

AFWEGINGSKADER VOOR HET HERSTEL EN
DE VERSTEVIGING VAN HOUTEN VLOEREN
IN HISTORISCH WAARDEVOLLE GEBOUWEN

ir. arch. Jana De Borger

Promotoren:
arch. Philippe Lemineur
dr. ir. arch. Gert Heirman

MSc Erfgoedstudies
Academiejaar 2018-2019

Cover Begijnhofwoning Symforosastraat 8, Lier (Triconsult, 2017).
Vloer met houten kinderbalken en troggewelven.
Versteving van kinderbalken met verlijmde en geboute staalplaten.

ABSTRACT

Historisch waardevolle gebouwen moeten in veel gevallen aangepast worden aan de hedendaagse gebruiken en levenswijze, om hun voortbestaan te waarborgen. Veranderd gebruik en daarmee vaak ook veranderde belastingen hebben een invloed op de draagstructuur en in het bijzonder op de draagvloeren in deze erfgoedgebouwen. Er wordt gefocust op houten draagvloeren. Voor monumenten worden er uitzonderingen mogelijk gemaakt om de erfgoedwaarden maximaal te behouden, op vlak van klimatiseren, energieprestatie, brandveiligheid, akoestiek en toegankelijkheid. Op het gebied van het structureel veiligheidsniveau worden echter geen officiële uitzonderingen of afwijkingen van de norm toegestaan. Het kan noodzakelijk zijn om de in te rekenen belasting op historische vloeren bij restauratie te verhogen, denk bijvoorbeeld aan de reconversie van stadspaleis naar museum of de toevoeging van technieken op zoldervloeren voor het klimatiseren van een openbaar gebouw. Wanneer er een bouwvergunning wordt gegeven aan een (erfgoed)gebouw, moet worden voldaan aan de hedendaagse normen, de Eurocode. Verder kunnen herstellingen en/of verstevigingen nodig zijn door degradatie van de structuur. De betrokken stabiliteitsingenieur zal voor de berekeningen ook de Eurocode hanteren. In de praktijk worden vanuit de kennis die werd vergaard tijdens het vooronderzoek en op basis van structurele berekeningen, een aantal verstevigingstechnieken onderling afgewogen. De bestaande verstevigingstechnieken worden samengevat. Om de besluitvorming te ondersteunen en tot een onderbouwde keuze te leiden, wordt een kader van afwegingsprincipes opgesteld. Bij deze opmaak zijn twee normdocumenten van groot belang: de *ISCARSAH-principles for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage* en erfgoedbijlage I van de internationale norm ISO 13822.2010: *Bases for design of structures – Assessment of existing structures*. Uit de analyse van deze principes en van praktijkvoorbeelden kan worden vastgesteld dat een aantal afwegingselementen terugkeren bij de besluitvorming. De categorisering van deze elementen leidt tot elf afwegingsprincipes, hanteerbaar voor besluitvorming rond structurele ingrepen in de restauratiepraktijk. De afwegingsprincipes houden rekening met de van belang zijnde erfgoedwaarden voor houten draagvloeren, die eveneens via voorbeelden worden afgeleid. Onder de vorm van een procedurediagram wordt de implementatie van de afwegingsprincipes en besluitvorming binnen een restauratieproject weergegeven. Het procedurediagram is opgebouwd volgens de opeenvolging van anamnese, therapie, diagnose en controle, die in ideale omstandigheden komen kijken bij een restauratieproject met structurele. Het diagram geeft aan waar de afwegingsprincipes gesitueerd zijn in het proces en zullen helpen bij de besluitvorming.

Sleutelwoorden: erfgoed, draagstructuur, hout, vloer, herstel, versteviging, normering, besluitvorming.

DANKWOORD

Mijn grootste dank gaat uit naar promotors Philippe Lemineur en Gert Heirman voor de zinvolle insteken, het aanreiken van voorbeeldprojecten en onmisbare informatie, het beantwoorden van al mijn vragen en het onvoorwaardelijk geven van constructieve feedback, zelfs tijdens vakantieperiodes.

In het bijzonder zou ik ook Aurélie Vermijlen willen bedanken voor alle bruikbare informatie, het beantwoorden van al mijn vragen over stabiliteit en enkele case studies, en haar enthousiasme over het thesisonderwerp.

Een welgemeende merci aan Michel Provost, voor de brainstormsessies en informatie i.v.m. verstevigingstechnieken in historisch waardevolle gebouwen.

Graag zou ik ook Erik Hendrickx en Griet Bronselaer bedanken voor de informatie rond de verstevigingen van vloeren die momenteel in uitvoering zijn door Origin.

Mijn dank gaat ook uit naar de ingenieurs van Triconsult voor de hartelijke ontvangst incl. chocolade tijdens mijn bezoek aan het bureau voor het onderzoek van enkele cases.

Verder bedank ik graag Sabine Broekhoven van het Agentschap Onroerend Erfgoed voor de tips rond de opmaak van een afwegingskader en de feedback vanuit het standpunt van het Agentschap, en Inge Debacker en Nathalie Van Roy voor het nalezen van de opgestelde afwegingsprincipes vanuit het perspectief van het Agentschap Onroerend Erfgoed.

Ik ben mijn voormalige collega's bij Maat_werk en huidige collega's Origin dankbaar voor de steun en inspiratie tijdens de opmaak van het afwegingskader.

Een woord van dank is ook op zijn plaats voor mijn medestudenten, want gedeelde stress is verlichte stress.

Bovendien ben ik Dirk Laporte en Patrick Viaene dankbaar voor het organiseren van een uiterst verrijkende erfgoedstudiereis, waar ik eveneens inspiratie heb opgedaan en beeldmateriaal heb kunnen verzamelen voor dit eindwerk.

Last but not least bedank ik mijn vrienden en familie voor het voorzien van de beste steun en ontspanning.

INHOUDSTAFEL

Inleiding	15
Onderzoeksvraag en -afbakening	17
Hoofdvraag	17
Deelvragen.....	17
Afbakening.....	17
Methodologie	19
Literatuur, regelgeving en charters.....	19
Structurele restauratieprincipes	21
Van theorie naar praktijk	22
Hoofdstuk 1 De rol van het afwegingskader.....	23
Hoofdstuk 2 De vloer als onroerend erfgoed	25
2.1 Beschermingsvormen.....	25
2.2 Erfgoedwaarden.....	29
Hoofdstuk 3 Houten vloeren	31
3.1 Geschiedenis van de houten vloer.....	31
3.2 Het circulaire bouw materiaal	36
3.3 Duurzaamheid en materiaaleigenschappen.....	38
Hoofdstuk 4 Historische en hedendaagse rekenmethoden en normen	43
4.1 Experimenteren met berekeningen	44
4.2 Veiligheidsfactoren	45
4.3 Normalisatie van berekeningen	46
4.4 Uitzonderingen op bestaande normen voor historisch waardevolle gebouwen?.....	51
Hoofdstuk 5 Anamnese – Diagnose – Therapie – Controle	55
Hoofdstuk 6 Structurele verstevigingstechnieken voor houten vloeren	59
6.1 Herstellen van houten vloeren	61
6.2 Verstevigen van moer- en kinderbalken	66
Hoofdstuk 7 Afweging behoud en versteviging	87
7.1 Erfgoedwaarden van belang in of aan houten draagvloeren	91
7.2 Afwegingsprincipes.....	101
Hoofdstuk 8 Casestudies	109
Conclusie.....	125
Bibliografie	127

AFBEELDINGENLIJST

Afb. 1: Stadshuistypologie in houtskeletbouw rond de 17de eeuw in de Lage Landen. (Van Hemert R., p.14).	32
Afb. 2: Enkelvoudige balkenlaag van (verplaatste) middeleeuwse vloerconstructie met kleine hart-op-hart-afstand en polychrome beschildering, Musée de La Cour d'Or, Metz (auteur, 2019).	33
Afb. 3: Enkelvoudige balklaag op consoles of kraagstenen (Van Hemert R. p.42).	33
Afb. 4: Verdiepingsvloer met lange brede eikenhouten planken. Voormalige Berg van Barmhartigheid, Antwerpen (auteur in kader van beheersplan door Maat_werk architecten, 2017).	33
Afb. 5: Vloer boven de kunstkamer , Rubenshuis, Antwerpen, 1610-1621 (auteur, 2019).....	33
Afb. 6: Plavuizen op de houten vloerconstructie boven de kunstkamer van het Rubenshuis, eerste verdieping (auteur, 2019).	33
Afb. 7: Traditionele opbouw van moer- en kinderbalkvloer met plankenvloer (Van Hemert R., p.299).	34
Afb. 8: Onderaanzicht van vloerstructuur met moer- en kinderbalken (Van Hemert R., p.304). ..	34
Afb. 9: Typische traditionele vloerstructuur met moerbalk en kinderbalken bevestigd door middel van zwaluwstaartverbindingen en spijkers (Van Hemert R., p.47).	34
Afb. 10: Zwaluwstaartgleuven in moerbalk, uitgenomen kinderbalken, Hôtel du Bois, Antwerpen (Origin, 2017).	34
Afb. 11: Moer- en kinderbalkenvloer met uitgehouden en beschilderde balkkop en console, Rubenshuis, Antwerpen, 1610-1621 (auteur, 2019).	35
Afb. 12: Enkelvoudige balklaag in burgerlijk gebouw, midden 19 ^{de} eeuw (auteur, 2019).	35
Afb. 12: Structurele Eurocodes (WTCB, 2003)	47
Afb. 13: Gradueel verloop van aantasting van een houten balkkop, opgelegd in een metselwerkwand (links). Prothese wordt geplaatst (rechts) ter vervanging van (wegge)rot hout (I) en overgangszone aangetast hout (II), in aansluiting met gezond hout (III). (Heirman, G. (2017)).....	61
Afb. 14: Epoxymortelprothese van de balkkop met bijkomende ingelijmde ankers (Heirman, G. (2017)).....	62
Afb. 15: Bovenaanzicht van een epoxy balkkopprothese en vijf ankers (Van Hemert, R., p. 291).	62
Afb. 16: Behouden gedeelte van de moerbalk met ankerholtes voor de structurele verbinding met de te storten epoxymortel, pandgang basiliek Tongeren (Heirman, G., p.172).....	62
Afb. 17: Epoxymortelherstelling zonder verloren bekisting, St.-Catharinakerk Duisburg (Heirman, G., p.169).	62
Afb. 18: Voor interventie: weggerotte balkkop en aangetaste overgangszone naar gezond hout. (Domus tech (2017))	63
Afb. 19: Tijdens interventie: verlijmde houten balkkopprothese in deels gedemonteerde gevel. (Domus tech (2017))	63
Afb. 20: Balkkopprothese van nieuw hout met schuine haaklas. (McCaig, I., p. 296)	63
Afb. 21: Ensemble van verschillende soorten oudere balkkopherstellingen: toegevoegde houten sleutelplank (dichtstbij); epoxymortel met verloren bekisting balkkopprothese met rechte liplas; houten balkkopprothese met schuine liplas. Predikherenklooster Mechelen (auteur, 2017).	63
Afb. 22: Sterk aangetaste moerbalk, Tiendenschuur Herkenrode, 1999. (Heirman, G., p.299)...	64
Afb. 23: Stap 1: verwijderen van aangetast hout (Heirman, G., p.300)	64

Afb. 24: Stap 2: voorzien van wapeningsstaven (Heirman, G., p.301).	64
Afb. 25: Stap 3: polymeerchemisch herstel: epoxy in de balk gegoten, de wapening omhullend. (Heirman, G., p.301)	64
Afb. 26: Zoldervloer westvleugel Abdij van Park. Herstelde kinderbalken met epoxymortel. Links bekistingen rond de kinderbalken en uithardende epoxymortel, midden behouden kinderbalk, rechts zichtbare wapeningsstaaf (inox draadstang) (Heirman, G., p.250).....	65
Afb. 27: Toegevoegde houten kolommen in 1967, onder moerbalken die bakstenen troggewelfjes ondersteunen. Deze werden tijdens de restauratie vervangen door stalen kolommen ingewerkt in het buitenschrijnwerk. Koetshuis Abdij van Park (Triconsult, 2005).	67
Afb. 28: Opspannen van de moerbalk met stalen trekkers (Grote Markt, Diest, Heirman, G.)	67
Afb. 29: Schematische voorstelling van toegevoegde stalen trekkers aan houten moerbalk ((Van Hemert, 2013, p. 283).	67
Afb. 30: Opbouwhoogte van twee toegevoegde houten elementen t.o.v. opbouwhoogte van een toegevoegde staalplaat voor het bereiken van dezelfde verstevigingsgraad (Heirman, G.).....	69
Afb. 31: Doorbuiging van de combinatie van twee balken, zonder verlijming of ankers (a): de uiteinden van de balken kunnen afzonderlijk bewegen. Met verlijming en ankers (b): de hoogte van de balk is verdubbeld in de berekening van het traagheidsmoment. (WTCB, 2015).	70
Afb. 32: Verstevigde moerbalk door toevoeging van houten sectie onderaan (van Hemert, I, p.272).	71
Afb. 33: Verstevigde kinderbalken met opgelijmde houten secties. Kartuizerstraat 31, Brussel (auteur, 2019).	71
Afb. 34: De houten secties zijn bevestigd met bouten over een regelmatige afstand. Kartuizerstraat 31, Brussel (auteur, 2019).	71
Afb. 35: Gelijmde staalplaat onderaan de moerbalk, enkel ankers aan de oplegging – geen gevaar voor uitknikken onder trek (WTCB, 2015).	73
Afb. 36: Oplijmen van een staalplaat bovenop de vloer (links) of in de vloeroppervlakte (rechts) – verwijdering gedeelte (gezond) hout kinderbalken (WTCB, 2015).	73
Afb. 37: In positie leggen van staalplaat aan de bovenzijde van de te versterken moerbalk, veel helpende handen (WTCB, 2015).	74
Afb. 38: Staalplaat met ingelijmde knikverstijvers (WTCB, 2015).....	74
Afb. 39: Carbonweefsel voor de opbouw van laminaten met polyester, epoxy en vinylester (CFRP doeken) (Vosschemie, 2016).....	75
Afb. 40: Koolstofvezel versterkt (CFRP) laminaat (Carbon Team, 2018).....	75
Afb. 41: Verstevigde moerbalk d.m.v. opgegoten epoxymorteluitvulling van een bepaalde dikte. Uithardingsfase in bekisting. Zoldervloer Westvleugel, Abdij van Park (Heirman, G., p.253).	76
Afb. 42: Stalen plaat geïncorporeerd in eiken moerbalk langs de bovenzijde, case B.I (Origin, 2019).	77
Afb. 43: Stalen platen geïncorporeerd in eiken moerbalken langs de onderzijde (McCaig, I., p. 309).	77
Afb. 44: Start van gefreesde sleuf in bestaande moerbalk (McCaig, I., 2013, p. 308).	78
Afb. 45: Aanbrengen van een T-plaat in een bestaande moerbalk (McCaig, I., 2013, p. 310). ...	78
Afb. 46: Verticale staalplaat, door epoxymortel verbonden met de moerbalk (McCaig, 2013, p. 313).	78
Afb. 47: Toevoegen van HEA 100 profielen onderaan een moerbalk – case B.II (MRT, 2019). ...	79

Afb. 48: Verstevigde en verlengde moerbalk met U-profielen aan weerszijden. De kinderbalken waren reeds recent vernieuwd en hadden geen erfgoedwaarde. Hôtel du Bois, Antwerpen (Denys, 2017).	79
Afb. 49: Schematische voorstelling van moerbalk, onderaan verstevigd met 2 HEA 100 profielen. De middelste bouten werden verankerd via gaten in de onderste flens (Origin, 2019).	80
Afb. 50: Schematische voorstelling van toegevoegde U-profielen incl. oplegging op metselwerkwand (Beckmann, P., p. 163).	80
Afb. 51: Bestaande situatie balkenrooster van moer- en kinderbalken, triviale historische opbouw (Van Hemert, R., p. 271).	81
Afb. 52: Schets van de toevoeging van een onafhankelijke vloer bovenop de bestaande, incl. toevoeging houten sectie op moerbalk ter versteviging. (Van Hemert, R., p. 271).	81
Afb. 53: Onafhankelijke vloer en isolatie (blauw) toegevoegd op niv. 2, waardevolle afwerking van de balken onderaan. Stadhuis Antwerpen (Origin, 2017).	81
Afb. 54: Extra kinderbalken toegevoegd tussen bestaande om de vloerstructuur te verstevigen. Noot: in veel oude gebouwen is de doorsnede van kinderbalken eerder vierkant dan rechthoekig (Van Hemert, R., p. 278).	83
Afb. 55: Toevoegen extra houten sectie aan de zijden van bestaande kinderbalken (Van Hemert, R., p. 278).	83
Afb. 56: Gebroken moerbalk boven waardevol stucwerk in kasteel van Horst (Laboratorium Reyntjens, 1995).	84
Afb. 57: Tijdelijke ondersteuning van het stucwerk met polystyreenplaatjes en flexibele glasvezelstaven (Laboratorium Reyntjens, 1995).	84
Afb. 58: Tegenvoorbeeld- vervangen van een moerbalk door een met hout beklede betonbalk (Van Hemert, R., p. 273).	85
Afb. 59: Procedurediagram structurele versteviging in een erfgoedcontext	89
Afb. 60: Neogotische gewelven in het kasteel van Noisy, Celles, 1866-1907. Gesloopt in 2017. (Auteur, 2016).	91
Afb. 61: Stucplafond van Jan Hansche, bibliotheek van de faculteit rechtsgeleerdheid in Gent (Wikipedia, 2016).	91
Afb. 62: Gotische zaal, niv. 1, stadhuis Brugge. (Auteur, 2016).	92
Afb. 63: Gotische zaal, niv. 1, stadhuis Brugge, 1766. (Hoogendoorn J.).	92
Afb. 64: 17de-eeuws stucplafond, kasteel van Horst (Wikipedia, 2010).	92
Afb. 65: Uitgehouden en vergulde sleutelplank en balkconsole in aansluiting met goudleer. Brouwershuis Antwerpen niv. 1, vloer niv. 2 (Maat_werk architecten, 2010).	93
Afb. 66: Mercator Orteliushuis, Antwerpen (B. Gosselin, 2012).	93
Afb. 67: Mercator Orteliushuis, Antwerpen (B. Gosselin, 2012).	93
Afb. 68: Historisch pand Hendrik Conscienceplein 11, Antwerpen, ca. 1550-1650. Beschermd als bouwkundig erfgoed sinds 29-03-2019 (auteur, 2019).	94
Afb. 69: Vloer boven de kunstkamer van het Rubenshuis, Antwerpen, 1610-1621 (auteur, 2019).	94
Afb. 70: Plavuizen op de houten vloerconstructie boven de kunstkamer van het Rubenshuis, eerste verdieping (auteur, 2019).	94
Afb. 71: Polychroom beschilderde enkelvoudige vloerconstructie, Musée de La Cour d'Or, Metz (auteur, 2019).	95
Afb. 72: Middeleeuwse heraldische iconografie op draagvloer, Musée de La Cour d'Or, Metz (auteur, 2019).	95

Afb. 73: Polychroom beschilderde draagstructuur, Musée de La Cour d'Or, Metz (auteur, 2019).	95
Afb. 74: Verdiepingsvloer met lange brede eikenhouten planken, zeer gaaf bewaard. Hal naar slaapkamer. Voormalige Berg van Barmhartigheid, Antwerpen (auteur in kader van beheersplan door Maat_werk architecten, 2017).	96
Afb. 75: Verdiepingsvloer met lange brede eikenhouten planken, zeer gaaf bewaard. Gang naar badkamer. Voormalige Berg van Barmhartigheid, Antwerpen (auteur in kader van beheersplan door Maat_werk architecten, 2017).	96
Afb. 76: Houten vloerstructuur in Brussels pakhuis eind 19 ^{de} eeuw (L. Vandenabeele, 2014)	97
Afb. 77: Vloer boven gelijkvloers van een hoeve in Zemst-Laar (1841). (B. Willems, 2019)	97
Afb. 78: Depot van kristalfabriek Val-Saint-Lambert Oude Graanmarkt 5, Brussel, 1854. Telmerken op moerbalken boven de eerste verdieping (auteur, 2015)	98
Afb. 79: Vloer boven de eerste verdieping (auteur, 2015)	98
Afb. 80: Combinatie hout en staal, Felixpakhuis, Antwerpen, 1858. Eind 19 ^{de} eeuw werden gewalste stalen I-liggers op houten sloefen en kolommen toegevoegd ter versteviging van 900 naar 1200 kg/m ² (auteur, 2016)	99
Afb. 81: Houten plafond met technische erfgoedwaarde van de draagstructuur zelf, Schippersbeurs, Antwerpen (auteur, 2019).	99
Afb. 82: Tegenvoorbeeld: moerbalken ondersteund door stalen balk in andere richting. Hôtel du Bois, Antwerpen, oudere versteviging (Origin, 2016)	103
Afb. 83: Bovenste profiel (IPE 120, loodrecht op kinderbalken) wordt afgedragen op 3 onderste profielen (3x IPE 160, opnieuw evenwijdig met kinderbalken): de oorspronkelijke draagrichting is finaal behouden. Provisorenhuis, Abdij van Pak, Heverlee (Triconsult, 2019)	103
Afb. 84: Twee bestaande ingrepen: (1) recentere ophanging moerbalk aan hanebalk; (2) verbreken pen-gatverbinding spantbeen met moerbalk en ondervullen met beton (grijze pijlen). Door ingreep (2) werken elementen niet meer scharnierend; verwijderd en balkkop en scharnierverbinding hersteld. Westvleugel claustrum Abdij van Park (Triconsult, 2005).	105
Afb. 85: Oudere versteviging aan moerbalkkop, smeedijzeren beugels, op spanning gebracht met spie, eigen erfgoedwaarde; te behouden. Voormalige Berg van Barmhartigheid, Antwerpen (auteur in kader van beheersplan door Maat_werk architecten, 2017).	105
Afb. 86: Diagram van de fiche-opbouw per case study.	111

TABELLENLIJST

Tabel 1: Mogelijke erfgoedwaarden verbonden aan houten draagvloeren aangeduid in grote letters.	30
Tabel 2: Houtsoorten toegepast voor draagvloeren in de Lage Landen	37
Tabel 3: Illustratieve tabel van de karakteristieke eigenschappen en sterkteklassen van gezaagd loofhout.	39
Legende, zie volgende pagina. (https://houtinfo.nl/sites/default/files/Infoblad_Houteigenschappen_Sterktegegevens_mrt2014_0.pdf)	39
Tabel 4: Illustratieve tabel van de karakteristieke eigenschappen en sterkteklassen van gezaagd naaldhout.	39
(https://houtinfo.nl/sites/default/files/Infoblad_Houteigenschappen_Sterktegegevens_mrt2014_0.pdf)	39
Tabel 5: Opgelegde verdeelde nuttige belastingen voor vloeren volgens Eurocode 1.....	48
Tabel 6: Voor- en nadelen van het toevoegen van stalen trekkers.	67
Tabel 7: Voor- en nadelen van het versterken van de inklemming.	68
Tabel 8: Toepassing t.o.v. de bestaande historische vloer van de besproken verstevigingstechnieken.	70
Tabel 9: Voor- en nadelen van het versterken door oplijmen van hout.	72
Tabel 10: Voor- en nadelen van het versterken door oplijmen van een stalen plaat.....	74
Tabel 11: Voor- en nadelen van het versterken door oplijmen van CFRP-laminaat.....	75
Tabel 12: Voor- en nadelen van het versterken door opgietsen van epoxymortel.	76
Tabel 13: Voor- en nadelen van het versterken door infrezen van staal- of koolstofvezelplaten.	78
Tabel 14: Voor- en nadelen van het versterken door toevoegen stalen profielen.....	80
Tabel 15: Voor- en nadelen van het versterken door toevoegen van een onafhankelijke vloer.	82
Tabel 16: Voor- en nadelen van het versterken door toevoegen van extra moer- of kinderbalken tussen bestaande.	83
Tabel 17: Afwegingsprincipes	101

INLEIDING

Hout wordt sinds mensenheugenis gebruikt voor het bouwen van dragende structuren. In veel historisch waardevolle gebouwen werd constructiehout toegepast. Een groot aantal erfgoedgebouwen houdt al decennia- tot eeuwenlang stand zonder ernstige stabiliteitsproblemen, maar voldoen vandaag niet aan de recentere stabiliteitsnormen. Bij een restauratie en eventuele functiewijziging van deze erfgoedgebouwen dient hun draagstructuur te worden verstevigd. Algemeen wordt voor de berekeningen van de bestaande structuur de Eurocode toegepast zoals deze is opgesteld voor het ontwerpen van nieuwbouwconstructies. In het minst gunstige geval voor de erfgoedwaarden wordt de bestaande structuur afgebroken en trekt men een nieuwe draagstructuur op achter de behouden gevel. Naast enkele uitzonderingen wordt enkel voor buitengewoon erfgoed, zijnde beschermde monumenten, intens teamwerk geleverd om tot het beste ontwerp in functie van de erfgoedwaarden te komen.

Gebouwen moeten in veel gevallen aangepast worden aan de hedendaagse gebruiken en levenswijze, om het voortbestaan van het gebouw te waarborgen. Voor monumenten worden er uitzonderingen mogelijk gemaakt om de erfgoedwaarden maximaal te behouden, op vlak van klimatiseren, energieprestatie, brandveiligheid, akoestiek en toegankelijkheid. Op het gebied van het structureel veiligheidsniveau worden echter geen officiële uitzonderingen of afwijkingen toegestaan. Het kan noodzakelijk zijn om de in te rekenen belasting op historische vloeren bij restauratie te verhogen, denk bijvoorbeeld aan de reconversie van stadspaleis naar museum of de toevoeging van technieken op zoldervloeren voor het klimatiseren van een openbaar gebouw. Doordat er werken gebeuren in het erfgoedgebouw, moet worden voldaan aan de hedendaagse normen. Verder kunnen herstellingen en/of verstevigingen nodig zijn door degradatie van de structuur.

De analyse van historisch waardevolle gebouwen hebben twee aspecten: de structurele prestatie door de stabiliteitsingenieur aan de ene kant en de bepaling van de aanwezige erfgoedwaarden aan de andere kant. Deze twee aspecten dienen allebei in rekening te worden gebracht bij elke beslissing die mogelijk structurele interventies inhoudt; ze worden uitgevoerd in tandemverband. Voorliggend afwegingskader biedt een leidraad voor de besluitvorming rond het herstellen en verstevigen van houten vloeren in beschermde monumenten in Vlaanderen. Er wordt onderzocht hoe er in de praktijk optimaal kan worden omgegaan met het behoud en de versteviging van waardevolle vloeren bij restauratie, zonder risico op onveilige situaties, met het oog op het maximaal behoud van de aanwezige erfgoedwaarden en oorspronkelijk materiaal.

Indien de huidige normen een veiligheidsniveau integreren dat gebaseerd is op wat als maatschappelijk aanvaardbaar wordt beschouwd, kunnen er dan voor historisch waardevolle gebouwen lagere veiligheidsniveaus en bijvoorbeeld grotere doorbuigingen als maatschappelijk aanvaardbaar worden beschouwd? Een compromis zoeken tussen veiligheid en authenticiteit om tot acceptabel veiligheidsniveau voor een historisch gebouw te komen, om de belangrijkste erfgoedelementen te kunnen conserveren?

In een eerste hoofdstuk wordt de rol van een afwegingkader uiteengezet. Vervolgens wordt er gefocust op de erfgoedwaarden in hoofdstuk 2. Er wordt uitgelegd op welke manieren historische draagvloeren bij wet beschermd kunnen zijn. Historische draagvloeren hebben stuk voor stuk een voorgeschiedenis en zijn getuigen van de ambacht van hun tijd. Een beknopte geschiedenis van de constructie van houten vloeren wordt geschetst, met daarop volgend een luik over de specifieke materiaaleigenschappen van hout en optredende krachten in vloeren in hoofdstuk 3. Naast de constructiemethoden, is ook de manier waarop er met de dimensionering van houten vloeren werd omgegaan door de tijd heen veranderd. Hoofdstuk 4 bespreekt historische en bestaande rekenmethoden en normen voor houten balken en vloeren, en de theoretisch mogelijke afwijking van de huidige binnen een erfgoedcontext. Het belang en de uitvoering van het vooronderzoek wordt binnen het restauratieproces gekaderd in hoofdstuk 5. Hoofdstuk 6 geeft een overzicht van vandaag toegepaste herstel- en verstevigingstechnieken van houten vloeren met historische waarde. Hun voor- en nadelen bij de toepassing binnen een erfgoedcontext worden besproken. Hoofdstuk 7 werkt als een conclusie naar afwegingsprincipes toe, die een tool vormen voor de besluitvorming in de praktijk. Onder de vorm van een procedurediagram wordt de implementatie binnen een restauratieproject van de afweging en besluitvorming weergegeven. Een overzicht van erfgoedwaarden die van belang zijn voor houten draagvloeren wordt gegeven. Om dit alles te kaderen en als inspiratiebron voor auteur en lezer, worden in hoofdstuk 8 een aantal praktijkcases besproken via informatiefiches die de chronologie van de restauratieprocedure volgen.

ONDERZOEKSVRAAG EN -AFBAKENING

HOOFDVRAAG

Hoe kunnen de herstel- of verstevigingstechnieken voor een houten vloer in een beschermd monument, stads- en dorpsgezicht of vastgesteld geïnventariseerd onroerend goed, worden geselecteerd met het oog op maximaal behoud van de aanwezige erfgoedwaarden?

DEELVRAGEN

Welke erfgoedwaarden kunnen intrinsiek of extrinsiek verbonden zijn aan houten vloeren?

Wat zijn de ingrediënten van een bruikbaar afwegingskader?

Welke doelgroep wordt beoogd met dit afwegingskader en hoe kan het kader worden toegepast?

Op welke manier worden de huidige normen toegepast op de versteviging van houten vloeren binnen een erfgoedcontext; wordt er van de normen afgeweken en hoe?

Welke afwegingsprincipes kunnen worden opgesteld, om een compromis te vormen tussen de huidige normering rond stabiliteit en erfgoedwaarden?

AFBAKENING

Er werd gekozen om de verstevigingstechnieken van vloeren te onderzoeken in plaats van andere structurele onderdelen van gebouwen omdat vloeren in meerdere projecten moeten worden gewijzigd door nieuwe normen of bij hogere lasten ten gevolge van een gebruiks- of functieverandering. Op die manier vormt de versteviging van vloeren een van de uitdagingen binnen een restauratie- en/of herbestemmingsproject. Naast de verstevigingstechnieken worden ook herstellingstechnieken beknopter besproken.

Hout is een materiaal dat reeds sinds mensenheugenis wordt gebruikt voor het voorzien van onderdak. Zeer veel oude gebouwen, en dus ook gebouwen met erfgoedwaarde, bezitten structurele onderdelen in hout. De houten vloeren vormen als het ware een verbindende factor tussen gebouwen van verschillende typologieën, van stadspaleizen, over kloosters, abdijen en stadshuizen tot pakhuizen. De erfgoedwaarde van een houten vloer is vaak hoger dan vloeren in andere materialen, voornamelijk door de aanwezigheid van architecturale en artistieke elementen, bijvoorbeeld omdat er een zeventiende-eeuws stucplafond aan bevestigd is, of omdat de vloer wordt ondersteund door zestiende-eeuwse beeldhouwde consoles met polychrome schilderijen. De versteviging van de houten vloer zonder de beschadiging van deze waardevolle elementen vergt een interdisciplinaire aanpak en een grondig vooronderzoek. Houten vloeren zijn op zeer veel verschillende manieren aanpasbaar en met verschillende andere materialen, waardoor er veel opties moeten worden afgewogen binnen het restauratieproject. Een kader voor deze afweging zal een tool vormen om de beslissingen in de praktijk te ondersteunen. De huidige normen en mogelijke herstel- en verstevigingstechnieken worden onderzocht en geconfronteerd met de verschillende erfgoedwaarden die aanwezig kunnen zijn in de historische gebouwen.

Deze thesis focust op structureel herstel en versteviging van houten vloeren, specifiek in historisch waardevolle gebouwen. Onder historisch waardevolle gebouwen worden zowel beschermde monumenten, beschermde stads- en dorpsgezichten, als vastgesteld geïnventariseerd onroerend erfgoed gerekend. De meeste cases, besproken in dit afwegingskader, behelzen beschermde monumenten, maar de lijn van de afwegingsprincipes kan worden doorgetrokken naar beschermde stads- en dorpsgezichten en vastgestelde geïnventariseerde gebouwen, aangezien hier ook waardevolle elementen aan de vloer verbonden kunnen zijn. De gevel van een gebouw binnen een beschermd stads- en dorpsgezicht is beschermd, in tegenstelling tot de achterliggende draagstructuur. Wanneer er echter herstellings- of verstevigingswerken worden uitgevoerd aan deze draagstructuur, kan dit een impact hebben op de beschermde gevel. Wanneer het Agentschap Onroerend Erfgoed advies verleent over het restauratie-ontwerp, zal de consulent hier rekening mee houden. De gevel en draagstructuur kunnen niet los van elkaar worden gezien. Om deze reden dient steeds te worden overwogen om een onbeschermde draagstructuur in een erfgoedperimeter te behouden in plaats van te vervangen.

De besproken cases zijn uitgevoerde of lopende projecten van twee Belgische ingenieursbureaus in de restauratie: Origin Architecture & Engineering en Triconsult. Er zijn andere bureaus die in deze stiel actief zijn in België, maar deze twee hebben reeds een groot aantal restauratie- en herbestemmingsprojecten gerealiseerd incl. de versteviging van houten vloeren, en informatie rond deze cases werd verkregen via de promotor, copromotor en andere medewerkers van de bureaus. De schaal van de cases varieert van woningen tot zalen in abdijen.

METHODOLOGIE

Op basis van literatuuronderzoek, het bestuderen van bestaande afwegingskaders, het terugkoppelen met het Agentschap Onroerend Erfgoed, en praktijkvoorbeelden wordt deze leidraad voor het herstel en de versteviging van houten vloeren in de restauratiepraktijk opgesteld.

LITERATUUR, REGELGEVING EN CHARTERS

Een literatuurstudie wijst de stand van het bestaande onderzoek uit. Meerdere publicaties bestaan rond de stabiliteit van bestaande gebouwen en verstevigingstechnieken, terwijl een klein aantal publicaties zich toespitst op deze problematiek bij erfgoedgebouwen. Er zijn bijgevolg weinig publicaties voorhanden die het aanpassen van stabiliteitsberekeningen en het afwegen van structurele verstevigingen koppelen aan het behoud van erfgoedwaarde en oorspronkelijk materiaal. Hieronder wordt een overzicht gegeven van publicaties.

Zowel nationale als internationale literatuur wordt geraadpleegd. In Vlaanderen kunnen meerdere publicaties een leidraad of referentietekst zijn, zoals afwegingskaders over andere onderwerpen, handleidingen, inventaristeksten, beheersplannen, alsook de regelgeving onder de vorm van het Onroerenderfgoeddecreet en –besluit.¹ Eveneens in Vlaanderen draagt Monumentenwacht bij met een reeks praktische publicaties over restauratie.² Deze publicaties helpen bij het opmaken van een afwegingskader, maar dragen weinig bij i.v.m. de stabiliteitsproblematiek. In verband met technische informatie over de stabiliteit in erfgoedgebouwen wordt er beroep gedaan op de cursus *Interventietechnieken erfgoed – Hout; Structural Renovation Techniques*; de publicaties binnen het *Handboek onderhoud, renovatie en restauratie*.^{3,4,5} De MSc-thesis van A. Vermijlen i.v.m. de stabiliteit van het Rood-Klooster in Oudergem zorgt voor bijkomende inzichten in de materie.⁶

In Nederland wordt aan de Delftse Faculty of Civil Engineering and Geosciences onderzoek verricht naar beoordelingscriteria van het veiligheidsniveau van bestaande structuren.⁷ Studiedagen en bijhorende syllabi van WTA-Nederland-Vlaanderen bespreken telkens specifiek en praktijkgericht vraagstellingen in het erfgoedveld. De studiedag over het *Draagvermogen in historische constructies: een sterk verhaal* in april 2018 in Dordrecht werd bijgewoond als startpunt van dit onderzoek.⁸ Hier werd het onderzoek van R. Caspeelee van het aanpassen van veiligheidsfactoren voor bestaande betonnen gebouwen uiteengezet. Deze methode wordt kort bekeken voor erfgoedwaarden.⁹ Ook Monumentenwacht Nederland stelt publicaties online ter beschikking. Voor dit onderzoek is de publicatie in verband met de restauratie van vloeren inte-

¹ Agentschap Onroerend Erfgoed, Afwegingskaders, <https://www.onroerenderfgoed.be/afwegingskaders>, Vlaamse Overheid, laatst geraadpleegd op 13 november 2018.

² Monumentenwacht Vlaanderen, handleidingen (2005-2017), <https://www.monumentenwacht.be/publicaties>

³ in de opleiding MSc Erfgoedstudies aan Universiteit Antwerpen, gecoördineerd door G. Heirman (2017), tevens copromotor.

⁴ in de opleiding MSc Architectural Engineering aan de Vrije Universiteit Brussel/Bruface, door Ine Wouters (2014)

⁵ Meerdere auteurs (2002). *Handboek onderhoud, renovatie en restauratie*. Diegem: Kluwer.

⁶ Vermijlen, A. (2006). *La maison du prieur du Rouge-Cloître à Bruxelles*. (Master Thesis). Raymond Lemaire International Centre for Conservation.

⁷ Vrouwenvelder, T. & Scholten, N. (2010). Assessment criteria for existing structures. *Structural Engineering International*, Vol. 20, No. 1, pp. 62-65.

⁸ Verstrynge, E., Brosens, K., van Hees, R. (2018). *Draagvermogen van historische constructies: een sterk verhaal*. Delft: WTA.

⁹ Caspeelee, R., Sykora, M., Allaix, D.L., Steenbergen, R., (2013). The design value method and adjusted partial factor approach for existing structures. *Structural Engineering International*, 23(4), 386-393.

ressant.¹⁰ Het Nationaal Restauratie Centrum van Nederland publiceerde meerdere handleidingen voor vakmannen. Het exemplaar over houtconstructies wordt geraadpleegd voor dit onderzoek.¹¹

Vakliteratuur uit Groot-Brittannië, relevant voor dit onderzoek, is de serie van English Heritage, in het bijzonder de publicatie *Timber*.¹² Daarnaast is er ook de serie *Historic building conservation*, en *Structural aspects of building conservation*.^{13,14,15} De geschiedenis van houten vloeren en hun constructietechnieken worden nagegaan in hét naslagwerk voor de constructiegeschiedenis door B. Addis.¹⁶

Op internationaal vlak zijn er ICOMOS-publicaties en –charters.^{17,18,19} Specifieker over draagstructuren in waardevolle gebouwen de ISCARSAH-principes en –richtlijnen.^{20,21,22} ISCARSAH stelde in 2003 principes en richtlijnen op voor de analyse, het onderhoud en de structurele restauratie van architecturaal erfgoed. Deze zijn ook gekend als het Charter van Victoria Falls. De richtlijnen werden opgesteld om samen met de principes een leidraad te vormen in de structurele restauratie. Meer bepaald, de principes duiden de basisconcepten voor behoud en de richtlijnen vormen een methodologie voor de ontwerper. De principes zijn opgedeeld in drie delen: een algemeen luik; onderzoek en diagnose; en maatregelen en beheer. Ze vermelden zwart-op-wit de gelimiteerde toepassing van moderne normen en bouwstandaarden op architecturaal erfgoed door hun historische materialen en constructietechnieken:

“Structures of architectural heritage, by their very nature and history (material and assembly), present a number of challenges in diagnosis and restoration that limit the application of modern legal codes and building standards. Recommendations are desirable and necessary to both ensure rational methods of analysis and repair methods appropriate to the cultural context.”²³

Aangezien er nog geen officiële Nederlandse vertaling van deze principes bestaat, werd een vrije vertaling opgenomen in Bijlage 2. Naast deze ISCARSAH-principes rond de analyse, het behoud en de structurele restauratie van architecturaal erfgoed, die een zeer grote waarde hebben voor dit onderzoek, is er de internationale norm ISO 13822:2010 – *Bases of Design* –

¹⁰ Monumentenwacht Nederland (2012). Dragende constructies en vloeren. <https://monumentenhandboek.nl/wp-content/uploads/2017/12/3.2-Dragende-constructies-en-vloeren.pdf>

¹¹ Van Hemert, R. (2013). *Houtconstructies: Balklagen, gebinten, kapconstructies: Handboek voor timmerlieden betrokken bij restauratie van monumenten*. Amsterdam: NRC.

¹² Ridout, B. & McCaig, I. (2012). English Heritage, *Practical building conservation, Timber*. Farnham: Ashgate.

¹³ Forsyth, M. (2007). *Structures & construction in historic building conservation*. Oxford: Blackwell.

¹⁴ Forsyth, M. (2013). *Materials & skills for historic building conservation*. Oxford: Blackwell.

¹⁵ Beckmann, P., & Bowles, R. (2016). *Structural aspects of building conservation*. London: Spon Press, Taylor & Francis.

¹⁶ Addis, B. (2007). *Building: 3000 years of design, engineering and construction*. Londen: Phaidon.

¹⁷ ICOMOS (1964). *International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites (Charter van Venetië)*. Venetië, Italië: ICOMOS.

¹⁸ ICOMOS (2000). *Het Charter van Krakau: Principes voor het behoud en herstel van bouwkundig erfgoed*. Krakau: ICOMOS.

¹⁹ ICOMOS (1999). *Principles for the preservation of historic timber buildings (Charter van Mexico City)*. Mexico City, Mexico: ICOMOS.

²⁰ *The International Scientific Committee on the Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage*.

²¹ ICOMOS ISCARSAH (2003). *Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage – Guidelines*, <https://iscarsah.files.wordpress.com/2014/11/iscarsah-guidelines.pdf>.

²² ICOMOS ISCARSAH (2003). *Principles for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage – Principles*, <https://iscarsah.files.wordpress.com/2014/11/iscarsah-principles-english.pdf>.

²³ ICOMOS ISCARSAH (2003). *Principles for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage – Principles*, p. 1.

Assessment of Existing Structures.²⁴ In deze normen wordt essentie gezocht voor de toepassing op historisch waardevolle gebouwen. Bijlage I van deze norm is gewijd aan de beoordeling en versteviging van erfgoedstructuren. Deze tekst is opgenomen in Bijlage 3 van deze thesis. In de normtekst zelf wordt er naar deze bijlage verwezen met de vermelding dat de norm ook toepasbaar is op erfgoedstructuren mits bijkomende afwegingen.

Normen die uiteraard ook binnen dit onderzoek worden doorgenomen en waarvan het gebruik in de praktijk wordt bestudeerd voor erfgoedgebouwen, zijn de eurocodes 0, 1 en 5.²⁵

STRUCTURELE RESTAURATIEPRINCIPES

Verstevigingsopties voor houten vloeren worden onderzocht. De toepassing van de verschillende verstevigingstechnieken is afhankelijk van de locatie en bereikbaarheid van de structurele elementen; een waardevolle draagstructuur op zich, waardevolle afwerkingen boven en/of onderaan, etc. Het aanreiken van kant-en-klare oplossingen binnen bestaande gebouwen is niet van toepassing. Dit is meestal niet mogelijk. In deze thesis worden echter aanwendbare verstevigingstechnieken aangereikt, die afhankelijk van de situatie moeten worden afgewogen. Afwegingsprincipes worden opgesteld met de ISCARSAH-principes en de bestaande afwegingskaders als inspiratiebron, in combinatie met de beoordelingscriteria, die konden worden geconcludeerd uit de case studies, en de onderzochte mogelijk aanwezige erfgoedwaarden aan houten draagvloeren. Er werd advies gevraagd bij het Agentschap Onroerend Erfgoed voor het opstellen van een afwegingskader en de daaraan verbonden richtlijnen en procedures. Het product van dit onderzoek – de opgestelde afwegingsprincipes – worden nagelezen door consultants van het Agentschap Onroerend Erfgoed.

De versteviging van historische vloeren vereist steeds een ontwerp op maat van het gebouw of ruimte en hun erfgoedwaarden. De toe te passen techniek is afhankelijk van een aanzienlijk aantal randvoorwaarden. Naast de verstevigingsopties die de structuur laten tegemoetkomen aan de normen, bestaat er naar verluidt in de praktijk de mogelijkheid om de nuttige belastingen bij de berekeningen lager te houden dan voor een bepaalde functie door de norm werd voorgeschreven. Er wordt onderzocht op welke manier en met welke voorwaarden dit wordt toegepast. Op die manier zouden ingrijpende werken aan de structuur kunnen worden vermeden of, maar het sluit noodzakelijke verstevigingen niet altijd uit. In Vlaanderen wordt deze structurele restauratiefilosofie nog niet officieel toegepast. Deze mogelijkheden worden in het kader van de thesis onderzocht. Heel vaak is de doorbuiging van de houten vloerconstructie maatgevend voor de uit te voeren versteviging. Er wordt bekeken of deze doorbuiging groter kan zijn voor historisch waardevolle gebouwen dan het maximum voorgeschreven door de norm.

De definitie van een (draag)vloer is in deze thesis: Horizontaal scheidingselement tussen twee verdiepingen dat de lasten afdraagt naar muren en eventueel kolommen. Deze term behelst de draagstructuur, vloerpakket en -bekleding, en plafondafwerking. Als er in de thesis over “vloer” besproken wordt, gaat dit over de draagvloer en niet de vloerbekleding. Andere toepasselijke termen zijn mee opgenomen in een bescheiden glossarium in Bijlage 4.

²⁴ ISO 13882:2010 (2010). Bases for design of structures – assessment of existing structures. Genève, Zwitserland: ISO.

²⁵ NBN EN 1990:2002. Eurocode 0 – Grondslagen van het constructief ontwerp; NBN EN 1991-1-1:2002. Eurocode 1 – Belastingen op constructies; NBN EN 1995-1-1:2005. Eurocode 5 – Ontwerp en berekening van houtconstructies.

VAN THEORIE NAAR PRAKTIJK

Er zullen een aantal cases worden geselecteerd, om meerdere verstevigingstechnieken te illustreren en verduidelijken. Ieder project is uniek, maar de stabiliteitsproblemen én oplossingen van de case zullen voorbeelden vormen van ingrepen waar de erfgoedwaarden al dan niet werden gerespecteerd. Er wordt besproken hoe de beslissingen tot het ontwerp van de versteviging werden onderbouwd. Afwegingsprincipes worden opgesteld vanuit deze praktijkvoorbeelden en vanuit gekende mogelijk aanwezige erfgoedwaarden.

Deze thesis heeft tot doel een tool aan te bieden voor de afweging van het behoud en de versteviging van bouwkundig erfgoed, meer bepaald de houten vloeren in waardevolle historische gebouwen, i.c. beschermde monumenten of vastgesteld geïnventariseerd patrimonium. Het afwegingskader werkt met het oog op maximaal behoud van de erfgoedwaarde en oorspronkelijk materiaal naar hanteerbare principes toe.

HOOFDSTUK 1

DE ROL VAN HET AFWEGINGSKADER

Tot op heden werden er acht afwegingskaders gepubliceerd door het Agentschap Onroerend Erfgoed. Deze zullen als inspiratiebron dienen voor de opbouw en argumentatie van de thesis. De bestaande Vlaamse afwegingskaders dekken elk hun specifiek onderzoeksgebied binnen het erfgoedveld, zijnde kasseiwegen versus rijcomfort²⁶; actieve landbouwbedrijven in beschermd erfgoed²⁷; historisch schrijnwerk²⁸; dakisolatie plaatsen in beschermd erfgoed²⁹; zonne-energie in een erfgoedcontext³⁰; publiciteit in en aan beschermd erfgoed³¹, kunststeen³² en tenslotte het omgaan met menselijke resten bij archeologisch onderzoek³³. Het laatste was een voorlopige versie en werd recent uit het overzicht op de website verwijderd. Zes van deze acht afwegingskaders behandelen historische gebouwen. Eén hiervan bespreekt een gebouwonderdeel; schrijnwerk. Vier andere behandelen toevoegingen in een erfgoedcontext; dakisolatie, zonne-energie, publiciteit, en kunststeen ter vervanging van natuursteen. Het afwegingskader voor actieve landbouwbedrijven in beschermd erfgoed, opgemaakt door Sum Research, leunt het sterkst aan bij de opzet van deze thesis. Vigerende normen en erfgoedwaarden worden geconfronteerd in de afweging voor het integreren van moderne landbouwbedrijven in waardevolle gebouwen en landschappen. De functie wordt behouden, maar het gebruik verandert zeer sterk t.o.v. het oorspronkelijke landbouwbedrijf, wat interessante vraagstukken met zich meebrengt. Naast de analyse van dit afwegingskader zal er in de afwegingskaders die een toevoeging in een erfgoedcontext bespreken, worden nagegaan hoe hiermee wordt omgegaan. Verstevingen van vloeren impliceren immers ook toevoegingen aan het historisch materiaal. Het Agentschap Onroerend Erfgoed gaf nog geen onderzoeksrapport uit dat zich expliciet toespitst op het herstellen of verstevigen van (houten) draagstructuren in beschermd erfgoed. Om deze reden werd advies gevraagd aan het Agentschap i.v.m. het opmaken van een afwegingskader en de daaraan verbonden interne richtlijnen.

Het Agentschap Onroerend Erfgoed verleent advies en toelatingen omtrent werken in beschermde monumenten. De bestaande afwegingskaders werden door het Agentschap opgesteld om inzicht te geven in de criteria die haar beslissingen onderbouwen en om een uniforme aanpak in Vlaanderen trachten te bekomen. De publicaties kunnen lokale overheden helpen om te beslissen welke vergunningen ze verlenen. In het werkveld dienen ze als leidraad voor professionals zoals restauratie-architecten, aannemers en andere experts om ontwerpen en uitvoeringsprincipes uit te werken en bouwheren te adviseren. Dit afwegingskader wordt eveneens opgesteld in een poging om dit doelpubliek te helpen bij besluitvorming. De bestaande afwegingskaders kaderen binnen de huidige regelgeving en hebben een niet-bindend karakter. Algemeen bieden ze een tool voor beslissingen voor vergunningsplichtige en toelatingsplichtige

²⁶ s. n. (2015). Afwegingskader behoud kasseiwegen vs. Verbetering rijcomfort, Afwegingskaders agentschap Onroerend Erfgoed 1.

²⁷ Sum Research (2016). Afwegingskader voor actieve landbouwbedrijven in beschermd erfgoed, Afwegingskaders agentschap Onroerend Erfgoed 2.

²⁸ Mahieu F. (2017). Afwegingskader historisch schrijnwerk, Afwegingskaders agentschap Onroerend Erfgoed 3.

²⁹ De Graef R. (2017). Afwegingskader voor het plaatsen van dakisolatie bij beschermd erfgoed, Afwegingskaders agentschap Onroerend Erfgoed 4.

³⁰ Buyle E. (2018). Afwegingskader zonne-energie in een erfgoedcontext, Afwegingskaders agentschap Onroerend Erfgoed 5.

³¹ David K. (2018). Publiciteit in en aan beschermd erfgoed, Afwegingskaders agentschap Onroerend Erfgoed 6.

³² Schroyen, H. (2019). Afwegingskader kunststeen, afwegingskaders agentschap Onroerend Erfgoed 8.

³³ Erynck A. (2018). *Omgaan met menselijke resten bij archeologisch onderzoek in Vlaanderen - versie 1*, Afwegingskaders agentschap Onroerend Erfgoed 7.

werkzaamheden aan beschermde monumenten. Afwegingskaders bevatten volgens de opzet van het Agentschap geen nieuw wetenschappelijk onderzoek, maar ze betrekken de laatste stand van zaken wat technisch en wetenschappelijk onderzoek in het domein betreft.³⁴

In dit theoretisch afwegingskader met koppeling naar de praktijk worden geen nieuwe herstel- of verstevigingstechnieken onderzocht. Wel wordt er onderzocht wat de specifieke omstandigheden zijn waarin de bestaande technieken worden toegepast, en hoe men tot deze beslissing is gekomen. Op basis van deze informatie en literatuuronderzoek worden de afwegingsprincipes duidelijk die aan de basis liggen van de besluitvorming.

Het afwegingskader voor actieve landbouwbedrijven in beschermd erfgoed laat een aantal sporen samenkomen:

- spoor 1: normen: vormen het kader van randvoorwaarden;
- spoor 2: waarden: welke erfgoedwaarden zijn aanwezig en bepalen de richting van de afweging;
- spoor 3: kansen/bedreigingen: bieden inspiratie voor win-win-oplossingen.³⁵

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen absoluut geldende normen en normen met vrijheidsgraden. De absoluut geldende normen zijn in dit geval de Eurocodes voor de stabiliteitsberekeningen van de bestaande structuren. Principes opgesteld in charters voor het behoud van cultureel erfgoed kunnen beschouwd worden als normen met vrijheidsgraden.

De erfgoedwaarden met betrekking tot dit afwegingskader worden besproken in volgend hoofdstuk. Het samengaan van de normen en waarden moet in dit geval zorgen voor een win-winsituatie: het gebouw kan (opnieuw) gebruikt worden en de erfgoedwaarden worden maximaal gevrijwaard. De versteviging van de vloer wordt uitgevoerd om het gebruik van het gebouw verder te zetten of het te hervatten. Leegstand is de slechtste toestand die een gebouw kan hebben. Herbestemming is de voornaamste oplossing om een gebouw op lange termijn te vrijwaren van verdere degradatie.

³⁴ Informatie verstrekt door Sabine Broekhoven, Erfgoedconsulent Kwaliteitszorg en Afstemming, via mail op 18 december 2018.

³⁵ Sum Research (2016). p.19.

HOOFDSTUK 2

DE VLOER ALS ONROEREND ERFGOED

2.1 BESCHERMINGSVORMEN

Vloeren worden niet apart beschermd, maar maken deel uit van een onroerend goed dat wordt beschermd onder een bepaalde beschermingsvorm. Tijdens de restauratie van beschermde monumenten in België wordt er nauwlettend opgevolgd welke structurele ingrepen er zullen gebeuren, namelijk door een restauratie-architect, een stabiliteitsingenieur, een projectleider van een aannemer, de opdrachtgever en in het bijzonder door een erfgoedconsulent van de overheid. Deze laatste is in Vlaanderen een consulent van het Agentschap Onroerend Erfgoed (AOE), en in Brussel van de Dienst Monumenten & Landschappen (DML). Bij vastgestelde geïnventariseerde gebouwen spelen dikwijls andere visies mee, die niet specifiek gericht zijn op het behoud van erfgoedwaarden, maar op de kostprijs van de werken. Hier vindt weinig tot geen controle door professionelen uit het erfgoedveld plaats. Structurele alteraties aan geïnventariseerde gebouwen moeten niet worden voorgelegd aan het Agentschap Onroerend Erfgoed of de Dienst Monumenten & Landschappen, maar worden opgenomen in de bouwvergunning. De dienst Monumentenzorg van de stad of gemeente wordt wel betrokken bij het verlenen van advies in het kader van de bouwvergunning. In de bouwvergunning worden vaak de gevolgen van een al dan niet ingrijpende interventie geëvalueerd. De focus en diepgang kan verschillen naar gelang de stad of gemeente. Voor werken aan historische gebouwen waarvan louter een of meerdere gevels beschermd zijn, bijvoorbeeld in een stads- en dorpsgezicht, wordt er wel advies van de erfgoeddienst van de overheid ingewonnen. Voor beschermde gevels vormt de vloerstructuur de directe context, waardoor er door professionelen ook rekening zal moeten worden gehouden met de erfgoedwaarden van de draagvloeren.

De bescherming van onroerend erfgoed geeft toekomstige generaties de kans om de evolutie van de cultuur te beleven. Het is van grote waarde voor de gemeenschap. In het Onroerenderfgoeddecreet zijn vier mogelijke beschermingsstatuten opgenomen^{36, 37}: beschermd monument, beschermd cultuurhistorisch landschap, een beschermd stads- en dorpsgezicht en een beschermde archeologische site. Voor elke soort bescherming kan ook overgangszone vastgelegd zijn.

Binnen de evolutie van de beschermingen tot monument bestaat er nog een distinctie tussen geheel of gedeeltelijk beschermde monumenten. Per beschermd goed staan de beschermde delen specifiek vermeld in het beschermingsbesluit; wordt enkel de gevel beschermd, enkel het gebouvolume of ook het interieur, wordt enkel de bebouwing opgenomen of ook bijvoorbeeld een tuin of binnengebied.

Een beschermd monument wordt in het Onroerenderfgoeddecreet gedefinieerd als

"(...) een onroerend goed, werk van de mens of van de natuur of van beide samen, met inbegrip van de cultuurgoederen die er integrerend deel van uitmaken, inzonderheid de bijhorende uitrusting en de decoratieve elementen van algemeen belang wegens de erfgoedwaarde(n)".³⁸

³⁶ Huyghe N. & Verstraete M. (2014), p. 32-34.

³⁷ Onroerenderfgoeddecreet (2013), art. 2.1

³⁸ Onroerenderfgoeddecreet (2013), art. 2.1 nr. 38.

Voor monumenten met beschermingsbesluiten van vóór het jaar 2015 is een toelating van het Agentschap Onroerend Erfgoed nodig voor de werken die opgenomen zijn in het beschermingsbesluit, altijd aangevuld met de generieke, specifieke en aanvullende toelatingsplichten in het Onroerenderfgoedbesluit.³⁹ Naast het Agentschap zelf kunnen ook erkende onroerenderfgoedgemeenten of intergemeentelijke onroerenderfgoeddiensten een toelating der werken verlenen. Beschermingsbesluiten, opgesteld vanaf 1 januari 2015, bevatten een lijst van toelatingsplichtige handelingen, op maat van het specifieke monument en gekoppeld aan beheersdoelstellingen.

Het Onroerenderfgoedbesluit vermeldt o.a. de toelatingsplicht voor volgende werken aan beschermde monumenten:

"Het verwijderen, vervangen, wijzigen of verstevigen van constructieve elementen".⁴⁰

Voor monumenten die beschermd zijn als industrieel erfgoed is een bijkomend artikel van kracht, dat werken beschrijft waarvoor eveneens een toelating nodig is:

"Het wijzigen, vervangen of herstellen van het beschermd goed of onderdeel ervan met niet-originele materialen en constructietechnieken"⁴¹

De rechtsgevolgen van een beschermd monument en vastgesteld erfgoed verschillen, ook in verband met de uitvoering van werken. Het Agentschap begeleidt enkel werken aan beschermd onroerend erfgoed. Een bijkomende toelating van het Agentschap is bijgevolg niet nodig voor gebouwen op de vastgestelde inventaris. Wel moeten kleine werken gemeld worden aan stad of gemeente.⁴² Voor sloop of grote verbouwingswerken is zoals voor elk gebouw een omgevingsvergunning nodig.⁴³ Hierbij onderzoekt en oordeelt bevoegde dienst van de stad, gemeente of provincie over de impact van de werkzaamheden op de aanwezige erfgoedwaarden. Op basis van deze afweging wordt door de lokale overheid zelf een beslissing genomen. Functiewijziging voor zonevreemde functies kunnen gemakkelijker worden doorgevoerd voor geïnventariseerde gebouwen.⁴⁴ Verder kan er een afwijking worden aangevraagd van de normen voor energieprestatie en binnenklimaat, indien noodzakelijk om de erfgoedwaarde van het pand in stand te houden, volgens het Energiedecreet van 8 mei 2009.⁴⁵

De definitie van een stads- en dorpsgezicht in het Onroerenderfgoeddecreet is

"(...) een geheel van één of meer monumenten en/of onroerende goederen met omgevende bestanddelen zoals beplantingen, omheiningen, waterlopen, bruggen, wegen, straten en pleinen, van algemeen belang wegens de erfgoedwaarde".

³⁹ Onroerenderfgoedbesluit (2013). Art. 6.2.1-6.2.13.

⁴⁰ Onroerenderfgoedbesluit (2013). Art. 6.2.4 nr. 2.

⁴¹ Onroerenderfgoedbesluit (2013). Art. 6.2.9 nr. 1.

⁴² Voor gebouwen op de vastgestelde lijst geldt voor gemeenten, provincies en OCMW's ook de zorg- en motiveringsplicht. De informatieplicht bij eigendomsoverdracht is eveneens van kracht.

⁴³ In sommige gevallen kan er bij de Vlaamse overheid een erfgoedlening worden bekomen voor vastgesteld geïnventariseerd onroerend erfgoed.

⁴⁴ Agentschap onroerend erfgoed (2019). Werken aan erfgoed uit een wetenschappelijke of vastgestelde inventaris. <https://www.onroerenderfgoed.be/werken-aan-erfgoed-uit-een-wetenschappelijke-vastgestelde-inventaris>.

⁴⁵ Agentschap onroerend erfgoed (2019). Het goed staat in een vastgestelde inventaris. <https://www.onroerenderfgoed.be/het-goed-staat-een-vastgestelde-inventaris>. (geraadpleegd op 20 mei 2019).

Deze beschermingsvorm behelst voornamelijk de uiterlijke kenmerken en elementen. Het kan ook gaan over andere relevante kenmerken, hun context en samenhang.⁴⁶

De vastgestelde inventarissen

"(...) bevatten over elk onroerend goed dat erin opgenomen is minstens de gegevens:

1° een plan waarop het onroerend goed nauwkeurig wordt aangeduid;

2° de benaming van het geïnventariseerde onroerend goed;

3° een beschrijving op basis van de erfgoedkenmerken".⁴⁷

Bij stabiliteitswerken aan vloerconstructies in beschermde monumenten wordt het advies en de toelating van het Agentschap ingewonnen. Voor vastgestelde geïnventariseerde gebouwen is het de lokale overheid of provincie die een beslissing maakt, indien de werken omvangrijk genoeg zijn om een omgevingsvergunning te vereisen. Een toelating van het Agentschap moet voor monumenten alleen schriftelijk worden aangevraagd indien er geen omgevingsvergunning nodig is. Via de procedure van de omgevingsvergunning wordt advies over het dossier gevraagd aan het Agentschap door de stad, gemeente of provincie. In dit geval is niet het Agentschap de vergunningverlenende overheid. Voor werken die worden vrijgesteld van toelating in een beheersplan, opgemaakt voor het monument, is geen toelatingsaanvraag meer nodig. Een erfgoedpremie kan worden aangevraagd voor de werken aan beschermde monumenten.

Aparte beschermingsvormen kunnen van toepassing zijn in bepaalde zones, zoals het CHE-gebied⁴⁸ in de vijf provinciesteden, Mechelen, Lier, Dendermonde, etc.^{49,50}. 'CHE-gebied' is de afkorting van Woongebied met culturele, historische en/of esthetische waarde. Deze definitie werd in het leven geroepen door het KB van 28 december 1972. De zones zijn aangeduid op het gewestelijk Ruimtelijk Uitvoeringsplan (RUP). Wijzigingen aan gebouwen binnen deze zones moeten deze uitzonderlijke waarde(n) behouden.⁵¹ Naar aanleiding van een bouwaanvraag voor een verbouwing of nieuwbouw kan door de stedelijke dienst Monumentenzorg worden gevraagd om een CHE-rapport op te stellen, dat de bouwhistoriek bestudeert. De inhoud en omvang van deze studie worden afhankelijk van de aard en schaal van het project bepaald.⁵²

Niet louter steden, maar ook gemeenten kunnen ervoor kiezen om het beleid rond onroerend erfgoed te voeren, in de plaats van de Onroerend Erfgoeddienst per provincie. Erkende onroenderfgoedgemeenten worden in het Onroenderfgoeddecreet gedefinieerd als:

"een gemeente die ter uitvoering van dit decreet met betrekking tot het onroerend erfgoed beleidsuitvoerende taken opneemt."⁵³

⁴⁶ Onroenderfgoeddecreet (2013). art. 2.1 nr. 45.

⁴⁷ Onroenderfgoeddecreet (2013). art 4.1.6, geactualiseerd in 2019.

⁴⁸ Woongebied met culturele, historische en/of esthetische waarde.

⁴⁹ Gewestplan, Geopunt.be

⁵⁰ Legende Gewestplan, Geopunt.be

⁵¹ Mechelen (2019). *Panden in CHE-gebied*, <https://www.mechelen.be/panden-in-che-gebied>

⁵² Antwerpen (2019). *CHE-gebied*. <https://www.antwerpen.be/nl/info/52d5052639d8a6ec798b4b70/che-gebied>

⁵³ Onroenderfgoeddecreet (2013). Art. 2.1 nr. 41.

Gemeenten kunnen zich ook verenigen om deze beleidsvoering samen op te nemen. Een intergemeentelijke onroerenderfgoeddienst kent de definitie:

*"een intergemeentelijke dienst die ter uitvoering van dit decreet met betrekking tot het onroerend erfgoed beleidsuitvoerende taken opneemt."*⁵⁴

Er geldt voor sommige monumenten in België ook de UNESCO Werelderfgoedbescherming.⁵⁵ Dit is erfgoed van unieke en universele waarde voor de mensheid, te bewaren en te ontsluiten voor toekomstige generaties. Wanneer het gebouw of de site behalve een beschermd monument ook werelderfgoed is, dient bijkomend internationaal advies te worden ingewonnen over de geplande ingrepen.

Zoals besproken in de afbakening van dit onderzoek, is façadisme bij voorkeur te vermijden. Het feit dat een draagstructuur niet beschermd is impliceert niet dat de vloer en de elementen er aan verbonden niet waardevol kunnen zijn. ISCARSAH poneert het principe:

*"The value of architectural heritage is not only in its appearance, but also in the integrity of all its components as a unique product of the specific building technology of its time. In particular the removal of the inner structures maintaining only the façades does not fit the conservation criteria."*⁵⁶

⁵⁴ Onroerenderfgoeddecreet (2013). Art. 2.1 nr. 30.

⁵⁵ <https://www.unesco.be/nl/erfgoed#werelderfgoed>

⁵⁶ ICOMOS ISCARSAN (2003), principle °1.3.

2.2 ERFGOEDWAARDEN

De draagstructuur is het skelet van het historische gebouw. De houten vloerstructuur kan ook zelf een belangrijk aspect van de cultuur van zijn tijd vertegenwoordigen; de bouwkundige kennis, technologie en vaardigheden van de bepaalde tijd vormen een erfenis voor toekomstige generaties.⁵⁷ Er zijn tal van voorbeelden van uitzonderlijke vloerstructuren, terwijl andere typische structurele ontwerpen van hun tijd zijn, maar niettemin van cruciaal belang als ondersteunende elementen voor andere karakterbepalende elementen, zoals architecturale en artistieke afwerkingen. De structuur conserveren en eventueel verstevigen is de architectuur preservareren. Erfgoedwaarden kunnen dus zowel aan de vloerstructuur zelf, als aan de afwerking die er door gedragen wordt aanwezig zijn.

Draagvloeren kunnen de binnenruimte sterk beïnvloeden. Ze kunnen een kunstwerk op zich zijn, of een vertastbaring van technisch vernuft, en kunnen een eigen erfgoedwaarde bevatten die niet per se terugkomt in andere delen van het gebouw. Daarnaast kunnen ze deel zijn van een *Gesamtkunstwerk*. Vloeren kunnen echter ook zeer onopvallend zijn, maar ze maken integraal deel uit van een monument als ruimte-scheidend en dragend element.⁵⁸ Ze hebben dus de waarde van het monument of geïnventariseerd gebouw in zich.

Volgens het Onroerenderfgoeddecreet zijn de erfgoedwaarden

*“De archeologische, architecturale, artistieke, culturele, esthetische, historische, industrieel-archeologische, technische, ruimtelijk-structurerende, sociale, stedenbouwkundige, volkskundige of wetenschappelijke waarde waaraan onroerende goederen en de cultuurgoederen die er integrerend deel van uitmaken hun huidige of toekomstige maatschappelijke betekenis ontlelen.”*⁵⁹

De internationale norm ISO 13822:2010 definieert erfgoedwaarde (*heritage value*) als

*“(...) aesthetic, historic, scientific, cultural, social or spiritual importance or significance for past, present, and future generations and that should be embodied in its character-defining elements”*⁶⁰

In Tabel 1 worden de verschillende erfgoedwaarden, die binnen de cultuur van onze contreien zijn opgesteld, bekeken en wordt er ingeschat welke van belang kunnen zijn voor historische houten draagvloeren. Er wordt aan de hand van voorbeelden onderzocht welke erfgoedwaarden van toepassing kunnen zijn. In hoofdstuk 7, rond de afweging van behoud en versteviging, worden de resultaten illustratief weergegeven. Niet alle hierboven gedefinieerde Vlaamse erfgoedwaarden zijn aanwezig op of in houten draagvloeren. Het is niet evident om zich voor te stellen dat een historische vloer bijvoorbeeld een ruimtelijk-structurerende, sociale of stedenbouwkundige waarde heeft. Deze erfgoedwaarden worden bijgevolg niet beschouwd in deze studie. De definities van de erfgoedwaarden zijn opgenomen in Bijlage 5.

⁵⁷ ISO 13882:2010 (2010) art. I.2.2.

⁵⁸ Zie bijlage 1: Glossarium

⁵⁹ Onroerenderfgoeddecreet (2013), art. 2.1 °26.

⁶⁰ ISO 13882:2010 (2010) art. I.3.7.

Tabel 1: Mogelijke erfgoedwaarden verbonden aan houten draagvloeren aangeduid in grote letters.

Erfgoedwaarden volgens Onroenderfgoeddecreet Vlaanderen – MOGELIJK AANWEZIG AAN HOUTEN DRAAGVLOEREN		
Archeologische	ESTHETISCHE	Ruimtelijk-structurerende
ARCHITECTURALE	HISTORISCHE	Sociale
ARTISTIEKE	INDUSTRIEEL- ARCHEOLOGISCHE	Stedenbouwkundige
Culturele	TECHNISCHE	Volkskundige
WETENSCHAPPELIJKE		

HOOFDSTUK 3

HOUTEN VLOEREN

3.1 GESCHIEDENIS VAN DE HOUTEN VLOER

De constructiemethoden van vloeren zijn vanouds afhankelijk van het gebruikte materiaal. Vooral tijdens de laatste eeuwen bestond er een sterke evolutie van traditionele naar nieuwe technieken en van natuurlijke naar technologische materialen. Deze kwamen tot stand door de ontwikkeling van de ambacht en industrie, en de toename van de kennis rond de krachtwerking in gebouwen.

Omwille van de ruime beschikbaarheid werd hout in de Lage Landen oorspronkelijk het meest aangewend als constructiemateriaal. Kruisende balken van de typische kuilwoningen werden gesjord met leren riemen of koorden. Vanaf ca. 300 v.Chr. zorgden complexere en duurzamere verbindingen met ijzeren spijkers en houten toognagels en spieën voor een verbeterde stijfheid en een verhoogde functionaliteit van de gebouwen.⁶¹ In Romeinse bouwwerken werd hout amper gebruikt voor de constructie van vloeren. Er werden wel enorme houten schoringconstructies geconstrueerd voor de bouw van betonnen en bakstenen bogen en gewelven.⁶²

Traditioneel werd in onze contreien hout onder de vorm van enkelvoudige balklagen gebruikt voor het overspannen van ruimten binnen een houtskeletwoning (Afb. 1). De balken werden aanvankelijk dicht bij elkaar gelegd (Afb. 2). Een vuistregel bij de constructie was dat de balkhoogte minimum 1/20 van de overspanning moest bedragen.⁶³ Vanaf het begin van de 14^{de} eeuw werd de enkelvoudige balkenlaag ingeruild voor vloeren die bestonden uit zware moerbalken met kleinere dwarse vloerliggers; kinderbalken. Haaks op de kinderbalken en dus evenwijdig met de moerbalken werd op deze draagconstructie een plankenvloer genageld (Afb. 8 en Afb. 9). De moerbalken werden meestal zo'n 200 à 220 cm hart-op-hart uit elkaar gelegd, de kinderbalken 28 à 30 cm.⁶⁴ De optredende vloerbelasting was toen kleiner dan vandaag. De ruimten van stadswoningen waren bijvoorbeeld weinig gemeubileerd en de meubels die aanwezig waren stonden doorgaans aan de kant.⁶⁵ De kinderbalken werden ofwel in de moerbalk ingelegd, bijvoorbeeld door middel van een zwaluwstaartverbinding (Afb. 9), ofwel werden ze er op gelegd en gespijkerd. Het woonhuis bestond uit een houten frame van muurstijlen, balken en dakspanten. De wanden van dit skelet werden met leem of steen ingevuld. Voor de dwarse stijfheid van deze constructie werden korbelen en windverbanden aangewend. De vloerbekleding was doorgaans opgebouwd uit lange brede eikenhouten planken. In zeer uitzonderlijke gevallen werden er plavuizen als vloerbekleding toegepast op een houten verdiepingsvloer (Afb. 5 en Afb. 6). De vloer van het gelijkvloers bestond ook vaak uit een enkelvoudige houten balkenlaag, die de draagvloer vormden boven een kelder met of zonder bakstenen gewelven. Houtskeletbouw bleef voor woonhuizen tot in de 17^{de} eeuw traditie, en was later ook een gebruikelijke maar minder populaire constructiemethode.⁶⁶ Er werd in de 19^{de} eeuw van de dubbele balkenlaag met moer- en kinderbalken opnieuw overgestapt op een enkelvoudige balkenlaag, met doorgaans hogere secties dan de kinderbalken.

⁶¹ Verstrynge, E., Brosens, K., van Hees, R. (2018). Draagvermogen van historische constructies: een sterk verhaal. Delft: WTA.

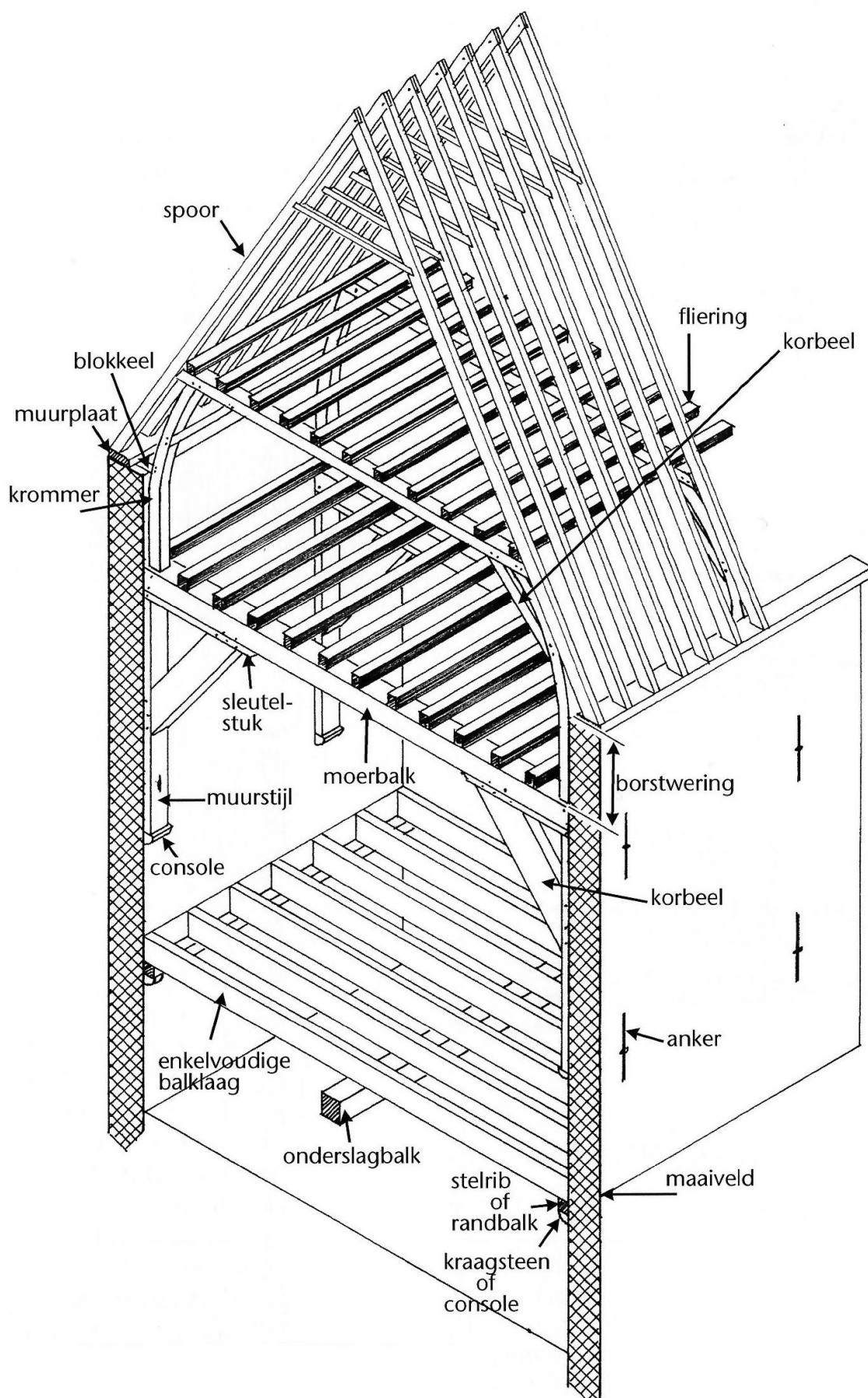
⁶² Addis B. (2007), p.93.

⁶³ Van Hemert R. (2013), p.41.

⁶⁴ Ibidem, p.45.

⁶⁵ Ibidem, p.41

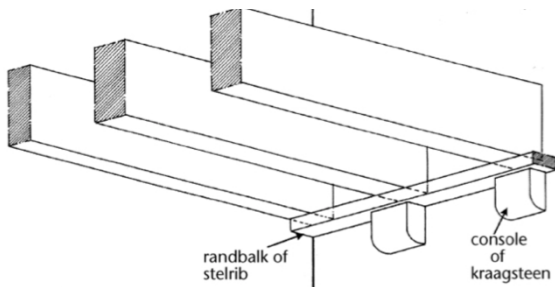
⁶⁶ Ibidem, p.11.



Afb. 1: Stadshuistypologie in houtskeletbouw rond de 17de eeuw in de Lage Landen. (Van Hemert R., p.14).



Afb. 2: Enkelvoudige balkenlaag van (verplaatste) middeleeuwse vloerconstructie met kleine hart-op-hart-afstand en polychrome beschildering, Musée de La Cour d'Or, Metz (auteur, 2019).



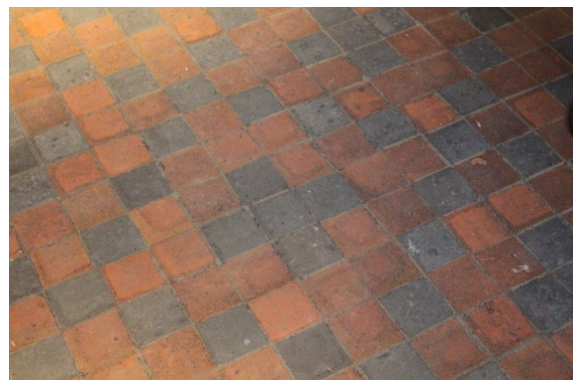
Afb. 3: Enkelvoudige balklaag op consoles of kraagstenen (Van Hemert R. p.42).



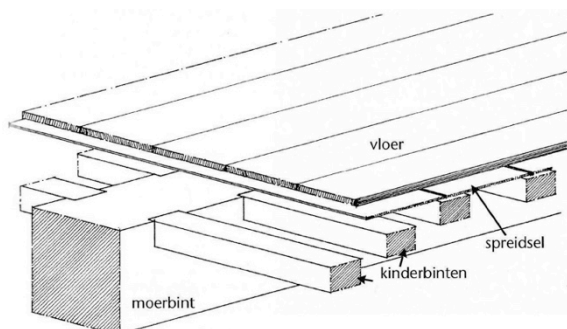
Afb. 4: Verdiepingsvloer met lange brede eikenhouten planken. Voormalige Berg van Barmhartigheid, Antwerpen (auteur in kader van beheersplan door Maat_werk architecten, 2017).



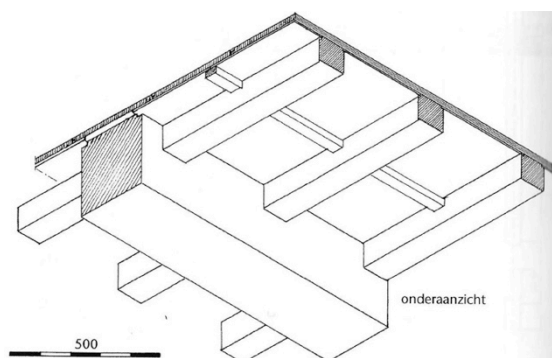
Afb. 5: Vloer boven de kunstkamer, Rubenshuis, Antwerpen, 1610-1621 (auteur, 2019).



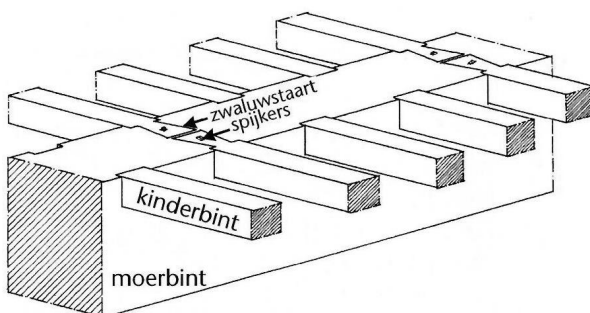
Afb. 6: Plavuizen op de houten vloerconstructie boven de kunstkamer van het Rubenshuis, eerste verdieping (auteur, 2019).



Afb. 7: Traditionele opbouw van moer- en kinderbalkvloer met plankenvloer (Van Hemert R., p.299).



Afb. 8: Onderaanzicht van vloerstructuur met moer- en kinderbalken (Van Hemert R., p.304).



Afb. 9: Typische traditionele vloerstructuur met moerbalk en kinderbalken bevestigd door middel van zwaluwstaartverbindingen en spijkers (Van Hemert R., p.47).



Afb. 10: Zwaluwstaartgleuven in moerbalk, uitgenomen kinderbalken, Hôtel du Bois, Antwerpen (Origin, 2017).

Niet alleen het ontwerp van de constructies veranderde, ook de kennis en het inzicht in de krachtenwerking in de structuur van gebouwen ontwikkelde zich, met pioniers als Leonardo da Vinci (1452-1519) en Galileo (1564-1642). Zij hadden reeds inzicht in het spanningsverloop onder belasting in de constructie-elementen. Leonardo da Vinci presenteerde met zijn werk in het begin van de 16de eeuw een eerste accurate mechanische interpretatie van structuren, naast structurele herstellingsmethoden en preventieve maatregelen.

Sinds de opkomst van het protestantisme in Noord-Europa in het midden van de 16^{de} eeuw, werd er ten opzichte van in religieuze gebouwen meer geïnvesteerd in het optrekken van burgerlijke gebouwen als stadhuisen en overdekte markten. Dit gebeurde met de alom bekende constructiemethode van metselwerk wanden, kolommen en koepels, met houten vloerbalken en dakspanten.⁶⁷ Ook in burgerlijke gebouwen waren de vloeren in deze periode veelal houtstruc-

⁶⁷ Addis B. (2007), p. 189.

turen met moer- en kinderbalken, steunend op houten of stenen korbelen en consoles, die in de rijkere interieurs polychroom werden beschilderd of werden uitgehouwen, zie Afb. 11. De structuur werd zeker niet altijd zo zichtbaar gelaten als in dit voorbeeld. De renaissance en barok zijn erom gekend de draagstructuur weg te stoppen achter bepleisteringen, natuursteen en ornamenten. Voor onderdelen van het dakgebinte werden veelal toognagels gebruikt. Dit was niet het geval voor vloeren. Moerbalken werden met de bakstenen gevels verbonden door ankers. Blinde ankers werden in het metselwerk geplaatst bij het optrekken van de wand of nadien in een gleuf, en zijn niet zichtbaar op de gevel. Zichtbare ankers werden vaak geornamenteerd en maakten deel uit van het ontwerp van de gevel.



Afb. 11: Moer- en kinderbalkenvloer met uitgehouden en beschilderde balkkop en console, Rubenshuis, Antwerpen, 1610-1621 (auteur, 2019).



Afb. 12: Enkelvoudige balklaag in burgerlijk gebouw, midden 19^{de} eeuw (auteur, 2019).

Tijdens de Franse Revolutie en als gevolg van het wegvallen van de scheiding der ambachten werden ijzer en hout frequenter gecombineerd in vloer- en spantstructuren. De toepassing van ijzer, dat voorheen beperkt bleef tot spijkers, breidde uit tot het optrekken van verbeterde structuren met bouten, beugels en trekstangen.

De industriële revolutie bracht materiaal-specifieke draagsystemen in ijzer en beton. Het gebruik van ijzer in de bouwkunde breidde uit van kleine verbindingselementen zoals spijkers, krammen, deuvels, ankers en trekstangen naar volledige draagelementen. De eerste fabriekshallen en pakhuizen hadden veelal houten vloeren en balken, soms met de toepassing van houten kolommen om de 3 à 4 meter.⁶⁸ De verhoogde frequentie en financiële impact van branden stimuleerde de technische innovatie, en leidde tot het gebruik van gietijzer i.p.v. hout, wat niet per se brandveiliger was. Men wilde de bouwkosten zo laag mogelijk houden, wat ingenieurs aanspoorde om zo weinig mogelijk materiaal te gebruiken voor een equivalente structurele prestatie. Op die manier werd de constructie van houten vloeren naar de achtergrond verplaatst. In woningen wordt heden echter nog veel gebruik gemaakt van houten vloeren. Ze zijn een structuur met gestandaardiseerde balken met rechthoekige sectie, die afdragen van wand tot wand of balk.

⁶⁸ Addis, B. (2007). p.310.

3.2 HET CIRCULAIRE BOUWMATERIAAL

Sinds het moment dat de mens sedentair werd en een meer gesofisticeerde beschutting zocht dan bomen en grotten, is hout een veelvuldig gebruikt bouwmateriaal. Het is het meest overvloedige en polyvalente organische materiaal op aarde.⁶⁹ Het wordt op een natuurlijke manier en in een korte tijdsduur vernieuwd. Hout is al sinds het begin van het gebruik een circulair bouwmateriaal. De afbouw kan worden gebruikt als voedingsbodem voor de hernieuwing. Hout is een hard vezelachtig bouwmateriaal dat zich makkelijk laat verwerken. Men wendde intuïtief houten secties aan voor de draagstructuur van woningen.⁷⁰

Onze streken waren oorspronkelijk rijkelijk bezaaid met primitieve wouden. De overleving van de inheemse bewoners was zeer verbonden met het woud. De eerste grote verandering in het bosbestand was het intensieve vellen van bomen tijdens de Romeinse overheersing. Gekapte bomen werden vernieuwd door aanplanting. Ten gevolge van bosbranden en roofkappingen werden de gronden herbestemd tot weilanden en landbouwgronden tijdens de volle middeleeuwen (900-1300).⁷¹ Reeds in de 12^{de} eeuw werd hout voornamelijk vanuit Duitsland en Scandinavië via Brugge in Vlaanderen ingevoerd. Tijdens de 16^{de} eeuw werd deze handel overgenomen door Antwerpen. In de renaissanceperiode werden nieuwe continenten ontdekt en werden nieuwe boomsoorten geïmporteerd en aangeplant. Men richtte wetten in voor bosbeheer kort na de onafhankelijk van België: het Belgisch Boswetboek (1854), dat enkel van kracht was voor openbare bossen en artikels bevatte over exploitatie en behoud. Ondanks die wetten is de bosoppervlakte in België vandaag tot een bedroevend kleine oppervlakte gereduceerd. De bosoppervlakte in België bedraagt ca. 704 700 ha⁷², ten opzichte van een totale oppervlakte van 3.068.800 ha. Belangrijk te weten is dat de boomlinten in de middenberm van autosnelwegen worden meegerekend in deze oppervlakte.

Tabel 2 geeft een overzicht van de historisch toegepaste houtsoorten voor draagvloeren in onze contreien.

⁶⁹ Beckmann, P. & Bowles, R. (2016) p.140.

⁷⁰ De Ceuleneer, A. (2000).

⁷¹ Van den Bempt, P. (2016). Cursus landschapsecologie. Master Erfgoedstudies, Universiteit Antwerpen.

⁷² ca. 146 300 ha in Vlaanderen, 2 200 ha in Brussel en 556 200 ha in Wallonië. (leefmilieu Brussel, 2017).

Tabel 2: Houtsoorten toegepast voor draagvloeren in de Lage Landen⁷³

Gangbaar voorkomen ⁷⁴	Handelsnaam	Botanische naam	Herkomst	Historisch gebruik	Volumemassa (kg/m ³)	Krimp Rad Tan	Duurzaamheid
	Eiken, Europese eik, zomereik, wintereik	<i>Quercus robur</i> , <i>Q. pedunculata</i> , <i>Q. petraea</i>	West-Europa (BE)	Alle tijden, meest gebruikte houtsoort.	700	Rad 4,0% Tan 7,5%	Zeer goed.
	Lorken, lariks	<i>Larix spec. div.</i> <i>Meleze</i>	Europa (BE), Japan	19 ^{de} eeuw.	580	Rad 2,0% Tan 4,5%	Goed.
	Noten	<i>Juglans regia</i>	Europa (BE), Noord-Amerika, Klein-Azië	Vanaf 16 ^{de} eeuw.	670	Rad 3,0% Tan 5,5%	Goed.
	Grenen, groveden, Rood Noors	<i>Pinus silvestris</i> L.	Europa (BE - aangeplant)	Historisch.	550-600	Rad 2,2% Tan 4,4%	Matig.
	Vuren, fijnspar	<i>Picea abies</i> (Ex-celsa) Karst., Var. <i>P. alba</i>	Europa (BE)	Historisch.	450	Rad 1,8% Tan 5,0%	Slecht.
	Essen	<i>Fraxinus excelsior</i>	Europa (BE), Japan, Noord-Amerika	Historisch. Enkel voor weinig belaste onderdelen.	680	Rad 5,5% Tan 7,0%	Slecht.
	Tamme kastanje	<i>Castanea sativa</i>	Europa (BE), Afrika	Historisch. Sporadisch voor dak-timmerwerk	550	Rad 3,0% Tan 5,5%	Vrij goed.

⁷³ gebaseerd op informatie uit De Ceuleneer, A. (2000). en houtinfobois.be

⁷⁴ Houtinfo, Houtdatabase toepassingen.

3.3 DUURZAAMHEID EN MATERIAALEIGENSCHAPPEN

Aangezien hout een anisotroop materiaal is, heeft de richting van de krachtswerking een grotere invloed dan bij isotrope materialen. Dit wordt hieronder geduid voor eik. De duurzaamheid hangt af van de houtsoort, het klimaat en de locatie van het onderdeel in het gebouw. Ook de materiaaleigenschappen zijn zeer uiteenlopend volgens houtsoort en groeiomstandigheden. Aangezien hout een natuurlijk gegroeid materiaal is, zijn er zwakkere zones in aanwezig. De longitudinale schikking van de cellen in de stam is verstoord waar takken zich hebben gevormd. Het celpatroon van de stam herhaalt zich in de tak in miniatuur.⁷⁵ Op de longitudinale doorsnede van de stam is hier een kwast te zien, die de stijfheid en de sterkte in de lengte van het hout lokaal vermindert. De sterkte gemeten op één plaats kan niet dezelfde verondersteld worden in de volledige balk. Hout is onderhevig aan vocht, wat ook het materiaal-specifieke structureel gedrag beïnvloedt. Daarnaast zijn vervormingen afhankelijk van de tijdspanne waarin de belasting plaatsvindt.

Houten planken worden visueel of machinaal ingedeeld in sorteerklassen. Dit gebeurt volgens de kwaliteit van het hout in klassen S4, S6, S8 of S10. Verder wordt het hout ingedeeld in klimaatklassen (I-III) volgens het vochtgehalte in het hout.⁷⁶ Omwille van de organische groei van hout, en de daarmee gepaard gaande onzekerheden over de structurele kwaliteit, wordt constructiehout ook gesorteerd in sterkteklassen. De sterkteklasse van eik uit onze contreien is D30. De tabel van de sterkteklassen van hout werd opgenomen in Bijlage 6.

STIJFHEID

De stijfheid is de eigenschap om naar de oorspronkelijke vorm terug te keren nadat er uitwendige krachten hebben ingewerkt op het constructieonderdeel. Het is de weerstand tegen vervorming en wordt weergegeven door de elasticiteitsmodulus E ($\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$). De E -modulus verschilt van soort tot soort, van ca. 9 000 N/mm^2 (kastanje, populier⁷⁷) tot 16 000 N/mm^2 (acacia⁷⁸).⁷⁹ Voor eik wordt er gerekend met een E -modulus van 10 000 N/mm^2 . De stijfheid in de richting van de vezels is zo'n 15x groter dan de stijfheid in de richting loodrecht op de vezels (zie vette kaders in Tabel 3 – groen: vezelrichting, blauw: loodrecht).

DRUKSTERKTE

De druksterkte is de weerstand van het hout tegen door buiging optredende drukspanningen of door twee tegenovergestelde krachten die duwen aan bijv. de uiteinden van de boomstam, balk of plank, loodrecht of onder een hoek op de sectie. Ze is groter in de axiale vezelrichting dan radiaal (loodrecht op de vezel). Voor de sterkteklasse van eik is de druksterkte zo'n 29 keer groter in de richting van de vezels (zie stippellijnkaders in Tabel 3 – groen: vezelrichting, blauw: loodrecht). Bij buiging van een houten vloerelement op twee steunpunten treedt druk op boven de neutrale lijn.

TREKSTERKTE

De treksterkte is de weerstand van het hout tegen door buiging optredende trekspanningen of door twee tegenovergestelde krachten die trekken aan bijv. de uiteinden. Net zoals de druk-

⁷⁵ Beckmann, P. (2016). p141

⁷⁶ NBN EN 1995-1-1:2005. Eurocode 5 – Ontwerp en berekening van houtconstructies.

⁷⁷ Deze soorten worden niet gebruikt voor structurele elementen, gezien hun lage stijfheid.

⁷⁸ Zeer beperkt beschikbaar en werd eerder gebruikt voor tuininrichting en scheepsbouw.

⁷⁹ Loofhout tabel, Houtinfo.be.

sterkte is de treksterkte groter in de vezelrichting dan loodrecht op de vezels, tot wel 40 keer (zie Tabel 3 en Tabel 4). Voor eik is de treksterkte in de vezelrichting 30 keer groter dan loodrecht op de vezels (zie dunne kaders in Tabel 3 – groen: vezelrichting, blauw: loodrecht). Bij buiging van een houten vloerelement op twee steunpunten treedt trek op onder de neutrale lijn.

Tabel 3: Illustratieve tabel van de karakteristieke eigenschappen en sterkteklassen van gezaagd loofhout.

Legende, zie volgende pagina.

(https://houtinfo.nl/sites/default/files/Infoblad_Houteigenschappen_Sterktegegevens_mrt2014_0.pdf)

Karakteristieke eigenschappen en sterkteklassen van gezaagd loofhout									
	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70	
$f_{m,k}$	18	24	30	35	40	50	60	70	N/mm ²
$E_{0,mean}$	9,5	10	11	12	13	14	17	20	kN/mm ²
ρ_{mean}	570	580	640	650	660	750	840	1080	kg/m ³
ρ_k	475	485	530	540	550	620	700	900	kg/m ³
$f_{t,0,k}$	11	14	18	21	24	30	36	42	N/mm ²
$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	N/mm ²
$f_{c,0,k}$	18	21	23	25	26	29	32	34	N/mm ²
$f_{c,90,k}$	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5	N/mm ²
$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0	N/mm ²
$E_{0,05}$	8,0	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8	kN/mm ²
$E_{90,mean}$	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33	kN/mm ²
G_{mean}	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25	kN/mm ²
$G_{0,05}$	0,50	0,53	0,58	0,63	0,68	0,74	0,89	1,05	kN/mm ²

Tabel 4: Illustratieve tabel van de karakteristieke eigenschappen en sterkteklassen van gezaagd naaldhout.

(https://houtinfo.nl/sites/default/files/Infoblad_Houteigenschappen_Sterktegegevens_mrt2014_0.pdf)

Karakteristieke eigenschappen en sterkteklassen van gezaagd naaldhout													
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	
f _{m,k}	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	N/mm ²
E _{0,mean}	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	kN/mm ²
ρ _{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	kg/m ³
ρ _k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	kg/m ³
f _{t,0;k}	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	N/mm ²
f _{t,90;k}	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	N/mm ²
f _{c,0;k}	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	N/mm ²
f _{c,90;k}	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	N/mm ²
f _{v,k}	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	N/mm ²
E _{0,05}	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	kN/mm ²
E _{90,mean}	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	kN/mm ²
G _{mean}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	kN/mm ²
G _{0,05}	0,29	0,34	0,38	0,40	0,42	0,46	0,48	0,50	0,54	0,59	0,63	0,67	kN/mm ²

$f_{m,k}$	buigsterkte evenwijdig aan de vezel;
$E_{0;mean}$	elasticiteitsmodulus evenwijdig aan de vezel;
ρ_{mean}	gemiddelde volumieke massa;
ρ_k	volumieke massa in de uiterste grenstoestand;
$f_{t;0;k}$	treksterkte evenwijdig aan de vezel;
$f_{t;90;k}$	treksterkte loodrecht op de vezel;
$f_{c;0;k}$	druksterkte evenwijdig aan de vezel;
$f_{c;90;k}$	druksterkte loodrecht op de vezel;
$f_{v;0;k}$	schuifsterkte;
$E_{0,05}$	elasticiteitsmodulus evenwijdig aan de vezel in de uiterste grenstoestand;
$E_{90;mean}$	elasticiteitsmodulus loodrecht op de vezel;
G_{mean}	afschuifmodulus;
$G_{0,05}$	afschuifmodulus in de uiterste grenstoestand;

AFSCHUIFSTERKTE

De afschuifsterkte is de weerstand van het hout tegen twee krachten die zo inwerken dat de vezels bij falen hun verband verliezen en over elkaar afglijden. Dwarskracht kan ook optreden ten gevolge van buiging. In een vlak parallel aan de vezelrichting is de afschuifsterkte het laagst, omdat de lange houtcellen hier gelegen zijn. De afschuifsterkte is hoger indien de stam een hoger volume aan stralen heeft.⁸⁰

BUIGSTERKTE

Buiging is de belangrijkste belasting in houten onderdelen die worden gebruikt voor vloeren. Hoe hoger de volumemassa (kg/m^3), hoe hoger de toelaatbare buigspanning (kg/m^2) zal zijn.⁸¹

BUIGSTIJFHEID

De buigstijfheid EI is de grootte die de weerstand van een materiaaldoorsnede tegen buiging weergeeft. Ze is het product van de elasticiteitsmodulus E (N/mm^2) en het traagheidsmoment I (mm^4).

HARDHEID

De hardheid wordt bepaald door de kracht die nodig is om een ander lichaam in het hout te laten dringen. De bewerkbaarheid is hier bijgevolg zeer afhankelijk van. Droog hout is aanzienlijk harder dan recent geveld hout.

KRIMP

Bij het drogen van hout treedt krimp op. Gezien hout een anisotroop materiaal is, krimpt het niet evenveel in elke richting. De verhoudingen tussen de krimpprocentages in axiale, radiale en tangentiële richtingen zijn respectievelijk ca. 1 tot 50 tot 100.⁸² Verder krimpt voorjaarshout meer dan zomerhout. Ook hier speelt de houtsoort een rol. Vervormingen treden op door het verschil in radiale en tangentiële krimp. Aangezien hout bij het vellen nog niet genoeg vocht verloren heeft om in bouwfyfisch evenwicht te zijn met het binnenklimaat van een gebouw, moet het op een natuurlijke of mechanische manier gedroogd worden. Natuurlijk drogen ge-

⁸⁰ Houtinfo, *Sterktegegevens van hout*. <https://houtinfo.nl/hout/sterktegegevens-van-hout>

⁸¹ De Ceuleneer, A. (2000), p. 46.

⁸² Beckmann, P. (2016) p. 141.

beurt veelal in een geventileerde overdekte ruimte. Zware eiken secties worden met lichte helling kruiselings en met tussenlatten op elkaar geplaatst.⁸³ Een snellere droging kan vandaag bekomen worden door eerst te stomen – de vezelstructuur wordt losser – en vervolgens mechanisch te drogen in een drooginstallatie. Historisch werden stronken dus natuurlijk gedroogd, soms zelfs voor de kapping door het verwijderen van de schors en daaropvolgend een jaar te wachten met het kappen. De waarden van de eigenschappen worden algemeen bepaald voor een vochtgehalte van 12%.⁸⁴

KRUIP

De herhaalde invloed van spanningen zal na verloop van tijd de eigenschappen van het houten onderdeel veranderen. De vervormingen zijn afhankelijk van de tijd. Zo vertoont hout een specifiek kruipgedrag.

BRAND

Er is een fundamenteel verschil tussen de ontvlambaarheid en de brandweerstand van hout. Hout is ontvlambaar zonder voorzorgsmaatregelen, een temperatuur van 300-400°C is vereist voor het hout om vuur te vatten. De brandweerstand is de mate waarin het hout in staat is om de dragende functie te blijven vervullen. De degradatie van hout tijdens een brand is lineair tot de tijd vanaf de zijden van het structureel element en bijgevolg goed voorspelbaar.⁸⁵

⁸³ De Ceuleneer, A. (2000), p.29.

⁸⁴ De Ceuleneer, A. (2000), p.49

⁸⁵ Schueremans, L., Van Gemert, D. & Ignoul, S. (2001), p.28.

HOOFDSTUK 4

HISTORISCHE EN HEDENDAAGSE REKENMETHODEN EN NORMEN

De aanleiding van deze thesis zijn de bestaande structurele eisen voor nieuwbouw én bestaande gebouwen. Dit hoofdstuk bespreekt kort de intuïtieve dimensionering van vloeren in het verleden en geeft een voorbeeld van een rekenmethode in het begin van de industriële revolutie. Er wordt bekeken wat de Europese normen opleggen voor het herstel en de versteviging van bestaande structuren, en in het bijzonder structuren met erfgoedwaarden.

Gerestaureerde en/of herbestemde constructies dienen te voldoen aan de huidige normering op vlak van:

- sterkte: de optredende spanningen in de structurele elementen kunnen opnemen;
- stabiliteit: knikverschijnsel. Het uitknikken van kolommen of balken in druk ligt aan de basis van grote schadegevallen. Wanneer een kritische drukkracht⁸⁶ wordt bereikt, zal het element uitknikken en zal de ondersteunde constructie instorten in het geval van een kolom;
- stijfheid: vervorming. Vervormingen kunnen meerdere oorzaken hebben. Ten eerste zijn er de vervormingen van dragende elementen door omgevingsinvloeden. Materialen kunnen uitzetten en krimpen door veranderingen in temperatuur en vochtgehalte. Wanneer deze vervorming niet symmetrisch is, zal het element een buiging ondergaan. Deze vervormingen moeten ofwel mogelijk zijn gemaakt in het structurele concept, ofwel moeten de verbindingen zo sterk zijn dat ze de buiging kunnen beletten. Het belemmeren van vervormingen heeft echter grote inwendige spanningen tot gevolg.⁸⁷ Ten tweede zijn er vervormingen van dragende elementen door uitwendige lasten, bijvoorbeeld de mobiele belasting bovenop een vloer, die afdraagt op een moerbalk.

De prestatieniveaus die heden bereikt moeten worden d.m.v. de structurele ingreep in bestaande gebouwen zijn het veiligheidsniveau en de bruikbaarheid.

VEILIGHEIDSNIVEAU

Het veiligheidsniveau wordt berekend in de uiterste grenstoestand (UGT). Deze grenstoestand kan veroorzaakt worden door het verlies van statisch evenwicht, instabiliteit, breuk, overdreven vervorming en ontaarding in een mechanisme van de draagconstructie.⁸⁸ Dit is het falen van de structuur. Hier worden veiligheidscoëfficiënten toegepast van 1,35 voor ongunstige blijvende belastingen en 1,5 voor veranderlijke belastingen. De toegelaten spanningen worden in de UGT berekend.

BRUIKBAARHEID

De bruikbaarheid wordt berekend in de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT). Deze grenstoestand behelst de limieten van normale bedrijfsomstandigheden en duurzaamheid: ontoelaatbare vormveranderingen die het uitzicht schaden of het normale gebruik verhinderen, onaanvaardbare scheurvorming, trillingen en schade aan harde afwerkingen.⁸⁹ De toegelaten door-

⁸⁶ Afhankelijk van de lengte van de kolom, traagheidsmoment van de sectie en de elasticiteitsmodulus van het materiaal; onafhankelijk van de druksterkte, aangezien dit een buigfenomeen is.

⁸⁷ Schueremans, L., Van Gemert, D. & Ignoul, S. (1999), p. 15.

⁸⁸ Schueremans, L., Van Gemert, D. & Ignoul, S. (2001), p. 9.

⁸⁹ Schueremans, L., Van Gemert, D. & Ignoul, S. (2001), p. 10.

buigingen worden in de BGT berekend. De toegepaste veiligheidscoëfficiënten in de bruikbaarheidsgrenstoestand zijn gelijk aan 1, en dus minder streng dan in UGT (onbestaande), omdat het over het gebruik gaat en niet het falen van de structuur en het mogelijk verlies van mensenlevens.

4.1 EXPERIMENTEREN MET BEREKENINGEN

Gebouwen werden voor de 19^{de} eeuw niet berekend volgens bepaalde structurele standaarden, maar eerder aan de hand van vuistregels en gebaseerd op geometrische criteria op basis van ervaringen van instortingen.⁹⁰ Aanvankelijk werden houten balken intuïtief gedimensioneerd. “Deze boomstronk zal voldoen.” Dit kan ook beschouwd worden als het toevoegen van een intuïtieve veiligheidsfactor: overdimensioneren.

De industriële revolutie bracht innovatieve en experimentele constructies met zich mee. Er waren nog geen gestandaardiseerde berekeningsmethoden. Vele ingenieurs in West-Europa ontwikkelden nieuwe empirische methoden voor o.a. de berekening van het draagvermogen van houten balken. Een voorbeeld:⁹¹

Thomas Tredgold (1788–1829), Londen, 1820.

$$W_{str} = \frac{B * D^2 * c}{L}$$

met:

W_{str} (pounds) = het gewicht dat de balk met rechthoekige doorsnede zou doen breken wanneer het in het midden van de lengte aangrijpt;

B (inches) = breedte;

D (feet) = diepte;

L (feet) = lengte;

c = constante die wordt bepaald door experimenten per houtsoort (bijv. 530 voor Riga spar).

Tredgold meende dat wanneer dit gewicht over de lengte van de balk verdeeld werd, $W_{str,diff}$, het twee keer zo groot zou moeten zijn als het gewicht dat in het midden werkt, om de balk te doen breken. Op deze formule paste hij een veiligheidsfactor van 4 toe.

$$W_{str,diff} = 2 * W_{str} \quad \text{en} \quad W_{str,diff,max} = \frac{W_{str,diff}}{4}$$

Vandaag wordt een veiligheidscoëfficiënt in de berekeningen opgenomen, maar in historische gebouwen baseerde men de dimensionering op ervaring met het falen van structuren, en gebruikte men voor de zekerheid grotere veiligheidsfactoren en bijgevolg zwaardere secties.

⁹⁰ Forsyth, M. (2007), p. 7.

⁹¹ Wouters, I., (2014) Cursus Structural renovation techniques, VUB.

4.2 VEILIGHEIDSFACTOREN

Het begrip **VEILIGHEIDSFACITOR** is ontstaan uit de verhouding van het gedrag van een prototype dat getest werd tot breuk of instorting, tot het gedrag van de structuur onder de actuele belasting.⁹²

$$veiligheidsfactor = \frac{F_{breuk\ prototype}}{F_{inwerkend\ op\ structuur}}$$

Deze definitie vereist het testen van prototypes op schaal 1:1. Bovendien bezitten niet alle structurele onderdelen op deze manier dezelfde veiligheidsfactor, aangezien de breuk in het prototype wordt veroorzaakt door het falen van het zwakste onderdeel; de overige onderdelen worden dan overgedimensioneerd, wat weinig economisch is.⁹³

De beoordeling van de veiligheid van elk structureel onderdeel en elk materiaal afzonderlijk werd mogelijk door de invoering van de **TOELAATBARE SPANNING**. Deze methode houdt echter geen rekening met onzekerheden op de grootte en aard van de inwerkende belastingen, op het materiaal en de kwaliteit van de uitvoering.

PARTIËLE VEILIGHEIDSFACTOREN werden met Eurocode 1 in het begin van de jaren '90 in het leven geroepen om deze gebreken te elimineren. De methode met aparte – partiële – factoren voor de materiaaleigenschappen en de belastingen rekent de specifieke karakteristieken en onzekerheden afzonderlijk in. Een troef van het gebruik van partiële veiligheidsfactoren voor bestaande gebouwen is dat de factoren kunnen worden gereduceerd, indien men in staat is om de onzekerheid op de materiaalsterkte te verkleinen. Concreet betekent het reduceren van de onzekerheid van het bestaande materiaal het verkleinen van het getal van de veiligheidsfactor in de berekeningen, terwijl de globale faalkans onveranderd blijft. Hoe groter het aantal metingen, dus hoe grondiger het vooronderzoek, hoe beter een reductie van de veiligheidsfactoren kan worden verantwoord. Dit kan zeer bepalend zijn voor de omvang van de noodzakelijke herstellings- of verstevigingswerken. Een voorwaarde voor het verlagen van deze veiligheidsfactor voor de materiaaleigenschappen is echter een constante productie, wat voor hout niet zo is. De keerzijde van de medaille is het feit dat destructieve metingen erfgoedwaarden zo goed als zeker aantasten en dat weinig destructieve metingen eveneens moeten worden beperkt in erfgoedcontext. Een bestaande structuur kan in zeer weinig gevallen volledig gekend zijn. Daarom dient de beperkte dataset aan resultaten, van testen in bepaalde zones in de structuur, geïnterpoleerd te worden naar de volledige structuur. Dit zijn statistische onzekerheden die de bestaande veiligheidsfactoren in de berekeningsmethode van de Eurocode onmisbaar maken. Het aantal uit te voeren metingen tijdens een vooronderzoek zijn een afweging op zich.

De internationale norm voor de beoordeling van bestaande constructies ISO 13833:2010 stelt in haar bijlage I over erfgoedconstructies dat gelijkaardige constructies als referentie kunnen worden gebruikt voor de beoordeling van constructies waar weinig resultaten voorhanden zijn:

“Significant uncertainty can remain in spite of the calibration effort due to factors such as heterogeneity of materials, hidden construction details, real extent of deterioration

⁹² Schueremans, L., Van Gemert, D. & Ignoul, S. (2001)

⁹³ Schueremans, L., Van Gemert, D. & Ignoul, S. (2001)

(...). *Using a comparative and historical approach, engineering judgment should supplement results of structural analysis to overcome this uncertainty.*"⁹⁴

Deze vergelijkende benadering wordt beschreven als:

*"de vergelijking met een aantal gelijkaardige constructies wiens gedrag reeds volledig begrepen is, kan gebruikt worden om inzicht te verkrijgen in de performantie en capaciteit van een structuur."*⁹⁵

4.3 NORMALISATIE VAN BEREKENINGEN

Vóór de invoering van de Eurocodes werden structuren in hout, net zoals in andere materialen zoals staal en beton, in de praktijk enkel berekend volgens de elastische methode met toelaatbare spanningen. Sinds het midden van de vorige eeuw werden de berekeningsmethoden uitgebreid met een nieuwe methode voor 'breukberekening', voornamelijk voor beton. Hieruit is de methode van de grenstoestanden ontstaan, die werd vastgelegd in de Eurocodes.⁹⁶

Het doel van het Eurocodes programma is het opstellen van gemeenschappelijke technische regels voor het ontwerp van gebouwen en kunstwerken, die in de Europese lidstaten de nationale regelgeving kunnen vervangen. Met andere woorden werd het ontwikkeld als eengemaakt technisch voorschrift in functie van het wegwerken handelsbelemmeringen in Europa. Eurocodes gelden ook voor bestaande gebouwen daar zij dienen

*"als middel om aan te tonen dat gebouwen en civieltechnische werken voldoen aan de fundamentele eisen van de Richtlijn van de Raad 89/106/EEG, in het bijzonder aan de fundamentele eis nr. 1 – Mechanische weerstand en stabiliteit – en de fundamentele eis nr. 2 – Veiligheid in geval van brand"*⁹⁷

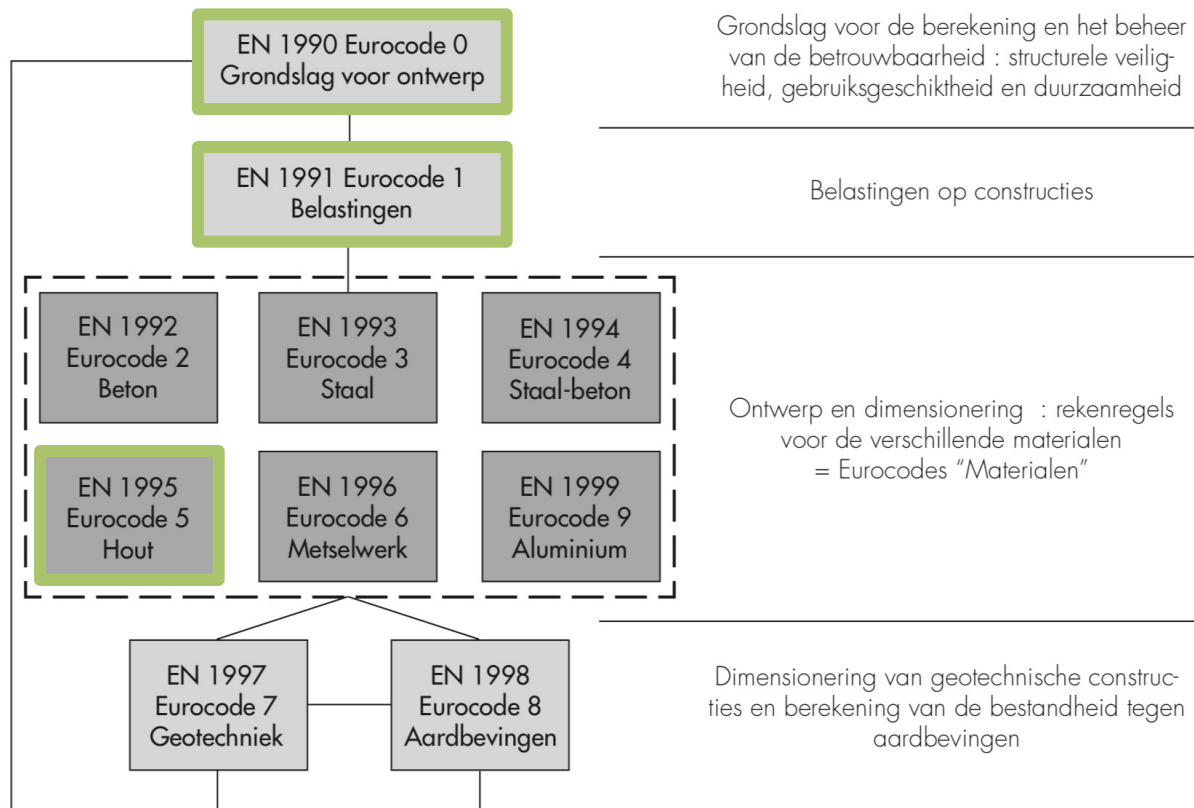
Eurocodes gelden niet alleen voor het ontwerp van (nieuwe) gebouwen, maar ook voor de berekening van (bestaande) gebouwen. Er bestaan intussen 10 Eurocodes (zie Afb. 13). Eurocodes 0 en 1 bevatten de basis van de stabiliteitsberekeningen, grenstoestanden en belastingen op nieuwe structuren. Hierin zijn algemene regels opgesteld voor de berekening van de grenstoestanden en rekenwaarden voor belastingen.

⁹⁴ ISO 13882:2010 (2010), art. I.6.6. Model Uncertainties.

⁹⁵ ISO 13882:2010 (2010), art. I.6.4 Comparative approach.

⁹⁶ Schueremans, L., Van Gemert, D. & Ignoul, S. (2001), p.7

⁹⁷ NBN EN 1991-1-1:2002. Eurocode 1 – Belastingen op constructies, inleiding



Afb. 13: Structurele Eurocodes (WTCB, 2003)

Eurocode 5 *Design of timber structures* beschrijft de normen voor de berekening van houten structuren. Het ontwerp via de methode van de grenstoestanden maakt gebruik van partiële veiligheidsfactoren.

Optredende belastingen zijn opgedeeld in permanente en variabele (nuttige, mobiele) belastingen. Voor vloeren zijn de permanente belastingen het eigengewicht en de elementen die afdragen op het constructie-onderdeel, zoals plafond- en vloerbekledingen. Mobiele belastingen zijn vastgelegd door de Eurocode volgens de functie van de ruimte (zie Tabel 5). Een gelijkmatig verdeelde belasting (kg/m^2) wordt verondersteld op de vloer.

Tabel 5: Opgelegde verdeelde nuttige belastingen voor vloeren volgens Eurocode 1.⁹⁸

Gebruiksklassen			Verticale belasting
Specifiek gebruik	Voorbeeld		kg/m ²
A	Huishoudelijke en woonactiviteiten.	Kamers in appartementsgebouwen, huizen, ziekenhuizen, jeugdherbergen en hotels, keukens en toiletten.	200
B	Kantoren.		300
C Zones waar mensen kunnen samenkomen.⁹⁹	C1: Zones met tafels, etc.	Scholen, cafés, restaurants, eetzaal, leeszaal, ontvangstruimtes.	300
	C2: Zones met vaste zitplaatsen.	Kerken, theaters, bioscopen, conferentiezaal, vergaderzaal, wachtkamers, wachtzalen van de spoorwegen.	400
	C3: Zones zonder obstakels voor het verkeer van personen.	Musea, tentoonstellingsruimtes etc.. en toegangszones in openbare en administratieve gebouwen, hotels, ziekenhuizen, spoorwegstations.	500
	C4: Zones waar lichamelijke activiteiten kunnen plaatsvinden.	Danszaal, turnzaal, podia, etc.	500
	C5: Zones waar zich grote mensenmassa's kunnen bevinden.	Gebouwen voor openbare evenementen zoals concertzaal, sporthallen met inbegrip van balkons, tribunes en toegangszones, stationsperons.	500
D	D1: Zones in gewone kleinhandelszaken.		500
	D2: Zones in grootwarenhuizen.		500
E	E1: Zones waar goederen kunnen worden gestapeld, incl. toegangszones.	Zones voor opslag, inclusief opslag van boeken en andere documenten.	750
	E2: Industrieel gebruik.		500
F	Verkeers- en parkeerzones (≤ 3 ton totaal gewicht en ≤ 8 zitplaatsen zonder de chauffeur).	Garages, parkeergarages.	250
G	Verkeers- en parkeerzones voor middelzware voertuigen (> 3 ton en ≤ 16 ton totaal gewicht op 2 assen).	Toegangswegen, leveringszones, toegangszones voor brandweerwagens met totaal gewicht ≤ 16 ton.	500

⁹⁸ WTCB (2015), Fiche Eurocode EN 1991-1-1.⁹⁹ Met uitzondering van de oppervlakken van klassen A, B en D.

CONTROLE VAN DE BUIGSPANNINGEN TEN GEVOLGE VAN HET OPTREDEND BUIGMOMENT (UGT)¹⁰⁰

De optredende buigspanningen σ worden berekend volgens de formule:

$$\sigma = \frac{Mv}{I}$$

met:

σ = optredende buigspanning (N/mm²);

M = optredend buigmoment, t.g.v. (1,35×) permanente en (1,5×) nuttige last (Nmm);

I/v = weerstandsmoment (rechthoekige) houtdoorsnede = $b \times h^2/6$ (mm³).

Deze waarde mag de ontwerpbuigsterkte van het hout, $f_{m,d}$, niet overschrijden:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} k_{inst} k_{ls} k_h}{\gamma_m} f_{m,k}$$

met:

$f_{m,d}$ = ontwerpbuigsterkte (N/mm²);

k_{mod} = modificatiefactor (belastingsduur, dienstklasse en materiaaltype);

k_{inst} = instabiliteitsfactor (kipgevaar);

k_{ls} = lastenherverdelingsfactor;

k_h = hoogtefactor;

γ_m = partiële veiligheidsfactor voor hout / 1,3;

$f_{m,k}$ = karakteristieke buigsterkte / 30 N/mm² voor houtkwaliteit D30 (eik).

CONTROLE VAN DE MIDDENDOORBUIGING (BGT)¹⁰¹

De in België toegepaste Eurocode 5 voor houten constructies vereist een maximale doorbuiging van $L/300$ voor vloerbalken.

De optredende maximale middendoorbuiging dient voor twee situaties gecontroleerd te worden, in functie van de overspanning L :

- onmiddellijke doorbuiging t.g.v. nuttige overlast: $u_{2,inst} \leq L/300$;
- netto finale doorbuiging t.g.v. permanente lasten, mobiele lasten en tijdsafhankelijk gedrag (kruip): $u_{net,fin} \leq L/200$.

Voor een ligger op twee steunpunten (cfr. case study B: begijnhofwoningen Lier) en belast door een gelijkmatig verdeelde belasting kunnen $u_{2,inst}$ en $u_{net,fin}$ als volgt bepaald worden:

$$u_{2,inst} \equiv \delta_q = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI}$$

¹⁰⁰ De Bruyn, R., de Naeyer, A., de Witte, E. (2002) structureel gedrag, en vooronderzoeksrapport Triconsult begijnhofwoningen Lier

¹⁰¹ Ibidem.

$$u_{net,fin} \equiv (1 + k_{def,p})\delta_p + (1 + k_{def,ml})\delta_q = \frac{5}{384} \frac{L^4}{EI} [(1 + k_{def,p})p + (1 + k_{def,ml})q]$$

met:

δ_q, δ_p = doorbuiging t.g.v. nuttige, resp. permanente gelijkmatig verdeelde belasting (mm);

$k_{def,p}$ = kruipfactor / 0,60 voor permanente belasting, dienstklasse 1, gezaagd hout;

$k_{def,ml}$ = kruipfactor / 0,25 voor middellange belasting, dienstklasse 1, gezaagd hout;

p, q = permanente, resp. nuttige gelijkmatig verdeelde belasting (N/mm);

L = overspanning (mm)

EI = buigstijfheid (rechthoekige) houtsectie = $E \times b \times h^3 / 12$ (Nmm²).

4.4 UITZONDERINGEN OP BESTAANDE NORMEN VOOR HISTORISCH WAARDEVOLLE GEBOUWEN?

ISCARSAH stelt (zie ook Bijlage 1 en 2):

“Vaak vereist de toepassing van dezelfde veiligheidsniveaus als bij het ontwerp van nieuwe gebouwen buitensporige maatregelen - indien deze niet onmogelijk zijn - in historische gebouwen. In deze gevallen kunnen specifieke analyses en passende overwegingen een afwijkende benadering van de veiligheid rechtvaardigen.”¹⁰²

4.4.1 IN TE REKENEN MOBIELE BELASTING

Bij de versteviging van vloeren kunnen er in heel specifieke gevallen vrijheidsgraden worden ingebouwd in het toepassen van de Eurocode, bijvoorbeeld het kiezen voor een lagere in te rekenen mobiele belasting. Deze is afhankelijk van de toekomstige functie van de ruimte. Er kan echter binnen het bouwteam en in samenspraak met de stabiliteitsingenieur desgevallend worden beslist om deze waarde te verkleinen, om de interventies aan de historisch waardevolle vloeren minder ingrijpend te maken, terwijl de veiligheid wel wordt gegarandeerd (cfr. case C: Westvleugel claustrum Abdij van Park). Bij de afweging van het rekenen met een lagere mobiele belasting dan de norm voorschrijft, moet er rekening worden gehouden met het feit dat dit niet mogelijk is in elk project. In een gebouw van een particuliere eigenaar kan een lagere toegelaten belasting worden geduid in het as-built-dossier, maar met moeilijke en nauwelijks te controleren randvoorwaarden van het gebruik. Het as-built-dossier verzekert noch de overdracht van de informatie naar huidige en toekomstige gebruikers, noch een juist gebruik. Dit in tegenstelling tot een gebouw van een openbare instelling met een duidelijk opgelegd gebruik en een controle hierop, mogelijk ook met aanwijzers voor bezoekers.¹⁰³ Een belangrijke factor in deze afweging is dus een publieke of private opdrachtgever, en de hieraan verbonden controle op het gebruik.¹⁰⁴ Toch kan een kleine verlaging van de in te rekenen belastingen in sommige gevallen een groot effect hebben op de omvang van de door te voeren verstevigingen, met daaraan gekoppeld: op het raken aan erfgoedwaarden en historisch materiaal, en op de kostprijs.

¹⁰² ICOMOS ISCARSAH (2003), principe °2.8.

¹⁰³ Bijvoorbeeld: beloopbare kunststofplaten op een verrière: bordje bij elke toegang “1 persoon per kunststofplaat”.

¹⁰⁴ Bijvoorbeeld: gebruik van levenslijnen of ankerpunten met een beperking van het aantal personen per lijn of ankerpunt in zones voor onderhoud.

Voor de berekeningen gedefinieerd door de Eurocode wordt voor houten vloeren een maximale doorbuiging van $L/300$ aangegeven. Voor kwetsbare afwerkingen zoals tegelvloeren of glazen wanden, wordt de maximale doorbuiging opgetrokken tot $L/500$.¹⁰⁵ Deze limiet werd ingesteld met het oog op het aangenaam maken/houden van het gebruik van het gebouw, zonder zichtbare doorbuigingen en het daarmee gepaard gaande onveiligheidsgevoel van gebruikers. Bij het gebruik van monumenten echter, weet men doorgaans dat men zich in een historisch gebouw bevindt, en gaat men mogelijk geen hinder ondervinden van vloeren die meer doorbuigen dan nieuwbouwvloeren. Hiermee samenhangend is ook het ongemak van trillingen, bijvoorbeeld bij de aanwezigheid van glazen vitrinekasten. Om deze trillingen tot een minimum te herleiden dient de houten vloer ook de nodige stijfheid te hebben, bijvoorbeeld door het tussenplaatsen van klossen tussen kinderbalken. Het is echter te overwegen om grotere doorbuigingen toe te laten in historisch waardevolle vloeren, met het oog op maximaal behoud. In de praktijk gebeurt dit reeds in een beperkt aantal gevallen, als de overschrijding van deze limiet beperkt is en de stabiliteitsingenieur dit voorstelt of hiermee akkoord gaat. Oude, zachtere en meer flexibele afwerkingslagen aan plafonds, zoals kalkpleister, kunnen namelijk grotere doorbuigingen verdragen dan voorgeschreven door de norm. Men zou deze grotere doorbuigingen kunnen toelaten.¹⁰⁶

Het toelaten van grotere doorbuigingen kan in bestaande gebouwen, dus ook voor monumenten, worden verantwoord op basis van de ISO-norm 13822:2010, die vermeldt dat (vrije vertaling):¹⁰⁷

"Ontworpen en gebouwde structuren op basis van vroegere normen, of ontworpen en gebouwd conform goede bouwpraktijken wanneer er nog geen bouwcodes bestonden, kunnen worden beschouwd als bruikbaar voor toekomstig gebruik op voorwaarde dat:

- *zorgvuldige inspectie geen aanwijzingen van significante schade, degradatie of verplaatsing onthult;*
- *de constructie gedurende een voldoende lange periode een goede werking heeft getoond om schade, degradatie, verplaatsing of trillingen te voorkomen;*
- *er geen wijzigingen in de structuur of in het gebruik zijn die de acties, waaronder milieueffecten op de structuur of een deel ervan, aanzienlijk kunnen veranderen;*
- *de degradatie die wordt voorspeld rekening houdt met de huidige toestand en gepland onderhoud voldoende duurzaamheid verzekert."*

Met andere woorden, deze internationale norm stelt dat wanneer het gebruik van een bestaand gebouw niet verandert, een vloer in goede staat met een bestaande doorbuiging die de maximale doorbuiging, berekend volgens de Eurocode, overschrijdt, mag behouden blijven voor verder gebruik. Dit kan geïnterpreteerd worden als ook van toepassing zijnde wanneer het gebruik wel verandert zonder nadelige effecten op de krachtwerking en milieueffecten zoals biologische aantasting.

¹⁰⁵ L = lengte van de overspanning. WTCB Tijdschrift 2001/06, dimensioneren van houtconstructies, deel 1: draagvermogen in woningen, p.34-35.

¹⁰⁶ Forsyth, M. (2007), p. 141.

¹⁰⁷ ISO 13822:2010: *Bases for design of structures – Assessment of existing structures*, Bijlage H: *design of upgrading*, art. 8.2.

4.4.3 PARTIËLE VEILIGHEIDSFACTOREN

Het verlagen van veiligheidscoëfficiënten voor beschermde monumenten is in België nog niet mogelijk. Voor betonnen structuren bestaat er reeds een zeer geavanceerde studie rond de theorie van het toelaten van aangepaste partiële factoren voor bestaande gebouwen.¹⁰⁸ In dit onderzoek wordt er gewerkt met een betrouwbaarheidsindex, die wordt bepaald op basis van een computermodel dat informatie en onbekenden over materialen, degradatieprocessen, eigengewicht, verkeersbelasting en modelonzekerheden incalculeert. Aan de hand van deze betrouwbaarheidsindex kan een hogere of lagere waarde gegeven worden aan het draagvermogen van de bestaande structuur.

Ook de ISO-norm 13822:2010 haalt een betrouwbaarheidsniveau (*target reliability level*) aan, in combinatie met erfgoedwaarden.

"The target reliability level chosen for verification shall balance safety considerations with the protection of heritage value.

*In some cases, the protection of heritage value can require the acceptance of a different reliability level, lower than that implicit in accepted design codes. In these cases, parallel measures such as restricted use or provision of alternate escape route should be adopted to limit the consequences of a failure on people or cultural contents."*¹⁰⁹

Hier worden randvoorwaarden gesteld aan het gebruik bij het toepassen van een lager doelbetrouwbaarheidsniveau, met het oog op het behoud van erfgoedwaarden. Dit is gelijklopend aan de praktijkvoorbeelden waar de in te rekenen nuttige belasting werd verlaagd t.o.v. de norm.

4.4.4 STERKTE EN STIJFHEID

Een Britse publicatie vermeldt de mogelijke verhoging van de elasticiteitsmodulus en dus de stijfheid van het bestaande hout in de berekeningen van de doorbuigingen van historische balken.¹¹⁰ Hier wordt gesteld dat oude houten elementen sterker en stijver zijn dan hun moderne tegenhangers, waardoor hogere sterkte en stijfheid zouden kunnen ingerekend worden. Het resultaat van deze berekeningen zou dan kleinere optredende doorbuigingen zijn. Dit is volgens het huidig onderzoek een brug te ver, aangezien men de sterkte van een bestaande balk niet met 100% zekerheid kan kennen. Men kan enkel een beperkt aantal sonderingen doen met meettoestellen als een resistograph. Hout is anisotroop en heterogeen materiaal, wat veel variatie van de sterkte in eenzelfde structureel element met zich meebrengt. Structurele belastingstesten kunnen worden uitgevoerd om te bewijzen dat de structuur meer belasting kan dragen dan wat kan worden gerechtvaardigd met hedendaagse berekeningen.¹¹¹

¹⁰⁸ Caspeelee, R., Sykora, M., Allaix, D.L., Steenberghe, R., (2013). p.386-393.

¹⁰⁹ ISO 13822:2010 (2010), art. I.7.3 Target reliability level.

¹¹⁰ Forsyth, M. (2007), p. 141.

¹¹¹ Ibidem.

HOOFDSTUK 5

ANAMNESE – DIAGNOSE – THERAPIE – CONTROLE

De vloer is een schakel in een draagsysteem. Dit historisch draagsysteem moet volledig worden begrepen voor men tot actie overgaat. Wanneer men zal ingrijpen op de krachtswerking, moet men weten welke precieze gevolgen dit zal hebben. Het onderzoek gaat verder dan het in kaart brengen van de veroudering en schade; onder andere de historische gelaagdheid, de schade-oorzaken, de aanwezige uitwendige en inwendige krachten en de staat van het materiaal moeten worden bepaald.

De structuur moet worden onderzocht wanneer de bestemming en/of de belastingen veranderen, of wanneer het gebouw door het feit dat er werken worden uitgevoerd, moet voldoen aan de hedendaagse normen, of indien men de standzekerheid in vraag stelt. Dit is als het ware een fysiek onderzoek en een diagnose van de gezondheid van het gebouw. Het standzekerheidsonderzoek dient te gebeuren als onderdeel van de nodige vooronderzoeken van een restauratie of renovatie om de noodzaak, de aard en de omvang van de uit te voeren verstevigingswerken te bepalen. Vooraleer er andere restauratiewerken kunnen worden voorzien, dient de globale integriteit en standzekerheid van de historische structuur gekend te zijn. In de renovatie- en restauratiepraktijk van historisch waardevolle gebouwen zijn er niet altijd financiële middelen voorhanden en vergt de integratie van een grondig standzekerheidsonderzoek een zekere organisatorische inspanning van het bouwteam. Optimaal beheer van financiële middelen voor onderhoud, herstelling, maar ook het onderzoeken van de structuur is bijgevolg noodzakelijk. Een gericht vooronderzoek kan zelfs kostenbesparend zijn.

De structuur kan zich zo gedragen dat fouten in het ontwerp en/of de uitvoering kunnen worden vermoed, zoals vloeren die overdreven doorbuigen. Ernstige schade aan dragende elementen is eveneens een reden tot verder onderzoek. Zo kan een structureel element zijn draagkracht grotendeels verloren zijn door bijvoorbeeld vochtschade, aantasting door houtborende insecten of schimmels, overbelasting, etc. Verder vereisen ook accidentele of opzettelijke beschadigingen en een wijziging van het gebruik een structurele evaluatie. De verschillende bovenstaande schadefenomenen vergen een andere soort vooronderzoek.¹¹²

¹¹² De Bruyn, R., de Naeyer, A., de Witte, E. (2002), p. 123.

Het Charter van Venetië spreekt zich niet expliciet uit over de conservering van draagstructuren in historisch waardevolle gebouwen. Er werden wel aanbevelingen opgesteld door ISCARSAH die refereren aan de geneeskundige behandeling van een zieke patiënt: anamnese – diagnose – therapie – controle¹¹³. De gelijkenis met een gebouw zijn diens aangeboren beperkingen en beschadigingen tijdens de levensduur. Dit stappenplan wordt door vele academische¹¹⁴ en professionele¹¹⁵ instanties gehanteerd en geciteerd¹¹⁶. Deze volgorde wordt overgenomen in de opbouw van de case studies. De medische analogie voor de restauratie van historische (antieke) gebouwen werd eerst beschreven door Leon Battista Alberti (1404-1472) in de laatste twee hoofdstukken van zijn postuum gepubliceerde 10de boek in 1485. Hij pleitte eveneens voor een grondig vooronderzoek van de schadeoorzaken vooraleer actie te ondernemen.¹¹⁷

ANAMNESE

Gegevensverzameling over de geschiedenis van het gebouw via literatuur (over specifiek materiaal, constructiemethode, oeuvre van de architect, etc.) en archieven (oorspronkelijke plannen, (ver)bouwvergunningen, rapporten over herstellingen, lastenboeken, meetstaten, bestaande berekeningen, milieuvergunningen, etc.). Hoe accurater dit bouwhistorisch onderzoek, hoe preciezer de diagnose zal zijn. Het structureel concept van het gebouw moet volledig worden begrepen voordat men deze op een correcte en veilige manier kan aanpassen. De algemene principes die ISCARSAH poneert hebben betrekking op het multidisciplinaire aspect van behoud, versteviging en restauratie. Vanaf het vooronderzoek moet een multidisciplinair team worden samengesteld, afhankelijk van de aard en de omvang van de werken:

*"Usually a multidisciplinary team, to be determined in relation to the type and the scale of the problem, should work together from the first steps of a study - as in the initial survey of the site and the preparation of the investigation programme."*¹¹⁸

DIAGNOSE

De diagnose is gebaseerd op historische, kwalitatieve en kwantitatieve benaderingen. De kwalitatieve aanpak baseert zich op visuele waarnemingen van de structurele schade en verval en op historisch en archeologisch onderzoek. De kwantitatieve aanpak zijn voornamelijk materiaaltesten in situ (soms ook labo), monitoring en structurele analyse¹¹⁹ (berekeningen, modellen). Idealiter is de eerste stap de analyse van het gebouw in situ d.m.v. visuele waarnemingen: het optekenen van scheurpatronen en vervormingen, opvolgen van pleistergetuigen of scheurmeters, opmeting van de draagelementen, monitoren van bewegingen. De oorzaken, aard en omvang van schade en verval worden onderzocht. De draagcapaciteit en het veiligheidsniveau worden geëvalueerd. Er wordt ingegrepen met een tijdelijke oplossing wanneer de structuur niet meer veilig toegankelijk is, meestal d.m.v. schoringen. Bij een waardevol en kwetsbaar plafond gebeuren deze schoringen met de grootste omzichtigheid, bijvoorbeeld met luchtkussens. Beschikbare informatie moet worden verwerkt in een actieplan.¹²⁰

¹¹³ ICOMOS ISCARSAH (2003), principle °1.6

¹¹⁴ K.U. Leuven, Raymond Lemaire International Centre for Conservation, WTA, SAHC.

¹¹⁵ Triconsult, Origin, Stabitec, Provost.

¹¹⁶ De Bruyn, R., de Naeyer, A., de Witte, E. (2002), p 125.

¹¹⁷ Forsyth, M. (2007), p. 2.

¹¹⁸ ICOMOS ISCARSAH (2003), principle °2.1.

¹¹⁹ Ibidem, principle °2.5.

¹²⁰ Ibidem, principles °1.7 & °2.2.

*"A full understanding of the structural and material characteristics is required in conservation practice. Information is essential on the structure in its original and earlier states, on the techniques that were used in the construction, on the alterations and their effects, on the phenomena that have occurred, and, finally, on its present state."*¹²¹

THERAPIE

Gesteund op de anamnese en diagnose stelt de ingenieur, samen met architect en bouwheer, een of meerdere behandelingen voor om het gebouw te beveiligen, herstellen of verstevigen. Deze ingrepen zijn zeer materiaalafhankelijk. De therapie moet de eerder de grondoorzaken aanspreken dan de symptomen¹²² en enkel acties die volstrekt onmisbaar zijn mogen/moeten worden uitgevoerd¹²³. De interventie moet tot het minimum worden herleid tijdens het nastreven van het gewenste veiligheidsniveau, om veiligheid en duurzaamheid te garanderen met het grootst mogelijke behoud van erfgoedwaarden.¹²⁴ Het ontwerp van de interventie moet gebaseerd worden op een volledig begrip van de soorten acties die de schade en verval hebben veroorzaakt alsook de krachten die in rekening moeten worden gebracht voor de analyse van de structuur na de interventie.¹²⁵ De afweging tussen traditionele en innovatieve technieken moet steeds worden gemaakt, incl. de verificatie dat de traditionele of nieuwe techniek geen fouten bevat. De voorkeur moet worden gegeven aan de minst invasieve en meest compatibele met de erfgoedwaarden, met ook veiligheid en duurzaamheid in rekening gebracht.¹²⁶ De eigenschappen van de materialen die worden toegepast in onroerend erfgoed moeten zo volledig mogelijk gekend zijn, zo stelt ISCARSAH:

*"The characteristics of materials used in restoration work (in particular new materials) and their compatibility with existing materials should be fully established. This must include long-term impacts, so that undesirable side-effects are avoided."*¹²⁷

Alle maatregelen moeten reversibel zijn wanneer mogelijk, zodat ze kunnen worden verwijderd en eventueel vervangen door meer gepaste maatregelen wanneer nieuwe kennis wordt verworven. Wanneer ze niet volledig omkeerbaar zijn, moeten ze wel bijkomende interventies toelaten.¹²⁸ Demontage en herplaatsing zijn louter last resorts volgens ISCARSAH:

*"Dismantling and reassembly should only be undertaken as an optional measure required by the very nature of the materials and structure when conservation by other means impossible, or harmful."*¹²⁹

¹²¹ ICOMOS ISCARSAH (2003), principle °2.3

¹²² Ibidem, principle °3.1

¹²³ Ibidem, principle °3.4

¹²⁴ Ibidem, principle °3.5

¹²⁵ Ibidem, principle °3.6

¹²⁶ Ibidem, principle °3.7

¹²⁷ Ibidem, principle °3.10

¹²⁸ Ibidem, principle °3.9

¹²⁹ Ibidem, principle °3.17

CONTROLE

Controles worden tijdens en na de interventie uitgevoerd. Elk interventievoorstel moet worden vergezeld door een programma van controle, dat voor zover als mogelijk wordt uitgevoerd terwijl de werken nog in uitvoering zijn.¹³⁰ Maatregelen die oncontroleerbaar zijn tijdens de uitvoering mogen niet worden toegestaan.¹³¹ Controles en monitoring moeten worden uitgevoerd tijdens en na de interventie om de effectiviteit van de ingrepen te verzekeren.¹³² Al deze controles moeten worden gedocumenteerd en als een deel van de geschiedenis van het gebouw worden bewaard.¹³³ Het is vaak noodzakelijk dat het onderzoek deze stappen herhaalt in een iteratief proces, met het oog op kosteneffectiviteit van de verworven fondsen en een minimale impact op het erfgoed.¹³⁴

¹³⁰ ICOMOS ISCARSAH (2003), principle °3.19

¹³¹ Ibidem, principle °3.20

¹³² Ibidem, principle °3.21

¹³³ Ibidem, principle °3.22

¹³⁴ Ibidem, principle °1.6

HOOFDSTUK 6

STRUCTURELE VERSTEVIGINGSTECHNIEKEN VOOR HOUTEN VLOEREN

Vloeren worden in het algemeen hersteld of verstevigd wanneer de standzekerheid niet gegarandeerd kan worden of door strengere belastingseisen. Versterking van de houten draagstructuur kan genoodzaakt zijn door het veranderen van de functie van het gebouw met hogere belastingseisen en/of door recentere normen die hogere veiligheidsfactoren of kleinere toelaatbare doorbuigingen voorschrijven. De structuur moet voldoen aan sterkte-eisen (uiterste grenstoestand) en aan doorbuigingseisen (bruikbaarheidsgrenstoestand). Het op maat ontwerpen van goed toepasbare herstel- of verstevigingstechnieken is een must bij elke structurele restauratie.

Idealiter zouden traditionele herstel- en verstevigingsmethoden gebruikt moeten worden in historische constructies. De toepassing hiervan kan echter tot onacceptabele resultaten leiden met verlies van historisch materiaal. Toepassingen met moderne materialen en technieken kunnen even effectief of zelfs gepaster zijn dan traditionele. Deze innovatieve materialen en technieken kunnen toegepast worden wanneer ze een bewezen levensduur hebben en hun eigenschappen welgekend zijn. De keuze tussen traditionele en moderne methoden is eveneens een afweging die gemaakt moet worden op maat van het restauratieproject. Men dient op een eerlijke manier in te grijpen op de structuur van het historisch waardevol gebouw, zonder poging tot verberging of kunstmatige veroudering, maar ook zonder al te opvallende toevoegingen.¹³⁵

Het vervangen i.p.v. herstellen of versterken van houten draagelementen is niet gewenst in historisch waardevolle gebouwen en zal enkel worden toegepast indien alle andere mogelijke opties werden afgewogen en ontoepasbaar zijn verklaard. Men dient steeds te proberen om historisch materiaal maximaal te conserveren.¹³⁶ Zeer sterk aangetaste houtsecties moeten echter meestal wel (deels) worden vervangen, bijvoorbeeld bij balkkopherstel.

In dit hoofdstuk worden herstel- en verstevigingstechnieken voor hout besproken die reeds in de praktijk zijn uitgevoerd. Het belang van voorafgaandelijk grondig onderzoek van de bestaande draagconstructie en een volledig begrip van de krachtswerking a priori kan niet genoeg worden benadrukt. Een groot aantal voorwaarden bepaalt de keuze van de toe te passen techniek in een erfgoedcontext. Deze worden in volgend hoofdstuk toegelicht onder de vorm van afwegingsprincipes. Bij de afweging van de voordelen en beperkingen van de techniek met de voorwaarden wordt best een expert betrokken. Regelmatig onderhoud en controle op schade blijven onontbeerlijk na de structurele ingreep.

¹³⁵ Forsyth, M. (2007), p. 140.

¹³⁶ ISCARSAH art. 3.5

De internationale norm voor de beoordeling van bestaande structuren pleit voor een minimale interventie met compatibele materialen volgens een geïntegreerd plan met het behoud van onderscheidende historische kenmerken:

"Intervention should be kept to the minimum level that meets structural requirements in order to ensure the least harm to heritage values.

Compatible materials: Material used for interventions should be compatible with the original material in terms of mechanical, chemical and other characteristics, and should maintain these characteristics in the long term. They should not have harmful effects, such as causing corrosion or decay.

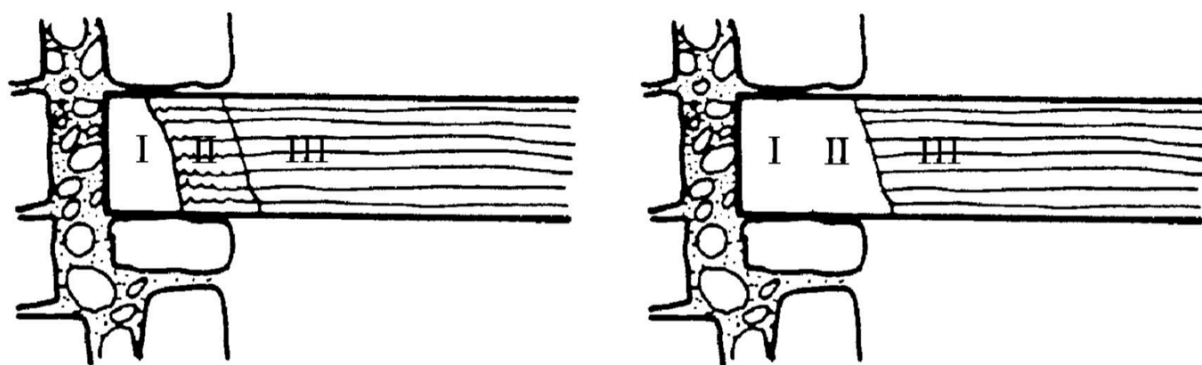
Integrated plan: Intervention should be the result of an integrated plan to meet architectural, structural, and functional requirements.

*Distinctive historic features: The removal or alteration of any historic material or distinctive architectural features should be avoided wherever possible."*¹³⁷

¹³⁷ ISO 13882:2010 (2010) art. I.9.2 Minimal intervention

6.1 HERSTELLEN VAN HOUTEN VLOEREN

Dwarskrachten in houten balken zijn het grootst in de balkkoppen. Dit zijn zeer kwetsbare delen van de houten vloerconstructie. Ze bevinden zich meestal op de meest delicate plaats op vlak van bouwfysica, i.e. opgelegd in de buitengevels van het gebouw, in contact met natuursteen of metselwerk en eventueel ook verbonden aan de dakconstructie en/of in contact met het buitenklimaat. Balkkopaantasting is ten gevolge van waterinfiltratie of biologische aantasting een frequent voorkomend probleem in historische gebouwen. De aantasting aanwezig in een balkkop heeft een gradueel verloop over de lengte. Het uiteinde is (wegge)rot (I), een portie aangeast hout (II) vormt de overgang naar het gezonde hout (III) (zie Afb. 14). Alle aangetaste delen moeten worden verwijderd en vervangen door een balkkopprothese, zodat enkel gezond hout overblijft.



Afb. 14: Gradueel verloop van aantasting van een houten balkkop, opgelegd in een metselwerkwand (links). Prothese wordt geplaatst (rechts) ter vervanging van (wegge)rot hout (I) en overgangszone aangetast hout (II), in aansluiting met gezond hout (III). (Heirman, G. (2017))

In de jaren 1970 werd een polymeerchemische hersteltechniek met epoxymortel ontwikkeld.¹³⁸ Het grote voordeel van de vervanging van aangetast hout door epoxymortel is de quasi oneindige weerstand tegen vochtindringing. Experimenteel onderzoek wees uit dat hoe lager de vochtigheid van het hout, hoe beter de hechting met de epoxymortel is.¹³⁹ Bij het meten van de aanhechtsterkte tussen epoxymortel en hout met vierpuntsbuigproeven braken alle proefstukken in het hechtvlak. De cohesie van de aanhechting is kleiner dan de cohesie van het hout. Om de krachtsoverdracht te realiseren zal het bijgevolg altijd nodig zijn om bijkomend dwarskrachtwapening te plaatsen. Deze wapening wordt voorzien door ingelijmde wapeningsstaven (zie Afb. 15 en Afb. 16).¹⁴⁰ De dwarskrachtwapening dient door de stabiliteitsingenieur bepaald te worden. De treksterkte van de ingelijmde ankers wordt gecontroleerd d.m.v. pull-out tests, letterlijk het meten van de treksterkte van de verbinding door het uittrekken van de staaf uit een houtblok. De wapeningstaven kunnen inox draadstangen zijn of uitgevoerd worden in GFRP-staven.¹⁴¹ Onafhankelijk van het wapeningsmateriaal moeten de staven altijd worden ingelijmd, zodat het hechtvlak de optredende dwarskrachten kan opnemen. Epoxymortels en structurele epoxylijmen zijn zeer specialistische materialen, die specifieke condities vereisen en exact volgens de voorschriften moeten worden toegepast.¹⁴² De toepassing op een restauratiewerk dient bijgevolg zeer nauwgezet te worden voorbereid en gepland. Onder slechte omstandigheden gegoten epoxymortel of -lijm zal binding missen, bijv. door aanwezige vuilpartikels. Het is dus

¹³⁸ De Bruyn, houtherstelling en versterking, p. 10.

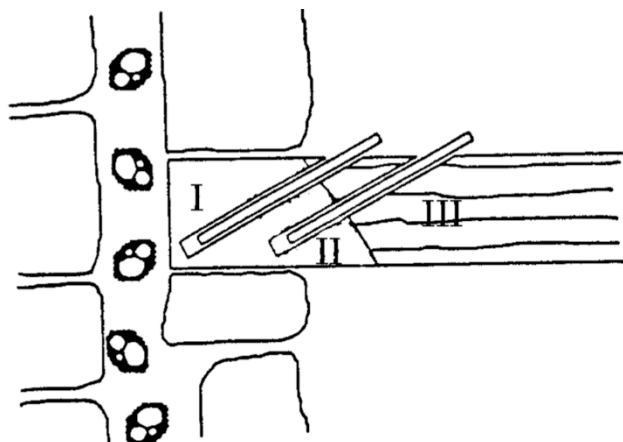
¹³⁹ Ignoul, S., Brosens, K., Schueremans, L., Van Gemert, D. (2007)

¹⁴⁰ De Bruyn, houtherstelling en -versteving, p 16.

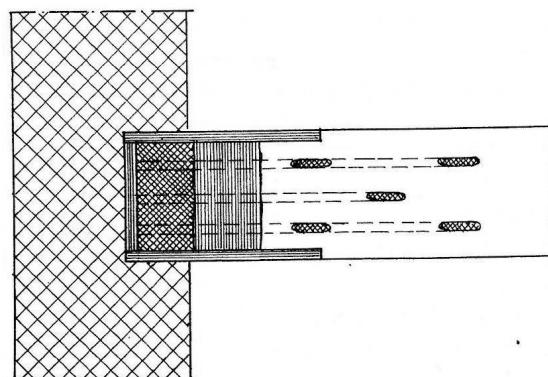
¹⁴¹ Glass fibre reinforced polymer – glasvezelversterkte polymeer

¹⁴² Forsyth, M. (2013), p. 173.

van belang de boorgaten voorafgaandelijk voldoende te reinigen (bijvoorbeeld door middel van perslucht) alvorens de lijm en de ankerstaven worden ingebracht.



Afb. 15: Epoxymortelprothese van de balkkop met bijkomende ingelijmde ankers (Heirman, G. (2017))



Afb. 16: Bovenaanzicht van een epoxy balkkopprothese en vijf ankers (Van Hemert, R., p. 291).



Afb. 17: Behouden gedeelte van de moerbalk met ankerholtes voor de structurele verbinding met de te storten epoxymortel, pandgang basiliek Tongeren (Heirman, G., p.172).



Afb. 18: Epoxymortelherstelling zonder verloren bekisting, St.-Catharinakerk Duisburg (Heirman, G., p.169).

Naast polymeerchemische herstellingen kan er ook met het oorspronkelijk materiaal worden gewerkt. Een houtprothese, bijv. met liplas, vervangt de aangetaste balkkop. Het bijkomende houten onderdeel kan ook worden uitgevoerd als steunpunt, onder de vorm van een nieuwe console, sleutelplank, of kolom. Deze laatste methode is minder wenselijk in historisch waardevolle gebouwen. De toevoeging van kolommen kan immers het structureel ontwerp en de ruimte in grote mate veranderen. Een nieuwe console kan behalve in hout ook in staal of beton worden uitgevoerd. Deze zal een bijkomend moment veroorzaken op de muur, dat ook geverifieerd dient te worden in de berekeningen. De verstevigingstechniek van de balkkop met epoxymortel verzekert na ca. 40-50 jaar dienst wel zijn duurzaamheid en compatibiliteit met hout. Wanneer men de balkenlaag boven een zeer waardevol stucplafond restaureert, is een opvulling met epoxymortel een goede oplossing. Stucwerk is immers via smeedijzeren verbonden is aan achterliggende houten balken. Op die manier kan het historisch materiaal beter behouden blijven met epoxymortel dan bij een herstelling met nieuw hout: bij toepassing nieuw hout zal het stucwerk steeds bijkomend beschadigd moeten worden (verwijderen nagels, aanbrengen verankeringen, etc).



Afb. 19: Voor interventie: weggerotte balkkop en aangetaste overgangszone naar gezond hout. (Domus tech (2017))



Afb. 20: Tijdens interventie: verlijmde houten balkkopprothese in deels gedemonteerde gevel. (Domus tech (2017))



Afb. 21: Balkkopprothese van nieuw hout met schuine haaklas. (McCaig, I., p. 296)



Afb. 22: Ensemble van verschillende soorten oudere balkkopherstellingen: toegevoegde houten sleutelplank (dichtstbij); epoxymortel met verloren bekisting balkkopprothese met rechte liplas; houten balkkopprothese met schuine liplas. Predikherenklooster Mechelen (auteur, 2017).

Behalve aan de balkuiteinden kunnen moerbalken ook intern polymeerchemisch hersteld worden. Wanneer de balk inwendig is aangetast door houtborende insecten en bijgevolg erg verzwakt is, kan deze worden hersteld met behulp van epoxymortel. Het aangetaste hout wordt verwijderd tot er enkel gezond hout overblijft (zie Afb. 24). Soms is het enkel de 'schil' van de moerbalk die resteert; hierin wordt epoxymortel gestort. Het uitzicht van de balk blijft in deze gevallen ongewijzigd. Zoals bij epoxymortelprothesen van balkkoppens zijn ook hier wapeningsstaven noodzakelijk voor de overdracht van de optredende spanningen tussen hout en epoxymortel,¹⁴³ alsook voor het opnemen van de nodige trekspanningen ten gevolge van de buigspanningen (buigwapening). De (buig)wapening dient door de stabiliteitsingenieur te worden bepaald. Het is zeer belangrijk dat de balk gestut wordt tijdens deze werken.



Afb. 23: Sterk aangetaste moerbalk, Tiendenschuur Herkenrode, 1999. (Heirman, G., p.299)



Afb. 24: Stap 1: verwijderen van aangetast hout (Heirman, G., p.300)



Afb. 25: Stap 2: voorzien van wapeningsstaven (Heirman, G., p.301).



Afb. 26: Stap 3: polymeerchemisch herstel: epoxy in de balk gegoten, de wapening omhullend. (Heirman, G., p.301)

¹⁴³ Cleary, R. (2014), p. 65.

Wanneer zeer aangetaste kinderbalken niet ter vervanging uit te halen zijn door bijvoorbeeld de aanwezigheid van oorspronkelijke smeedijzeren ankers en/of een waardevol stucwerkplafond er aan bevestigd is, kan epoxymortel ook hier een oplossing zijn. Er wordt een bekisting rondom de oneven oppervlaktes van de aangetaste kinderbalken aangebracht, die wordt opgestort met epoxymortel. Ook hier is buigwapening onder de vorm van wapeningsstaven vereist.



Afb. 27: Zoldervloer westvleugel Abdij van Park. Herstelde kinderbalken met epoxymortel. Links bekistingen rond de kinderbalken en uithardende epoxymortel, midden behouden kinderbalk, rechts zichtbare wapeningsstaaf (inox draadstang) (Heirman, G., p.250).

6.2 VERSTEVIGEN VAN MOER- EN KINDERBALKEN

In hoofdstuk 3 werden de optredende krachten in houten vloerelementen kort uiteengezet. In dit onderdeel volgt een verdere toelichting met versterkingsmethoden die de houten vloerelementen beter in staat stellen om de krachten op te nemen. De mogelijke effecten op aanwezige erfgoedwaarden worden besproken per toepassing. Sommige verstevigingstechnieken kunnen niet enkel op moerbalken worden toegepast, maar ook op kinderbalken. Deze toepassing kan minder gebruikelijk maar wel mogelijk zijn, en wordt per techniek geduid.

Onderstaande technieken worden besproken op basis van bestaande publicaties. Dit is geen nieuw onderzoek. Per techniek, die in het restauratieproces zal worden afgewogen met de overige toepasbare technieken, worden in dit hoofdstuk voor- en nadelen gegeven van hun toepassing in een erfgoedcontext. Deze ingrepen kunnen worden ingedeeld in één of meer van de volgende categorieën van verstevigingstechnieken.

De GRAAD VAN VERSTEVIGINGSTECHNIEK is een classificatie zonder een hiërarchie, die ook een indeling maakt van de technieken voorkomend in de cases (hoofdstuk 8).

GRAAD A: gebruik van de oorspronkelijke constructietechniek (bijv. toevoeging van houtsecties, moer- of kinderbalken).

GRAAD B: gebruik van een historische constructie- of verstevigingstechniek (bijv. vernagelen, toevoegen van stalen trekkers en beugels).

GRAAD C: gebruik van een verstevigingstechniek met toevoeging van een nieuw materiaal dat zijn nut en compatibiliteit reeds heeft bewezen (bijv. techniek met structurele verlijming of epoxymortel).

GRAAD D: gebruik van een verstevigingstechniek met toevoeging van een stijver constructiemateriaal niet eigen aan het constructieprincipe (bijv. toevoegen van stalen platen of liggers).

Het is niet voldoende om een verstevigingsontwerp te maken dat zich louter focust op het opnemen van de ontwerpspanningen en het beperken van de doorbuiging; het ontwerp moet rekening houden met de staat van de bestaande houten structuur en eventuele vochtproblemen en biologische degradatie. Bovendien moeten de mogelijke interacties tussen het oude en nieuwe structurele element nauwgezet worden geverifieerd op vlak van vochthuishouding en chemische reacties. Het looizuur van verse eik kan bijvoorbeeld staal aantasten, zelfs als het verzinkt is.¹⁴⁴ Indien het hout een hoge zuurtegraad heeft, worden er best roestvrij stalen bevestigingsmiddelen gekozen.¹⁴⁵ Voor de wapening worden inox draadstangen of GFRP-staven¹⁴⁶ gekozen. De staalplaten zijn beschermd door de epoxylijm.

Houten vloerstructuren dienen in de meeste gevallen verstevigd te worden door een te grote doorbuiging volgens de normen. Ook de optredende buigspanningen dienen overbrugd te worden, waarvoor in meerdere gevallen ook versteviging nodig is. Dwarskrachten zijn echter minder bepalend voor de versteviging van houten vloeren.

¹⁴⁴ Beckmann, P. (2016), p. 160.

¹⁴⁵ Forsyth, M. (2013), p. 173.

¹⁴⁶ GFRP = Glass fibre reinforced polymer

6.2.1 TOEVOEGEN VAN EEN EXTERNE STRUCTUUR

GRAAD VAN VERSTEVIINGSTECHNIEK: A/B

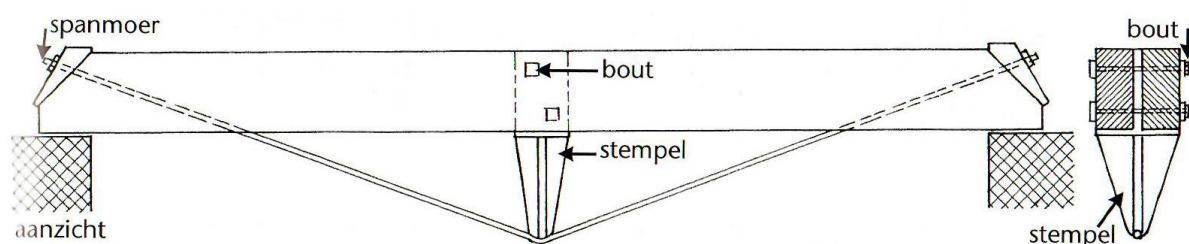
Een houten draagvloer kan worden verstevigd door de toevoeging van externe dragende elementen, bijvoorbeeld kolommen, muren of trekkers. De twee eerste structurele elementen zijn zeer bepalend voor de ruimte en zijn niet wenselijk in een erfgoedcontext (zie Afb. 28). De buigtrekspanningen onderaan de moerbalk kunnen worden overgebracht op een parallelle structuur onder de vorm van stalen trekkers (zie Afb. 29 en Afb. 30). De moerbalk wordt op die manier opgespannen, zodat er drukspanningen in zullen optreden. De stalen trekkers nemen de trekspanningen op. Hierbij moet de knikveiligheid van de houten balk worden nagekeken. Het toevoegen van stalen trekankers onderaan heeft eveneens een grote visuele impact en kan enkel worden toegepast wanneer de vrije hoogte onder de balk groot is.¹⁴⁷



Afb. 28: Toegevoegde houten kolommen in 1967, onder moerbalken die bakstenen troggewelfjes ondersteunen. Deze werden tijdens de restauratie vervangen door stalen kolommen ingewerkt in het buitenschrijnwerk. Koetshuis Abdij van Park (Triconsult, 2005).



Afb. 29: Opspannen van de moerbalk met stalen trekkers (Grote Markt, Diest, Heirman, G.)



Afb. 30: Schematische voorstelling van toegevoegde stalen trekkers aan houten moerbalk ((Van Hemert, 2013, p. 283).

Tabel 6: Voor- en nadelen van het toevoegen van stalen trekkers.

+	• Moerbalk ontlast van trekspanningen.
–	• Zeer beeldbepalend.
	• Verminderde vrije hoogte.
	• Verhoogd knikgevaar van de moerbalk (te verifiëren door stabiliteitsingenieur).

¹⁴⁷ Heirman, G. (2017). *Lespresentatie interventietechnieken hout*. Universiteit Antwerpen, p. 184.

6.2.2 VERSTERKEN VAN DE INKLEMMING

GRAAD VAN VERSTEVIGINGSTECHNIEK: B/D

Een andere manier voor het versterken van een moerbalk is het verstijven van de knopen. De inklemming in de wand kan worden versterkt, bijvoorbeeld door het toevoegen van ankers in de metselwerkwand of stalen profielen in de hoek tussen moerbalk en wand. Dit kan een gevaar inhouden, aangezien de krachtwerking van de draagstructuur in belangrijke mate wordt gealtereerd. Ook hier is een grondig vooronderzoek belangrijk, inclusief het volledig begrijpen van het structurele concept en de aanwezige schade. In bepaalde gevallen dienen andere structurelementen ook versteefd te worden door de verstijving van de knoop.¹⁴⁸ Om bovenstaande redenen wordt deze techniek weinig toegepast.

Tabel 7: Voor- en nadelen van het versterken van de inklemming.

+	• Grotere weerstand tegen buiging van moerbalk.
–	• Veranderen van de krachtwerking van de volledige draagstructuur houdt bijkomende berekeningen en overwegingen in, om overbelasting van andere elementen te vermijden. • Mogelijk bijkomende werken aan andere constructieonderdelen.

6.2.3 VERGROTEN VAN DE BUIGSTIJFHEID EI

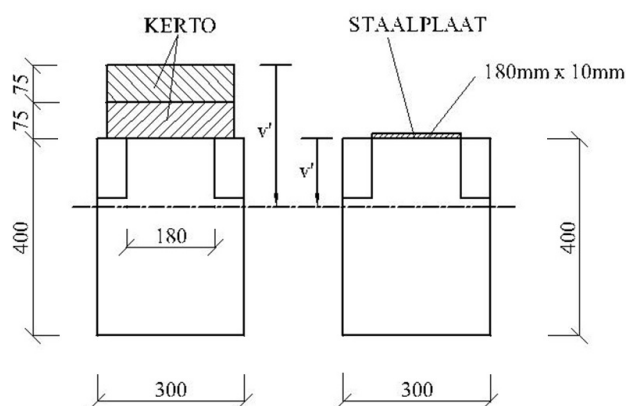
GRAAD VAN VERSTEVIGINGSTECHNIEK: ZIE ONDERSTAANDE TECHNIEKEN

Het vergroten van de buigstijfheid versterkt de structuur tegen buigspanningen en doorbuigingen. Om de maximale doorbuiging en/of maximale buigspanning in de houten balken – zowel moer- als kinderbalken – te beperken, dient de buigstijfheid (elasticiteitsmodulus x traagheidsmoment) te worden verhoogd. Dit kan op verschillende manieren gebeuren. De toepasbaarheid van de voorliggende technieken dient steeds in het bouwteam te worden overwogen; met de stabiliteitsingenieur, architect, opdrachtgever, consultant erfgoeddienst, etc. In dit proces kan het afwegingskader een leidraad zijn. Zoals uiteengezet in hoofdstuk 3, is de formule van het traagheidsmoment I (mm⁴) van een rechthoekige doorsnede:

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

De meest efficiënte manier om het traagheidsmoment I te vergroten, is het vergroten van de sectie in de hoogte, aangezien de hoogte in de formule een exponent 3 heeft. Dit kan boven- of onderaan de bestaande balk met nieuw hout, epoxymortel of staalplaten. Het toepassen van staalplaten (met een hogere elasticiteitsmodulus E dan hout: $E_{\text{staal}} = 210\,000 \text{ N/mm}^2$; $E_{\text{hout}} \approx 10\,000 \text{ N/mm}^2$) resulteert in een kleinere versterkingsdikte (traagheidsmoment getransformeerde doorsnede).

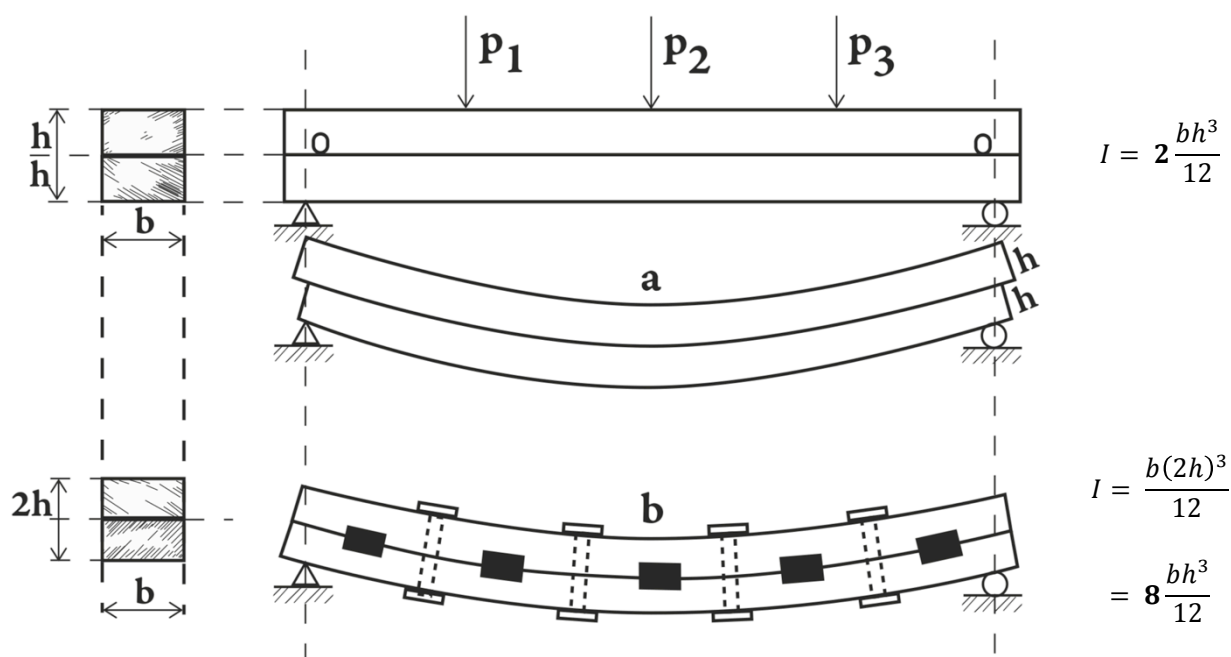
¹⁴⁸ De Bruyn, houtherstelling en versterking, p. 31



Afb. 31: Opbouwhoogte van twee toegevoegde houten elementen t.o.v. opbouwhoogte van een toegevoegde staalplaat voor het bereiken van dezelfde verstevigingsgraad (Heirman, G.).

Om de extra aangebrachte sectie optimaal te benutten, is het van cruciaal belang dat de beide secties correct samenwerken voor het opnemen van de optredende spanningen. Indien de secties niet voldoende verlijmd en gebout zijn, zullen de twee balken apart doorbuigen; de krachtswerking is dezelfde als wanneer de balken naast elkaar zouden zijn geplaatst i.p.v. bovenop elkaar (traagheidsmoment maal twee). De balk kan dan dubbel zoveel belasting opnemen. Wanneer de bestaande balk en het nieuwe element worden verlijmd en verankerd, zullen ze solidair moeten vervormen en zijn ze samen acht maal zo buigstijf (zie Afb. 32). De verlijming verhindert het schuiven van de balken t.o.v. elkaar. De afschuifspanningen in het grensvlak tussen de twee balken worden opgenomen door de lijmlaag. Dit hechtvlak kan nog bijkomend worden versterkt met ankers of deuvels. Het ontwerp van de lijmmaad en de aard en locatie van de ankerpunten maakt dus een belangrijk deel uit van de studie rond de houtversterking. Ook hier moet worden nagekeken welke verankering ter garantie van de knikveiligheid van het bovenste element moeten worden toegevoegd. De tussenafstand van de deuvels of bouten wordt bepaald door de kritische kniklengte van het bovenste element.¹⁴⁹

¹⁴⁹ De Bruyn, houtherstelling en -versterking, p. 44.



Afb. 32: Doorbuiging van de combinatie van twee balken, zonder verlijming of ankers (a): de uiteinden van de balken kunnen afzonderlijk bewegen. Met verlijming en ankers (b): de hoogte van de balk is verdubbeld in de berekening van het traagheidsmoment. (WTCB, 2015).

Een overzicht van de besproken verstevigingstechnieken wordt gegeven in Tabel 8. Deze tabel duidt de toepassing boven- en/of onderaan de houten vloerbalken.

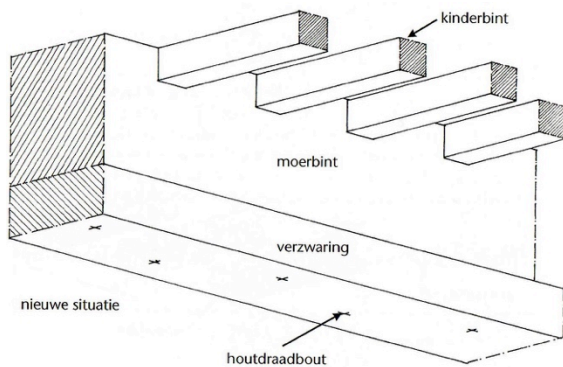
Tabel 8: Toepassing t.o.v. de bestaande historische vloer van de besproken verstevigingstechnieken.

Verstevigingstechnieken houten vloeren		Toepassing			
		Bovenaan	Onderaan	Moerbalk	Kinderbalk
A	Oplijmen van hout.	x	x	x	x
B	Oplijmen van staalplaat.	x	x	x	x
C	Oplijmen van koolstofvezel versterkt (CFRP) laminaat.		x	x	x
D	Opgieten van balk aan bovenzijde m.b.v. epoxymortel.	x		x	x
E	Infrezen staal- of koolstofvezelplaten.	x	x	x	-
F	Toevoegen van stalen profielen.	x	x	x	
G	Toevoegen van onafhankelijke vloer.	x			x
H	Toevoegen van extra moer- of kinderbalken tussen bestaande.		x	x	x
I	Opstorten betonnen vloer.	x		x	x

Strikt gezien verhoogt verstevigingstechniek G, het toevoegen van een onafhankelijke vloer, de buigstijfheid van de bestaande vloer niet, tenzij de moerbalk hiervoor wordt verstevigd met een bijkomende sectie. Deze verstevigingstechniek wordt hier wel opgenomen ter vergelijking.

A) OPLIJMEN VAN HOUT (BOVEN- OF ONDERZIJDE)
 GRAAD VAN VERSTEVIGINGSTECHNIEK: A

Een voor de hand liggende techniek bij het verstevigen van hout is het aanbrengen van een bijkomende sectie van hetzelfde materiaal. De elasticiteitsmodulus van eikenhout of zelfs gelamelleerd hout is ongeveer gelijk aan die van de balk. Bijgevolg zal de toe te voegen hoogte voor het bereiken van het benodigde verstevigingsniveau snel aanzienlijk zijn. Indien deze dikte niet gewenst is, bijvoorbeeld door een beperkte vrije hoogte van de ruimte, kiest men beter voor het aanbrengen van staal. De houten secties moeten worden gebout en verlijmd d.m.v. epoxymortel of een structurele epoxylijm.



Afb. 33: Verstevigde moerbalk door toevoeging van houten sectie onderaan (van Hemert, I, p.272).



Afb. 34: Verstevigde kinderbalken met opgelijmde houten secties. Kartuizerstraat 31, Brussel (auteur, 2019).



Afb. 35: De houten secties zijn bevestigd met bouten over een regelmatige afstand. Kartuizerstraat 31, Brussel (auteur, 2019).

Tabel 9: Voor- en nadelen van het versterken door oplijmen van hout.

+	• Het oude hout en nieuwe hout zullen perfect interageren. • De versteviging is maximaal aangezien het nieuwe hout wordt toegevoegd aan het uiterste van de boven- of onderzijde van de sectie, het verst van de neutrale vezel, waar resp. de druk of trek het grootst zijn. De draagkracht van de balk is verhoogd en de doorbuiging verminderd. • Weinig verlies van historisch materiaal. • Combineerbaar met toevoeging van een staalplaat. • Ingreep aan één zijde van het draagelement.
–	• De nieuwe sectie moet geschoord worden om ze onderaan de moerbalk aan te brengen. • Relatief grote sectiehoogte nodig om de balk voldoende te verstevigen. • Het perfect laten aansluiten van het nieuwe hout aan het oude hout kan omslachtig zijn door een zeer oneffen oppervlak van het bestaande houten element. • Moeilijk terug te verwijderen wanneer een nieuwe herstelling nodig is en er mogelijk betere technieken gekend zijn, want verlijmd met epoxylijm.

B) OPLIJMEN STALEN PLAAT (BOVEN- OF ONDERZIJDE)
GRAAD VAN VERSTEVIGINGSTECHNIEK: D

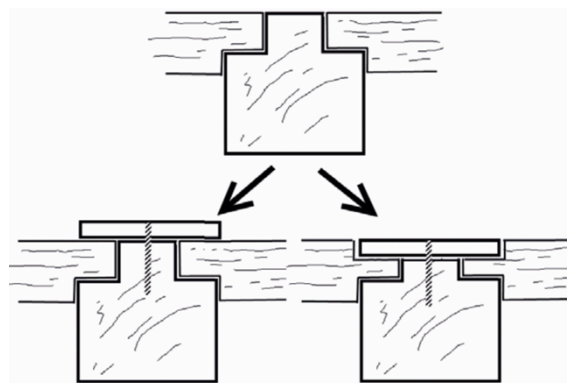
Staal is een materiaal dat ca. 21x buigstijver is dan hout.¹⁵⁰ Om deze reden kan er met een toegevoegd element van geringe dikte reeds een aanzienlijke versterking worden gerealiseerd. De staalplaat kan aan de onderzijde worden geplaatst; ze zal trekspanningen opnemen (Afb. 36). Ook aan de bovenzijde wordt deze verstevigingstechniek toegepast; de staalplaat zal drukspanningen opnemen, wat risico op uitknikken met zich meebrengt (Afb. 38). Daarom is in het laatste geval vereist dat er bijkomende knikverstijvers onder de vorm van bouten op regelmatige afstand worden ingelijmd in de houten balk (zie Afb. 39).¹⁵¹

De dikte van de staalplaat kan gedefinieerd worden volgens het te bereiken verstevigingsniveau. Bovenaan wordt de staalplaat bij voorkeur bovenop de bestaande structuur van de moerbalk en kinderbalken bevestigd (zie Afb. 37). Wanneer de vrije hoogte van de ruimte echter zeer beperkt is, of indien het vloerniveau onmogelijk met een paar centimeters kan worden verhoogd, kunnen er uitsparingen uit de kinderbalken worden gehouwen voor het plaatsen van de staalplaat. Men is dan echter wel historisch materiaal aan het verwijderen. Indien mogelijk wordt een minder brede staalplaat (maar dan dikker) tussen de kinderbalken geplaatst.

De staalplaat kan verlijmd worden inclusief een bijkomende epoxymorteluitvulling. De drie materialen werken bij goede verankering samen voor de spanningsoverdracht. De epoxymorteluitvulling is niet steeds noodzakelijk. In dat geval wordt de staalplaat met een structurele epoxylijm op de houten balk worden verlijmd en bijkomend verankerd. Er is steeds een corrosiebehandeling van de stalen elementen vereist, aan te brengen na het maken van openingen voor de bevestiging, zodat de randen van de openingen ook worden behandeld.



Afb. 36: Gelijmde staalplaat onderaan de moerbalk, enkel ankers aan de oplegging – geen gevaar voor uitknikken onder trek (WTCB, 2015).



Afb. 37: Oplijmen van een staalplaat bovenop de vloer (links) of in de vloeroppervlakte (rechts) – verwijdering gedeelte (gezond) hout kinderbalken (WTCB, 2015).

¹⁵⁰ E-modulus staal = 210 000 N/mm². E-modulus eikenhout = 10 000 N/mm²

¹⁵¹ WTCB (2015).



Afb. 38: In positie leggen van staalplaat aan de bovenzijde van de te versterken moerbalk, veel helpende handen (WTCB, 2015).



Afb. 39: Staalplaat met ingelijmde knikverstijvers (WTCB, 2015).

Tabel 10: Voor- en nadelen van het versterken door oplijmen van een stalen plaat.¹⁵²

+	• Grote bijkomende versterking met kleine dikte. • Ingreep aan één zijde van het draagelement. • Weinig verlies van historisch materiaal. • Staal is een homogeen, isotroop materiaal. • Staal is beschikbaar in een breed gamma aan standaardsecties. • De versteviging is maximaal aangezien het versterkend materiaal wordt toegevoegd aan het uiterste van de boven- of onderzijde van de sectie, het verst van de neutrale vezel, waar resp. de druk of trek het grootst zijn. • Staalplaten zonder overdreven dikte kunnen goed de doorbuiging van de bestaande balk volgen. • Staal dat behandeld is tegen corrosie is goed bestand tegen vochtigheid. • Staal is een relatief goedkoop materiaal.
–	• De staalplaat moet geschoord worden om ze onderaan aan te brengen. • Onderaan aangebrachte staalplaten blijven zichtbaar, tenzij er een afwerkingslaag is die kan worden hernomen (bijv. pleisterwerk). • Brandveiligheid.

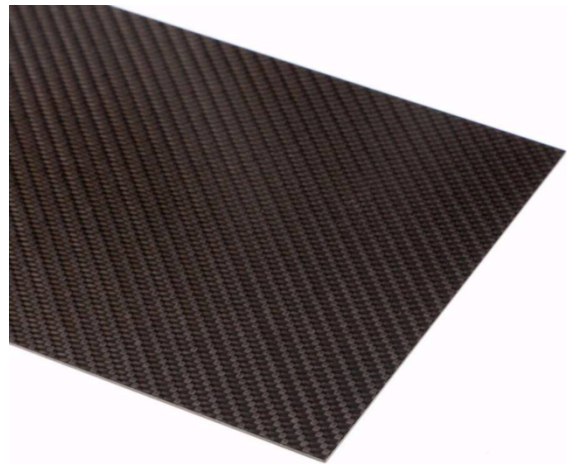
¹⁵² Vermijlen, A. (2006). p. 210.

C) OPLIJMEN KOOLSTOFVEZEL VERSTERKT LAMINAAT (CFRP) (ONDERZIJDE)
GRAAD VAN VERSTEVIGINGSTECHNIEK: C

Koolstofvezel versterkt (CFRP) laminaat is een zwarte kunstlaminaat van koolstofvezel versterkt polymeer in een epoxy massa. De E-modulus in de lengterichting van de vezels is variabel tussen 170 000 en 240 000 N/mm², gemiddeld vergelijkbaar met die van staal (210 000 N/mm²).¹⁵³ Een groot verschil tussen CFRP-laminaat en staal is echter dat CFRP-laminaat geen drukkrachten kan opnemen. Daarom wordt het voor versterking enkel aan de onderzijde van de balk toegepast. Het neemt trekspanningen op en zorgt er zo voor dat de balk versterkt is. De treksterkte van de koolstofvezels is zo'n 5 à 10 keer groter dan de treksterkte van staal.¹⁵⁴ Voor de doorbuiging kan dit materiaal echter niet bijdragen, gezien het een zeer dun en flexibel materiaal is.¹⁵⁵



Afb. 40: Carbonweefsel voor de opbouw van laminaten met polyester, epoxy en vinylester (CFRP doeken) (Vosschemie, 2016).



Afb. 41: Koolstofvezel versterkt (CFRP) laminaat (Carbon Team, 2018).

Tabel 11: Voor- en nadelen van het versterken door oplijmen van CFRP-laminaat.

+	• Grote bijkomende versterking met kleine dikte. • Ingreep aan één zijde van het draagelement. • CFRP-laminaat heeft een zeer klein soortelijk gewicht. • CFRP-laminaat is makkelijk transporteerbaar. • CFRP-laminaat is goed bestand tegen vochtigheid.
–	• CFRP-laminaat heeft door de dunne uitvoering een zeer kleine buigweerstand: enkel versterking tegen niet-afdoende treksterkte, niet tegen doorbuiging (terwijl dit vaak maatgevend is bij houten vloeren). • Onderaan aangebracht CFRP-laminaat blijft zichtbaar, tenzij er een afwerkingslaag is die kan worden hernomen (bijv. pleisterwerk). • Brandveiligheid. • CFRP-laminaat is een relatief duur materiaal.

¹⁵³ Technische fiche Sika CarboDur M, (2019)

¹⁵⁴ Vermijlen, A. (2006), p. 211.

¹⁵⁵ WTCB (2015).

D) OPGIETEN BALK AAN BOVENZIJD MET BEHULP VAN EPOXYMORTEL
GRAAD VAN VERSTEVIGINGSTECHNIEK: C

Ook met epoxymortel kan een hogere sectie worden verkregen. Dit is zowel een herstel- als een verstevigingstechniek (zie vorige paragraaf). Bepaalde epoxymortelsoorten hebben ongeveer dezelfde E-modulus als hout; de stijfheid van beide materialen is quasi gelijk. Epoxymortels met een te lage E-modulus, die ook worden aangeboden op de markt, worden om die reden niet aanvaard. Deze kunststof wordt toegepast in de restauratie sinds de jaren '70. Epoxymortel bestaat uit drie componenten¹⁵⁶, is koudhardend, heeft een goede chemische weerstand, goed opvullend vermogen en een hoge sterkte.¹⁵⁷ Epoxymortel wordt ook vaak toegepast in combinatie met andere materialen, bijvoorbeeld met het verlijmen van staalplaten en CFRP-laminaten (cf. supra).



Afb. 42: Verstevigde moerbalk d.m.v. opgegoten epoxymorteluitvulling van een bepaalde dikte. Uithardingsfase in bekisting. Zoldervloer Westvleugel, Abdij van Park (Heirman, G., p.253).

Tabel 12: Voor- en nadelen van het versterken door opgieten van epoxymortel.

+	• Combineerbaar met toevoeging van een staalplaat. • Ingreep aan één zijde van het draagelement. • Weinig verlies van historisch materiaal. • Epoxymortel kan het vervangen van een balk onnodig maken (herstelling).
–	• Dezelfde opbouwhoogte als bij toevoeging van nieuw hout nodig. • Moeilijk terug te verwijderen wanneer een nieuwe herstelling nodig is en er mogelijk betere technieken gekend zijn.

¹⁵⁶ hars, verharder en vulmiddel (zand). Epoxyljm bestaat uit de twee eerste componenten.

¹⁵⁷ McCaig, I. (2013), p. 311.

E) INFREZEN STAAL- OF KOOLSTOFVEZELPLATEN (BOVEN- OF ONDERZIJDE)
GRAAD VAN VERSTEVIGINGSTECHNIEK: C/D

Moerbalken kunnen verstevigd worden door het uitslijpen van een sleuf en het aanbrengen van een verticale staal- of koolstofvezelplaat in het midden van de balk. Dit wordt uitgevoerd langs de bovenzijde (cfr. case B.I, zie Afb. 43) of onderzijde (zie Afb. 44), afhankelijk van de randvoorwaarden. De plaat wordt in de houten balk verlijmd met structurele lijm of epoxymortel (zie Afb. 47). Om een goede uitvoering te verzekeren wordt er best een lijm gekozen met een lage viscositeit. Bouten aan de zijde van de moerbalk, om een composietsamenwerking van de twee materialen te verzekeren, kunnen verzonken worden geplaatst en opgevuld met een houten tab.¹⁵⁸ Voor toepassingen in waardevolle gebouwen kan er overgegaan worden op op-maat-gemaakte stalen componenten die optimaal aansluiten bij de bestaande structuur en de visuele kwaliteit verzekeren.



Afb. 43: Stalen plaat geïncorporeerd in eiken moerbalk langs de bovenzijde, case B.I (Origin, 2019).



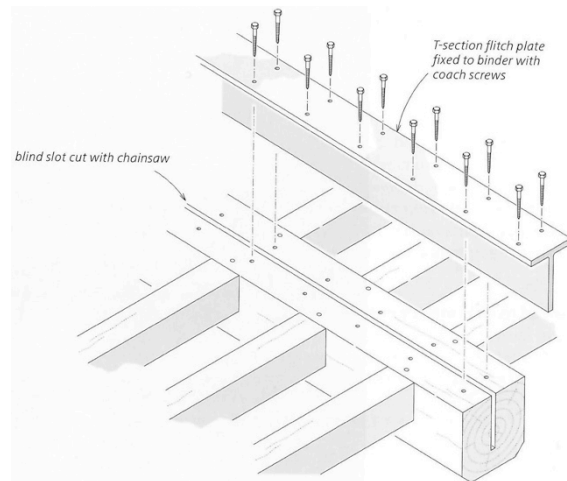
Afb. 44: Stalen platen geïncorporeerd in eiken moerbalken langs de onderzijde (McCaig, I., p. 309).

In plaats van een verticale stalen plaat kan ook een T-plaat worden aangebracht indien het te bereiken verstevigingsniveau dit vereist (zie Afb. 46). De flens van deze T-plaat wordt dan even zichtbaar als een opgelijmde staalplaat. Deze kan een beetje dikker worden ontworpen, waardoor het niet meer nodig is om de lijfplaat in de moerbalk te plaatsen; enkel het aanbrengen van een staalplaat. Op die manier dient er geen historisch materiaal verwijderd te worden en spreken we opnieuw over verstevigingstechniek B. De structuur kan nog bijkomend worden verstijfd door het opstorten van het bovenste vlak van de moerbalk met epoxymortel.

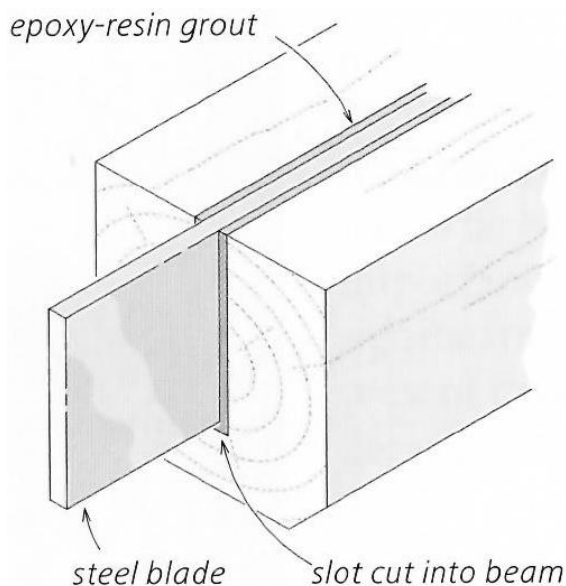
¹⁵⁸ McCaig, I. (2013), p. 308.



Afb. 45: Start van gefreesde sleuf in bestaande moerbalk (McCaig, l., 2013, p. 308).



Afb. 46: Aanbrengen van een T-plaat in een bestaande moerbalk (McCaig, l., 2013, p. 310).



Afb. 47: Verticale staalplaat, door epoxymortel verbonden met de moerbalk (McCaig, 2013, p. 313).

Tabel 13: Voor- en nadelen van het versterken door infrezen van staal- of koolstofvezelplaten.

+	• De originele externe esthetiek wordt behouden. • Volledige vrijwaring van eventueel opliggende kinderbalken (indien geen epoxymortel wordt opgegoten). • Ingreep aan één zijde van het draagelement.
–	• Door het infrezen wordt er gezond hout beschadigd. • De techniek is minder effectief dan het oplijmen van een plaat boven- of onderaan de balk, aangezien de plaat door het midden van de doorsnede gaat, waar de spanning nul is (tussen trek en druk). • De balk moet geschoord worden tijdens de werken.¹⁵⁹ • Een zeer nauwgezette uitvoering is noodzakelijk om een rechte sleuf te maken en verdere schade aan de balk te vermijden.

¹⁵⁹ Vermijlen, A. (2006), p. 209.

F) TOEVOEGEN VAN STALEN PROFIELEN (ZIJKANT, BOVENZIJDDE OF ONDERZIJDDE)
GRAAD VAN VERSTEVIINGSTECHNIEK: D

Een staalprofiel of meerdere met een kleinere sectie kunnen onder de moerbalk en in de draag-richting worden aangebracht (zie Afb. 48 en Afb. 50). Het doel is hier eveneens het verhogen van de sectie, om een groter traagheidsmoment en zo grotere toelaatbare spanningen te bekomen. Om structureel samen te werken met de houten balk en trekspanningen op te nemen, wordt het staalprofiel op meerdere plaatsen vast gebout aan de houten balk (Afb. 50) en eventueel verlijmd. De toevoeging van staalprofielen is een structurele oplossing die weinig materiaalverlies veroorzaakt. Behalve toevoeging aan de onder- of bovenzijde, kunnen er ook U-, L- of andere profielen aan de zijden van de balk worden geplaatst. Hier vergroot het traagheidsmoment beduidend minder in vergelijking tot onderaan aangebrachte profielen, aangezien de balk wordt verbreed en niet verhoogd (cfr. formule traagheidsmoment). Het aanbrengen van staalprofielen aan de zijden (Afb. 49). kan gewenst zijn in combinatie met nodige werken zoals het opnieuw verlengen van de moerbalk tot in de wand (Afb. 51). Deze oplegging kan verdwenen zijn door balkkopaantasting of onoordeelkundige verbouwingen.

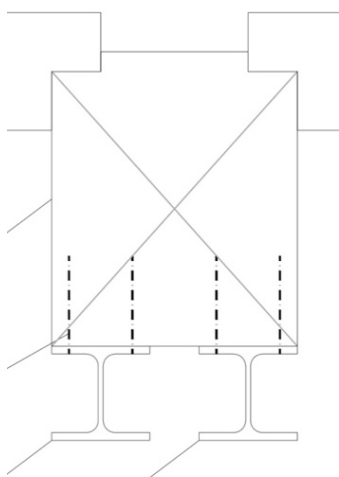
Er zijn tal van mogelijkheden met veel verschillende stalen profielen. Hieronder worden twee voorbeelden getoond, uitgevoerd in België.



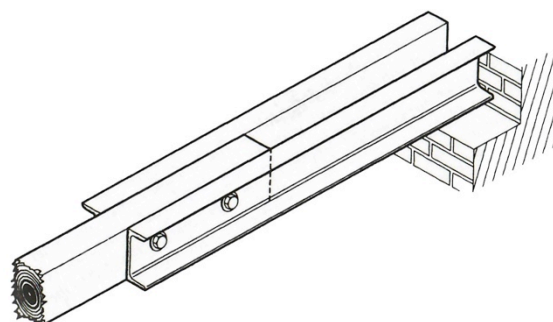
Afb. 48: Toevoegen van HEA 100 profielen onderaan een moerbalk – case B.II (MRT, 2019).



Afb. 49: Verstevigde en verlengde moerbalk met U-profielen aan weerszijden. De kinderbalken waren reeds recent vernieuwd en hadden geen erfgoedwaarde. Hôtel du Bois, Antwerpen (Denys, 2017).



Afb. 50: Schematische voorstelling van moerbalk, onderaan verstevigd met 2 HEA 100 profielen. De middelste bouten werden verankerd via gaten in de onderste flens (Origin, 2019).



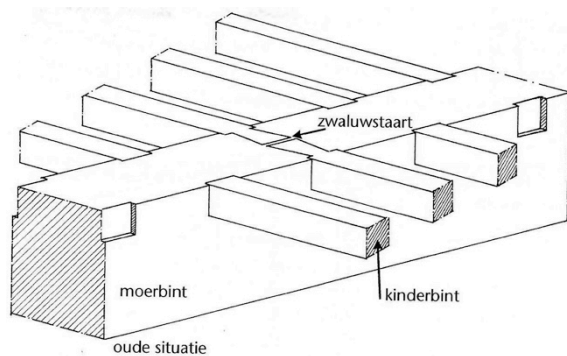
Afb. 51: Schematische voorstelling van toegevoegde U-profielen incl. oplegging op metselwerkwand (Beckmann, P., p. 163).

Tabel 14: Voor- en nadelen van het versterken door toevoegen stalen profielen.

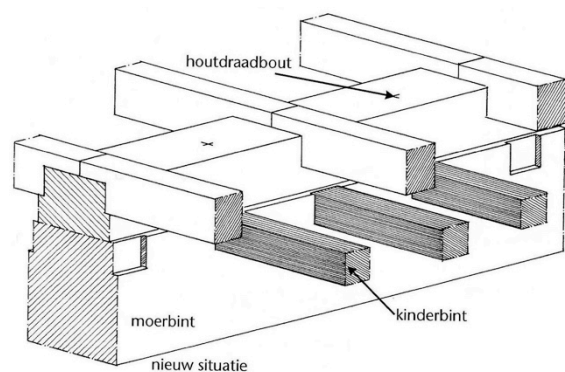
+	• Kan een grotendeels reversibele ingreep zijn, indien er enkel gebout en niet gelijmd wordt. • Weinig verlies van historisch materiaal.
–	• De aangebrachte staalprofielen kunnen visueel storend zijn en niet aansluiten bij het concept van de ruimte. • Enkel toepasbaar wanneer er geen waardevolle plafondafwerking is op de moerbalk. • Verzwaart de constructie aanzienlijk.

G) TOEVOEGEN VAN ONAFHANKELIJKE VLOER GRAAD VAN VERSTEVIGINGSTECHNIEK: A

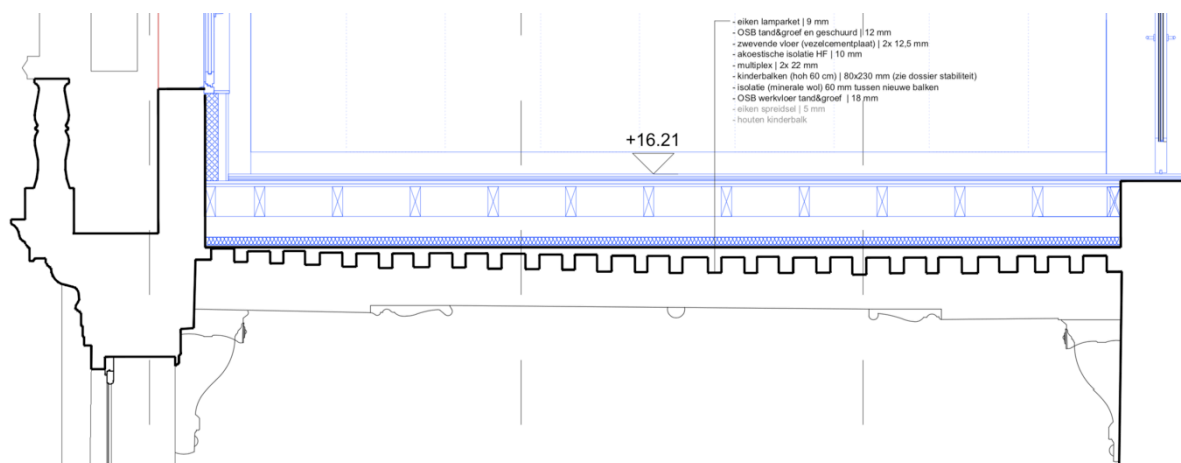
Wanneer het draagvermogen van de kinderbalken onvoldoende is, kan een onafhankelijke vloer worden aangebracht bovenop de bestaande moerbalk. De bestaande kinderbalken worden ontlast, aangezien de nieuwe, hoger geplaatste kinderbalken de vloerlasten opnemen. De bestaande zullen enkel de belasting van de plafondbekleding en het eigengewicht dragen. Dit kan uiteraard enkel gebeuren wanneer de moerbalk sterk genoeg is om de bijkomende permanente last van het nieuwe materiaal op te nemen. Desgevallend dient de moerbalk versterkt te worden. De nieuwe kinderbalken kunnen rechtstreeks afsteunen op de bestaande moerbalk, die eventueel verstevigd werd met een verlijmd en verankerde staalplaat boven- of onderaan (cfr. case A). Ook kan een bijkomende houten balk of epoxymorteluitvulling op de moerbalk worden toegevoegd, die de bestaande verstevigd en waarin de kinderbalken worden ingelegd (zie Afb. 53).



Afb. 52: Bestaande situatie balkenrooster van moer- en kinderbalken, triviale historische opbouw (Van Hemert, R., p. 271)



Afb. 53: Schets van de toevoeging van een onafhankelijke vloer bovenop de bestaande, incl. toevoeging houten sectie op moerbalk ter versteviging. (Van Hemert, R., p. 271)



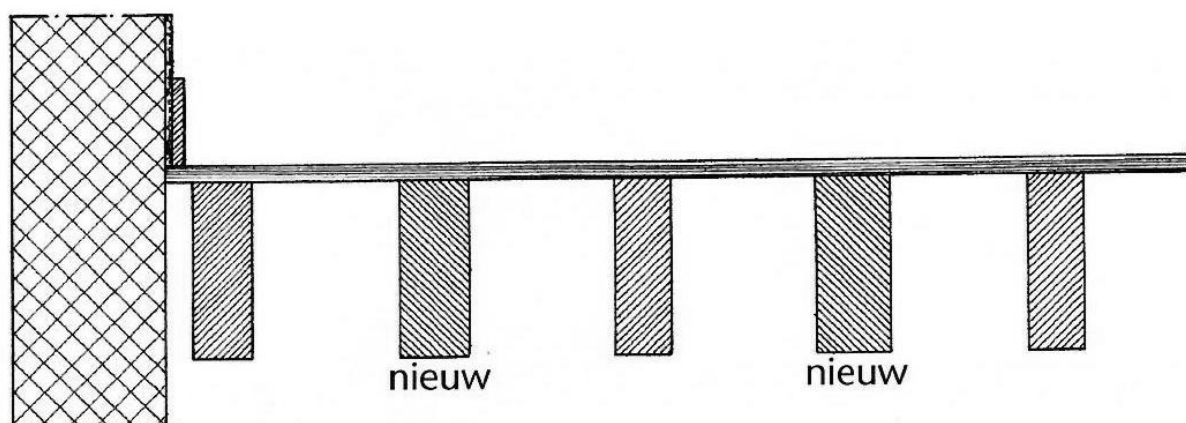
Afb. 54: Onafhankelijke vloer en isolatie (blauw) toegevoegd op niv. 2, waardevolle afwerking van de balken onderaan. Stadhuis Antwerpen (Origin, 2017).

Tabel 15: Voor- en nadelen van het versterken door toevoegen van een onafhankelijke vloer.

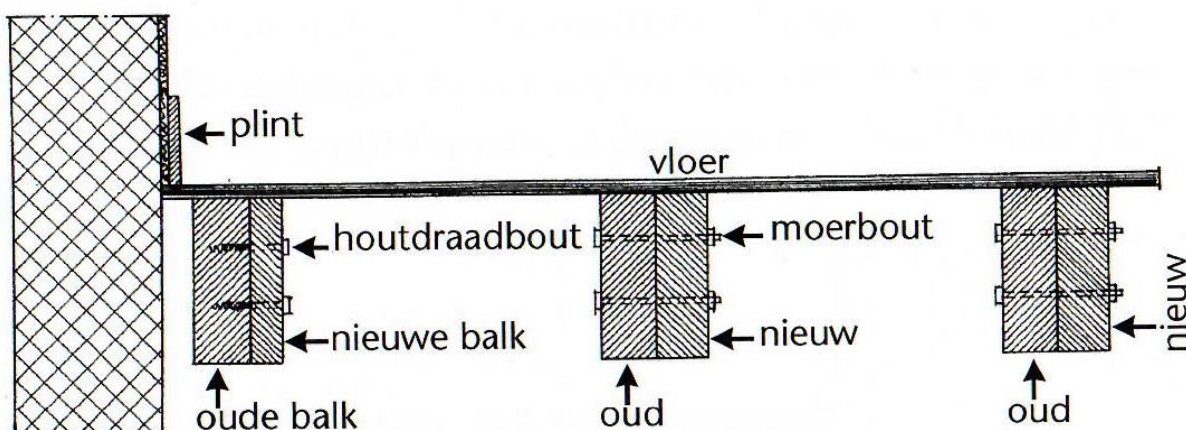
+	• De bestaande kinderbalken blijven onaangeroerd. • Grotendeels reversibele ingreep. • Ingreep aan één zijde van het draagelement. • In de holte die in de vloer gevormd wordt kunnen akoestische of thermische isolatie of technieken worden aangebracht (zie Afb. 54).
–	• Oorspronkelijke vloerbekleding kan niet worden behouden, dient verplaatst te worden, of wordt onzichtbaar in het vloerpakket. • Verkleint de vrije hoogte van de verdieping boven de vloer relatief veel. • Zorgt voor een moeilijke aansluiting met bestaande trappen, deuren, balkons (zie Afb. 54 links).

H) TOEVOEGEN VAN EXTRA MOER- OF KINDERBALKEN TUSSEN BESTAANDE GRAAD VAN VERSTEVIGINGSTECHNIEK: A

Een verstevigingsmethode die een oorspronkelijke constructietechniek hanteert, is het toevoegen van nieuwe kinderbalken tussen bestaande historische kinderbalken. Het toevoegen van moerbalken tussen bestaande moerbalken kan ook mogelijk zijn in bepaalde projecten, maar dat verandert het ontwerp van de ondergelegen ruimte aanzienlijker, tenzij ze worden aangebracht achter een vlakke plafonnering. Indien de randvoorwaarden dit toelaten, is het toevoegen van extra kinderbalken een eerlijke en grotendeels reversibele verstevigingsmethode (Afb. 55). De nieuwe houtsecties kunnen ook aan de bestaande bevestigd worden (zie Afb. 56), wat echter minder reversibel is.



Afb. 55: Extra kinderbalken toegevoegd tussen bestaande om de vloerstructuur te verstevigen. Noot: in veel oude gebouwen is de doorsnede van kinderbalken eerder vierkant dan rechthoekig (Van Hemert, R., p. 278).



Afb. 56: Toevoegen extra houten sectie aan de zijden van bestaande kinderbalken (Van Hemert, R., p. 278).

Tabel 16: Voor- en nadelen van het versterken door toevoegen van extra moer- of kinderbalken tussen bestaande.

+	• Subtiële ingreep volgens de oorspronkelijke constructietechniek. • De belasting wordt gelijkmatiger verdeeld over het vloeroppervlak. • Grotendeels reversibele ingreep.
–	• Niet gewenst indien er waardevolle plafondafwerkingen aanwezig zijn. • De moerbalk waarop de kinderbalken afdragen, moet de bijkomende permanente belasting kunnen dragen. (Vaak dient de moerbalk ook versterkt te worden zodat de bijkomende extra versterking voor deze permanente belasting meestal geen probleem is.)

I) OPSTORTEN BETONNEN VLOER (BOVENZIJDJE)
GRAAD VAN VERSTEVIGINGSTECHNIEK: D

Deze verstevigingstechniek wordt vandaag niet meer toegepast in erfgoedcontext. Een bekend voorbeeld van deze techniek is de uitvoering in het kasteel van Horst. Dit kasteel dateert uit de 13^{de} eeuw en bezit waardevol 17de-eeuws plafondstucwerk. Hier werd (ondoordacht) een betonnen vloer ter versteviging op de houten vloer gegoten, zonder de voorafgaande inspectie van de houten draagvloer. De gevolgen waren desastreus: een moerbalk van de roostering boven het stucwerk is gebroken onder het gewicht van de betonlaag (zie Afb. 57). De moerbalk bleek immers zeer sterk aangetast door houtborende insecten. Het waardevolle stucplafond werd met schoringen geleidelijk terug op haar oorspronkelijke plaats gebracht. Tijdens deze werken werd het stucplafond ondersteund door flexibele glasvezelstaven die tot meer gestrekte toestand bewogen tijdens het liften van het plafond (zie Afb. 58).



Afb. 57: Gebroken moerbalk boven waardevol stucwerk in kasteel van Horst (Laboratorium Reyntjens, 1995).



Afb. 58: Tijdelijke ondersteuning van het stucwerk met polystyreenplaatjes en flexibele glasvezelstaven (Laboratorium Reyntjens, 1995).

Er werd omwille van het waardevolle stucplafond geopteerd om de moerbalk te verstevigen met stalen wapeningsstaven en epoxymortel. Met een kettingzaag werd het aangetaste hout langs de bovenzijde verwijderd. In de holte werden stalen wapeningsstaven en een epoxymortelopvulling aangebracht. In de epoxymortel werden reeds deuvels voorzien voor de verankering van een eventueel latere versteviging van de vloer.¹⁶⁰

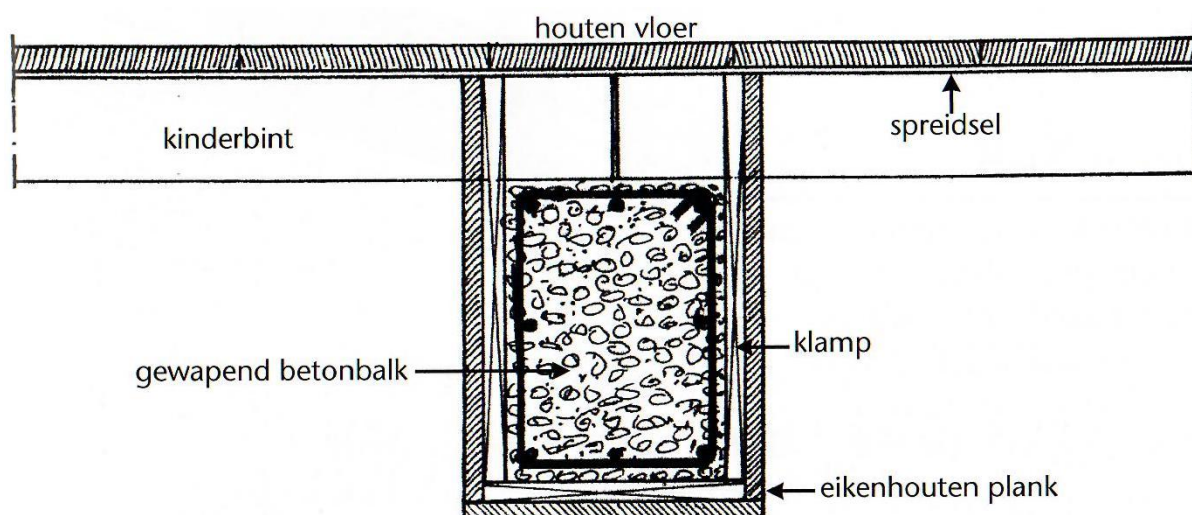
Wanneer het opstorten van een betonnen vloer wordt toegepast – bij voorkeur niet bij waardevolle vloeren – dient er steeds rekening mee worden gehouden dat dit een aanzienlijke bijkomende permanente belasting over de volledige vloer met zich meebrengt. Aangezien men minimaal wenst te verstevigen om te voldoen aan de normen en/of om een nieuw gebruik toe te laten bij herbestemming, spreekt het voor zich dat het niet gewenst is om nog extra belasting onder de vorm van een betonnen vloer aan te brengen. Als er echt met beton wordt verstevigd (en dus het vloerniveau al aanzienlijk verhoogt), zou een oplossing met onafhankelijke potten- en balkenvloer boven de bestaande vloer als iets minder afbreuk doen aan de erfgoedwaarden van de vloerbekleding.

Beton zou ook gebruikt kunnen worden onder de vorm van een gewapende betonbalk die onder de houten moerbalk wordt aangebracht om deze te ontlasten. Ook kan een moerbalk die in

¹⁶⁰ De Bruyn, houtversterking, p35.

zeer slechte staat is, worden vervangen door een met hout beklede betonbalk (zie Afb. 59) of stalen ligger.

In een erfgoedcontext zijn met deze verstevigingstechnieken echter weinig voordelen verbonden; ze druisen in tegen de restauratiefilosofie van de meeste projecten.



Afb. 59: Tegenvoorbeeld- vervangen van een moerbalk door een met hout beklede betonbalk (Van Hemert, R., p. 273)

HOOFDSTUK 7

AFWEGING BEHOUD EN VERSTEVIGING

De internationale norm ISO 13822:2010: *Bases for design of structures – Assessment of existing structures* zet het proces rond beoordeling van bestaande structuren uiteen. Historisch waardevolle gebouwen maken slechts een klein deel uit van de gebouwen waarvoor deze norm is opgesteld. I.v.m. erfgoedstructuren vermeldt de norm het volgende voor de keuze van de verstevigingsmethode (*upgrading method*):

“The choice of a particular upgrading method usually depends on the special circumstances relating to the use of the structure in question. Design of the proposed intervention is generally an iterative process. The proposed intervention normally is expected to be sympathetic to the nature and form of the existing structure, taking account of any special architectural or heritage perspectives.”¹⁶¹

In de praktijk worden vanuit de kennis die werd vergaard tijdens het vooronderzoek en op basis van structurele berekeningen, een aantal verstevigingsopties onderling afgewogen. De verstevigingstechnieken worden schetsmatig in het project geïntegreerd. Om dit proces te ondersteunen en tot een onderbouwd besluit te leiden, werd een kader van afwegingsprincipes opgesteld. Uit de analyse van praktijkvoorbeelden (zie volgend hoofdstuk) kon worden vastgesteld dat een aantal afwegingselementen steeds terugkeren bij de besluitvorming. De categorisering van deze elementen leidde tot voorliggende afwegingsprincipes. De principes zijn richtinggevend en dienen zoveel mogelijk te worden gevolgd. Ze houden rekening met de van belang zijnde erfgoedwaarden voor houten draagvloeren, die eveneens in dit hoofdstuk worden afgeleid.

De globale afweging houdt niet enkel de beredenering van de verstevigingstechniek in, maar bijvoorbeeld ook welk toekomstig gebruik van de ruimte men wil toelaten. De vloer van een beiaardkamer in een kerktoeren kan bijvoorbeeld berekend worden als een kamer in een woning (leerling- en leraar beiaardier), of als een publieke ruimte voor beiaardvoorstellingen. De afweging van het gebruik is zoals de afweging van de herbestemming die men een ruimte/gebouw/site kan geven.

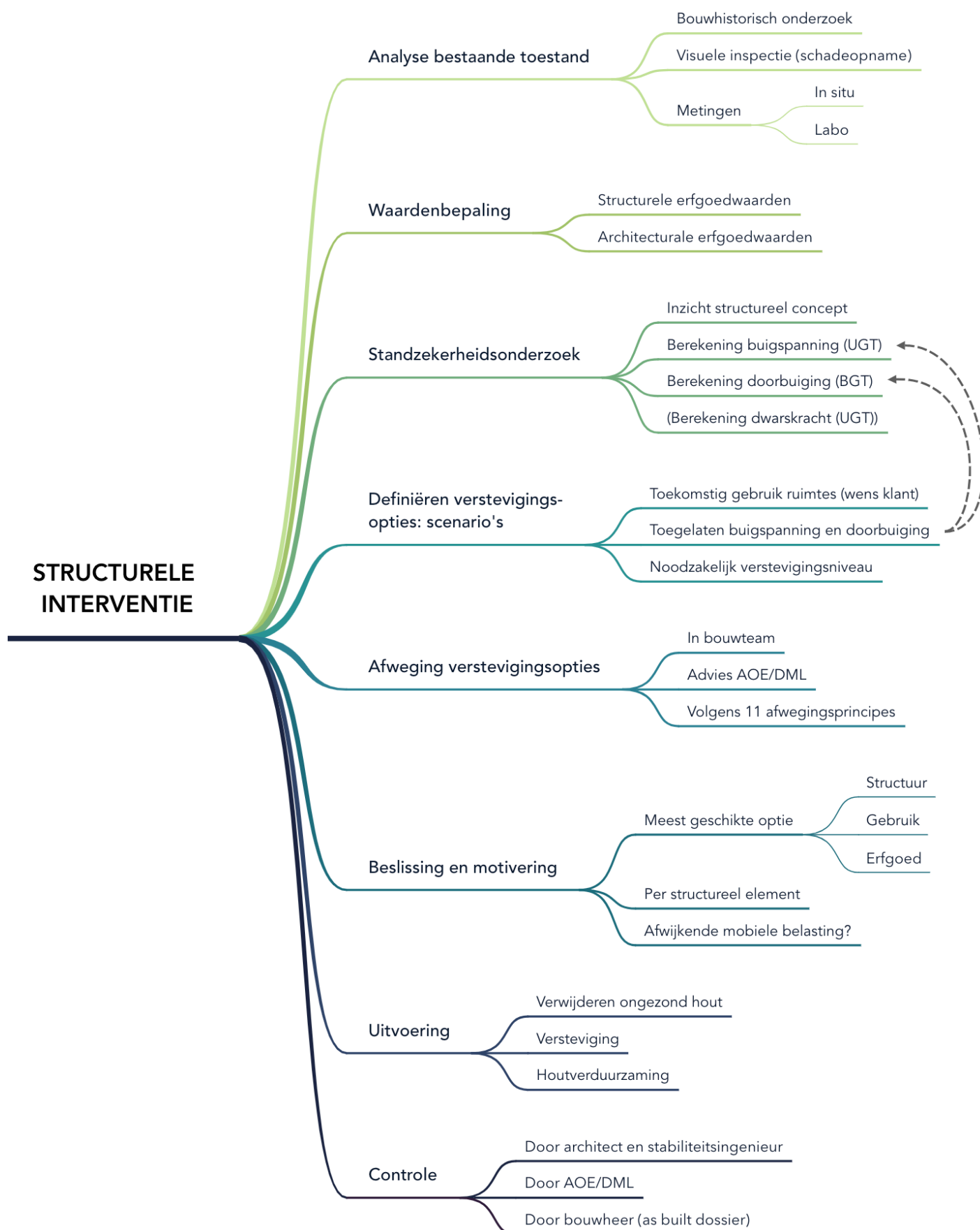
Onderstaand procedurediagram (Afb. 60) werd opgemaakt. Het geeft de context van een structurele versteviging weer. Dit diagram werd gebaseerd op de procedure beschreven in ISO 13822.2010: *Bases for design of structures – Assessment of existing structures*¹⁶², met implementatie van de procedure die verbonden is aan het restaureren van monumenten incl. het afwegen van verstevigingsopties. Het stroomdiagram uit de ISO-norm is opgenomen in Bijlage 7. De opeenvolging van inspecties, studies, acties, interacties en controles¹⁶³ die in ideale omstandigheden komen kijken bij een restauratieproject met structurele versteviging worden hier chronologisch weergegeven. Het diagram geeft aan waar de afwegingsprincipes gesitueerd zijn in het proces en zullen helpen bij de besluitvorming.

¹⁶¹ ISO 13822:2010: *Bases for design of structures – Assessment of existing structures*, Bijlage H: *design of upgrading*, art. H.3.3.

¹⁶² ISO 13822.2010: *Bases for design of structures – Assessment of existing structures*, paragraaf 4.2 & annex B.

¹⁶³ Anamnese, therapie, diagnose en controle.

Het kan voorvallen dat er tijdens de werken zaken i.v.m. een slechte standzekerheid worden ontdekt. Er dient dan een spoedprocedure van controles en eventueel noodzakelijke schorringen worden opgestart. Dit duidt opnieuw het belang van een professioneel vooronderzoek vooraleer de werken aan te vangen.



Afb. 60: Procedurediagram structurele versteviging in een erfgoedcontext

7.1 ERFGOEDWAARDEN VAN BELANG IN OF AAN HOUTEN DRAAGVLOEREN

In hoofdstuk 2 werden de erfgoedwaarden¹⁶⁴, gedefinieerd door het Onroerenderfgoeddecreet Vlaanderen, toegelicht en werd er een inschatting gemaakt van de mogelijk van belang zijnde erfgoedwaarden voor houten draagvloeren. Op basis van praktijkvoorbeelden van herstel- en verstevigingstechnieken in vorig hoofdstuk en van sitebezoeken en verzameld beeldmateriaal, bevindt zich onderstaand een overzicht van erfgoedwaarden teruggevonden in of aan houten draagvloeren. Als verschil met de verwachting in hoofdstuk 2 werd er geconstateerd dat er wel een volkskundige waarde in een houten draagvloer aanwezig kan zijn, namelijk in een traditionele 19de-eeuwse hoeve. De voorbeelden gaan van zeer geornamenteerde tot de meest eenvoudige vloerconstructies. Ze kenschetsen telkens één van de beschouwde erfgoedwaarden, maar bezitten er in veel gevallen meerdere. Bovendien zijn de definities van de erfgoedwaarden voor interpretatie vatbaar per historisch waardevol gebouw. Draagvloeren met een artistieke waarde hebben vaak ook een esthetische of architecturale waarde en vice versa. Deze definities van de erfgoedwaarden die niet van toepassing zijn op houten draagvloeren zijn ter informatie mee opgenomen in Bijlage 4.



Afb. 61: Neogotische gewelven in het kasteel van Noisy, Celles, 1866-1907. Gesloopt in 2017. (Auteur, 2016).

ARCHITECTURALE WAARDE

Het onroerend goed getuigt van een fase of aspect van de architectuur of de bouwkunst uit het verleden. Het kan gaan om typologie, stijl, oeuvre of materiaalgebruik.



Afb. 62: Stucplafond van Jan Hansche, bibliotheek van de faculteit rechtsgeleerdheid in Gent (Wikipedia, 2016).

¹⁶⁴ Debacker, I. (2018).



Afb. 63: Gotische zaal, niv. 1, stadhuis Brugge.
(Auteur, 2016).



Afb. 64: Gotische zaal, niv. 1, stadhuis Brugge,
1766. (Hoogendoorn J.)¹⁶⁵



Afb. 65: 17de-eeuws stucplafond, kasteel van Horst
(Wikipedia, 2010).

ARTISTIEKE WAARDE

Het onroerend goed getuigt van het kunstzinnige streven van de mens in het verleden.

Een mooi voorbeeld van een artistiek uitgewerkte vloer is het gepolychromeerde houten hanggewelf in de gotische zaal van het stadhuis van Brugge. In 1766 maakten de aanwezige houten kolommen plaats voor de ophanging van het dubbel houten gewelf aan het dakgebinte door middel van trekkers. Een brand in 1887 maakte een restauratiecampagne noodzakelijk. Tijdens deze fase (1895-1905) werden de kleine en grote schepenzaal samengevoegd tot de huidige gotische zaal. Het gewelf werd gerestaureerd en rijkelijk versierd in neogotische stijl door de architecten Louis Delacenserie en Jean-Baptiste Bethune.¹⁶⁶

Het zeer waardevolle 17de-eeuws stucwerkplafond van het Kasteel van Horst is in de jaren '90 nipt gered geworden van een onoordeelkundige verbouwing (poging tot versteviging van de vloer, zie hoofdstuk 6).

¹⁶⁵ Flickr, City Hall / Stadhuis Brugge, https://www.flickr.com/photos/jan_hoogendoorn/19856788968/in/photostream/ (geraadpleegd op 29 maart 2019).

¹⁶⁶ Agentschap Onroerend Erfgoed 2019: Stadhuis van Brugge, <https://id.erfgoed.net/erfgoedobjecten/29238> (geraadpleegd op 29 maart 2019).



Afb. 66: Uitgehouden en vergulde sleutelplank en balkconsole in aansluiting met goudleer.
Brouwershuis Antwerpen niv. 1, vloer niv. 2
(Maat_werk architecten, 2010).

ESTHETISCHE WAARDE

Het onroerend goed laat de waarnemer zintuiglijke schoonheid ervaren.



Afb. 67: Mercator Orteliushuis, Antwerpen (B. Gosselin, 2012).



Afb. 68: Mercator Orteliushuis, Antwerpen (B. Gosselin, 2012).



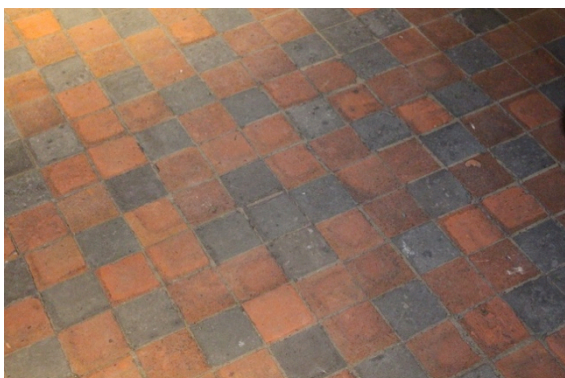
Afb. 69: Historisch pand Hendrik Conscienceplein 11, Antwerpen, ca. 1550-1650. Beschermd als bouwkundig erfgoed sinds 29-03-2019 (auteur, 2019).

HISTORISCHE WAARDE

Het onroerend goed getuigt van een (maatschappelijke) ontwikkeling, gebeurtenis, figuur, instelling of landgebruik uit het verleden van de mens.



Afb. 70: Vloer boven de kunstkamer van het Rubenshuis, Antwerpen, 1610-1621 (auteur, 2019).



Afb. 71: Plavuizen op de houten vloerconstructie boven de kunstkamer van het Rubenshuis, eerste verdieping (auteur, 2019).



Afb. 72: Polychroom beschilderde enkelvoudige vloerconstructie, Musée de La Cour d'Or, Metz (auteur, 2019).



Afb. 73: Middeleeuwse heraldische iconografie op draagvloer, Musée de La Cour d'Or, Metz (auteur, 2019).



Afb. 74: Polychroom beschilderde draagstructuur, Musée de La Cour d'Or, Metz (auteur, 2019).

Deze houten vloeren in het *Musée de La Cour d'Or* in Metz, met heraldische polychrome schilderingen, werden gerecupereerd van gesloopte gebouwen in de stad.¹⁶⁷ Ze dateren van de middeleeuwen. Omwille van hun uitzonderlijke historische waarde werden ze in het museum, dat ook in een historisch gebouw gesitueerd is, opnieuw gemonteerd. Gepolychromeerd beschilderde houten draagvloeren uit de middeleeuwen die in deze goede staat is bewaard, is van uitzonderlijke historische waarde.

¹⁶⁷ Musée de la Cour d'Or, http://musee.metzmetropole.fr/en/artworks-to-discover/the-coat-of-arms-ceiling-known-as-the-ceiling-of-the-republicain-lorrain_-r.html#.XVh-1y2B3OQ



Afb. 75: Verdiepingsvloer met lange brede eikenhouten planken, zeer gaaf bewaard. Hal naar slaapkamer. Voormalige Berg van Barmhartigheid, Antwerpen (auteur in kader van beheersplan door Maat_werk architecten, 2017).



Afb. 76: Verdiepingsvloer met lange brede eikenhouten planken, zeer gaaf bewaard. Gang naar badkamer. Voormalige Berg van Barmhartigheid, Antwerpen (auteur in kader van beheersplan door Maat_werk architecten, 2017)



Afb. 77: Houten vloerstructuur in Brussels pakhuis eind 19^{de} eeuw (L. Vandenabeele, 2014)

INDUSTRIEEL-ARCHEOLOGISCHE WAARDE

Het onroerend goed getuigt van een ambachtelijk of industrieel verleden.



Afb. 78: Vloer boven gelijkvloers van een hoeve in Zemst-Laar (1841). (B. Willems, 2019)

VOLKSKUNDIGE WAARDE

Het onroerend goed getuigt van gebruiken en gewoonten, voorstellingen en tradities van een specifieke bevolkingsgroep of gemeenschap in het verleden.



Afb. 79: Depot van kristalfabriek Val-Saint-Lambert Oude Graanmarkt 5, Brussel, 1854. Telmerken op moerbalken boven de eerste verdieping (auteur, 2015)

WETENSCHAPPELIJKE WAARDE

Het onroerend goed heeft potentie voor kennisontwikkeling en kenniswinst over een bepaald thema, periode of fenomeen, als het een bijzondere bijdrage geleverd heeft op dat vlak of als het een typevoorbeeld is.



Afb. 80: Vloer boven de eerste verdieping (auteur, 2015)



Afb. 81: Combinatie hout en staal, Felixpakhuis, Antwerpen, 1858. Eind 19^{de} eeuw werden gewalste stalen I-liggers op houten sloefen en kolommen toegevoegd ter versteviging van 900 naar 1200 kg/m² (auteur, 2016).

TECHNISCHE WAARDE

Het onroerend goed illustreert de ontwikkeling van de (cultuur)techniek in het verleden. Het gaat om technische toepassingen als illustratie van zowel traditie als innovatieve technieken en materialen.



Afb. 82: Houten plafond met technische erfgoedwaarde van de draagstructuur zelf, Schippersbeurs, Antwerpen (auteur, 2019).

7.2 AFWEGINGSPRINCIPES

Voor de opmaak van de afwegingsprincipes werden de ISCARSAH-principes in beschouwing genomen.¹⁶⁸ Dit model van afwegingsprincipes is geïnspireerd op het gepubliceerde afwegingskader voor actieve landbouwbedrijven in beschermd erfgoed.¹⁶⁹ De mogelijk aanwezige erfgoedwaarden in de structurele of architecturale elementen zitten hier echter verwoven in de afwegingsprincipes. De normen in de hoedanigheid van charters zitten er eveneens in vervat. De volgorde van de afwegingsprincipes is niet gebaseerd op het belang ervan. Voor elk project kan dit belang immers verschillen. Wel zijn de principes opgedeeld in groepen: randvoorwaarden – architectuur – structuur – normen, die onderling nauw verbonden zijn (Tabel 17). Er wordt geen stappenplan bij wijze van stroomdiagram opgesteld voor de keuze van de verstevigingstechniek aan de hand van de verstevigingsprincipes, aangezien de keuze ook zeer afhankelijk is van de resultaten van de berekeningen door de stabiliteitsingenieur. Dit benadrukt het belang van een interdisciplinaire samenwerking om tot het beste resultaat inzake het behoud van erfgoedwaarden en veilige versteviging te komen. De afwegingsprincipes trachten elke overwegingsstap zo precies mogelijk uit te leggen.

Tabel 17: Afwegingsprincipes

Randvoorwaarden	I	afweging met de randvoorwaarden.
Architectuur (waarden)	II	maximaal behoud van waardevolle architecturale elementen die rechtstreeks of onrechtstreeks deel uitmaken van of verbonden zijn met de draagvloer.
	III	respecteren van de beeld- en belevingswaarde van de ruimten boven en onder de draagvloer.
	IV	maximaal behoud van het structureel concept.
Structuur (waarden)	V	maximaal materiaalbehoud van waardevolle structurele elementen; respecteren en behouden van gezond hout.
	VI	ingrijpen aan één zijde van de vloer.
	VII	streven naar de meest gepaste verstevigingstechniek per lokaal of vloerdeel.
	VIII	reversibiliteit versus versteviging “voor altijd”.
	IX	oordeelkundig evalueren van de kwaliteit en waarden van oudere herstellingen en verstevigingen.
	X	de verstevigingsingrepen moeten van die aard zijn dat ze de bouwfysische toestand van de houten draagelementen niet of voordelig beïnvloeden.
	XI	ingrijpender verstevigen conform de normen versus voldoende of niet verstevigen terwijl er van de normen wordt afgeweken.
Normen		

¹⁶⁸ zie Bijlage 1 voor originele versie (Engels) en Bijlage 2 voor vrije vertaling in het Nederlands.

¹⁶⁹ SumResearch (2016).

AFWEGINGSPRINCIPE I: afweging met de randvoorwaarden.

De randvoorwaarden van de te verstevigen vloer kunnen zeer bepalend zijn in de eindbeslissing en zijn afhankelijk van het oorspronkelijke ontwerp van het gebouw, eventuele oudere verbouwingen, gewenste integratie van technieken, brandweerstand¹⁷⁰, akoestische of thermische isolatie en de toekomstige functies. Zo kan bijvoorbeeld de vrije hoogte in de ruimte onder en boven de vloer een doorslaggevende factor zijn. Ook de aansluitingen met monumentale trappen en doorgangen zijn letterlijke randvoorwaarden. Deze randvoorwaarden beperken mogelijk de optie op het toevoegen van een onafhankelijke nieuwe draagvloer. Ook de inleg van kinderbalken in de moerbalk kan een verhoging van de moerbalken met epoxy moeilijk maken. Er moet voldoende ruimte zijn tussen de kinderbalken om deze verstevigingstechniek nuttig en efficiënt te maken.

Een hedendaags gebruik van bijvoorbeeld een openbaar gebouw vereist ook hedendaags comfort op vlak van ventilatie, verwarming, luchtkwaliteit, etc. Een deel of tracés van deze moderne HVAC-technieken dienen in de vloeren geïntegreerd te worden. Men zal steeds het minst ingrijpende tracé kiezen in monumenten, via een afweging die buiten het kader van deze thesis valt. De technieken die effectief in de vloeren komen te liggen, vormen een randvoorwaarde voor de versteviging van de vloeren.

AFWEGINGSPRINCIPE II: maximaal behoud van waardevolle architecturale elementen die rechtstreeks of onrechtstreeks deel uitmaken van of verbonden zijn met de draagvloer.

Waardevolle architecturale elementen kunnen van alle aard zijn en onder- en/of bovenaan de vloer voorkomen. Voorbeelden van waardevolle plafonds zijn stucplafonds, gepolychromeerde moer- en kinderbalken, bepleistering met lijstwerk, bepleistering met trompe-l'œilschilderingen, troggewelven, uitgehouwen moerbalken, etc. Voorbeelden van waardevolle vloerbekledingen zijn plavuizen en andere tegels, lange brede eikenplanken, parketten, mozaïeken, etc. De versteviging aan de zijde zonder of met minder waardevolle architecturale elementen is niet altijd voor de hand liggend, bijv. door slechte bereikbaarheid, maar zeker te overwegen om de meest waardevolle elementen te vrijwaren.

AFWEGINGSPRINCIPE III: respecteren van de beeld- en belevingswaarde van de ruimten boven en onder de draagvloer.

Onder de beeld- en belevingswaarde worden de waarde van de verschijningsvorm en de beleving van de ruimte verstaan. Bij het veranderen van de vloerstructuur dient indien mogelijk te worden geopteerd voor een onzichtbare of onopvallende techniek, bijvoorbeeld oplijmen van staalplaten en opnieuw bepleisteren, het toevoegen van extra kinderbalken indien hier geen aanwezige troggewelven, polychromie, etc. door verloren gaan. Het toevoegen van een onafhankelijke vloer kan het beeld en de beleving van de bovenliggende ruimte transformeren indien deze reeds een kleine hoogte had.

¹⁷⁰ De brandweer kan eisen opleggen die een invloed hebben op de afweging van de verstevigingstechniek.

AFWEGINGSPRINCIPE IV: maximaal behoud van het structureel concept.

Het structureel concept en de draagrichting worden indien mogelijk behouden, zoals de ISCARSAH principes voorschrijven:

*"The distinguishing qualities of the structure and its environment, in their original or earlier states, should not be destroyed."*¹⁷¹ – ISCARSAH principes

Bij voorkeur wordt een verstevigingstechniek gebruikt die de oorspronkelijk bedoelde krachtswerking respecteert, indien dit mogelijk is in de afweging met de overige afwegingsprincipes, en indien de oorspronkelijke krachtswerking een gezonde structuur mogelijk maakte. Deze stelling is bijgevolg geldig op voorwaarde dat er geen ontwerpfouten zijn, die zorgen voor een ongezond structureel concept en daaruit volgende schade. Een vloeropbouw met moerbalken wordt bijvoorbeeld veeleer niet ondersteund door een stalen balk loodrecht onder de moerbalken. Het structureel concept is deel van de erfgoedwaarden van het gebouw; het maakt deel uit van de manier waarop men destijds de interieurruimten structureerde en vormgaf, en getuigt van de ambacht die groeide op basis van ervaring en vandaag deels verloren is gegaan.



Afb. 83: Tegenvoorbeeld: moerbalken ondersteund door stalen balk in andere richting. Hôtel du Bois, Antwerpen, oudere versteviging (Origin, 2016).



Afb. 84: Bovenste profiel (IPE 120, loodrecht op kinderbalken) wordt afgedragen op 3 onderste profielen (3x IPE 160, opnieuw evenwijdig met kinderbalken): de oorspronkelijke draagrichting is finaal behouden. Provisorenhuis, Abdij van Pak, Heverlee (Triconsult, 2019)

AFWEGINGSPRINCIPE V: maximaal materiaalbehoud van waardevolle structurele elementen; respecteren en behouden van gezond hout.

Hierbij dient de structuur grondig onderzocht te worden, bijvoorbeeld met resistographmetingen, visueel en auditief onderzoek. Dit doel beduidt het belang van het structureel vooronder-

¹⁷¹ ICOMOS, ISCARSAH principes, art. 3.11.

zoek. Wanneer de kwaliteit van het houten element gekend is, kan de stabiliteitsingenieur de materiaaleigenschappen en nog aanwezige doorsneden van gezond hout bepalen en deze gegevens vervolgens gebruiken in de stabiliteitsberekeningen.

AFWEGINGSPRINCIPE VI: ingrijpen aan één zijde van de vloer.

Er wordt bij voorkeur een verstevigingstechniek gekozen die slechts aan boven- of onderzijde van de vloer eventueel breekwerk vereist. Algemeen dient men te trachten minimaal te interverteren in monumenten. Het verstevigen van de draagvloer aan beide zijden impliceert het raken aan beide zijden. Indien dit raken ook noodzakelijk is voor de restauratie van de afwerking onder- en bovenaan, is het aanbrengen van verstevigende elementen aan beide in plaats van één zijde echter zeker te verantwoorden in combinatie met overige afwegingsprincipes.

AFWEGINGSPRINCIPE VII: streven naar de meest gepaste verstevigingstechniek per lokaal of vloerdeel.

Uniformiteit van de ingrepen per gebouw of site is niet aan de orde. De aanwezige schade, de waardevolle elementen, de toekomstige functies, en de vloeropbouw kunnen verschillen van ruimte tot ruimte in eenzelfde gebouw. Daarom dient de afweging van de verstevigingstechniek zeer plaatselijk te gebeuren, ook indien dit de integratie van veel verschillende technieken binnen één gebouw teweegbrengt.

AFWEGINGSPRINCIPE VIII: reversibiliteit versus versteviging "voor altijd".

Monumenten worden beschermd om ook door de volgende generaties te kunnen worden beleefd. De ISCARSAH-principes en het Charter van Krakau schrijven het gebruik van reversibele ingrepen voor.

*"Although the in situ application of new techniques may be relevant to the continued well-being of original fabric, they should be continually monitored in the light of the achieved results, taking into account their behaviour over time and the possibility of eventual reversibility."*¹⁷²

- Charter van Krakau

*"Where possible, any measures adopted should be "reversible" so that they can be removed and replaced with more suitable measures when new knowledge is acquired. Where they are not completely reversible, interventions should not limit further interventions."*¹⁷³

- ISCARSAH principes

Dankzij het algemeen hoge tempo van de innovatie vermeerderen en verbeteren de verstevigingstechnieken aanzienlijk. Wat vandaag de meest ideale verstevigingstechniek is, is dit mogelijk morgen niet meer. Reversibiliteit is in theorie zeer wenselijk voor monumenten, maar nog wenselijker is echter dat de historisch waardevolle gebouwen structureel gezond zijn en stabiel blijven. Dit gaat vaak niet hand in hand met reversibele ingrepen. Wie verstevigen zegt, zegt in verschillende gevallen ook vastzetten; inklemmen; scharnierend maken; verhogen van de sectie; vernagelen; verbouten, etc. Architecturale elementen en programmatorische invullingen van monumenten kunnen beduidend eenvoudiger reversibel worden aangebracht dan structurele

¹⁷² ICOMOS, (2000), p. 4

¹⁷³ ICOMOS, ISCARSAH principes, art. 3.9.

elementen die spanningen moeten kunnen overbrengen en slechts gering mogen doorbuigen. De meeste reversibele verstevigingstechnieken zijn het plaatsen van een nieuwe onafhankelijke vloer boven de historische of het toevoegen (verdubbelen) van kinderbalken, indien de moerbalk niet moet worden verstevigd. De eerste (resp. tweede) kan echter de beeldwaarde van de bovengelegen (resp. ondergelegen, indien zichtbaar) ruimte aanzienlijk aantasten en beide bot-sen mogelijk met de randvoorwaarden, gespecificeerd in afwegingsprincipe I, of architecturale waardevolle elementen, gespecificeerd in afwegingsprincipes II en III. Irreversibele technieken voor de versteviging van vloeren zijn vandaag in de praktijk te verantwoorden. De ingrepen mogen echter eventuele latere interventies niet verhinderen.

AFWEGINGSPRINCIPE IX: oordeelkundig evalueren van de kwaliteit en waarden van oudere herstellingen en verstevigingen.

Herstellingen die nadelig zijn voor de structuur en de krachtwerking dienen te worden verwijderd en indien nodig vervangen. Herstellingen die geen invloed hebben of voordelig zijn voor de krachtswerking en/of intussen een eigen erfgoedwaarde hebben verworven, blijven bij voorkeur behouden.



Afb. 85: Twee bestaande ingrepen: (1) recentere ophanging moerbalk aan hanebalk; (2) verbreken pengatverbinding spantbeen met moerbalk en ondervullen met beton (grijze pijlen). Door ingreep (2) werken elementen niet meer scharnierend; verwijderd en balkkop en scharnierverbinding hersteld. Westvleugel claustrum Abdij van Park (Triconsult, 2005).



Afb. 86: Oudere versteviging aan moerbalkkop, smeedijzeren beugels, op spanning gebracht met spie, eigen erfgoedwaarde; te behouden. Voormalige Berg van Barmhartigheid, Antwerpen (auteur in kader van beheersplan door Maat_werk architecten, 2017).

AFWEGINGSPRINCIPE X: de verstevigingsingrepen moeten van die aard zijn dat ze de bouwfy-sische toestand van de houten draagelementen niet of voordelig beïnvloeden.

Hout is een materiaal dat moet kunnen “ademen”. Slecht geventileerde of aan grote vochtigheid blootgestelde houten onderdelen zijn extra vatbaar voor biologische aantasting. Balkkop-pen opgelegd in metselwerk mogen niet hermetisch afgesloten worden. Het is belangrijk om de bouwfy-sische staat van de houten elementen te onderzoeken en indien nodig te verbeteren.

AFWEGINGSPRINCIPE XI: ingrijpender verstevigen conform de normen versus voldoende of niet verstevigen terwijl er van de normen wordt afgeweken.

Afwijkingen van de norm die o.a. in België in de praktijk mogelijk zijn en alleszins in een beperkt aantal gevallen gebeuren, houden verband met de in te rekenen mobiele belasting en de toe-gelaten doorbuiging. “Voldoende” verstevigen wijst op het oordeel van de stabiliteitsingenieur dat men bijvoorbeeld een lagere in te rekenen mobiele belasting kan hanteren, terwijl men toch een veilige situatie creëert voor de gebruikers. Een mogelijke toekomstige afwijking van de normen is het aanpassen van de partiële veiligheidscoëfficiënten op materialen en belastingen voor historisch waardevolle gebouwen in specifieke gevallen.

De in te rekenen mobiele belasting is afhankelijk van de toekomstige functie van de ruimte. Er kan echter binnen het bouwteam en in samenspraak met de stabiliteitsingenieur desgevallend worden beslist om deze waarde te verkleinen, om de interventies aan de historisch waardevolle vloeren minder ingrijpend te maken, terwijl de veiligheid wel wordt gegarandeerd (cfr. case C: Westvleugel claustrum Abdij van Park). Bij de afweging van het rekenen met een lagere mobiele belasting dan de norm voorschrijft, moet er rekening worden gehouden met het feit dat dit niet mogelijk is in elk project. In een gebouw van een particuliere eigenaar kan een lagere toegela-ten belasting worden geduïd in het as-built-dossier, maar met moeilijke en nauwelijks te contro-leren randvoorwaarden van het gebruik. Het as-built-dossier verzekert noch de overdracht van de informatie naar huidige en toekomstige gebruikers, noch een juist gebruik. Dit in tegenstel-ling tot een gebouw van een openbare instelling met een duidelijk opgelegd gebruik en een controle hierop, mogelijk ook met aanwijzers voor bezoekers.¹⁷⁴ Een belangrijke factor in deze afweging is dus een publieke of private opdrachtgever, en de hieraan verbonden controle op het gebruik.¹⁷⁵ Toch kan een kleine verlaging van de in te rekenen belastingen in sommige ge-vallen een groot effect hebben op de omvang van de door te voeren verstevigingen, met daar-aan gekoppeld: op het raken aan erfgoedwaarden en historisch materiaal, en op de kostprijs.

Voor de berekeningen gedefinieerd door de Eurocode wordt voor houten vloeren een maxima-le doorbuiging van $L/300$ aangegeven. Voor kwetsbare afwerkingen zoals tegelvloeren of gla-zen wanden, wordt de maximale doorbuiging opgetrokken tot $L/500$.¹⁷⁶ Deze limiet werd inge-steld met het oog op het aangenaam maken/houden van het gebruik van het gebouw, zonder zichtbare doorbuigingen en het daarmee gepaard gaande onveiligheidsgevoel van gebruikers. Bij het gebruik van monumenten echter, weet men doorgaans dat men zich in een historisch gebouw bevindt, en gaat men mogelijk geen hinder ondervinden van vloeren die meer door-

¹⁷⁴ Bijvoorbeeld: beloopbare kunststofplaten op een verrière: bordje bij elke toegang “1 persoon per kunststofplaat”.

¹⁷⁵ Bijvoorbeeld: gebruik van levenslijnen of ankerpunten met een beperking van het aantal personen per lijn of ankerpunt in zones voor onderhoud.

¹⁷⁶ L = lengte van de overspanning. WTCB Tijdschrift 2001/06, dimensioneren van houtconstructies, deel 1: draagvermogen in woningen, p.34-35.

buigen dan nieuwbouwvloeren. Hiermee samenhangend is ook het ongemak van trillingen, bijvoorbeeld bij de aanwezigheid van glazen vitrinekasten. Om deze trillingen tot een minimum te herleiden dient de houten vloer ook de nodige stijfheid te hebben, bijvoorbeeld door het tussenplaatsen van klossen tussen kinderbalken. Het is echter te overwegen om grotere doorbuigingen toe te laten in historisch waardevolle vloeren, met het oog op maximaal behoud. In de praktijk gebeurt dit reeds in een beperkt aantal gevallen, als de overschrijding van deze limiet beperkt is en de stabiliteitsingenieur dit voorstelt of hiermee akkoord gaat.

Bij vastgestelde geïnventariseerde gebouwen spelen ook andere randvoorwaarden mee, omdat de voornaamste focus vaak niet op de erfgoedwaarden ligt, maar bijvoorbeeld op een gewenste nieuwe interieurafwerking. Zo zou de wens van de opdrachtgever bijvoorbeeld kunnen zijn om op de vloeren kantoren met glazen tussenwanden en tegels met een minimale voeg in te richten. Deze kwetsbare interieurafwerkingen limiteren in grote mate de toegelaten doorbuiging van de vloeren. Bij het limiteren van de doorbuiging tot $L/300$ i.p.v. $L/500$ zou het glas kunnen barsten en de tegels met minimale voeg zouden omhoog gedrukt kunnen worden.

HOOFDSTUK 8

CASE STUDIES

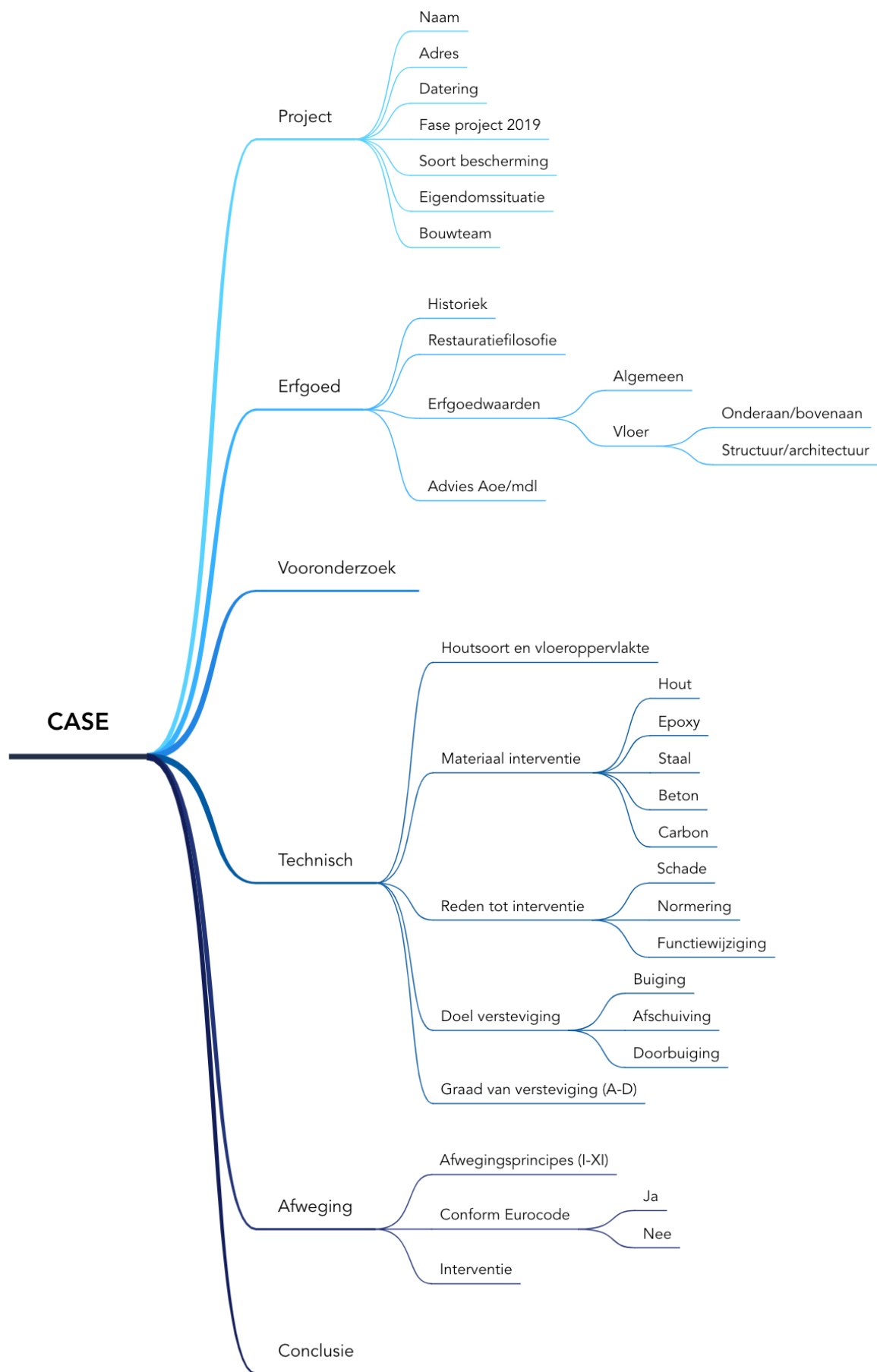
De besproken cases zijn uitgevoerde of lopende projecten van twee Belgische ingenieursbureaus in de restauratie: Origin Architecture & Engineering en Triconsult. De schaal van de cases varieert van woningen tot zalen in abdijen. Per case wordt een projectfiche van de verstevigingsingreep opgemaakt. De fiches houden de volgorde aan van het procedurediagram van structurele versteviging binnen een restauratieproject in hoofdstuk 7, en zijn mede de bron van het inzicht dat nodig was om dit procedurediagram op te maken.

Afb. 87 geeft een diagram weer van de informatie die per case is verzameld, de volgorde en onderlinge relaties. In het eerste luik wordt algemene informatie over het project gegeven, met een foto van het exterieur. De beschermingsvorm(en) worden vermeld. De historiek en restauratiefilosofie worden beknopt geduid. Vervolgens worden de aanwezige erfgoedwaarden nagegaan; deze kunnen aanwezig zijn in de structuur zelf of in elementen aan de structuur bevestigd, boven en/of onderaan de vloer. Het advies van het Agentschap Onroerend Erfgoed wordt bekeken, om via praktijkvoorbeelden te achterhalen wat de afwegingsprincipes zijn die het Agentschap zelf hanteert. Het technische luik is telkens het belangrijkste. Aan de basis van ingrepen in de casestudies liggen de resultaten van het standzekerheidsonderzoek; er wordt kort geschetst welke vooronderzoeken er zijn uitgevoerd. De reden tot interventie is de versteviging om te voldoen aan recentere normen, door een functiewijziging (verhoging van de mobiele last), of door een te grote doorbuiging. Deze is uit te voeren aan moer- en/of kinderbalken. Het doel van de ingreep is het verstevigen voor buiging, afschuiving of doorbuiging. Afschuiving is echter veelal niet maatgevend in houten vloeren. De nummers van de in acht genomen afwegingsprincipes worden ter informatie in de fiche gezet. Wanneer er bij de case studies staat dat er niet conform de normen is verstevigd, betekent dit dat de in te rekenen mobiele belasting voor de algemene functie die de ruimte boven de vloer zal krijgen, werd verlaagd. De afweging van de voorliggende verstevigingsopties en gekozen interventie worden in proza of als opsomming in de fiche geïntegreerd. Deze worden geïllustreerd met foto's van voor, tijdens en eventueel na de interventie.

De modelfiche verduidelijkt de inhoud van de fiches en werd voor het gemak achter het diagram bijgevoegd.

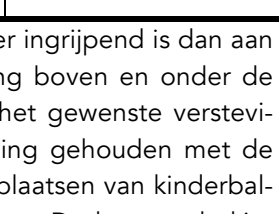
De projecten waarvan meerdere gebouwen en/of verdiepingen zijn besproken, worden weergegeven in meerdere fiches. De informatie die verschillend is in de volgende fiche, voor een bepaald gebouw of verdieping, wordt in blauw weergegeven. De verdieping van de vloeren wordt aangeduid met het niveau er boven. Bijvoorbeeld vloer niv. 1 is de vloer tussen het gelijkvloers en de eerste verdieping. Deze lijn wordt doorgetrokken naar afbeeldingen waarop de vloer van de onderzijde te zien is; hier wordt het niveau genoteerd dat boven de vloer ligt. Bijvoorbeeld een plafond gezien van de eerste verdieping wordt met 'vloer niv. 2' aangeduid; het genoteerde niveau is niet per se het niveau van waar de foto getrokken is.

Bijlage 8 bevat onder andere de afbeeldingen die per case in de fiches zijn opgenomen, in groter formaat en met meer uitleg. Verder bevat deze bijlage plannen, doorsneden en schema's om de fiches meer context te geven en ter verduidelijking van de aangewende verstevigingstechnieken.



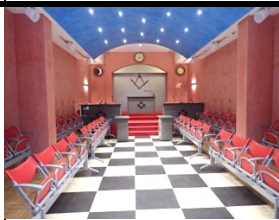
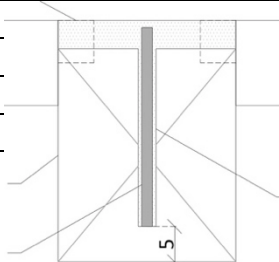
Afb. 87: Diagram van de fiche-opbouw per case study.

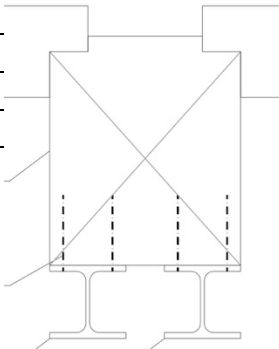
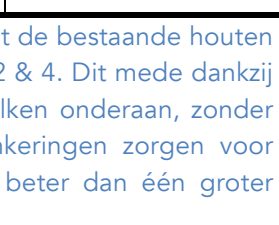
PROJECT	Naam		Foto algemeen
	Adres		
	Datering	Fase project 2019	
	Soort bescherming		
	Typologie en stijl		
	Eigendomssituatie		
	Bouwteam		
ERFGOED	Historiek en restauratiefilosofie		Foto vloer voor interventie
	Erfgoedwaarden (onderaan/bovenaan) (structuur/architectuur)		
	Advies van Agentschap Onroerend Erfgoed (AOE)		
TECHNISCH	Vooronderzoek		
	Houtsoort en vloeroppervlakte	Materiaal interventie (hout/staal/beton/epoxy)	Foto's interventie
	Reden tot interventie (schade/normering/functiewijziging)	Moer/kinderbalken	
	Doel versteviging (buiging/afschuiving/doorbuiging)	Afwegingsprincipes in acht genomen	
	Versteviging conform normen? (ja/nee)	Graad van versteviging: (A/B/C/D)	
	Afweging		
	Interventie		
CONCLUSIE			

PROJECT	A.I Begijnhofwoning Lier, <i>H. Naam van Maria/St.-Franciscus de Borgia</i>		
	Symforosastraat 12, 2500 Lier		
	17de-eeuwse kern; latere aanpassingen.	Uitgevoerd in 2017-2018.	
	Beschermd monument (1966), beschermd cultuurhistorisch landschap (1966), CHE-gebied, UNESCO-werelderfgoed (1998).		
	Traditionele bakstenen breedhuizen in stratenbegijnhof, met zadeldak; getrapte of klimmende standvensters. Houten plankenvloeren op een rooster van (gepleisterde) houten moer- en kinderbalken, met troggewelven tussen kinderbalken, boven niv. 0 en 1.		
	Huurwoning (geen sociale), eigenaar OCMW Lier.		
Architect: Barbara Van der Wee architects – SUMProject, restauratie-architect Studio Roma, stabiliteitsingenieur TriConsult, aannemer THV Denys-Building, vooronderzoek vloeren: Attic.			BVdW-SUMResearch 2017
ERFGOED	Uitbreiding van 13de-eeuws begijnhof, het herstel van de eredienst in de Spaanse Nederlanden had een stimulerend effect op de ontwikkeling van het begijnhof. De traditie van gemeenschapshuizen werd geleidelijk verlaten en ingeruild voor nieuw gebouwde huizen. Nr. 12 werd aan de achterzijde verhoogd volgens de sporen van ingebonden metselwerk.		
	Beschermd als monument wegens artistieke waarde. Beschermd als werelderfgoed wegens de buitengewone fysieke karakteristieken van stedelijke en landschappelijke planning van Vlaamse begijnhoven; de uitzonderlijke getuigenis van een onafhankelijke religieuze vrouwsamenleving sinds de middeleeuwen. De woningen geven een getrouw beeld van de historische ruimte-indeling. Historische waarde van de vloerstructuur, met troggewelven tussen kinderbalken en naaldhouten plankenvloeren.		
	Advies van AOE: akkoord met verstevigingsprincipes ingenieursbureau als onderdeel van restauratiedossier.		
TECHNISCH	Vooronderzoek: de stabiliteitsingenieur bepaalde de globale kwaliteit van de structurele elementen op basis van de grafische outprints van resistographmetingen in balkkoppen en visuele waarnemingen, o.a. na vrijleggingen; berekende op basis hiervan het draagvermogen. Attic voerde een niet-destructief onderzoek uit op moer-, strijk- en kinderbalken: visueel en auditief + steekproef resistographmetingen (Digital micro Probing techniek).		
	Eik, 125 m ² .	Materiaal interventie: hout, epoxy, staal.	
	Reden tot interventie: normering.	Moer- en kinderbalken.	
	Doel: buiging en doorbuiging.	Afwegingsprincipes: alle.	
	Versteviging conform normen? Ja.	Graad van versteviging: B, C, D.	
	Aangenomen houtkwaliteit D30. Nuttige last van 200 kg/m ² (gebruikscat. A), toevoeging van permanente last voor bepleistering 35-70 kg/m ² . Volgens de normberekeningen was voor meerdere moer- en kinderbalken een verhoging van de sectie nodig.		
	MOERBALKEN: bovenaan versterken met epoxymortel-uitvulling, met eventueel boven- en/of onderaan een verlijmd staalplaat; of enkel een hogere staalplaat onderaan. De toevoeging van een houten sectie brengt vermoedelijk een te grote opbouwhoogte met zich mee. KINDERBALKEN: oplijmen van een bijkomende houtsectie, of ontubbelen van de vloer indien de vrije hoogte voldoende groot is. Andere kinderbalken kunnen voldoen door het vernagelen met de houten beplanking, die vervolgens kan worden meegerekend voor de sectie.		
	Door de stabiliteitsingenieur werd voorgesteld om niet te verstevigen omdat de vloeren een aanzienlijke last konden dragen (ca. 180 kg/m ²), maar OCMW Lier koos ervoor om de woningen conform de normen te maken.		
	Interventie: MOERBALKEN niv. 1: verlijmd staalplaat onderaan; niv. 2: epoxymorteluitvulling bovenaan incl. verdeuveling en langswapening + verlijmd staalplaat. De nieuwe onafhankelijke vloer zal afdragen op deze versterkte moerbalken.		
	KINDERBALKEN niv. 1: verschroeven met bestaande plankenvloer d.m.v. 2 verdoken houtschroeven; niv. 2: toevoeging onafhankelijke vloer met kinderbalken en OSB-platen.		
CONCLUSIE	Er werd beslist om te verstevigen aan één zijde per vloerelement, wat praktischer en minder ingrijpend is dan aan de boven- én onderzijde. Ruimte per ruimte werd gekeken welke ingreep de vormgeving boven en onder de vloer het meest respecteert, en wat in functie van de randvoorwaarden haalbaar is om het gewenste verstevigingsniveau te bereiken. Bij de afweging van de verstevigingstechnieken werd er rekening gehouden met de aanwezigheid van de troggewelven, die historisch waardevol zijn. De optie van het tussenplaatsen van kinderbalken werd hier verlaten gezien de aanwezigheid van troggewelven of zichtbare kinderbalken. De bestaande kinderbalken op niv. 2 dragen geen vloerlast meer, gezien de nieuwe hoger gelegen kinderbalken deze opnemen.		

PROJECT	A.II Begijnhofwoning Lier, St. Clara		
	Symforosastraat 8, 2500 Lier		
	17de-eeuwse kern; latere aanpassingen.	Uitgevoerd in 2017-2018.	
	Beschermd monument (1966), beschermd cultuurhistorisch landschap (1966), CHE-gebied, UNESCO-werelderfgoed (1998).		
	Traditionele bakstenen breedhuizen in stratenbegijnhof, met zadeldak; getrapte of klimmende standvensters. Houten plankenvloeren op een rooster van (gepleisterde) houten moer- en kinderbalken, met troggewelven tussen kinderbalken, boven niv. 0 en 1.		
	Huurwoning (geen sociale), eigenaar OCMW Lier.		
ERFgoed	Architect: Barbara Van der Wee architects – SUMProject, restauratie-architect Studio Roma, stabiliteitsingenieur TriConsult, aannemer THV Denys-Building, vooronderzoek vloeren: Attic.		BVdW-SUMResearch 2017
	Uitbreiding van 13de-eeuws begijnhof, het herstel van de eredienst in de Spaanse Nederlanden had een stimulerend effect op de ontwikkeling van het begijnhof. De traditie van gemeenschapshuizen werd geleidelijk verlaten en ingeruild voor nieuw gebouwde huizen.		
	Beschermd als monument wegens artistieke waarde. Beschermd als werelderfgoed wegens de buitengewone fysieke karakteristieken van stedelijke en landschappelijke planning van Vlaamse begijnhoven; de uitzonderlijke getuigenis van een onafhankelijke religieuze vrouwsamenleving sinds de middeleeuwen. De woningen geven een getrouw beeld van de historische ruimte-indeling. Historische waarde van de vloerstructuur, met troggewelven tussen kinderbalken, uitgehouwen moerbalken, aansluiting met rijk uitgewerkte schouwen, naaldhouten plankenvloeren.		
TECHNISCH	Advies van AOE: akkoord met verstevigingsprincipes ingenieursbureau als onderdeel van restauratiedossier en tijdens werfvergaderingen.		Vloer niv. 1, Triconsult 2017
	Vooronderzoek: de stabiliteitsingenieur bepaalde de globale kwaliteit van de structurele elementen op basis van de grafische outprints van resistographmetingen in balkkoppen en visuele waarnemingen, o.a. na vrijleggingen; berekende op basis hiervan het draagvermogen. Attic voerde een niet-destructief onderzoek uit op moer-, strijk en kinderbalken: visueel en auditief + steekproef resistographmetingen (Digital micro Probing techniek).		
	Eik, 105 m ² .	Materiaal interventie: hout, epoxy, staal.	
	Reden tot interventie: normering.	Moer- en kinderbalken.	
	Doel: buiging en doorbuiging.	Afwegingsprincipes: alle.	
	Versteviging conform normen? Ja.	Graad van versteviging: B, C, D.	
	Aangenomen houtkwaliteit D30. Nuttige last van 200 kg/m ² (gebruikscat. A), toevoeging van permanente last voor bepleistering 35-70 kg/m ² . Volgens de normberekeningen was voor meerdere moer- en kinderbalken een verhoging van de sectie nodig.		
	MOERBALKEN: bovenaan met epoxymorteluitvulling, met eventueel een verlijmd staalplaat; of enkel een hogere staalplaat onderaan; of indien er voldoende opbouwhoogte beschikbaar is, kan een hogere epoxymortellaag zonder toevoeging van staal volstaan.		
	KINDERBALKEN: oplijmen van een bijkomende houtsectie; of ontdubbelen van de vloer indien de vrije hoogte voldoende groot is; of gelijmde staalplaat aan de onderzijde. Andere kinderbalken kunnen voldoen door het vernagelen met de houten beplanking.		
	Door de stabiliteitsingenieur werd voorgesteld om niet te verstevigen omdat de vloeren een aanzienlijke last konden dragen (ca. 180 kg/m ²), maar OCMW Lier koos ervoor om de woningen conform de normen te maken.		
	Interventie: MOERBALKEN niv. 1: verlijmd staalplaat onderaan; niv. 2: epoxymorteluitvulling bovenaan incl. verdeuveling en langswapening + verlijmd staalplaat. De nieuwe onafhankelijke vloer zal afdragen op deze versterkte moerbalken.		
CONCLUSIE	KINDERBALKEN niv. 1: verlijmd staalplaatjes onderaan + verschroeven met bestaande plankenvloer d.m.v. 2 verdoken houtschroeven ; niv. 2: toevoeging onafhankelijke vloer met kinderbalken en OSB-platen.		Niv. 1, Triconsult 2018
	Opmerkelijk aan deze vloerrestauratie t.o.v. huisnr. 12 is het plaatsen van een stalen plaatje per kinderbalk niv. 1, een techniek die in de restauratie eerder wordt toegepast op moerbalken. Met louter vernagelen van de kinderbalken met de plankenvloer kon hier geen afdoende draagkracht worden bekomen. De toevoeging van de platen is een zeer subtiele, op maat gemaakte ingreep die het mogelijk maakt om de troggewelven maximaal te bewaren in deze verstevigingscontext. De delen van het pleisterwerk die werden weggekap voor het plaatsen van de staalplaten, werden met wapeningsnetjes als basis gereconstrueerd.		

PROJECT	A.III Begijnhofwoning Lier, St. Dominicus		
	Symforosastraat 2, 2500 Lier		
	17de-eeuwse kern; latere aanpassingen.	Uitgevoerd in 2017-2018.	
	Beschermd monument (1966), beschermd cultuurhistorisch landschap (1966), CHE-gebied, UNESCO-werelderfgoed (1998).		
	Traditionele bakstenen breedhuizen in stratenbegijnhof, met zadeldak; getrapte of klimmende standvensters. Houten plankenvloeren op een rooster van (gepleisterde) houten moer- en kinderbalken, met troggewelven tussen kinderbalken, boven niv. 0 en 1.		
	Huurwoning (geen sociale), eigenaar Kerkfabriek Sint-Gummarus .		
ERFGOED	Architect: Barbara Van der Wee architects – SUMProject, restauratie-architect Studio Roma, stabiliteitsingenieur TriConsult, aannemer THV Denys-Building, vooronderzoek vloeren: Attic.		BVdW-SUMResearch 2017
	Uitbreiding van 13de-eeuws begijnhof, het herstel van de eredienst in de Spaanse Nederlanden had een stimulerend effect op de ontwikkeling van het begijnhof. De traditie van gemeenschapshuizen werd geleidelijk verlaten en ingeruild voor nieuw gebouwde huizen.		
	Beschermd als monument wegens artistieke waarde. Beschermd als werelderfgoed wegens de buitengewone fysieke karakteristieken van stedelijke en landschappelijke planning van Vlaamse begijnhoven; de uitzonderlijke getuigenis van een onafhankelijke religieuze vrouwsamenleving sinds de middeleeuwen. De woningen geven een getrouw beeld van de historische ruimte-indeling. Historische waarde van de vloerstructuur, met troggewelven tussen kinderbalken, uitgehouwde moerbalken, aansluiting met rijk uitgewerkte schouwen, naaldhouten plankenvloeren.		
TECHNISCH	Advies van AOE: akkoord met verstevigingsprincipes ingenieursbureau als onderdeel van restauratiedossier.		
	Vooronderzoek: de stabiliteitsingenieur bepaalde de globale kwaliteit van de structurele elementen op basis van de grafische outprints van resistographmetingen in balkkoppen en visuele waarnemingen, o.a. na vrijleggingen; berekende op basis hiervan het draagvermogen. Attic voerde een niet-destructief onderzoek uit op moer-, strijk en kinderbalken: visueel en auditief + steekproef resistographmetingen (Digital micro Probing techniek).		
	Eik, 90 m².	Materiaal interventie: epoxy, staal.	
	Reden tot interventie: normering.	Moer- en kinderbalken.	
	Doel: buiging en doorbuiging.	Afwegingsprincipes: alle.	
	Versteviging conform normen? Ja.	Graad van versteviging: B, C, D.	
	Aangenomen houtkwaliteit D30. Nuttige last van 200 kg/m² (gebruikscat. A), toevoeging van permanente last voor bepleistering 35-70 kg/m². Volgens de normberekeningen was voor meerdere moer- en kinderbalken een verhoging van de sectie nodig.		
	MOERBALKEN: bovenaan met epoxymorteluitvulling, met eventueel een verlijmd staalplaat; of enkel een hogere staalplaat onderaan; of indien er voldoende opbouwhoogte beschikbaar is, kan een hogere epoxymortellaag zonder toevoeging van staal volstaan.		
	KINDERBALKEN: oplijmen van een bijkomende houtsectie, of ontdubbelen van de vloer indien de vrije hoogte voldoende groot is, of gelijmde staalplaat aan de onderzijde, of toevoegen van kinderbalken tussen de bestaande in de ruimtes zonder troggewelven.		
	Door de stabiliteitsingenieur werd voorgesteld om niet te verstevigen omdat de vloeren een aanzienlijke last konden dragen (ca. 180 kg/m²), maar de Kerkfabriek koos ervoor om de woningen conform de normen te maken.		
CONCLUSIE	Interventie: MOERBALKEN niv. 1: verlijmd staalplaat onderaan; niv. 2: verlijmd staalplaat bovenaan, nieuwe moerbalk in andere zone.		Woning 4, Niv. 0, TriConsult 2017
	KINDERBALKEN niv. 1: verlijmd staalplaat onderaan ; niv. 2: toevoeging onafhankelijke vloer met kinderbalken en OSB-platen.		
CONCLUSIE	In woning 2 werden staalplaten toegepast die zonder epoxymorteluitvulling op de bestaande moerbalken werden geplaatst. De onafhankelijke vloer diende te worden opgelegd op de moerbalk; gezien men dit aan de bovenzijde doet, kon de moerbalk meteen aan de bovenzijde worden verstevigd. In de drie cases werd er telkens beslist om bovenaan de vloer niv. 2 te verstevigen, op zolderniveau. De zolder is namelijk de minst representatieve ruimte in de woningen.		

PROJECT	B.I Vrijmetselaarstempels van "Vrais Amis de l'union et du progrès" niv. 1.		
	Lakensestraat 79, 1000 Brussel		
	Gevel uit 1832, interieur uit 1910.	In uitvoering.	
	Beschermd monument (1988). Enkel de gevel is als monument beschermd.		
	Neoclassicistisch exterieur en draagstructuur, eclectisch egyptiserend en recenter interieur. De opbouw van de draagstructuur is dezelfde op alle verdiepingen.		
	Private eigenaar Uniphi.		
	Architect: DDS+, geen restauratie-architect, stabiliteitsingenieur Origin, aannemer (incl. sonderingen) Monument Renovation Technics (MRT).		
ERFgoed	Drie egyptiserende vrijmetselaarstempels van verschillende omvang werden ontworpen door architect Paul Bonduelle in 1910, achter een neoclassicistische gevel uit 1832. De tempels bevinden zich achteraan het gebouw in aansluiting met de Vander Elststraat. De verstevigingen vinden plaats aan de Lakensestraat, waar geen historische tempels aanwezig zijn, maar wel een historische draagstructuur uit 1832. Men wenst hier nieuwe tempels in te richten, boven een bestaande recentere tempel. De functies van deze te herbestemmen ruimten waren vergaderzalen en kantoren.		
	De erfgoedwaarde bevindt zich in de vloer zelf, nl. de structuur, hoewel deze niet beschermd is. De afwerking onderaan werd vernieuwd en is niet historisch waardevol.		
	Er werd geen vergunning of toelating der werken aangevraagd, bijgevolg werd er geen advies gegeven door Monumentenzorg Brussel. De structuur werd beschouwd als zijnde eerder gelegen in een erfgoedperimeter dan waardevol op zich.		
TECHNISCH	Vooronderzoek: vrijleggingen van balkkoppen, meten van doorsneden. Visuele waarnemingen wezen slechts plaatselijk kleine aantastingen van het hout uit. De bestaande moerbalken kunnen een belasting dragen van 100 à 150 kg/m², de kinderbalken ca. 250 kg/m². De doorbuiging van de kinderbalken overschrijdt licht de L/300.		
	Eik, 80 m².	Materiaal interventie: epoxy, staal.	
	Reden tot interventie: functiewijziging.	Moerbalken.	
	Doel: buiging en doorbuiging.	Afwegingsprincipes: I, IV, V, VI, VII, X.	
	Versteviging conform normen? Ja.	Graad van versteviging: C, D.	
	Het bepalen van de in te rekenen nuttige belasting, afhankelijk van het toekomstige gebruik van de ruimte, was geen evidentie gezien de geheimhouding van de activiteiten in de tempels. De klant was vaag over het gebruik van de ruimte, het aantal personen aanwezig zou variëren tussen 15 en 50. Men staat of zit aan de kant en gaat "soms naar het midden van de ruimte". De stabiliteitsingenieur oordeelde dat dit soort tempels beschouwd kan worden als een vergaderzaal; 300 kg/m².		
	Klant en architect vroegen om niet te raken aan de onderzijde van vloer niv. 1 (reeds tempel op gelijkvloers), dus er kon enkel aan de bovenzijde worden verstevigd. Dit kon gebeuren door het vergroten van de sectie met epoxymortel en/of staalplaat bovenaan, of indien nodig het verlijmen van een verticale staalplaat.		
	Interventie: enkel epoxymortel en staalplaat bovenaan zou niet voldoen, dus werd een staalplaat (15 x 280 mm²) in een verticale sleuf over de gehele lengte van de moerbalk geïntegreerd, op een afstand van 50 mm van de onderzijde (grotere afstand in het midden t.g.v. doorbuiging. Hoewel de stabiliteitsingenieur verlijming met epoxyhars had voorgeschreven, werd de plaat in de sleuf verlijmd met Sika dur 30 structurele lijm (die minder visceus is). De moerbalk werd bovenaan verstevigd met 40 mm epoxy, waarin het bovenste gedeelte van de staalplaat en de kinderbalkkoppen ook werden gevat. De compatibiliteit van beide chemische producten dient nog te worden gegarandeerd.		
	De architect voorzag de vervanging van de bestaande planken door OSB-platen op alle niveaus om de vloer gelijk te leggen. Om de structuur te verstijven, werden de platen vernageld met de kinderbalken.		
	CONCLUSIE	Dit is een werf die zeer snel in uitvoering is gegaan, zonder veel kans op controle door architect en stabiliteitsingenieur, en zonder advies van een erfgoedinstantie. De houten plankenvloer werd vervangen door OSB-platen, maar men had de planken ook bijkomend aan de kinderbalken kunnen vernagelen om de stijfheid te verhogen. Het inslijpen van de sleuf voor het aanbrengen van een staalplaat vernietigt historisch materiaal. Er had mogelijk een staalplaat bovenop de moerbalk kunnen worden gelijmd en gebout. De randvoorwaarden van de klant gaven hier de doorslag voor het bepalen van de verstevigingstechniek. Het materiaal van de moer- en kinderbalken werd echter wel maximaal behouden.	

PROJECT	B.II Vrijmetselaarstempels van "Vrais Amis de l'union et du progrès" niv. 2 & 4		
	Lakensestraat 79, 1000 Brussel		
	Gevel uit 1832, interieur uit 1910.	In uitvoering.	
	Beschermd monument (1988). Enkel de gevel is als monument beschermd.		
	Neoclassicistisch exterieur en draagstructuur, eclectisch egyptiserend en recenter interieur. De opbouw van de draagstructuur is dezelfde op alle verdiepingen.		
	Private eigenaar Uniphi.		
	Architect: DDS+, geen restauratie-architect, stabiliteitsingenieur Origin, aannemer (incl. sonderingen) Monument Renovation Technics (MRT).		
ERFgoed	Drie egyptiserende vrijmetselaarstempels van verschillende omvang werden ontworpen door architect Paul Bonduelle in 1910, achter een neoclassicistische gevel uit 1832. De tempels bevinden zich achteraan het gebouw in aansluiting met de Vander Elststraat. De verstevigingen vinden plaats aan de Lakensestraat, waar geen historische tempels aanwezig zijn, maar wel een historische draagstructuur uit 1832. Men wenst hier nieuwe tempels in te richten, boven een bestaande recentere tempel. De functies van deze te herbestemmen ruimten waren vergaderzalen en kantoren.		
	De erfgoedwaarde bevindt zich in de vloeren zelf, nl. de structuur, hoewel deze niet beschermd is. De afwerkingen onderaan werden vernieuwd en zijn niet historisch waardevol.		
	Er werd geen vergunning of toelating der werken aangevraagd, bijgevolg werd er geen advies gegeven door Monumentenzorg Brussel. De structuur werd door de architect beschouwd als zijnde eerder gelegen in een erfgoedperimeter dan waardevol op zich.		
TECHNISCH	Vooronderzoek: vrijleggingen van balkkoppen, meten van doorsneden. Visuele waarnemingen wezen slechts plaatselijk kleine aantastingen van het hout uit. De bestaande moerbalken kunnen een belasting dragen van 100 à 150 kg/m², de kinderbalken ca. 250 kg/m². De doorbuiging van de kinderbalken overschrijdt licht de L/300.		
	Eik, 160 m².	Materiaal interventie: staal.	
	Reden tot interventie: functiewijziging.	Moerbalken.	
	Doel: buiging en doorbuiging.	Afwegingsprincipes: I, IV, V, VI, VII, VIII, X.	
	Versteviging conform normen? Ja.	Graad van versteviging: D.	
	Het bepalen van de in te rekenen nuttige belasting, afhankelijk van het toekomstige gebruik van de ruimte, was geen evidentie gezien de geheimhouding van de activiteiten in de tempels. De klant was vaag over het gebruik van de ruimte, het aantal personen aanwezig zou variëren tussen 15 en 50. Men staat of zit aan de kant en gaat "soms naar het midden van de ruimte". De stabiliteitsingenieur oordeelde dat dit soort tempels beschouwd kan worden als een vergaderzaal; 300 kg/m².		
	Onderaan vloeren niv. 2 en 4 is een verlaagd plafond aanwezig. Hier is enige ruimte vrij voor het verstevigen van de moerbalken aan de onderzijde. De opties staalplaat, extra houten sectie en stalen liggers werden bekeken.		
	Interventie: het toevoegen van een stalen plaat onderaan zou onvoldoende zijn om de doorbuiging conform de norm te maken. Voor het toevoegen van een houten sectie was er te weinig ruimte achter het vals plafond. Twee HEA 100 balken werden onder de moerbalken geplaatst met 50 mm spatie ertussen om deze nog vast te kunnen boren. Ze hoeven niet opgelegd te worden in het metselwerk. De onderzijde van de HEA 100 balken komt op hetzelfde niveau als de onderzijde van de latten voor bepleistering. Na de ingreep zullen de stalen profielen dus onzichtbaar zijn, dankzij hun beperkte hoogte (96 mm). Eerst werd vloer niv. 1 verstevigd en daarna niv. 2, zodat de stalen profielen gestut kon worden op de onderliggende vloer voor verankering. De architect voorzag de vervanging van de planken door OSB-platen op alle niveaus om de vloer gelijk te leggen. Om de structuur te verstijven, werden de platen vernageld met de kinderbalken.		
CONCLUSIE	Hoewel de structuur niet beschermd is, is er op vlak van de verstevigingen met respect met de bestaande houten moer- en kinderbalken omgegaan, met maximaal behoud van historisch materiaal op niv. 2 & 4. Dit mede dankzij het advies van een stabiliteitsingenieur uit de erfgoedcontext. Het plaatsen van HEA-balken onderaan, zonder oplegging in het metselwerk, is grotendeels een reversibele ingreep. Enkel de verankeringen zorgen voor materiaalverlies van de bestaande moerbalk. Twee HEA-balken verdelen de belasting beter dan één groter profiel en zijn beperkter in de hoogte.		

PROJECT	C. Westvleugel claustrum Norbertijnenabdij van Park niv. 1		
	Abdij van Park 7, 3001 Heverlee		
	1448-1453, 1679, begin 18 ^{de} eeuw.	Uitgevoerd in 2013-2014.	
	Beschermd monument (1940), beschermd cultuurhistorisch landschap (1942).		
	Rijke middeleeuwse afwerkingen; barok; laatbarok.		
	Stad Leuven, Abdij van Park vzw.		
ERFgoed	Architect: Studio Roma, stabiliteitsingenieur TriConsult, aannemer perceel 1 (ruwbouw): Monument Vandekerckhove, aannemer perceel 2 (interieurrestauratie, o.a. Hansche plafond): THV Building – B.J. Delmotte – Viering, vooronderzoek: AM Consult (2005).		
	Achter de 18de-eeuwse laatbarokke plafondaafwerking werd een ontdubbelde vloer met 15de-eeuwse gepolychromeerde troggewelven aangetroffen. In de vestibule bevindt zich een stucplafond van de hand van J.C. Hansche (ca. 1679). De restauratiefilosofie houdt de herwaardering in van de vroeg 18de-eeuwse periode, de laatste grote bloeiperiode van de abdij, en de restauratie van het zeer waardevolle Hansche stucplafond. De westvleugel werd herbestemd tot museum voor religie, kunst en cultuur Parcum op niv. 0 en 2, en kantoren op niv. 1. Door de verslechterde staat van het hout van de draagstructuur en de nieuwe functie dienden de vloeren verstevigd te worden.		
	Abdijcomplex beschermd wegens haar artistieke en historische waarde. De meest waardevolle elementen van de vloeren bevinden zich in de afwerking van de plafonds.		
	Advies AOE: goedkeuring binnen restauratiedossier.		
TECHNISCH	Dendrochronologisch onderzoek: datering houten vloeren. Bouwhistorisch en materiaaltechnisch vooronderzoek door AM Consult (Johan Grootaers), openleggen vloer niv. 1, resistographmetingen, standzekerheidsanalyse (controle van het draagvermogen). Tijdelijke schoring van het stucplafond met houten portiek en luchtkussens.		
	Eik, 650 m ² .	Materiaal interventie: staal, epoxy.	
	Reden: schade, functiewijziging.	Moer- en kinderbalken.	
	Doel: buiging, doorbuiging.	Afwegingsprincipes: alle.	
	Versteviging conform normen? Nee.	Graad van versteviging: C, D.	
	Gescheurd pleisterwerk en grote doorbuigingen zijn de gevolgen van de toevoeging van tussenwanden (van houten stijl- en regelwerk met metselwerkvulling), op sommige plaatsen niet boven een moerbalk maar op de tussenliggende kinderbalken. Moer- en kinderbalken zijn onvoldoende gedimensioneerd om niet te veel door te buigen t.g.v. deze bijkomende belasting. De balkenlaag boven het Hansche stucwerk is in zeer slechte staat t.g.v. vochtinfiltratie via de bovenliggende badkamer en biologische aantasting. Het verwijderen van de tussenwanden werd afgewogen. Bij behoud dienden de moer- en kinderbalken aanzienlijk versterkt te worden. Samen met de eigenaar werd overwogen om de in te rekenen mobiele belasting, opgelegd door de Eurocode, licht te verlagen. De verstevigingstechnieken van de kinderbalken die werden overwogen zijn opgelijmde en geschroefde eikenhouten planken; onafhankelijke vloer; epoxymorteluitvulling.		
	Interventie: de tussenwanden hebben ook hun erfgoedwaarde verworven, dus worden behouden. De in te rekenen mobiele belasting werd gereduceerd in deze erfgoedcontext: niv 1. (kantoren): 250 i.p.v. 300 kg/m ² . (Op niv. 0 en 2 (museum): 400 i.p.v. 500 kg/m ²). Zo zijn de verstevigingen minder ingrijpend en in bepaalde zones is geen versterking meer nodig. Het verstevigen van moer- en kinderbalken wordt uitgevoerd met epoxymortel. De moerbalken zijn behalve met epoxy ook verstevigd met staalplaten bovenaan. De dikte van de epoxymortel en de staalplaten kon beperkt blijven. De kinderbalken zijn mee in de epoxymorteluitvulling van de moerbalken opgenomen voor extra stijfheid van de draagvloer. De dragende wand boven het Hanscheplafond diende aan de bovenliggende moerbalk te worden opgehangen tijdens de werken. De 15de-eeuwse gepolychromeerde troggewelven werden op twee plaatsen zichtbaar gemaakt achter het 18de-eeuwse plafond.		
			
CONCLUSIE	Dit project vergde zeer weloverwogen technieken en een zeer omzichtige uitvoering. Verstevigingswerken aan een vloer die reeds ontdubbeld is, met zeer gevoelige afwerkingen, zijn geen sinecure. Het historisch materiaal werd maximaal behouden, inclusief de tussenwanden, die de versteviging aanzienlijk bemoeilijkten. Dit project is een zeldzaam voorbeeld in België van de verlaging van de in te rekenen belasting. Toch blijft de veiligheid gegarandeerd; deze info komt in het as-built-dossier en er worden randvoorwaarden gesteld aan het gebruik, die gecontroleerd worden in dit openbaar gebouw. Er werd verstevigd met zeer veel zorg en respect voor de waardevolle elementen, een aanpak waarvan de luchtkussens een mooie metafoor zijn.		

PROJECT	D. Priorij van het Rood Klooster niv. 1		
	Rood-Kloosterstraat 4, 1160 Oudergem.		
	15-16 ^{de} eeuw, 18 ^{de} eeuw.	Geplande uitvoering 2019-2021.	
	Deel van beschermd landschap Zoniënwoud (1959). Site beschermd als monument (1965).		
	Priorwoonst, verblijf van kanunniken, traditionele stijl.		
	Publieke eigenaar Ministerie van het Brussels Hoofdstedelijk gewest Grondregie (1992).		
Architect LD2, restauratie-architect en stabiliteitsingenieur Origin, aannemer Monument.			Oostgevel, G. De Kinder 2018
ERFgoed	De vleugel herbergde een kapittelzaal (niv. 0), de woonst van de prior (niv. 0 & 1), kamers van kanunniken (niv. 1), en was rechtstreeks met een kerk verbonden. De site functioneerde als klooster tot 1796, waarna het domein verschillende malen van eigenaar veranderde en er veel gebouwen, waaronder de kerk, werden afgebroken. Dit gebouw is het enige overblijvende van het 15-16de-eeuwse oude klooster. Begin 2019 werd de werf opgestart voor de herbestemming van dit gebouw. Op niv. 0 komt een reca-uitbating, op niv. 1 een polyvalente publieke ruimte (expo, vergaderzaal, klasruimte).		
	In 2005 werd de plafondbepleistering in alle ruimten illegaal verwijderd, zowel op de moerbalken als de vloervlakken. Fracties van de plafondbepleistering met moulures zijn lokaal nog aanwezig. Meest waardevolle elementen zijn de draagvloer zelf en de vloerbedekking van brede lange eikenhouten planken en de tussenwanden van kanunnikencellen.		Niv. 0, A. Vermijlen 2005
	Advies DML Brussel: DML stelde het opkleven van CFRP-laminaat voor wegens de reversibiliteit. De brandweer adviseerde echter om stalen platen te gebruiken. Plus de balken moeten ook verstevigd worden voor doorbuiging. DML vroeg verantwoording van plaatsen staalplaten en de beschouwde in te rekenen mobiele belasting.		
TECHNISCH	Vooronderzoek: o.a. 2002 dendrochronologisch onderzoek. Thesis van A. Vermijlen (2006): diagnose, restauratie en verstevigingsopties. Draagvermogen bestaande toestand		
	Eik, 300 m ² .	Materiaal interventie: hout, staal, epoxy.	
	Reden: schade, functiewijziging.	Moerbalken.	Niv. 0, A. Vermijlen 2005
	Doel versteviging: buiging, doorbuiging.	Afwegingsprincipes: alle.	
	Versteviging conform normen? nee	Graad van versteviging: D	
	Voor de te verstevigen moerbalken werd afgewogen: toevoegen van kolommen, toevoegen van houten sectie onderaan, of van een staalplaat onderaan. Enkel verstevigingsopties onderaan de draagvloer werden weerhouden voor afweging, aangezien het historische pleisterwerk werd verwijderd en er bovenop waardevolle plankenvloeren en tussenwanden aanwezig zijn. Het polyvalent gebruik van de zalen op de eerste verdieping bevindt zich tussen gebruiksklassen C1 (300 kg/m ²) en C3 (500 kg/m ²). Het compromis van 400 kg/m ² wordt beschouwd voor het verstevigen van de moerbalken die slechts 150 kg/m ² kunnen dragen. Kolommen zijn niet wenselijk voor perceptie en gebruik van de ruimte en opbouwhoogte van hout is te groot om naar historisch model te herpleisteren.		
	Vier moerbalken zullen worden vervangen door nieuwe eiken balken (30 x 35 cm ²), omdat ze vroeger reeds werden vervangen door niet te behouden staalprofielen en geassembleerde houten elementen, en omdat ze niet kunnen worden gerecupereerd t.g.v. biologische aantasting. Ook de kinderbalken van 4 vloervlakken worden vervangen door nieuwe exemplaren. Twee moerbalken voldoen en dienen niet te worden vervangen of verstevigd. De overige 17 moerbalken zullen onderaan worden verstevigd met staalplaten van verschillende formaten volgens de huidige staat van de moerbalken en de op te nemen belasting. De platen worden verlijmd met epoxyhars en gebout. In de vloerzones waar nog bepleistering aanwezig is, dienen de kinderbalken niet te worden vervangen. De meeste kinderbalken zijn in goede staat en voldoen voor de nieuwe belasting. Dankzij het bestaan van foto's van de historische bepleistering met moulures, kan deze worden gereconstrueerd na de versteviging en vervanging. Randvoorwaarden van het gebruik van niv. 1: 60 personen toegelaten, geen zware beelden in expo.		
CONCLUSIE	Door het betreurenswaardige feit dat de bepleistering van de moerbalken werd verwijderd, was er minder afweging nodig om te beslissen dat onderaan verstevigen met staalplaten de meest respectvolle interventie is. Elke moerbalk is individueel grondig onderzocht en voor elk geval werd berekend welke versteviging nodig is. In het lastenboek worden de verschillende dimensies van de te plaatsen staalplaten geduid met een plan. DML was zeer betrokken in de besluitvorming; door DML werden er feedback en bedenkingen gegeven i.v.m. de te vervangen balken, de in te rekenen mobiele belasting en de versteviging toe te passen verstevigingstechniek.		Niv. 1 (vloer boven niv. 0), A. Vermijlen 2006

CONCLUSIE

Uit voorbeelden van historisch waardevolle vloeren werd duidelijk dat de volgende erfgoedwaarden aanwezig kunnen zijn in of verbonden kunnen zijn aan houten draagvloeren: architecturale, artistieke, esthetische, historische, industrieel-archeologische, wetenschappelijke, technische en volkskundige waarde. De vloer dient ook in zijn context te worden bekeken, zowel op het vlak van stabiliteit als van erfgoedwaarden; de vloer kan de erfgoedwaarde van het gebouw waar hij deel van uitmaakt, ook bevatten, en werkt structureel samen met de overige draagelementen.

Deze erfgoedwaarden kunnen in een verstevigingscontext maximaal worden gevrijwaard door de opgestelde afwegingsprincipes in de praktijk te brengen bij de besluitvorming van de toe te passen verstevigingstechniek. Elk historisch waardevol gebouw is uniek, elke afweging ook. Om consequente en onderbouwde adviezen in het erfgoedveld omtrent de versteviging van houten vloeren te voorzien, is het belangrijk dat een kader van principes wordt opgesteld.

De afwegingsprincipes formuleren het antwoord op de hoofdvraag van dit onderzoek:

Hoe kunnen de herstel- of verstevigingstechnieken voor een houten vloer in een beschermd monument, stads- en dorpsgezicht of vastgesteld geïnventariseerd onroerend goed, worden geselecteerd met het oog op maximaal behoud van de aanwezige erfgoedwaarden?

en kunnen geïmplementeerd worden in het restauratieproces(diagram) na het definiëren van verstevigingsopties.

Houten vloerstructuren dienen in de meeste gevallen verstevigd te worden doordat ze een grotere doorbuiging vertonen dan het maximum dat door de norm is voorgeschreven. Ook de optredende buigspanningen dienen overbrugd te worden, waarvoor in meerdere gevallen ook versteviging nodig is. Dwarskrachten zijn echter minder bepalend voor de versteviging van houten vloeren. Bij de start van het onderzoek werd er van uitgegaan dat er geen normering voorhanden is die de erfgoedwaarden betreft bij het herstel- of verstevigingsproces. Inderdaad, er zijn geen bindende normen die hier betrekking op hebben. Wel bestaan er internationale normenkaders die erfgoedwaarden binnen verstevigingsingrepen beschouwen. Dit zijn het ISCARSAH-ICOMOS charter en de internationale norm ISO 13882:2010. Doorbuigingen van vloeren die groter zijn dan het maximum voorgeschreven door de Eurocodes, kunnen in bepaalde gevallen worden toegestaan door de internationale norm ISO 13882:2010. In de praktijk zijn afwijkingen van de norm reeds mogelijk in publieke gebouwen door het inrekenen van een lagere mobiele belasting. Dit kan verstevigingstechnieken in bepaalde zones overbodig maken en in andere zones minder ingrijpend. In meerdere beschouwde cases werd de in te rekenen mobiele belasting voor de algemene functie die de ruimte boven de vloer zal krijgen, namelijk verlaagd. Met andere woorden, er zullen randvoorwaarden worden opgelegd aan het gebruik van deze ruimte. De cases waar dit het geval is, zijn de Westvleugel van de Abdij van Park en de priorij van het Rood-Klooster. Dit zijn twee eigendommen van publieke eigenaars, met de mogelijkheid tot de controle van het gebruik, en dus garantie van de veiligheid. Deze randvoorwaarden kunnen een beperking van het toegelaten aantal personen in de ruimte inhouden. Dit wordt dan ook duidelijk aangegeven in een as-built dossier. Door middel van een geïntegreerde aanpak van architect, stabiliteitsingenieur en aannemer is een maximaal behoud volgens de

huidige normering reeds mogelijk. De afwegingsprincipes vormen een leidraad voor de praktijk, in de keuze tussen verschillende mogelijke verstevigingstechnieken.

Onderzoek in de toekomst:

Verder onderzoek in deze niche op de grens tussen erfgoed en structurele normen, zou kunnen inzetten op het in de praktijk ingeburgerd maken van het inrekenen van lagere nuttige belastingen, indien de stabiliteitsingenieur dit mogelijk acht. Verder zou men grotere doorbuigingen van de vloeren kunnen toelaten in historisch waardevolle gebouwen dan in nieuwbouw, indien de afwerkingen en toekomstige functie dit tolereren. En het meest optimale: het opstellen van een normering voor de versteviging van vloeren in historische gebouwen in het bijzonder, die het universeel en onderbouwd mogelijk maakt om rekening te houden met verschillende eventueel aanwezige erfgoedwaarden in of aan de vloer.

BIBLIOGRAFIE

AFWEGINGSKADERS EN ANDERE PUBLICATIES AOE

Agentschap Onroerend Erfgoed, *Afwegingskaders*,
<https://www.onroerenderfgoed.be/afwegingskaders>, Vlaamse Overheid, laatst geraadpleegd op 13 november 2018.

- s. n. (2015). *Afwegingskader behoud kasseiwegen vs. Verbetering rijcomfort*, Afwegingskaders agentschap Onroerend Erfgoed 1.
- Sum Research (2016). *Afwegingskader voor actieve landbouwbedrijven in beschermd erfgoed*, Afwegingskaders agentschap Onroerend Erfgoed 2.
- Mahieu F. (2017). *Afwegingskader historisch schrijnwerk*, Afwegingskaders agentschap Onroerend Erfgoed 3.
- De Graef R. (2017). *Afwegingskader voor het plaatsen van dakisolatie bij beschermd erfgoed*, Afwegingskaders agentschap Onroerend Erfgoed 4.
- Buyle E. (2018). *Afwegingskader zonne-energie in een erfgoedcontext*, Afwegingskaders agentschap Onroerend Erfgoed 5.
- David K. (2018). *Publiciteit in en aan beschermd erfgoed*, Afwegingskaders agentschap Onroerend Erfgoed 6.
- Erynck A. (2018). *Omgaan met menselijke resten bij archeologisch onderzoek in Vlaanderen - versie 1*, Afwegingskaders agentschap Onroerend Erfgoed 7.
- Schroyen, H. (2019). *Afwegingskader kunststeen*, afwegingskaders agentschap Onroerend Erfgoed 8.

Debacker, I. (2018). *Richtlijn Beoordelen van sloopaanvragen van gebouwen opgenomen in de vastgestelde Inventaris van het Bouwkundig Erfgoed*. Brussel: Agentschap Onroerend Erfgoed.

Hooft E., Kennis H. & Meganck L. (2013). *Inventariseren van bouwkundig erfgoed*. Handleiding agentschap Onroerend Erfgoed 3.

Huyghe, N. & Verstraete M. (2014). *Onroerend erfgoed, een toelichting*. Brussel: Agentschap Onroerend Erfgoed.

LITERATUUR

Addis, B. (2007). *Building: 3000 years of design, engineering and construction*. Londen: Phaidon.

Beckmann, P., & Bowles, R. (2016). *Structural aspects of building conservation*. London: Spon Press, Taylor & Francis.

Boerhave-Beekman, E. (1949-1955). *Hout in alle tijden*. Deventer: Kluwer.

Caspeele, R., Sykora, M., Allaix, D.L., Steenbergen, R., (2013). *The design value method and adjusted partial factor approach for existing structures*. Structural Engineering International, 23(4), 386-393.

Cleary, R. (2014). Considering the Use of Epoxies in the Repair of Historic Structural Timber. (Master Thesis). University of Pennsylvania, Philadelphia, PA.

De Bruyn, R., de Naeyer, A., de Witte, E. (2002). *Handboek onderhoud, renovatie en restauratie*. Diegem: Kluwer.

De Ceuleneer, A. (2000). *Handboek onderhoud, renovatie, restauratie. Deel II, 3, Bouwmaterialen: hout*. Diegem: Kluwer.

Fédération internationale du béton (2017). *Fib Bulletin 80: Partial factor methods for existing concrete structures*. Lausanne: fib.

Forsyth, M. (2007). *Structures & construction in historic building conservation*. Oxford: Blackwell.

Forsyth, M. (2013). *Materials & skills for historic building conservation*. Oxford: Blackwell.

Friedman, D. (2010). *Historical building construction: Design, materials & technology*. New York: W.W. Norton.

Haslinghuis, E.J. (1986). *Bouwkundige termen*. Utrecht/Antwerpen: Bohr, Scheltema & Holkema.

Heirman, G. (2017). *Cursus interventietechnieken erfgoed, hout*. Master Erfgoedstudies, Universiteit Antwerpen.

Ignoul, S. et al (2013). *Innovatieve toepassingen hout*. Leuven: WTA.

Ignoul, S., Brosens, K., Schueremans, L., Van Gemert, D. (2007). *Hout. Versterking*. Studiedag architecten-experten.

Lemaire, R. M., & Balen, K. V. (1988). *Stable-unstable?: Structural consolidation of ancient buildings = la consolidation des structures anciennes = structureel herstel van historische gebouwen*. Leuven: Leuven University Press.

McCaig, I. (2013). *English Heritage, Practical building conservation, Conservation basics*. Farnham: Ashgate.

Meul, V. & Huycke, S. (2008). *Handleiding, Onderhoud van houten vloeren*. Monumentenwacht Vlaanderen.

Newman, A. (2001). *Structural renovation of buildings. Methods, details and design examples. Chapter 8: Renovating wood structures*. New York: McGraw-Hill, p. 419-504.

Ridout, B. & McCaig, I. (2012). *English Heritage, Practical building conservation, Timber*. Farnham: Ashgate.

Schueremans, L., Van Gemert, D. & Ignoul, S. (2001). *Handboek onderhoud, renovatie, restauratie. Deel II, 2, Structureel gedrag: hout*. Diegem: Kluwer.

Sýkora, M., Holický, M., Markova, J. & Senberger, T. (2016). *Probabilistic reliability assessment of existing structures focused on industrial heritage buildings*. Praag: CTU Publishing House, Czech Technical University.

Sýkora, M., Holický, M. (2014). *Reliability assessment of industrial heritage buildings*. Praag: CTU Publishing House, Czech Technical University.

Van den Bempt, P. (2016). *Cursus landschapsecologie*. Master Erfgoedstudies, Universiteit Antwerpen.

Van Hemert, R. (2013). *Houtconstructies: Balklagen, gebinten, kapconstructies: Handboek voor timmerlieden betrokken bij restauratie van monumenten*. Amsterdam: NRC. (raadpleegbaar via <https://www.restauratiecentrum.nl/studieboeken/houtconstructies/>)

Verstrynge, E., Brosens, K., van Hees, R. (2018). *Draagvermogen van historische constructies: een sterk verhaal*. Delft: WTA.

Verstrynge, E., van Bommel, B., Vernimme, N., van Hees, R. (2019). *Preventieve conservatie. Van klimaat- en schademonitoring naar een geïntegreerde systeembenadering*. Delft: WTA.

Vrijling, J.K, van Gelder, P.H.A.J.M. & Ouwenkerk, S.J. (2005). *Criteria for acceptable risk in the Netherlands*. In *Infrastructure Risk Management Processes: Natural, Accidental, and Deliberate Hazards*, Taylor, C. & VanMarcke, E. (Eds.). ASCE, Reston, VA, USA. pp. 143-157.

Vrouwenvelder, T. & Scholten, N. (2010). *Assessment criteria for existing structures*. *Structural Engineering International*, Vol. 20, No. 1, pp. 62-65.

Wouters, I. (2014). *Structural renovation techniques*. VUB: cursus 1Ma Architectural Engineering.

Wouters, I. (2018). Built to stock. Versatility of Hennebique's urban warehouses in Belgium (1892–1914), 6ICCH conference.

WTCB (2015). *Opleiding restauratievakman moderne bouwchemie, module balkkopherstel*. Brussel: Vlaamse Overheid.

NORMEN, DECRETEN EN BESLUITEN

NBN EN 1990:2002. Eurocode 0 – Grondslagen van het constructief ontwerp.

NBN EN 1991-1-1:2002. Eurocode 1 – Belastingen op constructies.

NBN EN 1995-1-1:2005. Eurocode 5 – Ontwerp en berekening van houtconstructies.

ISO 13882:2010 (2010). *Bases for design of structures – assessment of existing structures*. Genève, Zwitserland: ISO.

NEN 8700:2009. *Grondslagen van de beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk. Gebouwen. Het minimumveiligheidsniveau.* (ingetrokken en vervangen door onderstaande)

NEN 8700:2015 Ontw. *Grondslagen voor de constructieve beoordeling van bestaande bouw en het constructief ontwerp ten behoeve van verbouw.*

Vlaamse Overheid (2013). Onroerenderfgoeddecreet. Brussel: Vlaamse Overheid.

Vlaamse Overheid (2013). Onroerenderfgoedbesluit. Brussel: Vlaamse Overheid.

WTCB (2015), Fiche Eurocode EN 1991-1-1.

CHARTERS

ICOMOS ISCARSAH (2003). *Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage – Guidelines*, <https://iscarsah.files.wordpress.com/2014/11/iscarsah-guidelines.pdf>. Victoria Falls, Zimbabwe: ICOMOS.

ICOMOS ISCARSAH (2003). *Principles for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage – Principles*, <https://iscarsah.files.wordpress.com/2014/11/iscarsah-principles-english.pdf>. Victoria Falls, Zimbabwe: ICOMOS.

ICOMOS (1964). *International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites* (Charter van Venetië). Venetië, Italië: ICOMOS.

ICOMOS (1999). *Principles for the preservation of historic timber buildings* (Charter van Mexico City). Mexico City, Mexico: ICOMOS.

ICOMOS (2000). *Het Charter van Krakau: Principes voor het behoud en herstel van bouwkundig erfgoed*. Krakau: ICOMOS.

INTERNET

Agentschap onroerend erfgoed (2019). *Werken aan erfgoed uit een wetenschappelijke of vastgestelde inventaris*. <https://www.onroerenderfgoed.be/werken-aan-erfgoed-uit-een-wetenschappelijke-vastgestelde-inventaris>. (geraadpleegd op 20 mei 2019).

Agentschap onroerend erfgoed (2019). *Het goed staat in een vastgestelde inventaris*. <https://www.onroerenderfgoed.be/het-goed-staat-een-vastgestelde-inventaris>. (geraadpleegd op 20 mei 2019).

Agentschap Onroerend Erfgoed (2017). *Mercator-Orteliushuis*, <https://id.erfgoed.net/erfgoedobjecten/5227> (geraadpleegd op 27 april 2019).

Agentschap Onroerend Erfgoed (2018). *Rubenshuis*,
<https://id.erfgoed.net/erfgoedobjecten/6304> (geraadpleegd op 27 april 2019).

Agentschap Onroerend Erfgoed 2019: Stadhuis van Brugge,
<https://id.erfgoed.net/erfgoedobjecten/29238> (geraadpleegd op 29 maart 2019).

Agentschap Onroerend Erfgoed (2018). *Stapelhuis Sint-Felix*,
<https://id.erfgoed.net/erfgoedobjecten/4956> (geraadpleegd op 27 april 2019).

Agentschap Onroerend Erfgoed (2019). *De Grooten Robijn, later Banque d'Anvers*,
<https://id.erfgoed.net/erfgoedobjecten/5382> (Geraadpleegd op 29-06-2019).

Antwerpen (2019). *CHE-gebied*.
<https://www.antwerpen.be/nl/info/52d5052639d8a6ec798b4b70/che-gebied> (geraadpleegd op 15 augustus 2019).

Domus tech (2017). *Balkkoppen behandelen*. <https://www.domusteam.be/nl/domus-tech/balkkoppen-behandelen> (geraadpleegd op 16 augustus 2019).

Flickr, *City Hall / Stadhuis Brugge*,
https://www.flickr.com/photos/jan_hoogendoorn/19856788968/in/photostream/ (geraadpleegd op 29 maart 2019).

Gewestplan, Geopunt.be (geraadpleegd op 15 augustus 2019).

Houtinfo, *Houtdatabase toepassingen*, <https://houtinfo.nl/toepassingen/houtdatabase> (geraadpleegd op 15 juni 2019).

Houtinfo, *Sterktegegevens van hout*, <https://houtinfo.nl/hout/sterktegegevens-van-hout> (geraadpleegd op 12 augustus 2019).

Houtinfobois, *Loofhout tabel*. Houtinfobois.be. (geraadpleegd op 15 juni 2019).

Legende Gewestplan, Geopunt.be,
http://www.geopunt.be/~media/Geopunt/Over%20Geopunt/documenten/Stbvoors_GWP.pdf (geraadpleegd op 15 augustus 2019).

Mechelen (2019). *Panden in CHE-gebied*, <https://www.mechelen.be/panden-in-che-gebied> (geraadpleegd op 15 augustus 2019).

Monumentenwacht Nederland (2012). *Dragende constructies en vloeren*.
<https://monumentenhandboek.nl/wp-content/uploads/2017/12/3.2-Dragende-constructies-en-vloeren.pdf>

Musée de la Cour d'Or, http://musee.metzmetropole.fr/en/artworks-to-discover/the-coat-of-arms-ceiling-known-as-the-ceiling-of-the-republicain-lorrain_-r.html#.XVh-1y2B3OQ, (geraadpleegd op 29 maart 2019).

Technische fiche Sika CarboDur M, (2019)

http://bel.sika.com/content/belgium/main/nl/solutions_products/02/02a013/02a013sa05/02a013sa05ssa01.html (geraadpleegd op 9 augustus 2019).

UNESCO, Erfgoed in België, <https://www.unesco.be/nl/erfgoed#werelderfgoed> (geraadpleegd op 15 augustus 2019).

BIBLIOGRAFIE CASES

BEGIJNHOFWONINGEN SYMFOROSAstraat 2, 8 EN 12, LIER

Agentschap Onroerend Erfgoed (2019). *Reeks begijnenhuizen*
<https://id.erfgoed.net/erfgoedobjecten/10162> (Geraadpleegd op 03-08-2019).

Documenten ter beschikking gesteld door Triconsult nv: lastenboeken, werfverslagen, briefwisseling/mailverkeer, studierapporten, foto's, etc.

Het Laatste Nieuws (2015). *Eindelijk geld voor restauratie begijnhof*, <https://www.hln.be/in-de-buurt/liet/eindelijk-geld-voor-restauratie-begijnhof~a24f847d/>. (Geraadpleegd op 03-08-2019).

Het Nieuwsblad (2017). *Huisjes begijnhof worden eindelijk in ere hersteld*,
https://www.nieuwsblad.be/cnt/dmf20170207_02718356. (Geraadpleegd op 03-08-2019)

Studio Roma, *Symforosastraat van het begijnhof Lier*,
<https://www.studioroma.be/projecten/symforosastraat-van-het-begijnhof-van-liet/> (Geraadpleegd op 03-08-2019).

Van Craen, M. (2018). *Lier Symforosastraat 2*,
<https://beeldbank.onroerenderfgoed.be/images/282342>. (Geraadpleegd op 03-08-2019)

Van der Wee, B. & SumResearch (2017). *Beheersplan Begijnhof Lier*. Brussel: Agentschap Onroerend Erfgoed.

Vlaamse Gemeenschap (1985). *Lier Symforosastraat 2-12*,
<https://beeldbank.onroerenderfgoed.be/images/153318?query=symforosastraat>. (Geraadpleegd op 03-08-2019)

Wiki commons (2014). *Symforosastraat 12*,
https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Symforosastraat#/media/File:Symforosastraat_12.JPG.

VRIJMETSELAARSTEMPELS LAKENSEstraat 79 BRUSSEL

Documenten ter beschikking gesteld door bureau Origin Architecture & Engineering: lastenboeken, werfverslagen, briefwisseling/mailverkeer, studierapporten, foto's, etc.

Irismonument, *Lakensestraat 79*,
http://www.irismonument.be/nl.Brussel_Vijfhoek.Lakensestraat.79.html (Geraadpleegd op 9 augustus 2019).

ABDIJ VAN PARK HEVERLEE

Agentschap Onroerend Erfgoed (2019). *Abdij van 't Park*
<https://id.erfgoed.net/erfgoedobjecten/135102> (Geraadpleegd op 12 augustus 2019).

Agentschap Onroerend Erfgoed (2019). *Norbertijnenabdij van Park*
<https://id.erfgoed.net/erfgoedobjecten/42566> (Geraadpleegd op 12 augustus 2019).

Documenten ter beschikking gesteld door Triconsult nv: lastenboeken, werfverslagen, briefwisseling/mailverkeer, studierapporten, foto's, etc.

Grootaers J. & Verbeke J. (2016). *De restauratie van een uniek stucwerkgewelf van Ian Christiaan Hansche in de bibliotheek van de Parkabdij in Heverlee*, Monumenten en Landschappen 35.3, 42-61.

Studio Roma, *Restauratie Stucwerkplafonds van Hansche in de Abdij van Park*.
<https://www.studioroma.be/restauratie-stucwerkplafonds-van-hansche-in-de-abdij-van-park/>
(Geraadpleegd op 12 augustus 2019).

Studio Roma, *Westvleugel van de Abdij van Park*.
<https://www.studioroma.be/projecten/westvleugel-van-de-abdij-van-park/> (Geraadpleegd op 12 augustus 2019).

Wikipedia, *Jan Hansche*, https://nl.wikipedia.org/wiki/Jan_Hansche (Geraadpleegd op 12 augustus 2019).

ROOD-KLOOSTER OUDERGEM

Vermijlen, A. (2006). *La maison du prieur du Rouge-Cloître à Bruxelles*. (Master Thesis). Raymond Lemaire International Centre for Conservation.

Documenten ter beschikking gesteld door bureau Origin Architecture & Engineering: lastenboeken, werfverslagen, briefwisseling/mailverkeer, studierapporten, foto's, etc.

Irisonument, *Rouge Cloître*, <http://www.irisonument.be/fr.Auderghem.Rouge-Cloitre.6.html>
(geraadpleegd op 9 augustus 2019).

La Meuse, *Auderghem: les bâtiments du Rouge-Cloître vont être rénovés*.
<https://verviers.lameuse.be/264698/article/2018-08-11/auderghem-les-batiments-du-rouge-cloitre-vont-etre-renoves> (geraadpleegd op 9 augustus 2019).

Origin, *Huis van de Prior, site van het Rood Klooster Oudergem*.
<https://www.origin.eu/project.cfm?pro=90&lang=nl> (geraadpleegd op 9 augustus 2019).

Oudergem, *Rood-Klooster*, <https://www.oudergem.be/rood-klooster-0> (geraadpleegd op 9 augustus 2019).

Rouge Cloître, <http://www.rouge-cloitre.be/nl/histoire-et-patrimoine/passe-historique/titre.html>
(geraadpleegd op 9 augustus 2019).

BIJLAGEN

Afbeeldingenlijst bijlage	137
Bijlage 1: ICOMOS-ISCARSAH Principles – English.....	141
Bijlage 2: ICOMOS-ISCARSAH Principles – Nederlands – vrije vertaling	145
Bijlage 3: ISO 13822:2010 – English	149
Bijlage 4: Glossarium	161
Bijlage 5: Erfgoedwaarden.....	163
Bijlage 6: Indeling van hout in sterkteklassen	165
Bijlage 7: Stroomschema voor de beoordeling van bestaande structuren.....	167
Bijlage 8: Case studies	169
Begijnhofwoningen Lier – Overzicht interventies	169
Begijnhofwoning Lier – Symforosastraat 12.....	172
Begijnhofwoning Lier – Symforosastraat 8.....	176
Begijnhofwoning Lier – Symforosastraat 2.....	180
Vrijmetselaarstempels – Lakensestraat 79, Brussel	183
Westvleugel claustrum Abdij van Park, Heverlee	189
Priorij van het Rood Klooster, Oudergem	195

AFBEELDINGENLIJST BIJLAGE

Bijlage afb. 1: Woning 12, plannen bestaande toestand niv. 1 en niv. 2 met locatie en nummering moerbalken (Triconsult, 2010).....	172
Bijlage afb. 2: Woning 12, bestaande toestand, voorgevel (BVdW & Sumproject, 2017).	172
Bijlage afb. 3: Woning 12, niv. 1, bestaande toestand, ontleisterde moerbalk en bepleisterde kinderbalken met troggewelven (Triconsult, 2010).	172
Bijlage afb. 4: Epoxyuitvulling en staalplaat (Triconsult, 2017).	173
Bijlage afb. 5: Woning 12, vloer niv. 2, tijdens interventie, epoxymorteluitvulling en toevoegen van stalen plaat bovenaan de moerbalk (Triconsult, 2017).	173
Bijlage afb. 6: Woning 12, niv. 1, nieuwe toestand, na toevoegen van een staalplaat onderaan de moerbalk, bepleisteren van de moerbalk en bijkomend vernagelen van de plankenvloer met de kinderbalken (Triconsult, 2018).	173
Bijlage afb. 7: Woning 12, niv. 2, nieuwe toestand, na restauratie van het pleisterwerk. De verstevigingen gebeurden bovenaan, op zolder. (Triconsult, 2017).	173
Bijlage afb. 8: Legende bij onderstaande plannen, bestaande en nieuwe toestand (Studio Roma, 2016).	173
Bijlage afb. 9: Woning 12, doorsnede, bestaande toestand. Zicht op moerbalken en aansluiting schouwen; snede door kinderbalken van verschillende formaten, en troggewelven niv. 1 (Studio Roma, 2016).	174
Bijlage afb. 10: Woning 12, doorsnede, nieuwe toestand. Staalplaten onder moerbalken vloer niv. 1, epoxymorteluitvulling en staalplaten boven moerbalken niv. 2. Vernagelde kinderbalken met plankenvloer niv. 1, onzichtbare ingreep. Toevoeging van onafhankelijke vloer niv. 2 (spatie niet getekend) (Studio Roma, 2016).	175
Bijlage afb. 11: Woning 12, detail doorsnede, nieuwe toestand. Oorspronkelijke kinderbalken met troggewelven en nieuwe onafhankelijke vloer niv. 2 (spatie niet getekend) met behoud van het bestaand niveauverschil van de vloer. Reconstructie van een weggevalen troggewelfje met nieuwe kinderbalk. (Studio Roma, 2016).	175
Bijlage afb. 12: Woning 8, plannen bestaande toestand niv. 1 en niv. 2 met locatie en nummering moerbalken (Triconsult, 2010).....	176
Bijlage afb. 13: Woning 8, bestaande toestand, voorgevel en zicht op Symforosastraat (BVdW & Sumproject, 2017).	176
Bijlage afb. 14: Woning 8, vloer niv. 1, bestaande toestand, bepleisterde moerbalk en bepleisterde kinderbalken met troggewelven. Resistographmeting (Triconsult, 2010).....	176
Bijlage afb. 15: Woning 8, niv. 1, tijdens interventie, vrijlegging van de onderzijde van de kinderbalken, met maximaal behoud van troggewelven (Triconsult, 2017).	177
Bijlage afb. 16: Woning 8, niv. 1, tijdens interventie, toevoegen van stalen platen onderaan kinderbalken en moerbalk; aansluiting met monumentale schouw (Triconsult, 2017).	177
Bijlage afb. 17: Woning 8, niv. 1, tijdens interventie, toevoegen van stalen platen onderaan kinderbalken en moerbalk; aansluiting met balksleutel (Triconsult, 2018).	177
Bijlage afb. 18: Woning 8, niv. 1, tijdens interventie, reconstrueren van de bepleistering op de staalplaten met wapeningsnetjes (Triconsult, 2017).	177
Bijlage afb. 19: Woning 8, doorsnede, bestaande toestand. Zicht op moerbalken en aansluiting schouwen; snede door kinderbalken, vals plafond en troggewelven niv. 1, troggewelven niv. 2 (Studio Roma, 2016).	178
Bijlage afb. 20: Woning 8, doorsnede, nieuwe toestand. Staalplaten onder moerbalken niv. 1, epoxymorteluitvulling en staalplaten boven moerbalken niv. 2. Staalplaatjes onder kinderbalken niv. 1. Toevoeging van onafhankelijke vloer niv. 2 (Studio Roma, 2016).	179
Bijlage afb. 21: Woning 2, plannen bestaande toestand niv. 1 en niv. 2 met locatie en nummering moerbalken (Triconsult, 2010).....	180
Bijlage afb. 22: Woning 2, bestaande toestand, voorgevel (BVdW & Sumproject, 2017).	180

Bijlage afb. 23: Woning 2, niv. 1, bestaande toestand, bepleisterde moerbalk en kinderbalken met troggewelven (Triconsult, 2010).....	180
Bijlage afb. 24: Woning 2, niv. 2, bestaande toestand, vals vlak bepleisterd plafond (Triconsult, 2010).	181
Bijlage afb. 25: Woning 4, niv. 1, werken in uitvoering (gelijkaardig aan woning 2) (Triconsult, 2010).	181
Bijlage afb. 26: Woning 2, doorsnede, bestaande toestand. Zicht op moerbalken; snede door kinderbalken, troggewelven niv. 1; vals plafond, geen troggewelven aanwezig in vloer niv. 2 (Studio Roma, 2016).	181
Bijlage afb. 27: Woning 2, doorsnede, nieuwe toestand. Staalplaten onder moerbalken niv. 1, staalplaten boven moerbalk niv. 2. Staalplaatjes onder kinderbalken niv. 1. Nieuwe kinderbalken niv. 2. Voor gedeelte van de vloer niv. 2 die niet op de snede staat: tussenplaatsen van nieuwe kinderbalken tussen bestaande. (Studio Roma, 2016).	182
Bijlage afb. 28: Neoclassicistische voorgevel uit 1832. (Irismonument, 2015).	184
Bijlage afb. 29: Interieur niv. 1: recentere vrijmetselaarsstempel. Vraag van klant en architect om bovenliggende vloer niet aan deze zijde te verstevigen, dus bij voorkeur aan de bovenzijde (Origin, 2018).	184
Bijlage afb. 30: Plan niv. 1 met oppervlakte te verstevigen vloeren aangeduid in blauw. Er werden van dit gedeelte van de site enkel plannen opgemaakt/doorgestuurd van de gelijkvloerse verdieping. De scheiding tussen de twee kamers is niet op de exacte positie getekend. De stabiliteitsingenieur heeft de ruimte, de overspanningen en de secties van de vloerelementen ter plaatse opgemeten (DDS+, 2018).	184
Bijlage afb. 31: Sondering balkkop vloer niv. 4 (Origin, 2018).	185
Bijlage afb. 32: Niv. 2, afgekapte bepleistering van vals plafond, pleisterlatten, moerbalk en kinderbalken zichtbaar gemaakt (Origin, 2019).	185
Bijlage afb. 33: Grondplan met ingetekende moerbalken incl. sectie, opgemeten ter plaatse door de stabiliteitsingenieur (Origin, 2019).	185
Bijlage afb. 34: Dwarsdoorsnede van de uitgevoerde verstevigingstechniek van de moerbalken niv. 1: toevoeging van staalplaat in een sleuf, opgevuld met Sika dur 30 structurele lijm en epoxyhars bovenaan (Origin, 2019).	185
Bijlage afb. 35: Stap 1 na vrijlegging: geslepen gleuf in moerbalk voor het inlijmen van staalplaat (DDS+, 2019).	186
Bijlage afb. 36: Stap 2: Verlijmd staalplaat in moerbalk met Sika dur 30. Epoxyopvulling vermoedelijk meer compatibel (MRT, 2019).	186
Bijlage afb. 37: Stap 3: opgegoten epoxy in bekisting, de staalplaat omhullend. De kinderbalkkoppen zijn mee opgenomen in de epoxymortel voor extra stijfheid van de vloer (Origin, 2019).	186
Bijlage afb. 38: Stap 4: epoxymorteluitvulling, bekisting weggehaald: moerbalk is opgehoogd met 4 cm. Hout en epoxy werken samen (DDS+, 2019).	186
Bijlage afb. 39: Dwarsdoorsnede van de uitgevoerde verstevigingstechniek van de moerbalken niv. 2 en niv. 4: toevoeging van 2 HEA 100 profielen, verankering met M12 bouten en structurele lijm (Origin, 2019).	187
Bijlage afb. 40: Langsdoorsnede van de uitgevoerde verstevigingstechniek van de moerbalken niv. 2 en niv. 4: toevoeging van 2 HEA 100 profielen onderaan, verankering met M12 bouten, geschrant om de 50 cm voor een goede samenwerking met de houten moerbalk. (Origin, 2019).	187
Bijlage afb. 41: Twee HEA 100 profielen geplaatst onder moerbalk niv. 2 (DDS+, 2019).	187
Bijlage afb. 42: Moerbalk gestut op onderliggende reeds verstevigde moerbalk. Gaten voor bevestiging van de M12-bouten, geschrant om de 50 cm (DDS+, 2019).	187
Bijlage afb. 43: Westgevel van westvleugel van het claustrum (Triconsult, 2009).	189
Bijlage afb. 44: Stucplafond vloer niv. 1 (Triconsult, 2013).	189

Bijlage afb. 45: Fragment van het stucplafond van de hand van J.C. Hansche, vloer niv. 1 (Triconsult, 2005).	189
Bijlage afb. 46: 15de-eeuwse gepolychromeerde troggewelven aangetroffen onder het 18de-eeuwse stucplafond van vloer niv. 1. Dit fragment is later gerestaureerd zichtbaar gelaten voor de museumbezoeker (Triconsult, 2013).	189
Bijlage afb. 47: Aanduiding moerbalken vloer niv. 1, bestaande toestand (Studio Roma & Triconsult, 2009).	190
Bijlage afb. 48: Bekleding van dubbele vloerconstructie vloer niv. 1, bestaande toestand. Onder de houten vloer is een 18de-eeuws stucplafond aanwezig, hier tussen werden de 15de-eeuwse gepolychromeerde troggewelven aangetroffen. Onder de tegelvloer is het Hanscheplafond gesitueerd. (Studio Roma & Triconsult, 2009).	190
Bijlage afb. 49: Aanduiding moerbalken vloer niv. 2, bestaande toestand (Studio Roma & Triconsult, 2009).	191
Bijlage afb. 50: Schoring van het Hansche stucplafond met houten portiek en luchtkussens na vooronderzoek van de stabiliteit, ruimte bleef toegankelijk voor publiek (Triconsult, 2009).	191
Bijlage afb. 51: Schoring van het Hansche stucplafond met houten roostering en luchtkussens tijdens de werf (Triconsult, 2014).	191
Bijlage afb. 52: Regelwand op niv. 1, ontiaan van bepleistering om de opbouw te kennen: houten stijl- en regelwerk met metselwerkinvulling (Triconsult, 2009).	192
Bijlage afb. 53: Legende bij onderstaande plannen nieuwe toestand (Studio Roma, 2014).	192
Bijlage afb. 54: Plan niv. 0, nieuwe toestand. De plafondafwerking van vloer niv. 1 is in lichtgrijs ingetekend (Studio Roma, 2014).	192
Bijlage afb. 55: Plan niv. 1, nieuwe toestand. De plafondafwerking van vloer niv. 2 is in lichtgrijs ingetekend (Studio Roma, 2014).	193
Bijlage afb. 56: Opgieten van epoxymorteluitvulling op een moerbalk van vloer niv. 1. De kinderbalken zijn mee opgenomen voor extra stijfheid van de draagvloer. De hoogte van de epoxylaag is beperkt dankzij het verlagen van de in te rekenen mobiele belasting t.o.v. de norm (Triconsult, 2014).	193
Bijlage afb. 57: Verstevenigen van een moerbalk van vloer niv. 1 met staalplaat op epoxymorteluitvulling. De dikte van de staalplaat is beperkt dankzij het verlagen van de in te rekenen mobiele belasting t.o.v. de norm (Triconsult, 2014).	193
Bijlage afb. 58: De staalplaten werden onder de muur door op de moerbalk bevestigd. (Triconsult, 2014).	193
Bijlage afb. 59: De metselwerkinvulling van de tussenwanden werd tijdelijk verwijderd voor de werken aan vloer niv. 1. (Triconsult, 2014).	193
Bijlage afb. 60: Erbarmelijke staat van de kinderbalken boven het Hansche stucplafond na vrijlegging, t.g.v. vochtinfiltratie en biologische aantasting (Triconsult, 2014).	194
Bijlage afb. 61: Ophanging van de dragende wand boven het Hansche stucplafond aan de bovenliggende moerbalk, teneinde de versteviging van de onderliggende te kunnen uitvoeren (Triconsult, 2014).	194
Bijlage afb. 62: Herstel en versteviging van de kinderbalken met epoxymortel na het afkappen van slechte delen (Triconsult, 2014).	194
Bijlage afb. 63: Gerestaureerde bichrome plafonds en lijstwerk op de moerbalk, niv. 1 (Studio Roma, 2014).	194
Bijlage afb. 64: Gerestaureerd bichroom lijstwerk met fragment van gerestaureerde 15de-eeuwse gepolychromeerde troggewelven, vloer niv. 1 (Studio Roma, 2014).	194
Bijlage afb. 65: Oostgevel van de priorij (G. De Kinder, 2018).	195
Bijlage afb. 66: Noord- en westgevel van de priorij (La Meuse, 2018).	195
Bijlage afb. 67: Kapittelzaal niv. 0, verwijderde bepleistering van moerbalken (A. Vermijlen, 2005).	195

Bijlage afb. 68: Voormalige eetzaal niv. 0, sonderingsopeningen (A. Vermijlen, 2005).....	195
Bijlage afb. 69: Kapittelzaal niv. 0, alle historisch pleisterwerk verwijderd (A. Vermijlen, 2006).	195
Bijlage afb. 70: Voormalige eetzaal niv. 0, verwijderd pleisterwerk van moerbalken (A. Vermijlen, 2006).	195
Bijlage afb. 71: Eikenhouten plankenvloer niv. 1 (A. Vermijlen, 2006).	196
Bijlage afb. 72: Voormalige eetzaal niv. 0 met verwijderd pleisterwerk van moerbalken (Origin, 2016).	196
Bijlage afb. 73: Te vervangen moerbalken wegens oudere vervanging door staalprofielen of zeer ernstige biologische aantasting (Origin, 2019).....	196
Bijlage afb. 74: Nieuwe kinderbalken 10 x 10 cm (Origin, 2019).	196
Bijlage afb. 75: Nieuwe kinderbalken 16 x 16 cm (Origin, 2019).	196
Bijlage afb. 76: Te verstevigen moerbalken met staalplaten van 250 x 12 mm onderaan (Origin, 2019).	197
Bijlage afb. 77: Te verstevigen moerbalken met staalplaten van 200 x 12 mm onderaan (Origin, 2019).	197
Bijlage afb. 78: Te verstevigen moerbalken met staalplaten van 250 x 6 mm onderaan (Origin, 2019).	197
Bijlage afb. 79: Te verstevigen moerbalken met staalplaten van 150 x 4 mm onderaan (Origin, 2019).	197

BIJLAGE 1: ICOMOS-ISCARSAH PRINCIPLES – ENGLISH



ICOMOS CHARTER- PRINCIPLES FOR THE ANALYSIS, CONSERVATION AND STRUCTURAL RESTORATION OF ARCHITECTURAL HERITAGE (2003)

**Ratified by the ICOMOS 14th General Assembly, in Victoria Falls,
Zimbabwe, October 2003**

PRINCIPLES

PURPOSE OF THE DOCUMENT

Structures of architectural heritage, by their very nature and history (material and assembly), present a number of challenges in diagnosis and restoration that limit the application of modern legal codes and building standards. Recommendations are desirable and necessary to both ensure rational methods of analysis and repair methods appropriate to the cultural context. These Recommendations are intended to be useful to all those involved in conservation and restoration problems, but cannot in anyway replace specific knowledge acquired from cultural and scientific texts.

The Recommendations presented in the complete document are in two sections: Principles, where the basic concepts of conservation are presented; Guidelines, where the rules and methodology that a designer should follow are discussed. Only the Principles have the status of an approved/ratified ICOMOS document.

The [guidelines](#) are available in English in a separate document. [Word - 164 Kb]

PRINCIPLES

1 General criteria

1.1 Conservation, reinforcement and restoration of architectural heritage requires a multi-disciplinary approach.

1.2 Value and authenticity of architectural heritage cannot be based on fixed criteria because the respect due to all cultures also requires that its physical heritage be considered within the cultural context to which it belongs.

1.3 The value of architectural heritage is not only in its appearance, but also in the integrity of all its components as a unique product of the specific building technology of its time. In particular the removal of the inner structures maintaining only the façades does not fit the conservation criteria.

1.4 When any change of use or function is proposed, all the conservation requirements and safety conditions have to be carefully taken into account.

1.5 Restoration of the structure in Architecture Heritage is not an end in itself but a

means to an end, which is the building as a whole.

1.6 The peculiarity of heritage structures, with their complex history, requires the organisation of studies and proposals in precise steps that are similar to those used in medicine. Anamnesis, diagnosis, therapy and controls, corresponding respectively to the searches for significant data and information, individuation of the causes of damage and decay, choice of the remedial measures and control of the efficiency of the interventions. In order to achieve cost effectiveness and minimal impact on architectural heritage using funds available in a rational way; it is usually necessary that the study repeats these steps in an iterative process.

1.7 No action should be undertaken without having ascertained the achievable benefit and harm to the architectural heritage, except in cases where urgent safeguard measures are necessary to avoid the imminent collapse of the structures (e.g. after seismic damages); those urgent measures, however, should when possible avoid modifying the fabric in an irreversible way.

2 Researches and diagnosis

2.1 Usually a multidisciplinary team, to be determined in relation to the type and the scale of the problem, should work together from the first steps of a study - as in the initial survey of the site and the preparation of the investigation programme.

2.2 Data and information should first be processed approximately, to establish a more comprehensive plan of activities in proportion to the real problems of the structures.

2.3 A full understanding of the structural and material characteristics is required in conservation practice. Information is essential on the structure in its original and earlier states, on the techniques that were used in the construction, on the alterations and their effects, on the phenomena that have occurred, and, finally, on its present state.

2.4 In archaeological sites specific problems may be posed because structures have to be stabilised during excavation when knowledge is not yet complete. The structural responses to a "rediscovered" building may be completely different from those to an "exposed" building. Urgent site-structural-solutions, required to stabilise the structure as it is being excavated, should not compromise the complete building's concept form and use.

2.5 Diagnosis is based on historical, qualitative and quantitative approaches; the qualitative approach being mainly based on direct observation of the structural damage and material decay as well as historical and archaeological research, and the quantitative approach mainly on material and structural tests, monitoring and structural analysis.

2.6 Before making a decision on structural intervention it is indispensable to determine first the causes of damage and decay, and then to evaluate the safety level of the structure.

2.7 The safety evaluation, which is the last step in the diagnosis, where the need for treatment measures is determined, should reconcile qualitative with quantitative analysis: direct observation, historical research, structural analysis and, if it is the case, experiments and tests.

2.8 Often the application of the same safety levels as in the design of new buildings requires excessive, if not impossible, measures. In these cases specific analyses and

appropriate considerations may justify different approaches to safety.

2.9 All aspects related to the acquired information, the diagnosis including the safety evaluation, and the decision to intervene should be described in an “explanatory report”.

3 Remedial measures and controls

3.1 Therapy should address root causes rather than symptoms.

3.2 The best therapy is preventive maintenance

3.3 Safety evaluation and an understanding of the significance of the structure should be the basis for conservation and reinforcement measures.

3.4 No actions should be undertaken without demonstrating that they are indispensable.

3.5 Each intervention should be in proportion to the safety objectives set, thus keeping intervention to the minimum to guarantee safety and durability with the least harm to heritage values.

3.6 The design of intervention should be based on a clear understanding of the kinds of actions that were the cause of the damage and decay as well as those that are taken into account for the analysis of the structure after intervention; because the design will be dependent upon them.

3.7 The choice between “traditional” and “innovative” techniques should be weighed up on a case-by-case basis and preference given to those that are least invasive and most compatible with heritage values, bearing in mind safety and durability requirements.

3.8 At times the difficulty of evaluating the real safety levels and the possible benefits of interventions may suggest “an observational method”, i.e. an incremental approach, starting from a minimum level of intervention, with the possible subsequent adoption of a series of supplementary or corrective measures.

3.9 Where possible, any measures adopted should be “reversible” so that they can be removed and replaced with more suitable measures when new knowledge is acquired. Where they are not completely reversible, interventions should not limit further interventions.

3.10 The characteristics of materials used in restoration work (in particular new materials) and their compatibility with existing materials should be fully established. This must include long-term impacts, so that undesirable side-effects are avoided.

3.11 The distinguishing qualities of the structure and its environment, in their original or earlier states, should not be destroyed.

3.12 Each intervention should, as far as possible, respect the concept, techniques and historical value of the original or earlier states of the structure and leaves evidence that can be recognised in the future.

3.13 Intervention should be the result of an overall integrated plan that gives due weight to the different aspects of architecture, structure, installations and functionality.

3.14 The removal or alteration of any historic material or distinctive architectural features should be avoided whenever possible.

3.15 Deteriorated structures whenever possible should be repaired rather than replaced.

3.16 Imperfections and alterations, when they have become part of the history of the structure, should be maintained so far so they do not compromise the safety requirements.

3.17 Dismantling and reassembly should only be undertaken as an optional measure required by the very nature of the materials and structure when conservation by other means impossible, or harmful.

3.18 Provisional safeguard systems used during the intervention should show their purpose and function without creating any harm to heritage values.

3.19 Any proposal for intervention must be accompanied by a programme of control to be carried out, as far as possible, while the work is in progress.

3.20 Measures that are impossible to control during execution should not be allowed.

3.21 Checks and monitoring during and after the intervention should be carried out to ascertain the efficacy of the results.

3.22 All the activities of checking and monitoring should be documented and kept as part of the history of the structure.

© ICOMOS <http://www.international.icomos.org> centre-doc-icomos@unesco.org

BIJLAGE 2: ICOMOS-ISCARSAH PRINCIPES – NEDERLANDS – VRIJE VERTALING

ICOMOS-charter – principes voor de analyse, het behoud en de structurele restauratie van architecturaal erfgoed (2003)

Doel van het document

Draagstructuren van architecturaal erfgoed, door hun aard en historiek (materialen en samenstelling), bevatten een aantal uitdagingen voor de diagnose en restauratie, die de toepassing van moderne regelgeving en bouwnormen beperken. Aanbevelingen zijn wenselijk en nodig om zowel rationele analysetechnieken als herstellingsmethoden aangepast aan de culturele context te verzekeren.

Deze aanbevelingen zijn bedoeld om gebruikt te worden door eenieder betrokken bij behoud- en restauratieproblemen, maar kan in geen geval de specifieke kennis, verworven via culturele en wetenschappelijke teksten, vervangen.

De aanbevelingen voorgesteld in het volledige document zijn in twee luiken onderverdeeld: Principes, waar de basisconcepten van behoud worden voorgesteld; Richtlijnen, waar de regels en methodologie die een ontwerper zou moeten volgen, worden besproken. Enkel de principes hebben de status van een bekrachtigd ICOMOS-document.

PRINCIPES

1 ALGEMENE CRITERIA

1.1 Conservatie, versteviging en restauratie van architecturaal erfgoed vereisen een multidisciplinaire aanpak.

1.2 Waarde en authenticiteit van architecturaal erfgoed kunnen niet gebaseerd zijn op vaste criteria omdat het respect ten opzichte van alle culturen ook vereist dat het fysieke erfgoed beschouwd wordt binnen de culturele context waartoe het behoort.

1.3 De waarde van architecturaal erfgoed is niet enkel in het voorkomen, maar ook in de integriteit van al de componenten als een uniek product van de specifieke bouwtechniek of diens tijd. In het bijzonder het verwijderen van de innerlijke draagstructuur, terwijl men enkel de gevels behoudt, past niet in de behoudscriteria.

1.4 Wanneer een gebruiks- of functieverandering wordt voorgesteld, dienen alle behouds- en veiligheidsvoorwaarden nauwkeuring in rekening worden gebracht. Aanbevelingen zijn wenselijk en nodig om in elk geval van structurele restauratie een rationele aanpak te bewerkstelligen en respect voor de culturele context te verzekeren.

1.5 Restauratie van de structuur in architecturaal erfgoed dient steeds te worden bekeken in functie van het volledige gebouw met haar architectuur. De restauratie van de structuur is zelf geen resultaat, maar een middel tot resultaat, dat het volledige gebouw is.

1.6 De bijzonderheid van erfgoedstructuren, met hun complexe geschiedenis, vereist de organisatie van studies en voorstellen in precieze stappen die gelijkaardig zijn aan deze gebruikt in de geneeskunde. Anamnese, diagnose, therapie en controle, respectievelijk overeenstemmend met de zoektocht naar significante gegevens en informatie, onderverdeling van de schade- en

degradatie-oorzaken, keuze van de maatregelen voor de remedie en controle van de efficiëntie van de interventies. Om kosteneffectiviteit en een minimale impact op architecturaal erfgoed te bereiken, op een rationele manier gebruik makend van de beschikbare geldmiddelen, is het meestal noodzakelijk dat de studie deze stappen herhaalt in een iteratief proces.

1.7 Geen actie mag ondernomen worden zonder de haalbare voordelen voor en mogelijke schade aan het architecturaal erfgoed te hebben vastgesteld, behalve in gevallen waar noodmaatregelen noodzakelijk zijn om dreigende instorting van de structuur te voorkomen (bijv. na schade veroorzaakt door een aardbeving). Deze noodmaatregelen moeten echter het irreversibel aanpassen van het structureel weefsel wanneer mogelijk vermijden.

2 ONDERZOEK EN DIAGNOSE

2.1 Een multidisciplinair team – samengesteld in verhouding tot het type en de schaal van het probleem – zou meestal samen moeten werken vanaf de eerste stap van een onderzoek, als in de initiële studie van de site en de voorbereiding van het onderzoeksprogramma.

2.2 Gegevens en informatie moeten eerst benaderend worden verwerkt, om een meer alomvattend activiteitenplan in proportie tot de echte problemen van de structuren op te stellen.

2.3 Een volledig begrip van de structurele en materiële karakteristieken is vereist in de conservatiepraktijk. Over de originele en vroegere staat van de structuur, over de technieken die gebruikt werden in de constructie, over de wijzigingen en hun effecten, over de fenomenen die zijn optreden en de bestaande toestand is informatie essentieel.

2.4 In archeologische sites kunnen specifieke problemen optreden aangezien structuren gestabiliseerd moeten worden tijdens de opgravingen, terwijl de kennis nog niet volledig is. De structurele reacties in een "herontdekt" gebouw kunnen zeer verschillend zijn van diegene in een "blootgesteld" gebouw. Dringende site-structurele-oplossingen, vereist om de structuur te stabiliseren terwijl deze wordt opgegraven, mogen de conceptvorm en het gebruik van het complete gebouw niet in gevaar brengen.

2.5 Diagnose is gebaseerd op historische, kwalitatieve en kwantitatieve benaderingen; de kwalitatieve benadering is vooral gebaseerd op directe observatie van de structurele schade en verval van de materialen, net zoals historisch en archeologisch onderzoek. De kwantitatieve benadering is vooral gebaseerd op materiële en structurele testen, monitoring en structurele analyse.

2.6 Vooraleer een beslissing te maken over de structurele interventie is het onontbeerlijk om eerst de oorzaken van schade en verval te bepalen, en om het veiligheidsniveau van de structuur te evalueren.

2.7 De evaluatie van de veiligheid, die de laatste stap is in de diagnose, waar de nood aan behandelingsmaatregelen wordt bepaald, dient de kwalitatieve en kwantitatieve analyses te verzoenen: directe observatie, historisch onderzoek, structurele analyse en, indien van toepassing, experimenten en testen.

2.8 Vaak vergt de toepassing van hetzelfde veiligheidsniveau als bij het ontwerp van nieuwe gebouwen buitensporige of zelfs onmogelijke maatregelen. In deze gevallen kunnen specifieke analyses en geschikte afwegingen afwijkende benaderingen naar veiligheid verantwoorden.

2.9 Alle aspecten van de verzamelde informatie, de diagnose inclusief de veiligheidsevaluatie, en de beslissing tot interventie moet worden beschreven in een "verklarend rapport".

3 CURATIEVE MAATREGELEN EN CONTROLES

3.1 De therapie moet de eerder de grandoorzaken aanspreken dan de symptomen.

3.2 De beste therapie is preventief onderhoud.

3.3 De evaluatie van de veiligheid en het begrip van de structuur liggen aan de basis van conserverende of verstevigende maatregelen.

3.4 Geen enkele actie mogen ondernomen worden zonder aan te tonen dat ze volstrekt onmisbaar is.

3.5 Elke interventie moet in proportie zijn met de vastgelegde veiligheidsobjectieven. De interventie moet dus tot het minimum worden herleid, om veiligheid en duurzaamheid te garanderen met de kleinst mogelijke schade aan de erfgoedwaarden.

3.6 Het ontwerp van de interventie moet gebaseerd worden op een volledig begrip van de soorten acties die de schade en verval hebben veroorzaakt alsook de diegene die in rekening moeten worden gebracht voor de analyse van de structuur na de interventie; omdat het ontwerp afhankelijk zal zijn van deze acties.

3.7 De afweging tussen "traditionele" en "innovatieve" technieken moet steeds worden gemaakt op een geval-per-geval-basis. De voorkeur moet worden gegeven aan de minst invasieve en meest compatibele met de erfgoedwaarden, met ook veiligheids- en duurzaamheidseisen in rekening gebracht.

3.8 De moeilijkheid van de evaluatie van de werkelijke veiligheidsniveaus en de mogelijke voordelen van interventies suggereert soms het toepassen van "een observatiemethode", i.e. een incrementele aanpak, uitgaande van een minimaal interventieniveau, met de mogelijke latere goedkeuring van een reeks bijkomende of corrigerende maatregelen.

3.9 Alle genomen maatregelen moeten reversibel zijn waar mogelijk, zodat ze kunnen worden verwijderd en vervangen door meer gepaste maatregelen wanneer nieuwe kennis werd verworven. Wanneer de interventies niet volledig omkeerbaar zijn, moeten ze wel latere interventies toelaten.

3.10 De eigenschappen van de materialen die worden gebruikt in de restauratiepraktijk (in het bijzonder nieuwe materialen) en hun compatibiliteit met bestaande materialen moeten volledig gekend zijn. Dit moet langetermijneffecten omvatten, om ongewenste bijwerkingen te vermijden.

3.11 De onderscheidende kwaliteiten van de structuur en haar omgeving, in haar originele en vroegere toestanden, mogen niet vernietigd worden.

3.12 Elke interventie moet, voor zover dit mogelijk is, het oorspronkelijke concept, de technieken en de erfgoedwaarden van de originele of vroegere toestanden van de structuur respecteren, en bewijs overlaten dat in de toekomst herkenbaar is.

- 3.13 Interventie moet het resultaat zijn van een volledig geïntegreerd interventieplan, dat de verschillende aspecten van architectuur, structuur, installaties en functionaliteit voldoende gewicht geeft.
- 3.14 Het verwijderen of wijzigen van historisch materiaal of architecturale kenmerken moet te allen tijde worden vermeden wanneer mogelijk.
- 3.15 Verslechterde structuren moeten enkel worden vervangen wanneer herstel onvoldoende is.
- 3.16 Imperfecties en veranderingen die deel zijn geworden van de geschiedenis van de structuur, moeten worden behouden voor zover dat mogelijk is binnen de veiligheidseisen.
- 3.17 Demontage en heropbouw mogen enkel worden uitgevoerd als een optionele maatregel wanneer dit genoodzaakt wordt door de aard van de materialen of structuur wanneer conservatie op andere manieren onmogelijk of schadelijk is.
- 3.18 Voorlopige veiligheidsmaatregelen tijdens de interventie moeten duidelijk een doel en functie hebben zonder erfgoedwaarden te schaden.
- 3.19 Elk interventievoorstel moet worden vergezeld door een controleprogramma, dat voor zover als mogelijk wordt uitgevoerd terwijl de werken in uitvoering zijn.
- 3.20 Maatregelen die oncontroleerbaar zijn tijdens de uitvoering mogen niet worden toegestaan.
- 3.21 Controles en monitoring moeten worden uitgevoerd tijdens en na de interventie om de effectiviteit van de ingrepen te verzekeren.
- 3.22 Al deze controle-activiteiten moeten worden gedocumenteerd en als een deel van de geschiedenis van het gebouw worden bewaard.

BIJLAGE 3: ISO 13822:2010 – ENGLISH

De bijlage I van de internationale norm ISO 13822:2010: *Bases for design of structures – Assessment of existing structures* wordt hier opgenomen ter informatie. Deze tekst werd verkregen via de website

Annex I – ISO 13822:2010(E)

Heritage structures

I.1 Introduction

The purpose of this annex on heritage structures is to provide additional considerations for the application of this International Standard to heritage structures. This annex shall be read in conjunction with all of the sections of this International Standard.

This annex is based on the premise that a structure can have cultural and heritage value in itself. Heritage structures should be preserved for their own sake and not merely as supports for the rest of the historic material. It follows that the integrity of the existing structure should be respected during any intervention.

I.2 Fundamentals

I.2.1 Assessment of heritage structures

The assessment of a heritage structure includes two aspects: that concerning its structural performance, familiar to engineers, and that concerning its value as a cultural resource. These two aspects shall both be taken into account in any decision involving possible structural interventions and should therefore be carried out in tandem.

I.2.2 Heritage value

The heritage value of an historic structure resides in the authenticity and integrity of its character-defining elements. To retain authenticity and integrity, the structure shall be preserved, as far as possible, with its original materials and structural concept.

NOTE 1 The structure itself often represents an important aspect of the culture of its period: the construction knowledge, technology, and skills of a given time represent a legacy to future generations. There are numerous examples of exceptional heritage structures while other heritage structures are typical structural designs of their time, but nonetheless are critical to the cultural resource in their supporting role to other character-defining elements, such as architectural material or paintings.

NOTE 2 Judgments about heritage value and authenticity can differ from culture to culture, and thus, there are no fixed criteria. In some geographical areas, keeping alive traditional construction practice is privileged over the conservation of original materials.

I.2.3 Limitation of structural intervention

An over-cautious approach to structural assessment should be avoided because it can lead to unnecessary structural interventions and result in loss or major alteration of heritage character-defining elements and, ultimately, in the loss of authenticity and historic significance of the cultural resource. Furthermore, excessive scope of intervention can add unnecessary cost and compromise the viability of a conservation project, and eventually jeopardize the existence of a cultural resource.

NOTE In the case of historic resources, the commemorative integrity of an historic site can be threatened by unjustified structural interventions.

I.3 Terms and definitions

For the purposes of this annex the following terms and definitions have been added, supplementing those in the core document, to reflect activities related to heritage structures.

I.3.1 character-defining elements historic materials, forms, locations, spatial configurations, morphology, concept and details, structural design, uses and cultural associations that contribute to the heritage value of a structure that shall be retained in order to preserve its heritage value

NOTE 1 Some elements of the structure have significance because they provide evidence of ancient construction technologies and skills. In such cases, they can be classed as character-defining elements.

NOTE 2 Significant subsequent historic changes and alterations, imperfections and damage can be identified as character-defining elements, and are to be respected provided that they do not compromise the safety requirements.

I.3.2 conservation all actions or processes that are aimed at safeguarding the character-defining elements of a cultural resource so as to retain its heritage value and extend its physical life

NOTE 1 Several words are used over the world to describe the action and process of safeguarding and extending the life of a cultural resource: conservation, preservation, and restoration. Conservation has been used by UNESCO and World Heritage.

NOTE 2 Conservation is composed of a variety of intervention activities (shown in Annex A) depending on the character-defining elements in which the respect for heritage value is an important consideration.

I.3.3 cultural resource structure, building, landscape, archaeological site, or other engineering works, that have been formally recognized for its heritage value

I.3.4 heritage documents any pre-existing documents related to the heritage structure

I.3.5 heritage record record made in the present to describe the existing states of the heritage structure

I.3.6 heritage structure existing structure or structural component of a heritage resource that has been recognized by the appropriate authorities for its heritage value

NOTE Heritage structures can include all kinds of buildings, bridges and civil engi-

neering works including their foundations.

I.3.7 heritage value aesthetic, historic, scientific, cultural, social or spiritual importance or significance for past, present, and future generations and that should be embodied in its character-defining elements

I.3.8 historical report summary derived from heritage documents that identify the nature of the original construction process and technologies, all subsequent alterations and any significant events that have caused structural damage

I.3.9 incremental approach step-by-step procedure in which the behaviour of the structure is monitored at each step and the acquired data are then used to provide the basis for further action

I.3.10 minimal intervention intervention that balances safety requirements with the protection of character-defining elements, ensuring the least harm to heritage values.

I.4 General framework of assessment

I.4.1 Objectives

In the case of heritage structures, the special performance levels mentioned in 4.1 c) shall include the conservation of the heritage value and character-defining elements. This performance level is attained through minimal intervention as defined in I.3.10.

The required structural performance shall be consistent with objectives listed in 4.1 of the core document:

- . a) safety performance level for the users;
- . b) serviceability performance level related also to the protection of the cultural resources.

I.4.2 Procedure

For heritage structures the procedure listed in 4.2 is appropriate provided that the particularities listed in I.4.3 to I.4.6 are taken into consideration.

Structural assessment for heritage structures should be generally carried out in collaboration with a multi-disciplinary team that includes specialists, such as engineers (structural, geotechnical, etc.), architect, landscape architect, heritage recorder, archaeologist, historian, cultural resource manager, interpreter, material scientist, conservator, geophysicist, etc. While the structural engineer should deliver a specific structural evaluation report, the ramifications of this report should be discussed within the multi-disciplinary team and decision generally reached by consensus.

I.4.3 Specification of assessment objectives

A precise specification of investigative procedures and analysis is often impossible at the outset and the agreement between the client and engineer shall allow for revisions and extensions as required.

I.4.4 Preliminary assessment

I.4.4.1 Scope

Preliminary assessment shall be carried out to identify possible problems requiring urgent intervention and to plan the detailed assessment. The preliminary assessment shall be carried out within the frame of the multidisciplinary team of experts and should consider, as far as possible, available heritage documents.

I.4.4.2 Preliminary inspection

When essential for the preliminary assessment, the possibility of inspection by opening up of the structure or, preferably, by non destructive testing (NDT) or minor destructive testing (MDT) can be considered. The engineer shall consult with the relevant heritage professionals to obtain approval prior to any opening up.

I.4.4.3 Monitoring

Monitoring by means of simple devices should be considered as measures to detect possible active problems requiring immediate actions. Monitoring during preliminary assessment can contribute to the planning of later monitoring during detailed assessment.

I.4.4.4 Preliminary checks

In addition to the safety and serviceability of the structure as stated in the body of this International Standard, the preliminary check should also identify critical deficiencies related to the conservation of character-defining elements.

I.4.4.5 Immediate actions

In addition to the immediate actions described in 4.5.4, when character-defining elements are in immediate danger this should be reported to the client and to any heritage resource manager. Any interim interventions necessary to ensure the stability of the structure shall not cause damage to heritage character.

I.4.4.6 Recommendations for detailed assessment

Recommendations for detailed assessment should be made when there is evidence that character-defining elements may be endangered in the long term.

I.4.5 Detailed assessment

I.4.5.1 Scope

The scope of the detailed assessment shall be defined by the preliminary assessment, which shall identify those aspects of either the history or the properties of the structure that cannot be adequately described at the preliminary stage.

I.4.5.2 Historical report

An historical report for heritage structures is essential. This should identify the nature of the

original construction, all subsequent alterations and any significant events that have caused structural damage. In general, cultural resource specialists (such as historians or archaeologists) should be employed to produce this report. The engineer shall assist them in the identification and interpretation of structurally meaningful documents. Where no such specialist is employed, the engineer should include historical information in their assessment report and, therefore, be responsible for the identification and interpretation of heritage documents.

NOTE Historical reports are not produced for structural purposes. They generally provide useful information, but as they can also be misleading and contain information difficult to interpret, it is necessary that they be carefully evaluated.

I.4.5.3 Detailed documentary search and review

In addition to the activities listed in the core document, a history of the use of the heritage structure affecting its past environmental conditions should be documented. As well as visual inspection, this may need to draw upon such sources as oral history, historic photographs, as well as maintenance or other records.

I.4.5.4 Heritage record

Heritage records shall be produced by specialists. This should normally be carried out before the detailed assessment or during the preliminary assessment.

Records should be made in such a way that they can be used as the basis for reporting structural condition observations, structural modelling and for conceptual design drawings of construction interventions.

I.4.5.5 Detailed inspection

A detailed visual and tactile inspection should be carried out. Representative samples of hidden elements should be inspected. Openings should be carried out in stages, step-by-step only when analysis indicates that further openings are necessary. The potential gain in information obtained by either dismantling or opening to access hidden features shall outweigh the loss of heritage value.

Dismantling and rebuilding to ascertain the capacity of hidden elements may be carried out

- . a) if it is recognized by the cultural heritage management authorities as part of the traditional method for repair and maintenance, or
- . b) if it is absolutely necessary to ensure safety and serviceability.

I.4.5.6 Sampling

Samples taken for materials testing should be kept to a minimum and generally restricted to those parts of the structure that have the least heritage value.

I.4.5.7 Preferred testing methods

NDT and MDT should be used. Historic structural assemblies are typically complex and non-homogeneous. NDT tests should be carried out by qualified specialists, assisted by the engineer or heritage professional, to ensure proper calibration of instrumentation and interpre-

tation of the results. In some cases, destructive tests can be necessary to calibrate NDT.

NOTE NDT and MDT aim to determine physical, mechanical and chemical characteristic of materials, in-situ stresses, mechanical properties of assemblies, and the presence of discontinuities. Recent developments in software and instrumentation have increased significantly the effectiveness of NDT.

I.4.5.8 Destructive testing

Destructive tests causing significant damage to character-defining elements should only be used when absolutely necessary, either to obtain information that cannot be acquired by other means or to calibrate NDTs, preferably in inconspicuous areas and without affecting character-defining elements. However, as described above, the potential gain in information obtained shall outweigh the loss of heritage value, i.e. the losses resulting from the tests should be less than those that would be caused by the more severe interventions necessitated by poorer understanding of the structure.

I.4.5.9 Monitoring

Monitoring shall be carried out to improve the understanding of the behaviour of the structure over time. Both structural and environmental parameters should be recorded to correlate causes and effects.

I.4.5.10 Determination of structural properties

Testing to determine the properties and/or load bearing capacity of the structure shall be planned in consultation with the heritage management professionals. The requirement for the test and any possible adverse effects on the heritage structures shall be clearly identified.

I.4.5.11 Structural analysis

Structural analysis should take into consideration the uncertainties resulting from

- a) incomplete data,
- b) greater age factors,
- c) damage and deformation,
- d) limited knowledge of ancient structural systems, and
- e) variability of material properties.

Therefore, it can be necessary to consider more than one structural model. When the models fail to demonstrate sufficient reliability of the structure, it can be necessary to carry out additional testing of materials and structural properties or monitoring, incorporating the results in a revised structural analysis.

NOTE The information gained through this incremental procedure can be used to

gradually improve the understanding and modelling of the structure.

I.4.5.12 Verification

The reliability level for verification on heritage structure shall balance safety and serviceability considerations with the protection of heritage value.

I.4.6 Results of assessment

I.4.6.1 Report

In addition to the report format presented in Annex G, the points referred to in I.10.1 should be included.

I.4.6.2 Conceptual design of interventions

Further to 4.7.2, recommendations that safeguard the character-defining elements of the structure should be provided.

I.4.6.3 Control of risk

When adopting measures to control or modify the risk considered here as the expected consequences of unfavourable events, their effects on the heritage value shall be assessed.

I.5 Data for assessment

I.5.1 General

As specified in Clause 5, investigation shall encompass materials, actions, environment, existing documents, and other relevant aspects. Particular attention shall be given to investigation of records on the past performance of the structure.

I.5.2 Site conditions

Historical reports should be consulted to determine any significant changes that can have affected the site conditions.

Any information of noteworthy actions in the records, such as natural disasters and environmental influence from which the heritage structure suffered, should be surveyed.

I.5.3 Authenticity of foundation

From the point of view of conservation, foundations are not different from the rest of the structure and should be assessed and rehabilitated taking into consideration their heritage value. This involves the requirement to identify their authenticity and character-defining elements.

NOTE Foundation settlement of the heritage structures can be dependent upon complex consolidation processes which occurred in the past.

I.6 Structural analysis

I.6.1 Purpose of structural analysis

In addition to the purposes identified in 4.6.5, structural analysis of heritage structures should explain the effects of past actions on the structure and the effects of previous alterations.

I.6.2 Limit states

Besides commonly used ultimate limit states and serviceability limit states, specific serviceability limit states for preserving heritage value of the structures, such as deformation against artistic paintings and materials, shall be considered.

I.6.3 Models

I.6.3.1 Models of heritage structures

Models of heritage structures should ideally satisfy the requirements of 4.6.5 and 6.1 regarding the accurate representation of actions, geometry and material properties, while also taking into account any alterations and deterioration, including those caused by both natural phenomena and human interventions.

I.6.3.2 Deterioration models

When deterioration of heritage structures is considered, long-term, time-dependent deterioration processes and change in environmental conditions should be taken into account.

I.6.3.3 Calibration and validation of models

Models shall be calibrated and validated using the available evidence on the performance and condition of the structure. The use of quantitative methods that simulate historical events should be considered as measures of model calibration. Historical information, as well as inspection and monitoring, shall be used to validate the predictions of analytical models.

NOTE NDT or MDT as described in I.4.5.7 can be useful for model validation. For instance, on-site stress measurements can be used to verify stress levels predicted by models.

I.6.4 Comparative approach

Comparison with a number of similar constructions whose behaviour is already understood can be used to obtain insight on the performance and capacity of a structure.

Comparison with structures that have already experienced severe effects is particularly useful in assessing seismic performance. The reliability of the analysis can increase with the number of structures observed and the similitude between these and the case under examination. Similitude should encompass both structure and actions.

I.6.5 Historical approach

A historical approach should be based upon the response of the structure under the signifi-

cant events experienced (including earthquakes and other extraordinary natural or anthropogenic actions). Effort shall be made to understand and characterize both the historical causes (or actions) and the building's responses.

Information on historic modifications, repairs or strengthening that can have altered its performance should also be collected.

I.6.6 Model uncertainties

Significant uncertainty can remain in spite of the calibration effort due to factors such as heterogeneity of materials, hidden construction details, real extent of deterioration or the limitation of information gathered by direct inspection. Using a comparative and historical approach, engineering judgment should supplement results of structural analysis to overcome this uncertainty.

NOTE The adoption of either partial factors or random variables representing model uncertainties discussed in 6.4 of the core document might not be realistically applicable to heritage structures. In such cases, additional evidence obtained from complementary activities (comparative analysis, analysis of historical information) can, through engineering judgment, reduce the uncertainty.

I.7 Verification

I.7.1 Reliability assessment

The reliability assessment of heritage structures shall be made for a reference period considering possible conservation. The remaining working life as described in 7.2 should be determined taking into consideration that heritage structures are safeguarded for their heritage value.

I.7.2 Plausibility check

The plausibility check shall be carried out as a part of the activities leading to the validation of the models as mentioned in I.6.3. Explanation of discrepancies shall lead to improvement of the models.

I.7.3 Target reliability level

The target reliability level chosen for verification shall balance safety considerations with the protection of heritage value.

In some cases, the protection of heritage value can require the acceptance of a different reliability level, lower than that implicit in accepted design codes. In these cases, parallel measures such as restricted use or provision of alternate escape route should be adopted to limit the consequences of a failure on people or cultural contents.

NOTE Annex F and 7.5 are also applicable to heritage structures as they recognize the fundamental differences between the design of new buildings and the assessment of existing structures. Furthermore, Annex F specifically identifies the requirement to consider the heritage values when establishing the target reliability level.

I.8 Assessment based on satisfactory past performance

As described in Clause 8, past performance based assessment can be acceptable for heritage structures for the limit states identified in I.6.2.

Past performance based assessment can be carried out in spite of the existence of stabilized damage. However, monitoring should be used to ascertain the stabilized character of damage.

I.9 Interventions

I.9.1 Scenarios

Scenarios for interventions shall respect heritage values. The heritage values normally place severe restrictions on possible interventions and, therefore, more than one scenario should be assessed.

I.9.2 Minimal intervention

Intervention should be kept to the minimum level that meets structural requirements in order to ensure the least harm to heritage values.

Compatible materials: Material used for interventions should be compatible with the original material in terms of mechanical, chemical and other characteristics, and should maintain these characteristics in the long term. They should not have harmful effects, such as causing corrosion or decay.

Integrated plan: Intervention should be the result of an integrated plan to meet architectural, structural, and functional requirements.

Distinctive historic features: The removal or alteration of any historic material or distinctive architectural features should be avoided wherever possible.

I.9.3 Incremental approach

When more time is required to define optimum conservation strategy, intervention should adopt an incremental or step-by-step approach beginning with a minimum level of intervention, with the possible adoption of subsequent supplementary or corrective measures.

I.9.4 Removable measures

Where possible, any measures adopted should be “removable” so that they can be removed and replaced with more suitable measures required.

I.10 Report

I.10.1 Report contents

In addition to the report format presented in Annex G, the following points should be added:

- . a) historical report;

- . b) heritage records;
- . c) inspection methodology and results;
- . d) monitoring methodology and results;
- . e) heritage considerations;
- . f) limitations of assessment.

I.10.2 Review of intervention options

The review of intervention options should include assessment of impact on heritage value.

BIJLAGE 4: GLOSSARIUM

Onroerend erfgoed	Het geheel van archeologische sites, monumenten, cultuurhistorische landschappen en stads- en dorpsgezichten (OE decreet art. 2.1 nr.39, 2015)
Monument	Een onroerend goed, werk van de mens of van de natuur of van beide samen, (...) van algemeen belang wegens de erfgoedwaarde(n) (OE decreet art. 2.1 nr.38, 2015) Letterlijk (Lat: <i>monumentum</i>): het vermogen tot herinneren.
Erfgoedwaarde	De archeologische, architecturale, artistieke, culturele, esthetische, historische, industrieel-archeologische, technische waarde, ruimtelijk-structurerende, sociale, stedenbouwkundige, volkskundige of wetenschappelijke waarde waaraan onroerende goederen en de cultuurgoe-deren die er integrerend deel van uitmaken hun huidige of toekomstige maatschappelijke betekenis ontleen. (OE decreet art. 2.1 nr. 26, 2015)
Erfgoedelement	Een structurele of visuele component die de eigenheid van het onroerend erfgoed bepaalt en die de waarden vormt die aan de grondslag liggen van een bescherming (OE decreet art. 2.1 nr. 23, 2015)
Vloer	Horizontaal scheidingselement tussen twee verdiepingen dat de lasten afdraagt naar muren en eventueel kolommen. Deze term behelst de draagstructuur, vloerpakket en -bekleding, en plafondafwerking.
Vloerpakket	Geheel van afwerkingslagen dat bovenop de draagvloer wordt aangebracht. Dit kunnen verschillende materialen zijn: pek, zand, tegels, parket, planken, natuursteen, chape, uitvullaag, beton, en later thermische en akoestische isolatie, vloerverwarming, kanalen voor technieken, elektriciteitskabels, waterleidingen, etc.
Vooronderzoek	elke vorm van voorbereidend onderzoek dat noodzakelijk is voor het kwaliteitsvolle beheer of de herwaardering van een beschermd goed of een erfgoedlandschap en waarvan verondersteld mag worden dat het buiten de gebruikelijke opdracht van een eventuele ontwerper valt, met inbegrip van de werkzaamheden die nodig zijn om dat onderzoek uit te voeren (OE besluit art. 2 nr. 27, 2015)
Onderhoud	Elke voorzienbare periodieke bouwkundige interventie, beperkt in omvang, kostprijs en tijd, die wordt uitgevoerd met het oog op een lange en veilige levensduur van het gebouw; voorkomen van verval. (Kluwer I.1.1 p. 48). Deze ingrepen hebben geen negatieve impact op de erfgoedwaarden en geen impact op de bodem. (OE besluit art. 2 nr. 24, 2015).
Instandhouding	Een eenmalige interventie voor een tijdelijk behoud van een gebouw of bouwelement, waarna een definitief herstel noodzakelijk blijft. (Kluwer, I.1.1 p.54)
Herstel	Verzamelnam voor ingrepen die geen grote vernieuwing teweeg brengen, tussen onderhoud/instandhouding en renovatie/restauratie, om het gebouw in al haar onderdelen in een veilige en comfortabele toestand te brengen. (Kluwer + eigen woorden I.1.1 p.55)
Levensduur EN Life span/time FR	De levensduur van monumenten is door hun bescherming theoretisch vastgelegd op oneindig. Bij restauratie wordt er meestal uitgegaan van een levensduur van 50 jaar. Na die indicatieve periode kan de volgende restauratie de levensduur opnieuw verlengen. Voor stabiliteitsberekeningen wordt deze levensduur aangehouden. (ik)

ISCARSAH

The International Scientific Committee on the Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage.

Opgericht door ICOMOS in 1996 als een internationaal forum en netwerk van ingenieurs en andere experts die bij de restauratie van en zorg voor onroerend erfgoed betrokken zijn. Het comité komt twee maal per jaar samen.

BIJLAGE 5: ERFGOEDWAARDEN

Hieronder worden de erfgoedwaarden weergegeven, gedefinieerd in de Vlaamse wetgeving rond erfgoed.¹

ARCHITECTURALE WAARDE

Het onroerend goed getuigt van een fase of aspect van de architectuur of de bouwkunst uit het verleden. Het kan gaan om typologie, stijl, oeuvre of materiaalgebruik.

ARTISTIEKE WAARDE

Het onroerend goed getuigt van het kunstzinnige streven van de mens in het verleden.

ESTHETISCHE WAARDE

Het onroerend goed laat de waarnemer zintuiglijke schoonheid ervaren.

HISTORISCHE WAARDE

Het onroerend goed getuigt van een (maatschappelijke) ontwikkeling, gebeurtenis, figuur, instelling of landgebruik uit het verleden van de mens.

INDUSTRIEEL-ARCHEOLOGISCHE WAARDE

Het onroerend goed getuigt van een ambachtelijk of industrieel verleden.

VOLKSKUNDIGE WAARDE

Het onroerend goed getuigt van gebruiken en gewoonten, voorstellingen en tradities van een specifieke bevolkingsgroep of gemeenschap in het verleden.

WETENSCHAPPELIJKE WAARDE

Het onroerend goed heeft potentie voor kennisontwikkeling en kenniswinst over een bepaald thema, periode of fenomeen, als het een bijzondere bijdrage geleverd heeft op dat vlak of als het een typevoorbeeld is.

TECHNISCHE WAARDE

Het onroerend goed illustreert de ontwikkeling van de (cultuur)techniek in het verleden. Het gaat om technische toepassingen als illustratie van zowel traditie als innovatieve technieken en materialen.

CULTURELE WAARDE

Het onroerend goed getuigt van regio- en/of tijdgebonden menselijk gedrag.

RUIMTELIJK-STRUCTURERENDE WAARDE

Het onroerend goed ordent, begrenst, structureert of leidt de blik op de ruimte nu of in het verleden.

SOCIALE WAARDE

Het onroerend goed kent in de hedendaagse gemeenschap nog een actief, overgeleverd sociaal gebruik of is gemeenschapsvormend blijven werken.

¹ Debacker, I. (2018). Richtlijn Beoordelen van sloopaanvragen van gebouwen opgenomen in de vastgestelde Inventaris van

STEDENBOUWKUNDIGE WAARDE

Het onroerend goed speelde een rol in de (planmatige) inrichting van de bebouwde ruimte in het verleden. Deze inrichting omvat ook de wisselwerking tussen open en bebouwde ruimte en de samenhang tussen de verschillende schaalniveaus.

ARCHEOLOGISCHE WAARDE

Het erfgoed levert een betekenisvolle bijdrage tot de reconstructie van de bestaansgeschiedenis van de mensheid en haar relatie tot de omgeving. Deze bijdrage wordt geleverd door de daar aanwezige overblijfselen (of voorwerpen of sporen) te behouden of ze met archeologische en natuurwetenschappelijke methoden te onderzoeken.

Naast de erfgoedwaarden werden door de Vlaamse regering ook onderstaande **SELECTIE-CRITERIA**² opgesteld voor de inventarisatie van bouwkundig erfgoed.³

ZELDZAAMHEID

van het object, rekening houdend met de geografische context, de chronologische context, de architectuurhistorische context (concept, bouwstijl, materiaalgebruik, ...), het oeuvre van een architect of ontwerper.

AUTHENTICITEIT

van het object, rekening houdend met de volledigheid van het object of de site, de afwezigheid van ingrijpende verbouwingen of storende herstellingen, foutieve restauraties en latere toevoegingen die de oorspronkelijke toestand sterk hebben gewijzigd.

REPRESENTATIVITEIT

van het object binnen de geografische context, de chronologische context, de architectuurhistorische context (concept, bouwstijl, materiaalgebruik, ...), het oeuvre van een architect of ontwerper.

ENSEMBLEWAARDE

van het object rekening houdend met de samenhang tussen de verschillende onderdelen van het object op zich (exterieur, afwerking, meubilair), de samenhang tussen het gebouw en zijn cultuurhistorische, volkskundige en sociaal-culturele context, de samenhang tussen het gebouw, de bouwheer, de bouwmeesters en de weldoeners. Onder ensemblewaarde begrijpen we ook de ruimtelijke samenhang van meerdere objecten, bv. een dorpskern met een kerk, pastorie, school en gemeentehuis.

CONTEXTWAARDE

rekening houdend met de stedenbouwkundige impact, de beeldbepalende waarde, de aanwezigheid van een bepaalde infrastructuur, het maatschappelijke draagvlak.

² Debacker, I. (2018). Richtlijn Beoordelen van sloopaanvragen van gebouwen opgenomen in de vastgestelde Inventaris van het Bouwkundig Erfgoed. Brussel: Agentschap Onroerend Erfgoed.

³ **Zie ook handleiding inventarisatie.**

BIJLAGE 6: INDELING VAN HOUT IN STERKTEKLASSEN

Relaties tussen visuele sorteringen en de sterkteklassen van houtsoorten				
Handelsnaam	Botanische naam	Herkomstgebied proefstukken	Sterkteklasse NEN 6760	Kwaliteitsklasse / norm
Andira (sucupira vermelho) ¹⁾	<i>Andira spp.</i>	Brazilië	D30	Tropisch / NPR 5493
Angelim vermelho ^{2) 5)}	<i>Dinizia excelsa</i>	Brazilië	D50	Tropisch / NPR 5493
Azobé ⁴⁾	<i>Lophira alata</i>	West-Afrika	D70	Tropisch / NPR 5493
Bangkirai ³⁾	<i>Shorea spp.</i>	Indonesië	D50	Tropisch / NPR 5493
Basralocus ²⁾	<i>Dicorynia spp.</i>	Suriname	C22	Tropisch / NPR 5493
Bilinga ⁵⁾	<i>Nauclea diderrichii</i>	West- en Centraal Afrika	D35	Tropisch / NPR 5493
Cumaru ²⁾	<i>Dypteryx spp.</i>	Brazilië	D60	Tropisch / NPR 5493
Cupiuba (kopie) ¹⁾	<i>Goupia glabra</i>	Brazilië	D35	Tropisch / NPR 5493
Douglas, Europees ²⁾	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Europa	C22	A/B / NEN 5468
Douglas, Europees ²⁾	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Europa	C18	C / NEN 5468
Eiken, Pools ²⁾	<i>Quercus petraea</i>	Polen	C24	Europees / NPR 5493
Eiken, Midden-Europees ³⁾	<i>Quercus petraea</i>	Midden-Europa	C20	A/B / NEN 5477
Gonçalo Alves (muiracatiara) ¹⁾	<i>Astronium lecontei Ducke</i>	Brazilië	D40	Tropisch / NPR 5493
Grenen	<i>Pinus sylvestris</i>	Europa	C24	A/B / NEN 5466
Grenen	<i>Pinus sylvestris</i>	Europa	C18	C / NEN 5466
Groenhart ⁵⁾	<i>Tabebuia spp.</i>	Guyana	D60	Tropisch / NPR 5493
Iroko	<i>Milicia excelsa</i>	Tropisch-Afrika	D40	HS / BS 5756
Itauba ¹⁾	<i>Mizilaurus itauba</i>	Brazilië	D40	Tropisch / NPR 5493
Jarana ¹⁾	<i>Lecythis spp.</i>	Brazilië	D40	Tropisch / NPR 5493
Jarrah	<i>Eucalyptus marginata</i>	Australië	D40	HS / BS 5756
Karri, Australisch	<i>Eucalyptus diversicolor</i>	Australië	D50	HS / BS 5756
Karri, Zuid-Afrikaans ²⁾	<i>Eucalyptus diversicolor</i>	Zuid-Afrika	D35	Tropisch / NPR 5493
Kempas	<i>Koompassia malaccensis</i>	Zuidoost-Azië	D60	HS / BS 5756
Lariks ³⁾	<i>Larix spp.</i>	Europa	C24	A/B / NEN 5466
Lariks ³⁾	<i>Larix spp.</i>	Europa	C18	C / NEN 5466
Meranti, rode	<i>Shorea spp.</i>	Zuidoost-Azië	C20	A/B / NEN 5483
Merbau	<i>Intsia spp.</i>	Zuidoost-Azië	D60	HS / BS 5756
Mandioqueira (sucupira amarelo) ¹⁾	<i>Qualea paraensis D.</i>	Brazilië	D40	Tropisch / NPR 5493
Massaranduba ²⁾	<i>Manilkara spp.</i>	Brazilië	D60	Tropisch / NPR 5493
Mukulungu ⁵⁾	<i>Autranella congolensis</i>	Kameroen	D40	Tropisch / NPR 5493
Nargusta ²⁾	<i>Terminalia spp.</i>	Honduras	C24	Tropisch / NPR 5493
Okan/Denya ^{2) 5)}	<i>Cylicodiscus gabunensis</i>	Ghana/Kameroen	D50	Tropisch / NPR 5493
Piquia ^{2) 5)}	<i>Caryocar villosum</i>	Brazilië	D40	Tropisch / NPR 5493
Piquia marfim ¹⁾	<i>Aspidospermum desmanthum</i>	Brazilië	D50	Tropisch / NPR 5493
Robinia ²⁾	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Hongarije	D30	Europees / NPR 5493
Sapucaia ¹⁾	<i>Lecythis pisonis</i>	Brazilië	D50	Tropisch / NPR 5493
Tali ⁵⁾	<i>Erythrophleum spp.</i>	Kameroen/ Kongo-Brazzaville	D60	Tropisch / NPR 5493
Tali ⁵⁾	<i>Erythrophleum spp.</i>	Ghana	D40	Tropisch / NPR 5493
Teak	<i>Tectona grandis</i>	Zuidoost-Azië	D40	HS / BS 5756
Uchi torrado ¹⁾	<i>Sacoglottis guianensis</i>	Brazilië	D40	Tropisch / NPR 5493
Vitex ²⁾	<i>Vitexcofassus spp.</i>	Tropisch Afrika	D30	Tropisch / NPR 5493
Vuren	<i>Picea abies</i>	Europa	C24	A/B / NEN 5466
Vuren	<i>Picea abies</i>	Europa	C18	C / NEN 5466

¹⁾ TNO-rapport 2003-BS-R0102-S, De sterkteklassen en Janka-hardheden van negen FSC-gecertificeerde Braziliaanse houtsoorten. Opdrachtgever: FSC-Nederland.

²⁾ Deelrapporten TNO, Ontwikkeling van een algemene bepalingmethode voor de sterkte van hout. Opdrachtgevers: DWW Rijkswaterstaat, VVNH.

³⁾ TNO-rapporten, Bepaling van de sterkteklassen van Siberisch lariks, Midden-Europees eiken en bangkirai. Opdrachtgevers: VVNH/Centrum Hout.

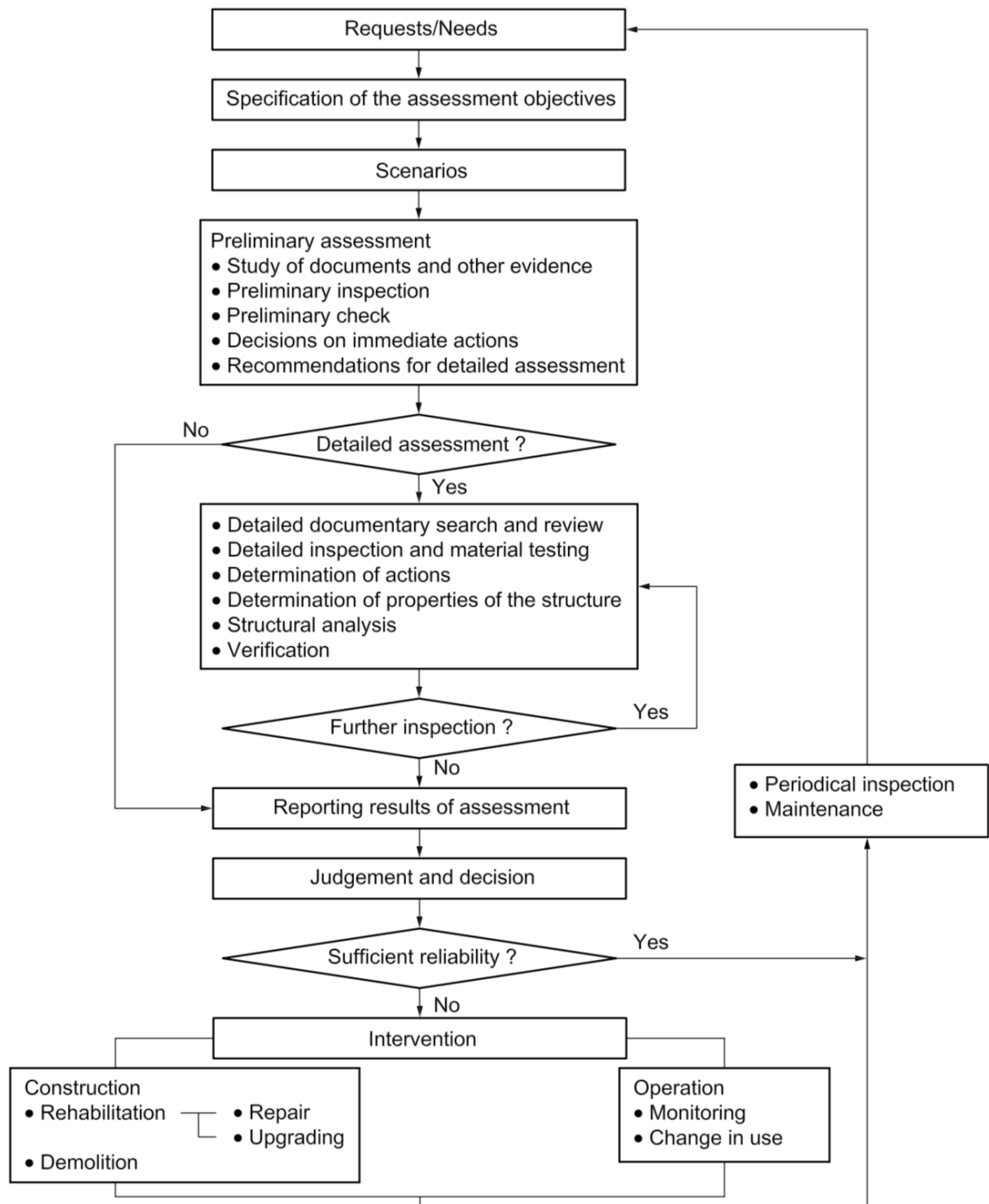
⁴⁾ TNO-rapport 97-con-R376, Machinale sterktesortering van azobé. Opdrachtgever: Centrum Hout.

⁵⁾ TNO-rapport 2005-BCS-R0327, De bepaling van de sterkteklassen van 7 houtsoorten. Opdrachtgever: VVNH.

BIJLAGE 7: STROOMSCHEMA VOOR DE BEOORDELING VAN BESTAANDE STRUCTUREN

Volgens ISO 13822.2010: *Bases for design of structures – Assessment of existing structures*, annex B. “Demolition” onderaan kan voor monumenten worden vervangen door “Replacement”, indien dit de enig mogelijke oplossing is voor het betreffende project.

Flowchart for the general assessment of existing structures



BIJLAGE 8: CASE STUDIES

BEGIJNHOFWONINGEN LIER – OVERZICHT INTERVENTIES

AFWEGING

Onderstaand worden per woning de verschillende afgewogen opties opgesomd, voor moerbalken en voor kinderbalken. Dit om een schematisch overzicht te geven van de afgewogen ingrepen, besproken in de fiches. De argumenten voor de gekozen verstevigingstechniek zijn vervat in de fiche.

WONING NR. 12

Moerbalken:

- bovenaan epoxymorteluitvulling, eventueel met verlijmd staalplaat (in druk) (indien de opleg van de kinderbalken dit toelaat)
- onderlijmen staalplaat (in trek)

Kinderbalken:

- oplijmen bijkomende houtsectie
- ontdubbelen van de vloer
- voor de vloer van niv. 1 volstaat het om de kinderbalken afdoende te vernagelen met de plankenvloer. (sectie vloerplank mee in rekening brengen)

Het tussenplaatsen van kinderbalken kan hier niet weerhouden worden, daar de kinderbalken ofwel zichtbaar blijven of uitgepleisterd zijn als troggewelfjes. (bep. zone of gehele woning, te zien in uitvoering)

WONING NR. 8

Moerbalken:

- bovenaan epoxymorteluitvulling. Staalplaten bovenaan hier niet nodig indien voldoende vrije hoogte voor epoxy
- onderlijmen staalplaat (in trek)

Kinderbalken:

- oplijmen bijkomende houtsectie
- gelijmde stalen plaat aan de onderzijde
- ontdubbelen van de vloer (niet in VO conclusie)
- voor een aantal zones volstaat het om de kinderbalken afdoende te vernagelen met de plankenvloer. (sectie vloerplank mee in rekening brengen)

WONING NR. 2

Moerbalken:

- bovenaan epoxymorteluitvulling. Staalplaten bovenaan hier niet nodig indien voldoende vrije hoogte voor epoxy
- onderlijmen staalplaat (in trek)

Kinderbalken:

- oplijmen bijkomende houtsectie
- toevoegen van kinderbalken tussen de bestaande (in ruimten zonder troggewelven)
- gelijmde stalen plaat aan de onderzijde
- voor een aantal zones volstaat het om de kinderbalken afdoende te vernagelen met de plankenvloer. (sectie vloerplank mee in rekening brengen)

UITVOERING

Onderstaand worden per woning de effectief uitgevoerde verstevigingstechnieken opgesomd, voor moerbalken en kinderbalken en per verdieping. Deze synthese geeft een bijkomend overzicht ter vergelijking met de verschillende opties die ter afweging op tafel lagen.

WONING NR. 12

Moerbalken:

- 1 onderaan staalplaat 150 x 12 mm² verlijmd (2 moerbalken).
- 2 epoxymorteluitvulling (incl. verdeueling en langswapening) + bovenaan staalplaat 150 x 20 (tweede geval 12) mm² verlijmd + knikankers (2 moerbalken).

Kinderbalken:

- 1 vernagelen/verschroeven met bestaande plankenvloer d.m.v. twee verdoken houtschroeven.
- 2 onafhankelijke vloer met kinderbalken en OSB-platen.

WONING NR. 8

Moerbalken:

- 1 onderaan staalplaat 150 x 12 mm² verlijmd (2 moerbalken).
- 2 epoxymorteluitvulling (incl. verdeueling en langswapening) + bovenaan staalplaat 150 x 20 mm² verlijmd + knikankers (2 moerbalken).

Kinderbalken:

- 1 onderaan staalplaat 60 x 8 mm² verlijmd & vernagelen/verschroeven met bestaande plankenvloer d.m.v. twee verdoken houtschroeven.
- 2 onafhankelijke vloer met kinderbalken en OSB-platen.

WONING NR. 2

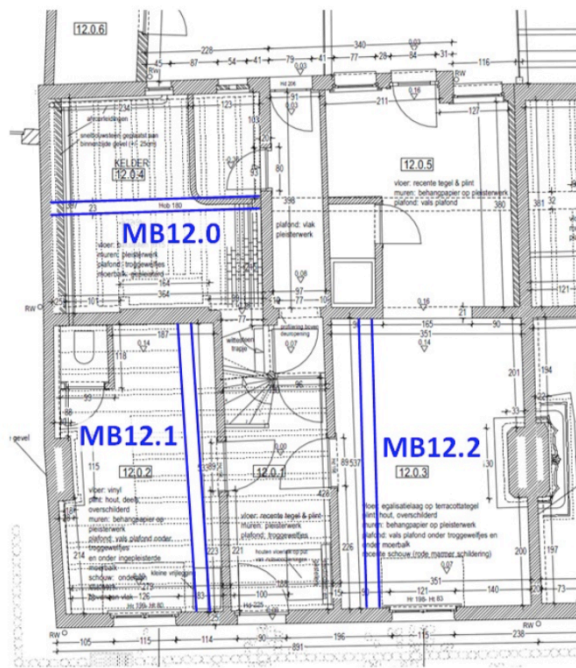
Moerbalken:

- 1 onderaan staalplaat 150 x 20 mm² verlijmd (2 moerbalken).
- 2 bovenaan staalplaat 150 x 20 mm² verlijmd (1 moerbalk – andere vervangen) (epoxymorteluitvulling niet nodig).

Kinderbalken:

- 1 onderaan staalplaat 60 x 8 mm² verlijmd.
- 2 onafhankelijke vloer met kinderbalken en OSB-platen.

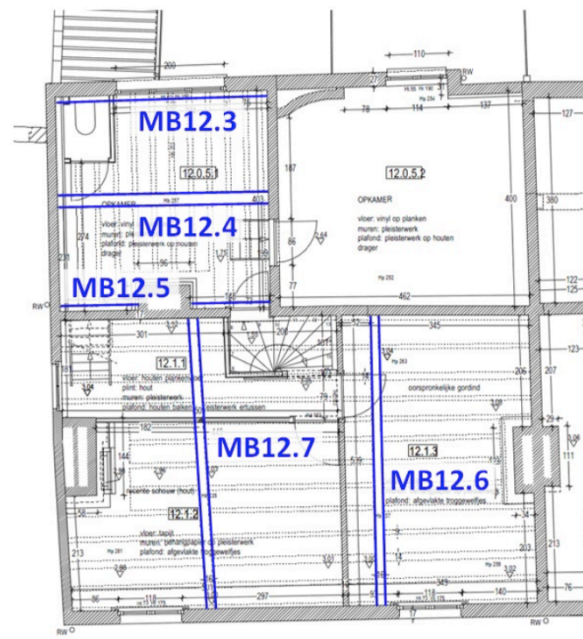
BEGIJNHOFWONING LIER – SYMFOROSA STRAAT 12



GRONDPLAN GELIJKVLOERS

WONING NR 12

Bijlage afb. 1: Woning 12, plannen bestaande toestand niv. 1 en niv. 2 met locatie en nummering moorbalken (Triconsult, 2010)



GRONDPLAN EERSTE VERDIEPING



Bijlage afb. 2: Woning 12, bestaande toestand, voorgevel (BvdW & Sumproject, 2017).



Bijlage afb. 3: Woning 12, niv. 1, bestaande toestand, ontleisterde moorbalk en bepleisterde kinderbalken met troggewelven (Triconsult, 2010).



Bijlage afb. 4: Epoxyuitvulling en staalplaat (Triconsult, 2017).



Bijlage afb. 5: Woning 12, vloer niv. 2, tijdens interventie, epoxymorteluitvulling en toevoegen van stalen plaat bovenaan de moerbalk (Triconsult, 2017).



Bijlage afb. 6: Woning 12, niv. 1, nieuwe toestand, na toevoegen van een staalplaat onderaan de moerbalk, bepleisteren van de moerbalk en bijkomend vernagelen van de plankenvloer met de kinderbalken (Triconsult, 2018).



Bijlage afb. 7: Woning 12, niv. 2, nieuwe toestand, na restauratie van het pleisterwerk. De verstevigingen gebeurden bovenaan, op zolder. (Triconsult, 2017).

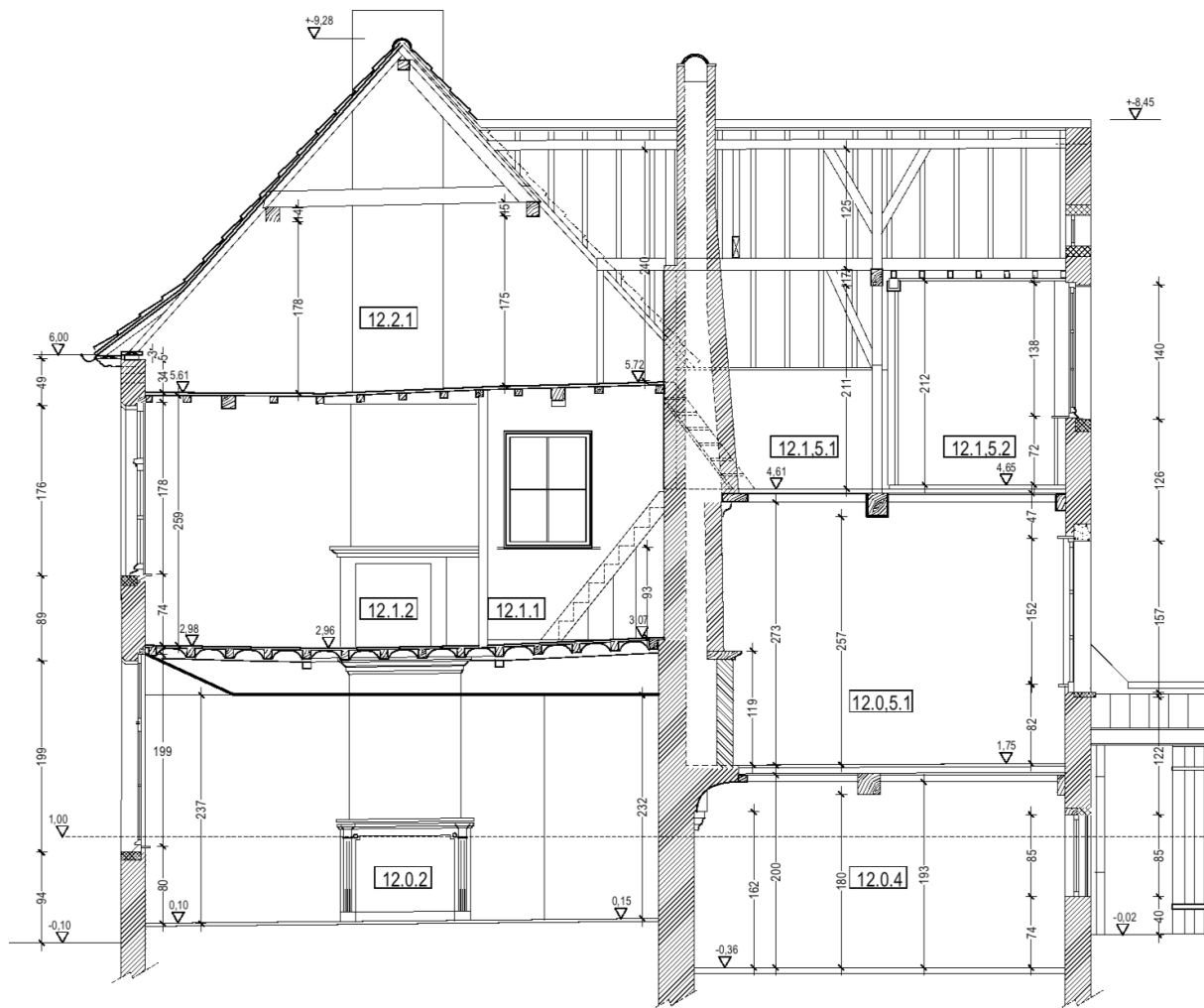
LEGENDE ARCERINGEN bestaande bouwelementen

	historisch metselwerk in baksteen
	recent metselwerk en invulmetselwerk
	witte steen
	blauwe steen
	historisch hout
	recent hout
	beton

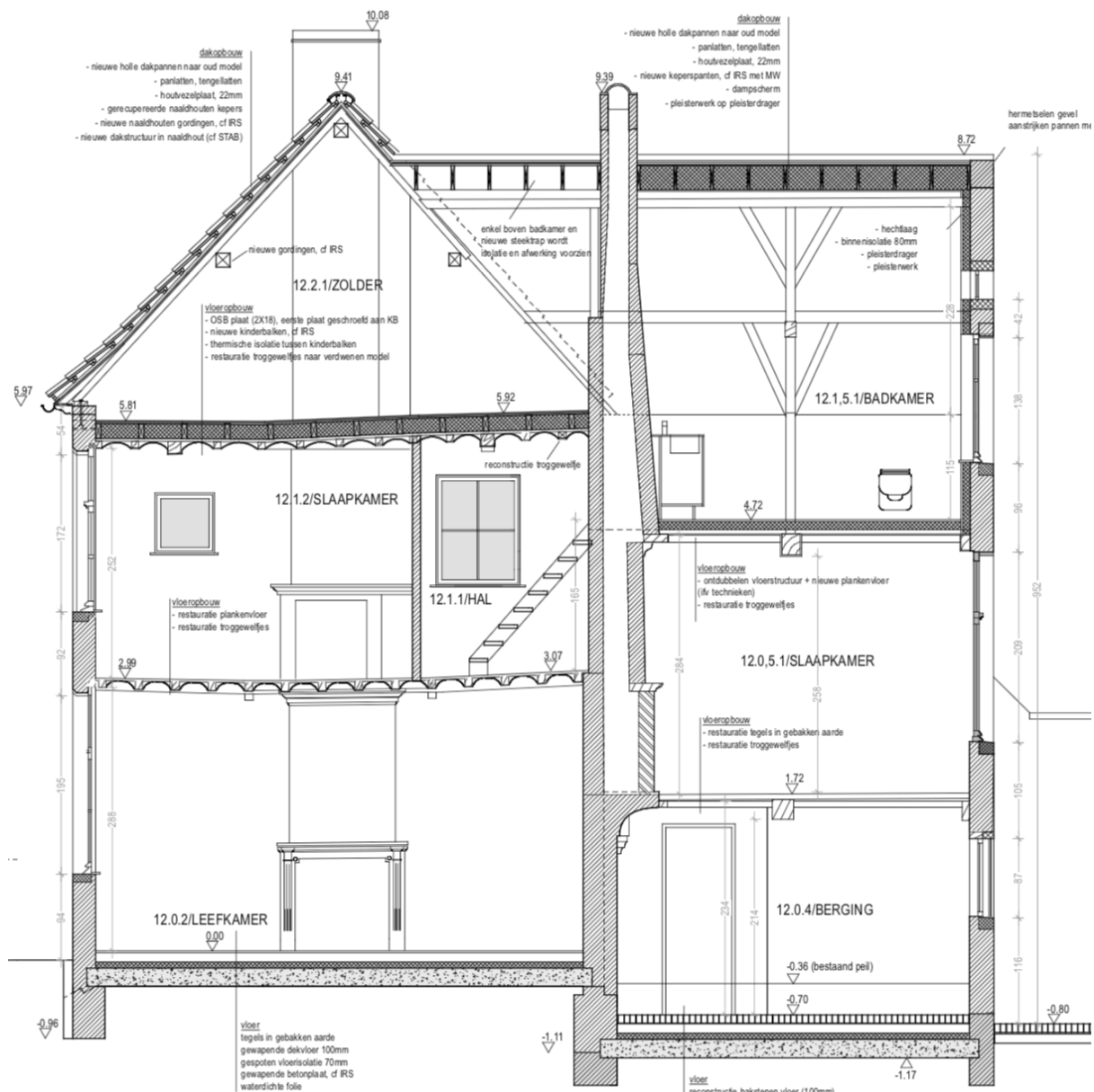
Bijlage afb. 8: Legende bij onderstaande plannen, bestaande en nieuwe toestand (Studio Roma, 2016).

LEGENDE ARCERINGEN nieuwe bouwelementen

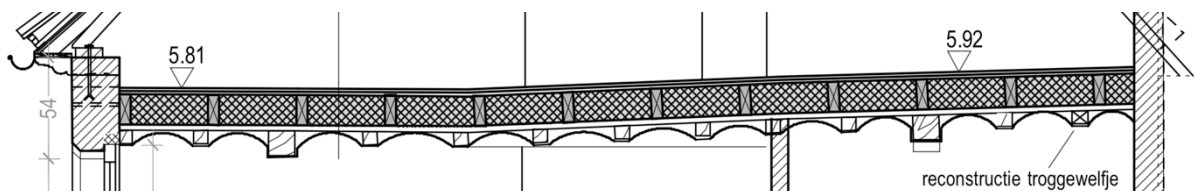
	volle baksteen naar historisch model
	isolerende baksteen
	isolatie
	gelijmd parement
	beton



Bijlage afb. 9: Woning 12, doorsnede, bestaande toestand. Zicht op moerbalken en aansluiting schouwen; snede door kinderbalken van verschillende formaten, en troggewelven niv. 1 (Studio Roma, 2016).

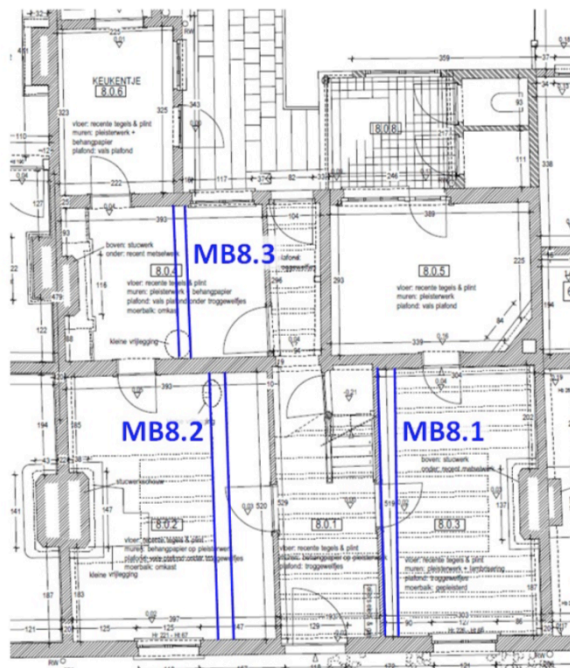


Bijlage afb. 10: Woning 12, doorsnede, nieuwe toestand. Staalplaten onder moerbalken vloer niv. 1, epoxymorteluitvulling en staalplaten boven moerbalken niv. 2. Vernagelde kinderbalken met plankenvloer niv. 1, onzichtbare ingreep. Toevoeging van onafhankelijke vloer niv. 2 (spatie niet getekend) (Studio Roma, 2016).



Bijlage afb. 11: Woning 12, detail doorsnede, nieuwe toestand. Oorspronkelijke kinderbalken met troggewelfen en nieuwe onafhankelijke vloer niv. 2 (spatie niet getekend) met behoud van het bestaand niveauverschil van de vloer. Reconstructie van een weggefallen troggewelfje met nieuwe kinderbalk. (Studio Roma, 2016).

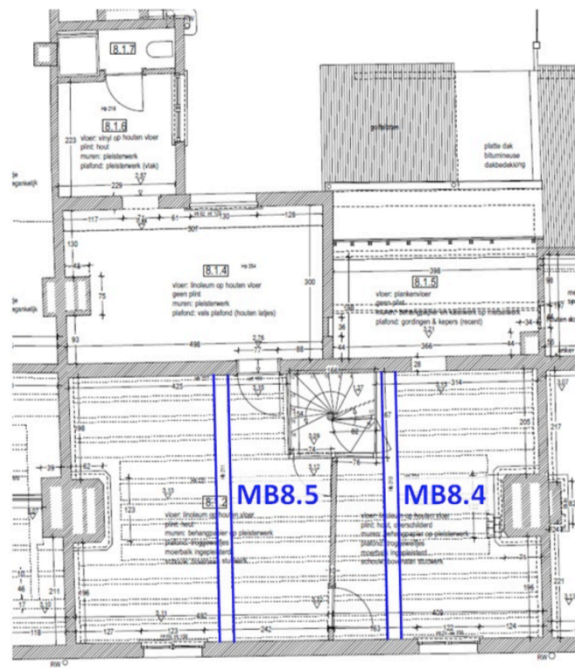
BEGIJNHOFWONING LIER – SYMFOROSA STRAAT 8



GRONDPLAN GELIJKVLOERS

WONING NR 8

Bijlage afb. 12: Woning 8, plannen bestaande toestand niv. 1 en niv. 2 met locatie en nummering moerbalken (Triconsult, 2010)



GRONDPLAN EERSTE VERDIEPING



Bijlage afb. 13: Woning 8, bestaande toestand, voorgevel en zicht op Symforosastraat (BVdW & Sumproject, 2017).



Bijlage afb. 14: Woning 8, vloer niv. 1, bestaande toestand, bepleisterde moerbalk en bepleisterde kinderbalken met troggewelven. Resistographmeting (Triconsult, 2010).



Bijlage afb. 15: Woning 8, niv. 1, tijdens interventie, vrijlegging van de onderzijde van de kinderbalken, met maximaal behoud van troggewelven (Triconsult, 2017).



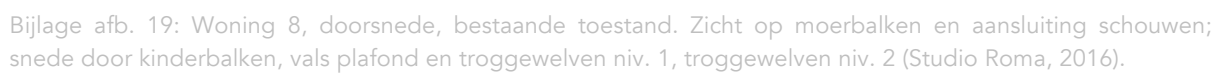
Bijlage afb. 16: Woning 8, niv. 1, tijdens interventie, toevoegen van stalen platen onderaan kinderbalken en moerbalk; aansluiting met monumentale schouw (Triconsult, 2017).

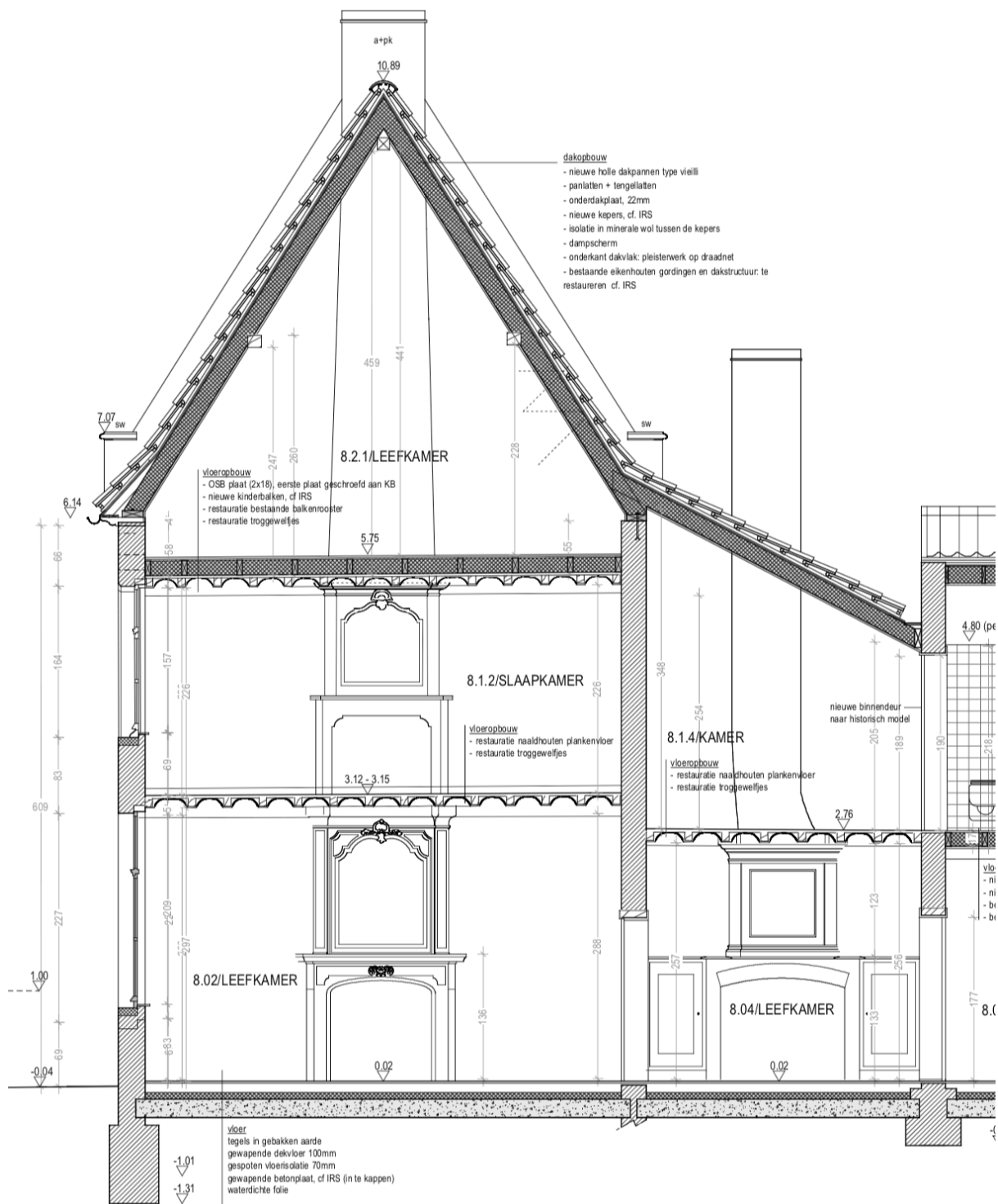


Bijlage afb. 17: Woning 8, niv. 1, tijdens interventie, toevoegen van stalen platen onderaan kinderbalken en moerbalk; aansluiting met balksleutel (Triconsult, 2018).



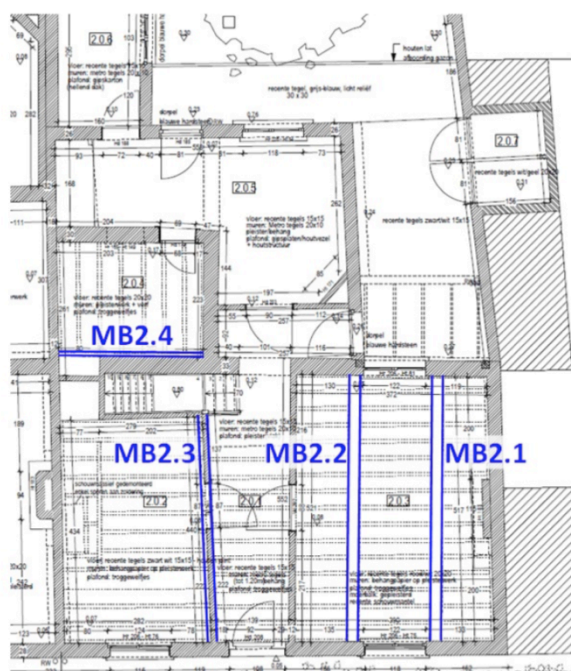
Bijlage afb. 18: Woning 8, niv. 1, tijdens interventie, reconstrueren van de bepleistering op de staalplaten met wapeningsnetjes (Triconsult, 2017).





Bijlage afb. 20: Woning 8, doorsnede, nieuwe toestand. Staalplaten onder moerbalken niv. 1, epoxymorteluitvulling en staalplaten boven moerbalken niv. 2. Staalplaatjes onder kinderbalken niv. 1. Toevoeging van onafhankelijke vloer niv. 2 (Studio Roma, 2016).

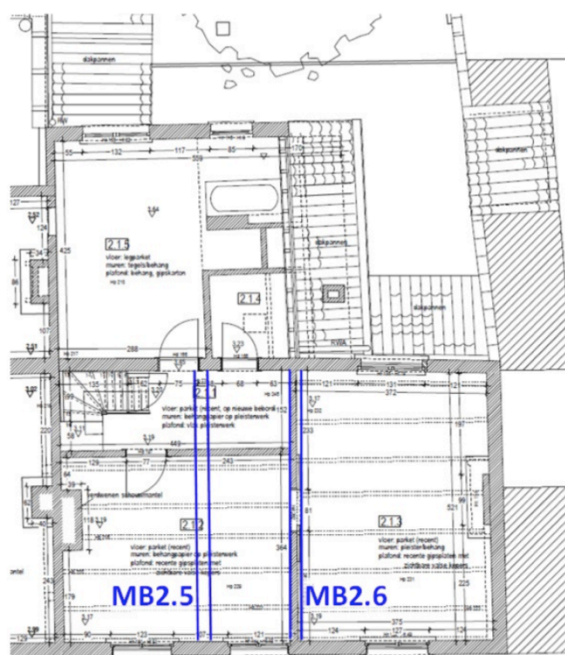
BEGIJNHOFWONING LIER – SYMFOROSA STRAAT 2



GRONDPLAN GELIJKVLOERS

WONING NR 2

Bijlage afb. 21: Woning 2, plannen bestaande toestand niv. 1 en niv. 2 met locatie en nummering moorbalken (Triconsult, 2010)



GRONDPLAN EERSTE VERDIEPING



Bijlage afb. 22: Woning 2, bestaande toestand, voorgevel (BVdW & Sumproject, 2017).



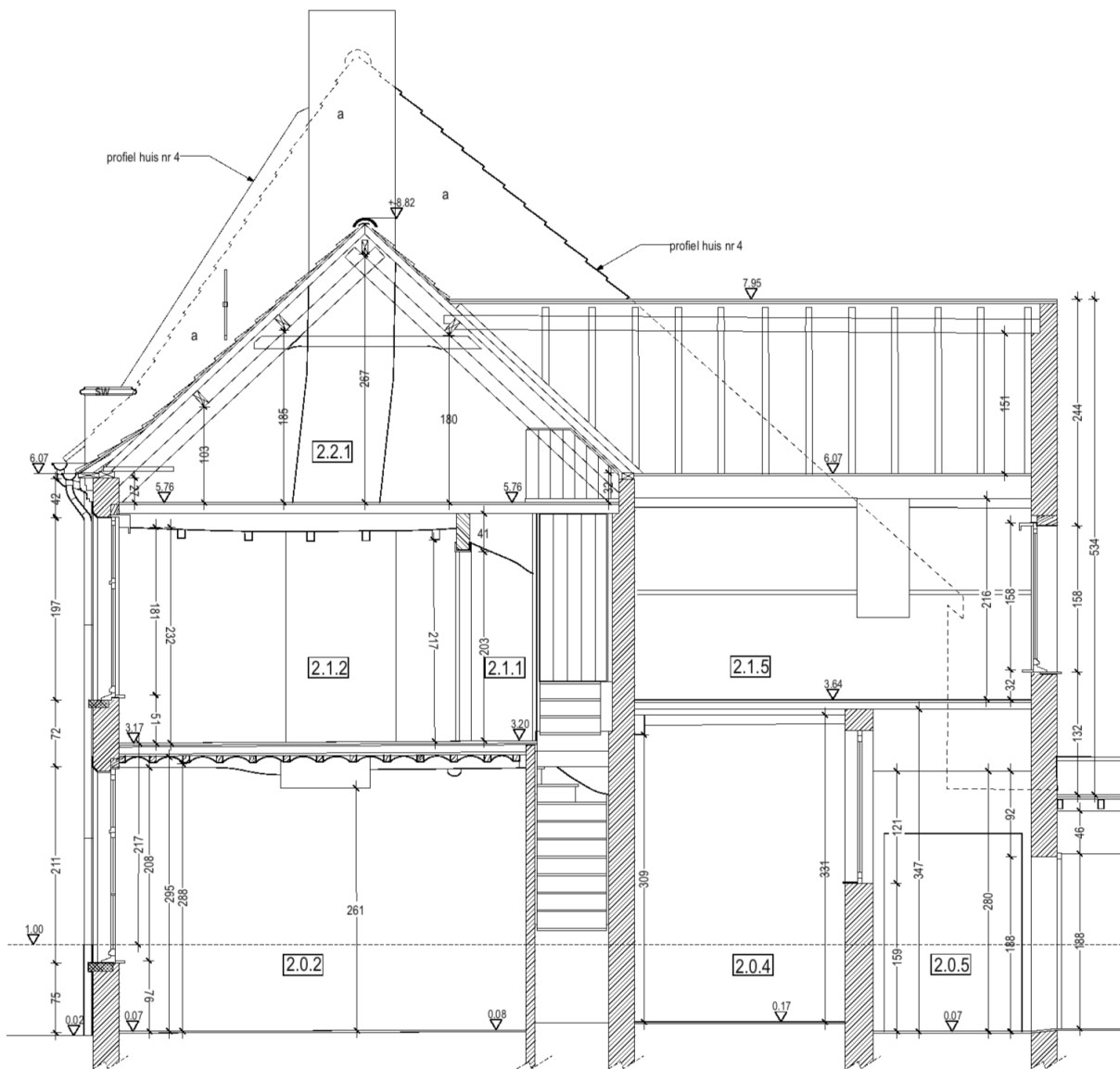
Bijlage afb. 23: Woning 2, niv. 1, bestaande toestand, bepleisterde moorbalk en kinderbalk met troggewelven (Triconsult, 2010).



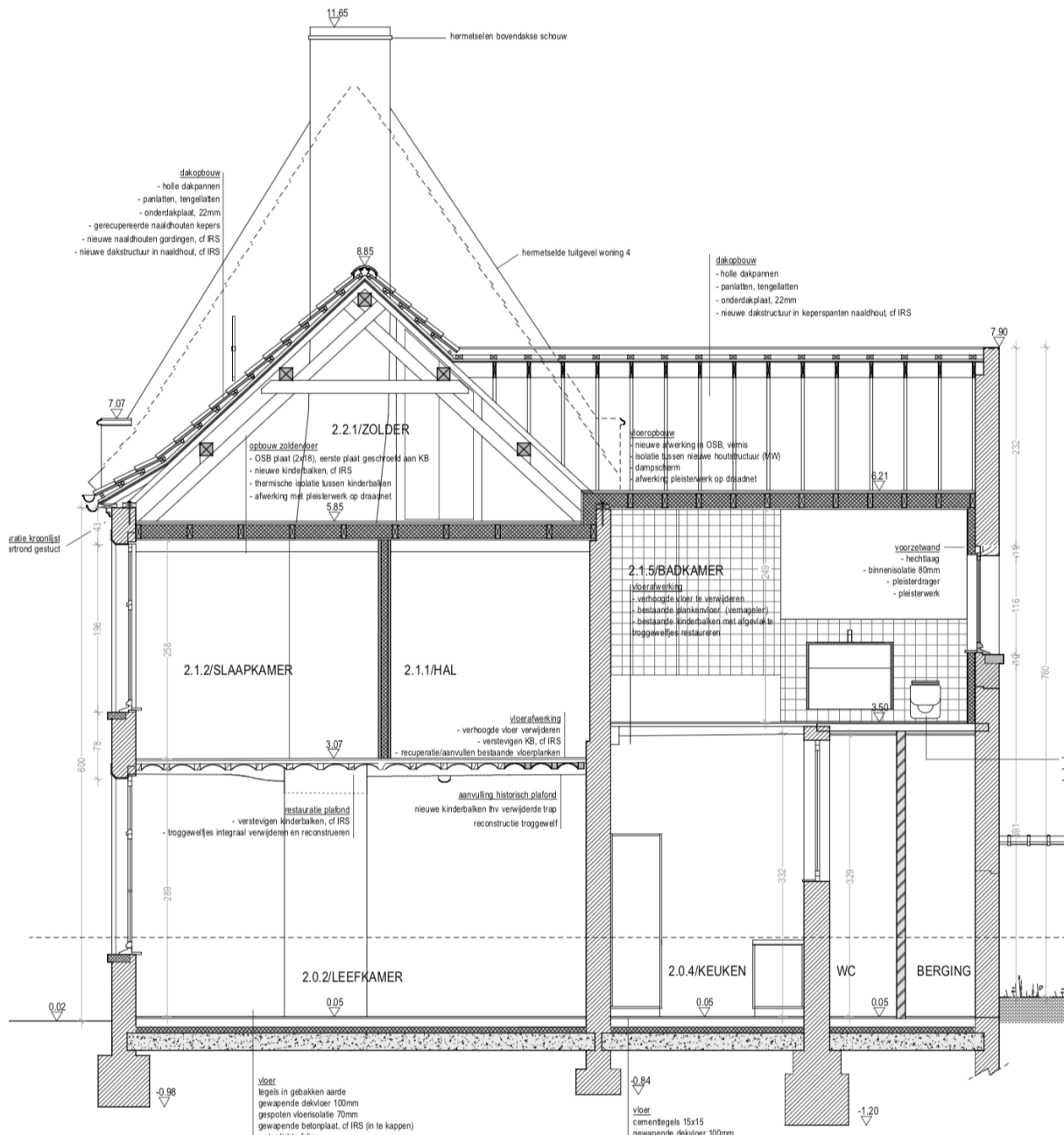
Bijlage afb. 24: Woning 2, niv. 2, bestaande toestand, vals vlak bepleisterd plafond (Triconsult, 2010).



Bijlage afb. 25: Woning 4, niv. 1, werken in uitvoering (gelijkaardig aan woning 2) (Triconsult, 2010).



Bijlage afb. 26: Woning 2, doorsnede, bestaande toestand. Zicht op moerbalken; snede door kinderbalken, troggewelven niv. 1; vals plafond, geen troggewelven aanwezig in vloer niv. 2 (Studio Roma, 2016).



Bijlage afb. 27: Woning 2, doorsnede, nieuwe toestand. Staalplaten onder moerbalken niv. 1, staalplaten boven moerbalk niv. 2. Staalplaatjes onder kinderbalken niv. 1. Nieuwe kinderbalken niv. 2. Voor gedeelte van de vloer niv. 2 die niet op de snede staat: tussenplaatsen van nieuwe kinderbalken tussen bestaande. (Studio Roma, 2016).

AFWEGING

Onderstaand worden per verdieping de verschillende afgewogen opties opgesomd, voor moerbalken en voor kinderbalken. Dit om een schematisch overzicht te geven van de afgewogen ingrepen, besproken in de fiche. De argumenten voor de gekozen verstevigingstechniek zijn vervat in de fiche.

VLOER NIV. 1

Moerbalken:

- bovenaan verstevigen met epoxymortel, eventueel incl. staalplaat.
- verstevigen door bovenaan inslijpen van een gleuf in de moerbalk voor het verlijmen van een verticale staalplaat, en epoxymortel bovenaan.

Kinderbalken:

- vernagelen van de bestaande beplanking met de moerbalk (niet bekeken omwille van wensen klant en architect).
- vernagelen van nieuwe OSB-platen met de moerbalk.

VLOEREN NIV. 2 EN 4

Moerbalken:

- onderaan verstevigen met staalplaat.
- onderaan verstevigen met extra houten sectie.
- onderaan verstevigen met staalprofielen.

Kinderbalken:

- vernagelen van de bestaande beplanking met de moerbalk (niet bekeken omwille van wensen klant en architect).
- vernagelen van nieuwe OSB-platen met de moerbalk.

(NB: op niveau 2 werd in hetzelfde dossier een stalen balk van een linteel vervangen door twee langere stalen balken, i.f.v. het breder maken van een doorgang.)

UITVOERING

VLOER NIV. 1

Moerbalken:

- inlijpen van de moerbalk in de lengte, plaatsen van een metalen plaat tot 5 cm van de onderzijde, vullen met structurele lijm Sika dur 30, toevoegen van een epoxymorteluitvulling van 4 cm bovenaan, met integratie van de stalen plaat en de kinderbalken voor verhoogde stijfheid van de vloerstructuur.

Kinderbalken:

- vernagelen van nieuwe OSB-platen met de moerbalk.

VLOEREN NIV. 2 EN 4

Moerbalken:

- onderaan verstevigen van de moerbalken met twee HEA 100 profielen per moerbalk.

Kinderbalken:

- vernagelen van nieuwe OSB-platen met de moerbalk.

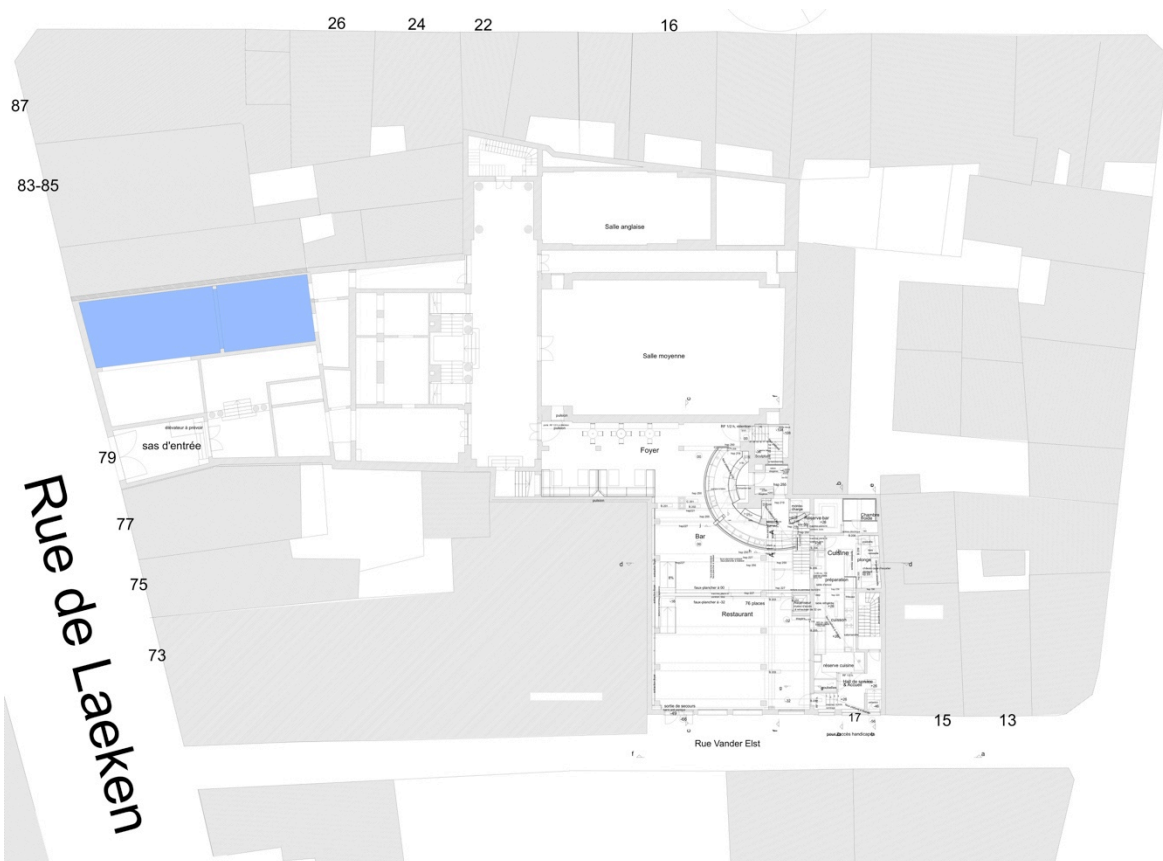
(NB: op niveau 3 werd in hetzelfde dossier een stalen balk van een linteel vervangen door twee langere stalen balken, i.f.v. het breder maken van een doorgang. Deze verdieping werd niet herbestemd en de vloer diende niet verstevigd te worden.)



Bijlage afb. 28: Neoclassicistische voorgevel uit 1832. (Irismonument, 2015).



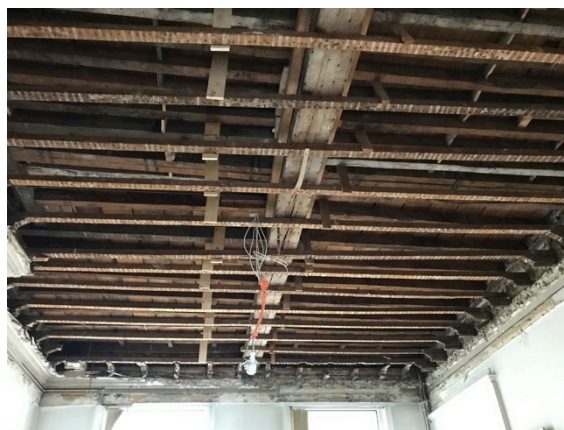
Bijlage afb. 29: Interieur niv. 1: recentere vrijmetselaarstempel. Vraag van klant en architect om bovenliggende vloer niet aan deze zijde te versterken, dus bij voorkeur aan de bovenzijde (Origin, 2018).



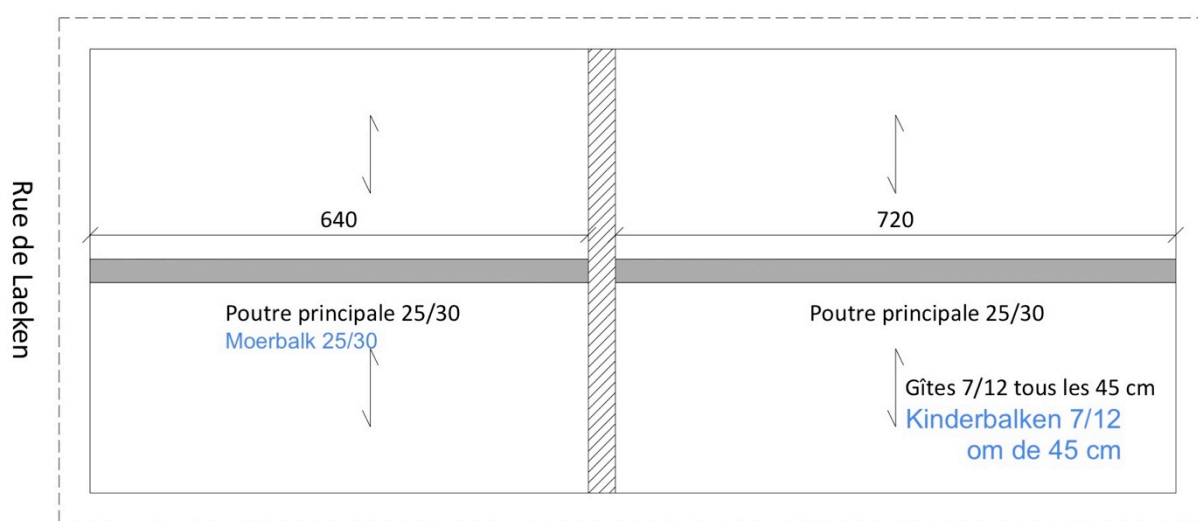
Bijlage afb. 30: Plan niv. 1 met oppervlakte te versterken vloeren aangeduid in blauw. Er werden van dit gedeelte van de site enkel plannen opgemaakt/doorgestuurd van de gelijkvloerse verdieping. De scheiding tussen de twee kamers is niet op de exacte positie getekend. De stabiliteitsingenieur heeft de ruimte, de overspanningen en de secties van de vloerelementen ter plaatse opgemeten (DDS+, 2018).



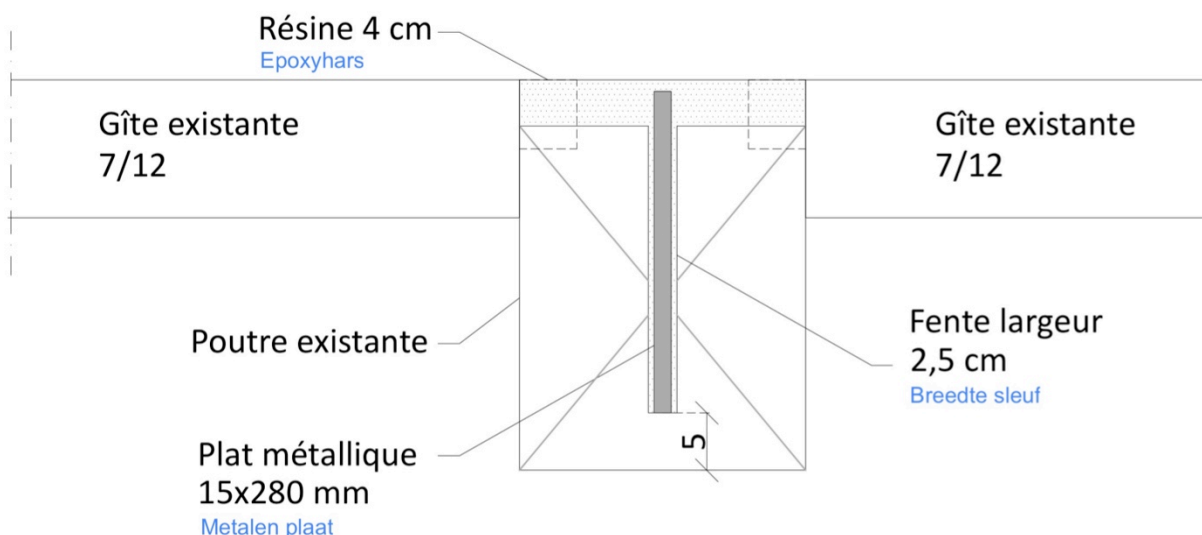
Bijlage afb. 31: Sondering balkkop vloer niv. 4 (Origin, 2018).



Bijlage afb. 32: Niv. 2, afgekapte bepleistering van vals plafond, pleisterlatten, moerbalk en kinderbalken zichtbaar gemaakt (Origin, 2019).



Bijlage afb. 33: Grondplan met ingetekende moerbalken incl. sectie, opgemeten ter plaatse door de stabiliteitsingenieur (Origin, 2019).



Bijlage afb. 34: Dwarsdoorsnede van de uitgevoerde verstevigingstechniek van de moerbalken niv. 1: toevoeging van staalplaat in een sleuf, opgevuld met Sika dur 30 structurele lijm en epoxyhars bovenaan (Origin, 2019).



Bijlage afb. 35: Stap 1 na vrijlegging: geslepen gleuf in moerbalk voor het inlijmen van staalplaat (DDS+, 2019).



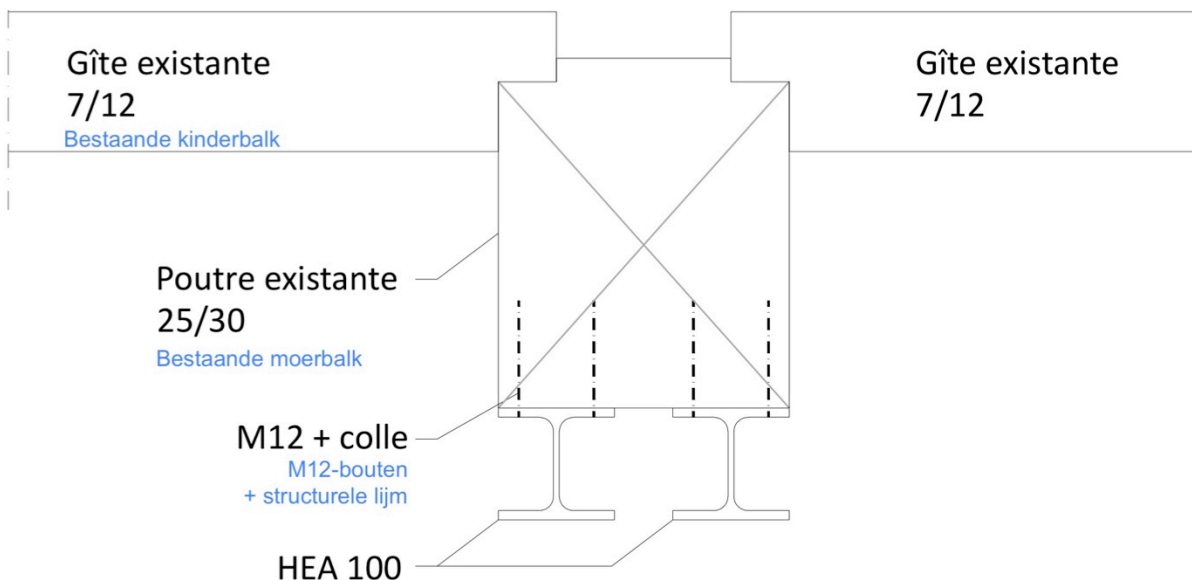
Bijlage afb. 36: Stap 2: Verlijmde staalplaat in moerbalk met Sika dur 30. Epoxyopvulling vermoedelijk meer compatibel (MRT, 2019).



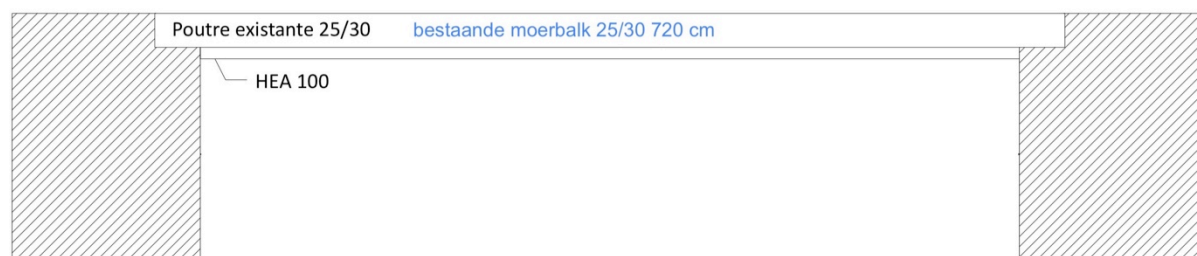
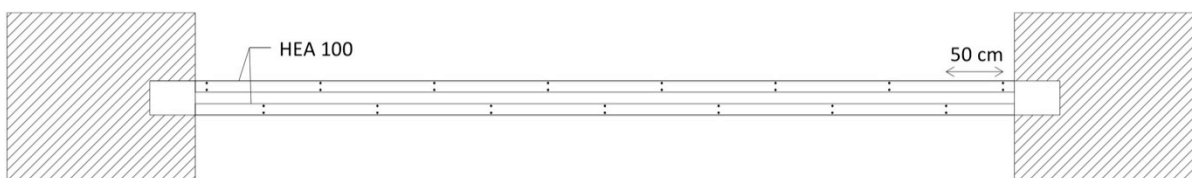
Bijlage afb. 37: Stap 3: opgegoten epoxy in bekisting, de staalplaat omhullend. De kinderbalkkoppelen zijn mee opgenomen in de epoxymortel voor extra stijfheid van de vloer (Origin, 2019).



Bijlage afb. 38: Stap 4: epoxymorteluitvulling, bekisting weggehaald: moerbalk is opgehoogd met 4 cm. Hout en epoxy werken samen (DDS+, 2019).



Bijlage afb. 39: Dwarsdoorsnede van de uitgevoerde verstevigingstechniek van de moerbalken niv. 2 en niv. 4: toevoeging van 2 HEA 100 profielen, verankering met M12 bouten en structurele lijm (Origin, 2019).



Bijlage afb. 40: Langsdoorsnede van de uitgevoerde verstevigingstechniek van de moerbalken niv. 2 en niv. 4: toevoeging van 2 HEA 100 profielen onderaan, verankering met M12 bouten, geschrinkt om de 50 cm voor een goede samenwerking met de houten moerbalk. (Origin, 2019).



Bijlage afb. 41: Twee HEA 100 profielen geplaatst onder moerbalk niv. 2 (DDS+, 2019).



Bijlage afb. 42: Moerbalk gestut op onderliggende reeds verstevigde moerbalk. Gaten voor bevestiging van de M12-bouten, geschrinkt om de 50 cm (DDS+, 2019).

WESTVLEUGEL CLAUSTRUM ABDIJ VAN PARK, HEVERLEE



Bijlage afb. 43: Westgevel van westvleugel van het claustrum (Triconsult, 2009).



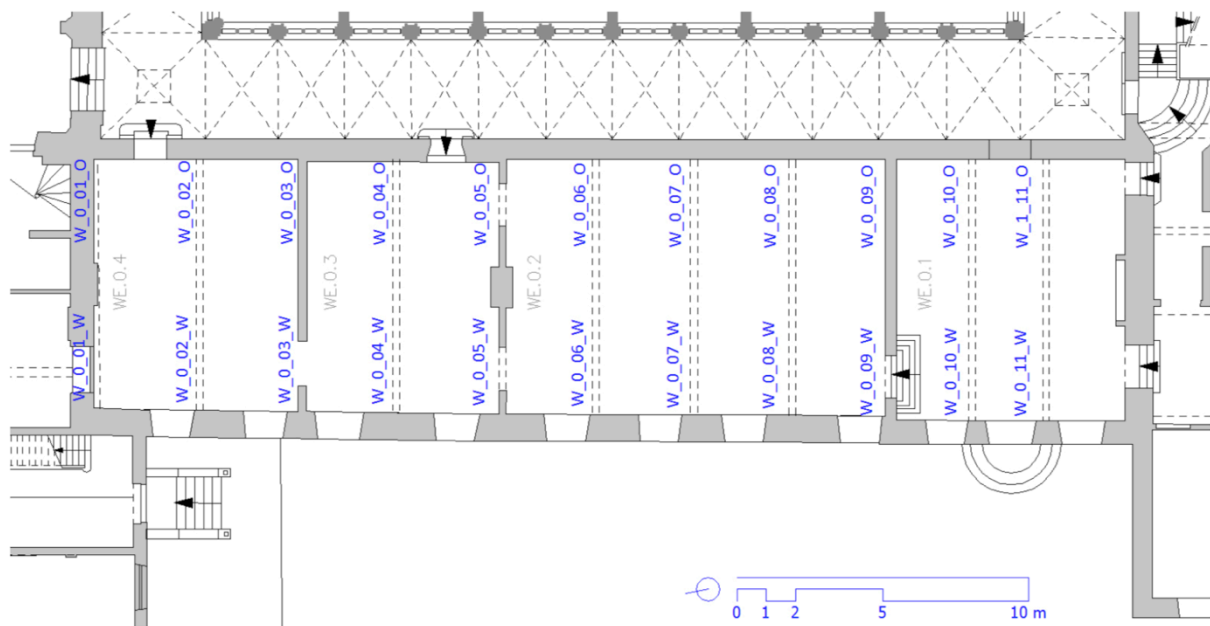
Bijlage afb. 44: Stucplafond vloer niv. 1 (Triconsult, 2013).



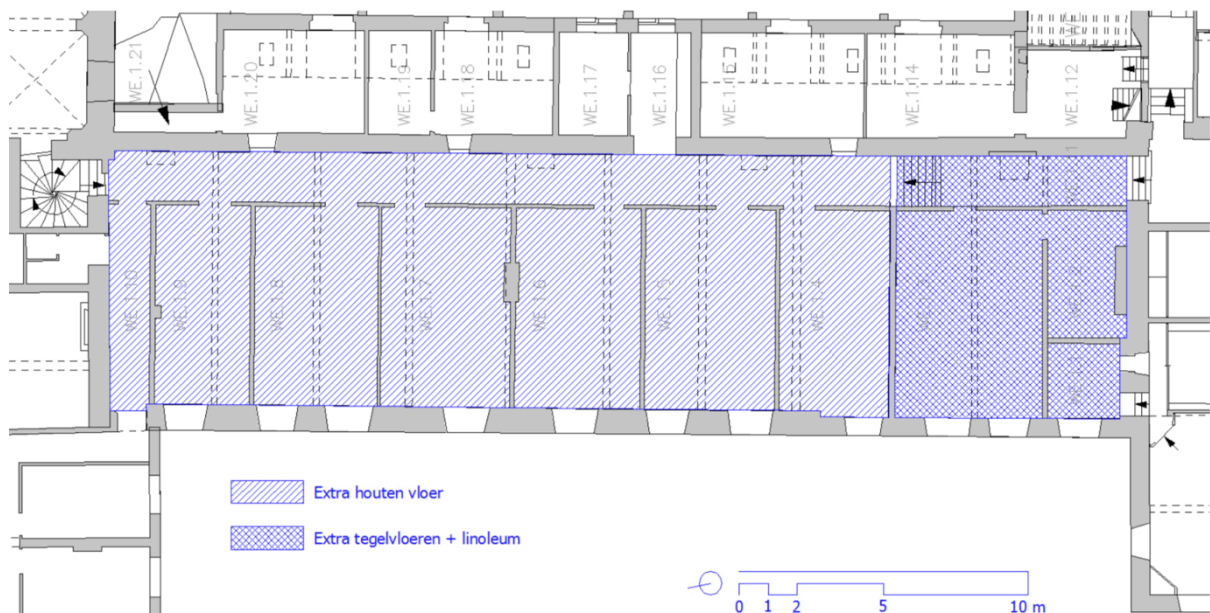
Bijlage afb. 45: Fragment van het stucplafond van de hand van J.C. Hansche, vloer niv. 1 (Triconsult, 2005).



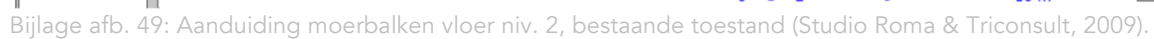
Bijlage afb. 46: 15de-eeuwse gepolychromeerde troggewelven aangetroffen onder het 18de-eeuwse stucplafond van vloer niv. 1. Dit fragment is later gerestaureerd zichtbaar gelaten voor de museumbezoeker (Triconsult, 2013).



Bijlage afb. 47: Aanduiding moerbalken vloer niv. 1, bestaande toestand (Studio Roma & Triconsult, 2009).

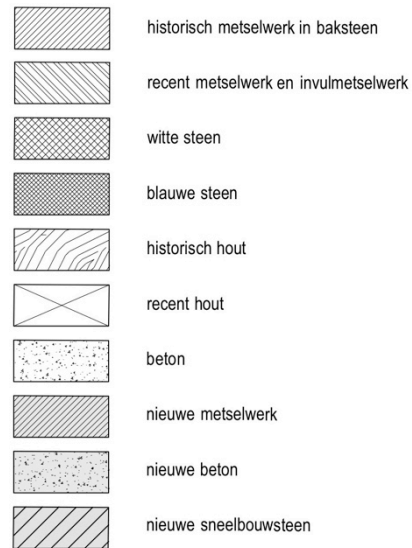


Bijlage afb. 48: Bekleding van dubbele vloerconstructie vloer niv. 1, bestaande toestand. Onder de houten vloer is een 18de-eeuws stucplafond aanwezig, hier tussen werden de 15de-eeuwse gepolychromeerde troggewelven aangetroffen. Onder de tegelvloer is het Hanscheplafond gesitueerd. (Studio Roma & Triconsult, 2009).

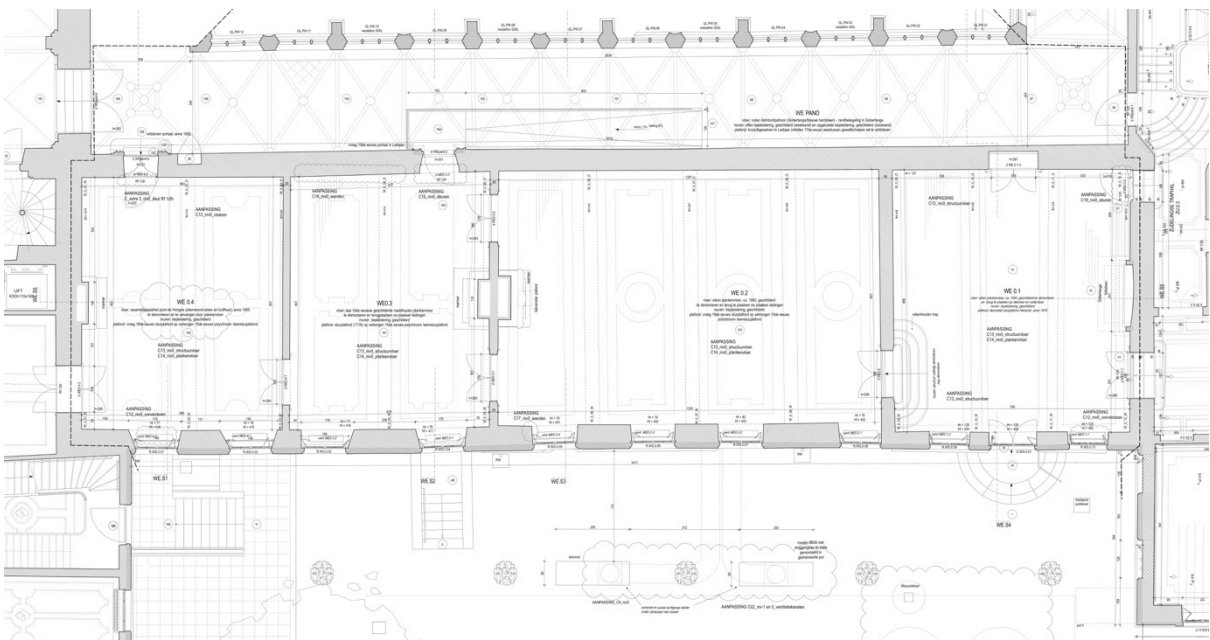




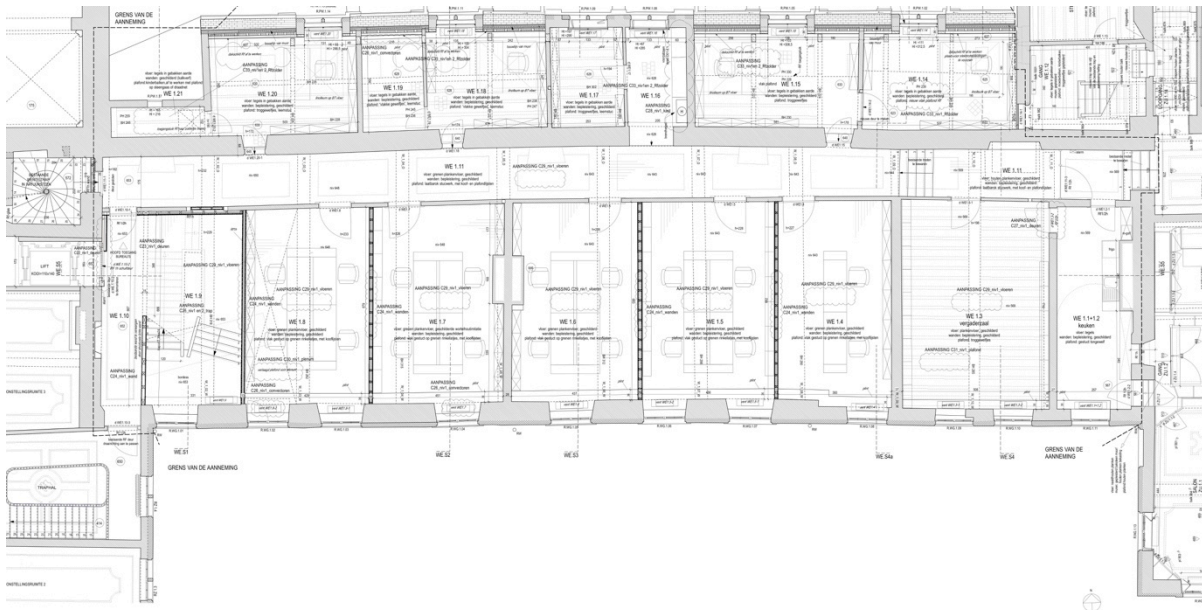
Bijlage afb. 52: Regelwand op niv. 1, ontdaan van bepleistering om de opbouw te kennen: houten stijl- en regelwerk met metselwerkinvulling (Triconsult, 2009).



Bijlage afb. 53: Legende bij onderstaande plannen nieuwe toestand (Studio Roma, 2014).



Bijlage afb. 54: Plan niv. 0, nieuwe toestand. De plafondafwerking van vloer niv. 1 is in lichtgrijs ingetekend (Studio Roma, 2014).



Bijlage afb. 55: Plan niv. 1, nieuwe toestand. De plafondafwerking van vloer niv. 2 is in lichtgrijs ingetekend (Studio Roma, 2014).



Bijlage afb. 56: Opgieten van epoxymorteluitvulling op een moerbalk van vloer niv. 1. De kinderbalken zijn mee opgenomen voor extra stijfheid van de draagvloer. De hoogte van de epoxylaag is beperkt dankzij het verlagen van de in te rekenen mobiele belasting t.o.v. de norm (Triconsult, 2014).



Bijlage afb. 57: Versterken van een moerbalk van vloer niv. 1 met staalplaat op epoxymorteluitvulling. De dikte van de staalplaat is beperkt dankzij het verlagen van de in te rekenen mobiele belasting t.o.v. de norm (Triconsult, 2014).



Bijlage afb. 58: De staalplaten werden onder de muur door op de moerbalk bevestigd. (Triconsult, 2014).



Bijlage afb. 59: De metselwerkinfilling van de tussenwanden werd tijdelijk verwijderd voor de werken aan vloer niv. 1. (Triconsult, 2014).



Bijlage afb. 60: Erbarmelijke staat van de kinderbalken boven het Hansche stucplafond na vrijlegging, t.g.v. vochtinfiltratie en biologische aantasting (Triconsult, 2014).



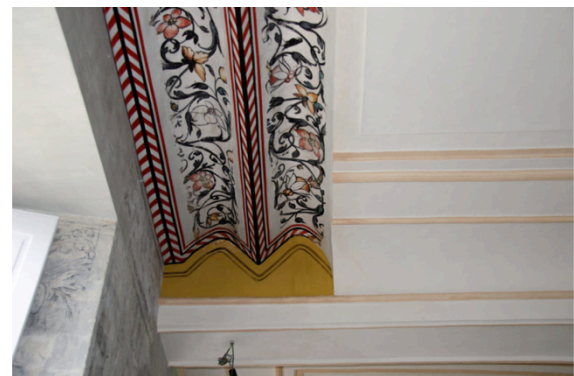
Bijlage afb. 61: Ophanging van de dragende wand boven het Hansche stucplafond aan de bovenliggende moerbalk, teneinde de versteviging van de onderliggende te kunnen uitvoeren (Triconsult, 2014).



Bijlage afb. 62: Herstel en versteviging van de kinderbalken met epoxymortel na het afkappen van slechte delen (Triconsult, 2014).



Bijlage afb. 63: Gerestaureerde bichrome plafonds en lijstwerk op de moerbalk, niv. 1 (Studio Roma, 2014).



Bijlage afb. 64: Gerestaureerd bichroom lijstwerk met fragment van gerestaureerde 15de-eeuwse gepolychromeerde troggewelven, vloer niv. 1 (Studio Roma, 2014).

PRIORIJ VAN HET ROOD KLOOSTER, OUDERGEM



Bijlage afb. 65: Oostgevel van de priorij (G. De Kinder, 2018).



Bijlage afb. 66: Noord- en westgevel van de priorij (La Meuse, 2018).



Bijlage afb. 67: Kapittelzaal niv. 0, verwijderde bepleistering van moerbalken (A. Vermijlen, 2005).



Bijlage afb. 68: Voormalige eetzaal niv. 0, sonderingsopeningen (A. Vermijlen, 2005).



Bijlage afb. 69: Kapittelzaal niv. 0, alle historisch pleisterwerk verwijderd (A. Vermijlen, 2006).



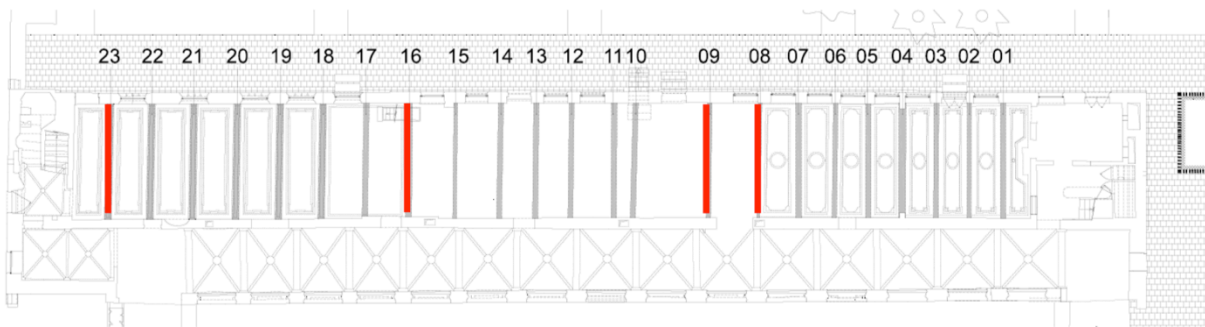
Bijlage afb. 70: Voormalige eetzaal niv. 0, verwijderd pleisterwerk van moerbalken (A. Vermijlen, 2006).



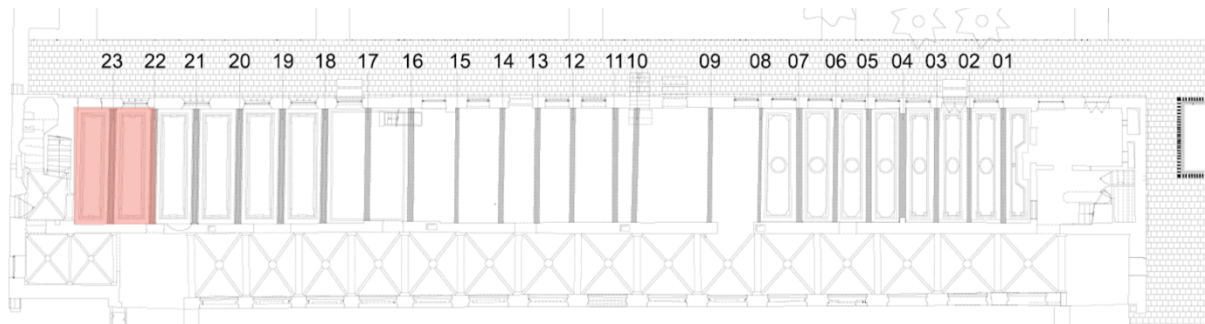
Bijlage afb. 71: Eikenhouten plankenvloer niv. 1 (A. Vermijlen, 2006).



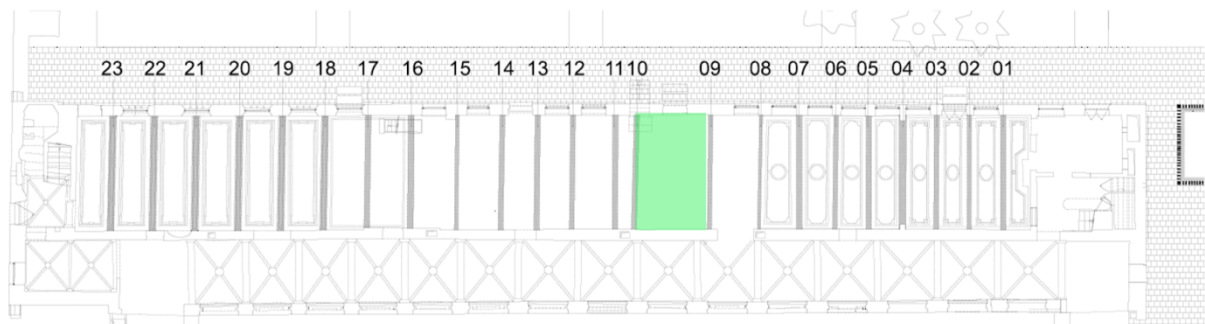
Bijlage afb. 72: Voormalige eetzaal niv. 0 met verwijderd pleisterwerk van moerbalken (Origin, 2016).



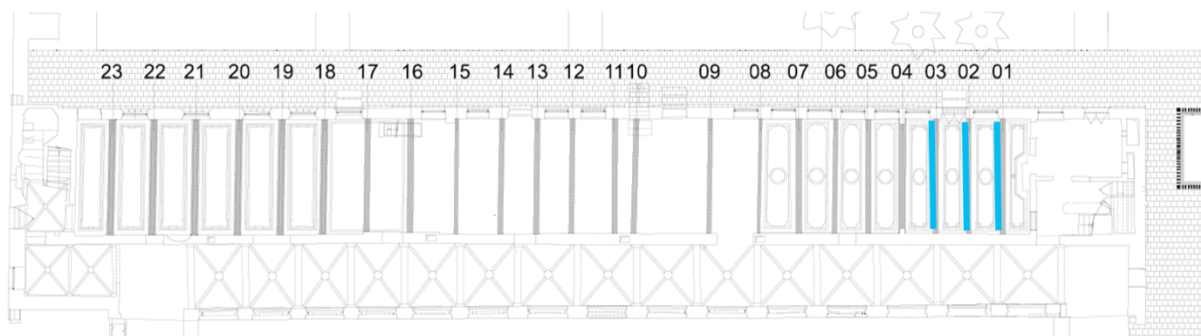
Bijlage afb. 73: Te vervangen moerbalken wegens oudere vervanging door staalprofielen of zeer ernstige biologische aantasting (Origin, 2019).



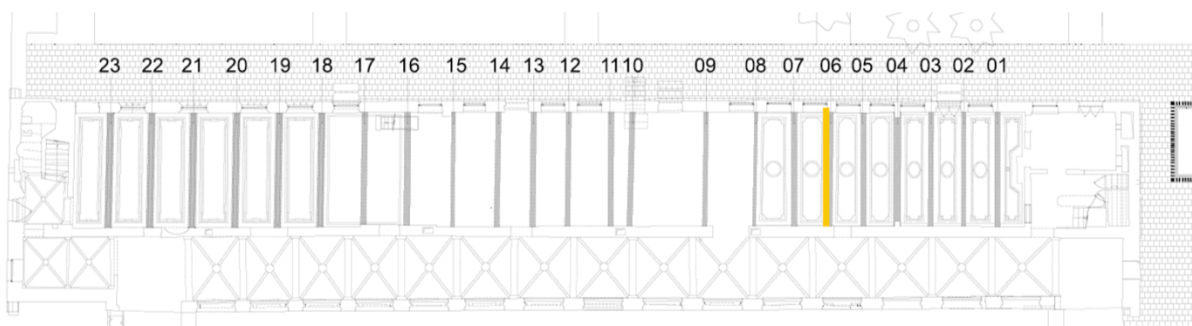
Bijlage afb. 74: Nieuwe kinderbalken 10 x 10 cm (Origin, 2019).



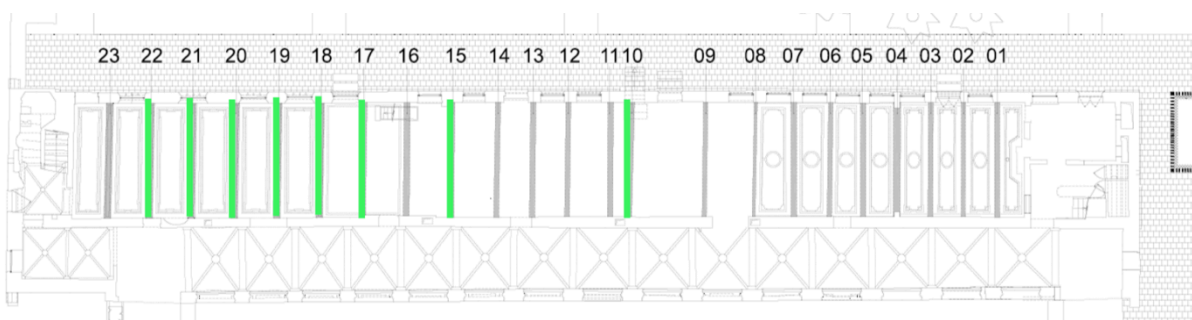
Bijlage afb. 75: Nieuwe kinderbalken 16 x 16 cm (Origin, 2019).



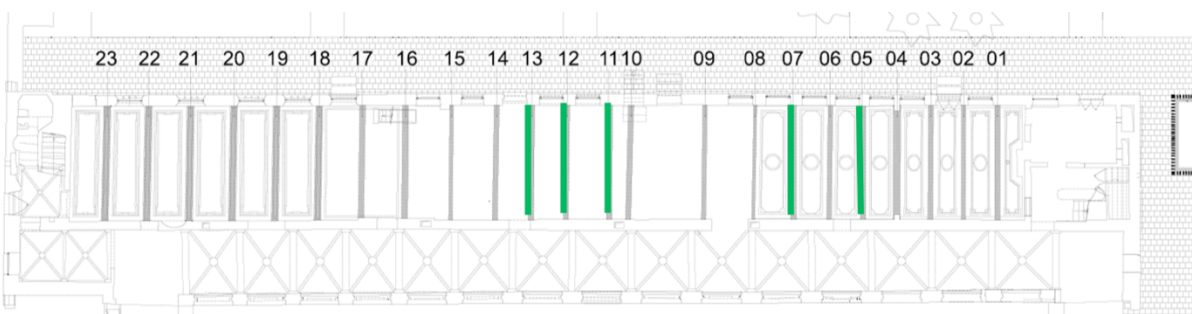
Bijlage afb. 76: Te verstevigen moerbalken met staalplaten van 250 x 12 mm onderaan (Origin, 2019).



Bijlage afb. 77: Te verstevigen moerbalken met staalplaten van 200 x 12 mm onderaan (Origin, 2019).



Bijlage afb. 78: Te verstevigen moerbalken met staalplaten van 250 x 6 mm onderaan (Origin, 2019).



Bijlage afb. 79: Te verstevigen moerbalken met staalplaten van 150 x 4 mm onderaan (Origin, 2019).