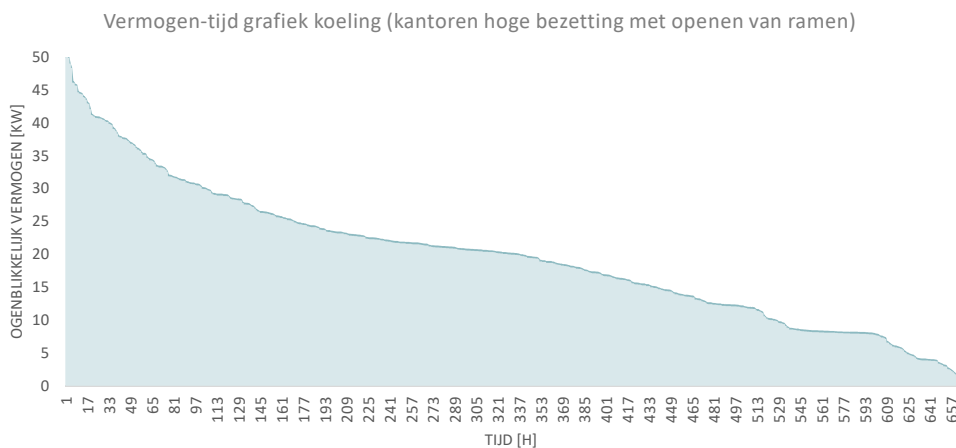
Uit de tabel valt op te maken dat de oververhittingsuren en GTO naar nul dalen vanaf er mechanische koeling gebruikt wordt, wat ook logisch is aangezien er gekoeld wordt vanaf dat het warmer wordt dan 25°C en de oververhittingsuren pas geteld worden vanaf 26°C, de GTO vanaf 27°C. De koelvraag hangt sterk af van de bijkomende passieve koelmaatregelen. Zo kan de koelvraag met 72% dalen indien er nachtventilatie met 5 vol/h voorzien wordt, of met 37% indien de ramen overdag geopend worden. Volgende figuur toont de vermogen- tijd grafiek van het koelvermogen bij scenario 6:



Figuur 176: Vermogen-tijd grafiek van de koelvraag bij kantoren met hoge bezetting

Er is een korte piek tot 47 kW, maar na 11 uur zakt het vermogen al onder de 40 kW, wat haalbaar is met zowel dynamische als statische koelbalken. Radiatoren met een piekvermogen van 32,6 kW kunnen mogelijks ook volstaan, aangezien het aantal oververhittingsuren niet gelijk moet zijn aan nul.

Wellicht zullen er opengaande ramen aanwezig zijn in eender welk renovatiescenario en moet maximaal de koelvraag uit scenario 8 voorzien worden. Dit scenario levert volgende vermogen-tijd grafiek:



Figuur 177: Vermogen-tijd grafiek van de koelvraag als de ramen overdag geopend worden bij kantoren met hoge bezetting

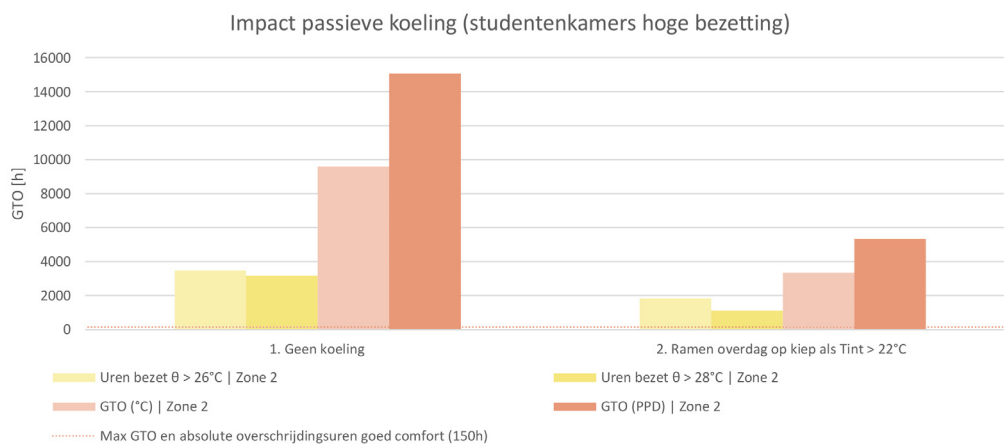
Ondanks de lagere NEB voor koeling, ligt de vermogenspiek niet lager dan in het scenario zonder het openen van de ramen. Het ligt zelfs iets hoger, namelijk op 51 kW en het vermogen zakt pas na 27h terug naar 40 kW. Er is wel een verschil in het aantal uren dat gekoeld moet worden, dit zakt terug naar 660h in plaats van 1146h. Het hogere vermogen is een gevolg van het feit dat de ramen altijd verondersteld worden open te staan als de binnentemperatuur boven de 22°C stijgt, ongeacht de buitentemperatuur. Dit is een veiligheidsmarge die ingerekend wordt, gezien het niet zeker is dat mensen erop zouden letten of het buiten warmer of kouder is dan

binnen als ze de ramen openen. In het geval de buitenlucht warmer is dan de koeltemperatuur van 25°C, warmt de ruimte op en is er een hoger koelvermogen nodig. Dezelfde afgiftesystemen als in het scenario zonder het openen van ramen kunnen gebruikt worden.

### Studentenkamers met hoge bezetting

Daarnaast werd ook gekeken naar de impact op studentenkamers met hoge bezetting. Dit is een scenario met een erg grote oververhitting ten gevolge van de lage ventilatiedebieten, het gebrek aan zonnewering en de permanent aanwezige bezetting. Ook hier schommelt de warmtevraag licht, van 14,96 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar) tot 15,99 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar), waardoor ze buiten beschouwing gelaten wordt bij de weergave van de resultaten.

Bij studentenkamers is er geen intensieve nachtventilatie mogelijk, maar wellicht zullen hier wel vaak ramen geopend worden door de gebruikers. Dit geeft volgend resultaat op vlak van oververhitting:



Figuur 178: Impact passieve koeling op de absolute temperatuuroverschrijding en op de GTO bij studentenhuisvesting met hoge bezetting

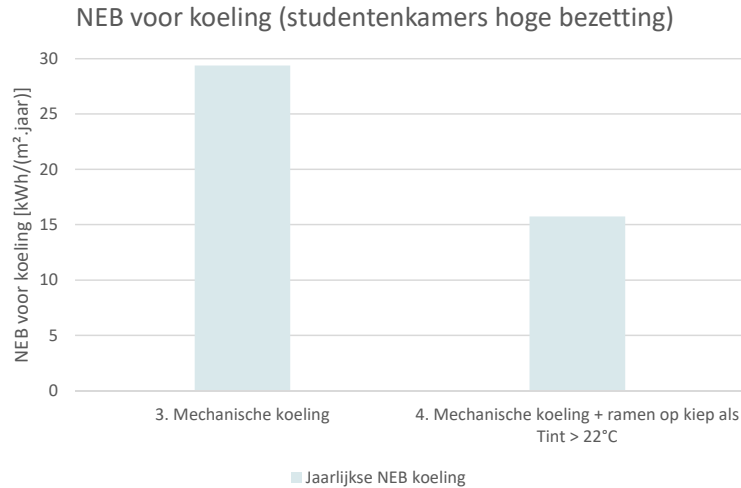
Scenario	Uren bezet $\theta > 26^{\circ}\text{C}$   Zone 2	Uren bezet $\theta > 28^{\circ}\text{C}$   Zone 2	GTO ( $^{\circ}\text{C}$ )   Zone 2 [h]	Relatieve daling GTO [ $^{\circ}\text{C}$ ] zone 2	GTO (PPD)   Zone 2 [h]	Relatieve daling GTO [PPD] zone 2
1. Geen koeling	3479	3182	9591	0%	15070	0%
2. Ramen overdag op kiep als $T_{\text{int}} > 22^{\circ}\text{C}$	1829	1109	3341	65%	5335	65%

Tabel 58: Impact passieve koeling op de absolute temperatuuroverschrijding en op de GTO bij studentenhuisvesting met hoge bezetting

De relatieve daling van de oververhitting bij het openen van ramen overdag ligt hier hoger dan bij kantoren met hoge bezetting, namelijk op 65%. Desalniettemin ligt het aantal overschrijdingsuren nog steeds veel te hoog. Een vorm van mechanische koeling is dan ook onvermijdelijk.

Hierbij dient de kanttekening gemaakt te worden dat de uren tijdens de zomervakantie ook meegerekend zijn omdat er kans is op bezetting in de vakanties, bijvoorbeeld bij herexamens. In realiteit zal er nooit een bezetting aanwezig zijn van 24h per dag voor 5 dagen in de week doorheen het volledige jaar en dienen deze resultaten met de nodige omzichtigheid behandeld te worden. De resultaten duiden louter de extremen aan. Desalniettemin hebben de koten met lage bezetting wel een realistischer bezettingspatroon en is er ook daar veel oververhitting, wat erop wijst dat mechanische koeling wellicht nodig zal zijn.

Bij studentenkamers met hoge bezetting wordt volgende NEB voor koeling bekomen:



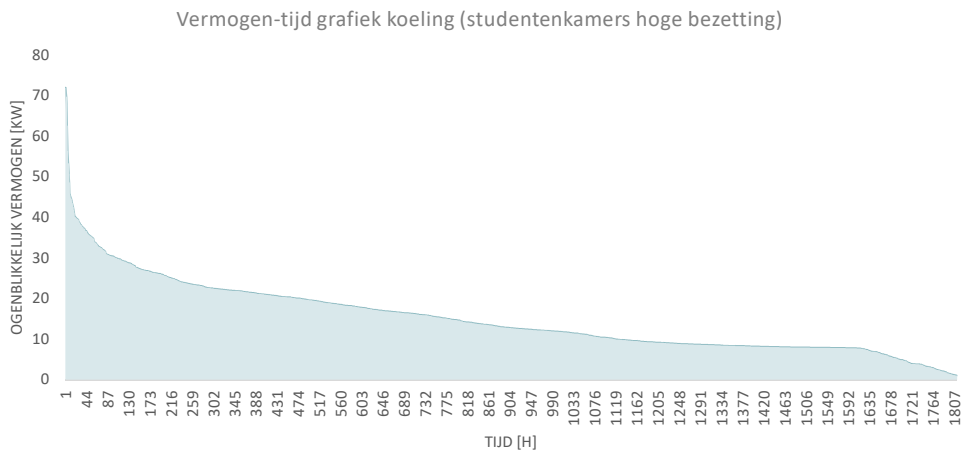
Figuur 179: Impact passieve koeling op de NEB voor koeling bij studentenhuisvesting met hoge bezetting

Scenario	Uren bezet $\theta > 26^{\circ}\text{C}$   Zone 2	Uren bezet $\theta > 28^{\circ}\text{C}$   Zone 2	GTO ( $^{\circ}\text{C}$ ) Zone 2 [h]	GTO (PPD) Zone 2 [h]	Zone	NEB voor koeling [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	Relatieve daling NEB koeling
3. Mechanische koeling	4	1	2	4	4	29,37	0%
4. Mechanische koeling + ramen op kiep als Tint > 22°C	3	1	2	3	3	15,73	46%

Tabel 59: Impact passieve koeling op de NEB voor koeling bij studentenhuisvesting met hoge bezetting

Hierbij is de netto-energiebehoefte voor koeling minder dan 30 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar) en daalt ze met 46% indien de ramen geopend worden, wat een plausible aanname is voor studentenkoten. Daarnaast is de oververhitting hier niet gelijk aan 0, dit komt omdat er bij studentenkoten niet vanuit gegaan wordt dat de koeling al wordt ingeschakeld voor de bezetting aanwezig is op het einde van het weekend.

Scenario 3 geeft volgende vermogen-tijd grafiek voor de koeling:



Figuur 180: Vermogen-tijd grafiek van de koelvraag bij studentenhuisvesting met hoge bezetting

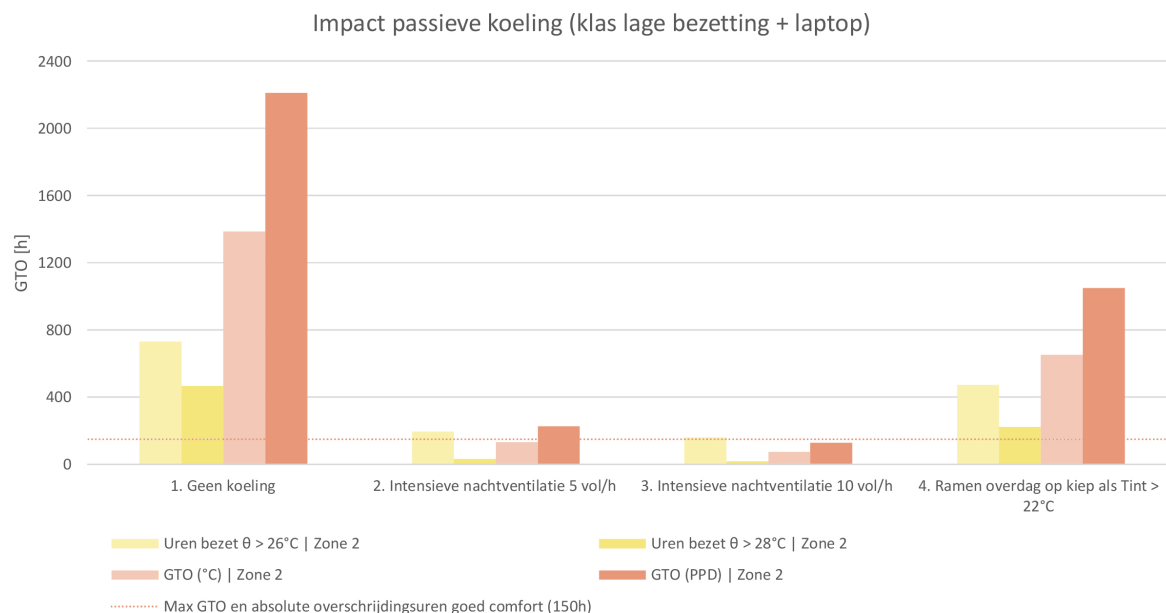
De hoogste piek gaat tot 72 kW. Na 20h zakt het benodigde vermogen onder de 40kW. Ook hier zouden dynamische en statische koelbalken aan het gevraagde vermogen kunnen voldoen. Ook radiatoren zouden hier kunnen volstaan aangezien de overschrijdingsuren niet gelijk moeten zijn aan 0.



## Klas lage bezetting + laptop

Als laatste scenario is er nog gekeken naar een scenario met een gemiddelde oververhitting, namelijk klassen met lage bezetting en laptops, om na te gaan welke maatregelen hier voldoen. Ook hier schommelt de warmtevraag weinig - van 47,53 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar) tot 47,85 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar) - en wordt ze buiten beschouwing gelaten bij de weergave van de resultaten.

Hieronder wordt het effect van passieve koeling weergegeven:

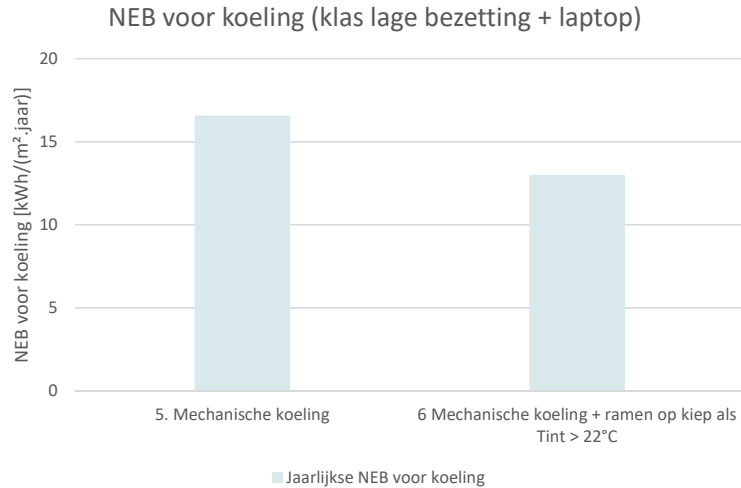


Figuur 181: Impact passieve koeling op de absolute temperatuuroverschrijding en op de GTO bij klassen met lage bezetting + 1 laptop/2personen

Scenario	Uren bezet $\theta > 26^{\circ}\text{C}$   Zone 2 [h]	Uren bezet $\theta > 28^{\circ}\text{C}$   Zone 2 [h]	GTO ( $^{\circ}\text{C}$ )   Zone 2 [h]	Relatieve daling GTO [ $^{\circ}\text{C}$ ] zone 2	GTO (PPD)   Zone 2 [h]	Relatieve daling GTO [PPD] zone 2
1. Geen koeling	731	466	1386	0%	2210	0%
2. Intensieve nachtventilatie 5 vol/h	195	33	132	90%	227	90%
3. Intensieve nachtventilatie 10 vol/h	160	17	74	95%	129	94%
4. Ramen overdag op kiep als Tint $> 22^{\circ}\text{C}$	473	224	652	53%	1050	52%

Tabel 60: Impact passieve koeling op de absolute temperatuuroverschrijding en op de GTO bij klassen met lage bezetting + 1 laptop/2personen

De relatieve daling van de GTO ligt hier in dezelfde lijn als bij kantoren met hoge bezetting. De GTO van intensieve nachtventilatie met 5 vol/h zakt net onder de grens van 250, wat een acceptabele binnentemperatuur garandeert. Bij 10 vol/h wordt zelfs de grens van een goede binnentemperatuur behaald. Net zoals bij kantoren is de daling in GTO groot als de ramen overdag geopend worden. Toch ligt de oververhitting hierbij nog steeds te hoog en moet er nog mechanische koeling of intensieve nachtventilatie voorzien worden. Met volgende grafiek als resultaat.



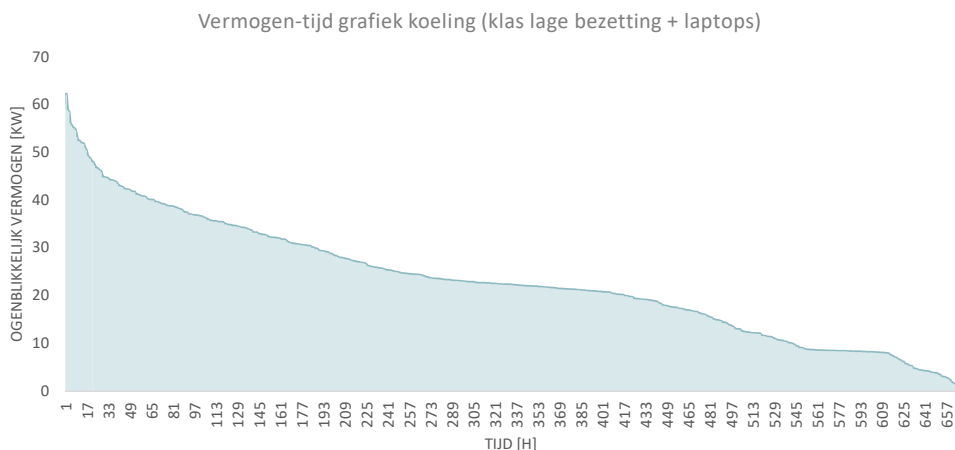
Figuur 182: Impact passieve koeling op de NEB voor koeling bij klassen met lage bezetting + 1 laptop/2 personen

Scenario	Uren bezet $\theta > 26^{\circ}\text{C}$   Zone 2	Uren bezet $\theta > 28^{\circ}\text{C}$   Zone 2	GTO ( $^{\circ}\text{C}$ ) Zone 2 [h]	GTO (PPD) Zone 2 [h]	NEB voor koeling [kWh/(m <sup>2</sup> ·jaar)]	Relatieve daling NEB koeling
5. Mechanische koeling	0	0	0	0	16,58	0%
6 Mechanische koeling + ramen op kiep als Tint > 22°C	0	0	0	0	13,01	22%

Tabel 61: Impact passieve koeling op de NEB voor koeling bij klassen met lage bezetting + 1 laptop/2 personen

De NEB voor koeling ligt lager dan in de voorgaande scenario's, wat logisch is aangezien de oververhitting ook lager ligt. Daarnaast is de daling in koelvraag relatief gezien kleiner als de ramen geopend worden. Dit is ook een gevolg van de lagere oververhitting. Aangezien de binnentemperatuur al dichterbij de comforttemperatuur ligt, kan er minder warmte afgevoerd worden met het openen van de ramen.

In geval van scenario 5 met enkel mechanische koeling, wordt volgende vermogen-tijd grafiek bereikt:

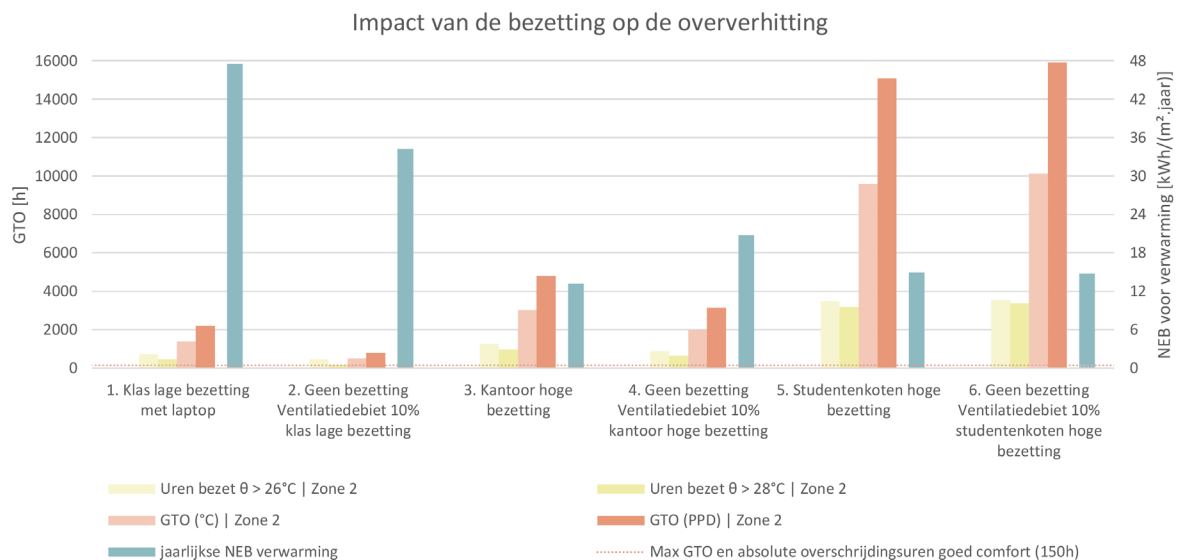


Figuur 183: Vermogen-tijd grafiek van de koelvraag bij klassen met lage bezetting + 1 laptop/2 personen

De piek gaat tot 62 kW en het duurt 62h voor het benodigde vermogen tot 40 kW daalt. Gezien het aantal overschrijdingsuren niet op nul moet liggen, zou een vermogen van 40 kW hier volstaan. De statische of dynamische koelbalken met hetzelfde vermogen als in de vorige scenario's, zouden ook hier geïmplementeerd kunnen worden. Het aantal uren dat er koeling nodig is, ligt echter veel lager dan in het geval van kantoren of studentenkamers met hoge bezetting.

## Oververhitting zonder bezetting

Daarnaast is het ook belangrijk in gedachten te houden dat de oververhitting grotendeels een samenspel is tussen interne warmtewinsten, zonnewinsten en ventilatie. Tot nu toe zijn alle simulaties uitgevoerd op het gebouw tijdens bezetting. Daarnaast is het ook belangrijk te weten of het gebouw bij weinig bezetting, en bijgevolg weinig ventilatie, koel genoeg kan blijven. Gezien de analyse aan de hand van een systeem C gemaakt wordt, valt het ventilatiedebiet buiten bezetting terug tot 10%.



Figuur 184: Impact van de bezetting, en het bijhorend ventilatiedebiet, op de oververhitting (en de NEB voor verwarming) voor 3 verschillende scenario's

Scenario	Uren bezet $\theta > 26^{\circ}\text{C}$   Zone 2 [h]	Uren bezet $\theta > 28^{\circ}\text{C}$   Zone 2 [h]	GTO ( $^{\circ}\text{C}$ ) Zone 2 [h]	Relatieve daling GTO [ $^{\circ}\text{C}$ ] zone 2	GTO (PPD) Zone 2 [h]	Relatieve daling GTO [PPD] zone	NEB verwarming [kWh/(m <sup>2</sup> ·jaar)]	Relatieve daling NEB verwarming
1. Klas lage bezetting met laptop	731	466	1386	0%	2210	0%	47,53	0%
2. Geen bezetting - ventilatiedebiet 10% klas lage bezetting	467	176	492	65%	798	64%	34,24	28%
3. Kantoor hoge bezetting	1276	982	3032	0%	4789	0%	13,19	0%
4. Geen bezetting - ventilatiedebiet 10% kantoor hoge bezetting	877	636	1972	35%	3144	34%	20,78	-58%
5. Studentenkoten hoge bezetting	3479	3182	9591	0%	15070	0%	14,96	0%
6. Geen bezetting - ventilatiedebiet 10% studentenkoten hoge bezetting	3550	3379	10129	-6%	15898	-5%	14,77	1%

Tabel 62: Impact van de bezetting, en het bijhorend ventilatiedebiet, op de oververhitting (en de NEB voor verwarming) voor 3 verschillende scenario's

Elk scenario vertoont verschillende trends op vlak van oververhitting. Bij kantoren en klaslokalen daalt de oververhitting als er geen bezetting aanwezig is. Dit komt omdat de verhouding warmtewinsten (zonnewinsten + interne warmtewinsten)/ventilatiedebieten hoger ligt tijdens bezetting dan buiten bezetting. Bij studentenkamers stijgt de oververhitting echter als de bezetting wegvalt, omdat er dan maar erg kleine ventilatiedebieten overblijven. De zonnewinsten - die hoger liggen in dit scenario door gebrek aan zonnewering - worden aldus niet gecompenseerd. Er wordt een soort serre-effect gecreëerd in de kamers waardoor ze sterk opwarmen.

Daarnaast evolueert de warmtevraag in alle scenario's verschillend. Bij de klaslokalen daalt de NEB voor verwarming, bij kantoren stijgt ze en bij studentenkamers blijft ze ongeveer gelijk. Dit is opnieuw een gevolg van de samenhang tussen de warmtewinsten en het ventilatiedebiet. Buiten bezetting hebben de klaslokalen het hoogste ventilatiedebiet, gevolgd door de kantoren en dan door de studentenkamers. Dit komt ook terug in de absolute NEB voor verwarming buiten bezetting die het hoogst is bij de klaslokalen en het laagst bij de studentenkamers. De

verhouding interne warmtewinsten ten opzichte van het ventilatiedebiet ligt echter het hoogst bij de kantoren en de studentenkamers, respectievelijk 7,63 en 6,81, zie paragraaf 7.8, terwijl dit bij de klaslokalen met lage bezetting + laptops maar 3,55 is. Het is bijgevolg logisch dat de interne warmtewinsten bij kantoren de overhand hebben. Ze warmen het gebouw op en de verwarmingsvraag stijgt als de bezetting wegvalt, terwijl dit bij klaslokalen omgekeerd werkt. In geval van studentenkamers zijn de interne warmtewinsten en het ventilatiedebiet relatief laag. Bovendien zijn de zonnepwinsten erg hoog door het gebrek aan zonnewering. Het zijn bijgevolg voornamelijk deze zonnepwinsten die de warmtevraag en de oververhitting bepalen, waardoor het verschil tussen de twee scenario's relatief beperkt is.

### **Conclusie**

Er kan voor passieve of mechanische koeling geopteerd worden. Zelfs in scenario's met veel oververhitting volstaat intensieve nachtventilatie met een ventilatiedebiet van 10 vol/h, waardoor mechanische koeling niet nodig is.

Bij studentenkamers kan intensieve nachtventilatie niet gebruikt worden en voldoet het openen van de ramen niet. Bijgevolg dient hier mechanische ventilatie geïnstalleerd te worden als er geen maatregelen genomen worden om de zontoetreding tegen te gaan.

Bovendien daalt de oververhitting - en bijgevolg de koelvraag - in bijna alle scenario's als er geen bezetting aanwezig is. De maatregelen die genomen worden om bij hoge bezetting te volstaan, zullen dus ook volstaan bij lage bezetting. Enkel studentenkamers vormen hierop een uitzondering, door het lage ventilatiedebiet. Hier zal de mechanische koeling licht overgedimensioneerd moeten worden, of zal het ventilatiedebiet verhoogd moeten worden buiten bezetting.

## 7.10 Verwarming

In paragraaf 6.5.2 werden een aantal opties om de verwarming te realiseren, beschreven. De haalbaarheid van deze opties wordt hier verder onderzocht door te analyseren welke vermogens bekomen kunnen worden met welke afgiftesystemen.

### 7.10.1 Comfortgrenzen verwarming

In de bestaande toestand wordt de temperatuur van de ruimtes geregeld aan de hand van thermostaatkranen, die ingesteld staan op ongeveer 21°C<sup>293</sup>. Volgens de ontwerprichtlijn van de UGent gelden onderstaande comfortcriteria voor de binnentemperatuur.<sup>294</sup>

Criteria	Grenswaarde (minimaal)	Richtwaarde (normaal)	Streefwaarde (optimaal)
Comforttemperatuur in de zomer	22 - 27 °C	23 - 26 °C	23,5 - 25,5 °C
Comforttemperatuur in de winter	19 - 25 °C	20 - 24 °C	21 - 23 °C

Tabel 63: Comfortcriteria uit de Ontwerprichtlijn van de UGent

Hierbinnen wordt er als setpoint gekozen voor een temperatuur van 20,5°C, met een bandbreedte van 0,5°C, waardoor de temperatuur schommelt tussen de 20°C en 21°C. Dit is zo energiezuinig mogelijk, binnen de richtwaarde van de comforttemperatuur.

### 7.10.2 Lagetemperatuurverwarming

Lagetemperatuurverwarming impliceert dat het toevoerwater in het verwarmingssysteem een temperatuur heeft van 35°C tot 55°C. Radiatoren kunnen tot 55°C gaan, bij vloerverwarming is de maximale temperatuur 35°C.<sup>295</sup> Een warmtepomp is echter efficiënter en haalt een hogere 'Coefficient Of Performance' (COP) wanneer gebruik gemaakt wordt van een lagere toevoertemperatuur. Daarom is voor radiatoren een maximale temperatuur van 45°C eerder aangewezen.<sup>296</sup> Daarnaast werkt dit systeem trager, waardoor het gemaakt is om constant op een (quasi-)gelijke temperatuur te verwarmen. De setbacktemperatuur tot 16°C is bijgevolg niet meer haalbaar, bij lage temperatuurverwarming wordt gewerkt met een constante temperatuur, tot maximaal 1 à 2°C lager 's nachts.<sup>297</sup>

Een voordeel van vloerverwarming en lage temperatuurradiatoren is dat de warmte beter verdeeld wordt dan in het geval van klassieke radiatoren. Hierdoor is er minder sprake van tocht en koude hoekjes.<sup>298</sup>

### 7.10.3 Afgiftelichamen

#### Behoud bestaande radiatoren

In het kader van circulariteit wordt nagegaan of de huidige afgiftesystemen bewaard kunnen blijven. Daarvoor is het belangrijk de vermogens van de huidige afgiftesystemen te bepalen en te na te gaan welke vermogens er mogelijk zijn bij lage temperatuurverwarming.

293. Cox, K., persoonlijke communicatie, 20 mei 2022

294. Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2020

295. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2020

296. Klimaatexpert, z.d.

297. Milieu Centraal, z.d.

298. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, z.d.

In de huidige toestand werkt de verwarming a.d.h.v. stookcurves die gaan tot 75°C – 55°C, zoals eerder vermeld in hoofdstuk 4. Bij de overschakeling op lage-temperatuurverwarming met BEO-veld, zou de toevoertemperatuur moeten dalen naar maximum 45°C – 35°C. Gezien de verwarmingselementen na de gevelrenovatie overgedimensioneerd zijn, is er een reële kans dat deze toevoertemperatuur volstaat om aan de warmtevraag na renovatie te voldoen.<sup>299</sup>

De huidige radiatoren die in gebruik zijn in S4, zijn gietijzeren radiatoren met 4 kolommen die meestal bestaan uit 41 elementen. Sommige radiatoren wijken echter licht af van dit aantal elementen. De elementen zijn 56 cm hoog en 14,5 cm diep en de totale radiator is 202 cm lang. Per gevelement is er telkens 1 radiator geplaatst onder het raam. De specificaties van de bestaande radiatoren zijn niet gekend. Om de vermogens te bepalen, wordt gebruik gemaakt van een technische fiche van een gietijzeren radiator die erg gelijkaardig is aan de gebruikte radiatoren in S4, namelijk Dune 2 van Chappée. De elementen van 600mm hoog, 60mm breed en 144mm diep sluiten het dichtste aan bij de radiators in S4 en geven 87,4 Watt af bij een temperatuurverschil van 50 K (regime 75/65/20).<sup>300</sup>

De genormaliseerde warmteafgifte kan omgezet worden naar andere werkingsregimes via de karakteristieke curve.

$$\phi_e = \phi_{en50} \left( \frac{\Delta\theta}{\Delta\theta_{n50}} \right)^n$$

Met:

$\phi_e$  = warmteafgifte bij gekozen werkingsregime

$\phi_{en50}$  = warmteafgifte bepaald uit genormaliseerde warmteafgifte

$\Delta\theta$  = temperatuurverschil bij gekozen werkingsregime

$\Delta\theta_{n50}$  = temperatuurverschil bij genormaliseerde warmteafgifte

n = coëfficiënt afhankelijk van het type verwarming, wordt normaal bepaald door de fabrikant. Deze coëfficiënt is hier niet meegegeven in de technische fiche, bijgevolg wordt er met de gemiddelde waarde van 1,3 gewerkt.

In de bestaande toestand leveren de elementen bij een regime van 75/55/21 een vermogen van 74,02 W per element. Voor een volledig verwarmingselement is dit 3034,75 W. Bij een lage-temperatuurverwarming met een regime van 45/35/21 zou dit 1018,62 W zijn per verwarming, dit ligt 66,4% lager dan het huidige vermogen.<sup>301</sup>

In zone 1 zijn er zeven radiatoren voorzien, in zone 2 zestien en in zone 3 veertien. Dit geeft een totaal piekvermogen van 37689 W over de drie zones samen, wat gemiddeld neerkomt op 48 W/m<sup>2</sup>.

### Nieuwe radiatoren

Tegenwoordig bestaan er ook radiatoren die speciaal ontworpen zijn voor lagetemperatuurverwarming. Bijvoorbeeld Radson heeft een gamma radiatoren met ingebouwde ventilator. Dit versterkt de convectie tot 80%, wat voordelig is in het geval van lage temperatuurverwarming.<sup>302</sup> Voor een radiator van 2000 mm x 600 mm, wat ongeveer overeenkomt met de afmetingen van de bestaande radiatoren, geeft dit een vermogen tot

299. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2020

300. Chappée, z.d.

301. Janssens, A., 2019

302. Radson, z.d.

1584 W bij een regime van 45/35/20. Dit wordt omgerekend via de karakteristieke curve uit bovenstaande paragraaf met een n-coëfficiënt van 1,112 zoals vermeld in de technische fiche van Radson. Er wordt een vermogen van 1540,03 W behaald voor een regime van 45/35/20,5. Dit is een stijging van 51% ten opzichte van het behoud van de bestaande radiatoren.

Bij de plaatsing van nieuwe radiatoren, zouden er in zone 1 een extra radiator en in zone 4 twee extra radiatoren voorzien kunnen worden. Dit zou een maximaal vermogen van 61601 W betekenen voor de verdieping of gemiddeld 79,20 W/m<sup>2</sup> in de gebruikszones.<sup>303</sup>

### **Dynamische koelbalken**

Wanneer de bestaande radiatoren verwijderd worden en men maximaal gebruik wil maken van de ruimte, kan gekozen worden voor dynamische koelbalken om te verwarmen en te koelen. Alhoewel het verwarmingsvermogen van koelbalken typisch lager ligt dan hun koelvermogen, kunnen ze bij een relatief beperkte warmtevraag het gevraagde vermogen leveren. De eerder besproken dynamische koelbalken van de producent TROX hebben een verwarmingsvermogen tot 1530 W per koelbalk.<sup>304</sup> Wanneer men per segment een koelbalk zou installeren, wordt een maximaal piekvermogen van 56 kW in de gebruikszones behaald.

### **Ventilo-convectoren**

Ventilo-convectoren kunnen ook voorzien in de warmtevraag. Zoals eerder al vermeld in paragraaf 7.9.3, zijn deze echter te vermijden. Ze kunnen overwogen worden indien radiatoren ontoereikend zouden zijn, maar gezien het gebouw geïsoleerd zal worden, zal dit wellicht niet het geval zijn.<sup>305</sup>

### **Vloerverwarming**

Er bestaan verschillende types vloerverwarming. Zo is er een onderscheid tussen natte en droge systemen. Naast de traditionele systemen met verwarmingsbuizen bestaan er ook systemen met warmtegeleidende platen, die een beperkte opbouwhoogte hebben en snellere reactietijden.<sup>306 307</sup> Bij een toevoertemperatuur van 35°C en een bodembekleding met een warmteweerstand van 0,05 m<sup>2</sup>K/W - wat ongeveer overeenkomt met de warmteweerstand van de dekvloer, zoals berekend bij de U-waarden die in bijlage 2 te vinden zijn - zijn er binnen de verschillende systemen met verwarmingsbuizen van Radson vermogens van 43 tot 81 W/m<sup>2</sup> te vinden, naargelang het systeem en de legafstand tussen de buizen. Het systeem TS14 - dat erg geschikt is voor renovatie door het lichte gewicht - behaalt bijvoorbeeld een vermogen van 74 W/m<sup>2</sup> met een buisafstand van 75 mm en 52 W/m<sup>2</sup> met een buisafstand van 225 mm. Dit geeft respectievelijk een maximaal piekvermogen in de gebruikszones van 57,6 en 40,4kW.

<sup>308 309</sup>

### **Comfortverwarming**

Er kan ook gekozen worden voor een combinatie van vloerverwarming en radiatoren. Vloerverwarming wordt hierbij gebruikt om het gebouw op temperatuur te houden. Dit is plaatsbesparend en energiezuinig door de lagere toevoertemperatuur. Omdat dit een

303. Radson, 2021

304. TROX Technik, 2010

305. Directie Gebouwen en Facilitair Beheer, 2020

306. Radson, 2021

307. Radson, 2021

308. Purmo, Radson, 2020

309. Radson, 2021

traag systeem is, kunnen de radiatoren ingezet worden om het gebouw snel op te warmen, bijvoorbeeld na ventileren met koude buitenlucht of wanneer er wel een setbacktemperatuur zou worden ingesteld gedurende langere periodes van leegstand in de vakantie. Bovendien bieden radiatoren ook meer flexibiliteit op vlak van na-regeling van de temperatuur per ruimte.<sup>310</sup>

#### 7.10.4 Resultaten dynamische simulaties - Verwarming

In de voorgaande simulaties werd gebruik gemaakt van een verwarmingsmodel gebaseerd op de bestaande toestand. In de toekomst zal er echter overgeschakeld moeten worden op een laag temperatuurregime, waarbij de afgiftesystemen wellicht vervangen zullen worden. Zoals aangetoond in paragraaf 7.4.5, ligt de warmtevraag in de verschillende bezettingsscenario's echter ver uit elkaar: in geval van systeem C varieert de NEB voor verwarming bijvoorbeeld van 12,47 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar) tot 232,18 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar). Dit impliceert andere vereisten qua afgiftesystemen om aan de comforttemperatuur te voldoen. De verschillende mogelijkheden worden hieronder onderzocht.

##### **Extra wijzigingen in het simulatiemodel**

De wijzigingen bevinden zich voornamelijk in het verwarmingsmodel. Als eerste wordt de setbacktemperatuur 's nachts en in de weekends weggelaten, omdat de lage temperatuurverwarming een lagere reactiesnelheid heeft. Voor kantoren en scholen worden twee scenario's uitgetest: de bestaande radiatoren omschakelen naar LTV of de radiatoren vervangen door LTV-radiatoren van Radson. De vermogens worden aangepast naar de berekende vermogens in paragraaf 7.10.3. Bovendien wordt bij nieuwe radiatoren het aandeel convectieve warmteafgifte aangepast naar 80% en het aandeel radiatieve warmteafgifte naar 20%.

Verder wordt een verwarmingsmodel gemaakt met vloerverwarming voor de studentenkamers. Hiervoor worden de vermogens van de vloerverwarming van Radson ingegeven. Hier wordt echter niet gewerkt met een percentage convectieve en radiatieve warmteafgifte, maar met 'embedded heat'. Dit houdt rekening met de werking van vloerverwarming die ingewerkt zit in de dekvloer. De vloerplaten van de studentenkamers worden in het structuurmodel verbonden met de 'embedded heat port' en in de opbouw van de vloer wordt aangegeven waar de vloerverwarming zich bevindt. Op deze manier kan het verwarmingssysteem juist gesimuleerd worden, rekening houdend met de warmteweerstand en de warmtecapaciteit van de lagen in de vloeropbouw.

##### **Afgiftelichamen in verschillende herbestemmingsscenario's**

Net zoals het verschil in NEB voor verwarming nauwelijks varieerde bij de verschillende koelstrategieën, verandert de GTO met minder dan 0,1% naargelang de regeling en de afgiftesystemen voor verwarming. Dit geldt zelfs voor vloerverwarming ondanks dat dit een traag systeem is. Voor de duidelijkheid is dan ook de weergave van oververhitting buiten beschouwing gelaten.

310. Purmo, Radson, 2020

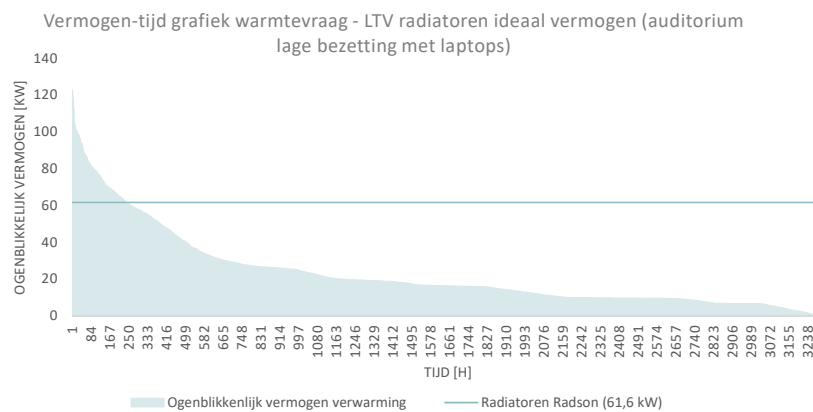


### Auditoria met lage bezetting en laptops

Eerst wordt gekeken naar auditoria met lage bezetting en laptops met een NEB voor verwarming van 76,84 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar)]. Dit bezettingsscenario leunt het dichtst aan bij de warmtevraag van 75 kWh/m<sup>2</sup>, de maximale NEB voor verwarming opgelegd door Sweco.

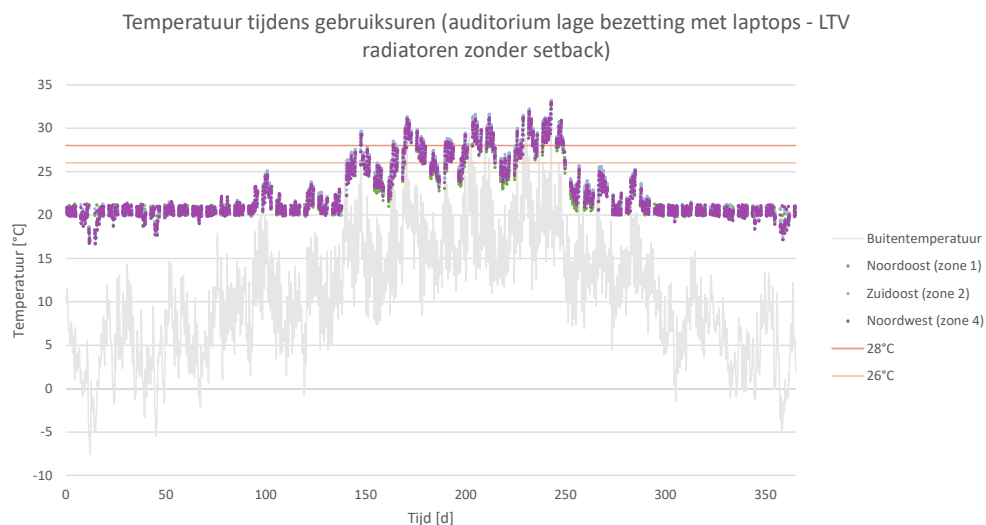
Aan de hand van een simulatie met radiatoren met een ideaal vermogen zonder setbacktemperatuur wordt onderzocht wat het maximaal benodigde vermogen is in geval van LTV om de comforttemperatuur op elk moment te behalen.

Dit geeft volgende vermogen-tijd grafiek voor de verwarming, waarbij de x-as het totale aantal uren weergeeft dat er verwarmd wordt. De y-as geeft de vermogens aan die per uur nodig zijn om het gebouw op comforttemperatuur te houden.



Figuur 185: Vermogen-tijd grafiek voor radiatoren met een ideaal vermogen bij een auditorium met lage bezetting en 1 laptop/2 personen

Hieruit blijkt dat er vermogenspieken tot 120 kW nodig zijn om het gebouw op comforttemperatuur te houden. Dit is erg hoog en komt enkel voor als het buiten onder 0°C daalt. De radiatoren van Radson kunnen maar 61,6 kW leveren, wat voor 237 uren niet volstaat. Dit aantal uren is echter zowel tijdens bezetting als buiten bezetting gerekend en komt enkel voor tijdens zeer koude periodes. Hierbij kan de vraag gesteld worden of dit aanvaardbaar is omwille van het evenwicht tussen comfort en energiezuinigheid. Er wordt bijgevolg gekeken welke resultaten de radiatoren van Radson leveren. Dit geeft volgend temperatuurverloop tijdens gebruikstijd voor een volledig jaar.



Figuur 186: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende jaar voor auditoria met lage bezetting en 1 laptop/2 personen en radiatoren van Radson

In periodes waar de buitentemperatuur rond 0°C of lager ligt, kan de comforttemperatuur niet behaald worden. Het aantal uren te lage temperatuur tijdens bezetting wordt hieronder weergegeven.

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Uren bezet < 20°C	275	262	1	283
Uren bezet < 19°C	63	60	0	71

Tabel 64: Uren tijdens bezetting dat de comforttemperatuur niet behaald wordt gedurende een jaar voor auditoria met lage bezetting en 1 laptop/2 personen met radiatoren van Radson

Het aantal uren dat de binnentemperatuur onder 19°C zakt, is vrij beperkt. De ondergrens voor binnentemperatuur in de winter is echter 19°C en het is niet acceptabel dat de temperatuur lager zakt. Als oplossing om de comforttemperatuur te allen tijde te garanderen, kunnen er meer of grotere radiatoren geplaatst worden, kan er een bijkomend afgiftesysteem geïnstalleerd worden zoals dynamische koelbalken, kan er een ander afgiftesysteem gekozen worden met hogere vermogens of kan er voor een systeem D gekozen worden om de ventilatieverliezen te beperken.

De warmtevraag wordt ook vergeleken:

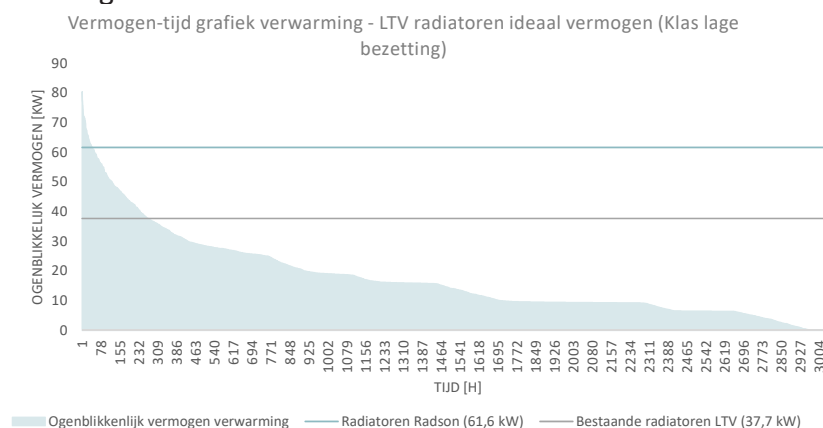
	Bestaande verwarming	LTV radiatoren ideaal vermogen	LTV radiatoren Radson
NEB verwarming [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	76,84	81,00	77,76

Tabel 65: Vergelijking NEB voor verwarming voor verschillende afgiftesystemen voor auditoria met lage bezetting en 1 laptop/2 personen

Ondanks het feit dat het gebouw continu verwarmd wordt tot de comforttemperatuur, is de stijging in het verbruik vrij beperkt. Er kan eventueel voor een setbacktemperatuur van 18,5°C geopteerd worden in periodes dat het buiten warmer is dan 0°C om het energieverbruik te beperken. Dit zal wellicht geen grote impact hebben, gezien het verschil in warmtevraag met de bestaande verwarming al erg beperkt is.

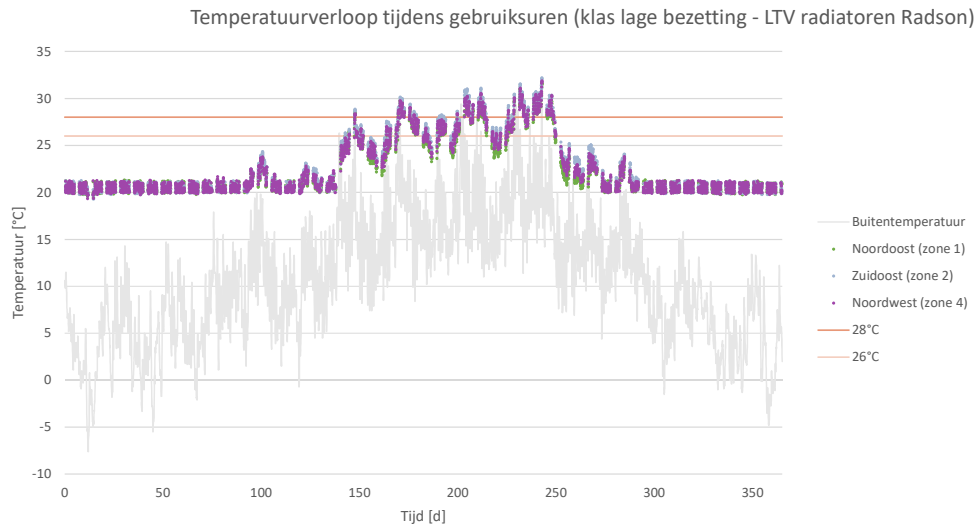
### Klaslokalen met lage bezetting

Daarnaast is er ook een bezettingsscenario met een lagere warmtevraag onderzocht, namelijk klaslokalen met lage bezetting, met een NEB voor verwarming van 55,33 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar). Wanneer de verwarming ingesteld wordt zonder setbacktemperatuur met een ideaal vermogen, geeft dit volgend resultaat:



Figuur 187: Vermogen-tijd grafiek voor radiatoren met een ideaal vermogen bij klassen met lage bezetting

Het piekvermogen reikt hier tot ongeveer 80 kW, in tegenstelling tot 120 kW in het vorige scenario. Dit is meteen een daling van 33,3%. Het vermogen van de Radson radiator voldoet hier slechts gedurende 42h niet. Dit geeft volgend temperatuurverloop.



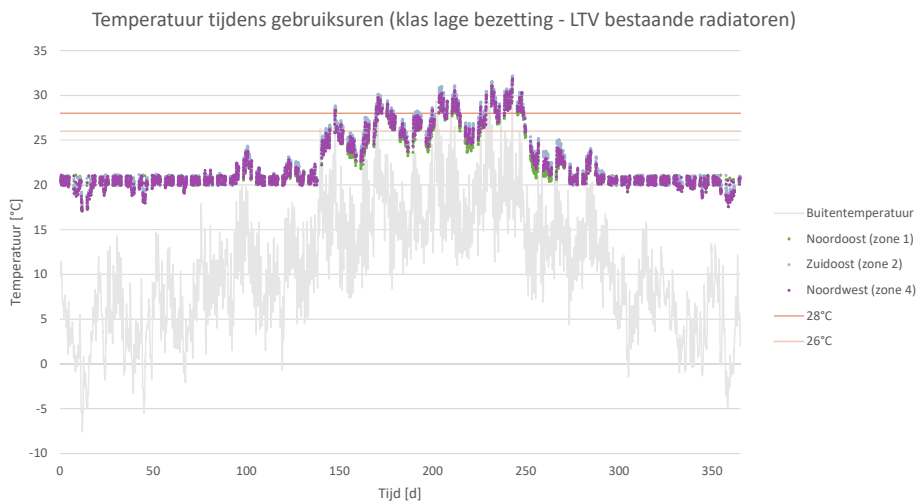
Figuur 188: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor klassen met lage bezetting met radiatoren Radson

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Uren bezet < 20°C	123	111	2	124
Uren bezet < 19°C	0	0	0	0

Tabel 66: Uren tijdens bezetting dat de comforttemperatuur niet behaald wordt gedurende een jaar voor klassen met lage bezetting met radiatoren van Radson

De temperatuur zakt vaak net onder 20°C, gezien de verwarming pas in werking treedt als de temperatuur onder de 20°C zakt en ze tijd nodig heeft om te reageren. De temperatuur daalt echter nooit onder 19°C, waaruit geconcludeerd wordt dat deze verwarming volstaat.

Daarnaast wordt ook gekeken in welke mate het behoud van de bestaande radiatoren een optie zou zijn, met een piekvermogen van 37,7 kW. Deze voldoen echter gedurende 271h niet aan de warmtevraag. Dit levert volgend temperatuurverloop:



Figuur 189: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor klassen met lage bezetting met de bestaande radiatoren op een LTV regime

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Uren bezet < 20°C	322	239	2	333
Uren bezet < 19°C	89	39	0	91

Tabel 67: Uren tijdens bezetting dat de comforttemperatuur niet behaald wordt gedurende een jaar voor klassen met lage bezetting met de bestaande radiatoren op een LTV regime

Het aantal uren tijdens bezetting dat de minimale comforttemperatuur van 19°C niet behaald wordt, bedraagt 91h. Dit is niet acceptabel op vlak van comfort. Bij klassen met lage bezetting kunnen de bestaande radiatoren op een laag temperatuurregime niet aan de comforteisen voldoen. Er moeten dus andere maatregelen genomen worden om aan de warmtevraag te voldoen.

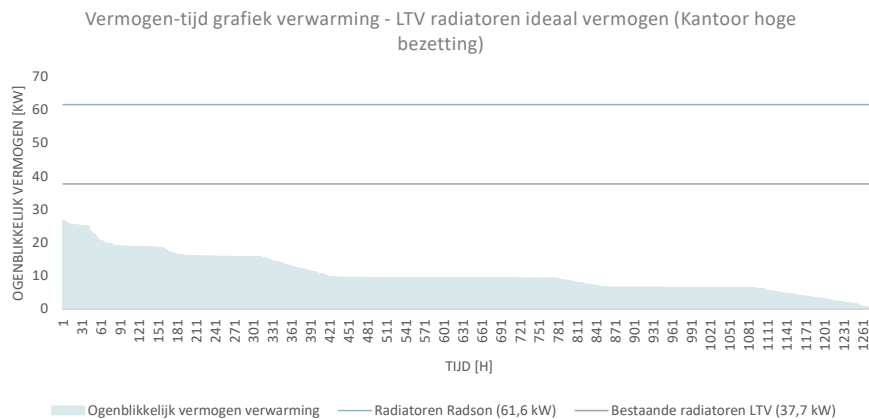
Ook in dit scenario is de stijging in jaarlijkse NEB voor verwarming erg klein wanneer er een verwarmingssysteem geïmplementeerd zou worden zonder setbacktemperatuur. De stijging bedraagt maximaal slechts 4%.

	Bestaande verwarming	LTV radiatoren ideaal vermogen	LTV bestaande radiatoren	LTV radiatoren Radson
NEB verwarming [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	55,33	57,57	55,29	56,55

Tabel 68: Vergelijking NEB voor verwarming voor verschillende afgiftesystemen voor klassen met lage bezetting

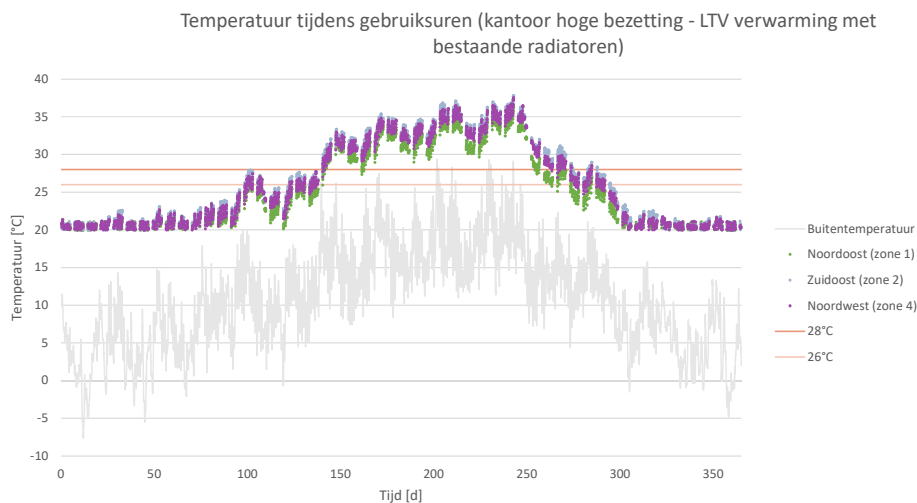
### Kantoren met hoge bezetting

Kantoren met hoge bezetting hebben een erg lage NEB voor verwarming. In geval van radiatoren met een ideaal vermogen wordt volgende vermogen-tijd grafiek bekomen:



Figuur 190: Vermogen-tijd grafiek voor radiatoren met een ideaal vermogen bij kantoren met hoge bezetting

Door de lage warmtevraag van de kantoren, reikt de benodigde vermogenspiek slechts tot 26,8kW. Dit ligt onder het vermogen van de bestaande verwarming op een lage-temperatuurregime. In geval van kantoren met hoge bezetting zou het behoud van de bestaande radiatoren dus een optie zijn. Dit wordt bevestigd door het temperatuurverloop bij gebruik van de bestaande radiatoren op een laag temperatuurregime:



Figuur 191: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor kantoren met hoge bezetting met de bestaande radiatoren op een LTV regime

De verwarming voldoet steeds en de comforttemperatuur kan het hele jaar door behaald worden. Dit wordt ook duidelijk in onderstaande tabel die de het aantal uren weergeeft tijdens bezetting dat de binnentemperatuur onder 19°C en 20°C daalt.

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Uren bezet < 20°C	13	8	4	10
Uren bezet < 19°C	0	0	0	0

Tabel 69: Uren tijdens bezetting dat de comforttemperatuur niet behaald wordt gedurende een jaar voor kantoren met hoge bezetting met de bestaande radiatoren op een LTV regime

Verder wordt ook gekeken naar het verschil in verbruik van verwarming:

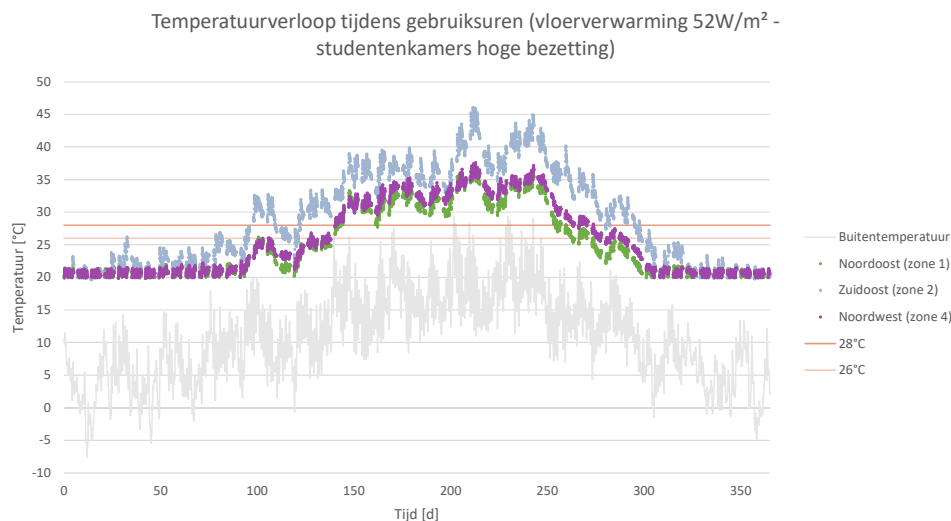
	Bestaande verwarming	LTV radiatoren ideaal vermogen	LTV radiatoren radiatoren Radson
NEB verwarming [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]		13,19	14,29

Tabel 70: Vergelijking NEB voor verwarming voor verschillende afgiftesystemen voor kantoren met hoge bezetting

Ook hier is het verschil in verbruik verwaarloosbaar tussen een verwarmingssysteem met of zonder setbacktemperatuur.

### Studentenkamers met hoge bezetting

Als laatste herbestemmingsscenario werd gekeken naar studentenkamers met hoge bezetting, waarbij geopteerd wordt voor een zwevende dekvloer in combinatie met vloerverwarming. Vloerverwarming is een traag systeem, waarbij het vermogen dat afgegeven wordt door de leidingen niet meteen in de ruimte voelbaar is. Bijgevolg is een vermogen-tijd grafiek van een ideaal vloerverwarmingssysteem geen referentie om te kijken of het systeem zou volstaan. Studentenhuisvesting heeft echter een lage NEB voor verwarming (15,0 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar)), waardoor er van uitgegaan wordt dat het vloerverwarmingssysteem met een warmteafgifte van 52 W/m<sup>2</sup> en een bijhorend piekvermogen van 40,4 kW per verdieping zal volstaan. Dit geeft volgend temperatuurverloop:



Figuur 192: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor studentenhuisvesting met hoge bezetting met vloerverwarming

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Uren bezet < 20°C	93	55	8	50
Uren bezet < 19°C	0	0	0	0

Tabel 71: Uren tijdens bezetting dat de comforttemperatuur niet behaald wordt gedurende een jaar voor studentenhuisvesting met hoge bezetting met vloerverwarming

Net als in de vorige scenario's zijn de uren dat de temperatuur onder de 20°C daalt te wijten aan de reactiesnelheid van het systeem. De vloerverwarming met een vermogen van 52 W/m<sup>2</sup> volstaat dus om aan de warmtevraag van de studentenkamers te voldoen. Dit levert volgend energieverbruik:

	Bestaande verwarming (radiatoren)	LTV vloerverwarming Radson (52 W/m <sup>2</sup> )
NEB verwarming [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	14,96	19,18

Tabel 72: Vergelijking NEB voor verwarming voor verschillende afgiftesystemen voor studentenhuisvesting met hoge bezetting

De NEB voor verwarming stijgt met 28% ten opzichte van de situatie waar de bestaande verwarming behouden blijft. Dit is een significant verschil met de vorige scenario's waar het verschil in warmtevraag quasi verwaarloosbaar was. Dit is te wijten aan de instelling in de simulaties waar de verwarming in werking treedt vanaf dat de binnentemperatuur lager ligt dan 20°C en tot ze een temperatuur van 21°C bereikt. Gezien vloerverwarming een traag systeem is, zal dit even duren en wordt het maximaal vermogen continu geleverd tot 21°C behaald wordt. In praktijk kan dit anders ingesteld worden, of kan er voor een lager afgiftevermogen gekozen worden voor de vloerverwarming, waardoor de NEB voor verwarming lager zal liggen.

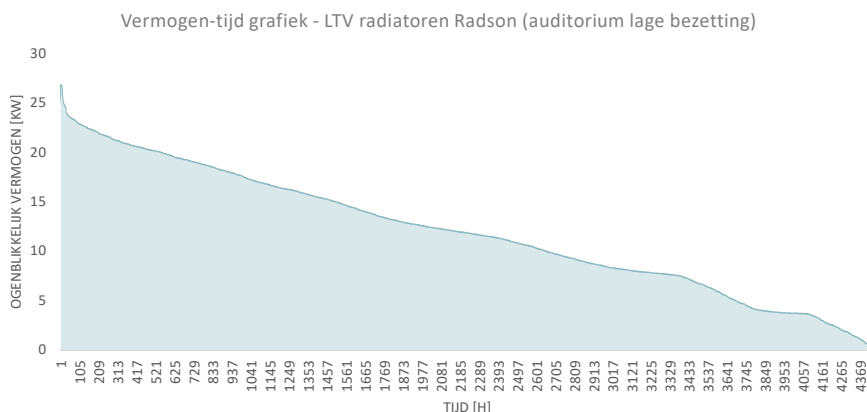
Daarnaast zou het ook een optie zijn de bestaande radiatoren te behouden en deze op een laag temperatuurregime te laten werken. In de simulatie met de bestaande radiatoren - waarbij er nog een setbacktemperatuur is in de weekends - bedraagt het benodigde piekvermogen 75 kW, maar dit zakt na 18h al terug naar 37,4 kW. De bestaande radiatoren op een laag temperatuurregime met een piekvermogen van 37,7 kW zouden dus volstaan.

### Warmtevraag zonder bezetting

Daarnaast werd ook onderzocht of de verwarming volstaat om de comforttemperatuur te halen in een leeg gebouw, aangezien er dan geen interne warmtewinsten zijn om het gebouw op te warmen. Hierbij werden drie scenario's bekeken.

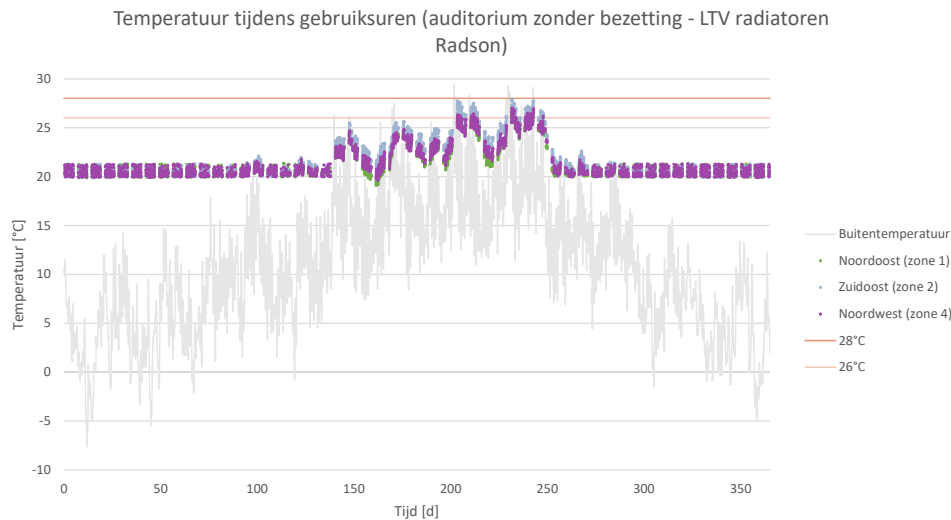
#### *Auditorium met lage bezetting (en laptops)*

Als eerste wordt gekeken naar auditoria met lage bezetting – de laptops zijn niet meer relevant gezien de bezetting wegvalt - met een systeem C voor ventilatie. Het ventilatiedebiet buiten bezetting valt in dit geval terug naar 10% en de interne warmtewinsten vallen terug tot 0 W/m<sup>2</sup>. Hierbij zijn er LTV-radiatoren van Radson geïnstalleerd. Indien die in een scenario zonder bezetting wel volstaan, kan ervanuit gegaan worden dat het vooral de ventilatieverliezen zijn die de warmtevraag bepalen in dit scenario en niet de interne warmtewinsten. Dit levert volgende vermogen-tijd grafiek.



Figuur 193: Vermogen-tijd grafiek voor radiatoren van Radson bij een auditorium zonder bezetting

Het piekvermogen gaat hier tot 26,7 kW. De radiatoren van Radson voldoen dus ruimschoots met hun piekvermogen van 61,6 kW als de ventilatieverliezen dalen, ondanks dat de interne warmtewinsten ook wegvallen. Dit wordt ook aangetoond door onderstaand temperatuurverloop, waar de temperatuur soms licht onder de 20°C zakt, maar nooit onder 19°C.



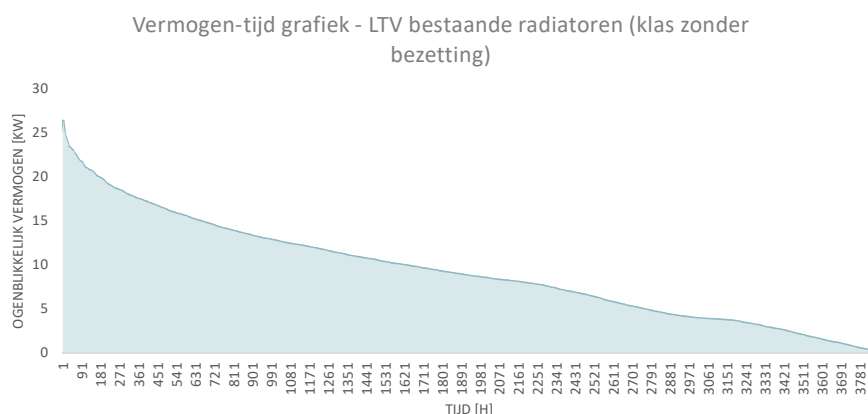
Figuur 194: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor auditoria zonder bezetting met radiatoren van Radson

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Uren bezet < 20°C	78	42	0	54
Uren bezet < 19°C	0	0	0	0

Tabel 73: Uren tijdens gebruikstijd dat de comforttemperatuur niet behaald wordt gedurende een jaar voor auditoria met radiatoren van Radson

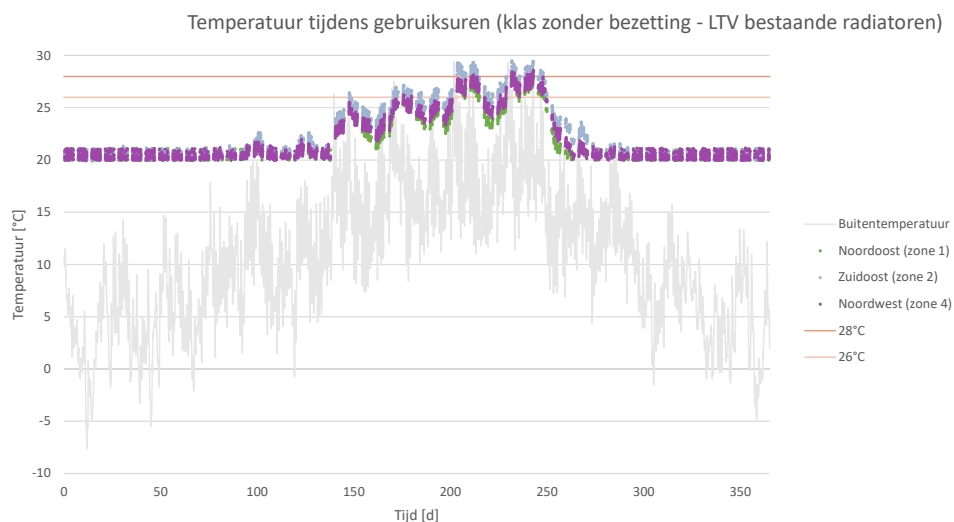
### Klassen met lage bezetting

Daarnaast werd ook gekeken naar klassen met lage bezetting, met een systeem C. Ook hier valt het ventilatiedebiet terug naar 10% buiten bezetting en de interne warmtewinsten naar 0 W/m<sup>2</sup>, in combinatie met verwarming aan de hand van de bestaande radiatoren met een laag temperatuurregime.



Figuur 195: Vermogen-tijd grafiek voor de bestaande radiatoren op een LTV regime bij een klas zonder bezetting

Het benodigde piekvermogen stijgt tot 26,3 kW, wat binnen het beschikbare piekvermogen van 37,7 kW ligt in geval van bestaande radiatoren op een laag temperatuurregime. De comforttemperatuur wordt ook hier steeds behaald, zoals aangetoond op volgende grafiek. Net zoals in het vorige scenario zijn de ventilatieverliezen dus meer bepalend dan de interne warmtewinsten om de comforttemperatuur te kunnen behalen.



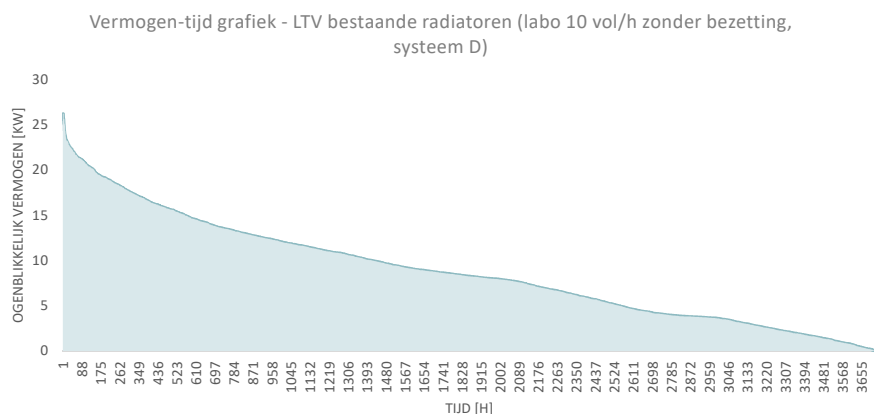
Figuur 196: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor klassen zonder bezetting met behoud bestaande radiatoren op een LTV regime

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Uren bezet < 20°C	38	24	0	30
Uren bezet < 19°C	0	0	0	0

Tabel 74: Uren tijdens gebruikstijd dat de comforttemperatuur niet behaald wordt gedurende een jaar voor klassen met behoud bestaande radiatoren op een LTV regime

### Labo met 10 volumewisselingen per uur

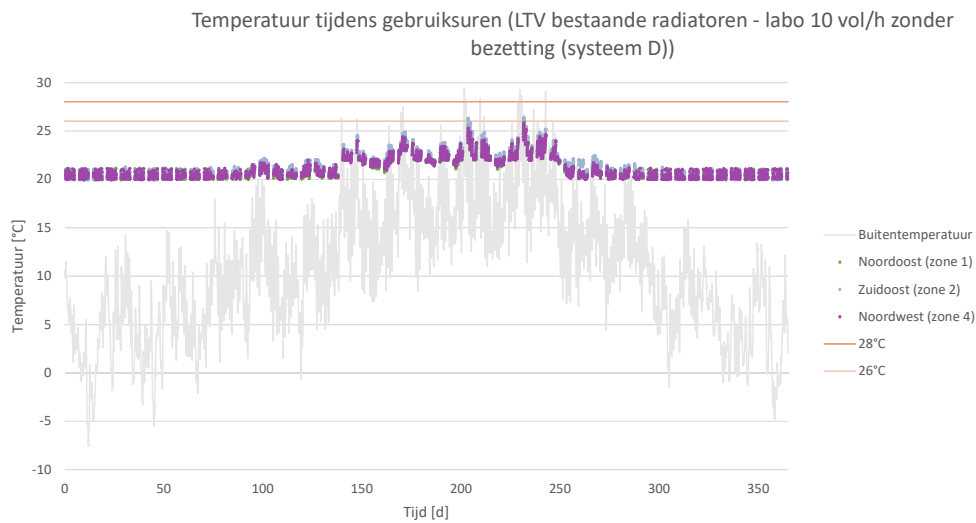
Als laatste werd gekeken naar een labo met 10 volumewisselingen per uur. Dit is het scenario met de hoogste warmtevraag, op het uitzonderingsgeval van een labo met 15 vol/h na. Het ventilatiedebiet van de auditoria met hoge bezetting ligt net iets hoger (3,0%), maar gezien het labo al eerder behandeld werd als kritiek scenario, wordt ditzelfde scenario hier verder bekeken. Er zou een systeem D geïmplementeerd worden, omdat anders niet aan de eis van Sweco voldaan kan worden. Hier valt het debiet terug naar 15% buiten bezetting en worden er ook geen interne warmtewinsten ingerekend. In paragraaf 7.8.4 werd aangetoond dat de warmtevraag in geval van een labo met 10 volumewisselingen per uur gelijk is aan 10,9 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar) bij gebruik van een systeem D. Hierbij wordt uitgetest of verwarming met behoud van de bestaande radiatoren op een laag temperatuurregime zou volstaan, ook indien er geen bezetting aanwezig is.



Figuur 197: Vermogen-tijd grafiek voor de bestaande radiatoren op een LTV regime bij een labo 10 vol/h zonder bezetting (systeem D)



De vermogenspiek reikt hier tot 26,2 kW. LTV met behoud van de bestaande radiatoren is dus een optie. Zoals in onderstaande grafiek te zien is, wordt de comforttemperatuur steeds behaald.



*Figuur 198: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor labo's met 10 vol/h zonder bezetting met behoud bestaande radiatoren op een LTV regime*

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Uren bezet < 20°C	13	8	4	10
Uren bezet < 19°C	0	0	0	0

*Tabel 75: Uren tijdens gebruikstijd dat de comforttemperatuur niet behaald wordt gedurende een jaar voor labo's met 10 vol/h zonder bezetting met behoud bestaande radiatoren op een LTV regime*

## Conclusie

Er is een groot verschil in warmtevraag tussen de verschillende scenario's, waardoor verschillende vormen van verwarming volstaan. Als de NEB voor verwarming laag is, kunnen de bestaande radiatoren behouden blijven op een laag temperatuurregime. In gevallen met een middelmatige tot hoge NEB voor verwarming moeten de radiatoren vervangen worden.

Daarnaast daalt de warmtevraag altijd als er geen bezetting aanwezig is, door de lagere ventilatieverliezen. Indien de verwarming gedimensioneerd wordt op een hoge bezetting zal ze dus ook volstaan voor een lage bezetting.

## 8 RICHTLIJNEN VOOR DE ONTWERPER

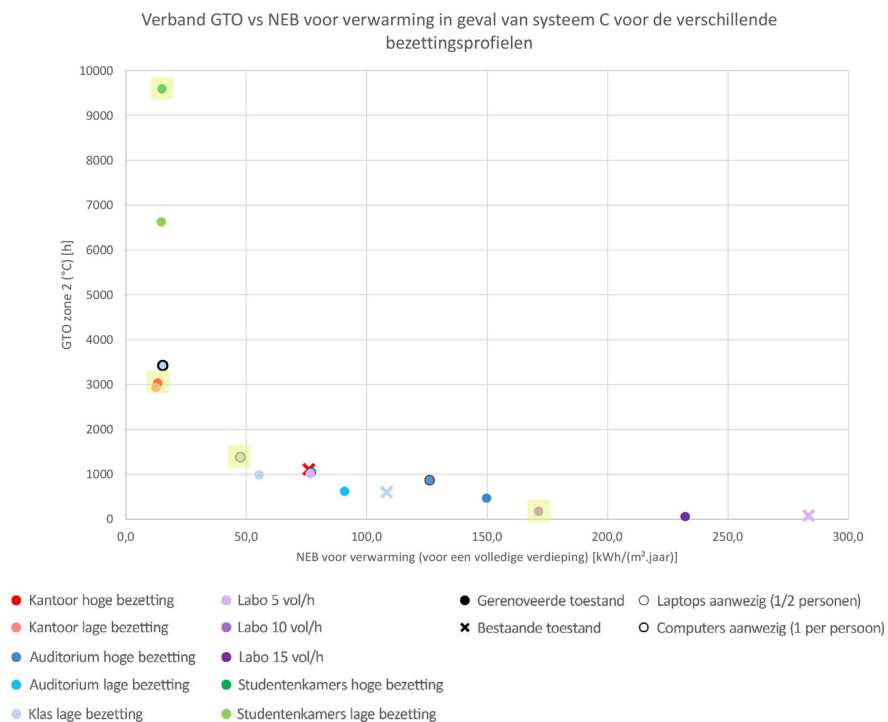
In de voorgaande hoofdstukken werd telkens apart de impact van een aantal specifieke wijzigingen onderzocht. Veel van deze wijzigingen beïnvloeden echter elkaar. Om deze verbanden aan te tonen, wordt de relatie tussen een aantal parameters weergegeven voor vier verschillende herbestemmingsscenario's.

Het resultaat zijn onderstaande tabellen die dienen als 'guidelines' om doordacht beslissingen te kunnen nemen die rekening houden met de wisselwerking tussen de verschillende parameters. Dit is een instrument dat gebruikt kan worden bij het concrete ontwerp voor de renovatie van de S-gebouwen.

### 8.1 Inhoud van de tabellen

#### 8.1.1 Herbestemmingsscenario's

De tabellen zijn gemaakt voor vier verschillende herbestemmingsscenario's die uitersten vertonen op vlak van NEB voor verwarming en oververhitting. Er wordt aangenomen dat de resultaten die voortkomen uit de tabellen ook toepasbaar zijn op andere scenario's met gelijkaardige karakteristieken. De gekozen scenario's worden aangeduid op onderstaande overzichtsgrafiek:



Figuur 199: Aanduiding van de gekozen herbestemmingsscenario's bij de richtlijnen voor de ontwerper

Als eerste werd gekozen voor kantoren met hoge bezetting, wat gezien wordt als meest extreme scenario op vlak van oververhitting. Gezien kantoren met lage bezetting hier dicht bij aanleunen, zijn de resultaten ook daarop toepasselijk. Computerlokalen werden niet apart onderzocht aangezien de tabellen focussen op zone 2 en er afgeraden wordt computerlokalen in zone 2 in te richten. Als de computerklassen in een andere zone geplaatst worden, kunnen de resultaten van kantoren met hoge bezetting hier ook op toegepast worden.

Daarnaast werden ook studentenkamers met hoge bezetting onderzocht. Dit is een uitzonderingsgeval omdat het gebruik ervan erg verschilt van de andere bezettingspatronen. Daardoor zijn de andere tabellen hierop niet van toepassing. De resultaten voor studentenkamers met hoge bezetting zijn ook van toepassing op de studentenkamers met lage bezetting, wat een iets minder extreem scenario is. De maatregelen genomen voor hoge bezetting zullen ook volstaan bij lage bezetting.

Als derde werd gekeken naar klaslokalen met lage bezetting en laptops. Dit scenario geldt als uiterste scenario op vlak van oververhitting voor de onderwijsfuncties. Kantoren zijn een te extreem scenario in vergelijking met de onderwijsfuncties waardoor deze resultaten niet door te trekken zijn. Verder werd gekozen voor labo's met 10 volumewisselingen per uur als meest extreme scenario op vlak van warmtevraag, waarbij labo's met 15 vol/h buiten beschouwing gelaten worden als weinig voorkomend uitzonderingssscenario. Bijna alle onderwijsfuncties vallen tussen de klaslokalen en de laboruimtes, waarbij er een inschatting gemaakt kan worden op basis van deze 2 tabellen.

Voor een uitgebreide beschrijving op vlak van interne warmtewinsten en bezettingsprofiel wordt verwezen naar paragraaf 7.2 herbestemmingsscenario's, met in paragraaf 7.2.4 een samenvattende tabel van de verschillende profielen.

## 8.1.2 Parameters

### Type beglazing en zonnewering

De eerste parameter is het type beglazing en het type zonnewering. Hier worden dezelfde variaties in gemaakt als in paragraaf 7.7.5.

Enerzijds qua zonnewering:

- Geen zonnewering
- Performante binnenzonnewering die 74% van de invallende zonnestraling weerkaatst, waarbij de som van de absorptie en transmissie 26% is, wat het percentage aan zonnestraling is dat de binnenomgeving bereikt.
- Performante buitenzonnewering die 10% van de zonnestraling doorlaat.

De zonnewering gaat omlaag als de invallende zonnestraling op de gevel meer dan 300 W/m<sup>2</sup> bedraagt.

Anderzijds qua beglazing:

- Default double: Saint Gobain Planitherm one AR 6/16/6 met een U-waarde van 1,0 W/m<sup>2</sup>.K en een g-waarde van 0,55.
- Double glazing with g = 0.3, SGG Cool-lite XTREME 60/28 (2) and planiclear met een U-waarde van 1,0 W/m<sup>2</sup>.K en een g-waarde van 0,28.<sup>311</sup>

311. IDEAS library, 2022

In wat volgt wordt volgende benaming aangehouden:

- **Scenario 0:** glas met g-waarde 0,55 en geen zonnewering
- **Scenario 1:** glas met g-waarde 0,55 en binnenzonnewering
- **Scenario 2:** glas met g-waarde 0,28 en binnenzonnewering
- **Scenario 3:** glas met g-waarde 0,28 en buitenzonnewering

In de tabellen slaat de meest linkse kolom op de verschillende scenario's.

De LTA-factor bedraagt in bovenstaande scenario's minimaal 60%. Uit de daglichtsimulaties in paragraaf 7.3.3, werd geconcludeerd dat bij deze waarde de norm omtrent de minimale daglichtfactor op het referentieoppervlak steeds behaald wordt.

## Ventilatiesysteem

De ventilatiesystemen die bekeken worden zijn de volgende:

- Natuurlijke ventilatie
- Systeem C+
- Systeem D met warmterecuperatie (onvolledige bypass)

Zowel de natuurlijke ventilatie als systeem C+ werken vraaggestuurd. Het enige verschil tussen de twee systemen is het verbruik van de ventilatoren.

Er wordt van uitgegaan dat het verbruik buiten bezetting in geval van natuurlijke ventilatie of systeem C terugvalt naar 10%. De ventilatoren worden uitgeschakeld en er is nog een minimaal debiet aan ventilatie doorheen de RTO's. Bij systeem D valt de ventilatie buiten bezetting terug tot 15%, waarbij de ventilatoren op minimaal debiet draaien.

De warmterecuperatie gaat uit van een warmtewiel met een onvolledige bypass. Hierbij wordt ingesteld dat de gevraagde temperatuur van toevoerlucht 20,5°C is als de binnentemperatuur onder de 22°C ligt en 15°C als het binnen warmer is dan 22°C. Aldus wordt de temperatuur geleverd die zo dicht mogelijk aansluit bij de gevraagde temperatuur en die haalbaar is met een bypass van 83%.

In de gang wordt geen ventilatiedebiet ingerekend omdat er uitgegaan wordt van doorstroomlucht naar de gang. Energetisch gezien is dit een correcte aanname, aangezien de toevoerlucht al warm is en geen ventilatieverliezen creëert.

## Koeling

De verschillende opties qua koeling zijn de volgende:

- Geen koeling
- Intensieve nachtkoeling met 5 vol/h
- Mechanische koeling
- Intensieve nachtventilatie met 5 vol/h en mechanische koeling.

De nachtventilatie treedt in werking tussen 22h 's avonds en 6h 's ochtends als de binnentemperatuur boven de 22°C ligt en stopt wanneer de temperatuur onder de 20,5°C zakt. Hierbij wordt uitgegaan van automatisch gestuurde ramen die op kiepstand geopend worden.

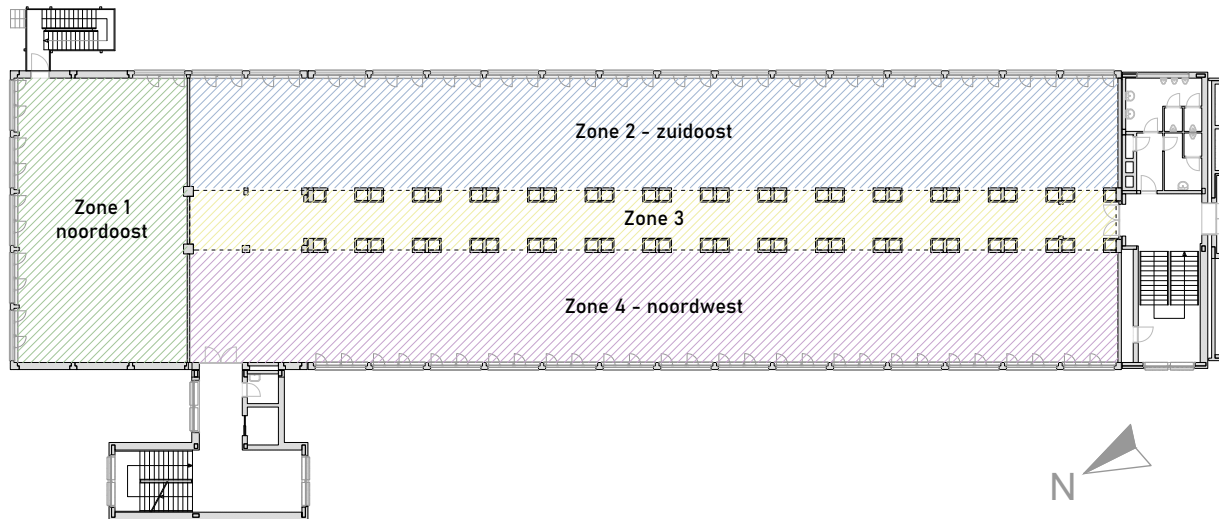
Daarnaast is bij de mechanische koeling een ideaal vermogen ingesteld, uitgaande van

dynamische koelbalken waarbij het convectieve aandeel van de afgifte 100% bedraagt.

Bij studentenkamers is nachtventilatie echter geen optie. Dit scenario wordt daarom vervangen door het openen van ramen als koelstrategie. Per segment wordt er één raam op kiep geopend met een debiet van 135 m<sup>3</sup>/h, waarbij aangenomen wordt dat de ramen tijdens bezetting – dus op weekdays – van 7 h 's ochtends tot 23h 's avonds geopend worden als het binnen warmer is dan 22°C.

### 8.1.3 Achterliggende aannames

Er is telkens een typeverdiep gesimuleerd uit gebouw S4, met onderstaande indeling:



Figuur 200: Overzicht van de zones in het simulatiemodel (Dymola)

Hierbij wordt aangenomen dat de aanliggende ruimtes – de onder- en bovenverdieping en de traphallen – dezelfde temperatuur hebben als de ruimte die gesimuleerd wordt, waardoor de isolatielagen en dergelijke correct ingerekend worden.

De manier van verwarmen is buiten beschouwing gelaten omdat dit geen invloed heeft op de andere parameters. Naargelang de functie, zijn er verschillende verwarmingssystemen mogelijk bij renovatie waardoor het moeilijk in te schatten is welk systeem er gekozen zal worden. Bovendien is het verschil in NEB voor verwarming verwaarloosbaar tussen de bestaande verwarming en LTV-verwarming zonder setbacktemperatuur. Bijgevolg werd het verwarmingsmodel van de bestaande radiatoren met bijhorende vermogens gebruikt in de simulaties. De verwarming heeft een setpointtemperatuur van 20,5°C met een bandbreedte van 1°C. Buiten bezetting is de setbacktemperatuur 16°C. Daarnaast treedt ze enkel in werking als het buiten kouder is dan 18°C en is er een zomerregime van 25 mei tot 8 september waar ze permanent uit staat.

Ook de wijze van gevelrenovatie is niet opgenomen in de richtlijnen, om de tabel overzichtelijk te houden. De simulaties zijn uitgevoerd op een gebouw dat gerenoveerd wordt naar de U-waarden die geëist worden volgens EPB. Een samenvattende tabel met de gebruikte U-waarden is te vinden in paragraaf 7.4.5. Er zijn geen koudebruggen ingerekend wat impliciet uitgaat van buitenisolatie. Indien er geopteerd wordt voor binnenisolatie, zal de warmtevraag telkens iets hoger liggen en de oververhitting iets lager dan vermeld in de tabel. Zoals paragraaf 7.4.5 aantoont, is dit verschil relatief klein.

Daarnaast is er een  $n_{50}$ -waarde van 1 vol/h aangenomen, gezien dit het na te streven infiltratievoud is bij gebruik van mechanische ventilatie.

In principe zal de verlichting vaker ingeschakeld worden als er voor glas met een lagere g-waarde gekozen wordt en performantere zonnewering. Dit effect is echter achterwege gelaten in de simulaties.

#### 8.1.4 Evaluatiecriteria

Een groot aantal scenario's is gesimuleerd, de resultaten ervan worden weergegeven in de tabel. Deze resultaten worden vervolgens getoetst aan een aantal evaluatiecriteria, waarbij de kleur visueel weergeeft of het resultaat voldoet. De gesimuleerde resultaten worden in het vet weergegeven. Voor de scenario's die niet gesimuleerd zijn, wordt uit de gesimuleerde resultaten afgeleid wat de waarden zouden zijn. Dit wordt aangeduid met > , < of ±.

##### Oververhitting

De oververhitting is weergegeven op basis van de GTO van zone 2, de meest kritische zone. Er is gekozen voor GTO omdat dit een verfijndere weergave is van de oververhitting dan de absolute overschrijdingsuren boven 26°C en 28°C. Zowel de GTO gebaseerd op °C als op PPD is aangegeven, waarbij de 2e variant een strengere eis is. Zo kan gekozen kan worden waarop men zich wil baseren. Minder dan 150 overschrijdingsuren geldt als goed comfort - groen in de tabel - en minder dan 250 uren als acceptabel comfort - geel in de tabel. Bij meer dan 250 overschrijdingsuren, wordt de waarde rood gemarkeerd. Minder dan 100 overschrijdingsuren wordt gezien als zeer goed comfort, maar dit wordt niet apart aangeduid in de tabel.

##### Energieverbruik

De jaarlijkse netto-energiebehoefte voor verwarming en koeling voor een volledige verdieping wordt als eerste weergegeven. Dit wordt aan de eis van Sweco van 75 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar) als netto-energiebehoefte voor verwarming getoetst. Gezien er geen concrete eis gesteld wordt voor de koelvraag, wordt hier dezelfde waarde als maatstaf genomen. Als de waarde voldoet, wordt ze groen gemarkeerd, als ze niet voldoet rood.

Daarnaast wordt het energieverbruik voor ventilatoren voor de volledige verdieping ook vermeld – zoals berekend in paragraaf 7.8.2 -, gezien dit een grote impact heeft op het totale energieverbruik. Hierbij is rekening gehouden met een SFP van 1250 W/(m<sup>3</sup>.s) en is er tijdens gebruiksuren een volledig debiet ingerekend. Buiten gebruik valt het debiet terug naar 15% in geval van systeem D en naar 0% in geval van systeem C, waar aangenomen wordt dat de ventilatoren buiten gebruik worden uitgeschakeld. Er wordt uitgegaan van een ventilatieconcept waarbij er doorstroom is vanuit de gebruiksruidtes naar de gangen om deze van hygiënische ventilatie te voorzien. Het totale toevoer- en afvoerdebiet voor de verdieping is bijgevolg gelijk aan het vereiste toevoer- en afvoerdebiet van de gebruiksruidtes.

In de laatste kolom wordt het primaire energieverbruik weergegeven, met aanname van SCOP = 5 voor verwarming en SEER = 6 voor koeling. Er wordt gewerkt met seizoensgebonden waarden gezien er een BEO-veld aanwezig is en er in het verwarmingsseizoen ook rechtstreeks warmte van de server gebruikt kan worden, waarbij de brontemperatuur van het water (20°C) hoger ligt dan bij een gewoon BEO-veld. Deze primaire energiebehoeften worden vervolgens samengeteld met het verbruik voor de ventilatoren om tot een totaal primair energieverbruik te komen. Het totaal primair energieverbruik van systeem C en D wordt voor gelijkaardige scenario's vergeleken. Bij de meest energiezuinige variant wordt de waarde groen gekleurd, bij de andere rood.

### 8.1.5 Kanttekening bij de resultaten

Bij de parameters in de tabel wordt enkel de g-waarde van het glas en van de zonnewering vermeld. Hierbij moet de kanttekening gemaakt worden dat een daling in g-waarde van het glas ook zorgt voor een daling van de LTA-factor. In voorgaande delen werd aangetoond dat de norm omtrent de gemiddelde daglichtfactor nog steeds behaald wordt bij een g-waarde van 0,28 – met bijhorende LTA-waarde van 60% -. Het spreekt echter voor zich dat meer daglicht de ruimte zal betreden wanneer voor beglazing met de hoogste LTA-waarde (en dus ook g-waarde) gekozen wordt.

## 8.2 Kantoren met een hoge bezettingsgraad

Kantoor hoge bezetting			GTO (°C) [h] (Zone 2)	GTO (PPT) [h] (Zone 2)	NEB voor verwarming [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	NEB voor koeling [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	NEB voor ventilatoren [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	Primair energieverbruik voor koeling, verwarming en ventilatoren [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]
Gelijkaardig scenario: kantoor met lage bezetting, computerklas								
g-waarde glas 55% en geen zonnewering	natuurlijke ventilatie/systeem C	Geen koeling	4379	6875	11,3	0,0	3,1	5,3
g-waarde glas 55% & zonnewering 0,26	natuurlijke ventilatie	geen koeling	3032	4789	13,2	0,0	0,0	
		intensieve nachtventilatie (5 vol/h)*	159	272	13,5	0,0	0,0	
		mechanische koeling	0	0	13,3	22,4	0,0	
		intensieve + mechanische koeling	0	0	13,5	6,4	0,0	
	systeem C	geen koeling	3032	4789	13,2	0,0	3,1	5,7
		intensieve nachtventilatie (5 vol/h)*	159	272	13,5	0,0	3,1	5,8
		mechanische koeling	0	0	13,3	22,4	3,1	9,4
		intensieve + mechanische koeling	0	0	13,5	6,4	3,1	6,8
	systeem D	geen koeling	3280	5201	1,9	0,0	8,3	8,7
		intensieve nachtventilatie (5 vol/h)*	148	254	2,3	0,0	8,3	8,7
		mechanische koeling	0	0	1,9	22,9	8,3	12,5
		intensieve + mechanische koeling	0	0	± 2,3	± 6,4	8,3	± 9,8
g-waarde glas 28% & zonnewering 0,26	natuurlijke ventilatie	geen koeling	2118	3363	16,9	0,0	0,0	
		intensieve nachtventilatie (5 vol/h)	20	39	17,2	0,0	0,0	
		mechanische koeling	0	0	17,0	12,7	0,0	
		intensieve + mechanische koeling						
	systeem C	geen koeling	2118	3363	16,9	0,0	3,1	6,4
		intensieve nachtventilatie (5 vol/h)	20	39	17,2	0,0	3,1	6,5
		mechanische koeling	0	0	17,0	12,7	3,1	8,6
		intensieve + mechanische koeling						
	systeem D	geen koeling	2045	3255	3,0	0,0	8,3	8,9
		intensieve nachtventilatie (5 vol/h)	< 20	< 39	> 3,0	0,0	8,3	± 8,9
		mechanische koeling	0	0	3,0	12,4	8,3	10,9
		intensieve + mechanische koeling						
g-waarde glas 28% & zonnewering 0,10	natuurlijke ventilatie	geen koeling	1831	2903	17,3	0,0	0,0	
		intensieve nachtventilatie (5 vol/h)	< 20	< 39	> 17,4	0,0	0,0	
		mechanische koeling	0	0	17,4	11,5	0,0	
		intensieve + mechanische koeling						
	systeem C	geen koeling	1831	2903	17,3	0,0	3,1	6,5
		intensieve nachtventilatie (5 vol/h)	< 20	< 39	> 17,4	0,0	3,1	± 6,6
		mechanische koeling	0	0	17,4	11,5	3,1	8,5
		intensieve + mechanische koeling						
	systeem D	geen koeling	1732	2759	3,1	0,0	8,3	8,9
		intensieve nachtventilatie (5 vol/h)	< 20	< 39	> 3,1	0,0	8,3	± 8,9
		mechanische koeling	0	0	3,1	11,1	8,3	10,7
		intensieve + mechanische koeling						

Tabel 76: Richtlijnen voor de ontwerper - Kantoren met een hoge bezettingsgraad

	Voldoet aan de vooropgestelde doelstelling
	Voldoet niet aan de vooropgestelde doelstelling
	Niet van toepassing
	Een acceptabel comfort op vlak van oververhitting
*	Volstaat wel bij 10 vol/h
<b>vetgedrukt</b>	Gesimuleerde resultaten

Tabel 77: Legende bij kantoren met een hoge bezettingsgraad

Kantoren met hoge bezetting hebben typisch een lage NEB voor verwarming en een groot oververhittingsrisico. Dit komt tot uiting in bovenstaande tabel, waar de NEB voor verwarming in alle scenario's aan de eis volgens Sweco voldoet, maar de GTO de maximale waarde ver overschrijdt indien er geen koeling aanwezig is. In scenario 1 voldoet de GTO zelfs niet als er intensieve nachtventilatie geïmplementeerd wordt met 5 vol/h. De GTO blijft wel onder de limiet indien er geventileerd wordt met 10 vol/h, of wanneer de g-waarde van het glas naar 0,28 daalt. In de scenario's waar nachtventilatie volstaat, wordt de optie waarbij nachtventilatie en mechanische koeling gecombineerd zouden worden grijs aangeduid, aangezien een combinatie van de systemen overbodig is. Uiteraard kan er ook geopteerd worden voor een combinatie van beide systemen, om het comfort ongeacht de weersomstandigheden te garanderen. Wanneer mechanische koeling gecombineerd wordt met intensieve nachtventilatie, daalt de NEB voor koeling met 71%.



De intensieve nachtventilatie doet de NEB voor verwarming telkens licht stijgen. Dit komt omdat het gebouw gekoeld wordt tot 20,5°C als de binnentemperatuur 's nachts hoger ligt dan 22°C. In het tussenseizoen is het mogelijk dat een warme dag gevolgd wordt door een koude dag. Als het gebouw 's nachts warmer is dan 22°C, zal het gekoeld worden. De dag erna koelt het echter verder af waardoor de verwarming sneller in werking moet treden dan zonder nachtcooling. De stijging in NEB voor verwarming is echter verwaarloosbaar.

Door de hoge oververhitting, is de NEB voor koeling relatief hoog, namelijk 22,4 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar) in het eerste scenario met systeem C. Als de g-waarde van het glas daalt, neemt de koelvraag met 43,3% af. De NEB voor verwarming stijgt echter wel met 27,8%. Aangezien de verwarmingsvraag nog steeds beperkt blijft, is dit algemeen een positieve evolutie als er mechanische koeling gebruikt wordt. Indien er performantere zonnepanelen geïnstalleerd wordt, daalt de NEB voor koeling met 48,7% en stijgt de verwarmingsvraag met 30,8%, wat ook hier met 17,4 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar) in absolute aantallen een lage verwarmingsvraag blijft. Bij gebruik van mechanische koeling is het totale primaire energiegebruik dan ook het laagst als er maatregelen genomen worden tegen de oververhitting, zoals in scenario 3.

Als er geen mechanische koeling geïmplementeerd wordt, is het totale primaire energieverbruik het laagst in scenario 1. Het beperken van de zonnepanelen laat de oververhitting dalen, maar als er geen mechanische koeling gebruikt wordt, wordt de bijkomende stijging van de NEB voor verwarming niet gecompenseerd. Het meest energie-efficiënte scenario is bijgevolg het eerste scenario met systeem C en intensieve nachtcooling met 10 vol/h.

Het valt op dat systeem D de warmtevraag sterk doet dalen, zoals verwacht, terwijl de koelvraag ongeveer gelijk is aan een systeem C. Dit is een gevolg van de onvolledige bypass die ingesteld is bij de warmtewisselaar. Aangezien er een toevoertemperatuur van 15°C gevraagd wordt als de binnentemperatuur hoger ligt dan 22°C, is het koelpotentieel van de voorverwarmde ventilatielucht lager in het tussenseizoen, dan wanneer er koude buitenlucht toegevoerd wordt, zoals bij een systeem C. Dit weegt niet op tegen de momenten in de zomer dat de toevoerlucht voorgekoeld wordt door de warmtewisselaar. De onvolledige bypass zorgt er zelfs voor dat de GTO - en bijhorend de mechanische koelvraag - hoger liggen bij een systeem D dan bij een systeem C in het eerste scenario, waar er hoge zonnepanelen zijn. Wanneer de zonnepanelen beperkt worden, ligt de koelvraag bij systeem D net iets lager.

In alle scenario's met systeem D is het primair energieverbruik hoger dan het gelijkaardige scenario met systeem C. Dit is een gevolg van de efficiënte verwarming via het BEO-veld in combinatie met het warmtenet en het gebruik van vraaggestuurde ventilatie. De debieten zijn vrij hoog, maar aangezien er 40 m<sup>3</sup>/(h.pers) geëist wordt voor kantoren door de codex welzijn op het werk, is dit geen variabele parameter. Bijgevolg is het energetisch gezien niet opportuun een systeem D te implementeren.

Bij de kantoren is het in principe ook een optie natuurlijke ventilatie te gebruiken, door de lage bezetting en bijhorende hygiënische ventilatiedebieten. Dit laat het totale primaire energieverbruik dalen omdat er geen ventilatoren gebruikt worden. Natuurlijke ventilatie is echter minder betrouwbaar, waardoor de gevraagde debieten niet altijd gerealiseerd kunnen worden. Bijgevolg werd het totaal primair energiegebruik voor koeling, verwarming en ventilatie grijs gekleurd.

## 8.3 Klaslokalen met een lage bezettingsgraad en laptops

Klaslokaal lage bezetting met laptop (1/2)			GTO (°C) [h] (Zone 2)	GTO (PPT) [h] (Zone 2)	jaarlijkse NEB voor verwarming [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	jaarlijkse NEB voor koeling [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	jaarlijkse NEB voor ventilatoren [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	Primair energieverbruik voor koeling, verwarming en ventilatoren [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]
Gelijkwaardig scenario: klaslokaal lage bezetting, auditoria met lage bezetting en laptops en labo's met 5 vol/h								
g-waarde glas 55% en geen zonnewering	natuurlijke ventilatie/systeem C	Geen koeling	2734	4315	43,1	0,0	8,7	17,4
g-waarde glas 55% & zonnewering 0,26	natuurlijke ventilatie	geen koeling	1386	2210	47,5	0,0	0,0	
		intensieve nachtkoeling (5 vol/h)	132	227	47,8	0,0	0,0	
		mechanische koeling	0	0	47,5	16,6	0,0	
		intensieve + mechanische koeling	0	0	47,9	6,7	0,0	
	systeem C	geen koeling	1386	2210	47,5	0,0	8,7	18,2
		intensieve nachtkoeling (5 vol/h)	132	227	47,8	0,0	8,7	18,3
		mechanische koeling	0	0	47,5	16,6	8,7	21,0
		intensieve + mechanische koeling	0	0	47,9	6,7	8,7	19,4
	systeem D	geen koeling	1218	1948	3,1	0,0	23,6	24,3
		intensieve nachtkoeling (5 vol/h)	123	212	3,5	0,0	23,6	24,3
		mechanische koeling	0	0	3,1	14,8	23,6	26,7
		intensieve + mechanische koeling	0	0	± 3,5	< 6,7	23,6	± 25,4
g-waarde glas 28% & zonnewering 0,26	natuurlijke ventilatie	geen koeling	632	1026	54,1	0,0	0,0	
		intensieve nachtkoeling (5 vol/h)	30	56	54,4	0,0	0,0	
		mechanische koeling	0	0	54,2	14,8	0,0	
		intensieve + mechanische koeling						
	systeem C	geen koeling	632	1026	54,1	0,0	8,7	19,6
		intensieve nachtkoeling (5 vol/h)	30	56	54,4	0,0	8,7	19,6
		mechanische koeling	0	0	54,2	14,8	8,7	22,0
		intensieve + mechanische koeling						
	systeem D	geen koeling	496	816	4,5	0,0	23,6	24,5
		intensieve nachtkoeling (5 vol/h)	22	41	4,8	0,0	23,6	24,6
		mechanische koeling	0	0	4,5	8,5	23,6	26,0
		intensieve + mechanische koeling						
g-waarde glas 28% & zonnewering 0,10	natuurlijke ventilatie	geen koeling	467	771	54,9	0,0	0,0	
		intensieve nachtkoeling (5 vol/h)	< 30	< 56	> 55,0	0,0	0,0	
		mechanische koeling	0	0	55,0	9,0	0,0	
		intensieve + mechanische koeling						
	systeem C	geen koeling	467	771	54,9	0,0	8,7	19,7
		intensieve nachtkoeling (5 vol/h)	< 30	< 56	> 55,0	0,0	8,7	± 19,7
		mechanische koeling	0	0	55,0	9,0	8,7	21,2
		intensieve + mechanische koeling						
	systeem D	geen koeling	332	557	4,6	0,0	23,6	24,6
		intensieve nachtkoeling (5 vol/h)	< 22	< 41	> 4,6	0,0	23,6	± 24,6
		mechanische koeling	0	0	4,6	7,7	23,6	25,8
		intensieve + mechanische koeling						

Tabel 78: Richtlijnen voor de ontwerper - Klaslokalen met een lage bezettingsgraad en laptops

	Voldoet aan de vooropgestelde doelstelling
	Voldoet niet aan de vooropgestelde doelstelling
	Niet van toepassing
	Een acceptabel comfort op vlak van oververhitting
<b>vetgedrukt</b>	Gesimuleerde resultaten

Tabel 79: Legende bij klaslokalen met een lage bezettingsgraad en laptops

Klaslokalen met laptops hebben een lagere verhouding interne warmtewinsten/ventilatie-debiet dan kantoren met hoge bezetting. Dit uit zich in een hogere warmtevraag en minder oververhitting. Behalve in het scenario zonder zonnewering, is de GTO telkens meer dan gehalveerd ten opzichte van kantoren. Bovendien wordt met intensieve nachtventilatie hier al een acceptabel comfort gerealiseerd in scenario 1, wat bij kantoren niet het geval was. Om een zeer goed comfort te bereiken, moet er nog bijkomend mechanisch gekoeld worden, of moet er een lagere g-waarde voor het glas gekozen worden. De koelvraag daalt met 60% als er ook intensieve nachtventilatie aanwezig is.

Een aantal fenomenen zijn gelijk aan kantoren met hoge bezetting. Vanaf wanneer de g-waarde van het glas tot 0,28 daalt, wordt een heel goed comfort bereikt op vlak van oververhitting. De opties waar intensieve nachtventilatie gecombineerd wordt met mechanische ventilatie worden bijgevolg grijs gekleurd. Bovendien ligt de NEB voor verwarming ook hier net iets hoger als er intensieve nachtventilatie gebruikt, om dezelfde reden als bij kantoren.

De oververhitting ligt echter iets lager bij kantoren in scenario 2 met systeem C als er intensieve nachtventilatie aanwezig is. Dit komt enerzijds omdat de absolute waarden van

de interne warmtewinsten en het ventilatiedebiet bij klaslokalen met laptops hoger liggen dan bij kantoren. Bovendien komen de oververhittingsuren hier enkel nog voor in zeer warme periodes. Als het gebouw diep gekoeld wordt 's nachts, zal het tijdens een warme zomerdag meer opwarmen door de grotere debieten aan warme buitenlucht en de hoge interne warmtewinsten bij klaslokalen.

In tegenstelling tot bij kantoren is scenario 3 hier niet altijd het meest energie-efficiënte scenario wanneer mechanische koeling gebruikt wordt. Als er een systeem C voor ventilatie voorzien wordt, ligt het totale primaire energieverbruik altijd het laagst in scenario 1, ook in geval van mechanische koeling. Dit is een gevolg van de hogere warmtevraag bij klaslokalen met lage bezetting en laptops, waardoor de lagere koelvraag bij performantere beglazing niet meer opweegt tegen de stijging in warmtevraag bij een systeem C. Als de g-waarde van het glas daalt, stijgt de warmtevraag namelijk met 14% en daalt de koelvraag met 11%, wat niet ver van elkaar ligt. Gezien de warmtevraag in absolute waarde echter hoger ligt, is dit in absolute waarde een hogere stijging. Bovendien is de efficiëntie van de warmtepomp ook hoger bij koeling, waardoor de daling nog minder doorweegt op het totale primaire energieverbruik. Bij gebruik van systeem D is het optimaliseren van de beglazing (en zonnewering) wel energie-efficiënt. Door gebruik te maken van een warmtewisselaar daalt de warmtevraag met 93% in scenario 1, waardoor de daling in koelvraag wel compenseert voor de stijging in warmtevraag wanneer de beglazing performanter wordt. In gevallen waar er geen mechanische koeling voorzien wordt, is systeem D ook het meest energie-efficiënt in scenario 1.

In tegenstelling tot bij kantoren, ligt de GTO en de NEB voor koeling telkens lager bij een systeem D dan bij een systeem C, voor gelijkaardige scenario's. Dit komt omdat er bij klaslokalen minder oververhitting is in het tussenseizoen dan bij kantoren, waardoor het verminderde koelpotentieel van de warmtewisselaar minder een rol speelt als het buiten kouder is dan 15°C. In de zomer wordt de warmte wel buitengehouden door de warmtewisselaar, waardoor de GTO en de NEB voor koeling lager liggen.

Ondanks de lagere NEB voor verwarming en koeling bij een systeem D, is een systeem C in alle scenario's energie-efficiënter. Dit is net zoals bij kantoren het gevolg van een efficiënte warmtepomp, de aansluiting op het BEO-veld in combinatie met het warmtenet en de hoge ventilatiedebieten die een hoog verbruik van de ventilatoren veroorzaken.

Door de redelijk grote toe- en afvoerdebieten lijkt het berusten op natuurlijke ventilatie hier geen goede optie. Dit zou namelijk grote renovatiewerken (verbreden van de bestaande schachten) met zich meebrengen. Daarnaast is het realiseren van deze debieten aan de hand van schachtventilatie niet haalbaar bij wind. Om dit wel mogelijk te maken zou men moeten inzetten op windvangsers. In tegenstelling tot een systeem C en systeem D is het behalen van de gevraagde debieten geen zekerheid.

## 8.4 Laboruimtes met 10 volumewisselingen per uur

Labo (10 vol/h)			GTO (°C) [h] (Zone 2)	GTO (PPT) [h] (Zone 2)	jaarlijkse NEB voor verwarming [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	jaarlijkse NEB voor koeling [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	jaarlijkse NEB voor ventilatoren [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	Primair energieverbruik voor koeling, verwarming en ventilatoren [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]
Gelijkaardig scenario: labo (15 vol/h), auditorium hoge bezetting en auditorium hoge bezetting + laptop								
g-waarde glas 55% en geen zonnewering	natuurlijke ventilatie/systeem C	Geen koeling	684	1097	162,7	0,0	29,7	62,2
g-waarde glas 55% & zonnewering 0,26	natuurlijke ventilatie	geen koeling						
		intensieve nachtcooling (5 vol/h)						
		mechanische koeling						
		intensieve + mechanische koeling						
	systeem C*	geen koeling	174	297	171,3	0,0	29,7	63,9
		intensieve nachtcooling (5 vol/h)	50	87	171,6	0,0	29,7	64,0
		mechanische koeling	0	0	171,4	11,2	29,7	65,8
		intensieve + mechanische koeling						
	systeem D	geen koeling	132	225	10,9	0,0	80,3	82,5
		intensieve nachtcooling	46	80	11,1	0,0	80,3	82,6
		mechanische koeling	0	0	10,9	7,8	80,3	83,8
		intensieve + mechanische koeling						
g-waarde glas 28% & zonnewering 0,26	natuurlijke ventilatie	geen koeling						
		intensieve nachtcooling (5 vol/h)						
		mechanische koeling						
		intensieve + mechanische koeling						
	systeem C*	geen koeling	67	118	180,3	0,0	29,7	65,7
		intensieve nachtcooling (5 vol/h)	18 < x < 50	32 < x < 87	> 180,3	0,0	29,7	± 65,7
		mechanische koeling	0	0	± 180,3	5,2 < x < 11,2	29,7	< 67,6
		intensieve + mechanische koeling						
	systeem D	geen koeling	48	83	13,4	0,0	80,3	83,0
		intensieve nachtcooling (5 vol/h)	18	32	13,7	0,0	80,3	83,1
		mechanische koeling	0	0	13,4	5,2	80,3	83,9
		intensieve + mechanische koeling						
g-waarde glas 28% & zonnewering 0,10	natuurlijke ventilatie	geen koeling						
		intensieve nachtcooling (5 vol/h)						
		mechanische koeling						
		intensieve + mechanische koeling						
	systeem C*	geen koeling	41	71	181,3	0,0	29,7	65,9
		intensieve nachtcooling (5 vol/h)	<< 41	<< 71	> 181,3	0,0	29,7	± 65,9
		mechanische koeling	0	0	± 181,3	<< 11,2	29,7	< 67,8
		intensieve + mechanische koeling						
	systeem D	geen koeling	30	53	13,7	0,0	80,3	83,1
		intensieve nachtcooling (5 vol/h)	< 18	< 32	> 13,7	0,0	80,3	± 83,1
		mechanische koeling	0	0	± 13,7	< 5,2	80,3	± 83,9
		intensieve + mechanische koeling						

Tabel 80: Richtlijnen voor de ontwerper - Laboruimtes met 10 volumewisselingen per uur

	Voldoet aan de vooropgestelde doelstelling
	Voldoet niet aan de vooropgestelde doelstelling
	Niet van toepassing
	Een acceptabel comfort op vlak van oververhitting
*	Bestaande verwarming kan het benodigde vermogen niet leveren, comforttemperatuur wordt niet altijd behaald
<b>vetgedrukt</b>	Gesimuleerde resultaten

Tabel 81: Legende bij laboruimtes met 10 volumewisselingen per uur

Labo's met 10 volumewisselingen per uur hebben een erg lage verhouding interne warmtewinsten/ventilatie-debiet, door de hoge ventilatie-debieten van de trekkasten. Dit heeft tot gevolg dat de NEB voor verwarming ver boven de eis van 75 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar) stijgt. Bovendien zijn de hoge debieten niet haalbaar met natuurlijke ventilatie omdat de bestaande schachten niet voldoende vergroot kunnen worden. Daarnaast is natuurlijke ventilatie bij trekkasten geen optie, aangezien een constante afvoer van lucht voorzien moet worden, wat niet gegarandeerd is bij natuurlijke ventilatie. Een positief effect van de hoge debieten is dat de GTO in alle scenario's minstens onder de grens van een acceptabel comfort blijft, behalve in het eerste scenario in combinatie met systeem C. Door deze erg lage GTO wordt een zeer goed comfort behaald op vlak van oververhitting vanaf er intensieve nachtventilatie geïmplementeerd wordt. Hierdoor is het in alle scenario's overbodig mechanische koeling met nachtventilatie te combineren.

In tegenstelling tot kantoren en klaslokalen, is het hier nooit energie-efficiënter als er gekozen wordt voor performanter(e) glas en/of zonnewering, ook niet bij gebruik van mechanische

koeling. Door de lage oververhitting en hoge warmtevraag stijgt het totale primaire energieverbruik als de zonnewinsten beperkt worden.

Net zoals bij klaslokalen ligt de GTO telkens lager als er gebruik gemaakt wordt van een systeem D, om dezelfde reden als bij klaslokalen.

Bovendien is een systeem C telkens energie-efficiënter op vlak van totaal primair energieverbruik in vergelijking met een systeem D. Hier dienen echter een aantal kanttekeningen bij gemaakt te worden. Als eerste ligt de NEB voor verwarming in scenario 1 meer dan dubbel zo hoog als de eis van Sweco. Het implementeren van een systeem C is energetisch niet haalbaar. Bovendien wordt de comforttemperatuur in de winter niet gehaald bij hoge vermogens voor de verwarming. Dit wordt aangetoond in de grafiek met het temperatuurverloop, te vinden in bijlage 11. De NEB voor verwarming in geval van systeem C die in deze tabel weergegeven wordt, ligt dus lager dan de NEB voor verwarming die werkelijk nodig is om het gebouw op comforttemperatuur te houden. Bij renovatie zal omgeschakeld worden naar een laag temperatuurregime voor verwarming, waardoor de vermogens nog zullen zakken. De comforttemperatuur zou nog vaker niet behaald worden. Een systeem C is dus ook niet acceptabel op vlak van comfort. Bijgevolg zal er in de scenario's met een hoge NEB voor verwarming altijd een systeem D geïmplementeerd moeten worden, ook al is het systeem C op vlak van totaal primair energieverbruik efficiënter door de hoge efficiëntie van het BEO-veld in combinatie met het warmtenet.

## 8.5 Studentenkamers met een hoge bezettingsgraad

Studentenkamer hoge bezetting			GTO (°C) [h] (Zone 2)	GTO (PPT) [h] (Zone 2)	jaarlijkse NEB voor verwarming [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	jaarlijkse NEB voor koeling [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	jaarlijkse NEB voor ventilatoren [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]	Primair energieverbruik voor koeling, verwarming en ventilatoren [kWh/(m <sup>2</sup> .jaar)]
Gelijkaardig scenario: studentenkamer lage bezetting								
g-waarde glas 55% & geen zonnewering	natuurlijke ventilatie	geen koeling	9591	15070	15,0	0,0	0,0	
		Raam open	3341	5335	16,0	0,0	0,0	
		mechanische koeling	0	0	15,2	29,4	0,0	
		Raam open + mechanische koeling	0	0	16,0	15,7	0,0	
	systeem C	geen koeling	9591	15070	15,0	0,0	3,8	6,8
		Raam open	3341	5335	16,0	0,0	3,8	7,0
		mechanische koeling	0	0	15,2	29,4	3,8	11,7
		Raam open + mechanische koeling	0	0	16,0	15,7	3,8	9,6
	systeem D	geen koeling	10992	17300	1,0	0,0	7,5	7,7
		Raam open	3729	5949	1,1	0,0	7,5	7,7
		mechanische koeling	0	0	1,0	33,5	7,5	13,3
		Raam open + mechanische koeling	0	0	± 1,1	15,7 < x << 33,5	7,5	± 10,33
g-waarde glas 28% & geen zonnewering	natuurlijke ventilatie	geen koeling	5917	9309	20,2	0,0	0,0	
		Raam open *	808	1332	20,8	0,0	0,0	
		mechanische koeling	0	0	20,3	12,8	0,0	
		Raam open + mechanische koeling	0	0	± 20,8	<< 12,8	0,0	
	systeem C	geen koeling	5917	9309	20,2	0,0	3,8	7,8
		Raam open *	808	1332	20,8	0,0	3,8	7,9
		mechanische koeling	0	0	20,3	12,8	3,8	10,0
		Raam open + mechanische koeling	0	0	± 20,8	<< 12,8	3,8	< 10,1
	systeem D	geen koeling	6655	10526	2,0	0,0	7,5	7,9
		Raam *	822	1354	2,1	0,0	7,5	7,9
		mechanische koeling	0	0	2,0	14,3	7,5	10,3
		Raam open + mechanische koeling	0	0	± 2,1	<< 14,3	7,5	< 10,3
g-waarde glas 28% & zonnewering 0,25	natuurlijke ventilatie	geen koeling	2686	4329	22,4	0,0	0,0	
		Raam open	15	29	22,8	0,0	0,0	
		mechanische koeling	0	0	± 22,4	<< 12,8	0,0	
		Raam open + mechanische koeling						
	systeem C	geen koeling	2686	4329	22,4	0,0	3,8	8,2
		Raam open	15	29	22,8	0,0	3,8	8,3
		mechanische koeling	0	0	± 22,4	<< 12,8	3,8	< 10,4
		Raam open + mechanische koeling						
	systeem D	geen koeling	3071	4957	2,3	0,0	7,5	8,0
		Raam open	15	28	2,4	0,0	7,5	8,0
		mechanische koeling	0	0	± 2,3	<< 14,3	7,5	< 10,3
		Raam open + mechanische koeling						

Tabel 82: Richtlijnen voor de ontwerper - Studentenkamers met hoge bezettingsgraad

	Voldoet aan de vooropgestelde doelstelling
	Voldoet niet aan de vooropgestelde doelstelling
	Niet van toepassing
	Een acceptabel comfort op vlak van oververhitting
*	GTO [h] wordt niet overschreden in de andere oriëntaties
<b>vetgedrukt</b>	Gesimuleerde resultaten

Tabel 83: Legende bij studentenkamers met hoge bezettingsgraad

Studentenkamers met hoge bezetting hebben - net zoals kantoren met hoge bezetting – een hoge verhouding interne warmtewinsten/ventilatie-debiet. Dit uit zich in de tabel door een hoge GTO en NEB voor koeling en een lage NEB voor verwarming. In scenario 1 met systeem C ligt de GTO 119% hoger dan bij kantoren. Dit grote verschil is enerzijds te wijten aan het verschil in gebruik: de GTO wordt berekend tijdens bezettingsuren en studentenkoten met hoge bezetting hebben een bezetting van 24h per dag gedurende 5 dagen in de week. Bij kantoren is de bezetting aanwezig tussen 8h 's ochtends en 18h 's avonds, waardoor er minder oververhittingsuren geteld worden. Anderzijds wordt in scenario 1 en 2 bij studentenkoten geen zonnewering voorzien. Het hoge percentage beglaasd oppervlak in de gevel, veroorzaakt een serre-effect met een hoge GTO als gevolg.

Bij studentenkoten is intensieve nachtventilatie geen optie. Als alternatief is het koelpotentieel van het openen van 1 raam op kiepstand per kot onderzocht, gezien dit wel voorkomt bij studentenkoten. In het eerste scenario met een systeem C zorgt het openen van de ramen voor een daling van 65% in GTO (PPD). Daarnaast daalt de koelvraag met 47%. Het is dus zeker aan te raden de ramen te openen als het binnen warmer is dan 22°C.

Indien de g-waarde van het glas verlaagd wordt naar 0,28, daalt de GTO (PPD) met 38% in geval van systeem C. Ook de koelvraag daalt met 56% en zorgt ervoor dat het totale primaire

energieverbruik lager ligt dan in scenario 1 als er mechanische koeling geïmplementeerd wordt. Indien er bijkomend performante binnenzonnewering geïnstalleerd wordt, daalt de oververhitting nog veel sterker. Ten opzichte van scenario 2 daalt de GTO (PPD) met 53% in geval van systeem C als er geen ramen geopend worden. Indien de binnenzonnewering gecombineerd wordt met het openen van de ramen op kiep, wordt er zelfs een zeer goed comfort behaald op vlak van GTO. Bovendien is dit de meest energie-efficiënte optie die het comfort behaalt. Bij gebruik van systeem C stijgt de NEB voor verwarming met 49% ten opzichte van het eerste scenario door het verminderen van de zonnewinsten, maar het wegvallen van de koelvraag compenseert hiervoor. Zoals het sterretje in de tabel aangeeft, volstaat het openen van de ramen als koeling in de andere zones dan zone 2 als de beglazing een g-waarde van 0,28 heeft. De zonnewering dient dus enkel geïnstalleerd te worden aan de zuidoostgevel.

Indien er een systeem D gebruikt wordt, liggen de GTO en de NEB voor koeling telkens hoger dan bij een systeem C, behalve in scenario 3 waarbij er ramen geopend worden. Dit komt omdat er ook in het tussenseizoen en 's nachts vaak oververhitting is, wanneer de temperatuur van de buitenlucht lager ligt dan 15°C. Het verminderde koelpotentieel van de warmtewisselaar met onvolledige bypass zorgt voor een hogere oververhitting, zoals verklaard bij kantoren met hoge bezetting.

In tegenstelling tot de vorige scenario's, is systeem C hier niet altijd energie-efficiënter dan systeem D. Indien er performantere beglazing geïnstalleerd wordt in combinatie met zonnewering, ligt het totale primaire energieverbruik net iets lager bij systeem D, als gevolg van de warmtevraag die 90% lager ligt in combinatie met de lage benodigde debieten aan hygiënische ventilatie en de meer continue werking van het ventilatiesysteem door de meer permanente bezetting in studentenkoten. Het meest energie-efficiënte scenario, waarbij het comfort behaald wordt, is bijgevolg scenario 3 met systeem D en het openen van de ramen.

Net als bij de kantoren zorgen de lage ventilatiedebieten voor de mogelijkheid tot natuurlijke ventilatie. Aangezien het ook hier geen zekerheid is dat de gewenste debieten altijd behaald kunnen worden, lijkt dit niet de beste keuze.

## 8.6 Conclusie

De tabellen met verschillende bezettingsscenario's tonen aan dat het samenspel tussen verschillende parameters een complex gegeven is. Het is onmogelijk het gebouw op één manier te renoveren die optimaal is voor alle scenario's. Naargelang de verhouding interne warmtewinsten/ventilatie-debiet en het gebruik van het gebouw, zijn er andere ingrepen nodig om de werking zo energie-efficiënt mogelijk te maken.

Als eerste is er een verschil in optimaal ventilatiesysteem. In de meeste scenario's scoort een systeem C energetisch gezien beter dan een systeem D. Studentenkoten vormen hierop een uitzondering wanneer de beglazing en zonnewering geoptimaliseerd worden. Bovendien is een systeem C bij labo's met 10 vol/h op vlak van comfort en NEB voor verwarming niet haalbaar. Bij kantoren en klaslokalen is systeem C energetisch gezien wel de betere optie en is het niet opportuun om voor een systeem D te kiezen. Als men een hoog comfort wil garanderen - waar geen te koude lucht toegevoerd wordt in het tussenseizoen - is dit een valabele optie. Er kan voor hybride ventilatie gekozen worden, waarbij in het tussenseizoen van systeem D gebruik gemaakt wordt en in de zomer van systeem C. Op deze manier wordt het energieverbruik van de ventilatoren beperkt. Uiteraard impliceert dit een hogere installatiekost, waarbij de afweging gemaakt moet worden of dit financieel ook duurzaam is.

Bij de renovatie moet er gekozen worden of er een systeem geïmplementeerd wordt dat in de nabije toekomst een variabel gebruik toelaat, of een systeem dat in de toekomst aangepast kan worden naar een ander gebruik. Mochten er bijvoorbeeld in eerste instantie laboruimtes geïmplementeerd worden, kan men ervoor kiezen om bij de vervanging van het schrijnwerk al RTO's te voorzien voor het geval de labo's in de toekomst omgevormd worden tot kantoren of klaslokalen. Dit zou ook als voordeel hebben dat de ventilatoren 's nachts uitgeschakeld kunnen worden en het minimale ventilatie-debiet voorzien wordt door de RTO's. Indien er eerst kantoren of klaslokalen komen en nadien omgeschakeld kan worden naar een bezetting met een hoge NEB voor verwarming, moet er rekening mee gehouden worden dat de doorsnede van de ventilatiekanalen moet toenemen om de gevraagde debieten te realiseren. Dit kan voorkomen worden door te overdimensioneren bij het implementeren van kantoren of klaslokalen. Bovendien zal de ook luchtgroep in dat geval vervangen worden door een grotere, waar ook al rekening mee gehouden kan worden.

Als tweede is er een verschil op vlak van optimale beglazing en zonnewering. Indien er voor intensieve nachtventilatie geopteerd wordt, is het in alle scenario's het meest energie-efficiënt om beglazing met een g-waarde van 0,55 te kiezen. Bij kantoren impliceert dit dat er dwarsventilatie voorzien moet worden om een voldoende groot ventilatievoud te behalen.

Indien er echter geopteerd wordt voor mechanische koeling, dan verschillen de scenario's onderling. Kantoren met systeem C en D, klaslokalen met systeem D en studentenkoten hebben het laagste primaire energieverbruik als zowel de beglazing als de zonnewering geoptimaliseerd worden. Bij klaslokalen met een systeem C of laboruimtes met systeem D wordt dit beter niet geoptimaliseerd door de stijging in NEB voor verwarming. Hierbij is het echter energetisch gezien interessanter om te variëren in oriëntatie naargelang de verhouding interne warmtewinsten/ventilatie-debiet, in plaats van de beglazing te optimaliseren. Functies met een hoge verhouding worden best noordwest of noordoost georiënteerd om de oververhitting te laten dalen. Functies met een lage verhouding worden best zuidoost georiënteerd om de NEB voor verwarming zo laag mogelijk te houden.



## 9 TERUGKOPPELING NAAR GEBOUWNIVEAU

### 9.1 Doelstelling BEN-gebouw

Eén van de doelstellingen bij de renovatie is om het BEN-statuuut te behalen. De eisen voor een BEN-gebouw zijn echter strenger dan de eisen die opgelegd worden voor een ingrijpende energetische renovatie. Bij een ingrijpende renovatie geldt er een E-peileis van 70 voor kantoren, 65 voor onderwijs en 80 voor een logeerfunctie. Om een BEN-niveau te behalen moet er echter voldaan worden aan de eisen voor nieuwbouw vanaf 2021, waar een E-peil van 50 opgelegd wordt voor kantoren, 55 voor onderwijs en 70 voor een logeerfunctie.<sup>312 313</sup>

Het E-peil wordt bijgevolg in verschillende scenario's berekend, om te onderzoeken of hieraan voldaan wordt.

### 9.2 Overzicht Herbestemmingsscenario's

Zoals eerder besproken, zijn er drie grote categorieën gedefinieerd voor de herbestemming van S4: kantoren, onderwijs en studentenhuisvesting. Bij onderwijs wordt de mogelijke bestemming nog verder onderverdeeld in leslokalen/auditoria en laboruimtes. Vanuit deze functies worden volgende scenario's onderzocht:

Functie	Ventilatiesysteem	Renovatiegraad opake constructiedelen
Kantoren	Systeem C+	U-waarde die voldoet aan EPB eisen U-waarde 0,5 à 0,6 W/(m <sup>2</sup> .K)
	Systeem D (met warmteterugwinning)	U-waarde die voldoet aan EPB eisen
Leslokalen	Systeem D (met warmteterugwinning)	U-waarde die voldoet aan EPB eisen U-waarde 0,5 à 0,6 W/(m <sup>2</sup> .K)
	Systeem D (met warmteterugwinning)	U-waarde die voldoet aan EPB eisen
Auditoria	Systeem D (met warmteterugwinning)	U-waarde die voldoet aan EPB eisen
Laboruimtes	Systeem D (met warmteterugwinning)	U-waarde die voldoet aan EPB eisen
Studentenhuisvesting	Systeem C+	U-waarde die voldoet aan EPB eisen
	Systeem D (met warmteterugwinning)	U-waarde die voldoet aan EPB eisen

Tabel 84: Overzicht herbestemmingsscenario's waarvan een E-peil berekend is

Al deze scenario's vallen onder de niet-residentiële EPB-regelgeving. Of studentenhuisvesting onder de residentiële of niet-residentiële EPB-regelgeving valt, hangt af van de indeling. Indien elke unit autonoom functioneert, met badkamer en kitchenette, zonder gemeenschappelijke voorzieningen, wordt dit als een residentiële EPW-eenheid gezien. In het geval van de S4 wordt geopteerd voor studio's met badkamer, waarbij er een gemeenschappelijke keuken voorzien is. Ze valt dus onder de EPN-regelgeving.<sup>314</sup>

### 9.3 Ingave gegevens in de software

#### 9.3.1 Aard van de werken

Als aard van de werken wordt een ingrijpende energetische renovatie aangeduid. Hierbij moeten minstens de opwekkers om een specifiek binnenklimaat te realiseren worden vervangen en

312. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2020

313. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, z.d.

314. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2021

minstens 75% van de bestaande en nieuwe scheidingsconstructies worden geïsoleerd, waarbij vervanging van het schrijnwerk ook gezien wordt als isoleren van de scheidingsconstructies. Deze beide voorwaarden zijn voldaan in geval van renovatie van de S4.

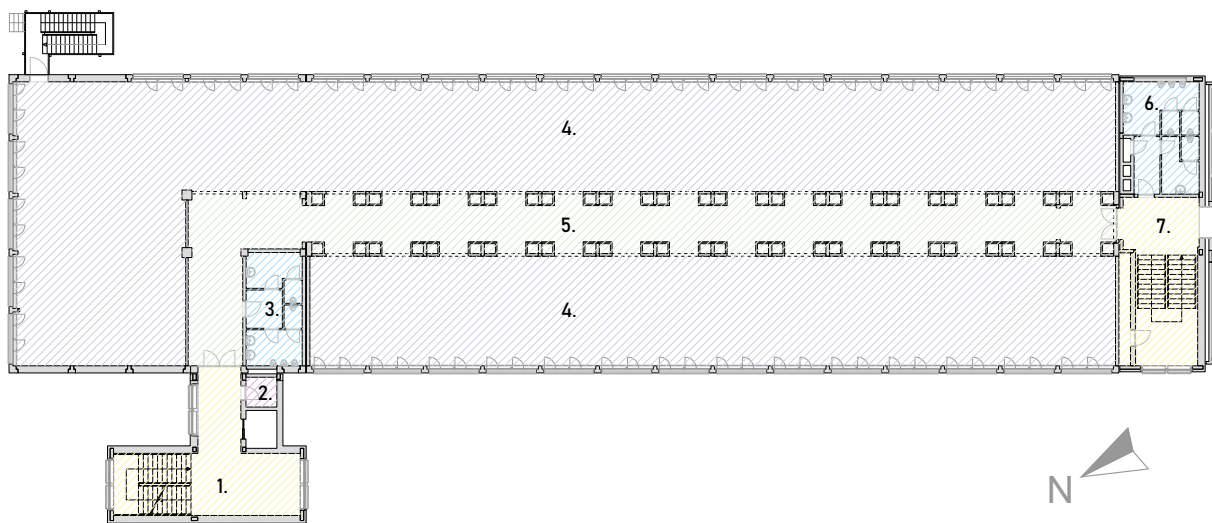
### 9.3.2 Functionele delen

Elke verdieping wordt beschouwd als een functioneel deel, waarbij de functie afhangt van het renovatiescenario. Net als in de bestaande toestand, krijgt de kelder de functie 'Technische ruimten' toegewezen, gezien die na renovatie wellicht volledig als technische ruimte ingericht zal worden.

Vanaf het gelijkvloers tot verdieping 3 hangt het functionele deel af van het scenario. Leslokalen, auditoria en laboratoria krijgen logischerwijze de functie onderwijs toegekend. Voor kantoren wordt ook gekozen deze als onderwijs in te geven, gezien de UGent een onderwijsinstelling is en de kantoren hier grotendeels het onderwijsregime volgen. Als laatste is er voor de studentenkamers geen exact toepasselijke indeling voorhanden, op niveau van functioneel deel wordt de functie 'Logeerfunctie' toegewezen.

### 9.3.3 Indeling ruimten

De ruimtes in de kelder behouden dezelfde indeling als in de bestaande toestand, gedefinieerd in de fysische inventarisplannen van de UGent. Het gelijkvloers tot en met de derde verdieping krijgen een andere indeling dan in de bestaande toestand. Alle verdiepingen worden op dezelfde manier onderverdeeld, zoals op onderstaand plan afgebeeld staat:



Figuur 201: Opdeling zones voor ingave in de EPB software

1. Traphal (49,5 m<sup>2</sup>)
2. Berging (2,9 m<sup>2</sup>)
3. Sanitair (19,0 m<sup>2</sup>)
4. Functieruimte (kantoren, leslokalen, auditoria, laboruimtes, studentenhuisvesting) (738,40m<sup>2</sup>)
5. Gang (145,80 m<sup>2</sup>)
6. Sanitair (23,5 m<sup>2</sup>)
7. Traphal (40,9 m<sup>2</sup>)

Hierbij is een onderverdeling gemaakt in het gebouw op basis van de structuur, waarbij de grootste oppervlakte naar de functieruimtes gaat, zoals kantoren of leslokalen bijvoorbeeld.

De ruimtes krijgen telkens de toepasselijke ruimte-categorie en soort niet-residentiële ruimte toegekend. Voor kantoren is dit kantoorgebouwen met als onderverdeling kantoor, bij de onderwijsfuncties is de ruimte-categorie onderwijsinstellingen met als soort niet-residentiële ruimte leslokaken, auditorium en lesateliers, leslaboratoria. Bij studentenkamers is hier echter nog een fijner onderscheid in gemaakt. De koten vallen onder de ruimte-categorie hotels, motels vakantiecentra met als onderverdeling slaapkamers in hotel, motel, vakantiecentra. Dit was de enige optie met verblijf ingerekend die niet onder zorg viel. Daarnaast is per kot een badkamer van 2m<sup>2</sup> ingerekend en is een gemeenschappelijke keuken voorzien van 58 m<sup>2</sup>, die ingegeven is als horeca met als onderverdeling keukens, kitchenettes, wat de functie is die toegekend wordt indien er warme maaltijden bereid worden.<sup>315</sup>

#### 9.3.4 Lekdebiet

Het exacte lekdebiet in de verschillende scenario's is moeilijk in te schatten. Zoals eerder vermeld, moet het schrijnwerk bijvoorbeeld aan luchtdichtheidsklasse 4 voldoen<sup>316</sup> en in de technische fiches van de regelbare toevoeropeningen in geval van systeem C, worden ook lekdebieten vermeld. De luchtdichtheid van andere aansluitingen en de hoeveelheid doorboringen is echter moeilijker in te schatten. Bijgevolg wordt ervoor gekozen de vooropgestelde n<sub>50</sub>-waarde van 1 – zoals gedefinieerd voor de dynamische simulaties - om te zetten naar een v<sub>50</sub>-waarde, omgerekend via de compactheid van het gebouw.<sup>317</sup> Met een gebouwcompactheid van 3,3 geeft dit een v<sub>50</sub>-waarde van 3,3 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>). De berekeningen zijn in bijlage 7 te vinden.

#### 9.3.5 Technische opwekkers en verdeelsystemen

##### Ruimteverwarming en -koeling

Zoals eerder vermeld, zal er wellicht gebruik gemaakt worden van een warmtepomp met BEO-veld in de toekomst. De opwekker is bijgevolg ingegeven als een elektrische bodemwaterwarmtepomp. Wanneer er nog restwarmte van de server zou worden toegevoegd, klopt deze instelling niet helemaal: het systeem zou nog efficiënter zijn door de hogere temperatuur. Er is echter geen optie om de temperatuur van de warmtebron van de verdampers zelf in te vullen, dus wordt dit gezien als de beste aanname.

Er werd gekozen te werken met de WRE-warmtepomp voor koeling en verwarming van Galletti, omdat ze erg goede prestaties behaalt op vlak van seizoensgebonden efficiëntiewaarden.<sup>318</sup> Er bestaan verschillende modellen van deze warmtepomp met een vermogen variërend tussen 40 en 750 kW. De benodigde vermogens voor verwarming en koeling per scenario werden afgeleid uit de simulaties. Hierbij is gezocht naar de meest toepasselijke warmtepomp uit de WRE serie die voldoet voor verwarming en koeling. Vervolgens zijn de bijhorende vermogens, de seizoensgebonden prestatiecoëfficiënt voor verwarming (SCOP) en de energie-efficiëntieverhouding (EER) en seizoensgebonden energie-efficiëntieverhouding (SEER) voor koeling ingevuld in de EPB-software. De SCOP varieert tussen 5,09 en 6,19. De EER varieert van 4,31 tot 4,58 en de SEER van 5,53 tot 6,21.<sup>319</sup>

315. Vlaams energieagentschap, 2018

316. Acke, A. et al., 2012

317. WTCB, 2015

318. Galletti, 2022

319. Galletti, 2021

Aan dit verwarmingssysteem is enerzijds een verdeelsysteem voor verwarming gekoppeld met water als transportmedium. Hieraan is een natlopende circulatiepomp met pompregeling verbonden met een energie efficiëntie index (EEI) van 0,21. Volgens de Europese richtlijn mag de EEI maximaal 0,23 bedragen, maar tegenwoordig zijn er al performantere toestellen op de markt, waardoor er voor 0,21 gekozen werd.<sup>320</sup> Als afgiftesystemen is gekozen voor radiatoren met een temperatuurregime van toevoertemperatuur 45°C en afvoertemperatuur 35°C. Voor de ruimtekoeling zijn de instellingen van het verdeelsysteem hetzelfde. Het type compressor is een scrollcompressor en het condensatiecircuit geo-cooling, gezien het op het BEO-veld is aangesloten. Als afgiftesysteem is gekozen voor koelplafonds en/of koudebalken.

## Ventilatoren

Er een ventilator voorzien voor de afvoer van lucht in geval van systeem C+ en de toevoer en afvoer van lucht bij systeem D. De hulpenergie wordt berekend aan de hand van de SFP. Zoals vermeld in paragraaf 7.8.2, moeten de ventilatoren minstens aan klasse SFP 3 voldoen, met een SFP gelijk aan 1250 W/(m<sup>3</sup>.s) voor pulsie of extractie. Aangezien extractie minder weerstand ondervindt dan toevoer - omdat er minder filters aanwezig zijn - kan deze ventilator aan een lager vermogen werken en een hogere SFP behalen. Voor extractie werd bijgevolg met een SFP van 1100 W/(m<sup>3</sup>.s) gewerkt. Toevoer heeft een SFP van 1250 W/(m<sup>3</sup>.s).

In geval van systeem D is er ook warmterecuperatie ingesteld met een rendement van 83%. Hierbij is net zoals in de simulaties een onvolledige bypass ingesteld om het comfort te garanderen.

Zowel bij systeem C als systeem D is er een directe regeling aan de hand van pollutiesensors voorzien (IDA-C6).

## Sanitair warm water

Net zoals in de bestaande toestand is het sanitair warm water bij kantoren en onderwijsfuncties niet ingegeven, aangezien dit maar zeer beperkt zal voorkomen en er niet voldoende gegevens over beschikbaar zijn.

Bij de studentenhuisvesting wordt wel sanitair warm water voorzien met een circulatieleiding. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een opslagvat, zodat de boosterwarmtepomp – die gekoppeld is aan het BEO-veld en instaat voor het SWW - optimaal kan functioneren<sup>321</sup>. Het vermogen is ingeschat op 80kW. Daarnaast is er ook nog een elektrische weerstandsverwarming van 30kW aan het opslagvat gekoppeld als niet-preferente opwekker. Het verdeelsysteem van de circulatieleiding is een cruciaal punt in de berekening van het E-peil. Per verdieping is er een leiding voorzien van 60 m, waarnaast er verschillende stijgleidingen tussen de verdiepingen voorzien zijn met een totale lengte van 15,5 m. Dit is een grote lengte waarlangs warmteverliezen kunnen optreden, de continuïteit en dikte van de isolatie aan de leidingen is erg belangrijk. De minimale isolatiediktes - zoals aanbevolen door Energiesparen - werden gerespecteerd. De leidingen op de verdiepingvloeren hebben bijvoorbeeld een nominale buisdiameter van 40 mm, met een isolatiemateriaal van 40mm dik en een warmtegeleidingscoëfficiënt van 0,035 W/(m<sup>2</sup>.K).<sup>322</sup>

320. mijnEPB, 2018

321. Daikin, z.d.

322. Steeman, M., 2019-2020

### 9.3.6 Inertie

De inertie is op dezelfde manier berekend en ingegeven als bij de berekening van het E-peil in de bestaande toestand, waarbij de minimum massa van plafond- en vloerconstructies tussen 100 en 400 kg/m<sup>2</sup> ligt.

### 9.3.7 Verlichting

Er wordt vanuit gegaan dat er nieuwe, energiezuinige verlichtingsarmaturen geïnstalleerd zullen worden. Hierbij is aangenomen dat het verbruik 1,5W/m<sup>2</sup> per 100 lux bedraagt. Dit is ook telkens omgerekend naar de oppervlakte van de ruimte, met het bijhorende aantal vereiste lux naargelang de functie.<sup>323</sup>

Bovendien zijn alle ruimtes, op de koten na, uitgerust met aanwezigheidsdetectie. In de kantoor- en onderwijsruimtes is er gekozen voor ‘manueel met afwezigheidsdetectie en volledige uitschakeling’. Aangezien gebruikers de verlichting minder snel inschakelen bij voldoende daglicht dan automatische systemen, heeft dit een betere reductiefactor voor het verbruik. Daarnaast is er in de ruimtes met daglichtopeningen een modulerend systeem ingesteld. Hierbij worden de daglichtzones bepaald aan de hand van de waarden bij ontstentenis en is een automatisch regelsysteem aanwezig om de verlichting uit te schakelen bij voldoende daglicht.<sup>324</sup>

### 9.3.8 Ventilatie

De ventilatiedebieten zijn per ruimte ingesteld. Er werd gerekend met een debiet van 40m<sup>3</sup>/h per persoon in de functieruimtes. Bij kantoren en onderwijsfuncties is echter gerekend op de bezetting volgens bijlage X van de EPB-regelgeving, zodat de interne warmtewinsten correct berekend worden in het E-peil. Kantoren hebben een bezetting van 15 m<sup>2</sup>/persoon, leslokalen en laboruimtes 4 m<sup>2</sup>/persoon en auditoria 2 m<sup>2</sup>/persoon. Deze waarden komen ook overeen, of liggen binnen de grenzen van de eerder opgestelde herbestemmingsscenario's.

Voor studentenkamers werd aangegeven dat de ontwerpbezetting gekend is, namelijk 33 koten/personen, zodat deze overeenkomt met de eerder opgestelde profielen. De gekozen soort niet-residentiële ruimte ‘slaapkamers in hotel, motel, vakantiecentra’ heeft namelijk een bezetting van 10 m<sup>2</sup>/persoon, wat te ver afwijkt van het profiel voor studentenkamers.<sup>325</sup>

In geval van laboruimtes zijn enkel de hygiënische ventilatiedebieten ingegeven, gezien de extra debieten functie-specifiek zijn en niet rechtstreeks verband houden met de energie-efficiëntie van het gebouw.

Daarnaast werd het minimumdebiet ingegeven zoals voorgesteld door de EPB-software voor de ruimtes met ondersteunende functies en werd er voor alle ruimtes waar mogelijk aanvullende ventilatie ingevoerd d.m.v. het openen van ramen overdag en 's nachts. Bij de studentenhuysvesting was deze functie uitgeschakeld in de software en kon dit bijgevolg niet ingegeven worden.

323. François, L & Van Lysebetten, G (WTCB), 2017

324. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2021

325. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2021

### 9.3.9 Scheidingsconstructies en zonnewering

Door het beschermd karakter van S4, wordt het gevelbeeld van het gebouw behouden bij renovatie. Bijgevolg blijven de oppervlaktes van de schildelen hetzelfde zoals in de bestaande toestand. Dezelfde U-waardes worden gebruikt als bij de dynamische simulaties. Voor de berekening van het E-peil zijn echter nog extra schildelen berekend, aangezien het gehele gebouw ingegeven is in plaats van een verdieping. De bijkomende U-waarden zijn berekend op basis van bestaande isolatiediktes, waarbij er gestreefd wordt naar een U-waarde zo dicht mogelijk bij de eisen volgens EPB. De U-waardes van de extra schildelen worden hieronder samengevat:

Scheidingsconstructie	U-waarde [W/m <sup>2</sup> K]	g-waarde [-]
Schrijnwerk trappenhall	1,00	0,55
Glas	1,03	
Paneel	0,21	
Klein venster	1,39	0,55
Glas	1,03	
Massieve bakstenen muur	0,23	
Kelderwand (Ueq)	0,21	
Wand naar kruipkelder (Ueq)	0,24	
Vloer op volle grond (Ueq)	0,18	
Vloer boven kruipkelder (Ueq)	0,17	
Dak	0,22	

Tabel 85: U-waarden en g-waarden van de extra scheidingsconstructies in de EPB software

Daarnaast dienen de bouwknopen ook gedefinieerd te worden, er is gekozen voor de methode van de EPB-aanvaarde knopen, wat impliciet uitgaat van buitenisolatie.

Daarnaast is er bij de ramen een binnenzonnewering ingegeven met een zonreflectie van 0,74 met automatische bediening.

## 9.4 Resultaten

De behaalde resultaten voor het E-peil worden hieronder samengevat:

Functie	Ventilatiesysteem	Renovatiegraad opake constructiedelen	Behaalde E-peil
Kantoren	Systeem C+	U-waarde die voldoet aan EPB eisen	43
		U-waarde 0,5 à 0,6 W/(m <sup>2</sup> .K)	50
Leslokalen	Systeem D (met warmteterugwinning)	U-waarde die voldoet aan EPB eisen	34
		U-waarde 0,5 à 0,6 W/(m <sup>2</sup> .K)	29
Auditoria	Systeem D (met warmteterugwinning)	U-waarde die voldoet aan EPB eisen	27
Laboruimtes	Systeem D (met warmteterugwinning)	U-waarde die voldoet aan EPB eisen	30
Studentenhuisvesting	Systeem C+	U-waarde die voldoet aan EPB eisen	39
		U-waarde die voldoet aan EPB eisen	36

Tabel 86: Overzicht van de E-peilen voor verschillende scenario's na renovatie

Voor de gegeven samenstelling van functies, waarbij de kelder ingegeven is als technische ruimte, moeten de onderwijsfuncties een E-peil van 54 halen en de logeerfuncties een E-peil van 68 om het BEN-statuut te behalen. Aan deze waarden wordt in alle gevallen ruim voldaan.

De drie grootste factoren hierin zijn het gebruik van een zeer efficiënte warmtepomp - gekoppeld aan een BEO-veld -, de energiezuinige verlichting en de regeling aan de hand van pollutiesensors voor de ventilatiedebieten. Wanneer er gekozen wordt voor de waarde bij ontstentenis voor het rendement van de warmtepomp, stijgt het E-peil van klaslokalen en kantoren met systeem D bijvoorbeeld met 7 punten. Bij kantoren met een hogere U-waarde en systeem C stijgt het zelfs met 16 punten en wordt het BEN-statuuut niet meer behaald.

Als er bij kantoren met systeem C voor een klokregeling gekozen wordt voor ventilatie in plaats van een regeling aan de hand van pollutiesensoren, stijgt het E-peil met 5 punten. In geval van kantoren systeem D stijgt het maar met 1 punt, gezien hier warmterecuperatie aanwezig is.

Daarnaast valt op dat het E-peil voor een BEN-gebouw ook behaald kan worden als de opake geveldelen minder performant geïsoleerd worden dan geëist door het EPB. Uiteraard dient hierbij de kanttekening gemaakt te worden dat er een groot percentage aan schrijnwerk aanwezig is, dat wel volgens de eisen vervangen wordt, waardoor de warmteverliezen sterk beperkt worden. Desalniettemin is dit iets dat in gedachten gehouden kan worden bij de renovatie van de S-gebouwen in het kader van een stapsgewijze renovatie, binnenisolatie of minder performante buitenisolatie.

Daarnaast valt het op dat een systeem C een hoger E-peil haalt dan een systeem D, ondanks dat een systeem C beter scoorde op vlak van totaal primair energieverbruik zoals berekend in hoofdstuk 8. Dit is mede een gevolg van de berekeningswijze van het E-peil, waar het verbruik relatief ten opzichte van een referentiegebouw bekeken wordt. Hierdoor kunnen verschillende scenario's niet exact vergeleken worden op vlak van het absolute energieverbruik aan de hand van het E-peil.

Ondanks het hogere E-peil dan bij een systeem D, voldoet systeem C+ ook in alle gevallen. Zelfs bij kantoren waar de gevel minder performant geïsoleerd wordt. Dit systeem heeft als voordeel dat er minder ventilatoren en kanalen nodig zijn. Dit bespaart plaats bij de renovatie. Bovendien wordt er geopteerd geen verlaagde plafonds te voorzien in het kader van de intensieve nachtventilatie. Esthetisch gezien heeft het dan de voorkeur een systeem C te kiezen, aangezien er dan minder leidingwerk zichtbaar is aan het plafond.

## 10. CONCLUSIE EN KRITISCHE REFLECTIE

### 10.1 Algemene conclusie

De analyse van de bestaande toestand toont aan dat de gebouwen dringend toe zijn aan renovatie. Zelfs kantoren met hoge bezetting, waar erg hoge interne warmtewinsten aanwezig zijn, hebben net een te hoge NEB voor verwarming (m.b.t. het energetisch masterplan) in de huidige toestand. Het samenspel van verschillende parameters bij renovatie is echter een complex gegeven. Bovendien heeft elk bezettingsprofiel andere vereisten, waardoor het niet mogelijk is één ideaal scenario te bedenken voor alle vormen van toekomstig gebruik. Het is wel mogelijk te renoveren op een manier waarbij flexibel gebouwgebruik centraal staat.

Om de warmtevraag te beperken is een energetische renovatie van de gevel nodig. Een TOTEM-analyse wijst uit dat het gebruik van minerale wol als isolatiemateriaal aan de binnenzijde tot de laagste milieu-impact leidt. De milieu-impact van een ETICS systeem ligt echter niet veel hoger ligt door de hoge isolerende capaciteiten van EPS en de afwezigheid van koudebruggen.

Uit ontwerpend onderzoek blijkt dat zowel isoleren aan de binnen- als buitenzijde mogelijk is bij de S4. Campus de Sterre is echter opgenomen in de inventaris onroerend erfgoed. Om het karakteristieke gevelbeeld te bewaren, is het aangewezen gebruik te maken van binnenisolatie. Indien er geïsoleerd wordt aan de binnenzijde, ontstaan er koudebruggen ter hoogte van de verdiepingsvloeren. Hierdoor zakt de gemiddelde U-waarde van 0,24 W/(m<sup>2</sup>.K) - die behaald wordt bij isoleren aan de buitenzijde - naar 0,50 W/(m<sup>2</sup>.K). Energetisch gezien is het dus efficiënter om in te zetten op buitenisolatie. Het deelonderzoek naar gevelrenovatiestrategieën aan de hand van simulaties wijst echter uit dat de NEB voor verwarming maar een lichte stijging kent wanneer er minder performant geïsoleerd wordt. Bij klaslokalen met lage bezetting stijgt het bijvoorbeeld van 55,33 naar 60,51 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar). Stapsgewijs renoveren, isoleren aan de binnenzijde – om het gevelbeeld te bewaren - of minder performant isoleren aan de buitenzijde – om in kosten te besparen - zijn dus opties die in overweging genomen kunnen worden.

Voor de renovatie van de vloeren zou er bij kantoren en onderwijsfuncties gebruik gemaakt worden van verhoogde vloeren. Dit is een erg flexibel vloertype, dat meerdere gebruiken en verandering in gebruik doorheen de tijd toelaat. Akoestisch gezien is dit mogelijk, maar er moeten wel maatregelen genomen worden zoals het opvullen van het plenum met rotswol en een dempende vloerbekleding. Bij studentenhuisvesting wordt geopteerd voor een zwevende dekvloer omwille van akoestische redenen.

Door het grote aandeel glasoppervlak, gaat de gevelrenovatie in quasi alle mogelijke bezettingsprofielen samen met een oververhittingsproblematiek. Enkel laboruimtes met een ventilatievoud van 15 vol/h zijn hier een uitzondering op. Een eerste manier om hier mee om te gaan is de g-waarde van het glas en/of de zonnewering performanter maken. Bij kantoren met hoge bezetting zorgt een daling van de g-waarde van het glas van 0,55 tot 0,28 voor een daling in GTO van 30%. Het gebruik van zonnewering vanaf 150 W/m<sup>2</sup> in plaats van 300 W/m<sup>2</sup> invallende zonnestraling op de gevel zorgt voor een daling in GTO van 12%. Kiezen voor performante buitenzonnewering die 10% van de kortegolflengtestraling doorlaat in plaats van 26% bij binnenzonnewering zorgt voor een daling in GTO van 9%. Bij het combineren van deze maatregelen, kan er een daling in GTO tot 56% gerealiseerd worden. Uiteraard



heeft dit implicaties op de daglichttoetreding. Uit daglichtsimulaties blijkt dat de eis omtrent de daglichtfactor wel nog behaald wordt bij een g-waarde van het glas van 0,28, maar het daglichtcomfort ligt lager. Het kiezen voor performantere zonnewering die vaker naar beneden gaat kan het daglichtcomfort en het zicht naar buiten verstoren.

Bovendien zorgen de maatregelen op vlak van beglazing en zonnewering ook voor een stijging in NEB voor verwarming door de lagere zonnwinsten. Hierdoor is het bij scenario's met een lage verhouding interne warmtewinsten/ventilatie-debiet – zoals bijvoorbeeld laboruimtes met 10 vol/h - niet aangewezen verregaande maatregelen te nemen om de zonnwinsten te beperken, zelfs niet wanneer er mechanische koeling geïmplementeerd wordt. Performantere beglazing en zonnewering zorgen namelijk voor minder zonnwinsten in de winter, waartegen de daling in primaire energie voor koeling niet opweegt. Bij scenario's met een gemiddelde verhouding interne warmtewinsten/ventilatie-debiet – zoals klaslokalen met lage bezetting - is het enkel aangewezen maatregelen te nemen om de zonnwinsten te beperken wanneer er met een systeem D gewerkt wordt in combinatie met mechanische koeling. Bij scenario's met een hoge verhouding interne warmtewinsten/ventilatie-debiet – zoals kantoren met hoge bezetting of studentenkamers met hoge bezetting - is het zowel bij systeem C als D aangewezen de beglazing en/of zonnewering te optimaliseren indien er mechanische koeling geïnstalleerd wordt.

Koelen op mechanische wijze is een betrouwbare manier om het gewenste binnencomfort te behalen. Dit kan energetisch geoptimaliseerd worden door een goede keuze te maken op vlak van beglazing en zonnewering. Energetisch gezien is het echter efficiënter te werken met passieve koeling. Overdag kan dit gebeuren door het openen van ramen, waarbij de GTO bij kantoren met hoge bezetting met 55% daalt en bij klaslokalen met lage bezetting met 52%. Dit is een efficiënte maatregel, maar volstaat niet om het gewenste comfort te behalen.

's Nachts kan er passief gekoeld worden a.d.h.v. intensieve nachtventilatie waarbij de thermische massa van de verdiepingsvloer ingezet wordt. Dit is het scenario met het laagste totale primaire energieverbruik, waarbij het comfort behaald wordt. Bijgevolg is dit de meest energie-efficiënte manier van koelen. Een belangrijke vereiste hierbij is dat er geen gebruik gemaakt wordt van een verlaagd plafond zodat de thermische massa bereikbaar is. De akoestische analyse heeft aangetoond dat de eis voor de nagalmtijd ook behaald kan worden met plafondeilanden. Een verlaagd plafond is dus niet noodzakelijk.

In bijna alle scenario's volstaat nachtventileren met een ventilatievoud van 5 vol/h. Enkel in geval van kantoren met hoge bezetting met een g-waarde van het glas van 0,55 in combinatie met binnenzonnewering volstaan 5 vol/h niet, maar zijn er 10 vol/h nodig. Een ventilatievoud tot 5 vol/h kan gerealiseerd worden aan de hand van enkelzijdige ventilatie door het openen van de onderste en bovenste ramen per schrijnwerkgeheel. Wanneer een ventilatievoud van 10 vol/h nodig is om het koelvermogen te realiseren, moet er ingezet worden op dwarsventilatie. Een belangrijk aandachtspunt hierbij is de verantwoordelijkheid van de gebruiker: voor een goede werking van dwarsventilatie is het immers noodzakelijk de doorstroom 's nachts te garanderen via open binnendeuren.

Bij studentenkamers is intensieve nachtventilatie geen optie. Door het grote percentage aan beglazing en de lage ventilatie-debieten is er bij studentenkamers echter veel oververhitting. Hoewel het gebruik van zonnewering bij studentenkamers niet courant is, wordt het hier toch aangeraden, om de oververhitting te beperken. Als er gebruik gemaakt wordt van beglazing met een g-waarde van 0,28 en performante binnenscreens, volstaat het openen van de ramen

overdag om de oververhitting zo ver te beperken dat aan de GTO-criteria voldaan wordt. De GTO (PPD) daalt naar 28h, wat ver onder de grens voor zeer goed comfort van 100h ligt.

Het behalen van de gewenste hygiënische ventilatiedebieten aan de hand van natuurlijke ventilatie blijkt in het geval van de S4 geen sluitende oplossing. Enerzijds kunnen de ventilatieverliezen hoog oplopen wanneer er hoge toevoerdebieten nodig zijn, net zoals bij een systeem C. Anderzijds moeten de bestaande schachten bij renovatie verbreed worden wanneer men het maximale afvoerdebiet door natuurlijke ventilatie wil realiseren. Natuurlijke (schacht)ventilatie berust namelijk op het natuurlijke schouweffect, waardoor de kanaalsecties groter moeten zijn dan bij mechanische ventilatie om hoge afvoerdebieten te verwezenlijken. Ten slotte is er de specifieke windsituatie op de campus die het realiseren van een werkend ventilatieconcept op gebouwniveau haast onmogelijk maakt. In tegenstelling tot een systeem A, kunnen de vereiste debieten aan de hand van een systeem C of D zonder problemen behaald worden.

In bijna alle scenario's komt naar voor dat een systeem C op vlak van primair energieverbruik voor verwarming, koeling en ventilatoren energiezuiniger is dan een systeem D (enkel studentenkoten met hoge bezetting, met een erg performante beglazing en interne zonnepanelen vormen een uitzondering). Dit is een gevolg van het gebruik van vraaggestuurde ventilatie en de erg zuinige warmtepomp, in combinatie met de hoge debieten aan hygiënische ventilatie die voor een hoog verbruik aan ventilatorenergie zorgen bij een systeem D. In scenario's met een hoge warmtevraag is systeem C echter geen optie. Hier wordt de doelstelling van een NEB voor verwarming van 75 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar) niet behaald, als gevolg van de hoge ventilatieverliezen. Daarnaast blijkt uit het onderzoek dat bij deze scenario's de comforttemperatuur in de winter niet altijd behaald wordt als er aan een hoog temperatuurregime verwarmd wordt in combinatie met een systeem C. Bij het omschakelen naar lage temperatuurverwarming zal het vermogen van de verwarming verder dalen, waardoor de comforttemperatuur in de winter nog minder vaak behaald zal worden. Bijgevolg is het gebruiken van een systeem D met warmteterugwinning in deze situaties noodzakelijk.

Wanneer een warmtewisselaar gebruikt wordt bij systeem D, kan er gekozen worden voor een volledige of een gedeeltelijke bypass. Een gedeeltelijke bypass zorgt ervoor dat de ingeblazen ventilatielucht altijd voorverwarmd wordt tot een minimale comforttemperatuur. In het kader van dit onderzoek werd 15°C gekozen. Dit verlaagt het koelpotentieel van de ventilatielucht echter. Met een volledige bypass kan er koude buitenlucht ingeblazen worden wanneer de ruimte gekoeld moet worden. Dit kan de GTO met 12% doen dalen ten opzichte van een gedeeltelijke bypass, waarbij ook de NEB voor koeling daalt. Een volledige bypass zorgt in het tussenseizoen echter voor een minder aangename temperatuur van de inblaaslucht.

Gezien hoge hygiënische ventilatiedebieten steeds meer de norm worden, is vraaggestuurd ventileren bijna onmisbaar om de ventilatieverliezen te beperken. Wanneer de ventilatiedebieten van een ruimte gedimensioneerd zouden worden op hoge bezetting, maar er slechts een lage bezetting aanwezig is, dalen de interne warmtewinsten. Hierdoor stijgt de warmtevraag, bijvoorbeeld in het geval van een auditorium met een systeem C met 266% en bij een systeem D met 550%. Dit is energetisch gezien onacceptabel bij een duurzame renovatie.

Deze hoge stijging in NEB voor verwarming is gedeeltelijk een gevolg van de hoge hygiënische ventilatiedebieten. Wanneer er bijvoorbeeld een debiet van  $22 \text{ m}^3/(\text{h.pers})$  voorzien wordt - wat momenteel de norm is in onderwijsgebouwen, maar wellicht zal veranderen in de toekomst - daalt de NEB voor verwarming tot 60% bij een systeem C en halveert de energievraag voor ventilatoren bijna.

Wanneer de NEB voor verwarming onder de  $75 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{jaar})$  blijft, kan de warmte- en koelvraag door verscheidene afgiftesystemen gerealiseerd worden. Een kanttekening hierbij is dat het behoud van de bestaande radiatoren met een omschakeling naar LTV enkel een optie is in scenario's met een zeer lage NEB voor verwarming, zoals bijvoorbeeld kantoren met hoge bezetting of studentenkamers met hoge bezetting met een systeem C.

Als gevolg van energie-efficiënte maatregelen die genomen worden - zoals de aansluiting op het BEO-veld en de vraaggestuurde ventilatie met pollutiesensoren - wordt het E-peil van een BEN-gebouw voor kantoren, onderwijsfuncties en studentenhuisvesting gehaald. Bij een systeem D ligt het E-peil ver onder de eis voor het BEN-gebouw. Ook een systeem C voldoet ruimschoots, al ligt het E-peil hier iets hoger dan bij een systeem D als gevolg van de berekeningswijze van het E-peil. Bij klaslokalen met een systeem D en kantoren met systeem C volstaat zelfs renoveren tot een U-waarde van  $0,5$  à  $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ .

## 10.2 Kritische reflectie en verder onderzoek

Binnen het onderzoek wordt ervan uitgegaan dat de resultaten van de S4 doorgetrokken kunnen worden naar andere S-gebouwen. Deze zijn echter in verschillende fases gebouwd en vertonen bijgevolg verschillen ten opzichte van elkaar. Zo zijn bijvoorbeeld de gevels van de gebouwen niet allemaal op dezelfde manier opgebouwd en zijn er verschillen in oriëntatie. Het correct toepassen van de resultaten van deze studie op andere gebouwen vergt daarom een meer gedetailleerd onderzoek naar de verschillen tussen de S-gebouwen onderling en naar welke gevolgen deze verschillen met zich meebrengen.

Daarnaast werden in dit onderzoek bezettingsprofielen opgesteld, waarbij getracht werd de meest extreme scenario's weer te geven. Dit maakt het mogelijk om het gebouw bestand te maken tegen de meest extreme situaties die in een realistisch scenario mogelijk zijn, hoewel deze niet permanent voorkomen. De aanname dat telkens de volledige bezetting van een bezettingsprofiel gedurende de volledige dag aanwezig is, of dat de trekkasten in de labo's elke weekdag voortdurend in werking zouden zijn, klopt niet met de realiteit. De resultaten tonen bijgevolg de impact van ontwerpbeslissingen op het comfort en energetisch verbruik, maar de absolute waarden van het verbruik zijn geen exacte weergave van de werkelijkheid.

Bij de interpretatie van dit onderzoek is het ook belangrijk in gedachten te houden dat er gesteund wordt op een aantal aannames. Eén van de belangrijkste aannames, met grote implicaties voor de resultaten van het onderzoek, is het gebruik van een BEO-veld - waarbij er ook toevoer is van de restwarmte van de servers - in combinatie met een grondwaterwarmtepomp. Dit zorgt voor een erg efficiënte manier van verwarmen, waardoor het primair energieverbruik voor verwarming en koeling erg laag uitvalt. Bovendien wordt er ook gerekend op pollutiesensoren waardoor de ventilatieverliezen beperkt blijven. De resultaten van dit onderzoek zijn bijgevolg niet zonder de nodige omzichtigheid door te trekken naar scenario's waar deze systemen niet gebruikt worden.

Uit de aanname van het BEO-veld met restwarmte van de servers volgt de mogelijkheid tot verder onderzoek om dit BEO-veld/warmtenet op siteniveau te optimaliseren. In principe werkt het verwarmingssysteem van de S-gebouwen – dat aangesloten is op het warmtenet waar de restwarmte van de server op terecht komt – als koelsysteem voor de server. Er zou onderzocht kunnen worden wat de ideale netto-energiebehoefte voor verwarming van de gebouwen moet zijn – en de bijhorende isolatiegraad - zodoende dat de restwarmte volledig gebruikt kan worden en het systeem – en dus ook de bodemtemperatuur - in balans blijft. Het zou bijvoorbeeld kunnen dat een iets hogere warmtevraag van de gebouwen uiteindelijk voor een lager totaal primair energieverbruik zou zorgen, omdat er dan minder koelenergie nodig is voor de server.

Een andere aanname die gemaakt werd, is het renoveren tot de U-waarde die opgelegd wordt volgens het EPB. In enkele deelonderzoeken is er onderzocht wat de implicaties zijn op de energetische prestaties en het E-peil als hiervan afgeweken wordt, maar dit werd niet verder uitgediept in relatie tot andere parameters. Daarnaast werd er een LCA-onderzoek gevoerd om een isolatiemateriaal te kiezen met de laagste milieu-impact om de U-waarde die vooropgesteld wordt door het EPB te behalen. Hierbij is echter nooit onderzocht of deze U-waarde op vlak van totale milieu-impact de meest optimale oplossing is. Door de hoge efficiëntie van de warmtepomp is de stijging in primair energieverbruik echter vrij beperkt als er minder vergaand geïsoleerd wordt. Het zou bijgevolg interessant zijn te onderzoeken wat de optimale isolatiegraad is met een levenscyclusanalyse waarbij zowel de milieu-impact van de gebruikte materialen als van het gebruik van het gebouw in rekening gebracht wordt. Mocht dit onderzoek samengaan met het onderzoek naar de balans op siteniveau, kan men tot een zo energie-efficiënte renovatie komen met een zo laag mogelijke milieu-impact.

## 11. REFERENTIES

Acke, A., Caillou, S., De Cuyper, K., Delmotte, C., Dobbels, F. Gerin, O., ... Schietecat, J. (2012, 1e trimester). *Speciale uitgave: luchtdichtheid*. WTCB contact. 9(33). Geraadpleegd van [https://www.wtcb.be/media/ktfbb5xi/contact\\_nl\\_01\\_2012.pdf](https://www.wtcb.be/media/ktfbb5xi/contact_nl_01_2012.pdf)

Afdeling Energie en Klimaat WTCB. (2007, 27 juli). *Regelbare Toevoeropeningen*. Geraadpleegd van [https://epbd.be/wp-content/uploads/2020/11/doc\\_4\\_1\\_S\\_a\\_NL\\_Regelbare-toevoeropening\\_v3\\_0\\_20070727.pdf](https://epbd.be/wp-content/uploads/2020/11/doc_4_1_S_a_NL_Regelbare-toevoeropening_v3_0_20070727.pdf)

Agentschap onroerend erfgoed.(z.d.).*Ik wil erfgoed openstellen of een nieuwe bestemming geven*. Inventaris onroerend erfgoed. <https://www.onroenderfgoed.be/ik-wil-erfgoed-een-nieuwe-bestemming-geven>

Agentschap onroerend erfgoed.(z.d.).*Ik wil werken uitvoeren aan erfgoed*. Inventaris onroerend erfgoed. <https://www.onroenderfgoed.be/werken-aan-erfgoed-uit-een-wetenschappelijke-vastgestelde-inventaris>

Alpen, Clear Performance. (z.d.). *Heat Mirror © IG product guide: Commercial applications*. Geraadpleegd van <https://thinkalpen.com/wp-content/uploads/2016/03/Alpen-Heat-Mirror-Brochure.pdf>

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (1993). *1993 ASHRAE Handbook Fundamentals SI Edition*. Atlanta.

Belgisch Instituut voor de Verlichtingskunde. (z.d.). *Code van de goede praktijk voor Binnenverlichting*. p. 24.

Bhatia, A. (2014). *HVAC – Guide to Demand Control Ventilation*. Geraadpleegd van <https://www.cedengineering.com/userfiles/HVAC%20-%20Guide%20to%20Demand%20Control%20Ventilation%20R1.pdf>

Bureau voor normalisatie. (1991). NBN D 50-001: Ventilation systems for housing.

Bureau voor normalisatie. (2007, september). *NBN EN 15251: Binnenmilieu- gerelateerde inputparameters voor ontwerp en beoordeling van energieprestatie van gebouwen voor de kwaliteit van binnenlucht, het thermisch comfort, de verlichting en akoestiek*.

Bureau voor normalisatie. (2008, 29 januari). *NBN S 01-400-1: Akoustische criteria voor woongebouwen*.

Bureau voor normalisatie. (2010, 16 april). *NBN EN 13779 NL: Ventilatie voor niet-residentiële gebouwen - Prestatie-eisen voor ventilatie- en luchtbehandelingssystemen*.

Bureau voor normalisatie. (2012, 20 juli). *NBN S 01-400-2: Akoustische criteria voor schoolgebouwen*.

Bureau voor normalisatie. (2016, 22 april). *NBN EN 13561:2015/AC:2015/AC: External blinds and awnings - Performance requirements including safety*.

Bureau voor normalisatie. (2017, 22 september). *NBN EN 16798-3:2017 Energy performance of buildings – Ventilation for buildings – Part 3: For non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems (Modules M5-&, M5-4)*.

Bureau voor normalisatie. (2017, 27 januari). *NBN EN 12207:2017 Windows and doors – Air permeability - Classification*.

Bureau voor normalisatie. (2019). *NBN EN 16798-1: 2019: Energy performance of buildings- Ventilation of buildings - PART 1: : Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing outdoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics – Module M1-6.*

Bureau voor normalisatie. (2020). *NBN EN 12831-1 ANB: 2020: Energieprestatie van gebouwen - Methode voor de berekening van de ontwerpwarmtebelasting - Deel 1: Warmtebemesting voor ruimteverwarming - Nationale bijlage.*

Bureau voor normalisatie.(2021). *NBN EN 17037:2018+A1: daylight in buildings.*

Bureau voor normalisatie. (2021). *NBN EN :2021: Blinds and shutters- Thermal and visual comfort- Performance characteristics and classification.*

Bureau voor normalisatie. (2021, 27 augustus). *NBN EN 12464-1: Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places.*

Bureau voor normalisatie.(2022). *NBN EN ISO 52120-1 (2022): Energy performance of building- Contribution of building automation, controls and building management: PART 1: General framework and procedures (ISO 52120-1:2021).*

*Campus Sterre renovatie en functiewijziging.*(z.d.).Abscis architecten. <https://www.abscis-architecten.be/nl/projecten/campus-sterre-renovatie-en-functiewijziging-/485>

Chappee. (z.d.). *Gietijzeren radiatoren Floréal Savane Dune 2.* BAXI BELGIUM sa/nv

CIBSE.(2005).*Natural ventilation in non domestic buildings.*Page Bros.

Claytex Technia Company. (2010 - 2022). *Dymola.* Geraadpleegd op 11 april 2022, van <https://www.claytex.com/products/dymola/>

Claytex Technia Company. (2021). *Dymola (2021 (64-bit)).* Dymola - Dynamic Modeling Laboratory. Geraadpleegd van <https://www.claytex.com/products/dymola/dymola-demo-download/>

Clinquart, E. (2021, 7 september). *Dynamische beglazing, Wat, waarom en hoe [Powerpoint-slides].* Federatie Aluminium Constructeurs.

Codex over het welzijn op het werk.(2017, 12 juli).*Boek III. - Arbeidsplaatsen. Titel 1.-Basis-eisen betreffende arbeidsplaatsen. Hoofdstuk IV. - Luchtverversing.* Geraadpleegd via <https://werk.belgie.be/sites/default/files/content/documents/Welzijn%20op%20het%20werk/Regelgeving/Codex%20boek%20III%20titel%201%20Basis-eisen%20betreffende%20arbeidsplaatsen.pdf>

Daikin. (z.d.). *Een warmtepomp voor sanitair warm water.* [https://www.daikin.be/nl\\_be/warmtepompen/oplossingen/sanitairwarmwater/sanitair-warm-water.html](https://www.daikin.be/nl_be/warmtepompen/oplossingen/sanitairwarmwater/sanitair-warm-water.html)

Danniau, F. (2010, 24 augustus). *Campusmodel.* UGent memorie. [www.ugentmemorie.be/artikel/campusmodel](http://www.ugentmemorie.be/artikel/campusmodel)

Danniau, F. (2015, 1 september). *Uitvalsbasis Voldersstraat.* UGent memorie. [www.ugentmemorie.be/artikel/uitvalsbasis-voldersstraat](http://www.ugentmemorie.be/artikel/uitvalsbasis-voldersstraat)

Deboosere,F.(z.d.).*Welke windrichting komt in België het vaakst voor?*.[frankdeboosere. https://www.frankdeboosere.be/vragen/vraag115.php](https://www.frankdeboosere.be/vragen/vraag115.php)

Decoubele, P., Segers, F. (2021). Beroepschrift tegen boskap door UGent, rector wijst op nijpend tekort aan studentenkamers. *VRTNWS*. <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2021/09/13/buren-en-natuurorganisaties-dienen-beroepschrift-in-tegen-boskap/>

De Herde, A. en Evrard A. (2005, juni). *Dossier Cement*. Febelcem. [https://www.febelcem.be/fileadmin/user\\_upload/dossiers-ciment-94-08/nl/35\\_nl.pdf](https://www.febelcem.be/fileadmin/user_upload/dossiers-ciment-94-08/nl/35_nl.pdf)

Dekoevoet. (2019,lente). *Isolatiematerialen kiezen*. Geraadpleegd van <https://ecomat.be/bestandenbank/dekoevoet-2019-isolatiematerialen.pdf>

De stadsacademie. (2021-2022). *Circulair bouwen*. Stadsacademie. <https://stadsacademie.be/traject/circulair-bouwen/?fbclid=IwAR306Hoy2Bxky4Idu1PFp5WIDA7o5xvjIUH7nvv-nwzlmUmkOFory4fiMBw>

Directie Gebouwen en Facilitair Beheer.(2020, september). *Ontwerprichtlijn UGent: voorschriften en programma van eisen voor de uitwerking van het onroerend patrimonium*. Geraadpleegd van [ufora.ugent.be](https://ufora.ugent.be)

Directie Gebouwen en Facilitair Beheer. (2021, november). *08 Regio - Sterre -Campus Sterre. F.I. plannen*.

Directie Gebouwen en Facilitair Beheer. (2022, 10 mei). *Campusplan De Sterre*.

EPB-software 3G (13.0.1) [EPB 13.0.1]. (2022). Geraadpleegd van <https://www.energiesparen.be/epb-pedia/epb-software/3g>

Europese Commissie. (2019, 11 december). *Een Europese Green Deal*. [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_nl](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_nl)

European Energy Efficiency Platform (E3P). (2022). *Typical Meteorological Year (TMY)*. Geraadpleegd op 11 april 2022, van <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/articles/typical-meteorological-year-tmy#top-page>

Europese raad. (2022, 7 februari). *VN-klimaatconferentie (COP26)*. <https://www.consilium.europa.eu/nl/meetings/international-summit/2021/11/01/>

Europese raad. (2022, 24 februari). *Klimaatovereenkomst van Parijs*. <https://www.consilium.europa.eu/nl/policies/climate-change/paris-agreement/>

Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en leefmilieu. (2016, 12 januari). *VOS- Vluchtige Organische Stoffen*. Health.Belgium. <https://www.health.belgium.be/nl/vos-vluchtige-organische-stoffen>

Fermacell.(z.d.). *Vloersystemen*. <https://www.fermacell.be/be/vloersystemen>

François, L & Van Lysebetten, G (WTCB). (2017, augustus). *Code van goede praktijk. Ontwerp, uitvoering en beheer van koude-warmteopslagsystemen in de ondiepe ondergrond in Vlaanderen*. Geraadpleegd van <https://www.techlink.be/media/647315/koude-warmteopslagsystemen.pdf>

Galletti. (2021, mei). *Technical Manual: WRE: Chillers and Heat Pumps: 40 kW - 750 kW*. Geraadpleegd van <https://cms.bconsole.com/documents/1598537954-productsRG66018068.pdf/gal>

Galletti. (2022). *WRE: 40-750 kW*. <https://www.galletti.com/nl/koelmachines-en-warmtepompen/dissipatie-in-water/wre>

- Github. (2022) *IDEAS v3.0.0*. Geraadpleegd op 11 april 2022, van <https://github.com/open-ideas/IDEAS>
- Harol. (2015, maart). *Technische fiche: Buitenjaloëzieën*. Geraadpleegd van <https://www.harol.be/sites/default/files/TF%202015%20-%20NL.pdf>
- Heiselberg, P.(2002, augustus).*Principles of hybrid ventilation*. Hybrid Ventilation Centre, Aalborg University 2002. KOMMUNIK Grafiske Løsninger A/S.
- Het agentschap Facilitair Bedrijf. (2020, januari). *GRO: op weg naar toekomstgerichte bouwprojecten: gebruikershandleiding versie 2020*.
- Het agentschap Facilitair Bedrijf. (2022, februari). *GRO: op weg naar toekomstgerichte bouwprojecten: Criteria voor site en gebouwen - versie 2020.1*.
- IDEAS library. (2022). opgehaald op 24 maart 2022. <https://github.com/open-ideas/IDEAS>
- Indigne, L. (2017, 25 oktober). *Opleiding Duurzaam Gebouw: Ventilatie: ontwerp en afstelling* [Powerpoint-slides]. Leefmilieu Brussel. Geraadpleegd van [https://leefmilieu.brussels/sites/default/files/user\\_files/pres\\_20151027\\_vent\\_2\\_2dimt\\_nl.pdf](https://leefmilieu.brussels/sites/default/files/user_files/pres_20151027_vent_2_2dimt_nl.pdf)
- IsoHemp Natural Building. (2021, april). *Lastenboek IsoHemp Hennepblok*. Geraadpleegd van <https://www.iso hemp.com/nl/technische-documentatie>
- IsoHemp Natural Building. (2022). *Catalogus 2022 Hennepblokken*. Geraadpleegd van <https://www.iso hemp.com/nl/technische-documentatie>
- Isover Saint-Gobain.(z.d.). *Luchtdicht bouwen*. <https://www.iedereenben.be/downloads/Luchtdicht-bouwen.pdf?fbclid=IwAR2pxFznar7p9kubqQE08peTDH4s9GJynmU9Hhas8Bay-QthO4mDhy2pUNxQ>
- Janssens, A. & Laverge, J. (2021-2022). *Building Performance Simulation: Adding Occupants*. faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur, Universiteit Gent. Geraadpleegd op 18 maart 2022 van [ufora.ugent.be](http://ufora.ugent.be)
- Janssens, A. & Laverge, J. (2021-2022). *Building Performance Simulation: Heating\_System*. faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur, Universiteit Gent. Geraadpleegd op 18 maart 2022 van [ufora.ugent.be](http://ufora.ugent.be)
- Janssens, A. (2019). *Residentiële comfortinstallaties: les 1* [Powerpoint-slides]. Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur, Universiteit Gent. Geraadpleegd op 4 maart 2022, van [ufora.ugent.be](http://ufora.ugent.be)
- Janssens, A. (2019). *Residentiële comfortinstallaties: les 2* [Powerpoint-slides]. Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur, Universiteit Gent. Geraadpleegd op 4 maart 2022, van [ufora.ugent.be](http://ufora.ugent.be)
- Janssens, A. (2019). *Residentiële comfortinstallaties: les 3* [Powerpoint-slides]. Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur, Universiteit Gent. Geraadpleegd op 4 maart 2022, van [ufora.ugent.be](http://ufora.ugent.be)
- Janssens, A. (2019). *Residentiële comfortinstallaties: les 4* [Powerpoint-slides]. Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur, Universiteit Gent. Geraadpleegd op 4 maart 2022, van [ufora.ugent.be](http://ufora.ugent.be)
- Janssens, A. (2019). *Residentiële comfortinstallaties: Opgave oefening verwarmingsinstallatie 2019\_2020*. Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur, Universiteit Gent. Geraad-



pleegd op 22 april 2022, van ufora.ugent.be

Janssens, A. (2021, 10 mei). *Infosessie COVID-19 en ventilatie, module 8: Impact van open ramen en deuren* [Powerpoint-slides]. Onderzoeksgroep Bouwfysica. Universiteit Gent.

Jorissen, F., Reynders, G., Baetens, R., Picard, D., Saelens, D., Helsen, L. (2018, 12 januari). *Implementation and Verification of the IDEAS Building Energy Simulation Library*. Journal of Building Performance Simulation.

Klimaatexpert. (z.d.). *COP, SCOP en rendement van een warmtepomp*. <https://www.klimaatexpert.com/warmtepomp/technisch/cop-scop-en-rendement>

KMI. (z.d.). *Karakteristieken van enkele klimatologische parameters*. meteo. <https://www.meteo.be/nl/unpublish/algemeen-klimaat-belgie/parameters#:~:text=Gemiddeld%20bereikt%20of%20overtreft%20de,de%20turbulentie%20tot%20gevolg%20heeft>

Lechner, N.(2015). *Heating, cooling, lighting: sustainable methods for architects*. (vierde editie).Wiley

Leefmilieu Brussel. (2017, 4 maart). *Akoestiek van een lichte gipskartonwand*. Gids duurzame gebouwen. <https://www.gidsduurzamegebouwen.brussels/akoestiek-lichte-gipskartonwand>

Leefmilieu Brussel. (2017, 4 mei). *Akoestiek van een lichte/ droge zwevende dekvloer*. Gids duurzame gebouwen. <https://www.gidsduurzamegebouwen.brussels/akoestiek-lichtedroge-zwevende-dekvloer>

Mahmoud R., Himpe, E., Borrajo Bastero, J. & Laverge, J. (2020, 30 november). *D2.2 A set of parametric geometries for the (sub)typologies studied*. Versie 3.0.

mijnEPB. (2018, januari). *‘Wat moet ik weten over de eei waarde bij circulatiepompen?’*. <https://www.mijnepb.be/eei-circulatiepompen/>

Milieu Centraal. (z.d.). *Lage temperatuur verwarming*. <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-verwarmen-en-koelen/lage-temperatuur-verwarming-ltv/>

Morlion, P.(z.d.). *Het inplantingsplan van architect G. De Smet voor de gebouwen van ‘domein De Sterre’*. UGentmemorie. Geraadpleegd van <https://www.ugentmemorie.be/plaatsen/de-sterre>

Nederlandse Bouwdocumentatie. (2017, 3 april). *De ooievaar die het hoofd van ambtenaren koel hield*. nbd-online. <https://www.nbd-online.nl/nieuws/185161-de-ooievaar-die-het-hoofd-van-ambtenaren-koel-hield>

Notenbomer, W. (2009, 7 oktober). *Natuurlijke ventilatie in de faculteit bouwkunde*.

Noyez, E. (z.d.). *Vraaggestuurde ventilatie streeft naar energie- en ventilatie-efficiëntie*. Geraadpleegd van <https://iiw.kuleuven.be/onderzoek/vraagvent/artikelsanilec>

Purmo, Radson. (z.d.). *Vloerverwarming: Technische Documentatie*. Geraadpleegd van [https://www.purmo.com/public/prod/cbab0b55-94bb-4a3b-abaf-632251129ee5/11053/d376f9d81994668e3ebbf6774183f491/nl-be-files-td\\_vvw\\_nl\\_2020.pdf](https://www.purmo.com/public/prod/cbab0b55-94bb-4a3b-abaf-632251129ee5/11053/d376f9d81994668e3ebbf6774183f491/nl-be-files-td_vvw_nl_2020.pdf)

Radson. (2020, december). *Ulow-E2 H: Technische fiche*. Geraadpleegd van [https://www.purmo.com/public/prod/cbab0b55-94bb-4a3b-abaf-632251129ee5/9414/22668296715b-604fce81f29b51be9634/nl-be-files-tf\\_2021\\_ulow-e2-h\\_benl.pdf](https://www.purmo.com/public/prod/cbab0b55-94bb-4a3b-abaf-632251129ee5/9414/22668296715b-604fce81f29b51be9634/nl-be-files-tf_2021_ulow-e2-h_benl.pdf)

Radson. (2021). *Vloersystemen*. <https://www.radson.com/nl-be/producten/verwarming/>

vloerverwarming/systemen/vloersystemen

Radson. (z.d.). *Lage temperatuurradiatoren*. <https://www.radson.com/nl-be/producten/verwarming/radiator/paneelradiator/lage-temperatuur-radiatoren>

Remeha.(z.d.). *Technische informatie Remeha Gas 310 ECO*. <https://www.remeha.be/wp-content/uploads/documents/archive/REMEHA/Gas/Gas%20310%20Eco/110117%20TM%20Gas%20310%20Eco%20NL.pdf>

Renson. (2022). *Raamverluchtingen*. Geraadpleegd van <https://www.renson.eu/nl-be/voor-professionals/downloads/overzicht?q=>

Rockfon. (2021, juni). Rockfon Eclipse datablad. Geraadpleegd via [https://p-cdn.rockfon.com/siteassets/commerce/be-vl/tiles/documents/documentation/product-databladen-paneel/be-vl-tile-datasheet-rockfon-blanka-activity\\_d\\_06\\_20216.pdf?f=20220428231255](https://p-cdn.rockfon.com/siteassets/commerce/be-vl/tiles/documents/documentation/product-databladen-paneel/be-vl-tile-datasheet-rockfon-blanka-activity_d_06_20216.pdf?f=20220428231255)

Royal Observatory of Belgium. (2021). *Sunrise and sunset in 2022*. <http://robinfo.oma.be/en/astro-info/sun/sunrise-sunset-2022/>

Stad Gent.(z.d.). *Minimumnormen voor studentenkamers*. Stad.Gent.<https://stad.gent/nl/wonen-bouwen/huren-verhuren/studentenkamers-verhuren/minimumnormen-voor-studentenkamers#:~:text=De%20raamoppervlakte%20is%20in%20totaal,september%201998%20al%20werden%20bewoond>

Steeman, M. (2019). *Residentiële comfortinstallaties: Les Sanitair warm water 19-20* [Powerpoint-slides]. Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur, Universiteit Gent. Geraadpleegd op 7 juli 2022, van [ufora.ugent.be](http://ufora.ugent.be)

The Swiss Wind Power Data Website. (z.d.). *Wind Profile Calculator*. wind-data. <https://wind-data.ch/tools/profile.php?lng=en>

*Transmissie Referentie Document. Bijlage 3*. (2010, 8 december). Belgisch Staatsblad.

Trigaux, D & Chung Lam, W. (2021). *TOTEM: Environmental profile of buildings (update 2021)*. Geraadpleegd van <https://www.totem-building.be/pages/about.xhtml#1.%20WAAROM%20TOTEM%20>

TROX Technik. (2010, maart). *Lucht-watersystemen: Planningshandboek*. Geraadpleegd van [https://www.trox.nl/downloads/0fe26dedc1fdd3ab/Plahandbu\\_LuWaSys\\_NLfinished.pdf](https://www.trox.nl/downloads/0fe26dedc1fdd3ab/Plahandbu_LuWaSys_NLfinished.pdf)

TROX Technik. (2015, oktober). *Koelconvectoren: Serie PKV*. Geraadpleegd van [https://www.trox.be/nl/downloads/1a573db680be800e/2\\_24\\_pkv.pdf?type=product\\_info](https://www.trox.be/nl/downloads/1a573db680be800e/2_24_pkv.pdf?type=product_info)

TU Delft. (2012, 17 december). *Geluidsabsorberende materialen, enkele voorbeelden*. Geraadpleegd op 19 april 2022, van [https://content.bk.nijsnet.nl/site/06\\_PDFs/C.1%20Materiaalvoorbeelden%20absorptie.pdf](https://content.bk.nijsnet.nl/site/06_PDFs/C.1%20Materiaalvoorbeelden%20absorptie.pdf)

UGent. (2022, 4 maart). *beoordeling\_gebouwen*. Geraadpleegd op 7 april 2022, van [ufora.ugent.be](http://ufora.ugent.be)

UGent. (2022, 4 maart). *kopie\_ketelinventaris2022*. Geraadpleegd op 7 april 2022, van [ufora.ugent.be](http://ufora.ugent.be)

UGent. (2022, 4 maart). *vragenlijst EPC2018*. Geraadpleegd op 9 april 2022, van [ufora.ugent.be](http://ufora.ugent.be)

UGent.(z.d.).*De Sterre*. UGent memorie. <https://www.ugentmemorie.be/plaatsen/de-sterre>

UGent.(z.d.).*Erbis Web Vision*. <https://ugent.erbisweb.be/>

Vabi. (2022). *Interne Warmteproductie*. Vabi Support. Geraadpleegd op 10 mei 2022, van <https://support.vabi.nl/support/elements/online-help/hulpmiddelen/interne-warmteproductie/>

Vandeweghe, E. (2019). *Universiteitscampus Sterre*. Inventaris onroerend erfgoed. <https://inventaris.onroerenderfgoed.be/erfgoedobjecten/307161>

van Haperen, K. (2020, 2 mei). *Eurovent certificering luchtbehandelingsunits*[Powerpoint-slides]. Binnenklimaattechniek. Geraadpleegd van <https://www.binnenklimaattechniek.nl/wp-content/uploads/2020/02/20200205-Kees-van-Haperen-Eurovent.pdf>

Van Linden, S. (2020). *Bouwtechnische aspecten van de bouwhuid: BAB - Trisco - bouwknopen 2020*. [Powerpoint-slides]. Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur, Universiteit Gent. Geraadpleegd op 10 april 2022, van [ufora.ugent.be](http://ufora.ugent.be)

Verbond van de Glasindustrie. (2019, juli). *Een glasheldere kijk op de Belgische beglazingen*. Geraadpleegd van [https://www.vgi-fiv.be/nl/categorie\\_publication/een-glasheldere-kijk-op-de-belgische-beglazingen/](https://www.vgi-fiv.be/nl/categorie_publication/een-glasheldere-kijk-op-de-belgische-beglazingen/)

Verhelle,S. (2003). *Energie en comfort van labogebouwen*. [Masterproef, Universiteit Gent]. via [lib.ugent.be](http://lib.ugent.be)

Verosol. (2020, mei). *833 Clearview: Semi transparant gemetalliseerd polyester textiel*. Geraadpleegd van <https://www.kvadratverosol.nl/professionals/downloads/product-specs>

Verstraeten, J., Sweco. (2020, 16 mei). *Masterplan energie campus Sterre: Campus Sterre fosielvrij in 2050: Eindrapport*.

Vlaams energie- en klimaatagentschap.(2019, 6 juni). *Systeem A: natuurlijke toevoer en afvoer*. Energiesparen.<https://www.energiesparen.be/bouwen-en-verbouwen/epb-pedia/technieken/ventilatie/ventilatiesystemen/systeem-a>

Vlaams energie- en klimaatagentschap.(2020, 29 mei). *Langetermijnstrategie voor de renovatie van Vlaamse gebouwen*.Energiesparen.<https://www.energiesparen.be/sites/default/files/atoms/files/Vlaamse%20langetermijnrenovatiestrategie%20gebouwen%202050.pdf>

Vlaams energie- en klimaatagentschap.(2021, 12 augustus). *Vlaamse langetermijnrenovatiestrategie voor gebouwen 2050*. Energiesparen. <https://www.energiesparen.be/vlaamse-langetermijnrenovatiestrategie-voor-gebouwen-2050>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap. (2017). *Belgisch staatsblad: Bijlage VIII: Behandeling van bouwknopen*. Energiesparen.[https://energiesparen.login.kanooh.be/sites/default/files/atoms/files/Bijlage\\_BK\\_20101119\\_vergunningenNA2018.pdf](https://energiesparen.login.kanooh.be/sites/default/files/atoms/files/Bijlage_BK_20101119_vergunningenNA2018.pdf)

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap. (2018, 17 augustus). *Koelsystemen*. Energiesparen. <https://www.energiesparen.be/epb-pedia/koelsystemen>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap. (2018, 29 maart). *EPW-methode*. Energiesparen. <https://www.energiesparen.be/epb-pedia/rekenmethode/e-peil/epw>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap. (2018, 29 oktober). *EPN-methode*. Energiesparen. <https://www.energiesparen.be/epb-pedia/rekenmethode/e-peil/epn>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap. (2019, 1 augustus). *Wat is hoogrendementsglas?*.

Energiesparen. <https://www.energiesparen.be/hoogrendementsglas/wat>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap.(2019,31 januari).*BEN-eisen*.Energiesparen.<https://www.energiesparen.be/BEN/eisen>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap.(2019, 4 maart). *Ontwerptips om oververhitting te beperken*. Energiesparen.<https://www.energiesparen.be/bouwen-en-verbouwen/epb-pedia/epb-plichtig-toepassing-en-eisen/e-peil-s-peil-hernieuwbare-energie-en-andere-eisen/oververhitting/ontwerptips-om-oververhitting-te-beperken>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap.(2019, 5 juni). *Systeem D: natuurlijke toevoer en mechanische afvoer*. Energiesparen.<https://www.energiesparen.be/bouwen-en-verbouwen/epb-pedia/technieken/ventilatie/ventilatiesystemen/systeem-c?language=en>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap.(2020, 14 juli). *Systeem D: mechanische toevoer en afvoer*. Energiesparen.<https://www.energiesparen.be/bouwen-en-verbouwen/epb-pedia/technieken/ventilatie/ventilatiesystemen/systeem-d>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap. (2020, 18 december). *Betekent 'lage temperatuurverwarming' dat ik vloerverwarming moet plaatsen?*. Energiesparen. <https://www.energiesparen.be/verwarmen/lage-temperatuur-vloer>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap. (2020, 18 oktober). *E-peil: eis voor ingrijpende energetische renovaties (2022)*. Energiesparen. <https://www.energiesparen.be/epb-pedia/e-peil-ier-2022>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap.(2020, 28 oktober). *E-peil: eis voor niet-residentiele gebouwen (2021)*. Energiesparen. <https://www.energiesparen.be/epb-pedia/e-peil/eis-niet-residentieel-2021>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap.(2020, 4 mei). *Beperken van oververhitting*. Energiesparen. <https://www.energiesparen.be/EPB-pedia/oververhitting>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap. (2020, 8 juni). *EPB-aanvaarde bouwknopen*. Energiesparen. <https://www.energiesparen.be/epb-pedia/bouwknopen/epb-aanvaard>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap. (2020, januari). *U-waarden vanaf 2018: Maximaal toelaatbare U-waarden*. Geraadpleegd van <https://energiesparen.login.kanooh.be/sites/default/files/atoms/files/epbuwaarden2018.pdf>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap. (2020, oktober). *EPB-eisen vanaf 1 januari 2022*. Geraadpleegd van <https://www.energiesparen.be/sites/default/files/atoms/files/epbeisental2022.pdf>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap. (2021). *Belgisch staatsblad: Bijlage VI: EPN-methode: Berekening van het peil van primair energieverbruik van niet-residentiële eenheden*. Energiesparen. <https://www.energiesparen.be/sites/default/files/atoms/files/Bijlage%20EPN%2020211210%20vergunningenNA2022.pdf>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap. (2021). *Belgisch staatsblad: Bijlage X - VENTILATIEVOORZIENINGEN IN NIET-RESIDENTIËLE GEBOUWEN: Bepalingsmethode en eisen*. Energiesparen. [https://www.energiesparen.be/sites/default/files/atoms/files/Bijlage\\_HVNR\\_20211210\\_vergunningenNA2022.pdf](https://www.energiesparen.be/sites/default/files/atoms/files/Bijlage_HVNR_20211210_vergunningenNA2022.pdf)

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap. (2021, 10 maart). *Bestemmingen*. Energiesparen. <https://www.energiesparen.be/bouwen-en-verbouwen/epb-pedia/epb-plichtig-toepassing-en-eisen/bestemmingen>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap.(z.d.).*Algemene uitzonderingen op de EPB-eisen*. (2021,26 januari). Energiesparen.<https://www.energiesparen.be/EPB-pedia/uitzonderingen/alg-EPB-eisen#bouwkundig-erfgoed>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap. (z.d.). *E-peil: eis voor niet-residentiële gebouwen (2022)*. Energiesparen. <https://www.energiesparen.be/epb-pedia/e-peil-nietres-2022>

Vlaams energie-en klimaatagentschap.(z.d.). *EPB-wegwijzer 2022*. Energiesparen. [https://apps.energiesparen.be/uw-resultaat/epb\\_wegwijzer\\_2022/36562](https://apps.energiesparen.be/uw-resultaat/epb_wegwijzer_2022/36562)

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap.(z.d.). *Netto-energiebehoefte voor verwarming*. Energiesparen. <https://www.energiesparen.be/epb-pedia/neb-verwarming>

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap. (z.d.). *Wat zijn de voordelen van laagtemperatuurverwarming?*. Energiesparen. Geraadpleegd van <https://www.energiesparen.be/bouwen-en-verbouwen/verwarming/duurzaam-verwarmen/stap-2-ga-voor-verwarming-op-lage-temperatuur/wat-zijn-de-voordelen-van-laagtemperatuurverwarming>

Vlaams energieagentschap. (2018, 29 oktober). *Cursus 'methode voor niet-residentiële gebouwen'*. <https://www.energiesparen.be/sites/default/files/atoms/files/epn-cursus-2018.pdf>

Vlaamse overheid.(z.d.). *Advies bij werkplekinrichting*. overheid.vlaanderen. <https://overheid.vlaanderen.be/personeel/welzijn/advies-bij-werkplekinrichting>

Vlaanderen circulair bouwen. (2022).*Wat is circulair bouwen?* Vlaanderen circulair. <https://bouwen.vlaanderen-circulair.be/nl/wat-is-het>

Werkgroep energiebeleid UGent, DGFB, DOZA, DSV en DFIN. (2019, 28 juni). *Energiebeleidsplan 2020-2030: het pad voor de UGent in de energietransitie*.UGent. <https://www.ugent.be/nl/univgent/waarvoor-staat-ugent/duurzaamheidsbeleid/leidraad/energie/energiebeleidsplan.pdf>

Werkgroep energiebeleid UGent. (2020, 11 september). *Energiebeleidsplan 2020-2030: opvolging en bijsturing - 2020*. UGent. <https://www.ugent.be/nl/univgent/waarvoor-staat-ugent/duurzaamheidsbeleid/klimaatplan/opvolgingenergie2020>

Werkgroep energie UGent, Sweco. (2020, 2 juni). *Campus Sterre: Masterplan energie deel 2*.Geraadpleegd van [ufora.ugent.be](https://ufora.ugent.be)

Werkgroep energie UGent, Sweco. (2020,3 maart). *Campus Sterre: Masterplan energie deel 1*.Geraadpleegd van [ufora.ugent.be](https://ufora.ugent.be)

Wetenschappelijk en technisch centrum voor het bouwbedrijf. (2013, april). *Ontwerp en dimensionering van centrale-verwarmingsinstallaties met warm water (Nr.14)*. Geraadpleegd van [ufora.ugent.be](https://ufora.ugent.be)

Windowmaster. (z.d.). *Air Change Rate Calculator*. <https://www.windowmaster.com/resources/calculators/air-change-rate-calculator/>

WTCB. (1983, september). *Technische Voorlichting 189: Dekvloeren: materialen, prestaties, controles*. Geraadpleegd van [http://www.confederatiebouw.be/portals/38/CDSchrijnwerk/data\\_tech\\_doc\\_schrijnwerk/docs/Houten%20vloeren%20en%20parket/TV%20189%20Dekvloeren,%201ste%20deel.pdf](http://www.confederatiebouw.be/portals/38/CDSchrijnwerk/data_tech_doc_schrijnwerk/docs/Houten%20vloeren%20en%20parket/TV%20189%20Dekvloeren,%201ste%20deel.pdf)

WTCB. (2000, maart). *Technische Voorlichting 215: Het platte dak: opbouw, materialen, uitvoering, onderhoud*. Geraadpleegd van [ufora.ugent.be](http://www.ufora.ugent.be)

WTCB. (2006, december). *Technische voorlichting 230: Verhoogde vloeren*. Geraadpleegd van [http://www.confederatiebouw.be/portals/38/CDSchrijnwerk/data\\_tech\\_doc\\_schrijnwerk/technische\\_documenten.html](http://www.confederatiebouw.be/portals/38/CDSchrijnwerk/data_tech_doc_schrijnwerk/technische_documenten.html)

WTCB. (2007, november). *Technische voorlichting 232: Verlaagde Plafonds*. Geraadpleegd van [http://www.confederatiebouw.be/portals/38/CDSchrijnwerk/data\\_tech\\_doc\\_schrijnwerk/docs/Scheidingswanden\\_verhoogde\\_vloeren\\_verlaagde%20plafonds/TV%20232%20Verlaagde%20plafonds%20def.pdf](http://www.confederatiebouw.be/portals/38/CDSchrijnwerk/data_tech_doc_schrijnwerk/docs/Scheidingswanden_verhoogde_vloeren_verlaagde%20plafonds/TV%20232%20Verlaagde%20plafonds%20def.pdf)

WTCB. (2012, juni). *Technische voorlichting 246: Na-isolatie van spouwmuren door het opvullen van de luchtspouw*. Geraadpleegd van [ufora.ugent.be](http://www.ufora.ugent.be)

WTCB. (2015, december). *Technische voorlichting 255: Luchtdichtheid van gebouwen*. Geraadpleegd van [ufora.ugent.be](http://www.ufora.ugent.be)

WTCB. (2016, augustus). *Technische voorlichting 257: Beploistering op buitenisolatie (ETICS)*. Geraadpleegd van [ufora.ugent.be](http://www.ufora.ugent.be)

WTCB. (2020, augustus). *Basisgrootheden absorptie en nagalm*. Geraadpleegd van [https://www.wtcb.be/media/8d8bdf9c33cfc20/basisgrootheden\\_absorptie\\_en\\_nagalm.pdf](https://www.wtcb.be/media/8d8bdf9c33cfc20/basisgrootheden_absorptie_en_nagalm.pdf)

WTCB. (2020, augustus). *Basisgrootheden luchtgeluidsisolatie*. Geraadpleegd van [https://www.wtcb.be/media/8d8bdf9c792642d/basisgrootheden\\_luchtgeluidsisolatie-1.pdf](https://www.wtcb.be/media/8d8bdf9c792642d/basisgrootheden_luchtgeluidsisolatie-1.pdf)

WTCB. (2020, juli). *Overzicht van de akoestische normen voor woongebouwen in België volgens NBN S 01-400-1*. Geraadpleegd van [https://www.wtcb.be/media/8d8bdfd0b6421ae/akoestische\\_norm\\_schoolgebouwen.pdf](https://www.wtcb.be/media/8d8bdfd0b6421ae/akoestische_norm_schoolgebouwen.pdf)

WTCB. (2022, maart). *Technische Voorlichting 281: Akoestische isolatie tussen woningen*. Geraadpleegd van [https://www.wtcb.be/umbraco/Surface/PublicationItem/DownloadFile?file=31000%2Fnl%2Fprotected%2FTVN\\_281.pdf](https://www.wtcb.be/umbraco/Surface/PublicationItem/DownloadFile?file=31000%2Fnl%2Fprotected%2FTVN_281.pdf)

WTCB. (2022, Maart). *Technische voorlichting 281: Akoestische isolatie tussen woningen*. Geraadpleegd via [https://www.wtcb.be/umbraco/Surface/PublicationItem/DownloadFile?file=31000%2Fnl%2Fprotected%2FTVN\\_281.pdf](https://www.wtcb.be/umbraco/Surface/PublicationItem/DownloadFile?file=31000%2Fnl%2Fprotected%2FTVN_281.pdf)

WVOI.(z.d.). *Arbocatalogus hoofdstuk 6. Binnenklimaat in kantoren: TO- en GTO-methode*. Geraadpleegd op 19 mei 2022, van <https://www.wvoi.nl/media/1107/hoofdstuk-6-bijlage-2.pdf>

XELLA.(2019, augustus). *Multipor TIP Wall: Isoleren van gevels aan de binnenzijde*. Geraadpleegd van [https://www.xella.be/nl\\_BE/Downloads-Multipor](https://www.xella.be/nl_BE/Downloads-Multipor)

# BIJLAGEN

## Bijlage 1: Berekening U-waarden van de S8

Berekeningen volgens het Transmissie Referentie Document (2010)

Massieve buitenmuur (30 cm), huidige toestand						
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]			
buitenoppervlak				-	<b>totale R-waarde</b>	0,34 (m <sup>2</sup> .K)/W
Gevelsteen	0,09	-	-	-	<b>U Waarde</b>	2,92 W/(m <sup>2</sup> .K)
spouw (sterk geventileerd)	0,06	-	0,13	-	<b>max U waarde</b>	0,24 W/(m <sup>2</sup> .K)
Beton	0,15	2,20	0,07			
Pleisterwerk	0,01	0,70	0,01			
binnenoppervlak			0,13			

Ramen met sandwichpanelen (huidige toestand)								
	Ag [m <sup>2</sup> ]	Ug [W/(m <sup>2</sup> .K)]	Aprof [m <sup>2</sup> ]	Uprof [W/(m <sup>2</sup> .K)]	Apaneel [m <sup>2</sup> ]	Upaneel [W/(m <sup>2</sup> .K)]	A tot [m <sup>2</sup> ]	Ig [m]
glas	2,22	2,90						
schrijnwerk (Al)			1,37	5,90				
Paneel					1,13	1,38		
geheel							4,73	18,08
							<b>U Waarde</b>	3,48 W/(m <sup>2</sup> .K)
							<b>max U waarde</b>	1,5 W/(m <sup>2</sup> .K)

	raam	Ig [m]	b [m]	h [m]	A [m <sup>2</sup> ]
midden links		3,49	0,62	1,13	0,70
onder		3,44	1,40	0,32	0,45
midden rechts		3,49	0,62	1,13	0,70
boven		3,24	1,34	0,28	0,38
Ig glas		13,66			
Paneel		4,42	1,40	0,81	1,13
Ig totaal		18,08			

paneel (huidige toestand) bij ramen met sandwichpanelen						
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]			
buitenoppervlak				0,04	<b>totale R-waarde</b>	0,72 (m <sup>2</sup> .K)/W
vezelcementplaat	0,00	0,37	0,01	-	<b>U Waarde</b>	1,38 W/(m <sup>2</sup> .K)
ISOLATIE EPS	0,02	0,05	0,53	-	<b>max U waarde</b>	0,24 W/(m <sup>2</sup> .K)
metalen plaat	0,00	0,37	0,01	-		
binnenoppervlak			0,13			

Betonpaneel onder ramen (huidige toestand) berekening enkel volgens onderwaarde							
Laag 1: homogeen: 7cm betonsteen							
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]				
Betonsteen	0,07	1,70	0,04				
Laag 2: Heterogeen (3cm)							
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]	Fractie	f/R		
Betonsteen	0,03	1,70	0,02	0,14	8,10		
Isolatie (EPS?)	0,03	0,05	0,67	0,71	1,07		
Beton	0,03	1,70	0,02	0,07	4,05		
Lucht	0,03	-	-	0,07			
	1/Rj	13,21					
	R 2	0,08					
Laag 3: Heterogeen (6cm)							
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]	Fractie	f/R		
Betonsteen	0,06	1,70	0,04	0,14	4,05		
Beton	0,06	1,70	0,04	0,79	22,26		
Lucht	0,06	-	-	0,07			
	1/Rj	26,31					
	R 3	0,04					
Laag 4: Heterogeen (24cm)							
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]	Fractie	f/R		
Lucht	0,24	-	-	0,14			
Beton	0,24	1,70	0,14	0,79	5,57		
Lucht	0,24	-	-	0,07			
	1/Rj	5,57					
	R 4	0,18					
Onderwaarde warmteweerstand							
	Rse	R_1	R_2	R_3	R_4	Rsi	R*_T
	0,04	0,04	0,08	0,04	0,18	0,13	0,50
<b>totale R-waarde</b>	0,50						(m <sup>2</sup> .K)/W
<b>U Waarde</b>	1,98						W/(m <sup>2</sup> .K)
<b>max U waarde</b>	0,24						W/(m <sup>2</sup> .K)

Betonnen kolom (huidige toestand) berekening enkel volgens onderwaarde								
Laag 1: homogeen: 7cm betonsteen								
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]					
Betonsteen	0,07	1,70	0,04					
Laag 2: heterogeen, 3cm								
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]	Fractie	f/R			
Betonsteen	0,03	1,70	0,02	0,12	6,61			
Iso (EPS?)	0,03	0,05	0,67	0,77	1,15			
Betonsteen	0,03	1,70	0,02	0,12	6,61			
	1/Rj	14,37						
	R 2	0,07						
Laag 3: heterogeen, 7,5cm								
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]	Fractie	f/R			
Betonsteen	0,08	1,70	0,04	0,12	2,64			
Beton	0,08	1,70	0,04	0,77	17,38			
Betonsteen	0,08	1,70	0,04	0,12	2,64			
	1/Rj	22,67						
	R 3	0,04						
Laag 4: heterogeen, 22,5cm								
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]	Fractie	f/R			
Lucht	0,23	-	-	0,12				
Beton	0,23	1,70	0,13	0,77	5,79			
Lucht	0,23	-	-	0,12				
	1/Rj	5,79						
	R 4	0,17						
Onderwaarde warmteweerstand								
	Rse	R_1	R_2	R_3	R_4	Rsi	R''_T	
	0,04	0,04	0,07	0,04	0,17	0,13	0,50	
<b>totale R-waarde</b>	0,50	(m <sup>2</sup> .K)/W						
<b>U Waarde</b>	2,01	W/(m <sup>2</sup> .K)						
<b>max U waarde</b>	0,24	W/(m <sup>2</sup> .K)						
Dak (huidige toestand)								
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]					
buitenoppervlak			0,04	<b>totale R-waarde</b>	0,95	(m <sup>2</sup> .K)/W		
Zink	0,09		-	<b>U Waarde</b>	1,06	W/(m <sup>2</sup> .K)		
Roofing	0,03		-	<b>max U waarde</b>	0,24	W/(m <sup>2</sup> .K)		
Lucht (sterk geventileerd)	0,14		0,10					
Iso (EPS)	0,03	0,05	0,67					
Beton	0,09	2,20	0,04					
binnenoppervlak			0,1					
Kelderwand (huidige toestand)								
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]					
Kelderwand			1,00	<b>totale R-waarde</b>	2,05	(m <sup>2</sup> .K)/W		
				<b>U Waarde</b>	0,49	W/(m <sup>2</sup> .K)		
				<b>max U waarde</b>	0,24	W/(m <sup>2</sup> .K)		
Vloer op volle grond (huidige toestand)								
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]					
binnenoppervlak Rsi			0,17	<b>totale R-waarde</b>	1,05	(m <sup>2</sup> .K)/W		
Uitvullingslaag	0,08	1,30	0,06	<b>U_eq,f,i</b>	0,95	W/(m <sup>2</sup> .K)		
Isolatie	0,03	0,05	0,67					
Beton	0,2	1,3	0,15					



## Bijlage 2: Berekening U-waarden van de S4(bis)

Berekeningen volgens het Transmissie Referentie Document (2010)

borstwering S4bis (huidige toestand S4bis)						
materiaal	dikte d [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m².K)/W]			
buitenoppervlak				0,04		
gevelstrip	0,01	1,20	0,01		totale R-waarde	0,29 (m².K)/W
beton	0,20	1,70	0,12		U Waarde	3,40 W/(m².K)
verflaag	-	-	-		EPB-eis	0,24 W/(m².K)
binnenoppervlak			0,13			

borstwering S4 (huidige toestand S4)						
materiaal	dikte d [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m².K)/W]			
buitenoppervlak				0,04		
geglazuurde baksteen	0,07	1,26	0,05		totale R-waarde	0,84 (m².K)/W
spouw	0,04		0,18		U Waarde	1,20 W/(m².K)
dragende baksteen	0,19	0,45	0,42		EPB-eis	0,24 W/(m².K)
pleister	0,01	0,52	0,02			
binnenoppervlak			0,13			

borstwering S4 (isoleren met multiPDR)						
materiaal	dikte d [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m².K)/W]			
buitenoppervlak				0,04		
geglazuurde baksteen	0,07	1,26	0,05		totale R-waarde	4,09 (m².K)/W
spouw	0,04	0,23	0,18		U Waarde	0,24 W/(m².K)
dragende baksteen	0,19	0,45	0,42		EPB-eis	0,24 W/(m².K)
ISO (multiPDR)	0,14	0,04	3,26			
pleister	0,01	0,52	0,02			
binnenoppervlak			0,13			

borstwering S4 (isoleren met multiPDR tot een U-waarden van 0.5 à 0.6)						
materiaal	dikte d [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m².K)/W]			
buitenoppervlak				0,04		
geglazuurde baksteen	0,07	1,26	0,05		totale R-waarde	2,00 (m².K)/W
spouw	0,04	0,23	0,18		U Waarde	0,50 W/(m².K)
dragende baksteen	0,19	0,45	0,42		EPB-eis	0,24 W/(m².K)
ISO (multiPDR)	0,05	0,04	1,16			
pleister	0,01	0,52	0,02			
binnenoppervlak			0,13			

venster boven borstwering (huidige toestand)										
	Ag [m²]	Ug [W/(m².K)]	Af [m²]	Uf [W/(m².K)]	Ap [m²]	Up [W/(m².K)]	lg [m]	lp [m]	Psig	Psif
glas	4,75	2,90					28,13			
schrijnwerk			2,16	5,90						
paneel					0,41	0,89			5,80	0,20
									U Waarde	4,06 W/(m².K)
									max U waarde	1,5 W/(m².K)

	raam	lg [m]	b [m]	h [m]	A [m²]	#	m²
midden links		3,78	0,54	1,35	0,72	2,00	1,45
onder		3,25	1,28	0,35	0,45	2,00	0,89
midden rechts		4,03	0,60	1,42	0,85	2,00	1,70
boven		3,01	1,22	0,29	0,35	2,00	0,70
		14,06					
lg		28,13					
	A geheel	2,80	2,62	7,32			
	A paneel			0,41			
	A glas			4,75			
	A schrijnwerk			2,1584			

paneel in schrijnwerk (huidige toestand)						
materiaal	dikte d [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m².K)/W]			
buitenoppervlak				0,04		
metalen plaat	0,00	160,00	0,00		totale R-waarde	1,12 (m².K)/W
ISOLATIE PIR	0,02	0,02	0,95		U Waarde	0,89 W/(m².K)
metalen plaat	0,00	160,00	0,00		max U waarde	2,00 W/(m².K)
binnenoppervlak			0,13			

gevelelement trappenhal (huidige toestand)										
	Ag [m²]	Ug [W/(m².K)]	Af [m²]	Uf [W/(m².K)]	Ap [m²]	Up [W/(m².K)]	lg [m]	lp [m]	Psig	Psif
glas	5,32	2,90					23,68			
schrijnwerk			2,22	5,90						
paneel					2,39	1,06			8,92	0,20
paneel 2					0,67	0,89			6,08	
									U Waarde	3,40 W/(m².K)
									max U waarde	1,5 W/(m².K)
	raam	lg [m]	b [m]	h [m]	A [m²]	#	m²			
	boven	3,26	1,28	0,35	0,45	2,00	0,90			
	Midden	5,32	1,28	1,38	1,77	2,00	3,53			
	Onder	3,26	1,28	0,35	0,45	2,00	0,90			
		11,84			Ag	5,32				
	lg	23,68			Af	2,2212				

paneel gevelelement trappenhal (huidige toestand)						
materiaal	dikte d [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m².K)/W]			
buitenoppervlak				0,04		
metalen plaat	0,00	50,00	0,00		totale R-waarde	0,95 (m².K)/W
ISOLATIE EPS	0,04	0,05	0,78		U Waarde	1,06 W/(m².K)
metalen plaat	0,00	50,00	0,00		max U waarde	2,00 W/(m².K)
binnenoppervlak			0,13			

gevelelement trappenhal (gerenoveerd)										
	Ag [m²]	Ug [W/(m².K)]	Af [m²]	Uf [W/(m².K)]	Ap [m²]	Up [W/(m².K)]	lg [m]	lp [m]	Psig	Psif
glas	5,32	1,03					0,00			
schrijnwerk			2,22	0,95						
paneel					2,39	0,21			8,92	0,20
									U Waarde	0,99 W/(m².K)
									max U waarde	1,5 W/(m².K)

PANEEL GEVELEMENT TRAPPENHAL (GERENOVEERD)						
materiaal	dikte d [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m².K)/W]			
buitenoppervlak				0,04		
metalen plaat	0,00	50,00	0,00		totale R-waarde	4,72 (m².K)/W
ISOLATIE PIR	0,10	0,02	4,55		U Waarde	0,21 W/(m².K)
metalen plaat	0,00	50,00	0,00		max U waarde	2,00 W/(m².K)
binnenoppervlak			0,13			

Klein venster ZuidOost (=Keldervenster) (huidige toestand)						
	Ag [m²]	Ug [W/(m².K)]	Af [m²]	Uf [W/(m².K)]	Ig [m]	Psig
glas	1,02	2,90			6,72	0,06
schrijnwerk			0,38	5,90		
						<b>U Waarde</b> 3,99 W/(m².K)
						<b>max U waarde</b> 1,5 W/(m².K)
Klein venster ZuidOost(=Keldervenster) (gerenoveerd)						
	Ag [m²]	Ug [W/(m².K)]	Af [m²]	Uf [W/(m².K)]	Ig [m]	Psig
glas	1,02	1,03			6,72	0,08
schrijnwerk			0,38	0,95		
						<b>U Waarde</b> 1,39 W/(m².K)
						<b>max U waarde</b> 1,5 W/(m².K)
beton in gevel (huidige toestand)						
materiaal	dikte d [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m².K)/W]			
buitenoppervlak			0,04	<b>totale R-waarde</b> 0,35	0,35	(m².K)/W
gewapend beton	0,40	2,20	0,18	<b>U Waarde</b> 2,84	2,84	W/(m².K)
binnenoppervlak			0,13	<b>max U waarde</b> 0,24	0,24	W/(m².K)
beton in gevel (binnenisolatie, gerenoveerd)						
materiaal	dikte d [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m².K)/W]			
buitenoppervlak			0,04	<b>totale R-waarde</b> 4,09	4,09	(m².K)/W
gewapend beton	0,40	2,20	0,18	<b>U Waarde</b> 0,24	0,24	W/(m².K)
na-isolatie	0,16	0,04	3,72	<b>max U waarde</b> 0,24	0,24	W/(m².K)
pleister	0,01	0,52	0,02			
binnenoppervlak			0,13			
beton in gevel (binnenisolatie, gerenoveerd tot een U-waarde van 0,5 à 0,6)						
materiaal	dikte d [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m².K)/W]			
buitenoppervlak			0,04	<b>totale R-waarde</b> 1,77	1,77	(m².K)/W
gewapend beton	0,40	2,20	0,18	<b>U Waarde</b> 0,57	0,57	W/(m².K)
na-isolatie <b>multopor</b>	0,06	0,04	1,40	<b>max U waarde</b> 0,24	0,24	W/(m².K)
pleister	0,01	0,52	0,02			
binnenoppervlak			0,13			
Gevelde gevelvlakken S4 (bestaande toestand)						
materiaal	dikte d [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m².K)/W]			
buitenoppervlak			0,04	<b>totale R-waarde</b> 0,53	0,53	(m².K)/W
Geglazuurde bakstenen	0,09	1,40	0,06	<b>U Waarde</b> 1,90	1,90	W/(m².K)
Spouw (niet geventileerd)	0,12		0,18	<b>max U waarde</b> 0,24	0,24	W/(m².K)
Gewapend beton	0,19	1,70	0,11			
binnenoppervlak			0,13			
Gevelde gevelvlakken S4 (gerenoveerd, binnenisolatie multopor)						
materiaal	dikte d [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m².K)/W]			
buitenoppervlak			0,04	<b>totale R-waarde</b> 4,27	4,27	(m².K)/W
Geglazuurde bakstenen	0,09	1,40	0,06	<b>U Waarde</b> 0,23	0,23	W/(m².K)
Spouw (niet geventileerd)	0,12		0,18	<b>max U waarde</b> 0,24	0,24	W/(m².K)
Gewapend beton	0,19	1,70	0,11			
Multipor	0,16	0,04	3,72			
Pleister	0,01	0,52	0,02			
binnenoppervlak			0,13			
Gevelde gevelvlakken S4 (gerenoveerd tot een U-waarde van 0,5 à 0,6, binnenisolatie multopor)						
materiaal	dikte d [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m².K)/W]			
buitenoppervlak			0,04	<b>totale R-waarde</b> 1,92	1,92	(m².K)/W
Geglazuurde bakstenen	0,09	1,40	0,06	<b>U Waarde</b> 0,52	0,52	W/(m².K)
Spouw (niet geventileerd)	0,12		0,18	<b>max U waarde</b> 0,24	0,24	W/(m².K)
Gewapend beton	0,19	1,70	0,11			
Multipor	0,06	0,04	1,40			
binnenoppervlak			0,13			
Massieve buitenmuur S4 (bestaande toestand)						
materiaal	dikte d [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m².K)/W]			
buitenoppervlak			0,04	<b>totale R-waarde</b> 0,44	0,44	(m².K)/W
Gevelsteen	0,09	1,40	0,06	<b>U Waarde</b> 2,29	2,29	W/(m².K)
spouw (strek geventileerd)	0,05		0,18	<b>max U waarde</b> 0,24	0,24	W/(m².K)
Beton	0,19	1,70	0,11			
Binnensteen	0,09	1,40	0,06			
binnenoppervlak			0,13			
Massieve buitenmuur S4 (gerenoveerd, binnenisolatie multopor)						
materiaal	dikte d [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m².K)/W]			
buitenoppervlak			0,04	<b>totale R-waarde</b> 4,39	4,39	(m².K)/W
Gevelsteen	0,09	1,40	0,06	<b>U Waarde</b> 0,23	0,23	W/(m².K)
spouw (strek geventileerd)	0,05		0,18	<b>max U waarde</b> 0,24	0,24	W/(m².K)
Beton	0,19	1,70	0,11			
Binnensteen	0,09	1,40	0,06			
multopor	0,17	0,04	3,95			
binnenoppervlak			0,13			
Massieve buitenmuur S4 (gerenoveerd tot een U-waarde van 0,5 à 0,6, binnenisolatie multopor)						
materiaal	dikte d [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m².K)/W]			
buitenoppervlak			0,04	<b>totale R-waarde</b> 1,83	1,83	(m².K)/W
Gevelsteen	0,09	1,40	0,06	<b>U Waarde</b> 0,55	0,55	W/(m².K)
spouw (strek geventileerd)	0,05		0,18	<b>max U waarde</b> 0,24	0,24	W/(m².K)
Beton	0,19	1,70	0,11			
Binnensteen	0,09	1,40	0,06			
multopor	0,06	0,04	1,40			
binnenoppervlak			0,13			
Scheidingsmuur S4-S4bis (bestaande toestand)						
materiaal	dikte d [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m².K)/W]			
Binnenoppervlak S4			0,13	<b>totale R-waarde</b> 1,09	1,09	(m².K)/W
Gevelsteen	0,09	1,40		<b>U Waarde</b> 0,91	0,91	W/(m².K)
Baksteen	0,19	0,35	0,54	<b>max U waarde</b>		W/(m².K)
spouw (niet geventileerd)	0,05		0,18			
Beton	0,19	1,70	0,11			
Gevelsteen	0,09	1,40				
binnenoppervlak			0,13			
Muur naar kruipkelder, of naar volle grond (bestaande toestand)						
materiaal	dikte d [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m².K)/W]			
Binnenoppervlak S4			0,13	<b>totale R-waarde</b> 0,38	0,38	(m².K)/W
Beton	0,15	1,70	0,09	<b>U Waarde</b> 2,63	2,63	W/(m².K)
Cementering	0,03	0,93	0,03	<b>max U waarde</b>		W/(m².K)
binnenoppervlak			0,13			

Kelderwand (bestaande toestand)						
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]			
Kelderwand			1,00	<b>totale R-waarde</b>	1,00	(m <sup>2</sup> .K)/W
				<b>U Waarde</b>	1,00	W/(m <sup>2</sup> .K)
				<b>max U waarde</b>	0,24	W/(m <sup>2</sup> .K)

Vloer op volle grond (bestaande toestand)						
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]			
binnenoppervlak Rsi			0,17	<b>totale R-waarde</b>	0,40	(m <sup>2</sup> .K)/W
Uitvullingslaag	0,05	0,93	0,05	<b>U Waarde</b>	2,49	W/(m <sup>2</sup> .K)
Beton	0,25	1,70	0,15			
Egalisatielaag in Beton	0,05	1,65	0,03	<b>R van opp tot opp</b>	0,23	
	Oppervlak	2324,30		<b>Warmtedoorgangscoëfficiënt [W/K]</b>	1658,88	
	Temperatuurreductiefactor	0,29		<b>U waarde</b>	0,71	
				<b>Max U-waarde</b>	0,24	

Tussenvloer (bestaande toestand)						
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]			
binnenoppervlak Rsi			0,17	<b>totale R-waarde</b>	0,49	(m <sup>2</sup> .K)/W
Vloerbekleding	0,02	0,81	0,02	<b>U Waarde</b>	2,06	W/(m <sup>2</sup> .K)
Uitvullingslaag	0,08	0,93	0,09	<b>max U waarde</b>	0,24	W/(m <sup>2</sup> .K)
Beton	0,06	1,70	0,04			
Binnenoppervlak Rsi			0,17	<b>R-waarde van opp tot opp</b>	0,15	

Tussenvloer- verhoogde vloer (gerenoveerd)						
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]			
binnenoppervlak Rsi			0,17	<b>totale R-waarde</b>	1,64	(m <sup>2</sup> .K)/W
Vloerbekleding linoleum	0,00	0,19	0,02	<b>U Waarde</b>	0,61	W/(m <sup>2</sup> .K)
OSB	0,02	0,13	0,12	<b>max U waarde</b>	0,24	W/(m <sup>2</sup> .K)
Minerale wol	0,04	0,04	1,11			
Uitvullingslaag	0,02	0,93	0,02			
Beton	0,06	1,70	0,04			
Binnenoppervlak Rsi			0,17			

Renovatie verdiepingsvloer boven kelder						
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]			
binnenoppervlak Rsi			0,17	<b>totale R-waarde</b>	4,18	(m <sup>2</sup> .K)/W
Isolatie rotswol	0,14	0,04	3,78	<b>U Waarde</b>	0,24	W/(m <sup>2</sup> .K)
Uitvullingslaag	0,02	0,93	0,02	<b>max U waarde</b>	0,24	W/(m <sup>2</sup> .K)
Beton	0,06	1,70	0,04			
Binnenoppervlak Rsi			0,17	<b>R-waarde van opp tot opp</b>	0,06	(m <sup>2</sup> .K)/W

DAK S4 (bestaande toestand)						
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]			
buitenoppervlak			0,04	<b>totale R-waarde</b>	0,69	(m <sup>2</sup> .K)/W
Roofing	0,01	0,23	0,04	<b>U Waarde</b>	1,45	W/(m <sup>2</sup> .K)
Iso (houtwolcementplaat)	0,05	0,23	0,22	<b>max U waarde</b>	0,24	W/(m <sup>2</sup> .K)
hellingsbeton	0,05	1,30	0,04			
Iso (houtwolcementplaat)	0,05	0,23	0,22			
TT- vloer	0,06	1,70	0,04			
Binnenoppervlak			0,10			

DAK S4 (gerenoveerd met rotswol)						
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]			
buitenoppervlak			0,04	<b>totale R-waarde</b>	4,64	(m <sup>2</sup> .K)/W
Iso (Rotswol)	0,16	0,04	4,21	<b>U Waarde</b>	0,22	W/(m <sup>2</sup> .K)
hellingsbeton	0,05	1,30	0,04	<b>max U waarde</b>	0,24	W/(m <sup>2</sup> .K)
Iso (houtwolcementplaat)	0,05	0,23	0,22			
TT- vloer	0,06	1,70	0,04			
Binnenoppervlak			0,10			

DAK S4 (gerenoveerd met rotswol tot een U-waarde van 0,5 à 0,6)						
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]			
buitenoppervlak			0,04	<b>totale R-waarde</b>	2,01	(m <sup>2</sup> .K)/W
Iso (Rotswol)	0,06	0,04	1,58	<b>U Waarde</b>	0,50	W/(m <sup>2</sup> .K)
hellingsbeton	0,05	1,30	0,04	<b>max U waarde</b>	0,24	W/(m <sup>2</sup> .K)
Iso (houtwolcementplaat)	0,05	0,23	0,22			
TT- vloer	0,06	1,70	0,04			
Binnenoppervlak			0,10			

Dak boven ventilatieschachten S4 (gerenoveerd met rotswol tot een U-waarde van 0,5 à 0,6)						
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]			
Spouw (sterk geventileerd)			0,10	<b>totale R-waarde</b>	0,26	(m <sup>2</sup> .K)/W
Monolietbeton (ongewapend, ext)	0,05	1,70	0,03	<b>U Waarde</b>	3,78	W/(m <sup>2</sup> .K)
TT- vloer	0,06	1,70	0,04	<b>max U waarde</b>	0,24	W/(m <sup>2</sup> .K)
Binnenoppervlak			0,10			

Bestaande binnendeuren (Waarde bij ontstentenis TRD)		
Deur/poort	<b>U Waarde</b>	8,6 W/(m <sup>2</sup> .K)

akoestische binnenwanden (gerenoveerd)						
materiaal	dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	R [(m <sup>2</sup> .K)/W]			
buitenoppervlak			0,04	<b>totale R-waarde</b>	3,76	(m <sup>2</sup> .K)/W
gips	0,03	0,30	0,08	<b>U Waarde</b>	0,27	W/(m <sup>2</sup> .K)
spouw	0,01		0,15	<b>EPB-eis</b>	0,24	W/(m <sup>2</sup> .K)
rotswol	0,10	0,03	3,13			
spouw	0,01		0,15			
gips	0,03	0,30	0,08			
binnenoppervlak			0,13			

## Bijlage 3: Ingave constructieonderdelen in EPB-software

Gebaseerd op archiefplannen van de UGent

Kelder	m <sup>2</sup>
Borstwering S4	0,00
Venster boven borstwering	11,76
Gevelement trappenhal	9,15
Beton in gevel	6,58
Gevulde gevelvlakken	0,00
Kelderwand	249,56
Vloer op volle grond	327,30
Dak S4	0,00
Vensters traphal	0,00
Massieve buitenmuur traphalS4	39,18
Muur naar kruipkelder	72,708

Gelijkvloers	m <sup>2</sup>
Borstwering S4	74,48
Venster boven borstwering	205,52
Gevelement trappenhal	40,40
Beton in gevel	124,64
Gevulde gevelvlakken	130,00
Kelderwand	0,00
Vloer op volle grond	0,00
Dak S4	0,00
Vensters traphal	1,65
Massieve buitenmuur traphalS4	136,15
Vloer boven kruipruimte	759,1

1e verdieping	m <sup>2</sup>
Borstwering S4	93,10
Venster boven borstwering	256,90
Gevelement trappenhal	44,80
Beton in gevel	124,64
Gevulde gevelvlakken	60,00
Kelderwand	0,00
Vloer op volle grond	0,00
Dak S4	0,00
Vensters traphal	1,65
Massieve buitenmuur traphalS4	131,75

2e verdieping	m <sup>2</sup>
Borstwering S4	98,42
Venster boven borstwering	271,58
Gevelement trappenhal	44,80
Beton in gevel	124,64
Gevulde gevelvlakken	40,00
Kelderwand	0,00
Vloer op volle grond	0,00
Dak S4	0,00
Vensters traphal	1,65
Massieve buitenmuur traphalS4	131,75

3e verdieping	m <sup>2</sup>
Borstwering S4	98,42
Venster boven borstwering	271,58
Gevelement trappenhal	46,60
Beton in gevel	124,64
Gevulde gevelvlakken	40,00
Kelderwand	0,00
Vloer op volle grond	0,00
Dak S4	992,50
Vensters traphal	1,65
Massieve buitenmuur traphalS4	164,8

Dakverdieping	m <sup>2</sup>
Borstwering S4	0,00
Venster boven borstwering	20,13
Gevelement trappenhal	21,87
Beton in gevel	0,00
Gevulde gevelvlakken	0,00
Kelderwand	0,00
Vloer op volle grond	0,00
Dak S4	158,80
Vensters traphal	0,00
Massieve buitenmuur traphalS4	179,61
Plafond onder aangrenzende onv	23

## Bijlage 4: Ingave constructieonderdelen in Dymola

### Gegevens S4 - typeverdiep

Oppervlaktes elementen	
Borstwering	2,66
Venster boven borstwering	7,34
gevuld gevelvlak	10,00
Transparant deel	4,85
Fractie kader	0,34

Azimuth	°
Noord-oost	-153,00
Zuid-oost	-63,00
Zuid-west	27,00
Noord-west	117,00

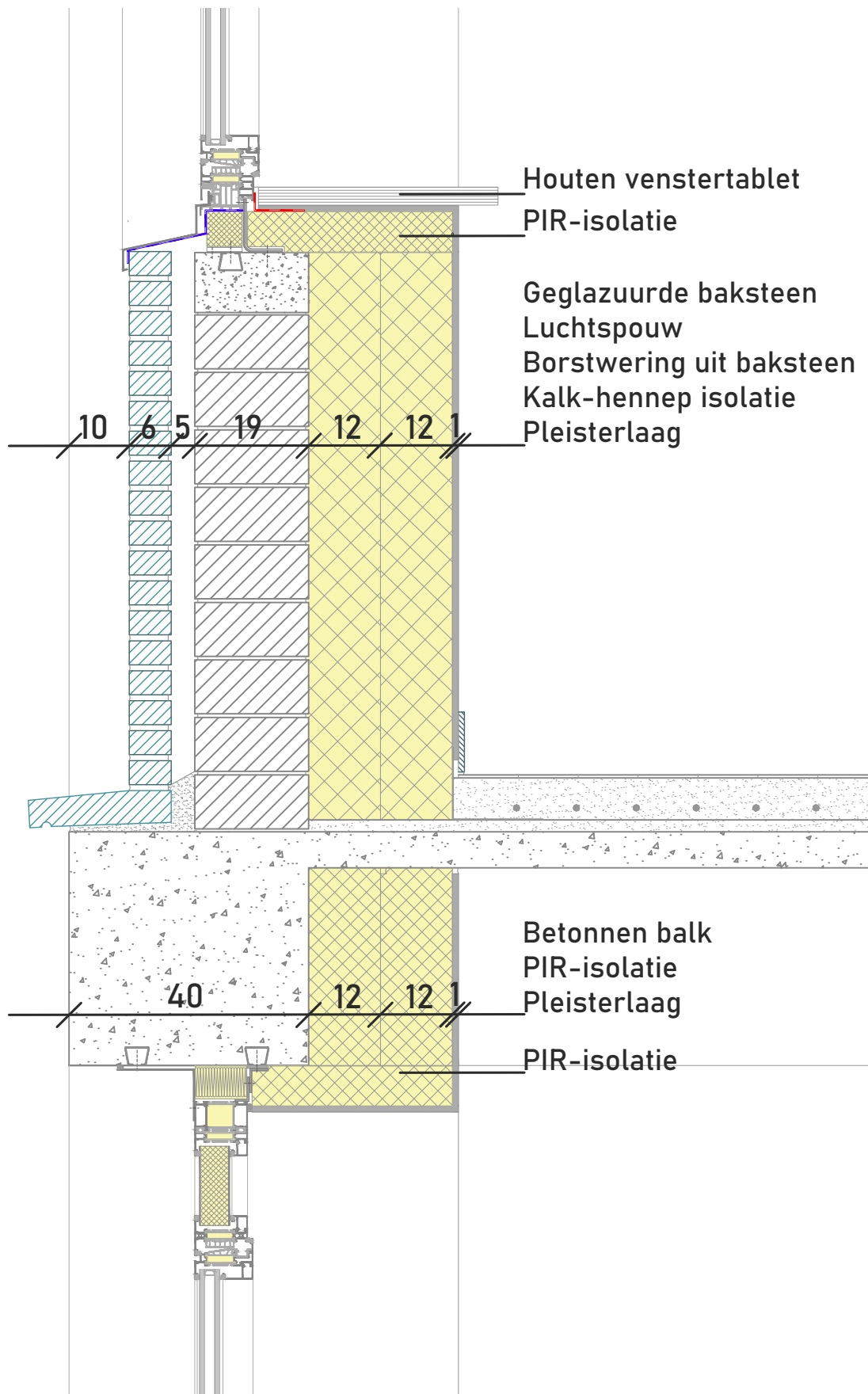
ZONE 1		Boundaries - walls	Opp [m <sup>2</sup> ]	Boundaries - Floor/Ceiling	Opp [m <sup>2</sup> ]
Oppervlak binnen	148,60	<b>NoordOost</b>		Plafond adiabatisch	164,34
Hoogte	3,89	Kolommen	16,40	Vloer adiabatisch	164,34
Volume	577,31	Bakstenen muur		Vloer volle grond	0,00
		Ramen blauw	36,70	Vloer boven kelder	0,00
		Borstwering	13,30	Dak	164,00
Bezetting (bij 1pers/2,5m)	59,44	Ramen geel			
luchtdebiet in m <sup>3</sup> /h bij 36/h*persoon	2139,84	Gevulde gevelvlakken			
Afgerond	2140,00	<b>NoordWest</b>			
		Kolommen	9,60		
luchtdebiet in kg/s	0,72	Bakstenen muur		<b>Binnenmuur</b>	
		Ramen blauw		Naar zone 2	25,96
luchtdebiet in m <sup>3</sup> /h bij 22/h*persoon	1307,68	Borstwering		Naar zone 3	13,28
Afgerond	1310,00	Ramen geel		Naar zone 4	25,96
		Gevulde gevelvlakken	30,00		
		<b>ZuidOost</b>		balken TT-gewelven	90,34
		Kolommen	9,60		
		Bakstenen muur			
		Ramen blauw	7,34		
		Borstwering	2,66		
		Ramen geel			
		Gevulde gevelvlakken	20,00	aantal scheidingsconstructies	16,00

ZONE 2		Boundaries - walls	Opp [m <sup>2</sup> ]	Boundaries - Floor/Ceiling	Opp [m <sup>2</sup> ]
Oppervlak	314,55	<b>NoordOost</b>		Plafond adiabatisch	338,78
Hoogte	3,89	Kolommen		Vloer adiabatisch	338,78
Volume	1222,03	Bakstenen muur		Vloer volle grond	
		Ramen blauw		Vloer boven kelder	
		Borstwering		Dak	344,00
Bezetting (bij 1pers/2,5m)	125,82	Ramen geel			
luchtdebiet in m <sup>3</sup> /h bij 36/h*persoon	4529,52	Gevulde gevelvlakken			
Afgerond	4530,00	<b>NoordWest</b>			
		Kolommen		Binnenmuur	
luchtdebiet in kg/s	1,51	Bakstenen muur		<b>Naar zone 1</b>	25,96
		Ramen blauw		Naar zone 3	198,70
luchtdebiet in m <sup>3</sup> /h bij 22/h*persoon	2768,04	Borstwering		Naar zone 4	
Afgerond	2770,00	Ramen geel		Naar trappenhal	25,96
		Gevulde gevelvlakken			
		<b>ZuidOost</b>		balken TT-gewelven	193,25
		Kolommen	47,52		
		Bakstenen muur		naar zone 3: breedte cavity	22,09
		Ramen blauw	117,44	hoogte cavity	3,56
		Borstwering	42,56	muur zonder cavity	120,07
		Ramen geel			
		Gevulde gevelvlakken		aantal scheidingsconstructies	10

ZONE 3		Boundaries - walls	Opp [m <sup>2</sup> ]	Boundaries - Floor/Ceiling	Opp [m <sup>2</sup> ]
Oppervlak	144,87	<b>NoordOost</b>		Plafond adiabatisch	144,87
Hoogte	3,89	Kolommen		Vloer adiabatisch	144,87
Volume	562,82	Bakstenen muur		Vloer volle grond	
		Ramen blauw		Vloer boven kelder	
Ventilatie bij 2,5m <sup>3</sup> /h*m <sup>2</sup>	362,18	Borstwering		Dak	149,88
Afgerond	365,00	Ramen geel			
		Gevulde gevelvlakken			
Luchtdebiet in kg/s	0,12	<b>NoordWest</b>			
		Kolommen			
Ventilatie bij 1,3m <sup>3</sup> /h*m <sup>2</sup>	188,33	Bakstenen muur		<b>Binnenmuur</b>	
Afgerond	190,00	Ramen blauw		Naar zone 1	13,28
		Borstwering		Naar zone 2	198,70
		Ramen geel		Naar zone 4	198,70
		Gevulde gevelvlakken		Naar trappenhal	13,28
		<b>ZuidOost</b>			
		Kolommen		balken TT-gewelven	101,73
		Bakstenen muur			
		Ramen blauw			
		Borstwering			
		Ramen geel		aantal scheidingsconstructies	8
		Gevulde gevelvlakken			
ZONE 4		Boundaries - walls	Opp [m <sup>2</sup> ]	Boundaries - Floor/Ceiling	Opp [m <sup>2</sup> ]
Oppervlak	314,55	<b>NoordOost</b>		Plafond adiabatisch	336,70
Hoogte	3,89	Kolommen		Vloer adiabatisch	336,70
Volume	1222,03	Bakstenen muur		Vloer volle grond	
		Ramen blauw		Vloer boven kelder	
		Borstwering		Dak	344,00
Bezetting (bij 1pers/2,5m)	125,82	Ramen geel			
luchtdebiet in m <sup>3</sup> /h bij 36/h*persoon	4529,52	Gevulde gevelvlakken			
Afgerond	4530,00	<b>NoordWest</b>			
		Kolommen	45,56		
luchtdebiet in kg/s	1,51	Bakstenen muur		<b>Binnenmuur</b>	
		Ramen blauw	102,76	Naar zone 1	25,96
luchtdebiet in m <sup>3</sup> /h bij 22/h*persoon	2768,04	Borstwering	37,24	Naar zone 2	
Afgerond	2770,00	Ramen geel		Naar zone 3	198,70
		Gevulde gevelvlakken	2,88	Naar trappenhal	25,96
		<b>Scheidingsmuur trappenhal</b>	19,08		
		ZuidOost		balken TT-gewelven	193,25
		Kolommen			
		Bakstenen muur		naar zone 3: breedte cavity	22,09
		Ramen blauw		hoogte cavity	3,56
		Borstwering		muur zonder cavity	120
		Ramen geel			
		Gevulde gevelvlakken		aantal scheidingsconstructies	12,00
totale oppervlaktes_Z1		totale oppervlaktes_Z3			
Kolommen	35,60	Kolommen	0,00		
Bakstenen muur	0,00	Bakstenen muur	0,00		
Ramen blauw	44,04	Ramen blauw	0,00		
Borstwering	15,96	Borstwering	0,00		
Ramen geel	0,00	Ramen geel	0,00		
Gevulde gevelvlakken	50,00	Gevulde gevelvlakken	0,00		
totale oppervlaktes_Z2		totale oppervlaktes_Z4			
Kolommen	47,52	Kolommen	45,56		
Bakstenen muur	0,00	Bakstenen muur	0,00		
Ramen blauw	117,44	Ramen blauw	102,76		
Borstwering	42,56	Borstwering	37,24		
Ramen geel	0,00	Ramen geel	0,00		
Gevulde gevelvlakken	0,00	Gevulde gevelvlakken	2,88		

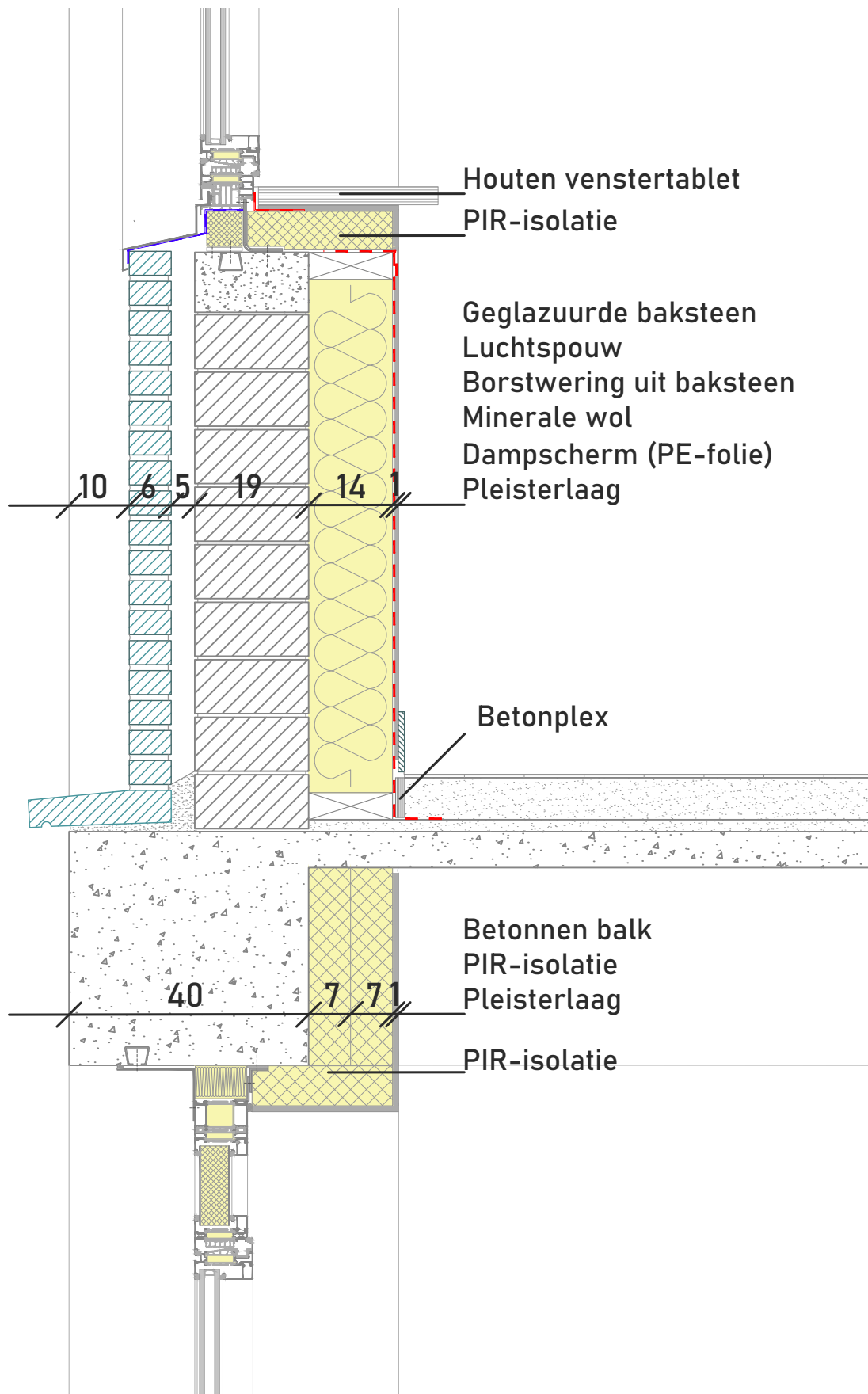
TT-gewelven: VLOERPLAAT+ MUREN		
<b>gemiddelde dikte 'muur'</b>	15,67 cm	0,16 m
hoogte T-element	0,33 m	
		<b>volume balk</b>
<b>In zone 2 en 4</b>		30,34
Per travee: T elementen	6,00	
Lengte muur tot muur	6,10 m	
Totaal oppervlak per travee	12,08 m <sup>2</sup>	
aantal traveeën	16,00	
totaal muuroppervlak zone	193,25 m <sup>2</sup>	
<b>In zone 1</b>		14,18
Per travee: T elementen	6,00	
Lengte muur tot muur	9,13	
Totaal oppervlak per travee	18,07	
aantal traveeën	5,00	
totaal muuroppervlak zone	90,34	
<b>In zone 3</b>		15,97
T-elementen over de breedte	6,00	(balk maar van midden tot midden)
Lengte zone	51,38 m	
Totaal oppervlak zone	101,73 m <sup>2</sup>	

Bijlage 5: Details van de renovatie van de constructieonderdelen, schaal 1/10

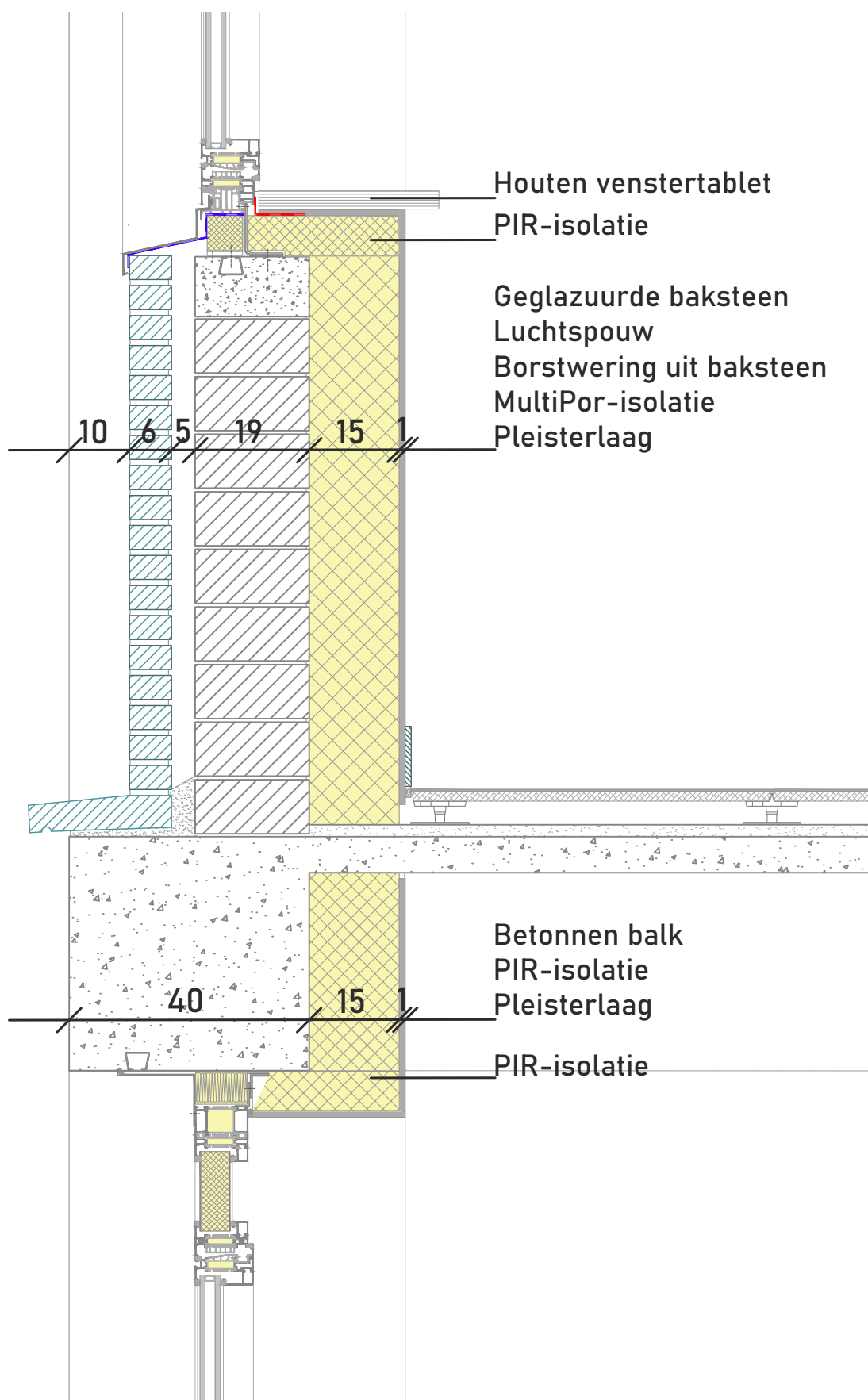


Figuur 202: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. kalk-hennep isolatie. Schaal 1/10

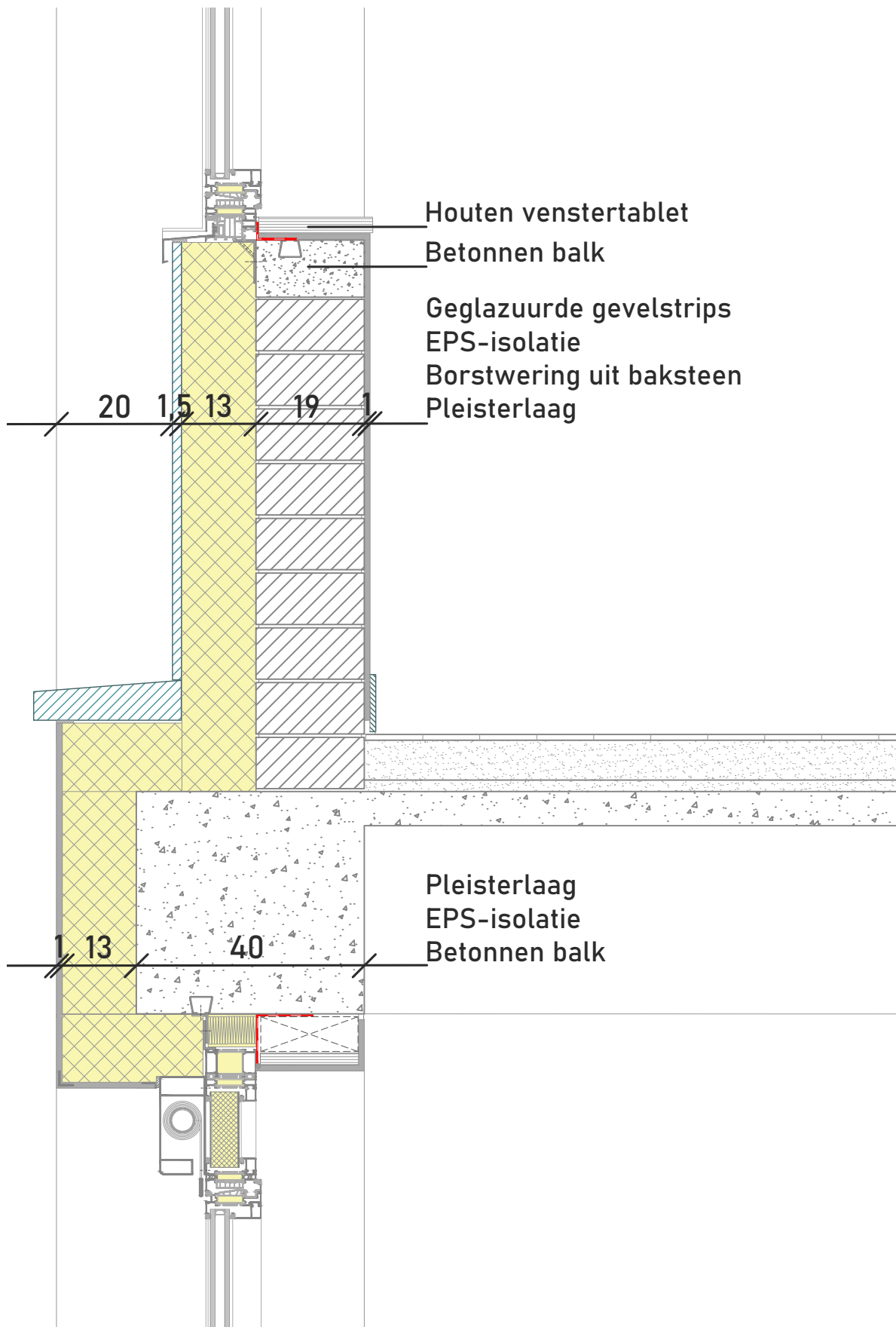




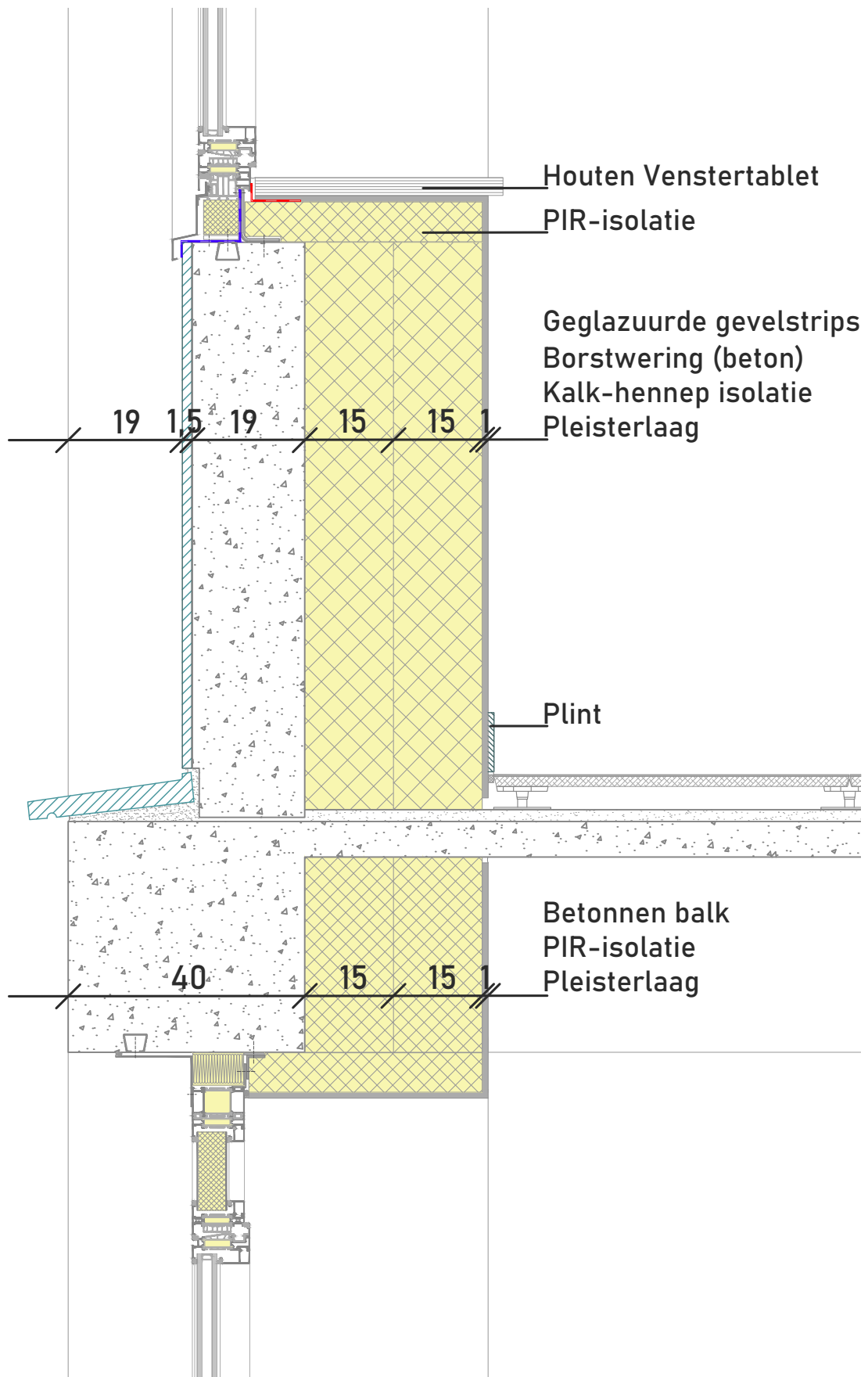
Figuur 203: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. een houten voorzetwand (met minerale wol) schaal 1/10



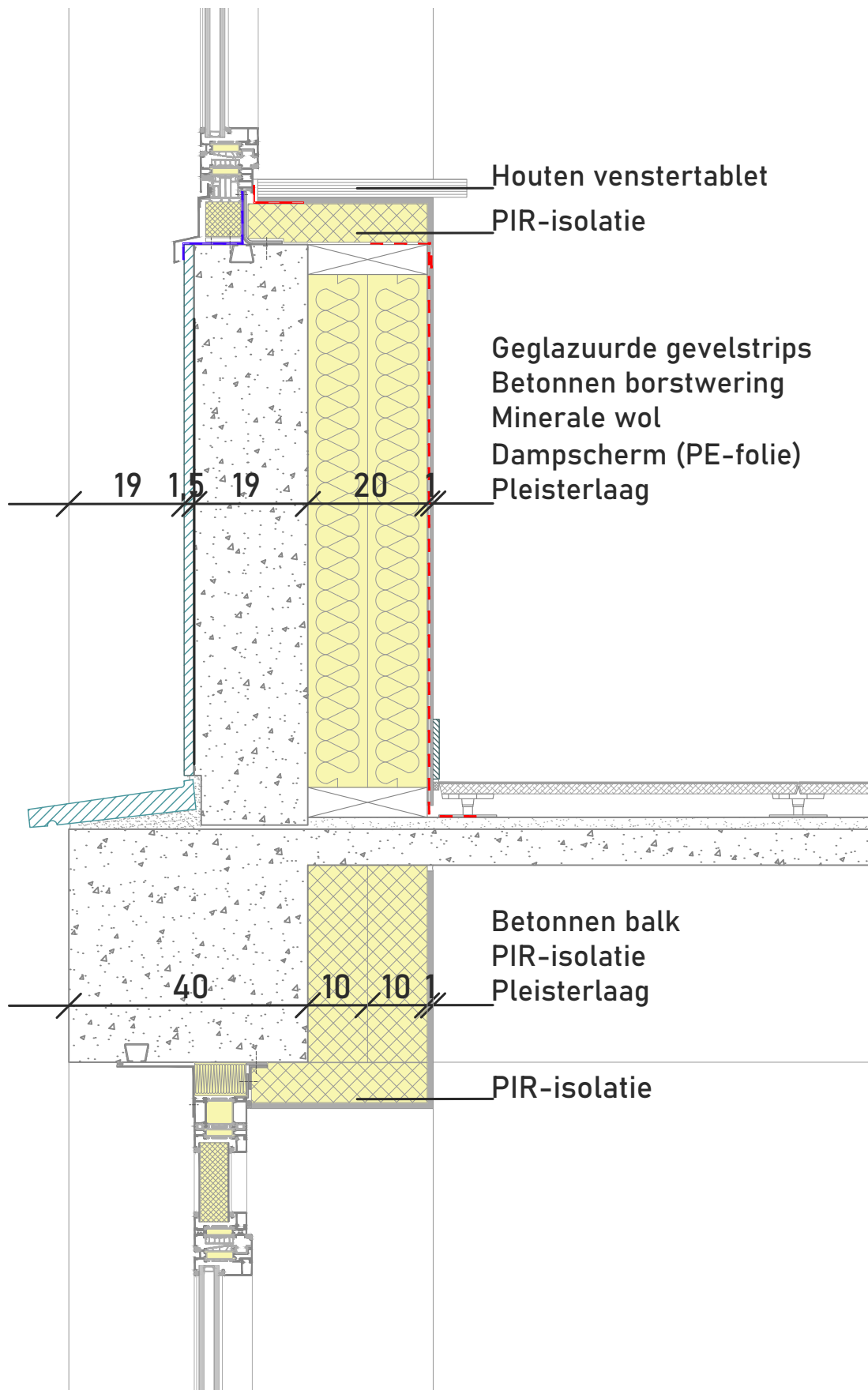
Figuur 204: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. Multipor, schaal 1/10



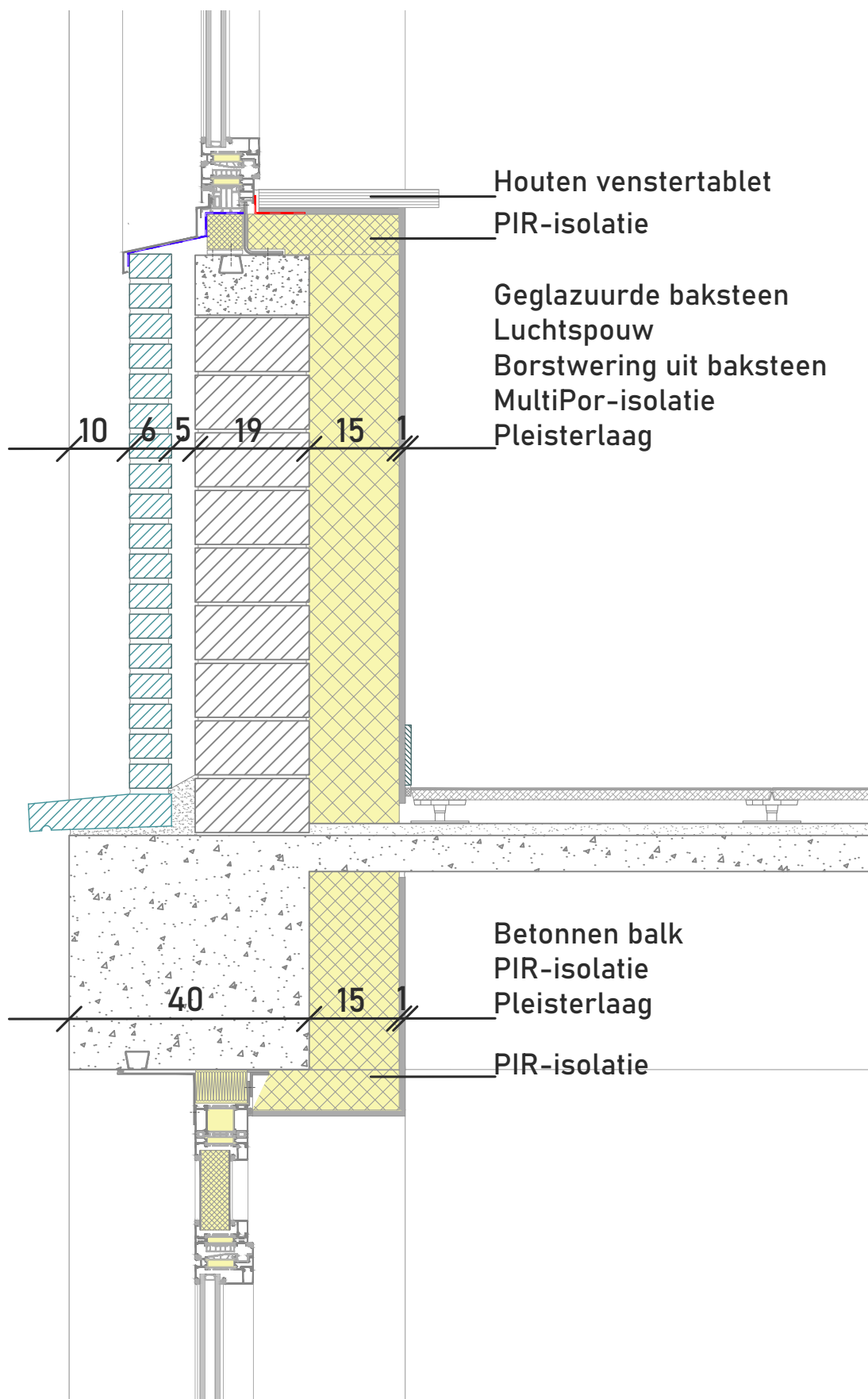
Figuur 205: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren a.d.h.v. ETICS. Schaal 1/10



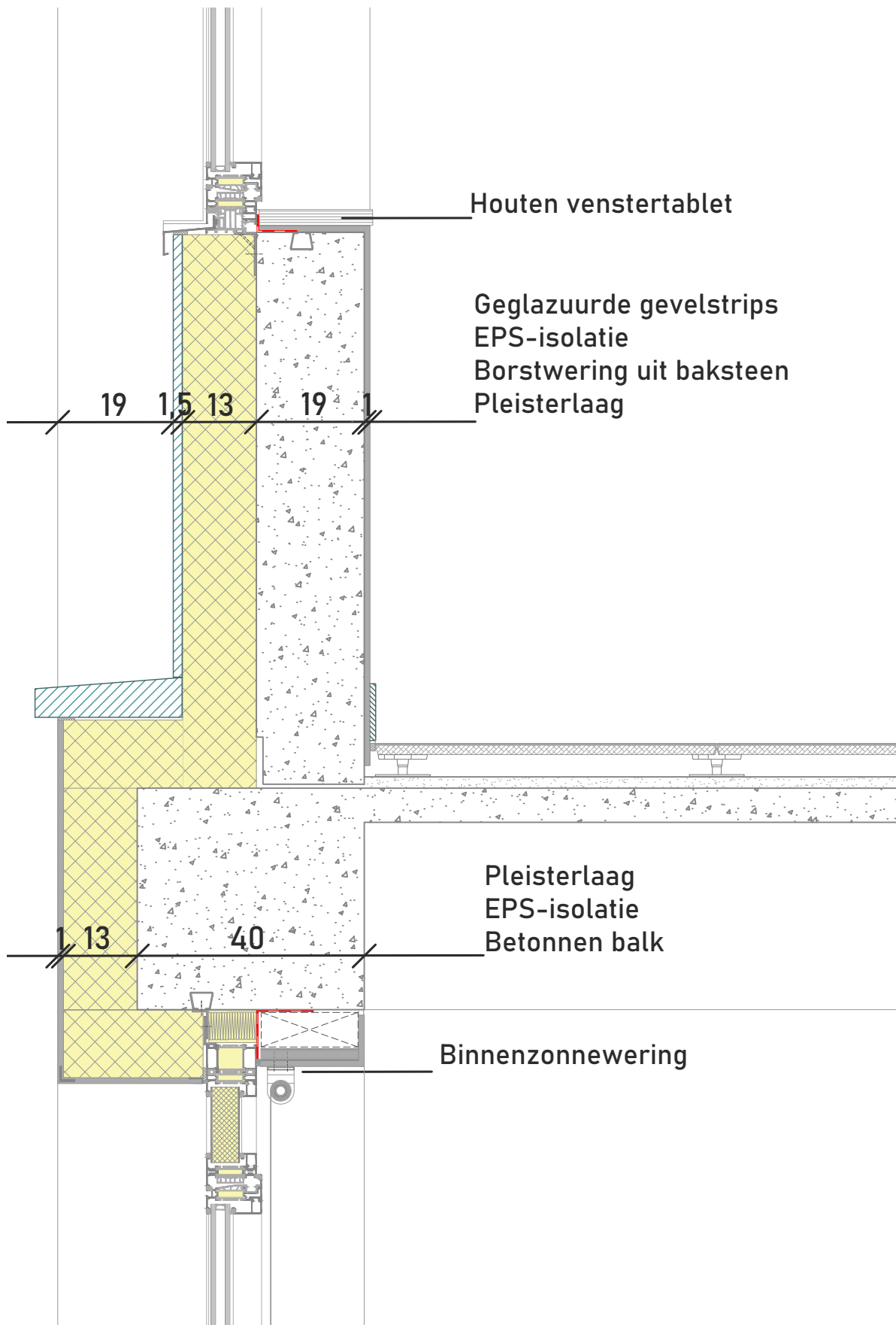
Figuur 206: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4bis na isoleren m.b.v. kalk-hennep isolatie. Schaal 1/10



Figuur 207: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4bis na isoleren m.b.v. een houten voorzetwand (met minerale wol), schaal 1/10



Figuur 208: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4bis na isoleren m.b.v. Multipor. Schaal 1/10



Figuur 209: Verticale doorsnede van de borstwering in de S4 na isoleren m.b.v. kalk-hennep isolatie. Schaal 1/10

## Bijlage 6: Berekeningen van de U-waarden van de heterogene laag bij het na-isoleren van de draagstructuur

Eigenschappen		Onderwaarde			Onderwaarde	
		dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	$R$ [(m <sup>2</sup> .K)/W]	R' <sup>t</sup>	(m <sup>2</sup> .K)/W
dikte niet- homogene laag	fractie beton	1,35				
	fractie isolatie	0,20		0,04		
lambda waarde kalkhennepisolatie	fractie isolatie	0,80		0,18		
	fractie kalkhennepisolatie	0,07	2,20	3,38	1/R' <sup>t</sup>	0,22 W/(m <sup>2</sup> .K)
lambda waarde beton	fractie beton	1,70		0,02		
	fractie kalkhennepisolatie	0,01	0,52	0,02	R' <sup>t</sup>	4,60 (m <sup>2</sup> .K)/W
R_beton		0,79				
R_iso		18,24			Totaal	
Rt_beton		1,15			Rt	4,18 (m <sup>2</sup> .K)/W
Rt_iso isolatie		18,61			U	0,24 W/(m <sup>2</sup> .K)

Eigenschappen		Onderwaarde			Onderwaarde	
		dikte d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	$R$ [(m <sup>2</sup> .K)/W]	R' <sup>t</sup>	(m <sup>2</sup> .K)/W
dikte niet- homogene laag	fractie beton	1,25				
	fractie isolatie	0,20		0,04		
lambda waarde Multipor	fractie isolatie	0,80		0,18		
	fractie Multipor	0,04	2,20	3,34	1/R' <sup>t</sup>	0,21 W/(m <sup>2</sup> .K)
lambda waarde beton	fractie beton	1,70		0,02		
	fractie kalkhennepisolatie	0,01	0,52	0,02	R' <sup>t</sup>	4,74 (m <sup>2</sup> .K)/W
R_beton		0,74				
R_iso		29,07			Totaal	
Rt_beton		1,09			Rt	4,22 (m <sup>2</sup> .K)/W
Rt_iso isolatie		29,44			U	0,24 W/(m <sup>2</sup> .K)



## Bijlage 7: Berekeningen $n_{50}$ -waarde bij een gevelrenovatie van enkel de opake delen

Volgens NBN EN 12207

Berekening verschil in infiltratievoud bij renovatie schrijnwerk				
Totale verliesoppervlakte (EPB)		5811,90		
aantal kelderramen	39,00			
aantal ramen boven borstwering	135,00			
aantal ramen trapkokers	17,00			
Aantal toegangsdeuren	3,00			
			luchtdoorlatendheid oud schijnwerk	luchtdoorlatendheid nieuw schijnwerk
Aantal m omranding <b>opengaand</b> raam <b>manueel</b> (gebouw)	1117,80	m	8802,68	527,60
Aantal m omranding <b>opengaand</b> raam <b>automatisch</b> (gebouw)	923,40	m	7271,78	435,84
aantal m omrading raam <b>dicht</b> (gebouw)		m	0,00	0,00
Aantal m omranding <b>opengaand</b> raam <b>manueel</b> (traphal)	184,96	m	1456,56	87,30
aantal m omrading raam <b>open</b> (trappenhal)	116,28		915,71	54,88
aantal m omrading raam <b>dicht</b> (trappenhal)		m		
aantal m omranding raam <b>dicht</b> (kelder)		m	0,00	0,00
aantal m omrandign deuren	30,30		238,61	14,30
som lekdebiet ramen oud	18685,33			
som lekdebiet ramen vernieuwd	1119,93			
	<b>verschil</b>		17565,39	
	<b>bijhorende n50 van het verschil</b>		0,91	

Berekening lekdebiet	
met D moet n50 van 1 gehaald worden	1,00
Volume gebouw	19269,17
gebouwcompactheid	3,32
v50	3,32

## Bijlage 8: Berekeningen nagalmtijd

### Berekening nagalmtijd zone 1 zonder akoestische maatregelen

Materiaal	Oppervlak S [m <sup>2</sup> ]		Absorptiecoëfficiënt $\alpha$   Equivalente absorptieoppervlak A [m <sup>2</sup> ]				
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Glas		$\alpha$	0,10	0,05	0,03	0,02	0,02
	29,10	A [m <sup>2</sup> ]	2,91	1,46	0,87	0,58	0,58
Pleister		$\alpha$	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04
	142,45	A [m <sup>2</sup> ]	2,85	2,85	2,85	4,27	5,70
Stenen vloer		$\alpha$	0,02	0,00	0,02	0,00	0,05
	148,60	A [m <sup>2</sup> ]	2,97	0,00	2,97	0,00	7,43
Betonnen TT-gewelven		$\alpha$	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04
	336,05	A [m <sup>2</sup> ]	6,72	10,08	10,08	10,08	13,44
<b>Formule van Sabine</b>							
equivalent absorptieoppervlak			15,45	14,39	16,78	14,94	27,15
Volume [m <sup>3</sup> ]	563,66						
$T=0,16*(V/A)$			5,84	6,27	5,38	6,04	3,32
Tnom	4,91						
<b>Tmean</b>		<b>5,71</b>					

### Berekening nagalmtijd zone 1 met akoestische plafonds

Materiaal	Oppervlak S [m <sup>2</sup> ]		Absorptiecoëfficiënt $\alpha$   Equivalente absorptieoppervlak A [m <sup>2</sup> ]				
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Glas		$\alpha$	0,10	0,05	0,03	0,02	0,02
	29,10	A [m <sup>2</sup> ]	2,91	1,46	0,87	0,58	0,58
Pleister		$\alpha$	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04
	142,45	A [m <sup>2</sup> ]	2,85	2,85	2,85	4,27	5,70
Stenen vloer		$\alpha$	0,02	0,00	0,02	0,00	0,05
	148,60	A [m <sup>2</sup> ]	2,97	0,00	2,97	0,00	7,43
Betonnen TT-gewelven		$\alpha$	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04
	336,05	A [m <sup>2</sup> ]	6,72	10,08	10,08	10,08	13,44
Plafondeiland (30)		$A_{eq}$ per element [m <sup>2</sup> ]	0,70	1,80	2,80	3,70	3,90
		A [m <sup>2</sup> ]	21	54	84	111	117
<b>Formule van Sabine</b>							
equivalent absorptieoppervlak			36,45	68,39	100,78	125,94	144,15
Volume [m <sup>3</sup> ]	563,66						
$T=0,16*(V/A)$			2,47	1,32	0,89	0,72	0,63
Tnom	0,75						
<b>Tmean</b>		<b>0,81</b>					

### Berekening nagalmtijd zone 1 met linoleum vloer

Materiaal	Oppervlak S [m <sup>2</sup> ]		Absorptiecoëfficiënt $\alpha$   equivalente absorptieoppervlak [m <sup>2</sup> ]				
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Glas		$\alpha$	0,10	0,05	0,03	0,02	0,02
	29,10	A [m <sup>2</sup> ]	2,91	1,46	0,87	0,58	0,58
Pleister		$\alpha$	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04
	142,45	A [m <sup>2</sup> ]	2,85	2,85	2,85	4,27	5,70
Linoluem vloer		$\alpha$	0,02	0,04	0,05	0,05	0,10
	148,60	A [m <sup>2</sup> ]	2,97	5,94	7,43	7,43	14,86
Betonnen TT-gewelven		$\alpha$	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04
	336,05	A [m <sup>2</sup> ]	6,721	10,0815	10,0815	10,0815	13,442
<b>Formule van Sabine</b>							
equivalent absorptieoppervlak			15,45	20,33	21,23	22,37	34,58
Volume [m <sup>3</sup> ]	563,66						
$T=0,16*(V/A)$			5,84	4,44	4,25	4,03	2,61
Tnom	3,63						
<b>Tmean</b>		<b>4,14</b>					

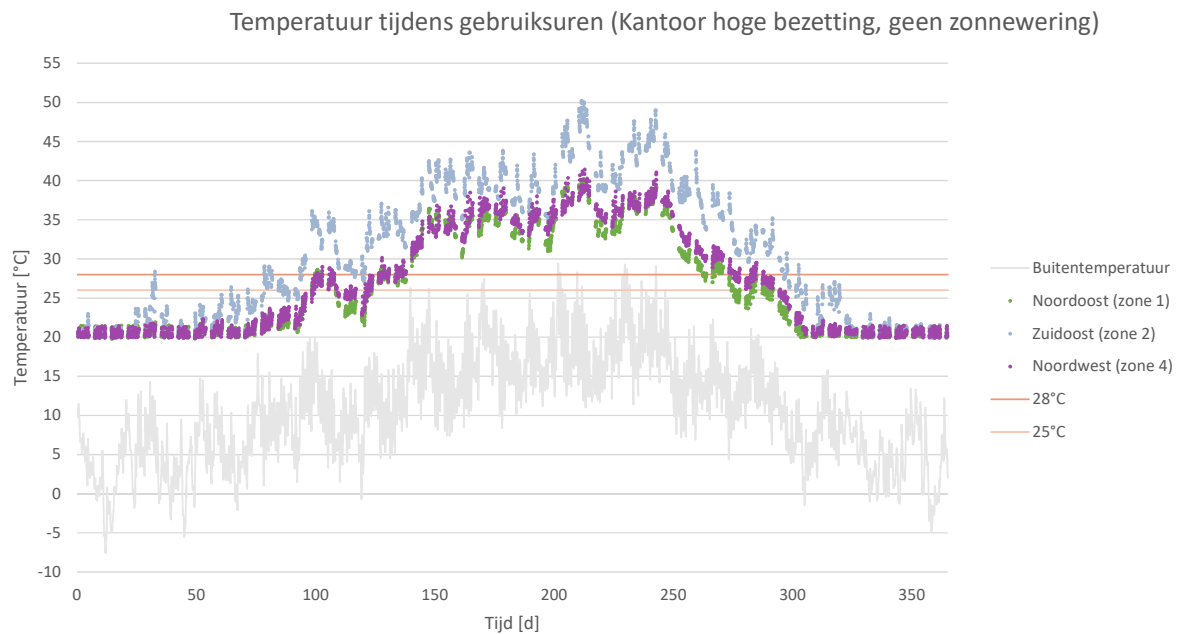
**Berekening nagalmtijd zone 1 met linoleum vloer en akoestische eilanden**

Materiaal	Oppervlak S [m <sup>2</sup> ]		Absorptiecoëfficiënt $\alpha$   equivalente absorptieoppervlak [m <sup>2</sup> ]				
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Glas		$\alpha$	0,10	0,05	0,03	0,02	0,02
	29,10	A [m <sup>2</sup> ]	2,91	1,46	0,87	0,58	0,58
Pleister		$\alpha$	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04
	142,45	A [m <sup>2</sup> ]	2,85	2,85	2,85	4,27	5,70
Linoleum vloer		$\alpha$	0,02	0,04	0,05	0,05	0,10
	148,60	A [m <sup>2</sup> ]	2,97	5,94	7,43	7,43	14,86
Betonnen TT-gewelven		$\alpha$	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04
	336,05	A [m <sup>2</sup> ]	6,72	10,08	10,08	10,08	13,442
Plafondeiland (30)			21	54	84	111	117
<b>Formule van Sabine</b>							
equivalent absorptieoppervlak			36,45	74,33	105,23	133,37	151,58
Volume [m <sup>3</sup> ]	563,66						
$T=0,16*(V/A)$			2,47	1,21	0,86	0,68	0,59
<b>Tnom</b>		<b>0,71</b>					
<b>Tmean</b>		<b>0,77</b>					

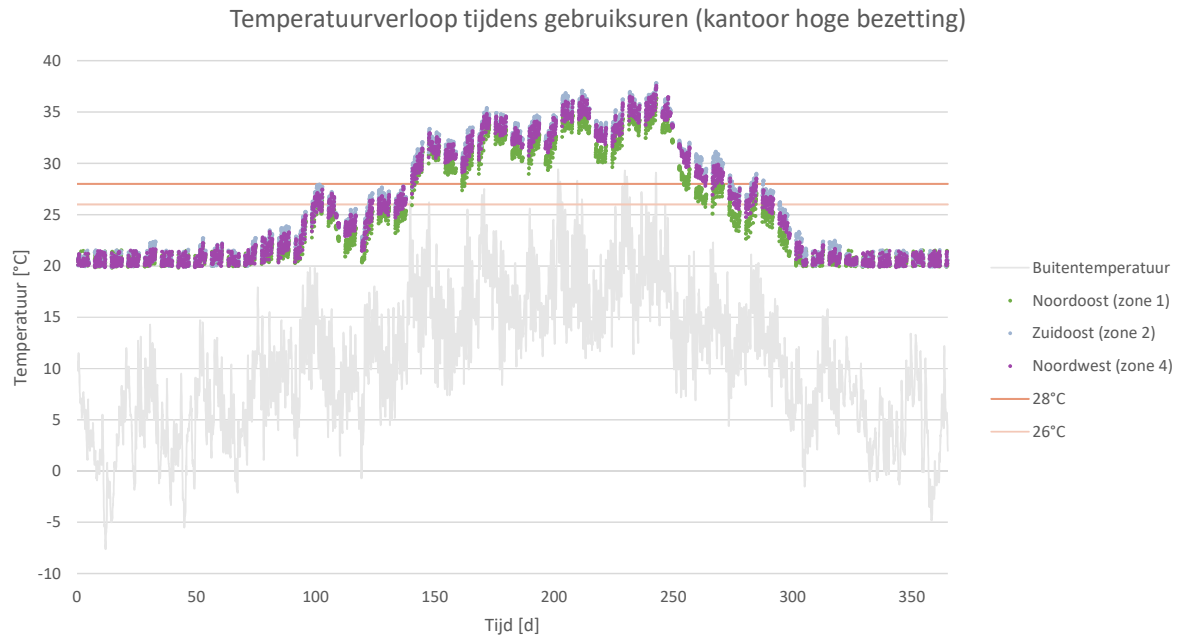
**Berekening nagalmtijd zone 1 met tapijt en akoestische eilanden**

Materiaal	Oppervlak S [m <sup>2</sup> ]		Absorptiecoëfficiënt $\alpha$   equivalente absorptieoppervlak [m <sup>2</sup> ]				
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Glas		$\alpha$	0,10	0,05	0,03	0,02	0,02
S [m <sup>2</sup> ]	29,10	A [m <sup>2</sup> ]	2,91	1,46	0,87	0,58	0,58
Pleister		$\alpha$	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04
S [m <sup>2</sup> ]	142,45	A [m <sup>2</sup> ]	2,85	2,85	2,85	4,27	5,70
Tapijt		$\alpha$	0,05	0,10	0,30	0,70	0,90
S [m <sup>2</sup> ]	148,60	A [m <sup>2</sup> ]	7,43	14,86	44,58	104,02	133,74
Betonnen TT-gewelven		$\alpha$	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04
S [m <sup>2</sup> ]	336,05	A [m <sup>2</sup> ]	6,72	10,08	10,08	10,08	13,442
Plafondeiland (30)			21	54	84	111	117
<b>Formule van Sabine</b>							
equivalent absorptieoppervlak			40,91	83,25	142,38	229,96	270,46
Volume [m <sup>3</sup> ]	563,66						
$T=0,16*(V/A)$			2,20	1,08	0,63	0,39	0,33
<b>Tnom</b>		<b>0,45</b>					
<b>Tmean</b>		<b>0,51</b>					

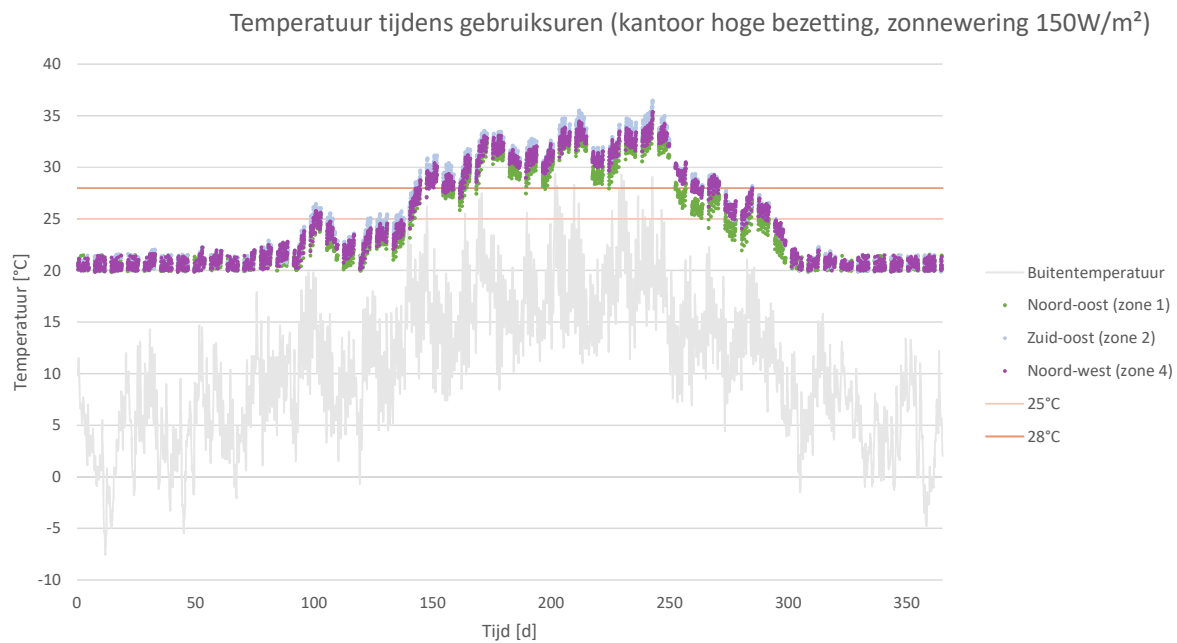
## Bijlage 9: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd voor verschillende scenario's op vlak van beglazing en zonnewering bij kantoren met hoge bezetting



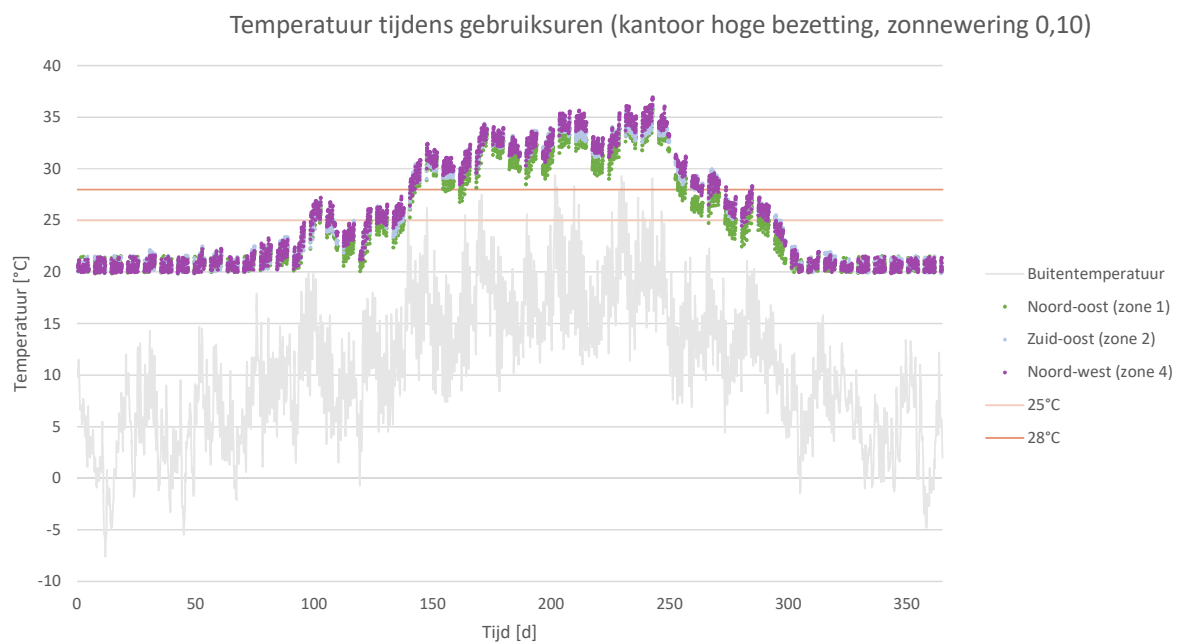
Figuur 210: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor kantoren met hoge bezetting, zonder zonnewering



Figuur 211: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor kantoren met hoge bezetting in het standaardrenovatiescenario

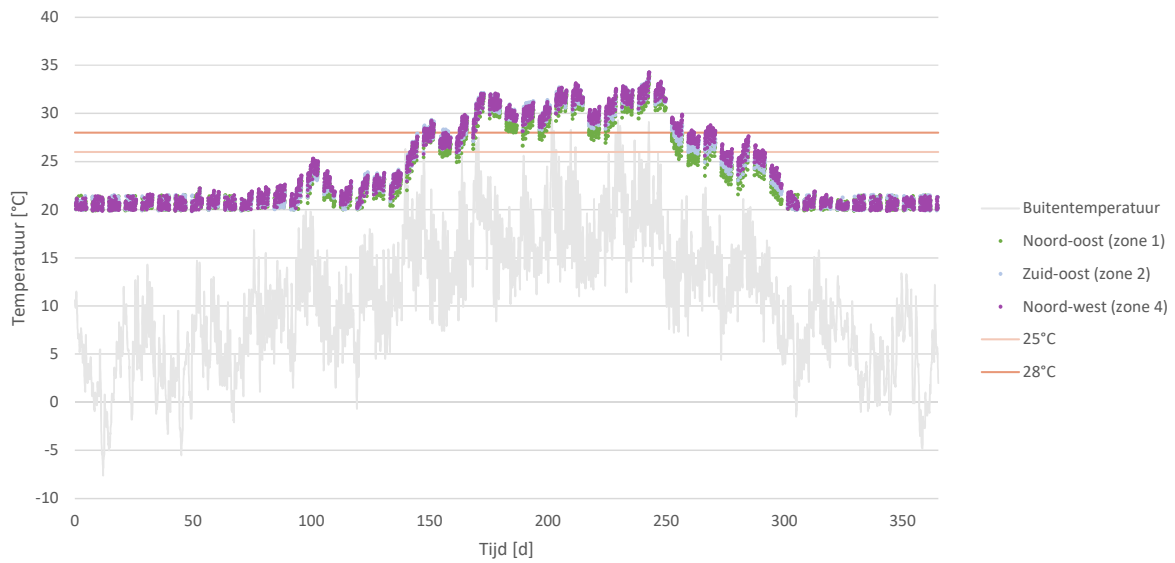


Figuur 212: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor kantoren met hoge bezetting, waarbij de zonnewering omlaag gaat bij 150 W/m<sup>2</sup> zonnestraling



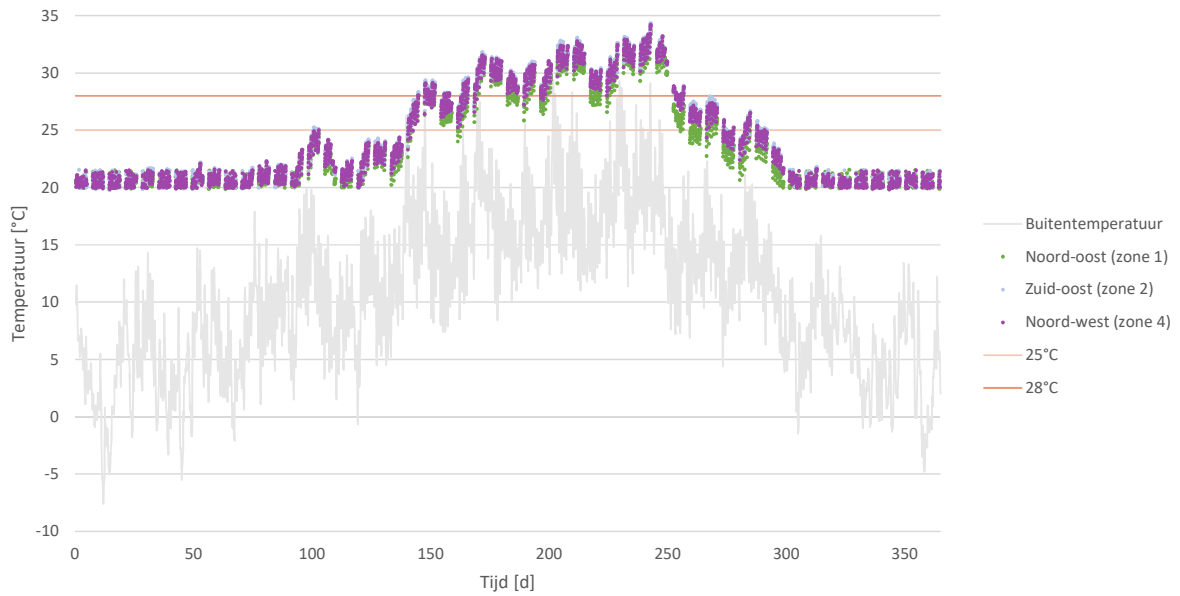
Figuur 213: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor kantoren met hoge bezetting, met een transmissie van de kortegolfengtestraling van 10% voor de zonnewering

Temperatuur tijdens gebruiksuren (kantoor hoge bezetting, zonnewering 0,10 & 150 W/m<sup>2</sup>)



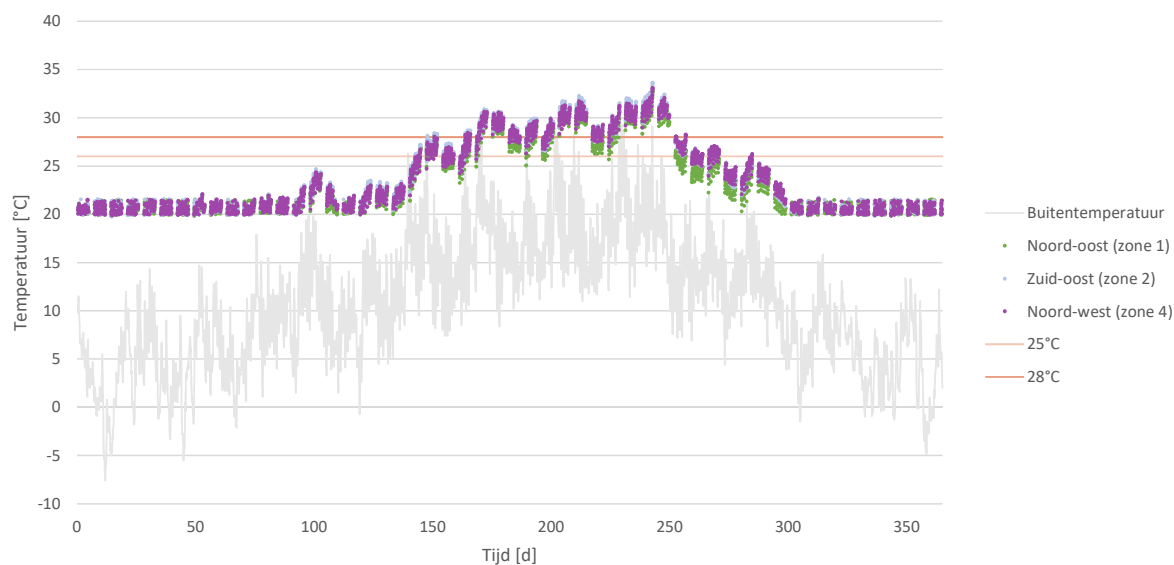
Figuur 214: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor kantoren met hoge bezetting, waarbij de zonnewering omlaag gaat bij 150 W/m<sup>2</sup> zonnestraling, met een transmissie van de kortegolfengtestraling van 10% voor de zonnewering

Temperatuur tijdens gebruiksuren (Kantoor hoge bezetting, g-waarde glas 0,28)



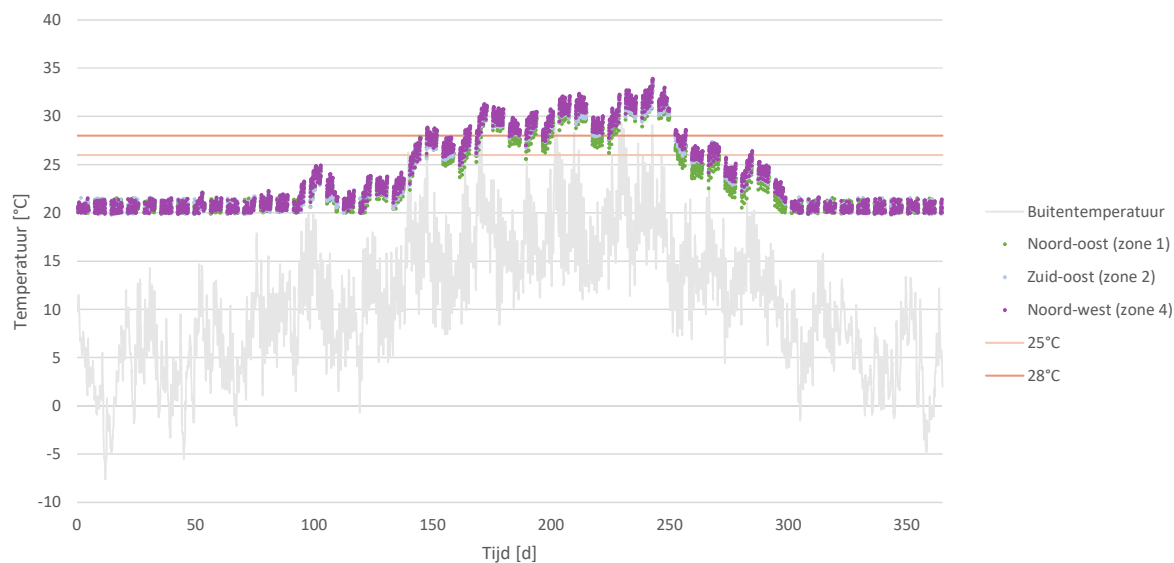
Figuur 215: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor kantoren met hoge bezetting, met een g-waarde voor het glas van 0,28

Temperatuur tijdens gebruiksuren (kantoor hoge bezetting, g-waarde glas 0,28, zonnewering 150 W/m<sup>2</sup>)



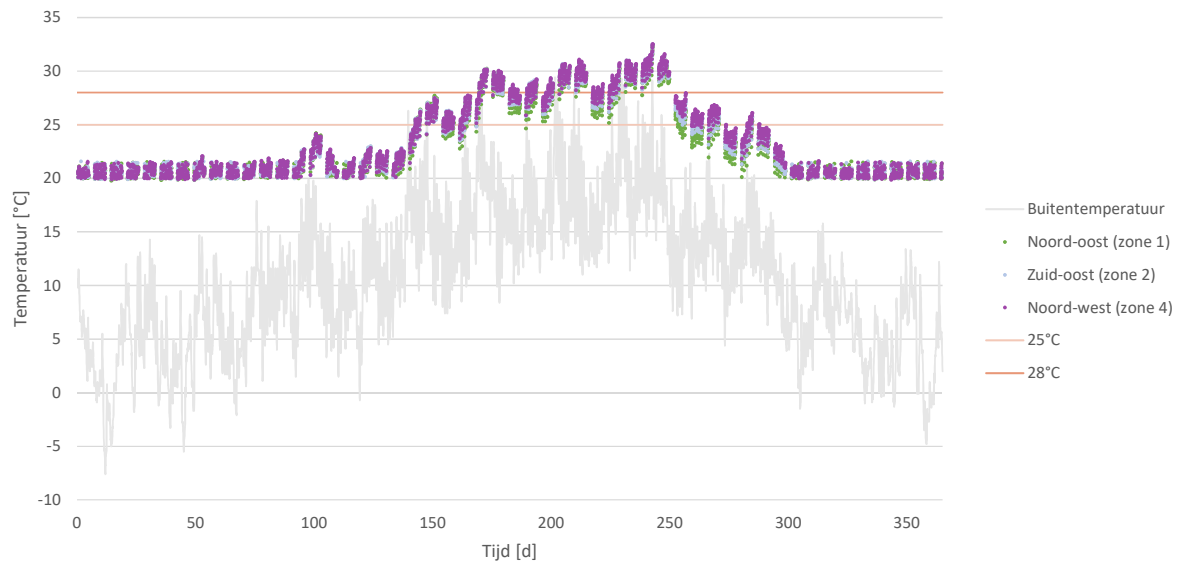
Figuur 216: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor kantoren met hoge bezetting met een g-waarde van het glas van 0,28 en waarbij de zonnewering omlaag gaat bij 150 W/m<sup>2</sup> zonnestraling

Temperatuur tijdens gebruiksuren (kantoor hoge bezetting, g-waarde glas 0,28, zonnewering 0,10)



Figuur 217: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor kantoren met hoge bezetting, met een g-waarde voor het glas van 0,28 en met een transmissie van de kortegolfengtestraling van 10% voor de zonnewering

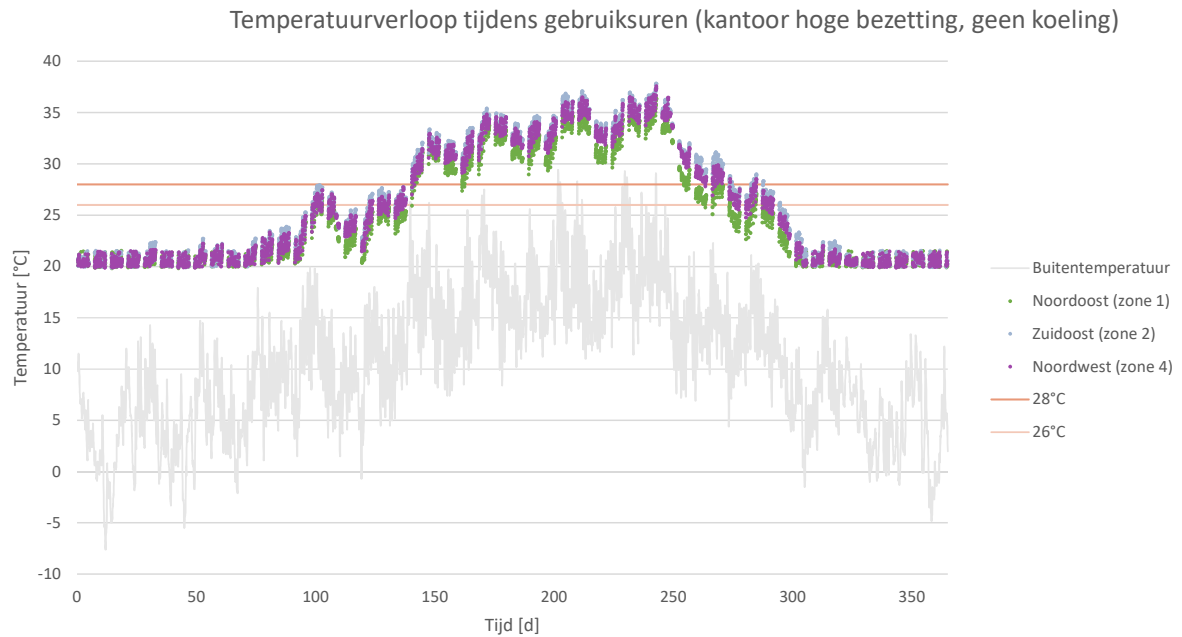
Temperatuur tijdens gebruiksuren (kantoor hoge bezetting, g-waarde glas 0,28, zonnewering 0,10 & 150 W/m<sup>2</sup>)



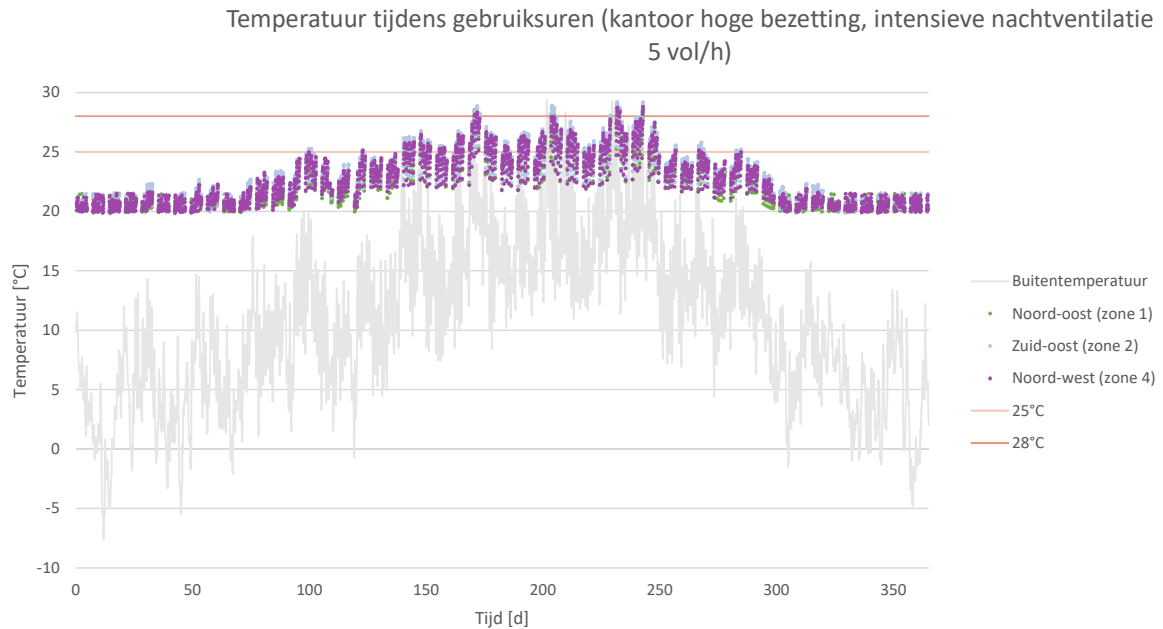
Figuur 218: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor kantoren met hoge bezetting met een g-waarde van het glas van 0,28, waarbij de zonnewering omlaag gaat bij 150 W/m<sup>2</sup> zonnestraling en met een transmissie van de kortegolflengtestraling van 10% voor de zonnewering



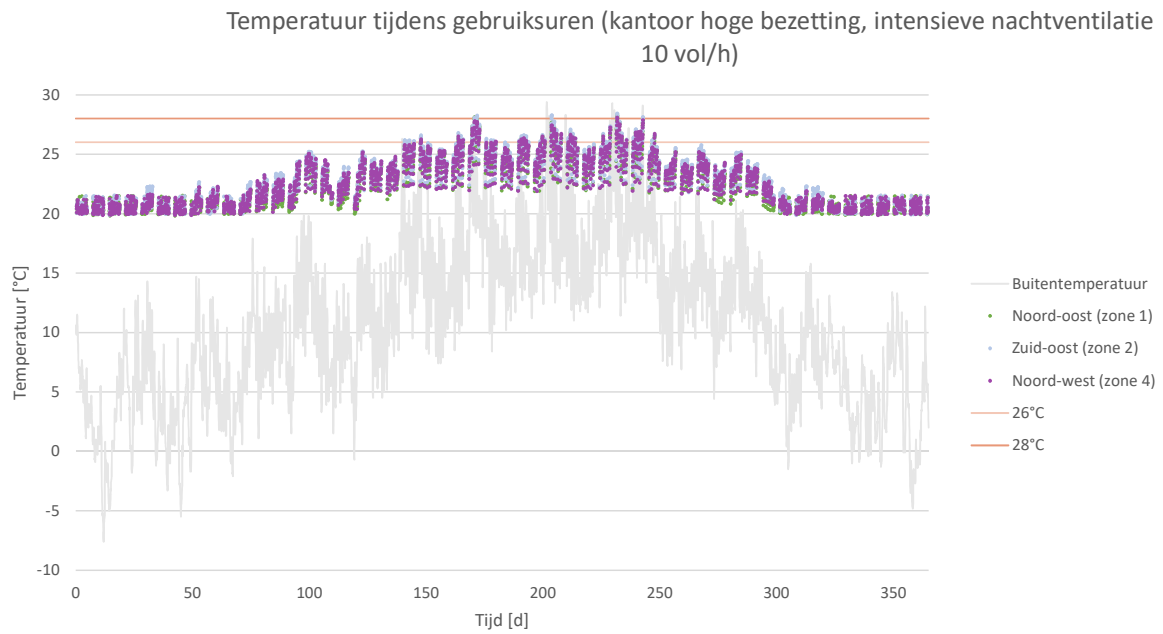
## Bijlage 10: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd voor verschillende scenario's met passieve koeling bij kantoren met hoge bezetting



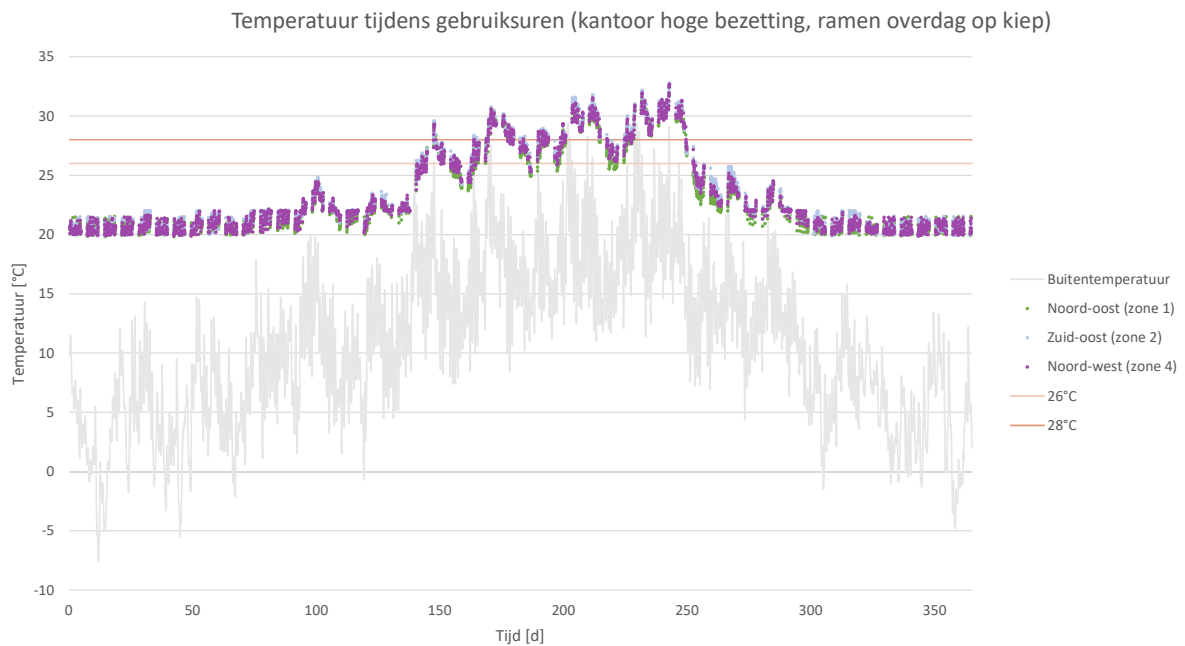
Figuur 219: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor kantoren met hoge bezetting zonder koeling



Figuur 220: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor kantoren met hoge bezetting met intensieve nachtventilatie van 5 vol/h

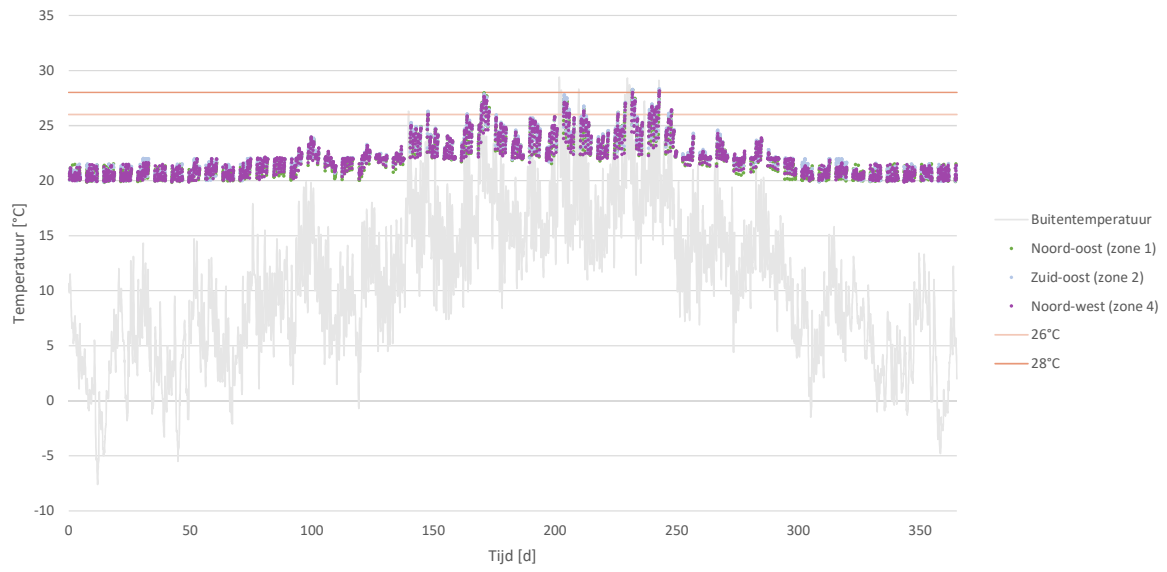


Figuur 221: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor kantoren met intensieve nachtventilatie van 10 vol/h



Figuur 222: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor kantoren met hoge bezetting met de ramen overdag op kiep

Temperatuur tijdens gebruiksuren (kantoren hoge bezetting, ramen overdag op kiep + intensieve nachtventilatie 5 vol/h)



Figuur 223: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd gedurende een jaar voor kantoren met de ramen overdag op kiep en intensieve nachtventilatie van 5 vol/h

## Bijlage 11: Temperatuurverloop tijdens gebruikstijd voor laboratoria met 10 vol/h bij gebruik van een systeem C

