

# Club Brugge: Ondersteuning van voetbaltactiek door visualisatie van bewegingsdata

Nikias Arts

Promotoren: prof. dr. Guy De Tré, prof. dr. Nico Van de Weghe  
Begeleiders: ir. Christophe Billiet, Seyed Hossein Chavoshi

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

Vakgroep Telecommunicatie en Informatieverwerking  
Voorzitter: prof. dr. ir. Herwig Bruneel

Vakgroep Geografie  
Voorzitter: prof. dr. Philippe De Maeyer

Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur  
Academiejaar 2013-2014





# Club Brugge: Ondersteuning van voetbaltactiek door visualisatie van bewegingsdata

Nikias Arts

Promotoren: prof. dr. Guy De Tré, prof. dr. Nico Van de Weghe  
Begeleiders: ir. Christophe Billiet, Seyed Hossein Chavoshi

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

Vakgroep Telecommunicatie en Informatieverwerking  
Voorzitter: prof. dr. ir. Herwig Bruneel

Vakgroep Geografie  
Voorzitter: prof. dr. Philippe De Maeyer

Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur  
Academiejaar 2013-2014



# Dankwoord

Voor de verwezenlijking van mijn masterproef gaat een groot dankwoord uit naar mijn begeleider, ir. Christophe Billiet. Van bij het begin van mijn masterproef, het ontdekken van de materie tot het schrijven van de laatste woorden stond hij altijd paraat met zijn uitgebreide bron van kennis. De wekelijkse vergaderingen die we hielden waren niet alleen heel informatief, maar ook enorm aangenaam. Deze hebben mij ook een beperkte kijk in het leven van een ‘academicus’ verschaft. Dankzij hem heb ik het afgelopen jaar enorm veel inzichten opgedaan en nieuwe vaardigheden aangeleerd. Een woord van dank gaat ook uit naar mijn promotor prof. dr. Guy De Tré en copromotor prof. dr. Nico Van de Weghe voor het scheppen van de mogelijkheid dit onderzoek te verrichten.

Ook nog een extra woord van dank aan Pengdong Zhang, voor het aanbrengen van een aantal zeer bruikbare tools in Matlab en het helpen bij het uitwerken van mijn casestudie.

Tot slot wil ik graag mijn ouders en mijn broer bedanken voor alle steun die ze mij de afgelopen vijf jaar geboden hebben. Soms besef ik dat ik te weinig stilsta bij hun opoffering om mij de mogelijkheid te bieden deze studies te voltooien.

*Felix qui potuit rerum cognoscere causas.*

*‘Gelukkig is hij die er in geslaagd is de oorzaken der dingen te doorgronden.’*

*Vergilius, Georgica II, 490*

# Toelating tot bruikleen

De auteur geeft de toelating dit afstudeerwerk voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van het afstudeerwerk te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit dit afstudeerwerk.

The author gives permission to make this master dissertation available for consultation and to copy parts of this master dissertation for personal use. In the case of any other use, the limitations of the copyright have to be respected, in particular with regard to the obligation to state expressly the source when quoting results from this master dissertation.

# Club Brugge: Ondersteuning van voetbaltactiek door visualisatie van bewegingsdata

door  
Nikias Arts

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

Academiejaar 2013–2014

Universiteit Gent

Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur

Vakgroep Telecommunicatie en Informatieverwerking

Voorzitter: prof. dr. ir. Herwig Bruneel

Vakgroep Geografie

Voorzitter: prof. dr. Philippe De Maeyer

Promotoren: prof. dr. Guy De Tré, prof. dr. Nico Van de Weghe

Begeleiders: ir. Christophe Billiet, Seyed Hossein Chavoshi

## Samenvatting

In dit werk worden een aantal visualisatie-technieken onderzocht die inwerken op het Continuous Triangular Model (CTM), gebruik makend van de mogelijkheidstheorie. In eerste instantie worden zowel de mogelijkheden als het CTM opgesteld en verduidelijkt. Vervolgens worden een aantal combinatie-operatoren onderzocht die zowel inwerken op twee CTM-diagrammen als op één enkel CTM-diagram. Tot slot wordt ook nog een casestudie verder uitgewerkt, waarin een verdedigende indicator van een veldspeler opgesteld wordt.

Alle theoretische aspecten in deze masterproef worden verder verduidelijkt aan de hand van voorbeelden uit de voetbalwereld. Hiervoor werd beroep gedaan op data verzameld zowel uit trainingssessies van Club Brugge KV als uit een competitiewedstrijd tussen Club Brugge en Standard Luik. Alle resultaten uit dit onderzoek hebben als doel een bijdrage te leveren tot de voetbaltactiek.

Als addendum voor deze masterproef werd ook nog een interview afgenomen met Gert Verheyen, een oud-speler van Club Brugge KV. Het doel van dit interview is nagaan wat de huidige invloed van data-analysetechnieken in de voetbalwereld is.

**Trefwoorden:** Continuous Triangular Model, mogelijkheidstheorie, tijdsintervallen, analysetechnieken, voetbal.

# Club Brugge: Supporting football tactics through the visualization of movement data

Nikias Arts

Supervisor(s): prof. dr. Guy De Tré, prof. dr. Nico Van de Weghe, ir. Christophe Billiet, Seyed Hossein Chavoshi

**Abstract**—In this paper the combination of both the Continuous Triangular Model (CTM) and possibility theory is being investigated. In a first section, both the possibilities and the CTM-diagrams are constructed and explained. In a next section several combination operators between these diagrams are constructed and their influence evaluated. The last section contains a case study on the defensive behaviours of football players, combining the knowledge from previous sections. All information is extracted from a dataset provided by Club Brugge KV and all results in this paper aim to contribute to football tactics.

**Keywords**—Continuous Triangular Model, possibility theory, time interval, visual analysis, football

## I. INTRODUCTION

Time is and will always be central in every event. An *event* can be anything occurring in time, for example the first red card of a football game is an event but so is the final game of the World Cup. These events can be associated to *time intervals* by defining both a start point and an end point. For example the time interval which indicates the duration of one half of a football game consists of the start point of the first whistle of the game and the end point of the last whistle, indicating that it is time for a break for the players. All this events can have properties associated to them, which are called *measurement results*. An example of such a measurement result is the speed of a player at a certain moment in the game.

Both these time intervals and measurement results can be visualised in what is generally referred to as the *classic visualisation method*. This method consists of a two-dimensional diagram, indicating the time on the horizontal axis and either the different time intervals or the measurement values on the vertical axis. The most well-known reasoning about time-intervals is the research done by Allen, which lead to the thirteen *Allen-relations* [1]. Some examples of these relations are the ‘before’- and the ‘during’-relation.

Still many disciplines were faced with the problem of handling time-series data when using the classic visualisation method, thus extensive research in multiple domains has led to the introduction of alternative visualisation methods: the *Triangular Model* (TM) and the *Continuous Triangular Model* (CTM).

The rest of this paper is constructed as follows: in section II the most important concepts of the possibility theory are introduced, in section III both the TM and the CTM are explained, in section IV different combination operators are examined and section V presents a case study on the defensive behaviour of football players. Finally, in section VI, the conclusions are summed up.

## II. POSSIBILITY THEORY

The concepts of possibility theory are based on uncertainty in experiments and were first introduced by Zadeh [2], [3]. The possibility theory makes use of *fuzzy sets*  $\tilde{V}$  to indicate which are the possible outcomes of an experiment, an experiment over which the user has little or no control. Since there is no control over the experiment, the information gathered from such an experiment is referred to as *imperfect information*.

The *membership grades*  $\mu_{\tilde{V}}(x)$  indicate to what extent an element belongs to the fuzzy set  $\tilde{V}$ , these grades are based on a *membership function*  $\mu_{\tilde{V}}$ . A membership grade  $\mu_{\tilde{V}}(x)$  equal to 1 indicates that an element totally belongs to  $\tilde{V}$ , equal to 0 indicates that an element doesn’t belong to  $\tilde{V}$  and if the outcome of the membership grade is in  $]0, 1[$ , this indicates that the element partly belongs to  $\tilde{V}$ . The relation between the fuzzy set  $\tilde{V}$  and the membership grades corresponds to Eq. 1.

$$\tilde{V} = \{(x, \mu_{\tilde{V}}(x)) | \forall x \in U : \mu_{\tilde{V}}(x) > 0\} \quad (1)$$

Making use of measurement results, these membership functions can be used to construct *possibility distributions*  $\pi_X(x)$ . The *possibilities*, based on these distributions, model the possibility that the measurement results correspond to a given proposition  $X$  in the investigated time interval.

Specific possibilities can then be defined, such as the possibility that a player has a ‘high hearth rate’ or the possibility that a player is ‘actively participating’ in an action on the field. The relation between the possibilities for the proposition  $X$  and the membership grades corresponds to Eq. 2.

$$\forall x \in U : \pi_X(x) = \mu_{\tilde{V}}(x) \quad (2)$$

## III. TRIANGULAR MODEL & CONTINUOUS TRIANGULAR MODEL

In this paper the model that will be used is the Continuous Triangular Model, but since this model is based on the Triangular Model the latter is introduced first.

### A. Triangular Model

As stated in section I, there were several problems when using the classic visualisation method. A first solution to resolve these problems was proposed by Kulpa [4]. His solution involved a diagrammatic representation of time intervals, no longer using the classic visualisation method but using different angles to represent the lengths of time intervals. His representation was used and renamed the *Triangular Model* (TM) by Van de Weghe et

al., who used it in archaeological use cases [5]. In this model time intervals are represented as points in the interval space. A TM-diagram can be constructed as follows: for each time interval  $I$ , draw a straight line  $L_1$  through the beginning of the time interval ( $I^-$ ), with  $\alpha_1$  the angle between  $L_1$  and the horizontal axis. Also, draw a straight line  $L_2$  through the end of the time interval ( $I^+$ ), with  $\alpha_2$  the angle between  $L_2$  and the horizontal axis. The intersection of both lines  $L_1$  and  $L_2$  is called the interval point  $I$ , representing the time interval. Fig. 1 illustrates the concept of representing a time interval as a point in the interval space using the TM.

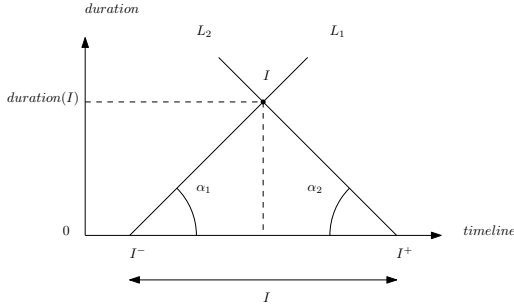


Fig. 1: Configuration of the Triangular Model.

### B. Continuous Triangular Model

An ‘evolution’ of this model is given by the *Continuous Triangular Model* (CTM), which allows time series to be displayed in intervals of different lengths in a continuous field. In this continuous field, every point represents a specific interval and is referenced to a certain value of the interval, such as the summation or the average of the underlying values [6], [7]. The function which obtains this value is called the *aggregation function*. When displaying possibilities, as explained in the previous section, in a CTM-diagram the used aggregation function is the minimum-function. A CTM-diagram can be constructed as follows: for every subinterval  $I_n$  of  $I$ , the interval point  $I_n$  in the interval space corresponds to an aggregated measurement result. This result,  $f(y_k, y_{k+1}, \dots, y_1)$ , is obtained by aggregating the measurement results  $y_k, y_{k+1}, \dots, y_1$ , belonging to an interval  $I_n$  and using the aggregation function  $f$  or in the case that possibilities are visualised  $f$  corresponds to  $min$ . Fig. 2 illustrates the concept of the aggregation operator.

Also note that each aggregated measurement result in the CTM-diagram will receive a unique color. In section IV this will be illustrated by the colorbar to the right of each CTM-diagram.

## IV. COMBINATION OPERATORS

In section II and section III the concepts of possibility theory and the CTM were introduced. In this section different *combination operators* are proposed, which can be divided in three classes: the conjunction operator, the disjunction operator and several implication operators. All of these operators act on the possibilities at the same interval points in the CTM-diagrams.

In this paper two tracks are set up, on which the influence of the combination operators will be investigated. In the **first** track the combination operator  $\otimes$  will combine all interval points

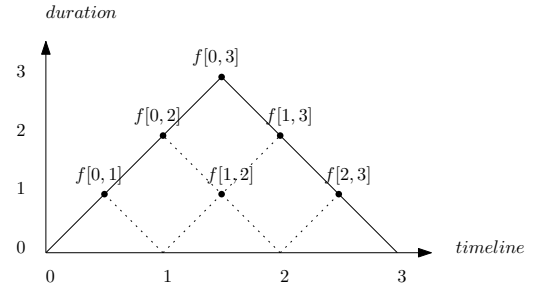


Fig. 2: Representation of a linear data sequence, indicating the use of the aggregation operator  $f$ .

of two CTM-diagrams and result in a CTM-diagram called  $CTM_{track1}$ . In the **second** track the combination operator  $\otimes$  will combine the possibilities and the resulting CTM-diagram,  $CTM_{track2}$ , will be constructed using the previously defined aggregation operator  $min$ . This second track will always yield a correct result and will be compared to the first track to examine if both tracks deliver the same result; this process is demonstrated in Fig. 3.

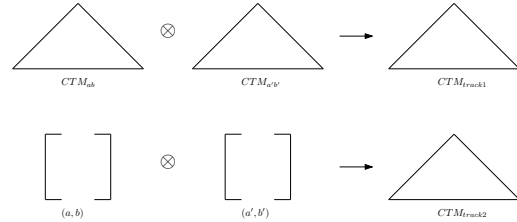


Fig. 3: Set-up of both the first and the second track using a general combination operator  $\otimes$  on the CTM-diagrams containing the possibilities in the first track and the possibilities itself in the second track.

The different classes of operators are listed below.

**Conjunction operator:** This operator calculates the intersection between two membership grades, this is done making use of the t-norm  $min$  which is the same as the aggregation operator in the CTM-diagram [2]. Fig. 4 contains the first and second track, using this combination operator on the possibilities that ‘a player has a high hearth rate’ and ‘a player is actively participating in an action on the field’. As can be seen, the result is the same for both tracks. In a next step, these results can be evaluated. As can be seen in Fig. 4, we come to the conclusion that between the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> minute the possibility is high that the player both has a ‘high hearth rate’ and is ‘actively participating’ in an action on the field. Between the 3<sup>rd</sup> and the 4<sup>th</sup> we see that the latter possibility is almost equal to zero.

**Disjunction operator:** This operator calculates the union between two membership grades, this is done making use of the t-conorm  $max$  [2]. Fig. 5 contains the first and second track, using this combination operator on the possibilities that a player has a ‘high hearth rate’ and a player is ‘actively participating’ in an action on the field. For this class of combination operator, both tracks clearly don’t deliver the same result. As stated before, the second track always yields a correct result thus this



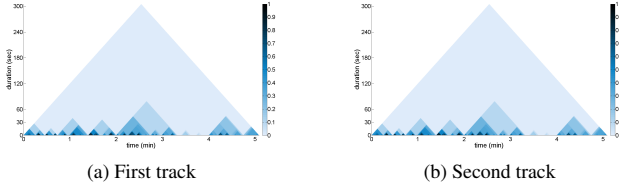


Fig. 4: Result of conjunction operator for first and second track.

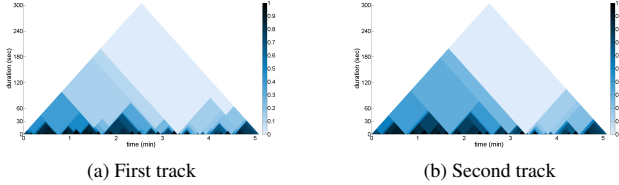


Fig. 5: Result of disjunction operator for first and second track.

track will be used for further, semantic analysis.

**Implication operator:** This operator calculates the implication between two membership grades. Two classes of implication operators are investigated: the S-implications and the R-implications. Also for this class of combination operators, both tracks won't lead to the same result.

A last operator is called the **projection operator** and will be used in section V. This operator doesn't combine two CTM-diagrams or two possibilities, but selects only certain levels of time granularity of the time intervals. This means that the time interval of each aggregated measurement will be evaluated and if it satisfies the given condition, the time-interval is visualised in the resulting CTM-diagram. So, if we evaluate the projection operator on a CTM-diagram and the condition is the maximum time granularity then the result will be the same as the original CTM-diagram.

## V. CASE STUDY ON DEFENSIVE BEHAVIOUR OF PLAYERS

European football clubs such as Chelsea FC all heavily rely on a defensive organization to win games. In order to make this tactical plan succeed, every player needs to participate in defensive actions [8]. Thus an important question arises: how can we determine to what extent a player is defending or in other words what is the possibility that a player is 'defending'?

In this section an answer to the above question is given by first proposing an algorithm to calculate, for a certain player, the distance to the perpendicular of his team. We can then use this relative distance to define the possibilities and visualise these possibilities in a CTM-diagram for further analysis.

### A. Relative distance to perpendicular

For each team, the centroid is calculated as the mean of all  $(X, Y)$ -locations of all players. This centroid is calculated at each point in the time interval of the full game and is denoted  $(C_X, C_Y)$  for a particular team. For each player the distance to the perpendicular can then be calculated as shown in Fig. 6.

Here, the relative distance for a player belonging to the blue team is calculated.

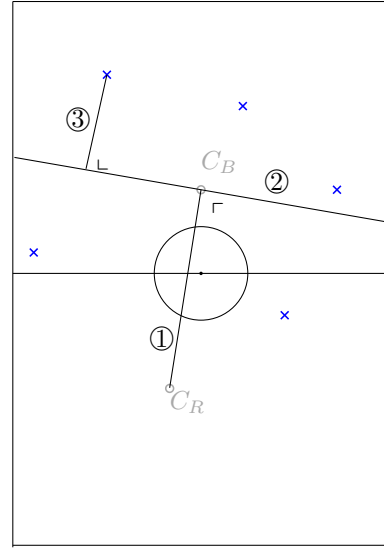


Fig. 6: Algorithm to determine the relative distance for a player from the blue team to the perpendicular, through its team's centroid  $C_B$ . Step 1 draws the line between both centroids ( $C_R$  for the red team and  $C_B$  for the blue team), step 2 draws the perpendicular on the centroid of the team the player belongs to and in step 3 the relative distance for the player is calculated.

The relative distance for a player with position  $(S_X, S_Y)$  and the centroid of his team  $(C_X, C_Y)$  is then given by Eq. 3, where  $m_{perp}$  indicates the slope of the perpendicular. This distance is positive if the player is above the perpendicular (defending) and negative if the player is below the perpendicular (attacking).

$$\pm \frac{|S_Y - m_{perp} \cdot S_X - (C_Y - m_{perp} \cdot C_X)|}{\sqrt{m_{perp}^2 + 1}} \quad (3)$$

### B. Possibility that player is defending

The relative distance calculated in section V-A is then used to model the possibility that a player is 'defending'. This requires the definition of a membership function, as defined in Eq. 4.

$$\mu_{defensive}(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x < 0 \\ \frac{x}{8} & \text{if } 0 \leq x \leq 8 \\ 1 & \text{if } x > 8 \end{cases} \quad (4)$$

The possibility for each point  $x$  in the time interval can then be calculated as defined in Eq. 5.

$$\forall x \in U : \pi_{defending}(x) = \mu_{defensive}(x) \quad (5)$$

### C. Analysis of CTM-diagram

The last step in the analysis of the case study is the visualisation of these possibilities in a CTM-diagram. Therefore, four

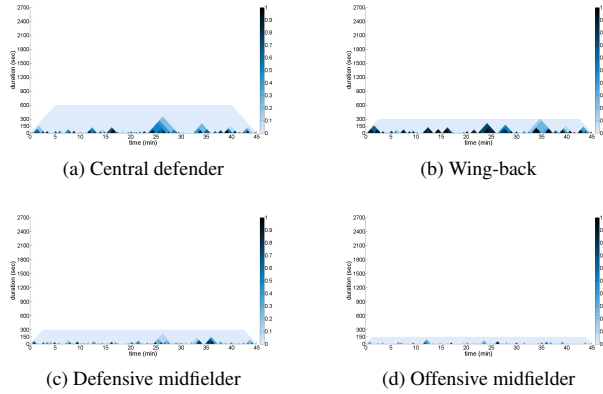


Fig. 7: Possibility that the player is ‘defending’ for four profiles of players. The game displayed was Club Brugge - Standard Luik on the 2<sup>nd</sup> of March 2014. One half, of 45 minutes, is observed and on all CTM-diagrams, the projection-operator is applied.

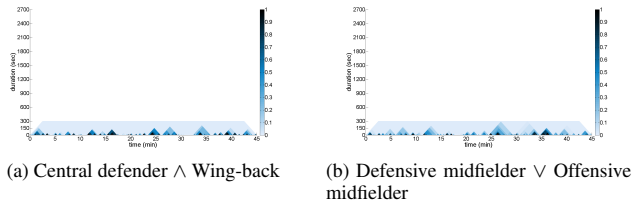


Fig. 8: Result of two combination operators on the possibilities, as portrayed in Fig.7. The game displayed was Club Brugge - Standard Luik on the 2<sup>nd</sup> of March 2014. One half, of 45 minutes, is observed and on all CTM-diagrams, the projection-operator is applied.

distinct profiles of players were defined: a central defender, a wing-back, a defensive midfielder and an offensive midfielder. The resulting CTM-diagram for the four profiles is given in Fig. 7.

These possibilities can now be used to perform the combination operations from section IV. In Fig. 8 the conjunction-operator ( $\wedge$ ) and the disjunction-operator ( $\vee$ ) are used to combine several possibilities.

The conjunction-operator can provide an answer to the question if ‘both the central defender and the wing-back are defending’. As can be seen in Fig. 8a, we see that the duration for high possibilities is often short; this means that there are few time intervals where it is plausible that both the central defender and the wing-back are ‘defending’. We can also see that between minute 30 and minute 33 the possibility is equal to 0, indicating that the possibility that a player is ‘defending’ is low for at least one player.

The disjunction-operator on the other hand can provide an answer to the question if ‘either the defensive midfielder or the offensive midfielder is defending’. As can be seen in Fig. 8b, this possibility is high between minute 25 and minute 30 which indicates that it is plausible that in this five minute time interval

both players are defending.

## VI. CONCLUSION

This paper investigates the visualisation of possibilities in CTM-diagrams. To perform combinations on these possibilities (and their visualisation in the CTM-diagram) several combination operators have been proposed. For each combination operator two tracks have been investigated, for which the second track always generated a correct result. These operations allow more complex queries and all contribute to optimizing football tactics. When a combination is performed, the time intervals have the same length.

An interesting research topic could be to examine the influence if the time intervals have different lengths. Also for a more precise calculation of the relative distance for a player to the perpendicular of his team, ‘standard situations’ such as corners and free kicks could be taken into account, if this information is provided in the dataset. Also other possibilities, using the given dataset, could be defined to deliver further insights into football tactics.

## REFERENCES

- [1] James F. Allen, “Maintaining knowledge about temporal intervals,” *Communications of the ACM*, vol. 26, no. 11, pp. 832–843, 1983.
- [2] L.A. Zadeh, “Fuzzy sets,” *Information and Control*, pp. 338–353, 1965.
- [3] L.A. Zadeh, “Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility,” *Fuzzy Sets and Systems*, pp. 3–28, 1978.
- [4] Zenon Kulpa, “Diagrammatic representation of interval space in proving theorems about interval relations,” pp. 4–5, 1996.
- [5] N. Van de Weghe, R. Docter, P. De Maeyer, B. Bechtold, and K. Ryckbosch, “The triangular model as an instrument for visualising and analysing residuality,” *Journal of Archaeological Science*, vol. 34, no. 4, pp. 649–655, Apr. 2007.
- [6] Y. Qiang, S. H. Chavoshi, S. Logghe, P. De Maeyer, and N. Van de Weghe, “Multi-scale analysis of linear data in a two-dimensional space,” *Information Visualization*, 2013.
- [7] Y. Qiang, *Modelling temporal information in a two-dimensional space*, Ph.D. thesis, Ghent University, 2012.
- [8] FourFourTwo, “Mourinho explains pragmatic approach,” <http://www.fourfourtwo.com/news/>, 3 May 2014.

# Inhoudsopgave

Dankwoord	ii
Toelating tot bruikleen	iii
Overzicht	iv
Extended abstract	v
Inhoudsopgave	ix
Afkortingen en symbolen	xii
<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Voetbaltactiek . . . . .	1
1.2 Situering van de masterproef . . . . .	2
1.3 Onderzoeksvragen . . . . .	4
1.4 Gebruikte dataset en software . . . . .	5
1.5 Structuur van de masterproef . . . . .	5
<b>2 Tijdsintervallen</b>	<b>7</b>
2.1 Tijd als algemeen begrip . . . . .	9
2.2 Onderlinge relaties . . . . .	10
2.3 Visuele voorstelling . . . . .	12
2.4 Tekortkoming tijdsinterval . . . . .	13
<b>3 Onzekerheid en de mogelijkheidstheorie</b>	<b>15</b>
3.1 Mogelijkheidstheorie . . . . .	16
3.1.1 Verschillende soorten informatie . . . . .	17
3.1.2 Verzamelingenleer . . . . .	17
3.1.3 Mogelijkheidsdistributies . . . . .	20
3.2 Ondersteunende operaties . . . . .	22
3.3 Toepassing op dataset Club Brugge KV . . . . .	23
3.3.1 Hoge bodyload . . . . .	24
3.3.2 Hoge hartslag . . . . .	26
3.3.3 Actieve deelname aan spelsituatie . . . . .	27

<b>4</b>	<b>Studie van het Continuous Triangular Model</b>	<b>29</b>
4.1	Triangular Model . . . . .	30
4.2	Continuous Triangular Model . . . . .	32
4.2.1	Constructie van CTM . . . . .	32
4.2.2	Aggregatie-operator in CTM . . . . .	32
4.2.3	Visuele weergave in CTM . . . . .	34
4.2.4	Possibiliteiten in CTM . . . . .	34
<b>5</b>	<b>Algemene operatoren van het Continuous Triangular Model</b>	<b>37</b>
5.1	Algemene inwerking van een operator . . . . .	39
5.2	Opstellen van beide tracks . . . . .	39
5.3	Conjunctie-operator . . . . .	40
5.4	Disjunctie-operator . . . . .	43
5.5	S-implicaties . . . . .	45
5.5.1	Kleene-Dienes-operator . . . . .	46
5.5.2	Lukasiewicz <sub>S</sub> -operator . . . . .	48
5.5.3	Reichenbach-operator . . . . .	50
5.6	R-implicaties . . . . .	52
5.6.1	Gödel-operator . . . . .	53
5.6.2	Lukasiewicz <sub>R</sub> -operator . . . . .	55
5.6.3	Goguen-operator . . . . .	57
5.7	Algemene operator . . . . .	60
5.8	Projectie-operator . . . . .	60
5.9	Overige operatoren . . . . .	62
5.10	Semantische betekenis . . . . .	62
5.10.1	Conjunctie-operator . . . . .	62
5.10.2	Disjunctie-operator . . . . .	65
5.10.3	Implicatie-operator . . . . .	66
<b>6</b>	<b>Casestudie over het verdedigend gedrag van voetbalspelers</b>	<b>69</b>
6.1	Algoritme tot bepaling verdedigend gedrag . . . . .	70
6.1.1	Centroïde van de ploeg . . . . .	70
6.1.2	Afstand tot de centroïde . . . . .	71
6.1.3	Volledig algoritme . . . . .	72
6.2	Toepassing algoritme op trainingssessie . . . . .	74
6.2.1	Verdedigend gedrag verdediger . . . . .	75
6.2.2	Verdedigend gedrag aanvaller . . . . .	77
6.2.3	Verdedigend gedrag middenvelder . . . . .	78
6.3	Toepassing algoritme op competitiewedstrijd . . . . .	79
6.3.1	Verdedigend gedrag verdediger . . . . .	81
6.3.2	Verdedigend gedrag aanvaller . . . . .	84
6.3.3	Verdedigend gedrag middenvelder . . . . .	85
6.4	Semantische betekenis verdedigend gedrag . . . . .	88

---

<b>7 Conclusies en de toekomst van het voetbal</b>	<b>91</b>
7.1 Conclusies . . . . .	91
7.2 Verdere onderzoekspistes . . . . .	92
7.3 Evolutie van het voetbal . . . . .	93
<b>A Interview met Gert Verheyen</b>	<b>95</b>
<b>Bibliografie</b>	<b>103</b>
<b>Lijst van figuren</b>	<b>105</b>
<b>Lijst van tabellen</b>	<b>109</b>
<b>Lijst van algoritmen</b>	<b>110</b>

# Afkortingen en symbolen

$\otimes$	een willekeurige operator $\otimes$
$\odot$	een algemene operator $\odot$
$\wedge$	de conjunctie-operator
$\vee$	de disjunctie-operator
$\Rightarrow$	de implicatie-operator
$\Rightarrow_k$	de vage implicatie
$\Rightarrow_S$	de S-implicatie
$\Rightarrow_{SK-D}$	de Kleene-Dienes-implicatie
$\Rightarrow_{SLu}$	de Lukasiewicz <sub>S</sub> -implicatie
$\Rightarrow_{SRb}$	de Reichenbach-implicatie
$\Rightarrow_R$	de R-implicatie
$\Rightarrow_{RG\ddot{o}}$	de Gödel-implicatie
$\Rightarrow_{RLu}$	de Lukasiewicz <sub>R</sub> -implicatie
$\Rightarrow_{RGg}$	de Goguen-implicatie
$\Leftrightarrow$	de equivalentie-operator
$[a, b]$	de visuele voorstelling van een willekeurig tijdsinterval $T$ door beginpunt $a$ en eindpunt $b$ in het CTM-diagram
$\alpha_1$	de hoek in het TM of CTM tussen de horizontale as en de rechte $L_1$
$\alpha_2$	de hoek in het TM of CTM tussen de horizontale as en de rechte $L_2$
bpm	beats per minute (hartslagen per minuut)
CTM	Continuous Triangular Model
$C_X$	de $X$ -coördinaat van de centroïde $C$
$C_Y$	de $Y$ -coördinaat van de centroïde $C$
$f$	de aggregatie-operator in het CTM
$f(y_i, y_{i+1}, \dots, y_j)$	de notatie die de aggregatie van de meetresultaten $(y_i, y_{i+1}, \dots, y_j)$ voorstelt met aggregatie-operator $f$
$f[x_i, x_j]$	de notatie die de aggregatie van de meetresultaten in het interval $[x_i, x_j]$ voorstelt met aggregatie-operator $f$
Gödel	de Gödel-operator

<i>Goguen</i>	de Goguen-operator
<i>i</i>	een t-norm uit de vaagverzamelingsleer
<i>I</i>	het tijdsinterval <i>I</i>
<i>I<sub>n</sub></i>	een deelinterval <i>I<sub>n</sub></i> van het tijdsinterval <i>I</i>
<i>I<sup>-</sup></i>	het begintijdstip van het tijdsinterval <i>I</i>
<i>I<sup>+</sup></i>	het eindtijdstip van het tijdsinterval <i>I</i>
$ I $	de lengte van het tijdsinterval <i>I</i>
$[I^-, I^+]$	de visuele voorstelling van het tijdsinterval <i>I</i> door het begintijdstip <i>I<sup>-</sup></i> en het eindtijdstip <i>I<sup>+</sup></i>
<i>L</i>	de maximale lengte <i>L</i> voor een tijdsinterval bij de projectie-operator
<i>Luka<sub>R</sub></i>	de Lukasiewicz <sub>R</sub> -operator
<i>m</i>	de richtingscoördinaat <i>m</i> van een rechte
max	de maximum-operator
min	de minimum-operator
$\mu_{\tilde{V}}$	de lidmaatschapsfunctie voor een vaagverzameling $\tilde{V}$
$\mu_{\tilde{V}}(x)$	de lidmaatschapsgraad van een element <i>x</i> voor een vaagverzameling $\tilde{V}$
<i>p</i>	een punt <i>p</i> uit het CTM-diagram
<i>p<sub>o</sub></i>	een punt <i>p<sub>o</sub></i> uit het originele CTM-diagram <i>CTM<sub>o</sub></i> , voor toepassing van de projectie-operator
<i>p<sub>r</sub></i>	een punt <i>p<sub>r</sub></i> uit het resulterende CTM-diagram <i>CTM<sub>r</sub></i> , na toepassing van de projectie-operator
$\pi(p)$	de mogelijkheid van een punt <i>p</i> uit het CTM-diagram
$\pi_X(x)$	de mogelijkheid van een element <i>x</i> voor een propositie <i>X</i>
<i>S<sub>X</sub></i>	de <i>X</i> -coördinaat van de speler <i>S</i>
<i>S<sub>Y</sub></i>	de <i>Y</i> -coördinaat van de speler <i>S</i>
<i>T</i>	een willekeurig tijdsinterval <i>T</i>
TM	Triangular Model
<i>u</i>	een t-conorm uit de vaagverzamelingsleer
<i>U</i>	het universum <i>U</i>
<i>V</i>	een scherpe verzameling <i>V</i>
$\tilde{V}$	een vaagverzameling $\tilde{V}$
$\tilde{V}_1 \cap \tilde{V}_2$	de doorsnede van twee vaagverzamelingen $\tilde{V}_1$ en $\tilde{V}_2$
$\tilde{V}_1 \cup \tilde{V}_2$	de unie van twee vaagverzamelingen $\tilde{V}_1$ en $\tilde{V}_2$
<i>x</i>	een element <i>x</i> in het universum <i>U</i>
$[x_i, x_j]$	een interval begrensd door het beginpunt <i>x<sub>i</sub></i> en het eindpunt <i>x<sub>j</sub></i>
<i>X</i>	een propositie <i>X</i>
$(y_i, y_{i+1}, \dots, y_j)$	de meetresultaten $(y_i, y_{i+1}, \dots, y_j)$ in het interval $[x_i, x_j]$

# Hoofdstuk 1

## Inleiding

In dit hoofdstuk wordt in sectie 1.1 meer uitleg gegeven over het belang van voetbaltactiek. Sectie 1.2 geeft een situering van de masterproef, terwijl in sectie 1.3 de onderzoeksvragen worden opgesteld die in deze masterproef behandeld worden. Vervolgens wordt in sectie 1.4 wat meer uitleg gegeven over de gebruikte datasets en de gebruikte software. Tot slot wordt in sectie 1.5 de structuur van deze masterproef besproken.

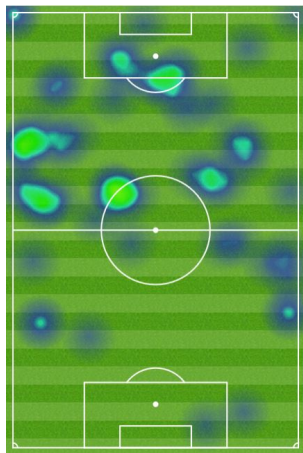
### 1.1 Voetbaltactiek

Tactiek in de meest populaire sport ter wereld, namelijk voetbal: sinds de jaren zeventig van de negentiende eeuw had men er al aandacht voor. Die eerste vorm van tactiek was op zijn zachtst gezegd vrij rudimentair en bestond uit het feit dat een aantal (Britse) ploegen er voor kozen om niet alle spelers te laten aanvallen, maar ook enkele post te laten vatten voor doel, omdat men ondervond dat dit het aantal kansen voor de tegenpartij drastisch verlaagde. Dit nieuw elan in het voetbal werd als laf beschouwd en ging *linea recta* in tegen de *rush and kick* cultuur van de Britse clubs. Bijna 150 jaar later zien we dat deze perceptie totaal gewijzigd is en dat er ontelbaar veel opstellingen bestaan, allemaal met hun eigen strategie om het de tegenstander zo moeilijk mogelijk te maken [Wil10].

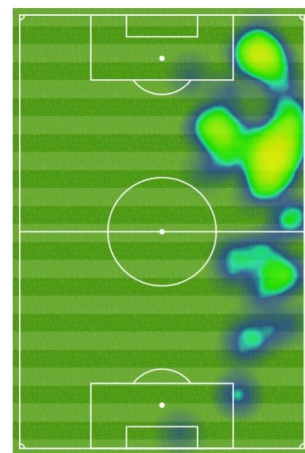
Een andere evolutie die ook niet onopgemerkt voorbijgaat, is de analyse van de prestaties van de spelers. Veel toeschouwers geven commentaar over de wedstrijd die ze aan het volgen zijn, al dan niet gebruik makend van sociale media. Bovendien zijn er honderd en een mogelijkheden voor de voetballiefhebber om zelf een favoriete opstelling te maken, om het aantal schoten van de favoriete spits te bestuderen, om het aantal voltooide passes van de draaischijf in het middenveld te bekijken, om het aantal afgelegde kilometers van de *box-to-box* speler te analyseren en ga zo maar door. Deze mogelijkheden zijn allemaal terug te vinden in een evoluerend marktsegment, waarbij steeds nieuwe bedrijven opduiken. Één van de bedrijven al het meest vertegenwoordigd op de markt is OptaSports. Deze organisatie biedt een hele lading *XML-tools* en *plug-ins* aan voor zowel bedrijven als eindgebruikers [Opt14]. In België zien we dat de website [sporza.be](http://sporza.be) hier al van gebruik maakt in hun *live matchcenter*, waarbij elke speler per team geanalyseerd kan worden [Spo13].



Enkele voorbeelden van visualisaties met de beschikbare tools worden gegeven in figuur 1.1.<sup>1</sup> Hier wordt gebruik gemaakt van één van de beschikbare tools op de website [sporza.be](http://www.sporza.be), namelijk de *heatmap*. Deze *heatmap* is een indicatie in welke zones van het voetbalveld een bepaalde speler het meest actief is en wordt aangegeven door een felle kleur. We kunnen meteen al een aantal eenvoudige conclusies trekken. In de tactiek van Chelsea FC ligt er duidelijk meer nadruk op het feit dat de flankaanvallers van kant moeten veranderen, terwijl dit bij Manchester United minder het geval is. Dit wordt geïllustreerd door het feit dat de *heatmap* van André Schürrle, in figuur 1.1a, veel meer verspreid ligt over het hele terrein, terwijl deze van Luis Antonio Valencia, in figuur 1.1b, duidelijk beperkt blijft tot de kant waar de flankaanvaller uitgespeeld wordt.



(a) Heatmap van André Schürrle in de wedstrijd Fullham - Chelsea FC.



(b) Heatmap van Luis Antonio Valencia in de wedstrijd Man United - West Ham.

Figuur 1.1: Heatmap, gebruik makend van de tool van OptaSports, van verschillende spelers in de Premier League.

Er is dus zeker en vast een enorme hoeveelheid aan informatie aanwezig op bovenstaande websites, maar daarbij duiken allerlei vragen op. Bijvoorbeeld hoe kan deze informatie gebruikt worden om professionele voetballers bij te staan? Hoe betrouwbaar zijn de verkregen resultaten eigenlijk? En op welke manier kunnen conclusies opgebouwd worden?

## 1.2 Situering van de masterproef

Initieel kan men dus stellen dat er nood is aan ontsluiting van sportdata in het algemeen en data verzameld van voetballers in het bijzonder. Met deze ontsluiting wordt het vinden van informatie en van kennis bedoeld. In deze masterproef wordt hiervoor beroep gedaan op een *state-of-the-art* visualisatie-techniek, het Continuous Triangular Model.

<sup>1</sup><http://www.sporza.be/cm/sporza/matchcenter/mc.voetbal/>

Voor deze masterproef werd een dataset beschikbaar gesteld van het B-elftal van Club Brugge KV, gemeten in de periode tussen september 2012 en november 2012. Tijdens deze metingen werden ofwel wedstrijden van vijf tegen vijf ofwel van negen tegen negen gespeeld, telkens met een doelman.

Centraal bij deze metingen en het gebruik van het Continuous Triangular Model (CTM) is dat deze data steeds over een bepaalde tijdsperiode beschouwd wordt. Zo duurde bijvoorbeeld elke negen tegen negen wedstrijd ongeveer 5 minuten, terwijl de vijf tegen vijf wedstrijden slechts 2.5 minuten duurden. Tijdens elke wedstrijd werd elke speler (behalve de doelmannen) uitgerust met een GPS-toestel dat allerlei informatie over de spelers bijhoudt.

Deze GPS-toestellen hebben om de 60 – 70 ms een meting uitgevoerd. De eigenschappen die tijdens deze wedstrijden werden opgemeten m.b.v. deze GPS-toestellen zijn: de positie, de snelheid en de versnelling die bepaald zijn door deze positie, de hartslag en de *bodyload* van de speler. De *bodyload* is een maat die aangeeft in welke mate de spieren van een speler verzuurd zijn. Voor elk van deze eigenschappen kan vervolgens, voor een bepaalde wedstrijd voor een bepaalde speler, een CTM-diagram geconstrueerd worden. Een overzicht van alle opgemeten eigenschappen, die in deze masterproef gebruikt worden, wordt gegeven in tabel 1.1.

meetwaarde	uitleg	eenheid
Time	werkelijke tijd	milliseconden (ms)
Speed	snelheid van speler	kilometer per uur (km/u)
Heart Rate	hartslag van speler	hartslagen per minuut (bpm)
Longitude	lengtegraad van speler	decimale graden (°)
Latitude	breedtegraad van speler	decimale graden (°)
Bodyload	relatieve impact op lichaam	-

Tabel 1.1: De verschillende eigenschappen opgemeten tijdens de oefenwedstrijden van de belofteploeg van Club Brugge KV.

Van zodra de verschillende CTM-diagrammen zijn opgesteld, duikt de coach in elk van ons op en willen we als objectieve waarnemer de verschillende prestaties van de spelers met elkaar gaan vergelijken. Ook proberen we trends te ontdekken over verschillende wedstrijden heen in de prestatie van spelers. Uit tabel 1.1 blijkt overigens duidelijk dat veel eigenschappen een verschillend datatype hebben en dat vergelijkingen tussen deze eigenschappen niet rechtstreeks mogelijk zijn.

Om de onzekerheid te modelleren die optreedt bij de interpretatie van de meetresultaten bij dergelijke experimenten, wordt gebruik gemaakt van de mogelijkheidstheorie. Op deze manier wordt niet rechtstreeks gewerkt met de originele meetwaarden, maar wel met de mogelijkheden die deze meetwaarden uitdrukken. Dit zorgt ervoor dat er een coherent

datatype is, waartussen combinaties mogelijk zijn. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met de relevantie van enkele combinaties. Een zinvolle combinatie zou bijvoorbeeld de hartslag in functie van de snelheid van de speler kunnen zijn. Het is dus duidelijk dat de onderliggende semantische betekenis van de resultaten ook onderzocht moet worden.

Tot slot kunnen een aantal interessante combinaties en vergelijkingen beschouwd worden, gedefinieerd op de gebruikte dataset. Hiervoor kan beroep gedaan worden op de eigenschappen van de mogelijkheden. In deze masterproef worden een aantal *combinatie-operatoren* onderzocht, waarbij de onderliggende waarden telkens mogelijkheden zijn.

### 1.3 Onderzoeksvragen

Zoals in sectie 1.2 aangegeven, wordt er gebruik gemaakt van mogelijkheden om de verschillende combinaties en vergelijkingen te realiseren. Deze mogelijkheden modelleren de plausibiliteit waarmee, gegeven een partieel gebrek aan kennis, de originele meetwaarden aangeven dat een bepaalde propositie gedurende het beschouwde interval waar is.

Deze aanpak zorgt ervoor dat het grootste probleem, de incoherente datatypes, verdwenen is aangezien elk CTM-diagram nu een mogelijkheid uitdrukt. Om het onderzoek nog meer af te bakenen worden ook enkel CTM-diagrammen beschouwd met eenzelfde granulariteit.

Een eerste set vragen die in deze masterproef behandeld worden, zijn:

1. Welke meetonderwerpen zijn interessant om te modelleren als mogelijkheden?
2. Is er een eenduidig verband tussen de berekening van een mogelijkheid en de onderliggende mogelijkheden in een CTM-diagram?

Pas als het CTM-diagram correct is opgesteld en de onderlinge relaties tussen de datapunten duidelijk weergegeven is, kan onderzoek gedaan worden naar het verband tussen verschillende diagrammen. Een tweede set vragen die hierbij opduiken, zijn:

3. Zijn er mogelijke combinaties van de verschillende meetonderwerpen die opnieuw aanleiding geven tot mogelijkheden?
4. Is er een verband tussen de verschillende wedstrijden/ spelers en de mogelijkheden?

Tot slot wordt er ook nog onderzocht hoe de spelers en technische staf deze resultaten ervaren en wat voor hen de invloed is van dergelijk wetenschappelijk onderzoek. Dit geeft aanleiding tot een laatste onderzoeksvraag:

5. Wat is de huidige invloed van prestatie-analyse in het voetbal?

## 1.4 Gebruikte dataset en software

Doorheen deze masterproef wordt regelmatig gebruik gemaakt van de eerder vermelde dataset van Club Brugge KV. Om de verschillende illustraties (en voornamelijk de CTM-diagrammen) op te stellen, wordt gebruik gemaakt van de metingen uitgevoerd tijdens verschillende wedstrijden van de training op 1 oktober 2012. Op dit moment vond er een wedstrijdtype negen tegen negen plaats, waarbij elk team bestond uit acht veldspelers en een doelman. De afmetingen van het volledige voetbalveld tijdens deze trainingssessie waren 68 m x 40 m [Pey13].

In de illustraties wordt gebruik gemaakt van de data van een verdediger, een middenvelder en een aanvaller, die wegens privacy-redenen enkel nog vermeld worden, gebruik makend van hun positie op het veld. Indien er vergelijkingen tussen de spelers plaatsvinden tijdens een zelfde wedstrijd, gebeurt dit steeds op hetzelfde moment.

De software om de verschillende CTM-diagrammen doorheen deze masterproef op te stellen, werd aangeleverd door de vakgroep Geografie. Het gaat hier om een Matlab-script dat, vertrekkend van een Excel-spreadsheet, met de keuze van de correcte aggregatie-operator het resulterende CTM-diagram construeert. Ook wordt er gebruik gemaakt van een tool voor de omzetting van (lengtegraad, breedtegraad) koppels naar Cartesiaanse ( $X$ ,  $Y$ ) koppels, opnieuw beschikbaar gesteld door de vakgroep Geografie.

## 1.5 Structuur van de masterproef

Deze masterproef bestaat uit zeven hoofdstukken:

- Hoofdstuk 1 omvat als inleiding een algemene kijk op het hedendaags voetbal, de onderzoeksvragen en structuur van deze masterproef en een woordje uitleg over de gebruikte dataset en software.
- Hoofdstuk 2 geeft meer uitleg over het concept van tijdsintervallen en hoe deze gebruikt kunnen worden om tijdsdata te modelleren. Hierbij wordt ook al een eerste insteek gegeven wat de problemen zijn van de klassieke, lineaire voorstellingsmethode.
- Hoofdstuk 3 geeft meer uitleg over de tegenhanger van de probabiliteitstheorie, de possibiliteitstheorie. In dit hoofdstuk wordt ook uitgelegd waarom possibiliteiten beter gebruikt worden in het geval dat de bron van onzekerheid een eventueel gebrek aan kennis is.
- Hoofdstuk 4 bouwt verder op de theoretische basis uit het tweede hoofdstuk en onderzoekt een alternatieve manier om de data te visualiseren: het gebruik van het Continuous Triangular Model. In dit hoofdstuk wordt alle informatie en basisdefinities gegeven over dit model, zodat het verdere gebruik van dit model in de volgende hoofdstukken duidelijk is.

- Hoofdstuk 5 stelt een aantal *combinatie-operatoren* voor die inwerken op het Continuous Triangular Model. Hierbij wordt er steeds verondersteld dat het gaat om mogelijkheden die gevisualiseerd worden, zodat de informatie en theoretische concepten uit het tweede hoofdstuk gebruikt kunnen worden. Voor de opbouw van een dergelijk CTM-diagram wordt naar het vierde hoofdstuk verwezen. Ook wordt voor elk van deze *combinatie-operatoren* onderzocht of het toepassen van de operator, rechtstreeks op de brondata of op de diagrammen, hetzelfde resulterende diagram oplevert.
- Hoofdstuk 6 handelt over een casestudie waarbij de mogelijkheid gemodelleerd wordt dat een speler fungeert als verdediger. Hiervoor wordt de centroïde van de ploeg bepaald. Indien de beschouwde speler zich in bepaalde spelsituaties frequenter boven de centroïde bevindt, dan is het meer plausibel dat de speler als verdediger fungeert. Wanneer al deze informatie dan gecombineerd wordt, kan de trainer in één oogopslag zien in welke mate een bepaalde speler voldoet aan de vooropgestelde (verdedigende) eisen, iets wat steeds vaker tot het takenpakket van een aanvaller of offensieve middenvelder behoort. Deze redenering kan ook omgedraaid worden om na te gaan in welke mate vleugelverdedigers aanvallende impulsen hebben gedurende een wedstrijd.
- Hoofdstuk 7 omvat een aantal conclusies, gebaseerd op de resultaten gevonden in deze masterproef. Ook worden een aantal mogelijk verdere onderzoekspistes besproken. Tot slot wordt ook kort voorspeld hoe de toekomst van het moderne voetbal er zou kunnen uitzien.
- Als addendum bij deze masterproef werd ook nog een interview van een oud-speler van Club Brugge KV afgenomen. Het betreft hier Gert Verheyen, actief voor de club tussen 1992 en 2006. Momenteel is Gert Verheyen coach van zowel de U-18 als de U-19 bij de Koninklijke Belgische Voetbalbond. Tijdens dit interview werd vooral gepeild naar de manier waarop spelers omgaan met data die hen voor of na wedstrijden wordt aangeleverd, maar ook wat de huidige tools zijn die een technische staf tot zijn beschikking heeft. Tot slot wordt nagegaan of de voorgestelde resultaten in deze masterproef relevant kunnen zijn om een speler te begeleiden tijdens zijn opleiding of om een coach een objectieve beslissing te laten nemen. Het volledige gesprek is terug te vinden in bijlage A.

# Hoofdstuk 2

## Tijdsintervallen

Al eeuwen lang is de mens gefascineerd door de tijd. Zo stelt de stoïcijnse filosoof Seneca zich tal van vragen bij het begrip ‘tempus’:

*Primum an per se sit aliquid; deinde an aliquid ante tempus sit sine tempore; cum mundo coeperit an etiam ante mundum quia fuerit aliquid, fuerit et tempus.*

‘Vooreerst of de tijd op zich zelf iets is, vervolgens of er voor de tijd iets bestaan heeft buiten de tijd, of de tijd tegelijk met de wereld is begonnen of dat er, als er iets was voordat de wereld er was, toen ook tijd is geweest.’

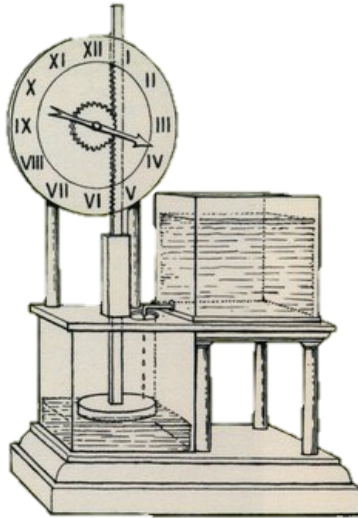
*Seneca, Epistulae LXXXVIII, 33*

Maar tijd is niet alleen een begrip om over na te denken, in het dagelijks leven heb je nood aan concrete afspraken rond tijd. We zien bij de klassieke auteurs nog een vage omschrijving van het begrip: *illo tempore* (‘op dat ogenblik’), *ea tempestate* (‘in die tijd’). Toch tonen de Romeinen al hun praktische kant; zo werd met de zonnwijzer tussen zonsopgang en -ondergang twaalf uren opgemeten, maar de lengte van die uren waren afhankelijk van de seizoenen en dus niet altijd even lang.

*Tempus fugit, hora ruit*, luidt de tekst op vele zonnwijzers wat betekent ‘de tijd vlucht, het uur snelt voorbij’. Deze opdeling in variabele uren was niet altijd voldoende en soms hadden de Romeinen wel nood aan een exacte tijdsindeling. Zo was het bij een proces gebruikelijk om de verdediging dubbel zo veel tijd te geven voor haar pleidooi als de aanklagers gebruikt hadden voor hun aanklacht. Om dat tijdsinterval exact op te meten, gebruikten zij een *clepsydra*, een soort wateruurwerk, zoals vermeld door Plinius Minor in zijn werk ‘Epistulae I, 23’. In figuur 2.1 wordt een schets van een *clepsydra* getoond.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup><http://www.stilus.nl>



Figuur 2.1: Schets van het instrument *clepsydra*, dat door de Romeinen gebruikt werd om een meer exacte indicatie van de verstreken tijd te verkrijgen.

Tijd lijkt vervolgens centraal te staan bij elke gebeurtenis in het bestaan van een persoon. Van bij de geboorte tot het overlijden van een persoon, is de tijd steeds dominant aanwezig. Elke ervaring die een persoon meemaakt, elke actie die een persoon onderneemt, alles kan in verband gebracht worden met de tijd. Voetbalgerelateerde voorbeelden zijn bijvoorbeeld de eerste rode kaart van een veldspeler of het moment waarop de wedstrijd op gang gefloten wordt. In alle gevallen spreken we van een gebeurtenis (in de tijd). Bij bepaalde gebeurtenissen kunnen we spreken van zowel een begin- als een eindtijdstip waarna een tijdsinterval ontstaat. Er is dus een onderscheid tussen gebeurtenissen die infinitesimaal kort zijn en gebeurtenissen met een bepaalde lengte. Aan elk van deze tijdsintervallen kan vervolgens een betekenis gegeven worden, wat bijvoorbeeld resulteert in de leeftijd van een persoon.

In deze masterproef wordt er steeds gewerkt met tijd in het kader van informatiesystemen. Onder informatiesystemen verstaan we automatische systemen, die als doel hebben om zowel data, informatie als kennis te beheren en aan te bieden aan een gebruiker. Met informatie wordt niet enkel de data bedoeld, maar ook de onderliggende betekenis van deze data [Elm11].

In dit hoofdstuk wordt in sectie 2.1 besproken hoe al deze gebeurtenissen kunnen worden opgebouwd, vervolgens geeft sectie 2.2 de onderlinge relaties aan tussen de mogelijke tijdsintervallen. In sectie 2.3 wordt een manier voorgesteld om informatie op te vragen, namelijk door deze te visualiseren. Meteen worden ook een aantal beperkingen duidelijk, die verder toegelicht worden in sectie 2.4. In het vierde hoofdstuk wordt een alternatieve voorstellingswijze behandeld, die de basis vormt voor het verdere onderzoek in deze masterproef.

## 2.1 Tijd als algemeen begrip

In de inleiding van dit hoofdstuk werden al een aantal gebeurtenissen intuïtief in de tijd voorgesteld. Volgende definities verduidelijken verder deze concepten.

**Definitie 2.1** (Gebeurtenis)

*Iets dat zich voordoet op een bepaalde plaats in de tijd, gedurende een bepaalde periode of een exact moment, is een **gebeurtenis**.*

□

Deze gebeurtenis wordt steeds gekarakteriseerd door een begin- en eindtijdstip. Merk op dat het ook mogelijk is dat het begin- en eindtijdstip samenvallen. De tijdstippen die de gebeurtenis vastleggen, kunnen vervolgens voorgesteld worden op een tijdsas.

**Definitie 2.2** (Tijdsas)

*De tijd is een volledig geordende verzameling van tijdstippen, welke voorgesteld kunnen worden op een **tijdsas**.*

□

**Definitie 2.3** (Tijdstip)

*Een **tijdstip** is een punt gedefinieerd op een tijdsas.*

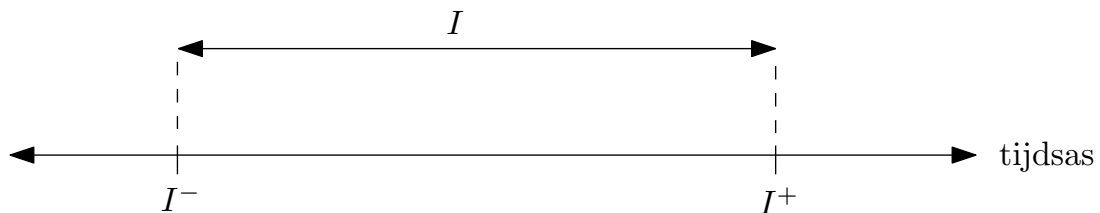
□

Aangezien een gebeurtenis steeds beschreven wordt door een begin- en een eindtijdstip, spreekt men ook nog van een tijdsinterval.

**Definitie 2.4** (Tijdsinterval)

*Een **tijdsinterval** stelt een verzameling voor van alle tijdstippen tussen een begintijdstip en een eindtijdstip. We zeggen dat dit tijdsinterval beschreven wordt door een begintijdstip  $I^-$  en een eindtijdstip  $I^+$ , hierbij geldt steeds dat  $I^- \leq I^+$ . Dit tijdsinterval kan vervolgens voorgesteld worden als  $I = [I^-, I^+]$ . Indien geldt dat  $I^- = I^+$ , dan stelt het tijdsinterval een individueel tijdstip voor.*

□



Figuur 2.2: Visuele weergave van een tijdsinterval.

De lengte van een tijdsinterval kan bepaald worden als het verschil tussen eindtijdstip en begintijdstip.

**Definitie 2.5** (Lengte van tijdsinterval)

*De **lengte** van een tijdsinterval kan berekend worden als  $|I| = I^+ - I^-$ .*

□



**Definitie 2.6** (Duur van tijdsinterval)

De **duur** van een tijdsinterval is een hoeveelheid tijd, zonder begin- eindtijdstip te definiëren.

□

De duur van een tijdsinterval kan allerlei waarden aannemen, afhankelijk van de context waarin deze gebruikt wordt. Denk hierbij bijvoorbeeld aan één dag of aan twee jaar, maar ook aan de invoering van het academisch kwartiertje.

Een tijdsas wordt steeds ingedeeld in intervallen van gelijke afstand. Indien de intervallen klein zijn, wordt de granulariteit **fijn** genoemd; indien de intervallen groot zijn, wordt de granulariteit **grof** genoemd.

**Definitie 2.7** (Granulariteit van tijdsinterval)

De **granulariteit** van een tijdsinterval duidt het detail aan waarin het tijdsinterval beschreven wordt.

□

In deze masterproef zal voor alle gegevens die gevisualiseerd worden, eenzelfde granulariteit verondersteld worden. Concreet betekent dit dat steeds een granulariteit van de orde milliseconde (ms) verondersteld wordt.

## 2.2 Onderlinge relaties

In deze sectie wordt wat meer uitleg gegeven over de onderlinge relaties tussen de verschillende tijdsintervallen. Het gaat hier steeds om een **kwalitatieve** relatie, niet om een **kwantitatieve** relatie. Dit betekent dat er enkel rekening gehouden wordt met de positie van tijdsintervallen, zonder de lengte in beschouwing te nemen. Ook wordt er geen rekening gehouden met hoe ver tijdsintervallen van elkaar liggen. Verder is de beschreven relatie telkens een **temporele** relatie, wat betekent dat telkens relaties tussen tijdsintervallen (of eventueel individuele tijdstippen) beschouwd worden.

In sectie 2.1 werden algemene definities opgesteld voor een tijdstip en voor de opbouw van een tijdsinterval. Het is mogelijk om hiermee te redeneren door vergelijkingen tussen tijdsintervallen onderling te gaan opstellen, al dan niet door deze tijdsintervallen te visualiseren. De analyse, uitgevoerd door Allen in 1983, is veruit de meest gebruikte in dit domein [All83]. Het resultaat van zijn onderzoek zijn de dertien kwalitatieve, temporele Allen-relaties die in tabel 2.1 gegeven worden.

Het resultaat van zijn onderzoek wordt vaak omschreven als een *interval algebra*. Kenmerkend voor deze relaties is dat ze mutueel exclusief zijn. Dit betekent dat, gegeven twee tijdsintervallen, deze altijd zullen voldoen aan één van de dertien mogelijke relaties. Gebruik makend van deze verschillende relaties is het ook mogelijk om het antwoord op allerlei vragen omtrent tijdsintervallen te vinden.

$I_1$ equal $I_2$	$I_1^- = I_2^- \wedge I_1^+ = I_2^+$
$I_1$ starts $I_2$	$I_1^- = I_2^- \wedge I_1^+ < I_2^+$
$I_1$ started-by $I_2$	$I_1^- = I_2^- \wedge I_2^+ < I_1^+$
$I_1$ finishes $I_2$	$I_1^+ = I_2^+ \wedge I_1^- > I_2^-$
$I_1$ finished-by $I_2$	$I_1^+ = I_2^+ \wedge I_2^- > I_1^-$
$I_1$ meets $I_2$	$I_1^+ = I_2^-$
$I_1$ met-by $I_2$	$I_2^+ = I_1^-$
$I_1$ overlaps $I_2$	$I_2^- > I_1^- \wedge I_1^+ < I_2^+ \wedge I_1^+ > I_2^-$
$I_1$ overlapped-by $I_2$	$I_1^- > I_2^- \wedge I_1^- < I_2^+ \wedge I_2^+ < I_1^+$
$I_1$ during $I_2$	$I_1^- > I_2^- \wedge I_1^+ < I_2^+$
$I_1$ contains $I_2$	$I_2^- > I_1^- \wedge I_2^+ < I_1^+$
$I_1$ before $I_2$	$I_1^+ < I_2^-$
$I_1$ after $I_2$	$I_2^+ < I_1^-$

Tabel 2.1: De dertien verschillende Allen-relaties.

Enkele voorbeelden, opnieuw voetbalgerelateerd, zijn: wanneer zegt men dat een doelpunt in de eerste helft gemaakt wordt? Of wat zijn de voorwaarden opdat men kan zeggen dat een overtreding gebeurde voorafgaand aan het buitenspel? Ook duidelijk uit de verschillende relaties is dat de tijdsintervallen steeds onderling met elkaar vergeleken worden en het dus interessant is om deze op een bepaalde manier visueel te gaan voorstellen.

We kunnen de relaties uit tabel 2.1 nu gebruiken om de twee bovenvermelde voorbeelden te beschrijven. Voor het eerste voorbeeld merken we op dat het eerste tijdsinterval (het vallen van een doelpunt) een individueel tijdstip is en het begin- en eindtijdstip dus dezelfde waarde hebben; m.a.w.  $I_1^+ = I_1^-$ . Het tweede tijdsinterval stelt de volledige tweede helft van de wedstrijd voor. Verder geldt er dus dat het begintijdstip van het eerste tijdsinterval na het begintijdstip van het tweede tijdsinterval ( $I_2^-$ ) valt en dat het eindtijdstip van het eerste tijdsinterval optreedt voor het eindtijdstip van het tweede tijdsinterval ( $I_2^+$ ). Dit geeft aanleiding tot de *during*-relatie, die kan voorgesteld worden als  $I_1^- > I_2^- \wedge I_1^+ < I_2^+$ .

Voor het tweede voorbeeld kan een analoge redenering opgebouwd worden. Het eerste tijdsinterval (het begaan van de overtreding) wordt bepaald door  $I_1 = [I_1^-, I_1^+]$  waarbij het begintijdstip het eerste contact met de tegenstander voorstelt en het eindtijdstip het fluiten van de scheidsrechter. Buitenspel kunnen we beschouwen als een individueel tijdstip, dit wil zeggen dat er geldt dat  $I_2^+ = I_2^-$ . Om de situatie correct te beschrijven moet het eerste tijdsinterval volledig optreden voor het tweede tijdsinterval, wat te noteren valt als  $I_1^+ < I_2^-$ . We kunnen dus concluderen dat het hier gaat om de *before*-relatie.

## 2.3 Visuele voorstelling

In sectie 2.1 werd een definitie opgesteld voor een tijdsinterval en de duur van een interval. Met behulp van deze definities kan men gegeven een begintijdstip en een eindtijdstip een tijdsinterval opstellen en vervolgens de duur van dit tijdsinterval bepalen. Het opstellen van een schematisch diagram zal het analyseren van de verschillende tijdsintervallen vereenvoudigen zodat conclusies, bijvoorbeeld over de lengte van elk tijdsinterval, mogelijk zijn. Merk op dat het dus steeds gaat om een ondersteuning en dat deze visualisatie geen vereiste is om tot de verschillende conclusies te komen. In deze sectie zal een voorstellingswijze worden opgebouwd waarnaar verder doorheen het hoofdstuk zal verwezen worden als de *klassieke* voorstellingswijze.

In de eerste plaats moet het assenstelsel worden opgebouwd waarin de tijdsintervallen gevisualiseerd worden. De horizontale as of de  $X$ -as, bevat de verschillende tijdstippen. Zoals gedefinieerd in definitie 2.2 stellen deze tijdstippen, indien gemodelleerd op een tijdsas, een volledig geordende verzameling voor, kortweg de tijd genoemd. Op deze manier stellen alle punten op deze as een tijdstip voor. Gebruik makend van deze as kan het begin- en eindtijdstip van elk tijdsinterval bepaald worden. De verticale as of de  $Y$ -as bevat alle tijdsintervallen die in het diagram worden voorgesteld en dient om tussen deze tijdsintervallen een onderscheid te maken. Er is geen specifieke volgorde waaraan deze tijdsintervallen moeten voldoen op de verticale as. Het toekennen van een bepaalde volgorde kan wel een meerwaarde voor de visualisatie zijn. Zo kan er bijvoorbeeld voor gekozen worden om de tijdsintervallen te modelleren volgens stijgend begintijdstip.

In algoritme 1 wordt beschreven hoe de  $X$ -coördinaten voor elk tijdsinterval kunnen bepaald worden in het diagram. Hierbij wordt de  $Y$ -coördinaat van elk tijdsinterval bepaald door zijn volgorde in de verzameling van tijdsintervallen.

---

**Algoritme 1** Methode om de  $X$ -coördinaten van elk tijdsinterval te bepalen volgens de *klassieke* voorstellingswijze.

---

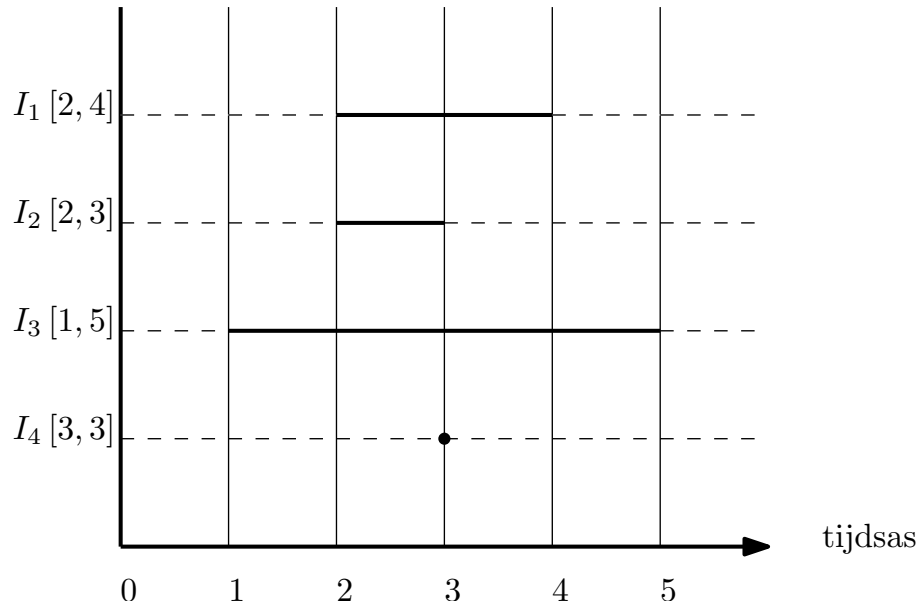
```

1: for all  $I$  do
2:    $beginpunt \leftarrow I^-$ 
3:    $eindpunt \leftarrow I^+$ 
4: end for

```

---

Wanneer we dit algoritme nu toepassen op een voorbeeld krijgen we de visualisatie in figuur 2.3, waarbij  $I_1 = [2, 4]$  en  $I_2 = [2, 3]$  en  $I_3 = [1, 5]$  en tot slot  $I_4 = [3, 3]$  de verschillende tijdsintervallen zijn die gemodelleerd worden. Zoals reeds eerder opgemerkt, wordt er hier geen specifieke volgorde van de tijdsintervallen in de verzameling verondersteld. Hier wordt in sectie 2.4 meer uitleg over gegeven.



Figuur 2.3: Klassieke voorstellingswijze van een verzameling van tijdsintervallen.

Een opmerkelijk voordeel van deze *klassieke* voorstellingswijze is dat het meteen duidelijk is wanneer elk tijdsinterval begint en eindigt. Verder is het ook vrij eenvoudig om de lengte van elk interval af te lezen van de figuur, gebruik makend van het feit dat  $|I| = I^+ - I^-$ .

## 2.4 Tekortkoming tijdsinterval

Een tekortkoming van de *klassieke* voorstellingswijze wordt echter duidelijk wanneer men zeer veel tijdsintervallen wil gaan voorstellen. Dit kan bijvoorbeeld gewenst zijn als men voor elke minuut tijdens een voetbalwedstrijd een interval wil gaan opstellen. In de *klassieke* voorstellingswijze zou dit voor een reguliere wedstrijd aanleiding geven tot een zeer onoverzichtelijk en moeilijk leesbaar diagram. Een andere, relevante opmerking is dat er geen uniciteit bestaat over het schema als verschillende tijdsintervallen op deze manier gevisualiseerd worden. Dit wil zeggen dat de verschillende intervallen op een andere manier geordend kunnen worden, bijvoorbeeld in stijgende lengte of volgens een stijgend begin-/eindtijdstip. Het is dus perfect mogelijk om van een informatief diagram over te schakelen op een veel moeilijker interpreteerbaar diagram door de volgorde (ergo de  $Y$ -coördinaten) van alle tijdsintervallen te wijzigen.

Een ander nadeel van de *klassieke* voorstellingswijze is dat om andere eigenschappen van de data te bekomen, bijvoorbeeld gebaseerd op de lengte van een tijdsinterval, het nodig is om opnieuw een andere visualisatie op te stellen. Indien snel een beslissing gemaakt moet worden, is dit nefast voor de uitvoeringstijd. Het is dus gewenst om op hetzelfde moment meerdere eigenschappen van het diagram af te lezen, zonder hiervoor de visualisatie opnieuw te moeten construeren.

---

In het vierde hoofdstuk wordt het Continuous Triangular Model geïntroduceerd. Dit is een voorstellingswijze waarbij diverse tekortkomingen van de *klassieke* voorstellingswijze opgelost worden.

## Hoofdstuk 3

# Onzekerheid en de possibiliteitstheorie

*Zekerheid* is een interessant begrip, dat in veel verschillende sectoren en in veel verschillende contexten gebruikt wordt. Zo wordt het begrip zekerheid vaak in marketingcampagnes door bedrijven gebruikt om klanten te overtuigen van hun potentieel. Een tegenhanger van zekerheid is *onzekerheid*. Maar wat zijn de bronnen van deze onzekerheid? En op welke manier kan het vertrouwen gemodelleerd worden als onzekerheid optreedt?

Onzekerheid duidt steeds op een gebrek aan informatie, deze onzekerheid kan verschillende bronnen hebben. Zo is een mogelijke bron de variabiliteit, wat betekent dat er verschillende mogelijkheden voor een experiment zijn. Een voorbeeld hiervan zijn de zes mogelijke uitkomsten bij het opgooien van een dobbelsteen. Een andere bron van onzekerheid is een partieel gebrek aan kennis. Dit wil zeggen dat niet alle informatie, waarmee zowel de gegevens als de betekenis van de gegevens bedoeld wordt, aanwezig is of beheerd wordt tijdens een experiment.

Deze bronnen van onzekerheid kunnen vervolgens gebruikt worden om het vertrouwen in een bepaalde uitkomst te modelleren. Indien de bron van onzekerheid variabiliteit is, dan wordt het vertrouwen gemodelleerd gebruik makend van kansen. Zo zal van de zes mogelijke uitkomsten bij het opgooien van een dobbelsteen, de kans dat een 6 gegooid wordt, gelijk zijn aan  $1/6$  op voorwaarde dat de dobbelsteen niet verzwaard is. Als de bron van onzekerheid een partieel gebrek aan kennis is, dan zal een possibiliteit gebruikt worden. Deze possibiliteit drukt uit hoe plausibel een bepaalde mogelijkheid is, gegeven alle informatie en een gebrek aan kennis.

De eerste bron van onzekerheid, de variabiliteit, wordt gemodelleerd gebruik makend van de probabiliteitstheorie. De tweede bron van onzekerheid, het partieel gebrek aan kennis, wordt gemodelleerd gebruik makend van de possibiliteitstheorie.

Bij de probabiliteitstheorie wordt impliciet verondersteld dat de observator perfecte controle heeft over een experiment, zoals het geval is bij een spel waar telkens met één dobbel-

steen geworpen wordt. Indien de gebruiker echter de controle over een experiment verliest, bijvoorbeeld bij het bepalen van de reistijd met de NMBS, zal de probabiliteitstheorie niet meer van toepassing zijn. In dit geval wordt gebruik gemaakt van de mogelijkheidstheorie; deze theorie zal dus, net als de probabiliteitstheorie, gebruikt worden om onzekerheid te modelleren.

Kenmerkend voor deze mogelijkheidstheorie is dat een uitkomst niet beperkt is tot één enkel meetresultaat. Zo zal bijvoorbeeld de mogelijkheid dat iemand ‘oud’ is aanleiding kunnen geven tot verschillende leeftijden, afhankelijk van de interpretatie van het experiment. In figuur 3.1 wordt een ander, eerder ludiek, voorbeeld gegeven.<sup>3</sup>



Figuur 3.1: Cartoon over de werking van mogelijkheden.

In sectie 3.1 worden de belangrijkste concepten van de mogelijkheidstheorie uitgelegd, waarna in sectie 3.2 de vaaglogica verduidelijkt wordt. In sectie 3.3 tot slot wordt een eerste keer gebruik gemaakt van de dataset van de beloftenploeg van Club Brugge KV om een aantal concepten van de mogelijkheidstheorie te illustreren.

Dit hoofdstuk is gebaseerd op de syllabus ‘Vage Databanken’ [DT14].

## 3.1 Mogelijkheidstheorie

Zoals in sectie 1.3 reeds aangehaald, is één van de doelstellingen van deze masterproef het redeneren over data waarbij een zeker gebrek aan kennis aanwezig is. Dit is meteen ook de reden waarom gebruik gemaakt wordt van de mogelijkheidstheorie, in tegenstelling tot de probabiliteitstheorie. Deze mogelijkheidstheorie werd voor het eerst in 1978 voorgesteld

<sup>3</sup><http://www.roystoncartoons.com/>

door Zadeh [Zad78]. Deze mogelijkheidstheorie was gebaseerd op zijn eerder onderzoek naar de vaagverzamelingen [Zad65].

### 3.1.1 Verschillende soorten informatie

In de inleiding van het tweede hoofdstuk werd reeds duidelijk gemaakt dat gebeurtenissen zoals beschreven in definitie 2.1 steeds in het kader van informatiesystemen gebeuren. Deze informatiesystemen stellen automatische systemen voor die instaan voor het beheren en het ontsluiten van informatie [DT07].

**Definitie 3.1** (Informatie)

*Informatie* bevat zowel de gegevens zelf als de onderliggende betekenis van de gegevens.

□

Voorts maakt men een onderscheid tussen zekere en onzekere informatie. Een voorbeeld van onzekere informatie is vage informatie. In het kader van deze masterproef zal vooral gewerkt worden met onzekere informatie.

**Definitie 3.2** (Zekere informatie)

*Indien informatie exact beschreven wordt, i.e. indien de betekenis van de informatie volledig en exact is, spreekt men van **zekere informatie**.*

□

**Definitie 3.3** (Onzekere informatie)

*Indien de informatie niet volledig en exact is, spreekt men van **onzekere informatie**. Dit soort informatie zal vervolgens opgesplitst worden in een aantal onderliggende categorieën, afhankelijk van het soort beschrijving.*

□

Een voorbeeld van zekere informatie is bijvoorbeeld ‘speler X is 1 m en 98 cm groot’, als men enkel over onzekere informatie beschikt zal hetzelfde bovenstaande voorbeeld resulteren in ‘speler X is zeer groot’. Hierbij stelt het bijwoord ‘zeer’ een abstractie voor, wat ook wel nog een **linguïstische** term genoemd wordt.

### 3.1.2 Verzamelingenleer

Alle mogelijkheden voor een experiment kunnen vervolgens gegroepeerd worden in verzamelingen.

**Definitie 3.4** (Verzameling)

*In de verzamelingenleer definieert men een **verzameling** als een groep van objecten, waarbij de objecten van deze verzameling, ook nog elementen genoemd, volledig tot de verzameling behoren.*

□



Merk op dat in de definitie duidelijk wordt aangegeven dat elk element in een verzameling volledig tot een verzameling moet behoren. Dit kan men kortweg definiëren als  $x \in V$ , waarbij  $x$  het element en  $V$  de verzameling voorstelt.

Naast een klassieke verzameling wordt in deze masterproef ook gebruik gemaakt van een ander soort verzameling, de **vaagverzameling**. Om verder het onderscheid te maken tussen een klassieke verzameling en een vaagverzameling wordt een klassieke verzameling ook nog een **scherpe** verzameling genoemd. In het verdere verloop van deze masterproef wordt een scherpe verzameling steeds aangeduid met  $V$ , terwijl een vaagverzameling aangeduid zal worden met  $\tilde{V}$ .

Het is nodig om voor elk element te bepalen in welke mate deze tot de vaagverzameling  $\tilde{V}$  behoort, dit wordt gerealiseerd door de lidmaatschapsfunctie.

**Definitie 3.5** (Lidmaatschapsfunctie)

*De functie die uitdrukt in welke mate een element  $x$  uit het universum  $U$  behoort tot de vaagverzameling  $\tilde{V}$  is de **lidmaatschapsfunctie**.*

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{V}} : U &\rightarrow \{0, 1\} \\ x \mapsto 1 &\quad \text{als } x \text{ volkomen behoort tot } \tilde{V} \\ x \mapsto ]0, 1[ &\quad \text{als } x \text{ gedeeltelijk behoort tot } \tilde{V} \\ x \mapsto 0 &\quad \text{als } x \text{ niet behoort tot } \tilde{V} \end{aligned}$$

□

**Definitie 3.6** (Lidmaatschapsgraad)

*De lidmaatschapsfunctie  $\mu_{\tilde{V}}$  kan vervolgens met elk element  $x$  een **lidmaatschapsgraad**  $\mu_{\tilde{V}}(x)$  laten overeenkomen. Deze lidmaatschapsgraad stelt vervolgens voor in welke mate een element  $x$  tot een vaagverzameling  $\tilde{V}$  behoort.*

□

**Definitie 3.7** (Vaagverzameling)

*Een **vaagverzameling**  $\tilde{V}$  over een universum  $U$  zal alle elementen bevatten waarvoor de lidmaatschapsgraad groter dan 0 is; dit zijn dus alle elementen die ofwel gedeeltelijk ofwel volkomen behoren tot  $\tilde{V}$ .*

$$\tilde{V} = \{(x, \mu_{\tilde{V}}(x)) \mid \forall x \in U : \mu_{\tilde{V}}(x) > 0\}$$

□

Uit bovenstaande definitie is duidelijk af te leiden dat een scherpe verzameling een speciaal geval is van een vaagverzameling. Een scherpe verzameling is namelijk een vaagverzameling, waarbij elk element  $x$  volkomen behoort tot de vaagverzameling  $\tilde{V}$  of m.a.w.  $\mu_{\tilde{V}}(x) = 1$  voor alle elementen  $x$  van  $\tilde{V}$ .

Tot slot kunnen we nog een aantal bewerkingen op vaagverzamelingen definiëren, die ook in het vijfde hoofdstuk meer uitgebreid aan bod zullen komen.

**Definitie 3.8** (T-norm)

De doorsnede van twee vaagverzamelingen  $\tilde{V}_1$  en  $\tilde{V}_2$ , beiden gedefinieerd over een universum  $U$ , wordt bepaald door de **t-norm**, voorgesteld door  $i$ . Deze heeft als input de lidmaatschapsgraden van een element  $x \in U$  en als output de lidmaatschapsgraad van  $x$  in de doorsnede.

$$i : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$$

$$\forall x \in U : \mu_{\tilde{V}_1 \cap \tilde{V}_2} = i(\mu_{\tilde{V}_1}, \mu_{\tilde{V}_2})$$

□

**Definitie 3.9** (T-conorm)

De unie van twee vaagverzamelingen  $\tilde{V}_1$  en  $\tilde{V}_2$ , beiden gedefinieerd over een universum  $U$ , wordt bepaald door de **t-conorm**, voorgesteld door  $u$ . Deze heeft als input de lidmaatschapsgraden van een element  $x \in U$  en als output de lidmaatschapsgraad van  $x$  in de unie.

$$u : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$$

$$\forall x \in U : \mu_{\tilde{V}_1 \cup \tilde{V}_2} = u(\mu_{\tilde{V}_1}, \mu_{\tilde{V}_2})$$

□

Na het opstellen van de lidmaatschapsfuncties en de lidmaatschapsgraden is het mogelijk om deze lidmaatschapsgraden op drie manieren te gaan interpreteren. De drie mogelijkheden zijn als

- graden van overeenstemming;
- graden van waarheid;
- graden van onzekerheid.

Aangezien in deze masterproef enkel gewerkt wordt met graden van onzekerheid wordt enkel deze verder beschreven. Voor meer uitleg over graden van overeenstemming en graden van waarheid, wordt verwezen naar de literatuur [DT14].

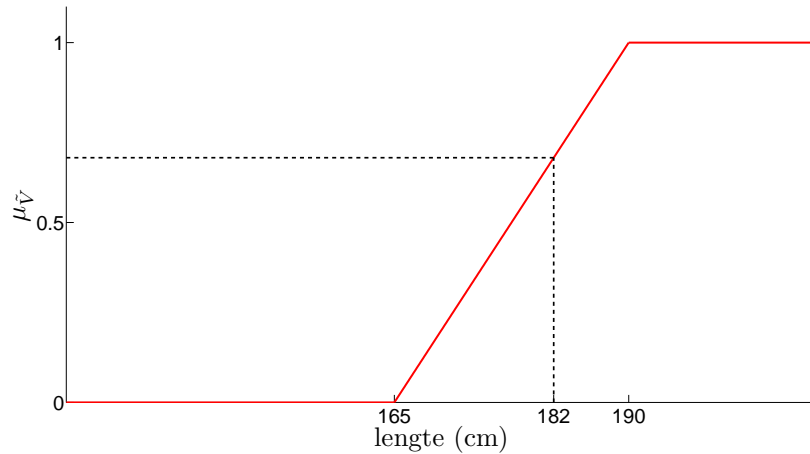
**Definitie 3.10** (Graad van onzekerheid)

De graad van onzekerheid, of  $\mu_{\tilde{V}}(x)$ , drukt uit wat de plausibiliteit is dat een element  $p$  uit het universum  $U$  de waarde  $x$  volledig aanneemt, gegeven dat het geweten is dat  $x$  een waarde aanneemt uit de vaagverzameling  $\tilde{V}$ .

□

Als voorbeeld waarbij de lidmaatschapsgraden geïnterpreteerd worden als graden van onzekerheid, kan opnieuw de vaagverzameling van de grote lengten van personen beschouwd worden. Ook beschouwen we een element  $p$  als een bepaalde lengte. Als we weten dat  $p$  een grote lengte voorstelt, maar niet weten hoe groot precies, kan de lidmaatschapsfunctie

uit figuur 3.2 gebruikt worden. In dit geval worden de mogelijke waarden voor de lengte vastgelegd door de vaagverzameling. Zo is het onzeker, maar wel mogelijk met mate 0.68 dat de lengte van de persoon 182 cm is of m.a.w.  $\mu_{\tilde{V}}(182) = 0.68$ .



Figuur 3.2: Lidmaatschapsfunctie voor grote lengten van personen.

### 3.1.3 Possibiliteitsdistributies

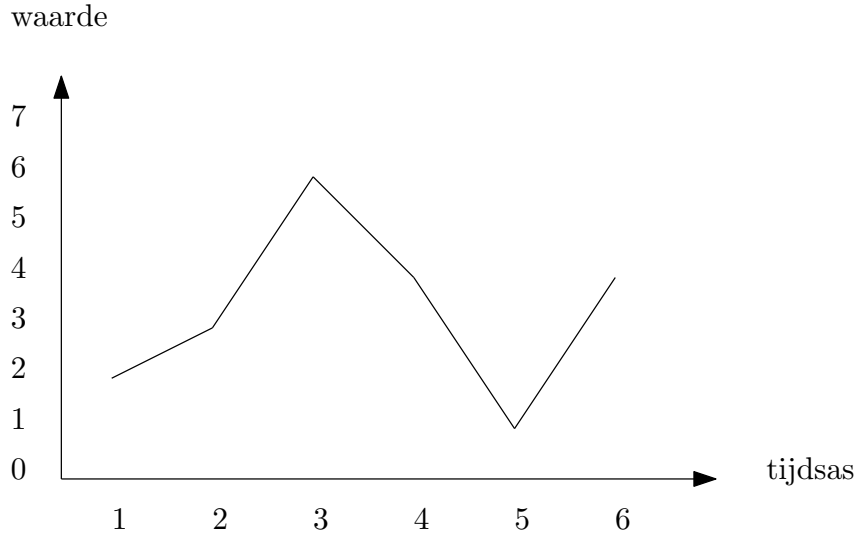
In sectie 2.1 en meer specifiek in definitie 2.1 werd gedefinieerd wat een gebeurtenis is. Deze gebeurtenis laat toe om bepaalde eigenschappen te observeren. Indien we de meting van deze eigenschap beschouwen, spreken we van een meetresultaat.

**Definitie 3.11** (Meetresultaat)

*De meting van een eigenschap van een bepaald object is een **meetresultaat**.*

□

Het is opnieuw mogelijk om deze meetresultaten te visualiseren, zoals dit ook aangetoond is bij de tijdsintervallen. Hiervoor wordt een lineaire rij van meetresultaten beschouwd. De *klassieke* voorstellingswijze om deze meetresultaten voor te stellen is het *lijndiagram*, geïllustreerd in figuur 3.3.



Figuur 3.3: Klassieke voorstellingswijze van een verzameling van meetresultaten.

Om dit lijndiagram te construeren, dienen een aantal stappen uitgevoerd te worden. In een eerste stap wordt de horizontale as of de  $X$ -as opgebouwd, bestaande uit de verschillende tijdstippen. Zoals gedefinieerd in definitie 2.2 stellen deze tijdstippen, indien gemodelleerd op een tijdsas, een volledig geordende verzameling voor, kortweg de tijd genoemd. De verticale as of de  $Y$ -as bevat de verschillende waarden die de meetresultaten kunnen aannemen.

Vervolgens wordt in algoritme 2 beschreven hoe het lijndiagram, dat de meetresultaten voorstelt, opgebouwd kan worden. Hierbij worden de coördinaten van elk meetresultaat bepaald, waarna het lijndiagram geconstrueerd wordt door alle koppels  $(x_i, y_i)$  te verbinden gebruik makend van een lijnstuk tussen elk punt.

---

**Algoritme 2** Methode om de coördinaten van elk meetresultaat te bepalen, gebruik makend van het lijndiagram.

---

```

1: for all  $i$  do
2:    $x_i \leftarrow \text{tijdstip}_{\text{meetpunt}}$ 
3:    $y_i \leftarrow \text{waarde}_{\text{meetresultaat}}$ 
4: end for

```

---

Eens de meetresultaten gekend zijn, kunnen deze waarden gebruikt worden om de onzekerheid te modelleren. Dit wordt gedaan door gebruik te maken van de mogelijkheidstheorie, en meer specifiek van mogelijkheidsdistributies.

**Definitie 3.12** (Mogelijkheidsdistributie)

*Een model om onzekerheid te modelleren, waarbij de bron van onzekerheid een partieel gebrek aan kennis is, wordt gegeven door een **mogelijkheidsdistributie**.*

□

De mogelijkheden, gebaseerd op deze distributies, kunnen dan de plausibiliteit modelleren waarmee de originele meetresultaten aangeven dat het tijdsinterval aan een bepaalde veronderstelling voldoet.

**Definitie 3.13** (Possibiliteit)

De **possibiliteit** drukt de mogelijkheid uit dat een variabele  $X$ , uit het universum  $U$ , overeenkomt met een element  $x$  uit de beschouwde vaagverzameling. Dit kan worden voorgesteld als  $\pi_X(x)$ , die de possibiliteit weergeeft dat  $X = x$ .

□

Een possibiliteitsdistributie kan worden afgeleid van een vaagverzameling, waarbij de lidmaatschapsgraden geïnterpreteerd worden als graden van onzekerheid. Hiervoor maken we gebruik van definitie 3.7 om de vaagverzameling te beschrijven.

$$\tilde{V} = \{(x, \mu_{\tilde{V}}(x)) \mid \forall x \in U : \mu_{\tilde{V}}(x) > 0\}$$

Aangezien de lidmaatschapsgraden  $\mu_{\tilde{V}}(x)$  graden van onzekerheid voorstellen, zal de vaagverzameling een beperking opleggen aan de waarden die een variabele  $X$  uit het universum  $U$  kan aannemen. De mogelijkheid (possibiliteit)  $\pi_X(x)$  dat  $X = x$ , zoals in definitie 3.13, wordt bepaald door de lidmaatschapsgraad  $\mu_{\tilde{V}}(x)$ .

$$\forall x \in U : \pi_X(x) = \mu_{\tilde{V}}(x)$$

## 3.2 Ondersteunende operaties

Na het opstellen van zowel de vaagverzamelingen als de possibiliteitsdistributies, die gebruikt zullen worden om de onzekerheid te modelleren, dienen we ook nog na te gaan hoe deze onderling met elkaar vergeleken kunnen worden. Deze combinaties zijn interessant als bijvoorbeeld de relatie tussen twee proposities onderzocht dient te worden. Hiervoor wordt eerst opgesteld hoe dit gebeurt in de Booleaanse logica, waarna de overgang naar de vaaglogica gemaakt wordt.

**Definitie 3.14** (Booleaanse logica)

In de **Booleaanse logica** correspondeert het resultaat van een experiment ofwel met de waarheidswaarde waar ( $T$ ) ofwel met de waarde vals ( $F$ ).

□

**Definitie 3.15** (Vaaglogica)

In de **vaaglogica** worden de waarheidswaarden uit de Booleaanse logica uitgebreid naar vage waarheidswaarden, gelegen in het eenheidsinterval  $[0, 1]$ . Hierbij correspondeert waar ( $T$ ) met de waarde 1, terwijl vals ( $F$ ) met de waarde 0 correspondeert. De tussenliggende waarden, dit wil zeggen  $\in ]0, 1[$ , duiden op een graduele waarheid. Hoe dichter bij 1, hoe meer de vage waarheidswaarde waar is en hoe dichter bij 0, hoe meer de vage waarheidswaarde vals is.

□

Gebruik makend van bovenstaande definitie kunnen de waarheidswaarden gezien worden als linguïstische termen die geworden gemodelleerd op basis van de respectievelijke lidmaatschapsgraden  $\mu_{waar}(x)$  en  $\mu_{vals}(x)$ . Deze geven een aanduiding in welke mate  $x$  overeenstemt met de linguïstische term *waar*, respectievelijk *vals*.

$\wedge$	1	0
1	1	0
0	0	0

$\vee$	1	0
1	1	1
0	1	0

$\Rightarrow$	1	0
1	1	0
0	1	1

Tabel 3.1: De conjunctie-operator ( $\wedge$ ), de disjunctie-operator ( $\vee$ ) en de implicatie-operator ( $\Rightarrow$ ) uit de Booleaanse algebra.

In tabel 3.1 worden de waarheidstabellen gegeven voor enkele basisoperatoren uit de Booleaanse algebra. Dit laat toe om de logische operatoren voor de vaagverzamelingenleer te definiëren. Deze operatoren zullen onder meer gebruikt worden in het vijfde hoofdstuk om vergelijkingen en combinaties op te stellen tussen verschillende eigenschappen van spelers. De operatoren die onderzocht worden zijn de conjunctie ( $\wedge$ ), de disjunctie ( $\vee$ ) en de implicatie ( $\Rightarrow$ ). De operatoren  $i$  en  $u$  stellen respectievelijk de t-norm en t-conorm voor, zoals gedefinieerd in definitie 3.8 en 3.9.

- **Conjunctie:**  $\forall x, y \in [0, 1] : x \wedge y = i(x, y)$
- **Disjunctie:**  $\forall x, y \in [0, 1] : x \vee y = u(x, y)$
- **Implicatie:**  $\forall x, y \in [0, 1] : x \Rightarrow y = u(1 - x, y)$

### 3.3 Toepassing op dataset Club Brugge KV

Als laatste sectie in dit hoofdstuk wordt een antwoord gegeven op de eerste onderzoeksvraag, zoals geformuleerd in sectie 1.3, namelijk ‘Welke meetonderwerpen zijn interessant om te modelleren als mogelijkheden?’.

Een overzicht van de eigenschappen die zijn opgemeten tijdens de training van de beloftenploeg werd reeds gegeven in tabel 1.1. Op basis van deze eigenschappen kunnen we nu bepalen welke mogelijkheden interessant zijn om te onderzoeken. Dit resulteert in volgende mogelijkheden:

- mogelijkheid dat een speler een ‘hoge *bodyload*’ heeft;
- mogelijkheid dat een speler een ‘hoge hartslag’ heeft;
- mogelijkheid dat een speler ‘actief deelneemt’ aan een spelsituatie.

Uiteindelijk is het de bedoeling om voor elk van deze mogelijkheden de mogelijkheden-distributies op te stellen, gebaseerd op de lidmaatschapsfuncties. In een eerste stap visualiseren we de meetresultaten, waarna de lidmaatschapsfunctie en tot slot de mogelijkheden-distributie opgesteld worden.

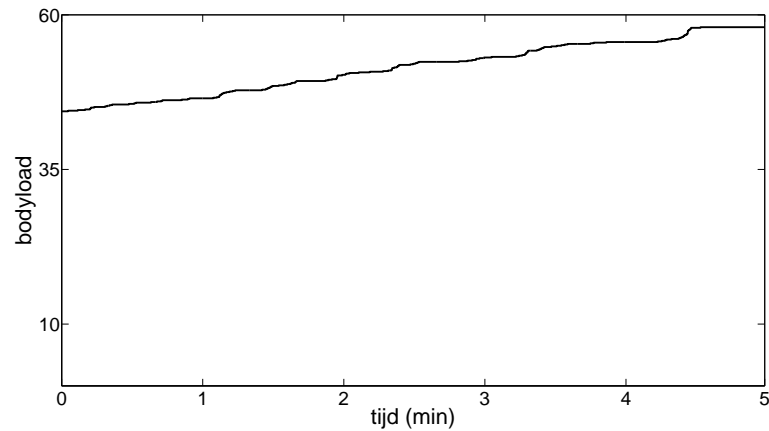
In zowel sectie 3.3.1, 3.3.2 als 3.3.3 worden meetresultaten van een verdediger gevisualiseerd. Deze meetresultaten zijn telkens afkomstig van de vierde wedstrijd van de trainingssessie op 1 oktober 2012. Voor de visualisatie van deze meetresultaten wordt gebruik gemaakt van algoritme 2. Aangezien de tijd tussen opeenvolgende meetpunten zeer klein is, worden de discrete meetpunten geïnterpoleerd, waardoor een continu grafiek ontstaat.

### 3.3.1 Hoge bodyload

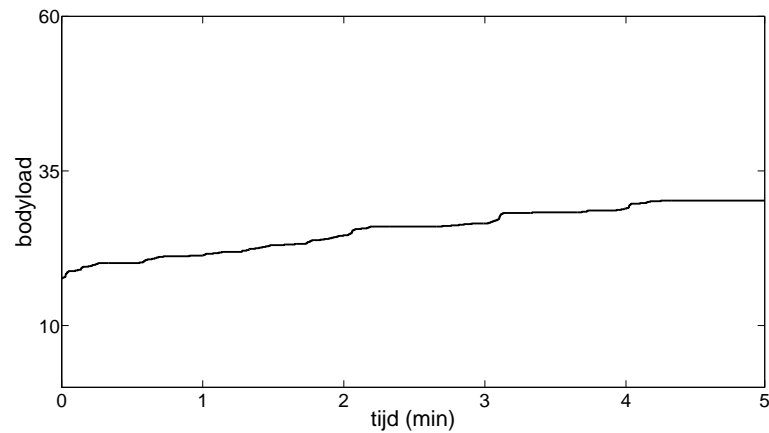
Een eerste mogelijkheid drukt de plausibiliteit uit dat een speler een ‘hoge *bodyload*’ heeft. Aangezien deze *bodyload* een verzuring van de spieren aanduidt, veronderstellen we dat deze lineair zal toenemen naarmate de wedstrijd langer duurt. Dit vermoeden wordt bevestigd in figuur 3.4b die de *bodyload* in de tijd uitzet voor een verdediger tijdens de vierde wedstrijd van de trainingssessie. Voor de verduidelijking wordt in figuur 3.4a ook nog eens de *bodyload* in de tijd uitgezet voor dezelfde speler tijdens de tweede wedstrijd.

Om de lidmaatschapsfunctie op te stellen en zo te bepalen wat de verschillende mogelijkheden zijn, gegeven de meetresultaten, dient beroep gedaan te worden op een expert in de desbetreffende materie. Aangezien dit in het kader van deze masterproef niet relevant is, werd geopteerd om de lidmaatschapsfunctie op te stellen op basis van de gemiddelde waarden van alle spelers van hetzelfde team gedurende de verschillende wedstrijden tijdens een zelfde trainingssessie. Vervolgens werd op basis van deze gemiddelde waarden de voldoeningsgraden van de lidmaatschapsfunctie opgesteld. Voor de *bodyload* resulteerde dit in

$$\mu_{hoge\_bodyload}(x) = \begin{cases} 0 & \text{als } x < 35 \\ \frac{x - 35}{25} & \text{als } 35 \leq x \leq 60 \\ 1 & \text{als } x > 60 \end{cases}$$



(a) *Bodyload* van een verdediger, gemeten tijdens de vierde wedstrijd.

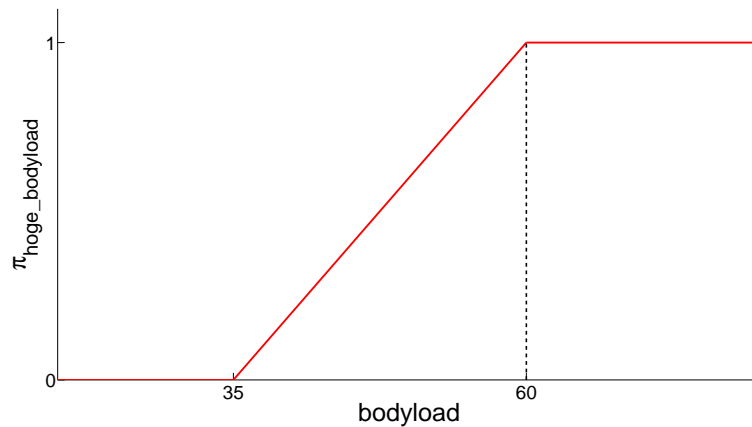


(b) *Bodyload* van een verdediger, gemeten tijdens de tweede wedstrijd.

Figuur 3.4: Klassieke voorstellingswijze van de *bodyload* van een speler, gemeten op elk moment over een periode van 5 minuten tijdens een wedstrijd.

Tot slot kan bovenstaande lidmaatschapsfunctie gebruikt worden om de possibiliteitsdistributie  $\pi_{hoge\_bodyload}$  op te stellen, gebruik makend van definitie 3.12. Het resultaat wordt gevisualiseerd in figuur 3.5.

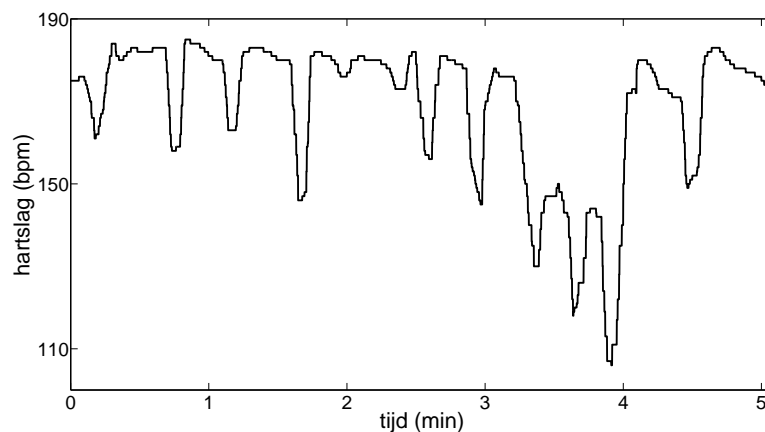




Figuur 3.5: Possibiliteitsdistributie die de mogelijkheid uitdrukt dat ‘een speler een hoge *bodyload* heeft’.

### 3.3.2 Hoge hartslag

Een tweede mogelijkheid drukt de plausibiliteit uit dat een speler een ‘hoge hartslag’ heeft. In tegenstelling tot de *bodyload*, die lineair toeneemt over het verloop van een wedstrijd, verwachten we bij de hartslag een meer variërend verloop waarbij de hartslag zal stijgen bij een inspanning en opnieuw zal dalen in periodes van relatieve rust. In figuur 3.6 wordt de hartslag van een verdediger tijdens de vierde wedstrijd van de trainingssessie in de tijd uitgezet.



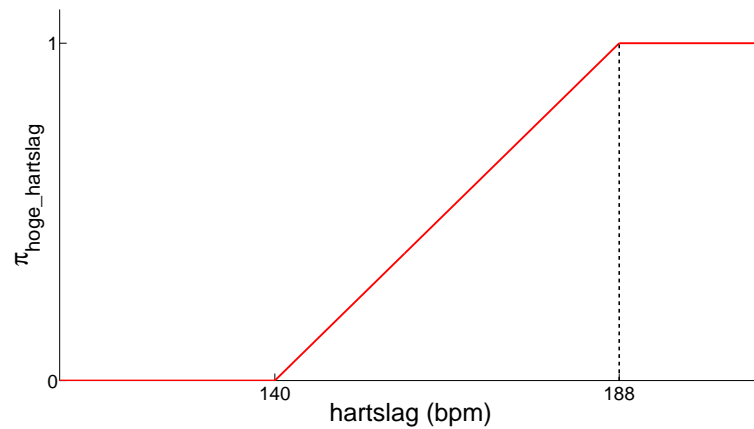
Figuur 3.6: Klassieke voorstellingswijze van de hartslag van een speler, gemeten op elk moment over een periode van 5 minuten tijdens een wedstrijd.

Voor het opstellen van de lidmaatschapsfunctie voor een hoge hartslag werd een beroep gedaan op de definitie van de verschillende hartslagzones. Deze duiden aan, rekening houdend met de leeftijd van een bepaalde persoon, met welke toestand deze hartslag

overeenstemt. Voorbeelden van zo een toestand zijn ‘in rust’ of ‘intensief’. Vervolgens kunnen deze zones gebruikt worden om de lidmaatschapsfunctie te kenmerken. Dit resulteerde voor de hartslag in

$$\mu_{hoge\_hartslag}(x) = \begin{cases} 0 & \text{als } x < 140 \\ \frac{x - 140}{48} & \text{als } 140 \leq x \leq 188 \\ 1 & \text{als } x > 188 \end{cases}$$

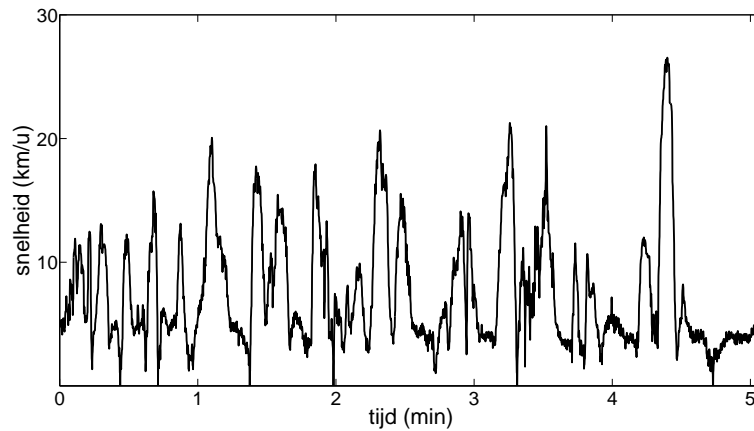
Tot slot kan bovenstaande lidmaatschapsfunctie gebruikt worden om de possibiliteitsdistributie  $\pi_{hoge\_hartslag}$  op te stellen, gebruik makend van definitie 3.12. Het resultaat wordt gevisualiseerd in figuur 3.7.



Figuur 3.7: Possibiliteitsdistributie die de mogelijkheid uitdrukt dat ‘een speler een hoge hartslag heeft’.

### 3.3.3 Actieve deelname aan spelsituatie

Een laatste mogelijkheid drukt de plausibiliteit uit dat een speler ‘actief deelneemt’ aan een spelsituatie. Hiervoor wordt een beroep gedaan op de snelheid van een speler. De aanname is dat, als een speler een hoge snelheid heeft, de mogelijkheid ook hoog is dat hij deelneemt aan een spelsituatie. Merk op dat hier geen onderscheid gemaakt wordt tussen een verdedigende of een aanvallende actie. In figuur 3.8 wordt de snelheid van een verdediger tijdens de vierde wedstrijd van de trainingssessie in de tijd uitgezet.

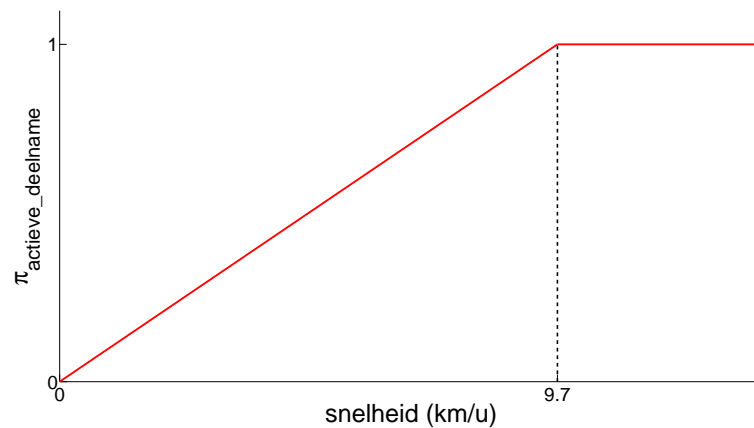


Figuur 3.8: Klassieke voorstellingswijze van de snelheid van een speler, gemeten op elk moment over een periode van 5 minuten tijdens een wedstrijd.

Net zoals bij de *bodyload* werd gebruik gemaakt van de gemiddelde waarden van alle spelers van hetzelfde team tijdens een wedstrijd om de lidmaatschapsfunctie op te stellen. Dit resulteerde voor de snelheid in

$$\mu_{actieve\_deelname}(x) = \begin{cases} \frac{10 \cdot x}{97} & \text{als } x \leq 9.7 \\ 1 & \text{als } x > 9.7 \end{cases}$$

Tot slot kan bovenstaande lidmaatschapsfunctie gebruikt worden om de possibiliteitsdistributie  $\pi_{actieve\_deelname}$  op te stellen, gebruik makend van definitie 3.12. Het resultaat wordt gevisualiseerd in figuur 3.9.



Figuur 3.9: Possibiliteitsdistributie die de mogelijkheid uitdrukt dat ‘een speler actief deelneemt aan een spelsituatie’.

# Hoofdstuk 4

## Studie van het Continuous Triangular Model

Einde jaren '90 onderzocht Kulpa alternatieve manieren om een interval af te beelden, gebruik makend van het middelpunt van een tijdsinterval en een welbepaalde hoek om het tijdsinterval te karakteriseren in plaats van de *klassieke* voorstellingswijze [Lig97, Kul96, Kul01]. Er was nood aan een alternatieve voorstellingswijze, zoals reeds besproken in sectie 2.4. Deze alternatieve voorstellingswijze liet toe om efficiënter te redeneren over tijdsintervallen, ook als er heel veel intervallen in één diagram dienden afgebeeld te worden.

Verder onderzoek, uitgevoerd door Van de Weghe et al., gaf aanleiding tot het Triangular Model dat werd toegepast op allerlei geografische casestudies [VdWDD<sup>+</sup>07]. Vervolgens werd een evolutie van dit model voorgesteld door Qiang et al. in het continu domein: het Continuous Triangular Model [QCL<sup>+</sup>13]. In dit hoofdstuk wordt eerst kort toegelicht wat het Triangular Model is en hoe het kan opgebouwd worden. Vervolgens wordt het Continuous Triangular Model geïntroduceerd, wat verder in deze masterproef telkens gebruikt wordt. Om de analyse, gebruikmakend van dit model, nog wat te vereenvoudigen wordt in het Continuous Triangular Model ook met een kleurcodering gewerkt. Deze kleurcodering laat toe om in een oogopslag gelijkaardige gebieden in het diagram te detecteren. Dit wordt verder toegelicht in sectie 4.2.3.

Ook is het mogelijk om een aantal mogelijkheden, gedefinieerd in het vorige hoofdstuk, te visualiseren in een CTM-diagram. Hiervoor wordt steeds gebruik gemaakt van een welbepaalde aggregatie-operator, namelijk de minimum-operator, om het CTM-diagram op te stellen. Dit is gebaseerd op het feit dat in de mogelijkheidstheorie voor de t-norm steeds de minimum-operator gebruikt wordt, zoals bepaald door Zadeh [Zad78].

In dit hoofdstuk wordt in sectie 4.1 het Triangular Model besproken, waarna hierop gesteund wordt om in sectie 4.2 het Continuous Triangular Model op te bouwen.

## 4.1 Triangular Model

In sectie 2.1 werd een definitie opgesteld voor een tijdsinterval en de duur van een interval. Met behulp van deze definities kan men gegeven een begintijdstip en een eindtijdstip een tijdsinterval opstellen en vervolgens de lengte van dit tijdsinterval bepalen. Vervolgens kunnen deze tijdsintervallen gevisualiseerd worden gebruik makend van de *klassieke* voorstellingswijze. In deze sectie wordt een alternatieve voorstellingswijze opgebouwd, beter bekend als het Triangular Model (TM).

Voor de bespreking van dit model is het nodig om eerst het onderscheid te maken tussen een model en een diagram.

### Definitie 4.1 (Model)

Een **model** bevat de beschrijving van een proces of systeem.

□

### Definitie 4.2 (Diagram)

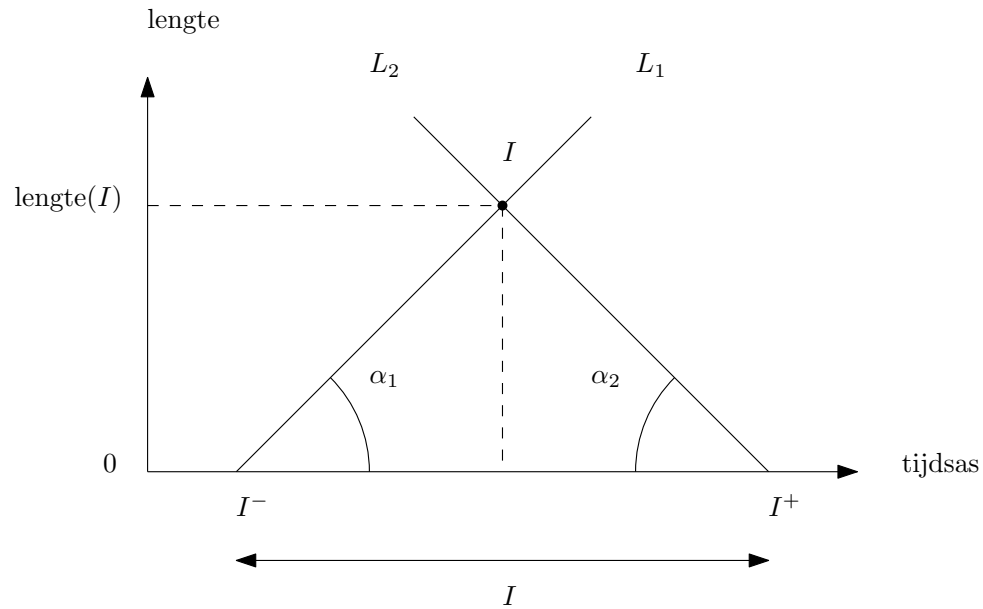
Een **diagram** is een grafische weergave van een model.

□

Om het diagram, gebruik makend van het TM, op te stellen moet in de eerste plaats het assenstelsel worden opgebouwd waarin de tijdsintervallen gevisualiseerd worden. De horizontale as of de  $X$ -as wordt op dezelfde manier opgebouwd als in sectie 2.3 en wordt gebruikt om het begin- en eindtijdstip van elk tijdsinterval te bepalen. De tijdstippen, gemodelleerd op deze as, stellen dus een volledig geordende verzameling voor, of kortweg de tijd. De verticale as of de  $Y$ -as wordt gebruikt om de lengte van elk tijdsinterval aan te duiden, zoals gedefinieerd in definitie 2.5.

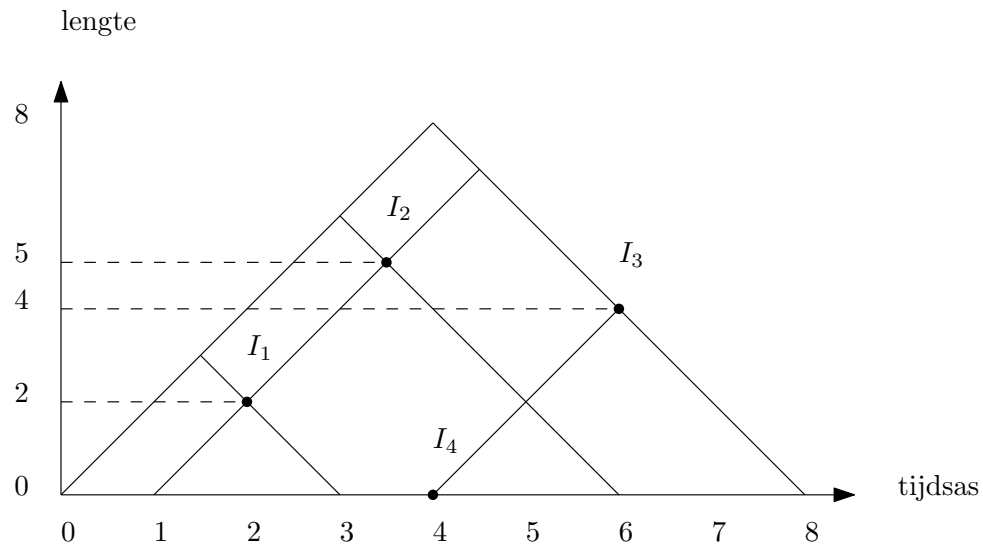
Net zoals bij de *klassieke* voorstellingswijze worden eerst het begintijdstip  $I^-$  en het eindtijdstip  $I^+$  op de tijdsas voorgesteld. Vervolgens wordt vanuit  $I^-$  een rechte  $L_1$  getekend, die een hoek  $\alpha_1$  vormt met de  $X$ -as. Voor het eindtijdstip  $I^+$  wordt hetzelfde gedaan door de rechte  $L_2$  te tekenen, die een hoek  $\alpha_2$  vormt met de  $X$ -as. Hierbij geldt steeds dat  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ . Tot slot kunnen we het snijpunt  $I$  van de rechten  $L_1$  en  $L_2$  bepalen. De  $Y$ -coördinaat van dit punt stelt de lengte van het tijdsinterval voor. Met deze methode zal elk tijdsinterval nu overeenkomen met één uniek punt in de voorstelling, ook nog het intervalpunt  $I$  genoemd. In figuur 4.1 wordt een enkelvoudig interval voorgesteld op basis van bovenstaande methode. Voor alle duidelijkheid wordt onder de figuur nog eens getoond hoe dit tijdsinterval gevisualiseerd wordt, gebruik makend van de *klassieke* voorstellingswijze. Merk op dat dit punt  $I$  dus uniek het volledige interval  $[I^-, I^+]$  zal bepalen.

Verder kan de hoek  $\alpha$  verschillende waarden aannemen tussen  $0^\circ$  en  $90^\circ$ . Afhankelijk van de keuze wordt een ander soort Triangular Model gevisualiseerd. Consistent met voorgaand onderzoek wordt in deze masterproef telkens de waarde  $\alpha = 45^\circ$  gekozen [VdWDD<sup>+</sup>07, Kul01].



Figuur 4.1: Visuele voorstelling van een tijdsinterval met behulp van het Triangular Model.

Het grote voordeel van dit model is dat het mogelijk is om meerdere tijdsintervallen op een eenvoudige wijze in hetzelfde diagram te visualiseren en dat de manier van visualiseren niet afhankelijk is van de lengte van de tijdsintervallen. Dit wordt geïllustreerd in figuur 4.2. Hier zijn  $I_1 = [1, 3]$  en  $I_2 = [1, 6]$  en  $I_3 = [4, 8]$  en tot slot  $I_4 = [4, 4]$  de tijdsintervallen die gemodelleerd worden.



Figuur 4.2: Voorstelling van een verzameling tijdsintervallen met behulp van het Triangular Model.

Een nadeel aan het TM is dat gelijke tijdsintervallen steeds op hetzelfde punt zullen afgebeeld worden. Zo zou het bijvoorbeeld niet mogelijk zijn om een ander tijdsinterval

(of in dit geval, een individueel tijdstip)  $I_5 = [4, 4]$  te onderscheiden van de reeds aanwezige tijdsintervallen in figuur 4.2.

## 4.2 Continuous Triangular Model

In sectie 4.1 werd het Triangular Model geïntroduceerd. In deze sectie wordt hierop verder gebouwd om het Continuous Triangular Model (CTM) te introduceren. Eerst worden de basisconcepten van het CTM verduidelijkt, waarna de aggregatie-operator die gebruikt wordt om het CTM op te bouwen toegelicht wordt. In sectie 4.2.4 tot slotte worden de mogelijkheden, zoals gedefinieerd in sectie 3.3, elk apart voorgesteld in een CTM-diagram.

### 4.2.1 Constructie van CTM

Het CTM wordt gebruikt als model om meetresultaten, zoals gedefinieerd in sectie 3.1.3 en meer bepaald in definitie 3.11, te visualiseren. In het CTM wordt elk willekeurig interval  $I$  opgedeeld in een oneindig aantal deelintervallen  $I_n$ .

Wanneer de meetresultaten gevisualiseerd worden in het CTM-diagram, worden deze niet rechtstreeks bepaald zoals in sectie 4.1, maar wordt een aggregatie-waarde per deelinterval  $I_n$  berekend. Het gebruik van de aggregatie-operator wordt verder verduidelijkt in de volgende sectie.

De horizontale as stelt, net zoals bij het TM, de tijd voor. De verticale as wordt opnieuw gebruikt om de lengte van elk tijdsinterval aan te duiden.

### 4.2.2 Aggregatie-operator in CTM

In deze sectie wordt ook een antwoord gegeven op de tweede onderzoeksvraag, zoals geformuleerd in sectie 1.3, namelijk ‘Is er een eenduidig verband tussen de berekening van een mogelijkheid en de onderliggende mogelijkheden in een CTM-diagram?’.

Om een antwoord op deze onderzoeksvraag te formuleren, moet eerst het concept van een aggregatie-operator verduidelijkt worden.

#### Definitie 4.3 (Aggregatie-operator)

*Indien een verzameling van waarden wordt afgebeeld op één waarde noemt men de functie die deze afbeelding realiseert de **aggregatie-operator**. Een aantal voorbeelden van aggregatie-operatoren zijn het gemiddelde, de som, het minimum en het maximum. Deze aggregatie-operator kan voorgesteld worden als  $f(y_i, y_{i+1}, \dots, y_j)$  voor de meetresultaten  $y_i, y_{i+1}, \dots, y_j$  in het interval  $[x_i, x_j]$ , waarbij  $y_k$  het meetresultaat is op het moment  $x_k$ ,  $\forall k \in [x_i, x_j]$ .*

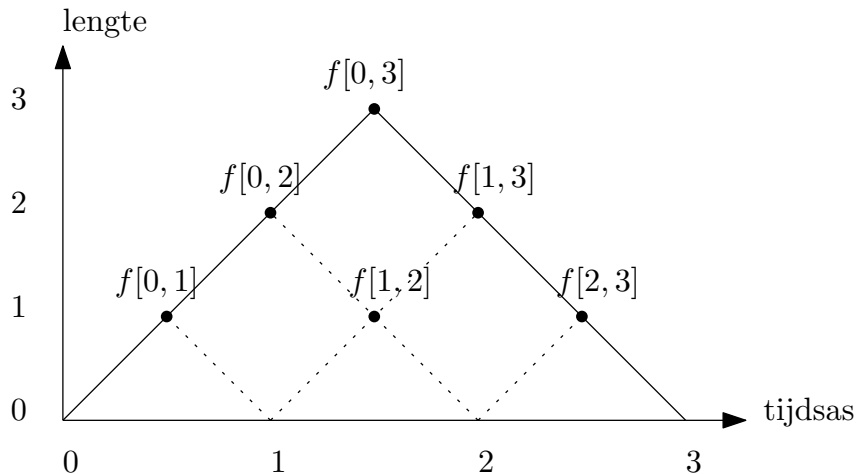
□

Zoals reeds in de inleiding van dit hoofdstuk werd aangehaald, is de aggregatie-operator die in deze masterproef gebruikt wordt, steeds de minimum-operator. Dit komt omdat in

een CTM-diagram steeds mogelijkheden gevisualiseerd zullen worden. Concreet betekent dit dus dat  $f(y_i, y_{i+1}, \dots, y_j) = \min(y_i, y_{i+1}, \dots, y_j)$  voor de meetresultaten  $y_i, y_{i+1}, \dots, y_j$  in het interval  $[x_i, x_j]$ .

Aangezien bij het CTM met meetresultaten gewerkt wordt, beschouwen we nu niet het volledige interval  $I$ , maar wel een deelinterval  $I_n$  uit  $I$ . Voor dit deelinterval wordt, net zoals bij het TM, eerst het begintijdstip  $I_n^-$  en het eindtijdstip  $I_n^+$  op de tijdsas voorgesteld. Vervolgens wordt vanuit  $I_n^-$  een rechte  $L_1$  getekend, die een hoek  $\alpha_1$  vormt met de  $X$ -as. Voor het eindtijdstip  $I_n^+$  wordt hetzelfde gedaan door de rechte  $L_2$  te tekenen, die een hoek  $\alpha_2$  vormt met de  $X$ -as. Hierbij geldt steeds dat  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ . Tot slot kunnen we het snijpunt  $I_n$  van de rechten  $L_1$  en  $L_2$  bepalen. Dit intervalpunt is dan de aggregatie van alle meetresultaten behorend tot dit deelinterval. De waarde van dit punt zal dus, indien we veronderstellen dat  $I_n^- = x_i$  en  $I_n^+ = x_j$ , bepaald worden door  $\min(y_i, y_{i+1}, \dots, y_j)$  waarbij  $y_i, y_{i+1}, \dots, y_j$  de beschouwde meetresultaten zijn in het interval  $[x_i, x_j]$ .

De  $Y$ -coördinaat van het intervalpunt stelt opnieuw de lengte van het tijdsinterval voor. In figuur 4.3 wordt bovenstaande methode verduidelijkt. Hierbij de opmerking dat de notatie  $f[x_i, x_j]$  gebruikt wordt om aan te duiden dat de aggregatie over de meetresultaten  $y_i, y_{i+1}, \dots, y_j$  in het interval  $[x_i, x_j]$  beschouwd wordt.



Figuur 4.3: Voorstelling van de aggregatie-operator in het Continuous Triangular Model.

Om een antwoord te geven op de onderzoeksvraag, zoals geformuleerd in het begin van deze sectie, moeten we onderzoeken of geldt dat bijvoorbeeld  $f[0, 2] = f(f[0, 1], f[1, 2])$ . Indien we dit omzetten naar de minimum-operator moet er dus gelden dat  $\min[0, 2] = \min(\min[0, 1], \min[1, 2])$ .

Voor de minimum-operator is meteen duidelijk dat deze bewering geldig is, aangezien de minimum-operator zowel associatief als commutatief is en de opdeling van de verschillende deelintervallen geen invloed heeft op de geaggregeerde waarde. Het verband tussen een mogelijkheid en de onderliggende mogelijkheden in een CTM-diagram is dus dat deze gelijk



is aan het minimum van de onderliggende mogelijkheden, overeenkomstig met de gebruikte aggregatie-operator. Deze is namelijk gelijk aan de min-operator indien mogelijkheden gemodelleerd worden in een CTM-diagram.

### 4.2.3 Visuele weergave in CTM

Vaak wordt in een CTM-diagram gewerkt met een kleurcodering om de visuele analyse te vereenvoudigen [Qia12]. Zo kan aan elke waarde  $f(y_i, y_{i+1}, y_j)$  voor het tijdsinterval  $[x_i, x_j]$  een bepaalde kleur toegekend worden. Voorbeelden hiervan zijn dat, als men bijvoorbeeld de hartslag van spelers uitzet, men werkt met verschillende kleurcoderingen, corresponderend met de verschillende hartslagzones.

In deze masterproef zullen steeds mogelijkheden via het CTM-diagram gevisualiseerd worden. Aangezien deze een waarde hebben in het interval  $[0, 1]$  moet een aangepaste kleurcodering opgebouwd worden. Deze is gebaseerd op de clubkleuren van Club Brugge KV en wordt getoond in figuur 4.4.



Figuur 4.4: Kleurcodering gebruikt in deze masterproef om de mogelijkheden in het CTM te modelleren.

In sectie 4.2.4 wordt deze kleurcodering gebruikt om mogelijkheden te visualiseren, gebruikmakend van het CTM.

### 4.2.4 Possibilititeiten in CTM

In deze sectie worden een aantal CTM-diagrammen opgesteld, gebaseerd op de mogelijkheden gedefinieerd in sectie 3.3. Voor het modelleren van mogelijkheden in het CTM-diagram wordt gebruik gemaakt van de minimum-operator als aggregatie-operator, zoals uitgelegd in sectie 4.2.2. De mogelijkheden die behandeld worden, zijn:

- mogelijkheid dat een speler een ‘hoge *bodyload*’ heeft;
- mogelijkheid dat een speler een ‘hoge hartslag’ heeft;
- mogelijkheid dat een speler ‘actief deelneemt’ aan een spelsituatie.

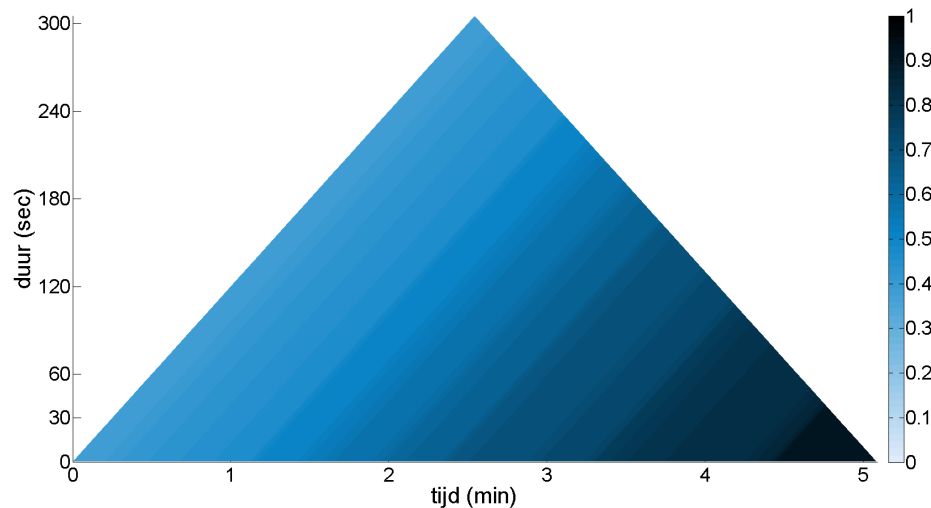
Vervolgens kan voor elk van deze mogelijkheden een CTM-diagram opgebouwd worden, waarbij telkens één wedstrijd gevisualiseerd wordt. Om de mogelijkheden (en de resulterende CTM-diagrammen) op te stellen werd telkens gebruik gemaakt van de meetresultaten van een verdediger. Deze meetresultaten zijn telkens afkomstig van de vierde wedstrijd van de trainingssessie op 1 oktober 2012.

De waarde van een punt  $p$  in het CTM-diagram kan voorgesteld worden als

$$\forall p \in CTM : \pi(p) = \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi(i)) \quad , \text{ waarbij } p \triangleq [a, b]$$

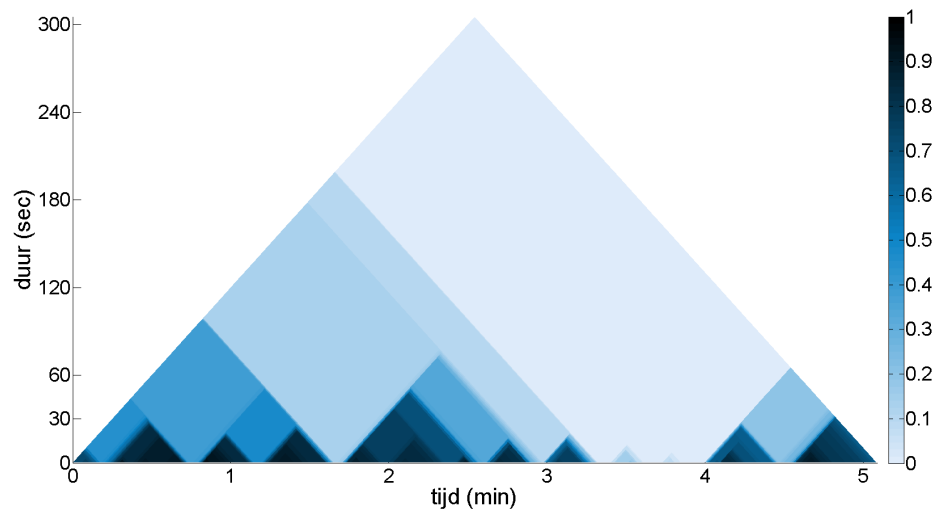
met de minimum-operator als aggregatie-operator en de waarde van de mogelijkheden voorgesteld als  $\pi(\cdot)$ .

Voor de **eerste** mogelijkheid, de mogelijkheid dat een speler een ‘hoge *bodyload*’ heeft, wordt het resultaat gevisualiseerd in figuur 4.5. Hier stelt de  $X$ -as de totale duur van de wedstrijd voor, terwijl op de  $Y$ -as de lengte van het tijdsinterval aangeduid wordt. We zien duidelijk dat de figuur donkerder wordt naar het einde van de wedstrijd toe, wat ook te verwachten was aangezien in sectie 3.3.1 blijkt dat de *bodyload* lineair toeneemt, naarmate de wedstrijd vordert.



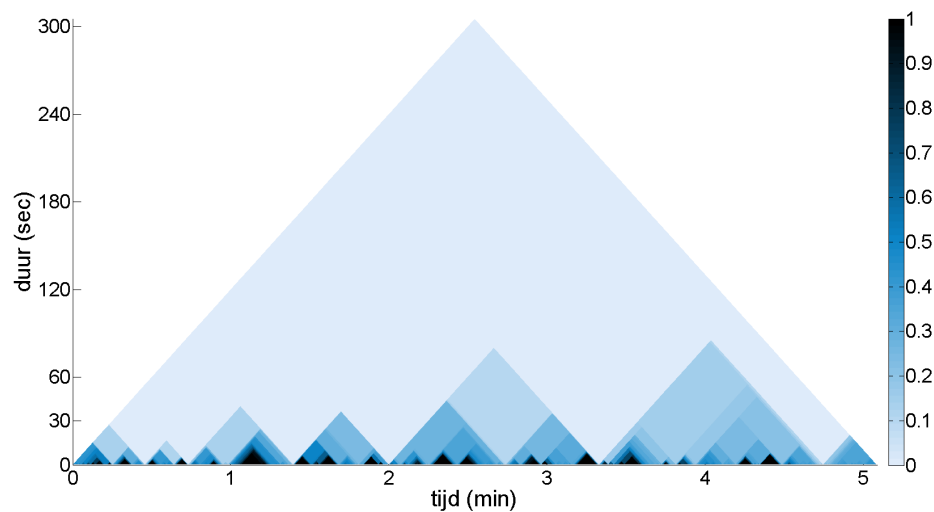
Figuur 4.5: CTM-diagram dat de mogelijkheid modelleert dat een speler een ‘hoge *bodyload*’ heeft.

Voor de **tweede** mogelijkheid, de mogelijkheid dat een speler een ‘hoge hartslag’ heeft, wordt het resultaat gevisualiseerd in figuur 4.6. Hier zien we dat de aggregatie-operator ervoor zorgt dat over het gehele interval de mogelijkheid gelijk is aan 0 of  $\min(x_0, \dots, x_N) = 0$  met  $N$  het aantal meetpunten over de gehele wedstrijd. Ook zien we dat de mogelijkheid dat de speler een ‘hoge hartslag’ heeft hoger is in het begin van de wedstrijd en ook hogere waarden heeft over een groter tijdsinterval (aangeduid door de grotere driehoeken in het diagram).



Figuur 4.6: CTM-diagram dat de mogelijkheid modelleert dat een speler een ‘hoge hartslag’ heeft.

Voor de **derde** mogelijkheid, de mogelijkheid dat een speler ‘actief deelneemt’ aan een spelsituatie, wordt het resultaat gevisualiseerd in figuur 4.7. Hier zien we veel kleinere driehoeken, wat duidt op tijdsintervallen met een kortere lengte waarvoor de mogelijkheid hoog is dat de speler ‘actief deelneemt’ aan een spelsituatie. Verder zien we ook dat er geen periodes zijn waarbij de speler minder actief is. Integendeel, naar het einde van de wedstrijd toe zien we zelf een kleine verhoging van de lengtes van de tijdsintervallen waarbij een hogere mogelijkheid aanwezig is.



Figuur 4.7: CTM-diagram dat de mogelijkheid modelleert dat een speler ‘actief deelneemt’ aan een spelsituatie.

## Hoofdstuk 5

# Algemene operatoren van het Continuous Triangular Model

In de vorige hoofdstukken werd de nodige basis aangereikt zodat operatoren, die inwerken op verschillende CTM-diagrammen, in dit hoofdstuk kunnen opgesteld en besproken worden. In het vierde hoofdstuk werd uitgelegd wat precies een Continuous Triangular Model is en hoe deze, vertrekkend van de brondata kunnen opgebouwd worden. Opnieuw geldt in dit hoofdstuk de veronderstelling dat de brondata van elk CTM-diagram steeds mogelijkheden voorstellen. Het gebruik van de mogelijkheidstheorie werd toegelicht in het derde hoofdstuk.

Het gevolg van het gebruiken van mogelijkheden, die steeds gemodelleerd worden gebruik makend van het CTM, is dat, ongeacht de gekozen eigenschap, het datatype steeds een mogelijkheid voorstelt. Dit zorgt ervoor dat het rechtstreeks mogelijk is om de eigenschappen met elkaar te vergelijken, zonder dat een conversie naar een compatibel datatype nodig is. Er is dus inherent geen correlatie nodig tussen de verschillende veronderstellingen die elk gemodelleerd worden door een mogelijkhedenverdeling.

In dit hoofdstuk wordt nagegaan wat de impact is van een aantal *combinatie-operatoren* op de data die in een CTM-diagram gemodelleerd wordt. Hiervoor worden twee *tracks* opgesteld. Hiervan weten we dat de tweede *track* **altijd** correct is, voor de eerste is dit niet steeds het geval. De eerste *track* wordt toch beschouwd omdat, indien deze correct is, aanleiding geeft tot een veel efficiëntere methode zowel qua complexiteit (in het aantal bewerkingen) als qua intuïtief karakter. Het doel van dit hoofdstuk is dus om na te gaan voor welke *combinatie-operator* beide *tracks* een zelfde resultaat geven. De beide *tracks* worden als volgt opgesteld:

- **Track 1:** De eerste *track* wordt opgebouwd door de operatoren rechtstreeks op de waarden van de verschillende CTM-diagrammen te laten inwerken. Hierdoor wordt een nieuw CTM-diagram bekomen, als resultaat van de *combinatie-operator*.
- **Track 2:** De tweede *track* wordt opgebouwd door de operatoren rechtstreeks op de brondata te laten inwerken. Vervolgens wordt een CTM-diagram opgebouwd, ge-

bruik makend van de minimum-operator als aggregatie-operator. Zoals reeds eerder vermeld, zal deze *track* altijd aanleiding geven tot een (semantisch) correct resultaat.

Eerst wordt elke operator geïntroduceerd, waarna voor elke operator beide *tracks* opgesteld worden. Vervolgens kan er nagegaan worden of beide methoden aanleiding geven tot hetzelfde diagram. Tot slot wordt ook nog een algemene operator opgesteld, met een aantal voorwaarden waaraan deze algemene operator moet voldoen. Indien dit het geval is, zullen beide *tracks* steeds hetzelfde diagram opleveren.

De *combinatie-operatoren* die in dit hoofdstuk besproken worden zijn, naast de conjunctie-operator en de disjunctie-operator, ook enkele implicatie-operatoren. Er werd gekozen om de meest gebruikte operatoren te beschouwen: namelijk de Kleene-Dienes-operator, de Lukasiewicz<sub>S</sub>-operator, de Reichenbach-operator, de Gödel-operator, de Lukasiewicz<sub>R</sub>-operator en tot slot de Goguen-operator. De Kleene-Dienes-operator, de Lukasiewicz<sub>S</sub>-operator en de Reichenbach-operator stellen telkens een S-implicatie voor. De Gödel-operator, de Lukasiewicz<sub>R</sub>-operator en de Goguen-operator stellen telkens een R-implicatie voor. Het verschil tussen beide categorieën implicatie-operatoren wordt verduidelijkt in secties 5.5 en 5.6.

Voor elke operator wordt eerst een algemene definitie gegeven, gevolgd door een 3D-visualisatie van de operator, en vervolgens worden beide *tracks* opgebouwd. Voor de visualisatie van deze *tracks* wordt gebruik gemaakt van de dataset van Club Brugge KV. De beschouwde eigenschappen zijn telkens de hartslag en de snelheid van een verdediger, over de duur van een wedstrijd van vijf minuten.

Ook is het mogelijk dat een operator niet inwerkt op twee verschillende CTM-diagrammen, maar op één enkel CTM-diagram. De operator die dit gedrag vertoont en in deze masterproef besproken wordt is de projectie-operator en beperkt het beschouwde CTM-diagram tot een bepaalde duur. Deze operator wordt vooral in het volgende hoofdstuk gebruikt, aangezien deze de gebruiker in staat stelt om tot overzichtelijkere diagrammen te komen.

In dit hoofdstuk wordt in sectie 5.1 een algemene definitie voor een willekeurige operator  $\otimes$  gegeven. Beide *tracks*, zoals hierboven geformuleerd, worden in sectie 5.2 opgesteld. De conjunctie- en de disjunctie-operator worden respectievelijk in sectie 5.3 en in sectie 5.4 behandeld. Vervolgens worden de S-implicaties en de R-implicaties in respectievelijk sectie 5.5 en sectie 5.6 opgesteld. In sectie 5.7 wordt een definitie gegeven voor de algemene operator, waarvoor steeds geldt dat de eerste *track* en de tweede *track* hetzelfde resultaat opleveren. Als laatste operator wordt in sectie 5.8 de projectie-operator behandeld. In sectie 5.9 worden een aantal suggesties voor andere *combinatie-operatoren* gegeven. Tot slot wordt in sectie 5.10 de semantische betekenis van de verschillende groepen van *combinatie-operatoren* achterhaald.

## 5.1 Algemene inwerking van een operator

Er dient eerst en vooral opgemerkt te worden dat de operatoren, opgesteld in dit hoofdstuk, steeds zullen inwerken op lidmaatschapsgraden. Hierbij maken we meteen de veronderstelling dat operatoren steeds inwerken op mogelijkheden, die een interpretatie zijn van lidmaatschapsgraden, en de waarden dus in het interval  $[0, 1]$  gelegen zijn. In tegenstelling tot een Booleaanse operator waarbij het resultaat van een operator steeds 0 of 1 is, zal het resultaat van een operator op twee lidmaatschapsgraden dus ook steeds een waarde in het interval  $[0, 1]$  hebben. Algemeen kan dit als volgt voorgesteld worden voor een willekeurige operator  $\otimes$ :

$$\otimes : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$$

## 5.2 Opstellen van beide tracks

Zoals reeds aangehaald in de inleiding van dit hoofdstuk worden twee *tracks* beschouwd.

De **eerste track** resulteert uit de inwerking van de *combinatie-operator* op de verschillende CTM-diagrammen. Voor een willekeurig tijdsinterval  $T$ , voorgesteld door  $[a, b]$ , kan de waarde van elk punt  $p$  van het CTM-diagram als volgt opgesteld worden:

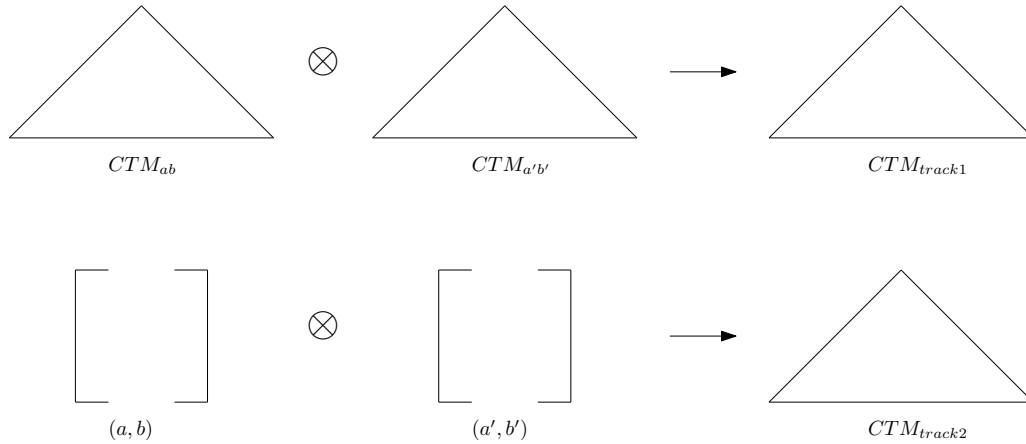
$$T \triangleq [a, b] : p = \underset{\forall i \in [a, b]}{f}(g(i))$$

De gebruikte aggregatie-operator  $f$  is, zoals uitgelegd in het vorige hoofdstuk, de minimum-operator. Aangezien er steeds met mogelijkheden gewerkt wordt, kan  $g(i)$  steeds voorgesteld worden door  $\pi(i)$ ,  $\forall i \in [a, b]$ .

Dit resulteert in twee verschillende CTM-diagrammen waarop vervolgens de *combinatie-operator* op toegepast kan worden.

In de **tweede track** wordt de *combinatie-operator* rechtstreeks toegepast op de brondata, waarna het resulterend CTM-diagram wordt opgebouwd opnieuw gebruik makend van de minimum-operator als aggregatie-operator.

Het verschil tussen beide *tracks* is dus dat in de eerste *track* de inwerking van de *combinatie-operatoren* steeds gebeurt op CTM-diagrammen, terwijl in de tweede *track* de inwerking van de *combinatie-operatoren* rechtstreeks op de brondata gebeurt. De schematische voorstelling van beide *tracks* wordt gegeven in figuur 5.1. Opnieuw wordt een algemene operator voorgesteld door het symbool  $\otimes$ . De belangrijkste vraag die in de volgende secties beantwoord zal worden, is in welke gevallen beide *tracks* hetzelfde diagram opleveren. Tot slot wordt er ook nog in sectie 5.10 onderzocht wanneer het resultaat van een dergelijke *combinatie-operator* semantisch nuttig is.



Figuur 5.1: Inwerking van een algemene operator  $\otimes$  op de verschillende CTM-diagrammen en op de brondata.

### 5.3 Conjunctie-operator

We beschouwen eerst de definitie voor een Booleaanse conjunctie, waarna een gelijkaardige definitie wordt opgesteld waarbij de argumenten geen waarheidswaarden, maar lidmaatschapsgraden zijn.

#### Definitie 5.1 (Conjunctie)

In de Booleaanse logica stelt een **conjunctie** een logische operatie voor tussen twee proposities, waarbij het resultaat waar is als beide proposities waar zijn. De waarheidstabel voor deze operator wordt gegeven in tabel 3.1.

□

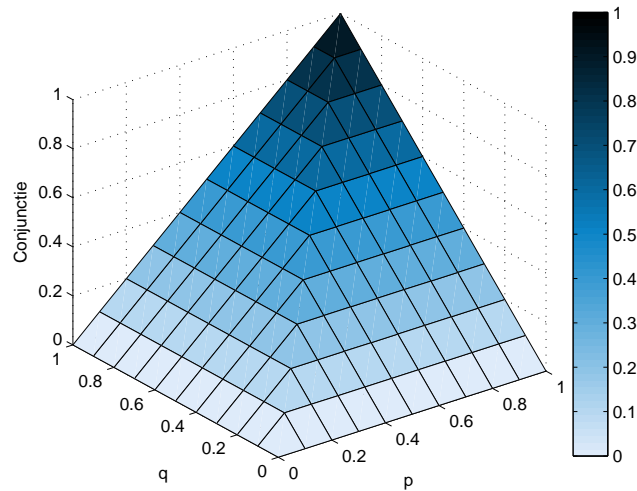
#### Definitie 5.2 (Vage conjunctie)

Een **vage conjunctie** is een operatie die de lidmaatschapsgraden van twee elementen  $p, q \in U$  in twee vaagverzamelingen  $V_1$  en  $V_2$  als argumenten heeft, en die de lidmaatschapsgraad van de doorsnede teruggeeft. De gebruikte operator is de  $t$ -norm, voorgesteld door  $i(\cdot)$ , maar in de mogelijkheidstheorie is deze steeds gelijk aan de minimum-operator.

$$\begin{aligned} \forall p, q \in [0, 1] : p \wedge q &= i(p, q) \\ &= \min(p, q) \end{aligned}$$

□

In figuur 5.2 wordt de conjunctie-operator gevisualiseerd. Uit deze figuur is duidelijk op te maken dat de operator enkel een mogelijkheid gelijk aan 1 zal hebben als beide onderliggende mogelijkheden ook gelijk aan 1 zijn.



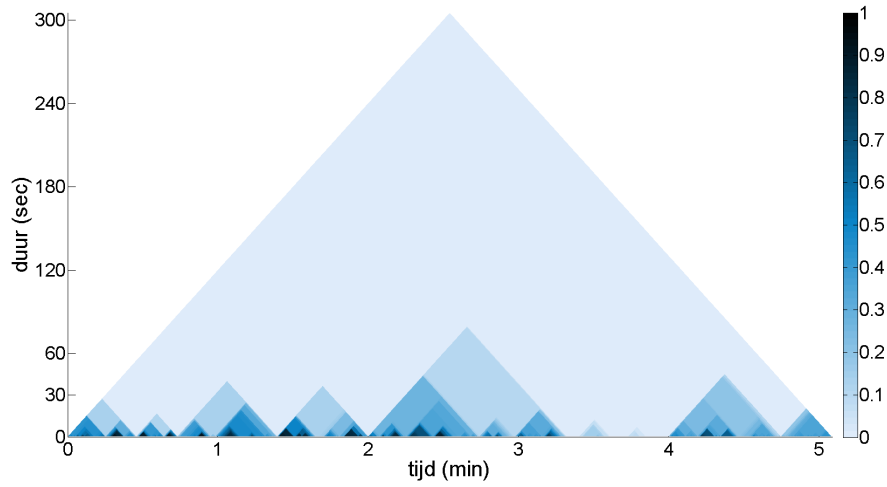
Figuur 5.2: 3D-visualisatie van de conjunctie-operator.

Gebruik makend van de conjunctie-operator stellen we nu beide *tracks* op. Hierbij opnieuw de bemerking dat de gebruikte aggregatie-operator voor het opstellen van een CTM-diagram de minimum-operator is. Ook de bemerking dat  $\pi_1(\cdot)$  de possibiliteitsdistributie van de eerste propositie voorstelt en  $\pi_2(\cdot)$  de possibiliteitsdistributie van de tweede propositie. Aangezien de twee tijdsintervallen steeds dezelfde lengte en eenzelfde granulariteit hebben, kan dit interval telkens voorgesteld worden door  $[a, b]$  of dus  $p \triangleq [a, b]$  in het resulterend CTM-diagram.

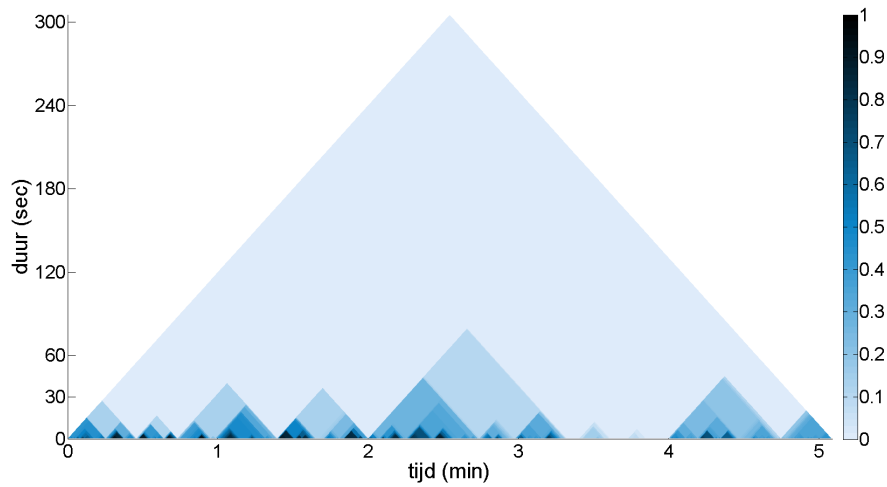
$$\begin{aligned} \forall p \in CTM_{track1} : \pi_{track1}(p) &= \min \left( \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_1(i)), \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_2(i)) \right) \\ \forall p \in CTM_{track2} : \pi_{track2}(p) &= \min_{\forall i \in [a,b]} \left( \min(\pi_1(i), \pi_2(i)) \right) \end{aligned}$$

In figuur 5.3 worden beide *tracks* gevisualiseerd waarbij de brondata de mogelijkheden zijn zoals gemodelleerd in het vorige hoofdstuk. Hierbij gaat het om de mogelijkheid dat ‘een speler een hoge hartslag heeft’, die vergeleken wordt met de mogelijkheid dat ‘een speler actief deelneemt aan een spelsituatie’. We zien dat beide *tracks* duidelijk hetzelfde resultaat opleveren, we vermoeden dus dat  $CTM_{track1} = CTM_{track2}$  als de minimum-operator als *combinatie-operator* gebruikt wordt.





(a) CTM-diagram resulterend uit eerste *track*, gebruik makend van de conjunctie-operator als *combinatie-operator*.



(b) CTM-diagram resulterend uit tweede *track*, gebruik makend van de conjunctie-operator als *combinatie-operator*.

Figuur 5.3: Voorstelling van eerste *track* en tweede *track*, voor de conjunctie-operator als *combinatie-operator*.

Het bewijs voor de stelling dat  $CTM_{track1}$  en  $CTM_{track2}$  effectief gelijk zijn, gaat als volgt

$$\begin{aligned}
 \pi_{track1}(p) &= \pi_{track2}(p) \\
 \min_{\forall i \in [a,b]} \left( \min(\pi_1(i), \pi_2(i)) \right) &= \min \left( \min(\pi_1(i), \pi_2(i)), \min(\pi_1(i+1), \pi_2(i+1)), \dots) \right) \\
 &= \min \left( \min(\pi_1(i), \pi_1(i+1), \dots), \min(\pi_2(i), \pi_2(i+1), \dots)) \right) \\
 &= \min \left( \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_1(i)), \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_2(i)) \right)
 \end{aligned}$$

waarbij gesteund werd op de associativiteit van de minimum-operator.

## 5.4 Disjunctie-operator

We beschouwen eerst de definitie voor een Booleaanse disjunctie, waarna een gelijkaardige definitie wordt opgesteld waarbij de argumenten geen waarheidswaarden, maar lidmaatschapsgraden zijn.

### Definitie 5.3 (Disjunctie)

In de Booleaanse logica stelt een **disjunctie** een logische operatie voor tussen twee proposities, waarbij het resultaat waar is van zodra één van beide proposities waar is of als beide proposities waar zijn. De waarheidstabel voor deze operator wordt gegeven in tabel 3.1.

□

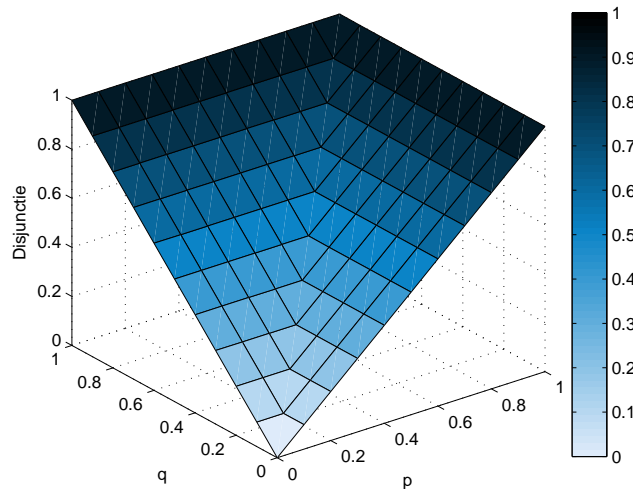
### Definitie 5.4 (Vage disjunctie)

Een **vage disjunctie** is een operatie die de lidmaatschapsgraden van twee elementen  $p, q \in U$  in twee vaagverzamelingen  $V_1$  en  $V_2$  als argumenten heeft, en die de lidmaatschapsgraad van de unie teruggeeft. De gebruikte operator is de  $t$ -conorm, voorgesteld door  $u(\cdot)$ , in de possibiliteitstheorie is deze steeds gelijk aan de maximum-operator.

$$\begin{aligned} \forall p, q \in [0, 1] : p \vee q &= u(p, q) \\ &= \max(p, q) \end{aligned}$$

□

In figuur 5.4 wordt de disjunctie-operator gevisualiseerd. Uit deze figuur is duidelijk op te maken dat de operator enkel een possibiliteit gelijk aan 1 zal hebben van zodra één van de onderliggende possibiliteiten gelijk is aan 1.



Figuur 5.4: 3D-visualisatie van de disjunctie-operator.

Gebruik makend van de disjunctie-operator stellen we nu beide *tracks* op. Hierbij opnieuw de bemerking dat de gebruikte aggregatie-operator voor het opstellen van een CTM-diagram de minimum-operator is. Ook de bemerking dat  $\pi_1(\cdot)$  de possibiliteitsdistributie van de eerste propositie voorstelt en  $\pi_2(\cdot)$  de possibiliteitsdistributie van de tweede propositie. Aangezien de twee tijdsintervallen steeds dezelfde lengte en eenzelfde granulariteit hebben, kan dit interval telkens voorgesteld worden door  $[a, b]$  of dus  $p \triangleq [a, b]$  in het resulterend CTM-diagram.

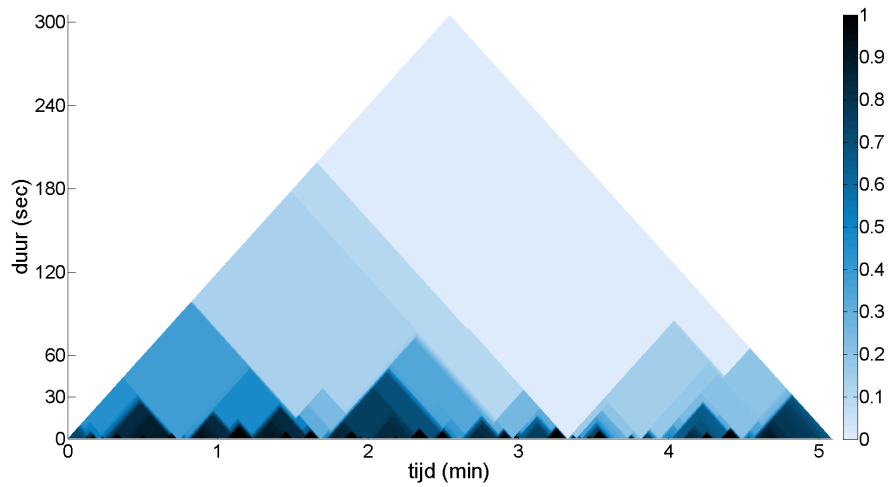
$$\begin{aligned} \forall p \in CTM_{track1} : \pi_{track1}(p) &= \max \left( \min_{\forall i \in [a, b]} (\pi_1(i)), \min_{\forall i \in [a, b]} (\pi_2(i)) \right) \\ \forall p \in CTM_{track2} : \pi_{track2}(p) &= \min_{\forall i \in [a, b]} \left( \max(\pi_1(i), \pi_2(i)) \right) \end{aligned}$$

In figuur 5.5 worden beide *tracks* gevisualiseerd waarbij de brondata de mogelijkheden zijn zoals gemodelleerd in het vorige hoofdstuk. Hierbij gaat het om de mogelijkheid dat ‘een speler een hoge hartslag heeft’, die vergeleken wordt met de mogelijkheid dat ‘een speler actief deelneemt aan een spelsituatie’. Op het eerste zicht leveren beide *tracks* een verschillend resultaat op.

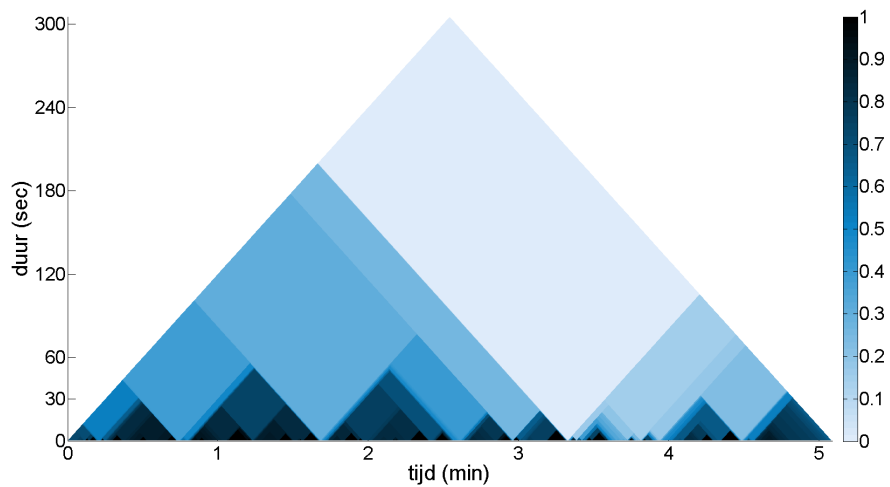
Er wordt gebruik gemaakt van een tegenvoorbeeld om te bewijzen dat beide *tracks* inderdaad aanleiding geven tot een verschillend resultaat.

$$\begin{aligned} \forall [a, b] \in T : \\ \pi_{track1}(p) &= \pi_{track2}(p) \\ \max \left( \min_{\forall i \in [a, b]} (\pi_1(i)), \min_{\forall i \in [a, b]} (\pi_2(i)) \right) &= \min_{\forall i \in [a, b]} \left( \max(\pi_1(i), \pi_2(i)) \right) \end{aligned}$$

Stel nu dat  $\pi_1 = [0, 1]$  in  $[a, b]$  voor de eerste propositie en dat  $\pi_2 = [1, 0]$  in  $[a, b]$  voor de tweede propositie; dan zal  $\pi_{track1}(p) = 0$ , terwijl  $\pi_{track2}(p) = 1$ , dus de initiële onderstelling is vals of m.a.w. beide *tracks* geven niet aanleiding tot hetzelfde resultaat.



(a) CTM-diagram resulterend uit eerste *track*, gebruik makend van de disjunctie-operator als *combinatie-operator*.



(b) CTM-diagram resulterend uit tweede *track*, gebruik makend van de disjunctie-operator als *combinatie-operator*.

Figuur 5.5: Voorstelling van eerste *track* en tweede *track*, voor de disjunctie-operator als *combinatie-operator*.

## 5.5 S-implicaties

In deze sectie wordt een eerste klasse van vage implicatie-operatoren beschouwd, de S-implicaties. Eerst wordt de definitie voor een implicatie uit de Booleaanse logica beschouwd, waarna deze definitie gebruikt wordt om de implicatie uit de vaaglogica, de vage implicatie, op te stellen.

### Definitie 5.5 (Implicatie)

In de Booleaanse logica stelt een **implicatie** een logische operatie voor tussen twee propo-

sities, waarbij het antecedent een logisch gevolg is van het precedent. De waarheidstabel voor deze operator wordt gegeven in tabel 3.1.

□

**Definitie 5.6** (Vage implicatie)

Een **vage implicatie** is een operatie die de lidmaatschapsgraden van twee elementen  $p, q \in U$  in twee vaagverzamelingen  $V_1$  en  $V_2$  als argumenten heeft en die de lidmaatschapsgraad van de implicatie teruggeeft.

$$\begin{aligned} \Rightarrow_k: [0, 1] \times [0, 1] &\rightarrow [0, 1] \\ (p, q) &\mapsto p \Rightarrow_k q \end{aligned}$$

□

Hierbij stelt  $k$  de klasse voor die gebruikt wordt. In deze masterproef worden twee klassen beschouwd: S-implicaties en R-implicaties. Gebruik makend van bovenstaande definities kan de eerste klasse van implicatie-operatoren opgesteld worden.

**Definitie 5.7** (S-implicatie)

Een **S-implicatie** is een operatie die de lidmaatschapsgraden van twee elementen  $p, q \in U$  in twee vaagverzamelingen  $V_1$  en  $V_2$  als argumenten heeft en die de lidmaatschapsgraad van de implicatie teruggeeft. De operator  $u(\cdot)$  stelt de  $t$ -conorm voor, zoals gedefinieerd in sectie 3.1.2 en meer bepaald in definitie 3.9.

$$\forall p, q \in [0, 1] : p \Rightarrow_S q = u(1 - p, q)$$

□

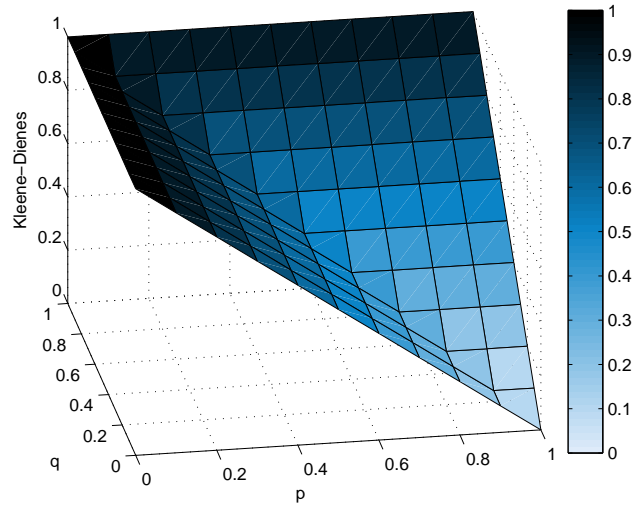
### 5.5.1 Kleene-Dienes-operator

Een eerste voorbeeld van de S-implicaties is de **Kleene-Dienes-operator**. Deze wordt gegeven als volgt:

$$\forall p, q \in [0, 1] : p \Rightarrow_{S_{K-D}} q = \max(1 - p, q)$$

In figuur 5.6 wordt de Kleene-Dienes-operator gevisualiseerd. In deze figuur zijn de eigenschappen van een implicatie-operator duidelijk weergegeven, zo zal het resultaat alleen 0 zijn als zowel het precedent  $p$  gelijk is aan 1 en het antecedent  $q$  gelijk is aan 0.

Gebruik makend van de Kleene-Dienes-operator stellen we nu beide *tracks* op. Hierbij opnieuw de bemerking dat de gebruikte aggregatie-operator voor het opstellen van een CTM-diagram de minimum-operator is. Ook de bemerking dat  $\pi_1(\cdot)$  de possibiliteitsdistributie van de eerste propositie voorstelt en  $\pi_2(\cdot)$  de possibiliteitsdistributie van de tweede



Figuur 5.6: 3D-visualisatie van de Kleene-Dienes-operator.

propositie. Aangezien de twee tijdsintervallen steeds dezelfde lengte en eenzelfde granulariteit hebben, kan dit interval telkens voorgesteld worden door  $[a, b]$  of dus  $p \triangleq [a, b]$  in het resulterend CTM-diagram.

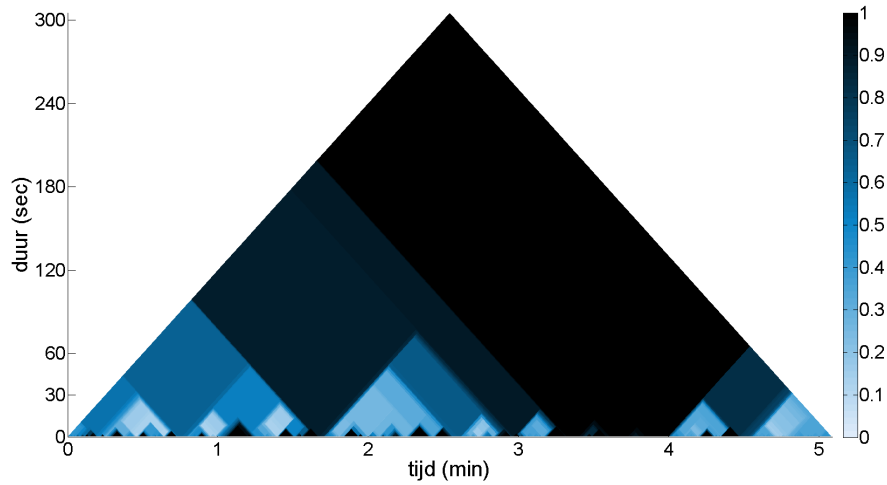
$$\begin{aligned} \forall p \in CTM_{track1} : \pi_{track1}(p) &= \max \left( 1 - \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_1(i)), \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_2(i)) \right) \\ \forall p \in CTM_{track2} : \pi_{track2}(p) &= \min_{\forall i \in [a,b]} \left( \max(1 - \pi_1(i), \pi_2(i)) \right) \end{aligned}$$

In figuur 5.7 worden beide *tracks* gevisualiseerd waarbij de brondata de mogelijkheden zijn zoals gemodelleerd in het vorige hoofdstuk. Hierbij gaat het om de mogelijkheid dat ‘een speler een hoge hartslag heeft’, die vergeleken wordt met de mogelijkheid dat ‘een speler actief deelneemt aan een spelsituatie’. We zien duidelijk dat beide *tracks* een verschillend resultaat opleveren.

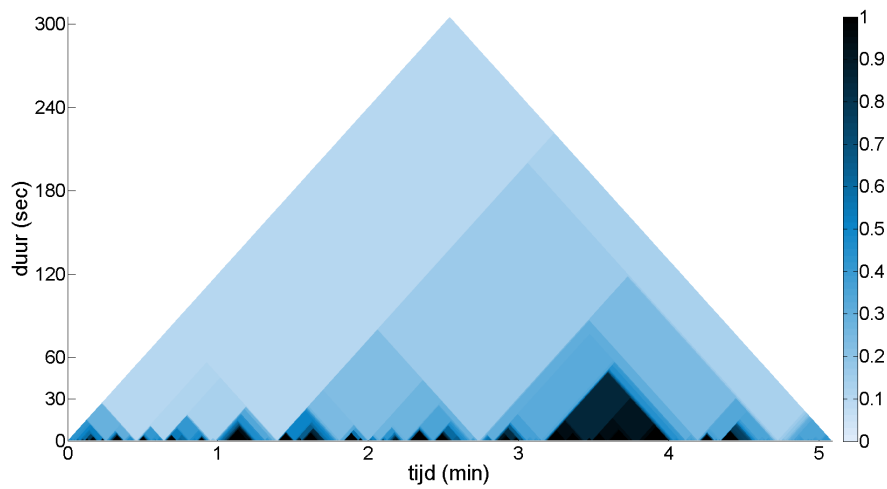
Er wordt gebruik gemaakt van een tegenvoorbeeld om te bewijzen dat beide *tracks* inderdaad aanleiding geven tot een verschillend resultaat.

$$\begin{aligned} \forall [a, b] \in T : \\ \pi_{track1}(p) &= \pi_{track2}(p) \\ \max \left( 1 - \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_1(i)), \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_2(i)) \right) &= \min_{\forall i \in [a,b]} \left( \max(1 - \pi_1(i), \pi_2(i)) \right) \end{aligned}$$

Stel nu dat  $\pi_1 = [0, 1]$  in  $[a, b]$  voor de eerste propositie en dat  $\pi_2 = [1, 0]$  in  $[a, b]$  voor de tweede propositie; dan zal  $\pi_{track1}(p) = 1$ , terwijl  $\pi_{track2}(p) = 0$ , dus de initiële onderstelling is vals of m.a.w. beide *tracks* geven niet aanleiding tot hetzelfde resultaat.



(a) CTM-diagram resulterend uit eerste *track*, gebruik makend van de Kleene-Dienes-operator als *combinatie-operator*.



(b) CTM-diagram resulterend uit tweede *track*, gebruik makend van de Kleene-Dienes-operator als *combinatie-operator*.

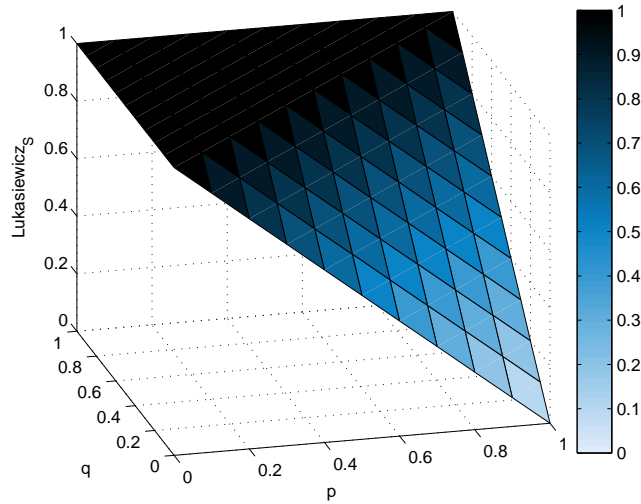
Figuur 5.7: Voorstelling van eerste *track* en tweede *track*, voor de Kleene-Dienes-operator als *combinatie-operator*.

### 5.5.2 Lukasiewicz<sub>S</sub>-operator

Een tweede voorbeeld van de S-implicaties is de **Lukasiewicz<sub>S</sub>-operator**. Deze wordt gegeven als volgt:

$$\forall p, q \in [0, 1] : p \Rightarrow_{S_{Lu}} q = \min(1 - p + q, 1)$$

In figuur 5.8 wordt de Lukasiewicz<sub>S</sub>-operator gevisualiseerd.



Figuur 5.8: 3D-visualisatie van de Lukasiewicz<sub>S</sub>-operator.

Gebruik makend van de Lukasiewicz<sub>S</sub>-operator stellen we nu beide *tracks* op. Hierbij opnieuw de bemerking dat de gebruikte aggregatie-operator voor het opstellen van een CTM-diagram de minimum-operator is. Ook de bemerking dat  $\pi_1(\cdot)$  de possibiliteitsdistributie van de eerste propositie voorstelt en  $\pi_2(\cdot)$  de possibiliteitsdistributie van de tweede propositie. Aangezien de twee tijdsintervallen steeds dezelfde lengte en eenzelfde granulariteit hebben, kan dit interval telkens voorgesteld worden door  $[a, b]$  of dus  $p \triangleq [a, b]$  in het resulterend CTM-diagram.

$$\begin{aligned} \forall p \in CTM_{track1} : \pi_{track1}(p) &= \min \left( 1 - \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_1(i)) + \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_2(i)), 1 \right) \\ \forall p \in CTM_{track2} : \pi_{track2}(p) &= \min_{\forall i \in [a,b]} \left( \min(1 - \pi_1(i) + \pi_2(i), 1) \right) \end{aligned}$$

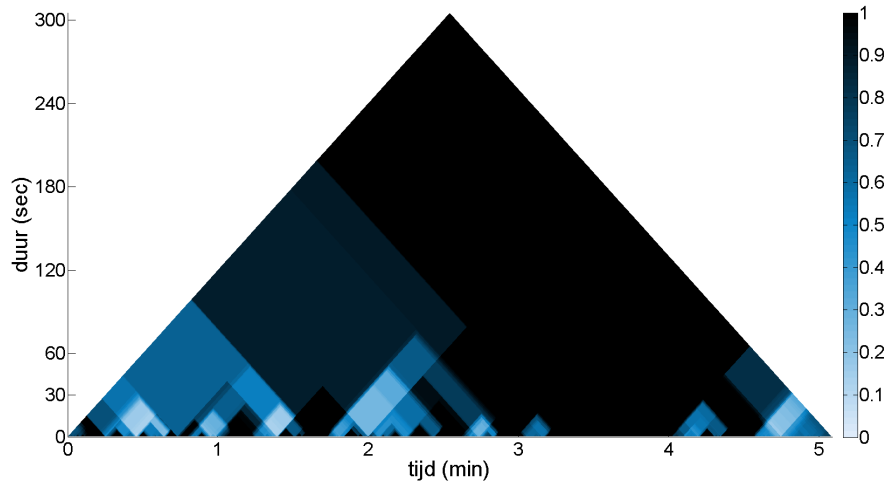
In figuur 5.9 worden beide *tracks* gevisualiseerd waarbij de brondata de mogelijkheden zijn zoals gemodelleerd in het vorige hoofdstuk. Hierbij gaat het om de mogelijkheid dat ‘een speler een hoge hartslag heeft’, die vergeleken wordt met de mogelijkheid dat ‘een speler actief deelneemt aan een spelsituatie’. Het is meteen duidelijk dat beide tracks een verschillend resultaat opleveren.

Er wordt gebruik gemaakt van een tegenvoorbeeld om te bewijzen dat beide *tracks* inderdaad aanleiding geven tot een verschillend resultaat.

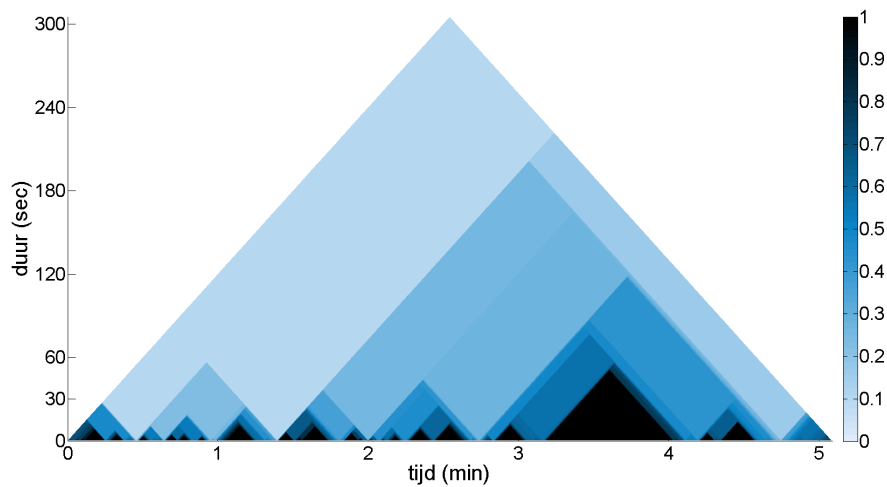
$$\begin{aligned} \forall [a, b] \in T : \\ \pi_{track1}(p) &= \pi_{track2}(p) \\ \min \left( 1 - \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_1(i)) + \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_2(i)), 1 \right) &= \min_{\forall i \in [a,b]} \left( \min(1 - \pi_1(i) + \pi_2(i), 1) \right) \end{aligned}$$

Stel nu dat  $\pi_1 = [0, 1]$  in  $[a, b]$  voor de eerste propositie en dat  $\pi_2 = [1, 0]$  in  $[a, b]$  voor de tweede propositie; dan zal  $\pi_{track1}(p) = 1$ , terwijl  $\pi_{track2}(p) = 0$ , dus de initiële onderstelling is vals of m.a.w. beide *tracks* geven niet aanleiding tot hetzelfde resultaat.





(a) CTM-diagram resulterend uit eerste *track*, gebruik makend van de Lukasiewicz<sub>S</sub>-operator als *combinatie-operator*.



(b) CTM-diagram resulterend uit tweede *track*, gebruik makend van de Lukasiewicz<sub>S</sub>-operator als *combinatie-operator*.

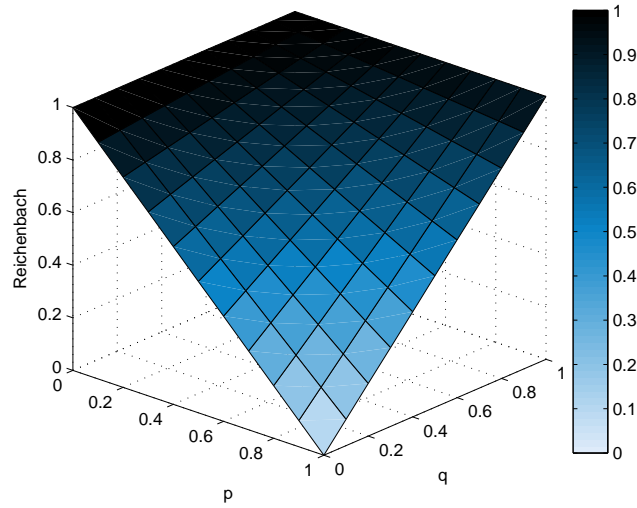
Figuur 5.9: Voorstelling van eerste *track* en tweede *track*, voor de Lukasiewicz<sub>S</sub>-operator als *combinatie-operator*.

### 5.5.3 Reichenbach-operator

Een laatste voorbeeld van de S-implicaties is de **Reichenbach-operator**. Deze wordt gegeven als volgt:

$$\forall p, q \in [0, 1] : p \Rightarrow_{S_{Rb}} q = 1 - p + p * q$$

In figuur 5.10 wordt de Reichenbach-operator gevisualiseerd. Merk op dat deze in vergelijking met figuur 5.6 en figuur 5.8 gedraaid is om duidelijk het gedrag van deze operator te illustreren.



Figuur 5.10: 3D-visualisatie van de Reichenbach-operator.

Gebruik makend van de Reichenbach-operator stellen we nu beide *tracks* op. Hierbij opnieuw de bemerking dat de gebruikte aggregatie-operator voor het opstellen van een CTM-diagram de minimum-operator is. Ook de bemerking dat  $\pi_1(\cdot)$  de possibiliteitsdistributie van de eerste propositie voorstelt en  $\pi_2(\cdot)$  de possibiliteitsdistributie van de tweede propositie. Aangezien de twee tijdsintervallen steeds dezelfde lengte en eenzelfde granulariteit hebben, kan dit interval telkens voorgesteld worden door  $[a, b]$  of dus  $p \triangleq [a, b]$  in het resulterend CTM-diagram.

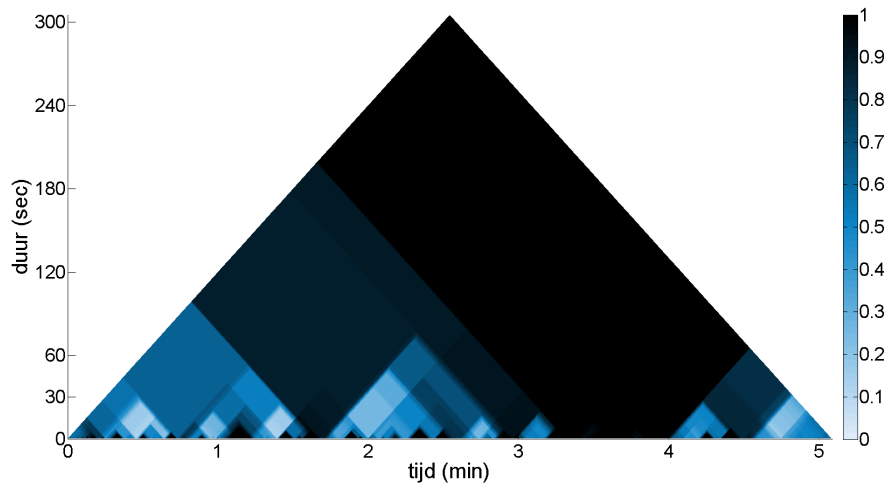
$$\begin{aligned} \forall p \in CTM_{track1} : \pi_{track1}(p) &= 1 - \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_1(i)) + \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_1(i)) \cdot \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_2(i)) \\ \forall p \in CTM_{track2} : \pi_{track2}(p) &= \min_{\forall i \in [a,b]} \left( 1 - \pi_1(i) + \pi_1(i) \cdot \pi_2(i) \right) \end{aligned}$$

In figuur 5.11 worden beide *tracks* gevisualiseerd waarbij de brondata de mogelijkheden zijn zoals gemodelleerd in het vorige hoofdstuk. Hierbij gaat het om de mogelijkheid dat ‘een speler een hoge hartslag heeft’, die vergeleken wordt met de mogelijkheid dat ‘een speler actief deelneemt aan een spelsituatie’. Net als in figuur 5.9 leveren beide *tracks* een verschillend resultaat op.

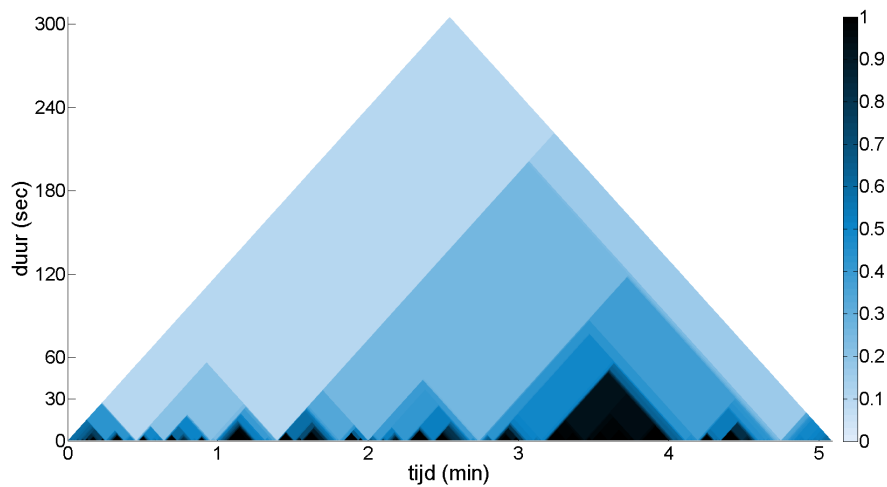
Er wordt gebruik gemaakt van een tegenvoorbeeld om te bewijzen dat beide *tracks* inderdaad aanleiding geven tot een verschillend resultaat.

$$\begin{aligned} \forall [a, b] \in T : \\ \pi_{track1}(p) &= \pi_{track2}(p) \\ 1 - \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_1(i)) + \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_1(i)) \cdot \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_2(i)) &= \min_{\forall i \in [a,b]} \left( 1 - \pi_1(i) + \pi_1(i) \cdot \pi_2(i) \right) \end{aligned}$$

Stel nu dat  $\pi_1 = [0, 1]$  in  $[a, b]$  voor de eerste propositie en dat  $\pi_2 = [1, 0]$  in  $[a, b]$  voor de tweede propositie; dan zal  $\pi_{track1}(p) = 1$ , terwijl  $\pi_{track2}(p) = 0$ , dus de initiële onderstelling is vals of m.a.w. beide *tracks* geven niet aanleiding tot hetzelfde resultaat.



(a) CTM-diagram resulterend uit eerste *track*, gebruik makend van de Reichenbach-operator als *combinatie-operator*.



(b) CTM-diagram resulterend uit tweede *track*, gebruik makend van de Reichenbach-operator als *combinatie-operator*.

Figuur 5.11: Voorstelling van eerste *track* en tweede *track*, voor de Reichenbach-operator als *combinatie-operator*.

## 5.6 R-implicaties

Om de tweede klasse van implicatie-operatoren op te stellen, wordt opnieuw gebruik gemaakt van definitie 5.6, die het begrip vage implicatie definieert.

**Definitie 5.8** (R-implicatie)

Een **R-implicatie** is een operatie die de lidmaatschapsgraden van twee elementen  $p, q \in U$  in twee vaagverzamelingen  $V_1$  en  $V_2$  als argumenten heeft en die de lidmaatschapsgraad

van de implicatie teruggeeft. De functie  $h(\cdot)$  zal de R-implicatie karakteriseren.

$$\forall p, q \in [0, 1] : p \Rightarrow_R q = \begin{cases} 1 & \text{als } p \leq q \\ h(p, q) & \text{anders} \end{cases}$$

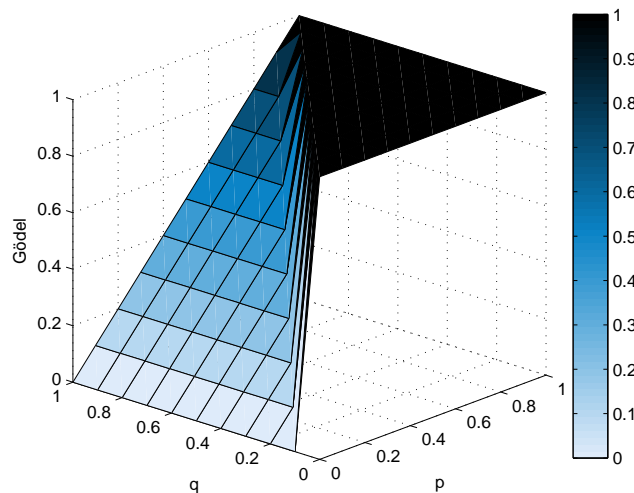
□

### 5.6.1 Gödel-operator

Een eerste voorbeeld van de R-implicaties is de **Gödel-operator**. Deze wordt gegeven als volgt:

$$\forall p, q \in [0, 1] : p \Rightarrow_{R_{G\ddot{o}}} q = \begin{cases} 1 & \text{als } p \leq q \\ q & \text{anders} \end{cases}$$

In figuur 5.12 wordt de Gödel-operator gevisualiseerd. We zien dat deze operator de waarde 1 als resultaat heeft voor een groter oppervlak dan het geval is bij de S-implicaties.

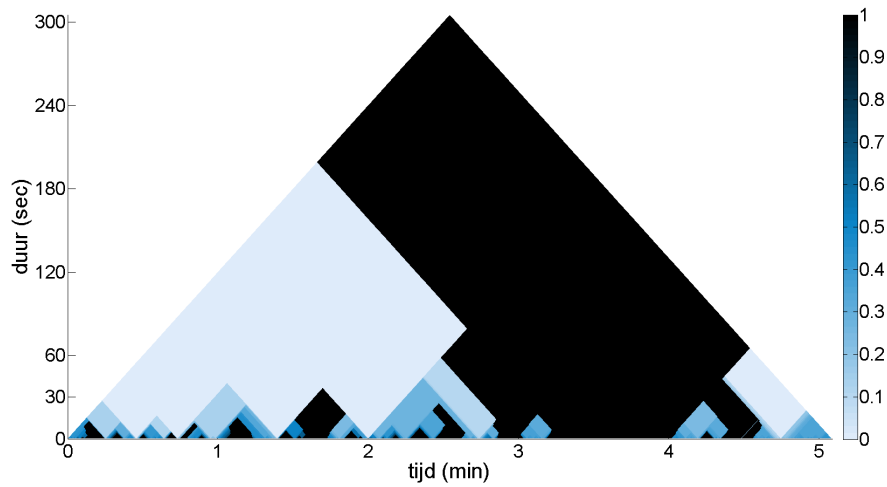


Figuur 5.12: 3D-visualisatie van de Gödel-operator.

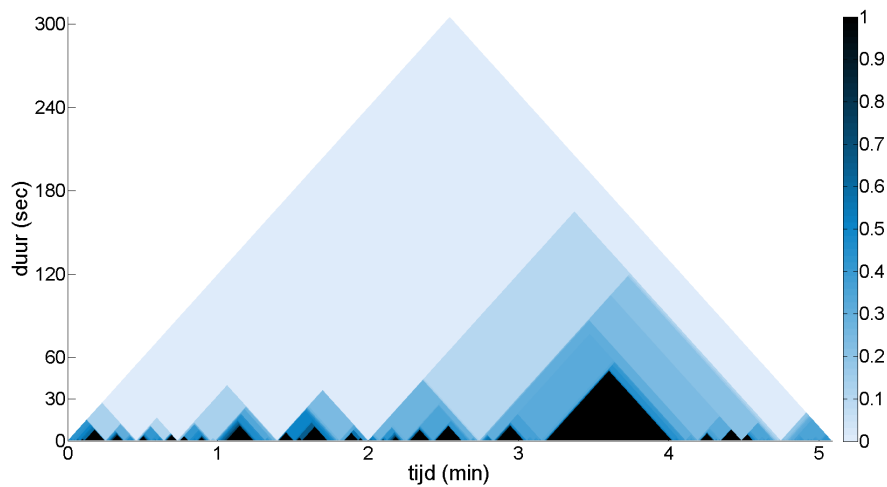
Gebruik makend van de Gödel-operator, voorgesteld als  $G\ddot{o}del(\cdot)$ , stellen we nu beide *tracks* op. Hierbij opnieuw de bemerking dat de gebruikte aggregatie-operator voor het opstellen van een CTM-diagram de minimum-operator is. Ook de bemerking dat  $\pi_1(\cdot)$  de possibiliteitsdistributie van de eerste propositie voorstelt en  $\pi_2(\cdot)$  de possibiliteitsdistributie van de tweede propositie. Aangezien de twee tijdsintervallen steeds dezelfde lengte en eenzelfde granulariteit hebben, kan dit interval telkens voorgesteld worden door  $[a, b]$  of dus  $p \triangleq [a, b]$  in het resulterend CTM-diagram.

$$\forall p \in CTM_{track1} : \pi_{track1}(p) = G\ddot{o}del \left( \min_{\forall i \in [a, b]} (\pi_1(i)), \min_{\forall i \in [a, b]} (\pi_2(i)) \right)$$

$$\forall p \in CTM_{track2} : \pi_{track2}(p) = \min_{\forall i \in [a, b]} \left( G\ddot{o}del(\pi_1(i), \pi_2(i)) \right)$$



(a) CTM-diagram resulterend uit eerste *track*, gebruik makend van de Gödel-operator als *combinatie-operator*.



(b) CTM-diagram resulterend uit tweede *track*, gebruik makend van de Gödel-operator als *combinatie-operator*.

Figuur 5.13: Voorstelling van eerste *track* en tweede *track*, voor de Gödel-operator als *combinatie-operator*.

In figuur 5.13 worden beide *tracks* gevisualiseerd waarbij de brondata de mogelijkheden zijn zoals gemodelleerd in het vorige hoofdstuk. Hierbij gaat het om de mogelijkheid dat ‘een speler een hoge hartslag heeft’, die vergeleken wordt met de mogelijkheid dat ‘een speler actief deelneemt aan een spelsituatie’. Meteen is duidelijk dat de eerste *track* niet voldoet aan de voorwaarden van een CTM-diagram en beide *tracks* geven dus zeker niet aanleiding tot hetzelfde resultaat.

Er wordt gebruik gemaakt van een tegenvoorbeeld om te bewijzen dat beide *tracks* inder-

daad aanleiding geven tot een verschillend resultaat.

$$\begin{aligned} \forall [a, b] \in T : \\ \pi_{track1}(p) &= \pi_{track2}(p) \\ Gödel \left( \min_{\forall i \in [a, b]} (\pi_1(i)), \min_{\forall i \in [a, b]} (\pi_2(i)) \right) &= \min_{\forall i \in [a, b]} \left( Gödel(\pi_1(i), \pi_2(i)) \right) \end{aligned}$$

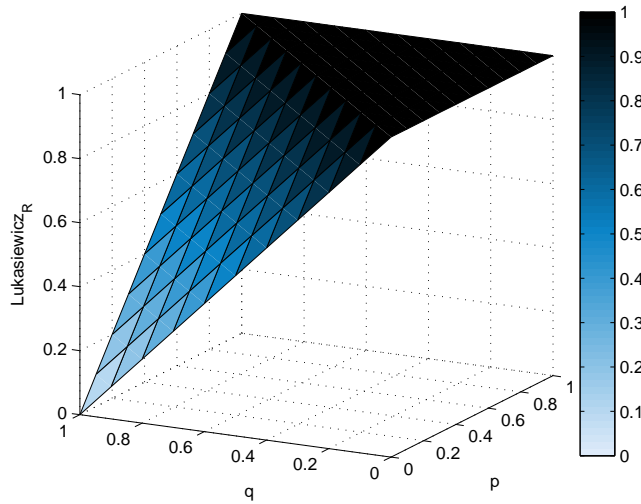
Stel nu dat  $\pi_1 = [0, 1]$  in  $[a, b]$  voor de eerste propositie en dat  $\pi_2 = [1, 0]$  in  $[a, b]$  voor de tweede propositie; dan zal  $\pi_{track1}(p) = 1$ , terwijl  $\pi_{track2}(p) = 0$ , dus de initiële onderstelling is vals of m.a.w. beide *tracks* geven niet aanleiding tot hetzelfde resultaat.

### 5.6.2 Lukasiewicz<sub>R</sub>-operator

Een tweede voorbeeld van de R-implicaties is de **Lukasiewicz<sub>R</sub>-operator**. Deze wordt gegeven als volgt:

$$\forall p, q \in [0, 1] : p \Rightarrow_{R_{Lu}} q = \begin{cases} 1 & \text{als } p \leq q \\ 1 - p + q & \text{anders} \end{cases}$$

In figuur 5.14 wordt de Lukasiewicz<sub>R</sub>-operator gevisualiseerd. Deze figuur vertoont een gelijkaardig gedrag aan de Gödel-operator, met een monotoon scherper oppervlak voor lage waarden van  $p$ .



Figuur 5.14: 3D-visualisatie van de Lukasiewicz<sub>R</sub>-operator.

Gebruik makend van de Lukasiewicz<sub>R</sub>-operator, voorgesteld als  $Luka_R(\cdot)$ , stellen we nu beide *tracks* op. Hierbij opnieuw de bemerking dat de gebruikte aggregatie-operator voor het opstellen van een CTM-diagram de minimum-operator is. Ook de bemerking dat  $\pi_1(\cdot)$  de possibiliteitsdistributie van de eerste propositie voorstelt en  $\pi_2(\cdot)$  de possibiliteitsdistributie van de tweede propositie. Aangezien de twee tijdsintervallen steeds dezelfde lengte

en eenzelfde granulariteit hebben, kan dit interval telkens voorgesteld worden door  $[a, b]$  of dus  $p \triangleq [a, b]$  in het resulterend CTM-diagram.

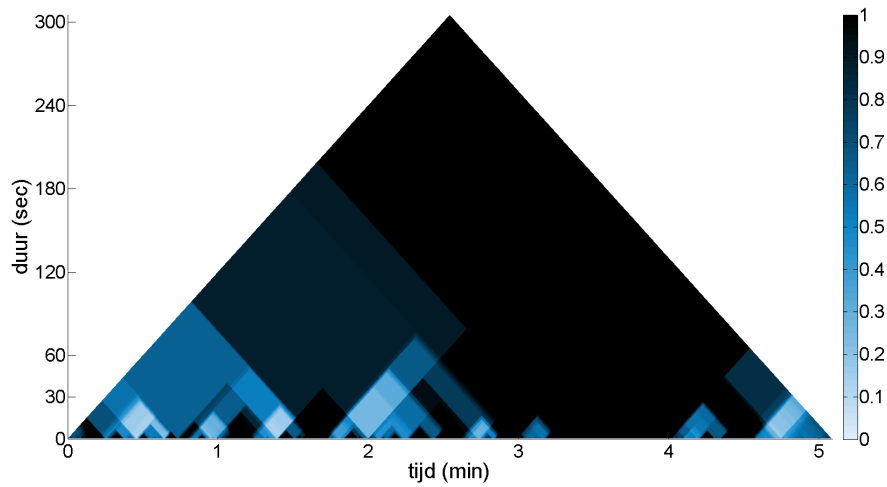
$$\begin{aligned}\forall p \in CTM_{track1} : \pi_{track1}(p) &= Luka_R \left( \min_{\forall i \in [a, b]} (\pi_1(i)), \min_{\forall i \in [a, b]} (\pi_2(i)) \right) \\ \forall p \in CTM_{track2} : \pi_{track2}(p) &= \min_{\forall i \in [a, b]} \left( Luka_R(\pi_1(i), \pi_2(i)) \right)\end{aligned}$$

In figuur 5.15 worden beide *tracks* gevisualiseerd waarbij de brondata de mogelijkheden zijn zoals gemodelleerd in het vorige hoofdstuk. Hierbij gaat het om de mogelijkheid dat ‘een speler een hoge hartslag heeft’, die vergeleken wordt met de mogelijkheid dat ‘een speler actief deelneemt aan een spelsituatie’. Opnieuw is duidelijk dat beide *tracks* een verschillend diagram opleveren.

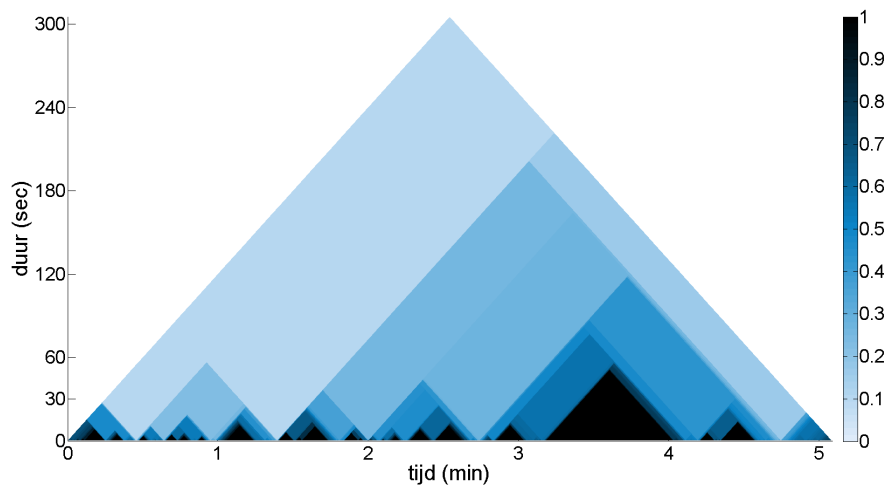
Er wordt gebruik gemaakt van een tegenvoorbeeld om te bewijzen dat beide *tracks* inderdaad aanleiding geven tot een verschillend resultaat.

$$\begin{aligned}\forall [a, b] \in T : \\ \pi_{track1}(p) &= \pi_{track2}(p) \\ Luka_R \left( \min_{\forall i \in [a, b]} (\pi_1(i)), \min_{\forall i \in [a, b]} (\pi_2(i)) \right) &= \min_{\forall i \in [a, b]} \left( Luka_R(\pi_1(i), \pi_2(i)) \right)\end{aligned}$$

Stel nu dat  $\pi_1 = [0, 1]$  in  $[a, b]$  voor de eerste propositie en dat  $\pi_2 = [1, 0]$  in  $[a, b]$  voor de tweede propositie; dan zal  $\pi_{track1}(p) = 1$ , terwijl  $\pi_{track2}(p) = 0$ , dus de initiële onderstelling is vals of m.a.w. beide *tracks* geven niet aanleiding tot hetzelfde resultaat.



(a) CTM-diagram resulterend uit eerste *track*, gebruik makend van de Lukasiewicz<sub>R</sub>-operator als *combinatie-operator*.



(b) CTM-diagram resulterend uit tweede *track*, gebruik makend van de Lukasiewicz<sub>R</sub>-operator als *combinatie-operator*.

Figuur 5.15: Voorstelling van eerste *track* en tweede *track*, voor de Lukasiewicz<sub>R</sub>-operator als *combinatie-operator*.

### 5.6.3 Goguen-operator

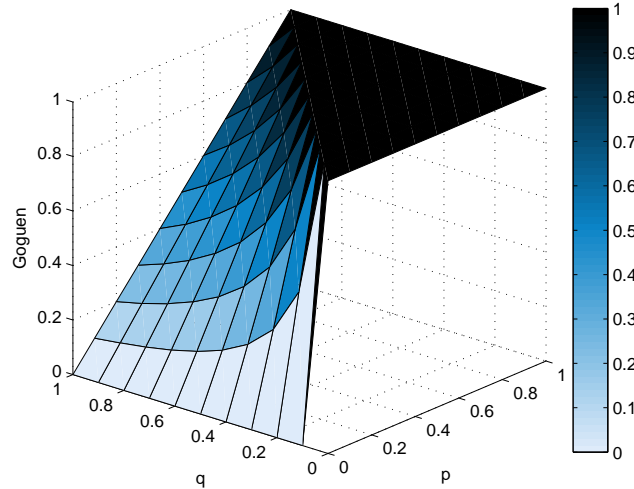
Een laatste voorbeeld van de R-implicaties is de **Goguen-operator**. Deze wordt gegeven als volgt:

$$\forall p, q \in [0, 1] : p \Rightarrow_{R_{Gg}} q = \begin{cases} 1 & \text{als } p \leq q \\ q/p & \text{anders} \end{cases}$$

In figuur 5.16 wordt de Goguen-operator gevisualiseerd. Deze operator vertoont duidelijk gelijkenissen met de Gödel-operator, gegeven in figuur 5.12. Dit valt te verklaren door de



definitie van de beide operatoren: de Gödel-operator is gelijk aan  $q$  voor hoge waarden van  $p$ , terwijl de Goguen-operator gelijk is aan  $q/p$  voor hoge waarden van  $p$ .



Figuur 5.16: 3D-visualisatie van de Goguen-operator.

Gebruik makend van de Goguen-operator, voorgesteld als  $Goguen(\cdot)$ , stellen we nu beide *tracks* op. Hierbij opnieuw de bemerking dat de gebruikte aggregatie-operator voor het opstellen van een CTM-diagram de minimum-operator is. Ook de bemerking dat  $\pi_1(\cdot)$  de possibiliteitsdistributie van de eerste propositie voorstelt en  $\pi_2(\cdot)$  de possibiliteitsdistributie van de tweede propositie. Aangezien de twee tijdsintervallen steeds dezelfde lengte en eenzelfde granulariteit hebben, kan dit interval telkens voorgesteld worden door  $[a, b]$  of dus  $p \triangleq [a, b]$  in het resulterend CTM-diagram.

$$\begin{aligned} \forall p \in CTM_{track1} : \pi_{track1}(p) &= Goguen \left( \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_1(i)), \min_{\forall i \in [a,b]} (\pi_2(i)) \right) \\ \forall p \in CTM_{track2} : \pi_{track2}(p) &= \min_{\forall i \in [a,b]} \left( Goguen(\pi_1(i), \pi_2(i)) \right) \end{aligned}$$

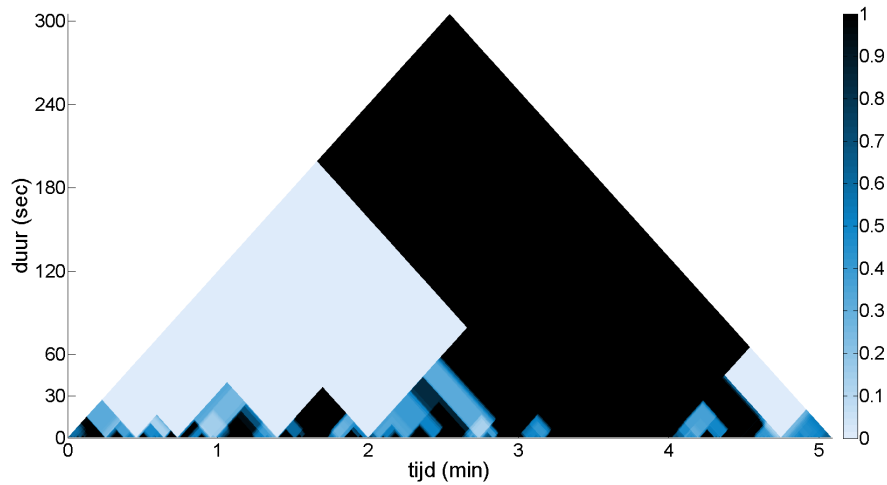
In figuur 5.17 worden beide *tracks* gevisualiseerd waarbij de brondata de mogelijkheden zijn zoals gemodelleerd in het vorige hoofdstuk. Hierbij gaat het om de mogelijkheid dat ‘een speler een hoge hartslag heeft’, die vergeleken wordt met de mogelijkheid dat ‘een speler actief deelneemt aan een spelsituatie’. Meteen is duidelijk dat de eerste *track* niet voldoet aan de voorwaarden van een CTM-diagram en beide *tracks* geven dus zeker niet aanleiding tot hetzelfde resultaat.

Er wordt gebruik gemaakt van een tegenvoorbeeld om te bewijzen dat beide *tracks* inder-

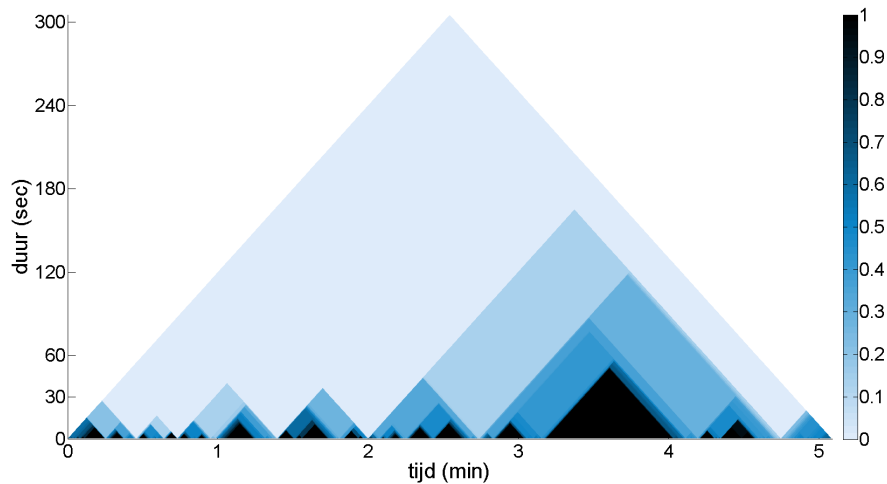
daad aanleiding geven tot een verschillend resultaat.

$$\begin{aligned} \forall [a, b] \in T : \\ \pi_{track1}(p) &= \pi_{track2}(p) \\ Goguen \left( \min_{\forall i \in [a, b]} (\pi_1(i)), \min_{\forall i \in [a, b]} (\pi_2(i)) \right) &= \min_{\forall i \in [a, b]} \left( Goguen(\pi_1(i), \pi_2(i)) \right) \end{aligned}$$

Stel nu dat  $\pi_1 = [0, 1]$  in  $[a, b]$  voor de eerste propositie en dat  $\pi_2 = [1, 0]$  in  $[a, b]$  voor de tweede propositie; dan zal  $\pi_{track1}(p) = 1$ , terwijl  $\pi_{track2}(p) = 0$ , dus de initiële onderstelling is vals of m.a.w. beide *tracks* geven niet aanleiding tot hetzelfde resultaat.



(a) CTM-diagram resulterend uit eerste *track*, gebruik makend van de Goguen-operator als *combinatie-operator*.



(b) CTM-diagram resulterend uit tweede *track*, gebruik makend van de Goguen-operator als *combinatie-operator*.

Figuur 5.17: Voorstelling van eerste *track* en tweede *track*, voor de Goguen-operator als *combinatie-operator*.

## 5.7 Algemene operator

Een operator  $\odot$  die voldoet aan de volgende eigenschappen zal steeds voor beide *tracks*, zoals gedefinieerd in de inleiding van dit hoofdstuk, hetzelfde resultaat opleveren:

- **Eigenschap 1:**  $\forall t, u \in [0, 1] : \odot(t, u) \in [0, 1]$
- **Eigenschap 2:**  $\forall t, u \in [0, 1] : \odot(t, u) = \odot(u, t)$
- **Eigenschap 3:**  $\forall t, u, v \in [0, 1] : t \leq u \Rightarrow \odot(t, v) \leq \odot(u, v)$
- **Eigenschap 4:**  $\forall t, u, v, w \in [0, 1] : \odot(\min(t, u), \min(v, w)) = \min(\odot(t, v), \odot(u, w))$

Een dergelijke operator wordt een **algemene** operator genoemd. Een voorbeeld van zo een operator is de min-operator, zoals gedefinieerd in sectie 5.3. Het is ook mogelijk om nu een operator op te stellen die aan bovenvermelde eigenschappen voldoet. Voor deze operator geldt dan dat beide *tracks* hetzelfde resultaat opleveren. Een voorbeeld van zo een operator is de Dubois t-norm, voorgesteld als  $\diamond$

$$\diamond(p, q) = \frac{p \cdot q}{\max(p, q, \alpha)}$$

waarbij  $\alpha \in [0, 1]$ .

## 5.8 Projectie-operator

In bepaalde situaties kan het interessant zijn om voor een CTM-diagram niet elke lengte te beschouwen, maar enkel de meest relevante lengtes van een interval. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn als men voor een bepaalde speler eigenschappen in een wedstrijd wil onderzoeken, maar enkel voor een interval met een maximale lengte van 30 seconden of 1 minuut. Merk op dat het hier gaat om een selectie van intervallen en dat de waarden in het CTM-diagram niet aangepast zullen worden.

### Definitie 5.9

*De logische operator die de intervallen zal selecteren, die voldoen aan bepaalde voorwaarden over de lengte van de intervallen, wordt gegeven door de **projectie-operator**.*

□

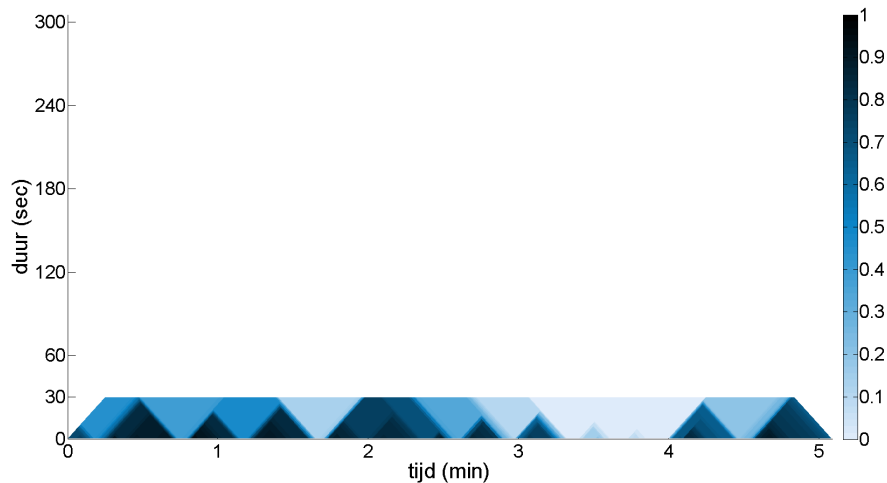
Deze operator heeft vooral een observatief karakter en wordt ook op deze manier gebruikt in het vervolg van deze masterproef. Zo kan het bijvoorbeeld eenvoudiger zijn om de projecties van twee CTM-diagrammen te bekijken, indien de context vereist dat korte intervallen beschouwd worden.

De inwerking van de projectie-operator op het originele CTM-diagram  $CTM_o$  resulteert in het CTM-diagram  $CTM_r$  of

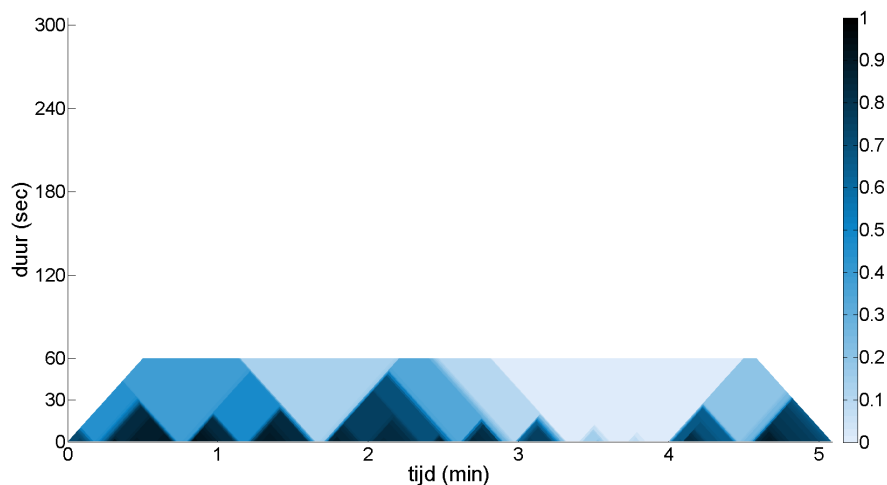
$$\forall p_o \in CTM_o, p_r \in CTM_r : p_r = \left\{ p_o \mid |I| \leq L \right\}$$

Hier stelt  $|I|$  de lengte van het interval voor, waarvan  $p_o$  de geaggregeerde waarde is in het originele CTM-diagram. Vervolgens worden enkel de punten geselecteerd die kleiner dan of gelijk zijn aan de maximale lengte  $L$  van een interval. Deze maximale lengte wordt opgegeven als voorwaarde aan de projectie-operator.

In figuur 5.18 wordt de werking van deze operator verduidelijkt. Om tot deze diagrammen te komen, wordt de vraag gesteld om de mogelijkheid te modelleren dat een speler een ‘hoge hartslag’ heeft in een wedstrijd, hierbij beperkend dat de maximale duur 30s mag zijn in figuur 5.18a en 60s in figuur 5.18b.



(a) CTM-diagram resulterend uit projectie-operator, voor een lengte van 30 s.



(b) CTM-diagram resulterend uit projectie-operator, voor een lengte van 60 s.

Figuur 5.18: Voorstelling van het CTM-diagram dat de mogelijkheid modelleert dat ‘een speler een hoge hartslag heeft’, met een projectie-operator inwerkend op het CTM-diagram voor verschillende lengtes.

## 5.9 Overige operatoren

In dit hoofdstuk zijn een groot aantal operatoren besproken die kunnen inwerken op verschillende CTM-diagrammen. Maar dit is zeker en vast geen exhaustieve lijst en er bestaan nog andere operatoren.

Een voorbeeld van een dergelijke operator is de verzameling van **Allen-operatoren**. Voor elk van de Allen-relaties uit tabel 2.1 kan namelijk een operator worden opgesteld. Het resultaat van dergelijke Allen-operatoren op een CTM-diagram werd reeds uitgebreid onderzocht door Qiang et al., hierbij werden wel geen mogelijkheden in het CTM-diagram gevisualiseerd [QAD<sup>+</sup>10]. Merk op dat dit een operator is die inwerkt op één enkel CTM-diagram.

Een ander voorbeeld is een andere klasse van implicatie-operatoren, de **contraposities van R-implicaties** [DT14]. Deze zijn gebaseerd op de R-implicaties en worden verder niet beschouwd in deze masterproef.

## 5.10 Semantische betekenis

De laatste sectie van dit hoofdstuk probeert een antwoord te geven op zowel de derde als de vierde onderzoeksvraag, zoals geformuleerd in sectie 1.3. Deze vragen zijn respectievelijk ‘Zijn er mogelijke combinaties van de verschillende meetonderwerpen die opnieuw aanleiding geven tot mogelijkheden?’ en ‘Is er een verband tussen de verschillende wedstrijden/ spelers en de mogelijkheden?’.

Hiervoor wordt voor elke klasse van operatoren, zowel de conjunctie-, disjunctie- als implicatie-operator, telkens een aantal vragen opgesteld. Tot slot worden de resulterende CTM-diagrammen die deze vragen kunnen beantwoorden, gevisualiseerd.

In zowel sectie 5.10.1, 5.10.2 als 5.10.3 worden meetresultaten van een verdediger gebruikt om via mogelijkheden de CTM-diagrammen op te stellen. Deze meetresultaten zijn telkens afkomstig van de vierde wedstrijd van de trainingssessie op 1 oktober 2012. Om het resultaat van de verschillende operatoren op te stellen, wordt steeds gebruik gemaakt van de tweede *track*, zoals gedefinieerd in de inleiding van dit hoofdstuk. Dit wil zeggen dat de operatoren rechtstreeks op de brondata inwerken waarna het resulterende CTM-diagram opgebouwd wordt gebruik makend van de minimum-operator als aggregatie-operator.

### 5.10.1 Conjunctie-operator

De conjunctie-operator stelt, zoals gedefinieerd in definitie 5.2, de doorsnede voor tussen twee lidmaatschapsgraden.

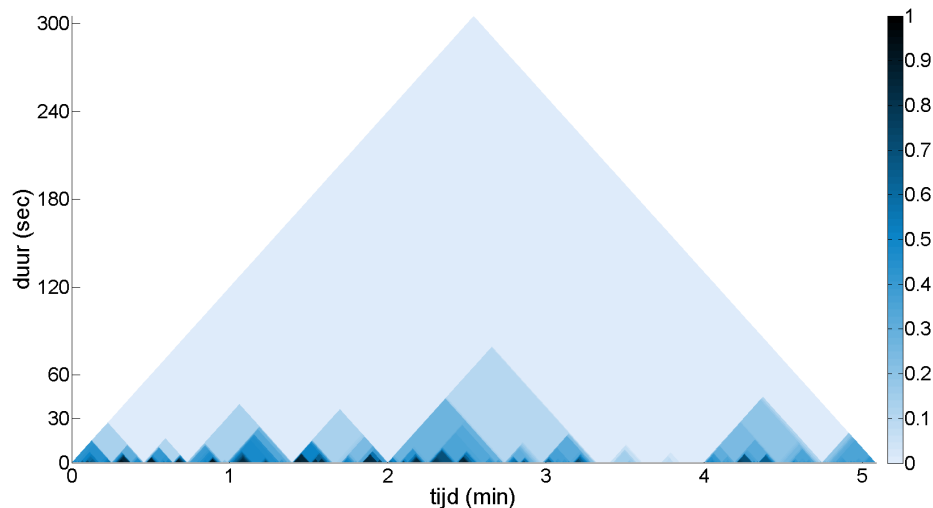
Deze doorsnede kan gebruikt worden als men zich vooreerst de vraag stelt of ‘een bepaalde speler zowel een hoge hartslag heeft als actief deelneemt aan een spelsituatie’. Een tweede

mogelijke vraag is na te gaan of ‘een bepaalde speler telkens in dezelfde periode van een wedstrijd een hoge hartslag heeft’.

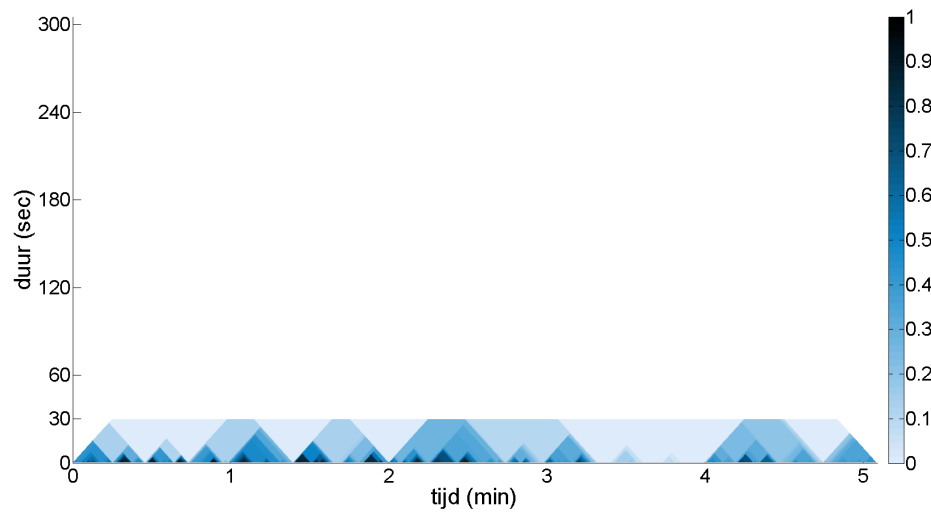
Merk op dat er in de tweede vraagstelling dus ook een beroep zal gedaan worden op de meetresultaten van dezelfde speler tijdens een andere wedstrijd, meer bepaald de eerste wedstrijd van dezelfde trainingssessie.

In figuur 5.19 wordt de **eerste** vraagstelling gevisualiseerd. Uit deze figuur is duidelijk op te merken dat er veel kleine gebieden zijn waarbij de mogelijkheid hoog is dat de speler zowel een ‘hoge hartslag’ heeft als ‘actief deelneemt’ aan een spelsituatie. Dit wordt aangeduid door de kleinere, donkere driehoeken in het diagram. Om dit nog meer te verduidelijken, wordt in figuur 5.20 de projectie-operator toegepast voor een maximum lengte van 30 s. Hier zien we dat bijna gedurende heel de wedstrijd voldaan is aan de criteria. Het gebied is namelijk bijna nergens licht gekleurd. De combinatie van deze twee mogelijkheden kan een aanleiding zijn tot het vormen van een nieuwe mogelijkheid, die aangeeft in welke mate een speler ‘vermoeid’ is.

Ook zien we dat er tussen de tweede en de derde minuut van de wedstrijd duidelijk een langer gebied is waar de mogelijkheid hoog is dat de verdediger zowel een ‘hoge hartslag’ heeft als ‘actief deelneemt’ aan een spelsituatie. In de volgende minuut van de wedstrijd, tussen de derde en de vierde minuut, zien we dat er duidelijk een gebied is waarbij de verdediger niet aan beide criteria voldoet.

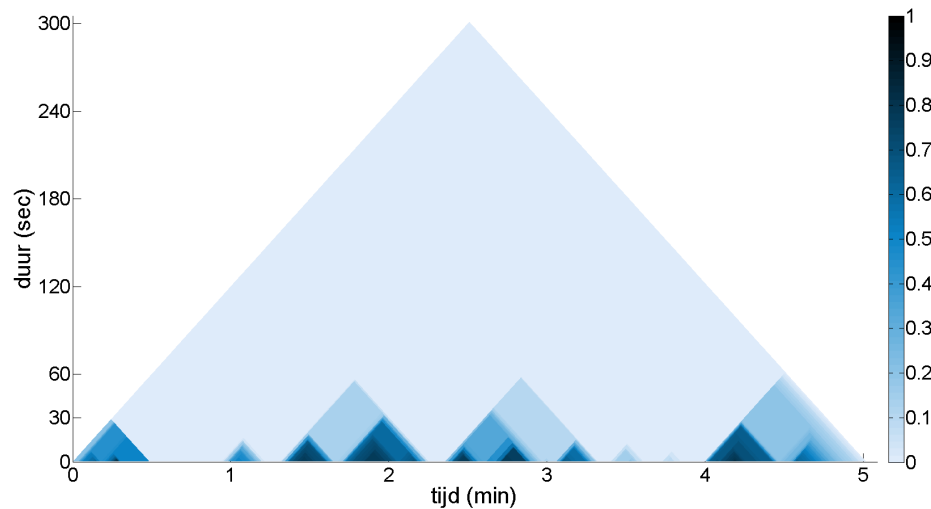


Figuur 5.19: CTM-diagram voor de eerste vraagstelling, gebruik makend van de conjunctie-operator.



Figuur 5.20: CTM-diagram voor de eerste vraagstelling, gebruik makend van de conjunctie-operator en de projectie-operator.

In figuur 5.21 wordt de **tweede** vraagstelling gevisualiseerd. Hierbij valt eerst en vooral op dat er minder tijdsintervallen zijn waar de mogelijkheid dat een bepaalde speler telkens in dezelfde periode van een wedstrijd een ‘hoge hartslag’ heeft  $> 0$  is. Verder is ook de duur van de nog resterende tijdsintervallen korter. Concreet betekent dit dat voor deze beschouwde speler er slechts een aantal perioden zijn waarin hij in beide wedstrijden een hoge hartslag had. Hieruit valt af te leiden dat de desbetreffende speler vooral korte acties uitvoerde, met een hogere schommeling in de hartslag tot gevolg.



Figuur 5.21: CTM-diagram voor de tweede vraagstelling, gebruik makend van de conjunctie-operator.

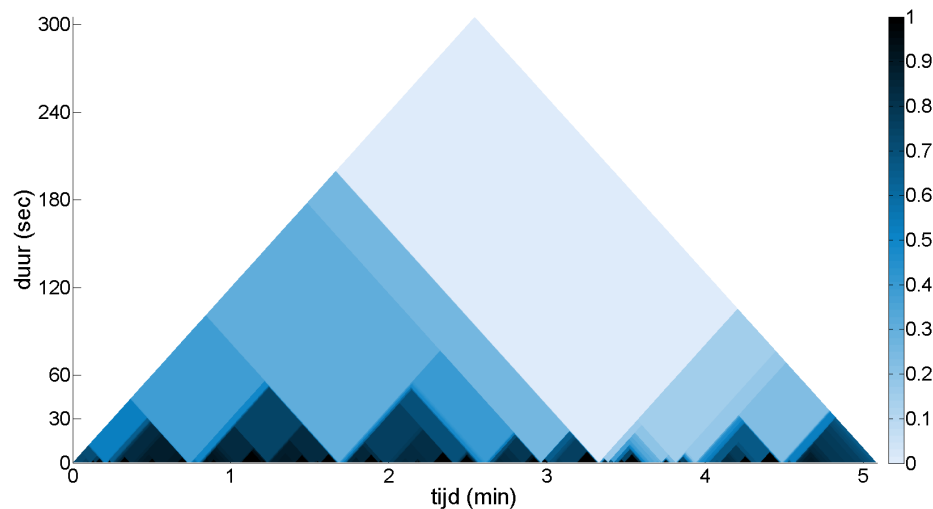
### 5.10.2 Disjunctie-operator

De disjunctie-operator stelt, zoals gedefinieerd in definitie 5.4, de unie voor tussen twee lidmaatschapsgraden.

Deze unie kan gebruikt worden als men zich vooreerst de vraag stelt of ‘een bepaalde speler ofwel een hoge hartslag heeft ofwel actief deelneemt aan een spelsituatie’. Een tweede mogelijke vraag is om na te gaan of er een periode is waarin ‘een bepaalde speler *niet* actief deelneemt aan een spelsituatie over verschillende wedstrijden’.

Merk op dat er in deze laatste vraag dus ook een beroep zal gedaan worden op de meetresultaten van dezelfde speler tijdens een andere wedstrijd, meer bepaald de eerste wedstrijd van dezelfde trainingssessie.

In figuur 5.22 wordt de **eerste** vraagstelling gevisualiseerd. Uit deze figuur is duidelijk op te merken dat de beschouwde verdediger vooral in het begin van de wedstrijd gedurende een langere duur ofwel actief was in een spelsituatie ofwel een hoge hartslag had. Vanaf de derde minuut van de wedstrijd zien we dat de intervallen steeds korter worden, wat dus betekent dat de mogelijkheid lager zal zijn voor deze tijdsintervallen, aangeduid door de lichtere kleuren in het CTM-diagram.

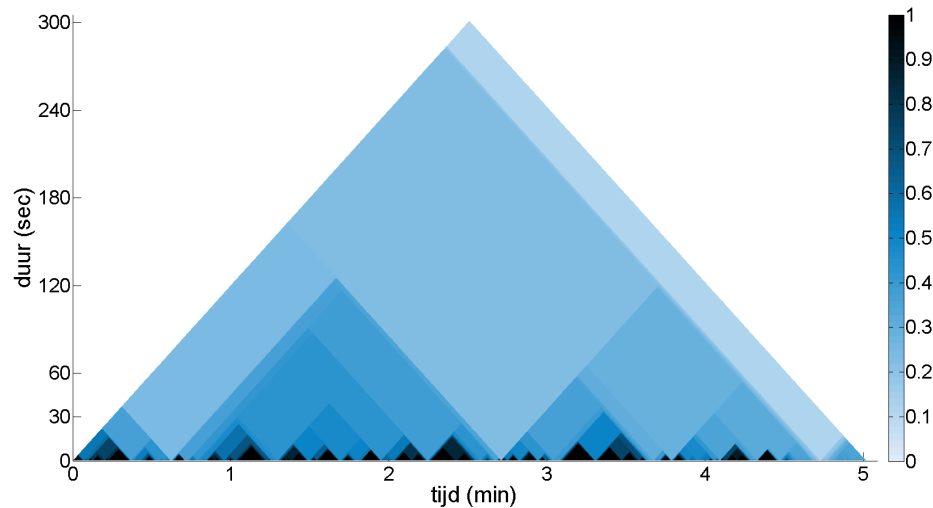


Figuur 5.22: CTM-diagram voor de eerste vraagstelling, gebruik makend van de disjunctie-operator.

In figuur 5.23 wordt de **tweede** vraagstelling, de actieve deelname van de verdediger aan een spelsituatie in ofwel de eerste ofwel de vierde wedstrijd gevisualiseerd. Om op zoek te gaan naar de momenten waarop de speler *niet* actief is, moeten we dus op zoek gaan naar de gebieden die licht gekleurd zijn (of die een lage mogelijkheid hebben). We zien meteen dat bijna de hele figuur donker gekleurd is, wat duidt op een hoge mogelijkheid.



Het resultaat voor deze speler zou dus zijn dat er, op de laatste 20s van de wedstrijden na, geen momenten zijn waarop hij niet actief heeft deelgenomen aan een spelsituatie. Dit soort vraagstelling kan bijvoorbeeld interessant zijn voor een trainer die wil weten tijdens welke periodes, binnen verschillende wedstrijden, zijn speler het minst actief is.



Figuur 5.23: CTM-diagram voor de tweede vraagstelling, gebruik makend van de disjunctie-operator.

### 5.10.3 Implicatie-operator

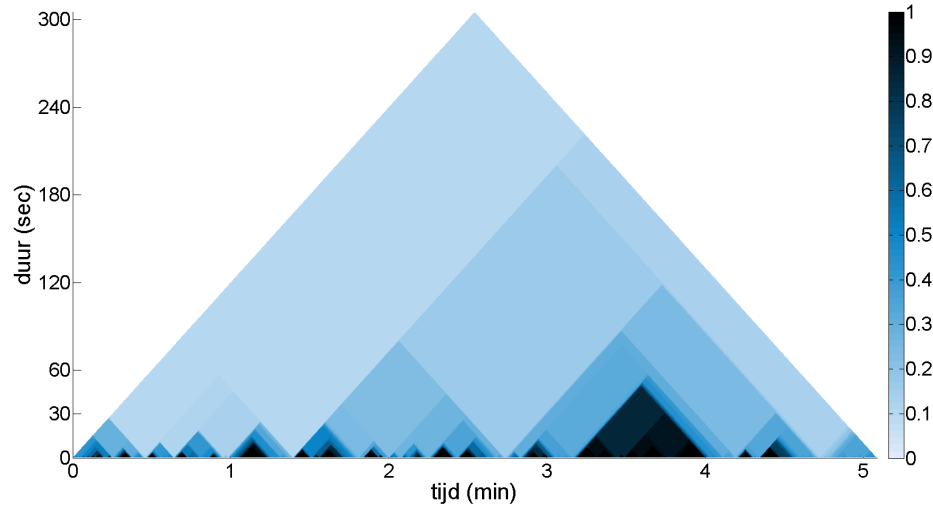
Gebruik makend van de implicatie-operator kan een implicatie voorgesteld worden, zoals gedefinieerd in definitie 5.6. Meer specifiek wordt gebruik gemaakt van de Kleene-Dienes-operator, zoals gedefinieerd in sectie 5.5.1.

Deze implicatie kan gebruikt worden om vooreerst na te gaan of het feit dat ‘een speler die een hoge hartslag heeft, impliceert dat deze speler actief deelneemt aan een spelsituatie’. Men kan zich ten tweede de vraag stellen of ‘een actieve deelname van een verdediger aan een spelsituatie impliceert dat een aanvaller, van het andere team, ook actief deelneemt aan een spelsituatie’.

Om een antwoord voor deze tweede vraagstelling op te stellen, moet er dus ook gebruik gemaakt worden van de meetresultaten van een aanvaller tijdens dezelfde wedstrijd van dezelfde trainingssessie (1 oktober 2012).

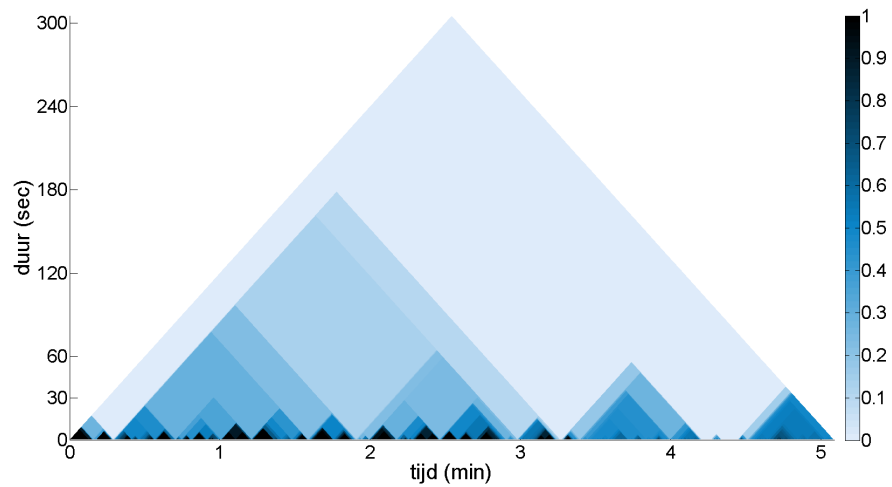
In figuur 5.24 wordt de **eerste** vraagstelling gevisualiseerd. Uit deze figuur is duidelijk op te merken dat er veel kleine gebieden zijn waarbij de mogelijkheid hoog is dat de speler met een ‘hoge hartslag’ impliceert dat deze speler ‘actief deelneemt’ aan een spelsituatie, aangeduid door de kleinere driehoeken in het diagram. Ook zien we dat er tussen de derde en de vijfde minuut van de wedstrijd duidelijk een langer gebied is waar de mogelijkheid

hoog is. Over het algemeen zien we dat de mogelijkheid voor het volledige tijdsinterval, tussen minuut 0 en minuut 5 van de wedstrijd, altijd  $> 0$  zal zijn.

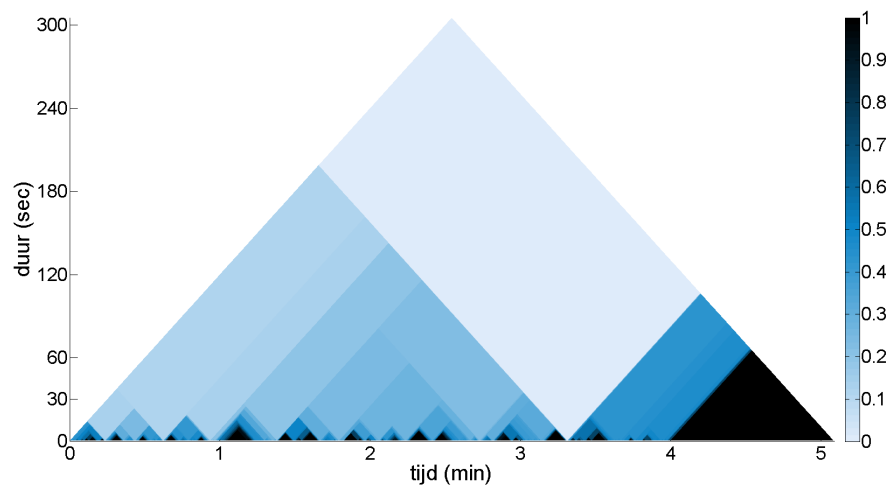


Figuur 5.24: CTM-diagram voor de eerste vraagstelling, gebruik makend van de implicatie-operator.

In figuur 5.25a wordt de **tweede** vraagstelling gevisualiseerd. Hierbij impliceert de actieve deelname van de verdediger aan een spelsituatie dat ook de aanvaller van het andere team actief deelneemt aan een spelsituatie. We zien dat er een groot aantal ‘korte’ tijdsintervallen zijn waarvoor dit geldt, aangegeven door de vele kleine driehoeken in het CTM-diagram. In figuur 5.25b wordt de omgekeerde implicatie gevisualiseerd, namelijk de vraag of ‘de actieve deelname van een aanvaller aan een spelsituatie impliceert dat een verdediger ook actief deelneemt aan een spelsituatie’. We zien dat beide CTM-diagrammen duidelijk niet steeds gelijke mogelijkheden hebben voor dezelfde tijdsintervallen; beide mogelijkheden zijn dus niet equivalent of er is dus geen  $\iff$ -relatie aanwezig.



(a) CTM-diagram voor de tweede vraagstelling, gebruik makend van de implicatie-operator waarbij verdediger  $\Rightarrow$  aanvaller.



(b) CTM-diagram voor de tweede vraagstelling, gebruik makend van de implicatie-operator waarbij aanvaller  $\Rightarrow$  verdediger.

Figuur 5.25: CTM-diagram voor de tweede vraagstelling, gebruik makend van de implicatie-operator.

## Hoofdstuk 6

# Casestudie over het verdedigend gedrag van voetballers

In de vorige hoofdstukken is zowel een manier opgesteld om mogelijkheden te visualiseren, gebruik makend van het CTM, als een manier om deze waarden met elkaar te gaan vergelijken. Door gebruik te maken van de opgestelde *combinatie-operatoren* was het mogelijk om een aantal conclusies te trekken uit combinaties van verschillende meetonderwerpen. In dit hoofdstuk wordt een welbepaald gedrag van de spelers tijdens een voetbalwedstrijd verder onderzocht. Vervolgens wordt alle kennis uit de voorgaande hoofdstukken gebruikt om dit gedrag te modelleren.

Het idee voor deze casestudie kwam er na een artikel dat verscheen in Het Nieuwsblad op 21 augustus 2013. Hierin bekritiseerde de coach van Chelsea FC, José Mourinho, één van zijn meer offensieve middenvelders, met name Eden Hazard. De kritiek die Hazard te verwerken kreeg, was gebaseerd op het feit dat hij zijn verdedigende taken niet zou uitvoeren en zich te laks zou gedragen op trainingen [Nie13]. Veel voetbalanalisten vonden de kritiek onterecht en zeiden dat Hazard als voetballer al enorm verbeterd was qua verdedigende kwaliteiten t.o.v. zijn periode als speler bij Rijsel. Na de verloren halve finale in de Champions League tegen Atletico Madrid kreeg Hazard opnieuw dezelfde kritiek te verwerken [Nie14].

Gezien deze uiteenlopende visies blijkt meteen dat er een fundamenteel probleem ontstaat, namelijk het ontbreken van een objectieve indicator die aangeeft of een speler al dan niet aan het verdedigen is. De bedoeling is vervolgens om deze indicator op een overzichtelijke manier te visualiseren.

Ook voor verdedigers kan zo een indicator worden opgesteld, maar dan met de omgekeerde bedoeling. Een verdediger die aanvallende intenties heeft, kan ook een meerwaarde betekenen voor een ploeg. Eduardo Galeano omschrijft in zijn boek ‘*Soccer in Sun and Shadow*’ lyrisch tot wat zo een offensieve verdediger in staat is: *‘Fullbacks used to stick like stamps to the attacking strikers and peel off the ball as quickly as possible, wafting it to high heaven before it burned their feet... Master of suspense, lover of leisure, he*

would play in slow motion: the art of bringing the ball out slowly, calmly, was baptized *domingada*' [Gal13].

In dit hoofdstuk wordt in sectie 6.1 een algoritme opgesteld om het verdedigend gedrag van spelers te bepalen. Dit algoritme wordt in sectie 6.2 gebruikt om het verdedigend gedrag voor spelers van de trainingssessie van Club Brugge KV te modelleren. Ook in sectie 6.3 wordt dit algoritme gebruikt, maar dan om het verdedigend gedrag voor spelers van de wedstrijd Club Brugge - Standard Luik te modelleren. Sectie 6.4 bevat een kleine evaluatie van het algoritme en in deze sectie worden ook een aantal *combinatie-operatoren* uit het vorige hoofdstuk op de verdedigingsindicator toegepast.

## 6.1 Algoritme tot bepaling verdedigend gedrag

Om het verdedigend gedrag van spelers te karakteriseren zijn een aantal methoden mogelijk. Zo kan men bijvoorbeeld het zwaartepunt (of ook nog *centroïde* genoemd) van de ploeg bepalen en voor elke speler nagaan hoe ver deze speler zich van dit zwaartepunt bevindt. Het probleem bij deze methode is dat de afstand zelf weinig indicatief is over de speelrichting van een speler.

In deze sectie worden de verschillende stappen voor het bepalen van het verdedigend gedrag van een speler uitgelegd. In een laatste stap wordt overgegaan naar een mogelijkheid, die vervolgens gevisualiseerd kan worden gebruik makend van het CTM, zoals beschreven in sectie 4.2.4.

### 6.1.1 Centroïde van de ploeg

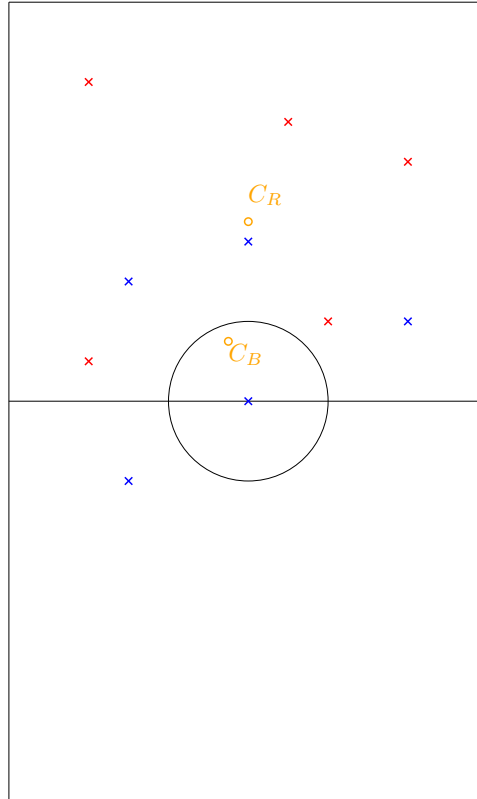
In een eerste stap zal de positie van alle spelers van dezelfde ploeg gebruikt worden om de positie van het zwaartepunt, of de centroïde, van de ploeg te bepalen; aangeduid door  $(C_X, C_Y)$ . Aangezien een voetbalveld een convex gebied is, mag gebruik gemaakt worden van volgende formule om de centroïde te bepalen [eFu14]:

$$(C_X, C_Y) = \frac{\sum_{i=1}^N (S_{i_X}, S_{i_Y})}{N}$$

Hierbij stelt  $S_i$  telkens een speler van de ploeg met in totaal  $N$  spelers voor.

In figuur 6.1 worden een aantal spelers van het rode en blauwe team gevisualiseerd op een voetbalveld. Voor beide teams wordt de centroïde bepaald, gebruik makend van bovenstaande formule. Voor de rode ploeg resulteerde dit in  $C_R$  op de figuur, voor de blauwe ploeg in  $C_B$ .

Deze centroïde zal in de volgende secties verder gebruikt worden om de verdedigende indicator te construeren.



Figuur 6.1: Indicatie van positie van spelers van de rode ploeg en de blauwe ploeg op een voetbalveld, alsook de centroïde van elke ploeg.

### 6.1.2 Afstand tot de centroïde

Zoals aangegeven in tabel 1.1 worden de posities van spelers uitgedrukt in een koppel (lengtegraad, breedtegraad). Om verdere berekeningen te vereenvoudigen wordt eerst een omzetting naar Cartesiaanse coördinaten ( $X$ ,  $Y$ ) uitgevoerd. Dit wordt gedaan door gebruik te maken van de tool `GPS2XYZ`, die door de vakgroep Geografie beschikbaar gesteld werd.

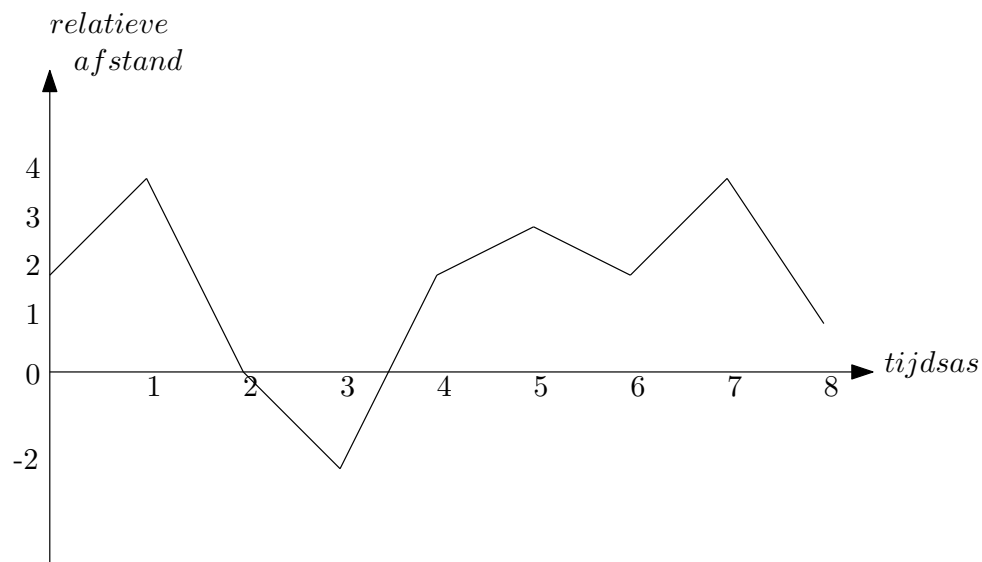
Eens de coördinaten omgezet zijn naar Cartesiaanse coördinaten, kan de afstandsmaat opgesteld worden die een indicatie geeft voor het verdedigend gedrag van een speler.

Een eerste mogelijkheid om dit te realiseren is door rechtstreeks de afstand tussen de speler en de centroïde te bepalen. Zoals reeds aangegeven in sectie 6.1 zal dit echter geen correcte methode zijn omdat geen rekening gehouden wordt met de speelrichting van de speler.

Een tweede mogelijkheid is om een cirkel op te stellen met als zwaartepunt de centroïde van de ploeg. De straal van de cirkel zal dan bepalen in welke mate een speler aan het verdedigen is. Op deze manier zal een speler die zich verder van de cirkel bevindt en dus,

gemiddeld gezien verder weg van het zwaartepunt van de ploeg, kunnen geïdentificeerd worden. Een probleem bij deze methode is dat, indien alle spelers zich dicht bij elkaar bevinden, het onmogelijk is om dergelijke spelers te identificeren.

Een derde mogelijkheid bestaat erin om eerst tussen beide centroïden (van beide ploegen) een rechte te tekenen. Vervolgens kan de loodlijn op deze rechte bepaald worden, gegeven de ploeg waartoe de speler behoort. Deze loodlijn stelt dan grosso modo de *as* van de ploeg voor. De afstand van een speler tot de loodlijn zal dan een indicatie zijn in welke mate hij aan het verdedigen is. Als de speler zich namelijk ver achter/ voor deze loodlijn bevindt, is het plausibel om aan te nemen dat de speler aan het verdedigen/ aanvallen is. Vervolgens zal dit aanleiding geven tot een grafiek die er uitziet zoals in figuur 6.2. Hierbij duidt de afstand aan hoe ver de speler zich relatief bevindt van het zwaartepunt van de ploeg over de tijd van een wedstrijd heen.



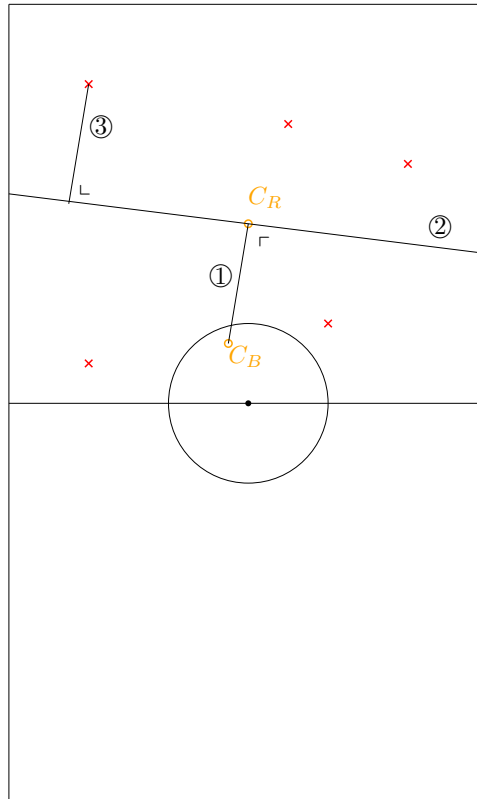
Figuur 6.2: Relatieve afstand van speler, in functie van de tijd.

Er bestaan nog andere methoden om het verdedigend gedrag te realiseren, maar in het kader van deze masterproef wordt enkel de laatstgenoemde verder uitgewerkt. Ook is het mogelijk om eventuele verbeteringen aan te brengen, waarbij bijvoorbeeld rekening gehouden wordt met spelsituaties zoals een hoekschop of een vrije trap. Ook dit zal niet verder uitgewerkt worden.

### 6.1.3 Volledig algoritme

Eens de centroïde van elke ploeg en de afstandsmaat gekend zijn, kan voor elke speler de relatieve afstand bepaald worden. Deze relatieve afstand kan dan vervolgens gebruikt worden als argument van een lidmaatschapsfunctie om de mogelijkheid uit te drukken dat 'een speler aan het verdedigen is'. De verschillende stappen in het algoritme worden hieronder kort opgesomd:

1. Stel de rechte op tussen de centroïde  $C_R$  van de rode ploeg en de centroïde  $C_B$  van de blauwe ploeg.
2. Gegeven de ploeg waar de te onderzoeken speler bijhoort, stel de loodlijn op in de centroïde van zijn ploeg; loodrecht op de rechte uit de eerste stap. Voor een loodlijn die loodrecht staat op een andere rechte met richtingscoëfficiënt  $m$  geldt steeds dat de richtingscoëfficiënt van deze loodlijn gelijk is aan  $-1/m$ .
3. Voor de te onderzoeken speler, bereken de afstand tussen de speler en de loodlijn, gebruik makend van de vergelijking voor de afstand van een punt tot een rechte. Deze afstand is een relatieve afstand en het is nodig om een onderscheid te maken tussen spelers die zich boven de loodlijn bevinden (verdedigen) of onder de loodlijn (aanvallen). Dit kan gedaan worden door een plus-teken (+) te gebruiken voor verdedigers en een min-teken (-) voor aanvallers.



Figuur 6.3: Algoritme dat de drie stappen bevat om de relatieve afstand voor een speler tot de loodlijn van zijn ploeg te bepalen.

Bovenstaande stappen worden in figuur 6.3 verduidelijkt, waarbij ① telkens aanduidt welke stap gevisualiseerd wordt. Merk op dat hier het verdedigend gedrag van een speler van de rode ploeg onderzocht wordt.



In algoritme 3 worden de vergelijkingen opgesteld die ervoor zorgen dat de relatieve afstand van een speler tot de loodlijn van zijn ploeg bepaald kan worden.

---

**Algoritme 3** Methode om de relatieve afstand van een speler met positie  $(S_X, S_Y)$  tot de loodlijn van zijn team te bepalen, om na te gaan in welke mate deze speler aan het verdedigen is. Hierbij duidt  $(C_X, C_Y)$  de centroïde van zijn eigen team aan, terwijl  $(C_{X_2}, C_{Y_2})$  de centroïde van het andere aanduidt.

---

```

1:  $m_{rechte} \leftarrow \frac{C_Y - C_{Y_2}}{C_X - C_{X_2}}$  ▷ m stelt richtingcoördinaat voor

2:  $m_{loodlijn} \leftarrow \frac{-1}{m_{rechte}}$ 
3: vergelijking  $m_{loodlijn} \leftarrow m_{loodlijn} \cdot x - (C_Y - m_{loodlijn} \cdot C_X)$ 

4: if  $\frac{S_Y - (C_Y - m_{loodlijn} \cdot C_X)}{m_{loodlijn}} < S_X$  then ▷ onder de loodlijn
5:   teken  $\leftarrow -1$ 
6: else if  $\frac{S_Y - (C_Y - m_{loodlijn} \cdot C_X)}{m_{loodlijn}} > S_X$  then ▷ boven de loodlijn
7:   teken  $\leftarrow +1$ 
8: else
9:   teken  $\leftarrow 0$ 
10: end if
11: afstand  $\leftarrow$  teken  $\cdot \frac{|S_Y - m_{loodlijn} \cdot S_X - (C_Y - m_{loodlijn} \cdot C_X)|}{\sqrt{m_{loodlijn}^2 + 1}}$ 

```

---

In sectie 6.2 wordt het algoritme uitgewerkt op de dataset van de beloftenploeg van Club Brugge KV, in sectie 6.3 wordt het algoritme uitgewerkt op de dataset die de competitiewedstrijd van Club Brugge tegen Standard Luik bevat.

## 6.2 Toepassing algoritme op trainingssessie

In deze sectie wordt de dataset van de beloftenploeg van Club Brugge KV gebruikt om het verdedigend gedrag te karakteriseren. In sectie 6.1.2 is reeds aangegeven dat een conversie van de posities uitgedrukt als (lengtegraad, breedtegraad)-koppels naar  $(X, Y)$ -koppels nodig is. Gebruikmakend van deze posities kunnen dan de stappen uit algoritme 3 uitgevoerd worden.

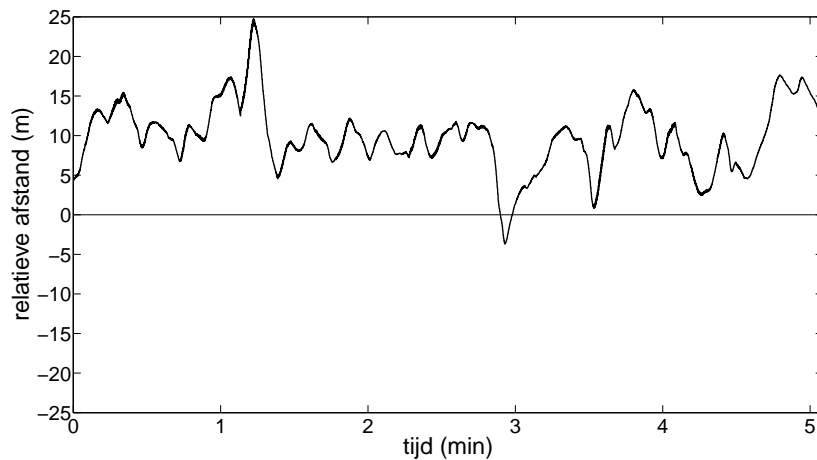
Naast het verdedigend gedrag van een verdediger, wordt ook het verdedigend gedrag van een aanvaller en een middenvelder bestudeerd.

Om tot slot de mogelijkheid uit te drukken dat ‘een speler aan het verdedigen is’, moet ook nog de lidmaatschapsfunctie opgesteld worden die de possibiliteitsdistributie karakteriseert. Deze lidmaatschapsfunctie is gebaseerd op de relatieve afstand, zoals berekend in algoritme 3, en wordt gegeven door

$$\mu_{verdedigen}(x) = \begin{cases} 0 & \text{als } x < 0 \\ \frac{x}{8} & \text{als } 0 \leq x \leq 8 \\ 1 & \text{als } x > 8 \end{cases}$$

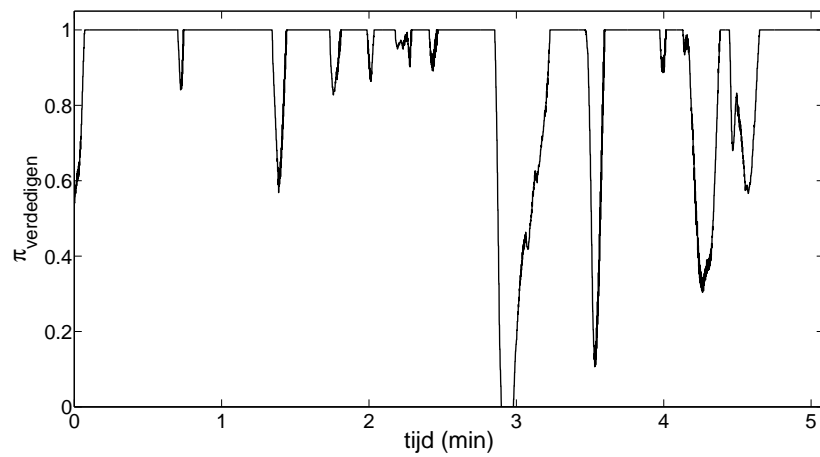
### 6.2.1 Verdedigend gedrag verdediger

In figuur 6.4 wordt de relatieve afstand van een verdediger tot de loodlijn van zijn ploeg in de tijd uitgezet. Deze afstand kan vervolgens gebruikt worden om de mogelijkheid te modelleren dat deze verdediger aan het ‘verdedigen’ is, gebruik makend van de lidmaatschapsfunctie in sectie 6.2.



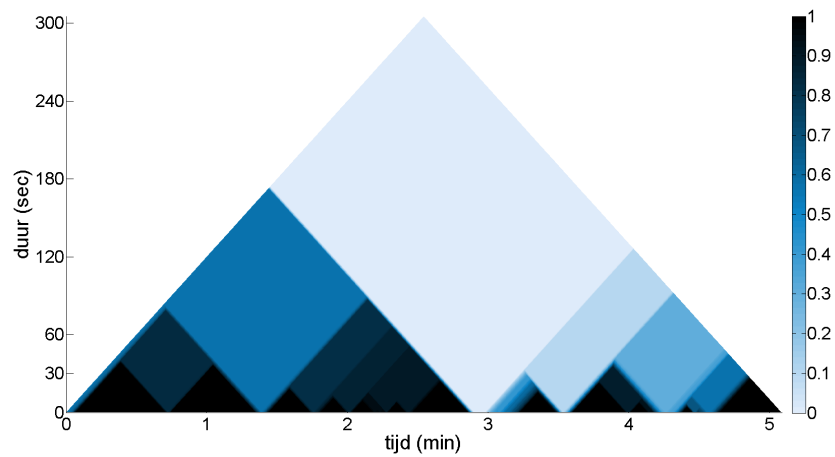
Figuur 6.4: *Klassieke* voorstellingswijze van de relatieve afstand van een verdediger tot de loodlijn van de ploeg, gemeten op elk moment over een wedstrijd van 5 minuten.

Zoals verwacht van een speler met dit profiel, zien we dat de verdediger meestal achter de loodlijn van de ploeg blijft, wat een indicatie is dat hij aan het verdedigen is. Het resultaat verkregen door deze relatieve afstand om te zetten naar een mogelijkheid wordt in figuur 6.5 getoond.



Figuur 6.5: Possibiliteit dat een verdediger aan het ‘verdedigen’ is, gemeten op elk moment over een wedstrijd van 5 minuten.

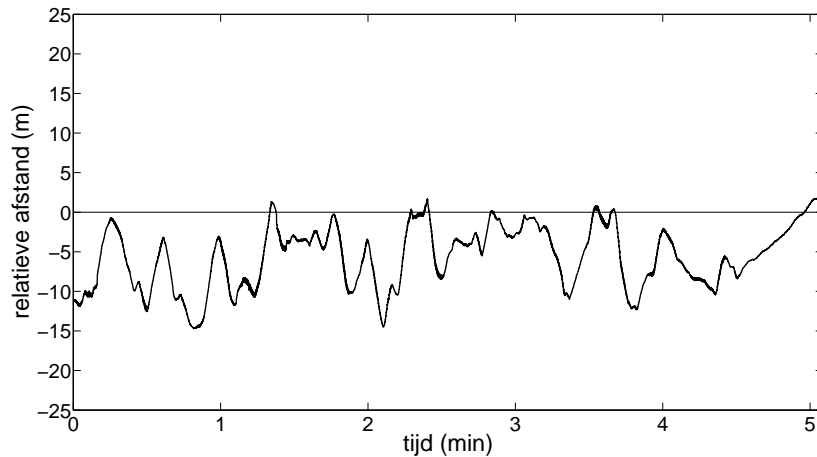
Deze possibiliteit kan vervolgens gevisualiseerd worden in een CTM-diagram, dit wordt getoond in figuur 6.6.



Figuur 6.6: CTM-diagram dat de possibiliteit modelleert dat een verdediger aan het ‘verdedigen’ is.

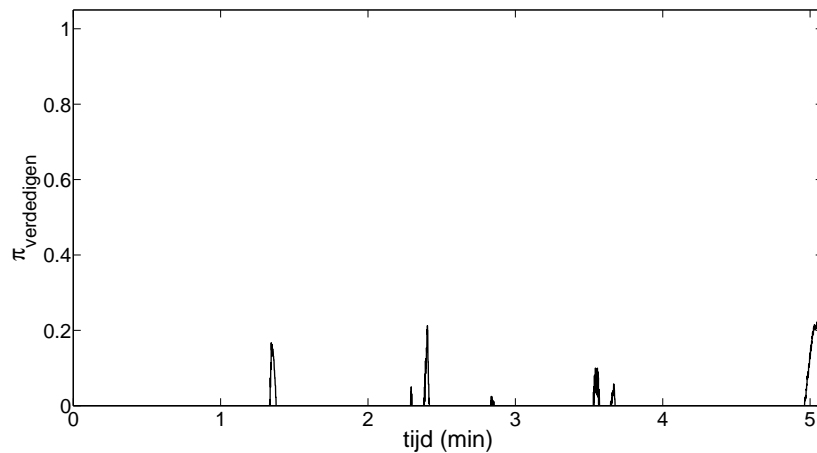
### 6.2.2 Verdedigend gedrag aanvaller

In figuur 6.7 wordt de relatieve afstand van een aanvaller tot de loodlijn van zijn ploeg in de tijd uitgezet. Deze afstand kan vervolgens gebruikt worden om de mogelijkheid te modelleren dat deze aanvaller aan het ‘verdedigen’ is, gebruik makend van de lidmaatschapsfunctie in sectie 6.2.



Figuur 6.7: *Klassieke* voorstellingswijze van de relatieve afstand van een aanvaller tot de loodlijn van de ploeg, gemeten op elk moment over een wedstrijd van 5 minuten.

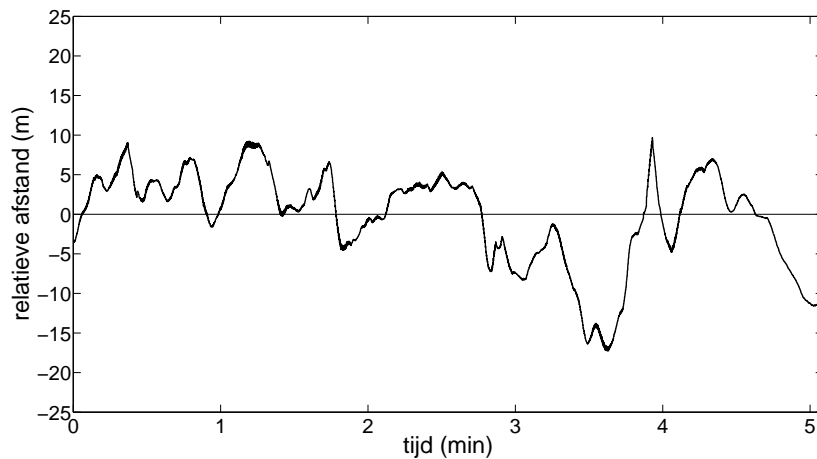
Aangezien de aanvaller zich tijdens deze specifieke wedstrijd duidelijk bijna de hele tijd voor de loodlijn bevindt (en dus een negatieve relatieve afstand heeft), verwachten we dat de mogelijkheid zeer laag zal zijn over de hele wedstrijd heen; dit vermoeden wordt bevestigd in figuur 6.8. Het is dus weinig informatief om voor deze speler het bijhorende CTM-diagram op te stellen, aangezien de mogelijkheid vrijwel overal gelijk is aan 0.



Figuur 6.8: Possibiliteit dat een aanvaller aan het ‘verdedigen’ is, gemeten op elk moment over een wedstrijd van 5 minuten.

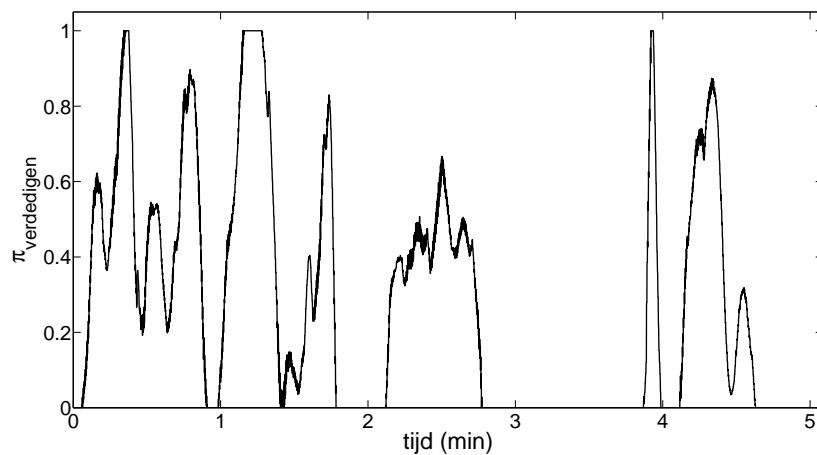
### 6.2.3 Verdedigend gedrag middenvelder

In figuur 6.9 wordt de relatieve afstand van een middenvelder tot de loodlijn van zijn ploeg in de tijd uitgezet. Deze afstand kan vervolgens gebruikt worden om de mogelijkheid te modelleren dat deze middenvelder aan het ‘verdedigen’ is, gebruik makend van de lidmaatschapsfunctie in sectie 6.2.



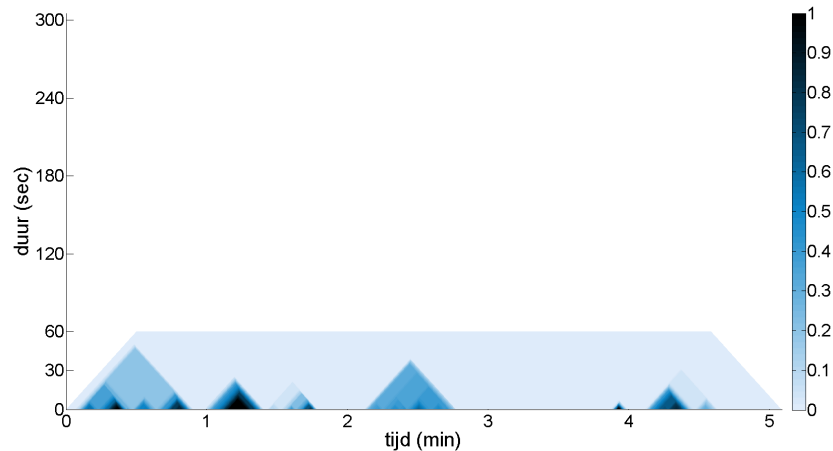
Figuur 6.9: *Klassieke* voorstellingswijze van de relatieve afstand van een middenvelder tot de loodlijn van de ploeg, gemeten op elk moment over een wedstrijd van 5 minuten.

Uit de relatieve afstand in figuur 6.9 is af te leiden dat de speler twee soorten gedragingen vertoont tijdens het wedstrijdverloop. Zo verwachten we dat de mogelijkheid dat de middenvelder aan het ‘verdedigen’ is, hoger zal liggen aan het begin van de wedstrijd dan aan het eind van de wedstrijd. Dit is ook het geval, zoals te zien is in figuur 6.10.



Figuur 6.10: Possibiliteit dat een aanvaller aan het ‘verdedigen’ is, gemeten op elk moment over een wedstrijd van 5 minuten.

Deze mogelijkheid kan vervolgens gevisualiseerd worden, zie figuur 6.11. In het begin van de wedstrijd zijn de mogelijkheden hoger over een grotere lengte van de tijdsintervallen, wat resulteert in grotere, donkerdere driehoeken in het CTM-diagram. Ook werd de projectie-operator, zoals gedefinieerd in sectie 5.8, op het CTM-diagram toegepast om een duidelijkere weergave te bekomen.



Figuur 6.11: CTM-diagram, waarop de projectie-operator is toegepast, dat de mogelijkheid modelleert dat een middenvelder gedurende maximaal 60 s aan het ‘verdedigen’ is.

## 6.3 Toepassing algoritme op competitiewedstrijd

Voor een volgende test van het algoritme, gedefinieerd in sectie 6.1.3, wordt beroep gedaan op data, opgemeten tijdens een competitiewedstrijd van de A-ploeg van Club Brugge KV. Het betreft hier de thuiswedstrijd op 2 maart 2014 tegen Standard Luik in de Jupiler Pro League, de Belgische 1<sup>ste</sup> klasse. Een wedstrijd die met 1 – 0 door Club Brugge gewonnen werd, dankzij een doelpunt van Jesper Jørgensen tien minuten voor het einde van de wedstrijd.

De dataset werd beschikbaar gesteld door de vakgroep Geografie en is gestructureerd in een *XML*-bestand. De manier waarop de data in het bestand is opgeslagen, wordt hieronder geïllustreerd:

```

1 <Match>
2   <MatchSheet>
3     <Team Type = "HomeTeam" Name = "Club Brugge KV">
4       <Actor IdActor = "1" Position = "Centrale verdediger"/>
5       <Actor IdActor = "2" Position = "Offensieve middenvelder"/>
6     </Team>
7     <Team Type = "AwayTeam" Name = "Standard Luik">
8       <Actor IdActor = "12" Position = "Diepe spits"/>
9     </Team>
10  </MatchSheet>

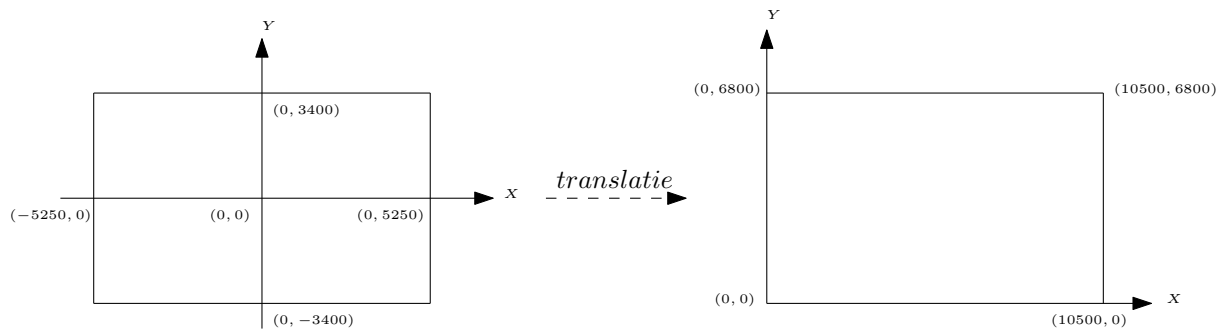
```

```

11 <Tracking>
12   <TrackingHalf IdHalf = "1">
13     <Actor IdActor = "1">
14       <Point X = "400" Y = "2500" />
15       <Point X = "800" Y = "2400" />
16     </Actor IdActor = "2">
17     <Actor>
18       <Point X = "6200" Y = "3500" />
19       <Point X = "6400" Y = "3650" />
20     </Actor>
21     <Actor IdActor = "12">
22       <Point X = "2000" Y = "2800" />
23       <Point X = "1800" Y = "3200" />
24     </Actor>
25   </TrackingHalf>
26 </Tracking>
27 </Match>

```

De dataset bevat dus enerzijds algemene informatie over alle spelers van elke ploeg en hun rol in de ploeg (centrale verdediger, vleugelverdediger, defensieve middenvelder, offensieve middenvelder, ...). Anderzijds wordt ook voor elke speler tijdens elke wedstrijdhalft de positie op het veld bijgehouden in een  $(X, Y)$ -koppel. De granulariteit van de metingen is 100 ms, wat wil zeggen dat er elke 0.1 s een meting uitgevoerd wordt.



Figuur 6.12: Translatie van assenstelsel om ervoor te zorgen dat alle afstanden positief zijn.

In het linkse deel van figuur 6.12 wordt getoond hoe het assenstelsel in de dataset opgebouwd wordt, waarbij de afmetingen van het veld 105 m x 68 m zijn. Om verdere berekeningen in deze sectie te vereenvoudigen, wordt eerst en vooral een translatie van het assenstelsel uitgevoerd. Dit resulteert in het verdwijnen van de negatieve afstanden en wordt getoond in het rechtse deel van figuur 6.12.

Om computationele redenen bij het opstellen van het CTM-diagram wordt geopteerd om een hogere granulariteit van 500 ms te beschouwen doorheen de volgende secties. Dit komt erop neer dat telkens één om de vijf metingen beschouwd wordt ofwel elke 0.5 s.

Om de mogelijkheid uit te drukken dat 'een speler aan het verdedigen is', moet ook nog de lidmaatschapsfunctie opgesteld worden die de mogelijkhedenverdeling zal karakterise-

ren. Deze lidmaatschapsfunctie is gebaseerd op de relatieve afstand, zoals berekend in algoritme 3, en wordt gegeven door

$$\mu_{verdedigen}(x) = \begin{cases} 0 & \text{als } x < 0 \\ \frac{x}{14} & \text{als } 0 \leq x \leq 14 \\ 1 & \text{als } x > 14 \end{cases}$$

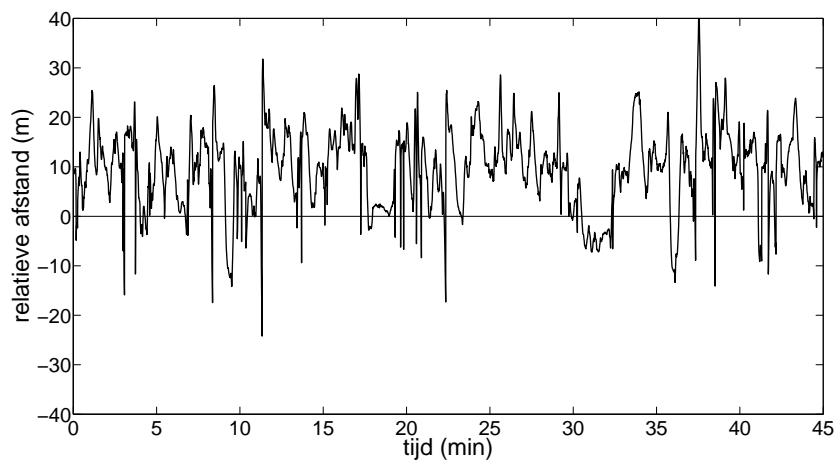
Merk op dat deze lidmaatschapsfunctie verschilt van de lidmaatschapsfunctie gedefinieerd in sectie 6.2 aangezien het voetbalveld bij de competitiewedstrijd afmetingen 105 m x 68 m heeft in plaats van 68 m x 40 m bij de trainingssessie.

### 6.3.1 Verdedigend gedrag verdediger

Aangezien in een competitiewedstrijd meerdere profielen van spelers aanwezig zijn, wordt in deze sectie een onderscheid gemaakt tussen een centrale verdediger en een vleugelverdediger. Een vleugelverdediger zal steeds op de flanken spelen en over het algemeen meer deelnemen aan aanvallende acties.

#### Verdedigend gedrag centrale verdediger

In figuur 6.13 wordt de relatieve afstand tot de loodlijn van zijn ploeg voor een centrale verdediger in de tijd uitgezet. Deze afstand kan vervolgens gebruikt worden om de mogelijkheid te modelleren dat deze centrale verdediger aan het ‘verdedigen’ is, gebruik makend van de lidmaatschapsfunctie in sectie 6.3.

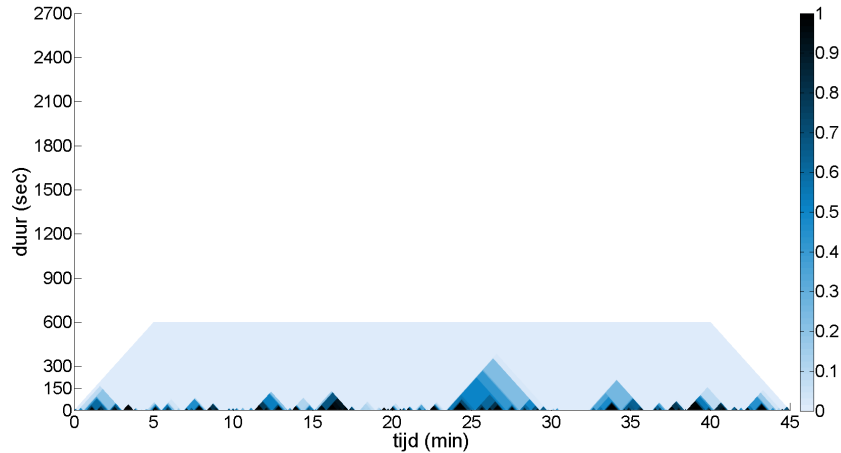


Figuur 6.13: *Klassieke* voorstellingswijze van de relatieve afstand van een centrale verdediger tot de loodlijn van de ploeg, gemeten op elk moment over één wedstrijd helft van de wedstrijd Club Brugge - Standard Luik.

Uit de relatieve afstand in figuur 6.13 is af te leiden dat de centrale verdediger zich vrijwel altijd achter de loodlijn van zijn ploeg bevindt. Dit was ook te verwachten, aangezien



de taak van een centrale verdediger hoofdzakelijk uit verdedigen bestaat en een centrale verdediger slechts zelden zal deelnemen aan een aanvallende actie. Het resulterende CTM-diagram wordt gevisualiseerd in figuur 6.14.

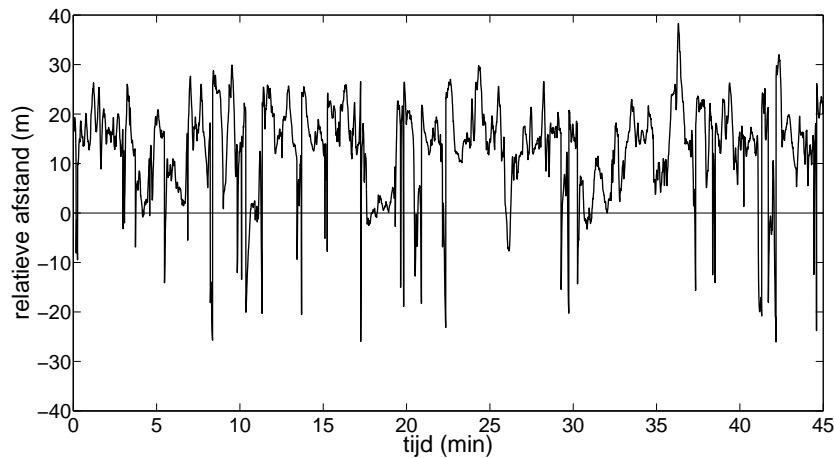


Figuur 6.14: CTM-diagram, waarop de projectie-operator is toegepast, dat de mogelijkheid modelleert dat een centrale verdediger gedurende maximaal 600 s aan het ‘verdedigen’ is.

Voor de centrale verdediger zien we dat de mogelijkheid hoog is voor grote lengtes van tijdsintervallen, aangeduid door de grotere driehoeken. Een duidelijk voorbeeld hiervan is te zien tussen minuut 24 en minuut 29.

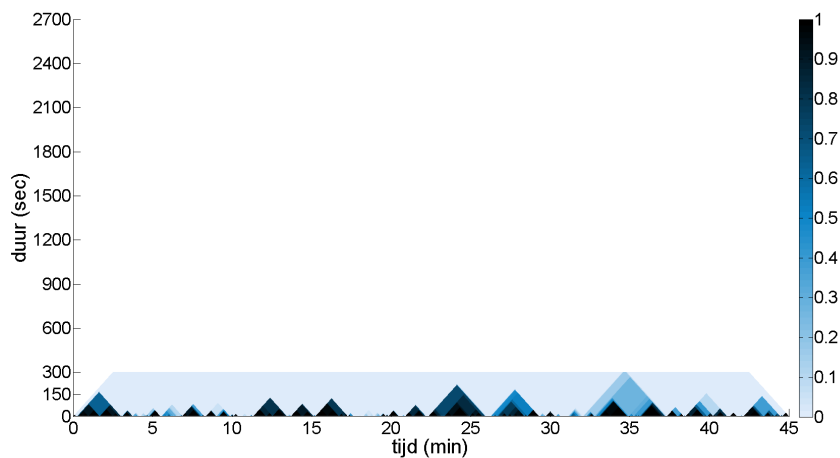
### Verdedigend gedrag vleugelverdediger

In figuur 6.15 wordt de relatieve afstand tot de loodlijn van zijn ploeg voor een vleugelverdediger in de tijd uitgezet. Deze afstand kan vervolgens gebruikt worden om de mogelijkheid te modelleren dat deze vleugelverdediger aan het ‘verdedigen’ is, gebruik makend van de lidmaatschapsfunctie in sectie 6.3.



Figuur 6.15: *Klassieke* voorstellingswijze van de relatieve afstand van een vleugelverdediger tot de loodlijn van de ploeg, gemeten op elk moment over één wedstrijd helft van de wedstrijd Club Brugge - Standard Luik.

We zien dat de vleugelverdediger zich beduidend meer voor de loodlijn bevindt dan de centrale verdediger, wat te verwachten was gebaseerd op beide profielen. Het resultaat verkregen door de relatieve afstand voor de vleugelverdediger om te zetten naar een mogelijkheid en vervolgens te visualiseren in een CTM-diagram wordt in figuur 6.16 getoond.



Figuur 6.16: CTM-diagram, waarop de projectie-operator is toegepast, dat de mogelijkheid modelleert dat een vleugelverdediger gedurende maximaal 300 s aan het ‘verdedigen’ is.

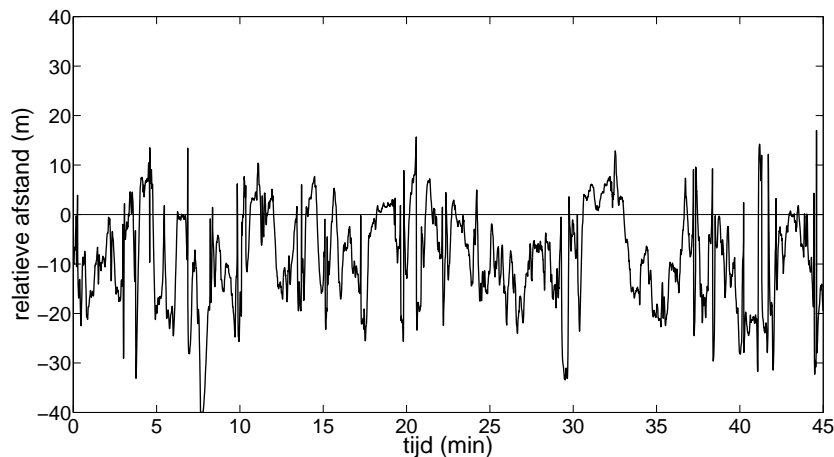
Voor de vleugelverdediger zien we dat de lengtes waar de mogelijkheid hoog is, korter zijn dan voor de centrale verdediger, aangeduid door kleinere driehoeken in het CTM-diagram. Zo neemt de mogelijkheid dat de vleugelverdediger aan het ‘verdedigen’ is nooit hoge waarden aan voor een tijdsinterval met een grotere lengte dan 300 s, extra verduidelijkt door de projectie-operator van 300 s toegepast op het CTM-diagram. De mogelijkheid dat de

vleugelverdediger aan het ‘verdedigen’ is, neemt wel hogere waarden aan dan voor de centrale verdediger, aangeduid door donkerdere driehoeken.

We kunnen dus concluderen dat de mogelijkheid voor een centrale verdediger  $> 0$  zal zijn voor grotere lengtes van tijdsintervallen, in tegenstelling tot de vleugelverdediger waar de mogelijkheid  $> 0$  zal zijn voor kleinere lengtes van tijdsintervallen. Tijdens deze tijdsintervallen zal de mogelijkheid dat de vleugelverdediger aan het ‘verdedigen’ is wel groter zijn dan de mogelijkheid dat de centrale verdediger aan het ‘verdedigen’ is.

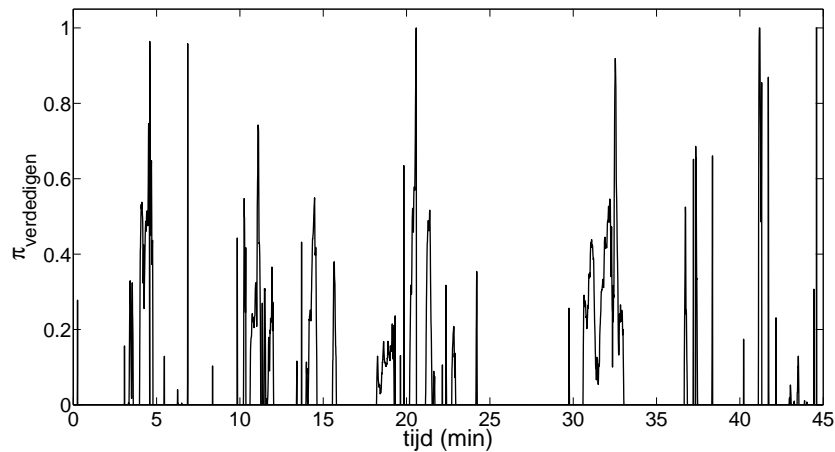
### 6.3.2 Verdedigend gedrag aanvaller

In figuur 6.17 wordt de relatieve afstand voor een aanvaller tot de loodlijn van zijn ploeg in de tijd uitgezet. Het gaat hier om een diepe spits, verwacht wordt dus dat deze niet veel zal verdedigen of deelnemen aan verdedigende acties. De relatieve afstand kan vervolgens gebruikt worden om de mogelijkheid te modelleren dat de aanvaller aan het ‘verdedigen’ is, gebruik makend van de lidmaatschapsfunctie in sectie 6.3.



Figuur 6.17: *Klassieke* voorstellingswijze van de relatieve afstand van een aanvaller tot de loodlijn van de ploeg, gemeten op elk moment over één wedstrijdhalft van de wedstrijd Club Brugge - Standard Luik.

Net als in sectie 6.2.2 voor de aanvaller tijdens de trainingssessie, bevindt de aanvaller zich bijna heel de wedstrijdhalft voor de loodlijn, wat resulteert in een negatieve relatieve afstand. Deze negatieve relatieve afstand zal ervoor zorgen dat de mogelijkheid dat de aanvaller aan het ‘verdedigen’ is vrijwel overal 0 zal zijn; dit vermoeden wordt bevestigd in figuur 6.18. Het is dus weinig informatief om voor deze speler het bijhorende CTM-diagram op te stellen.



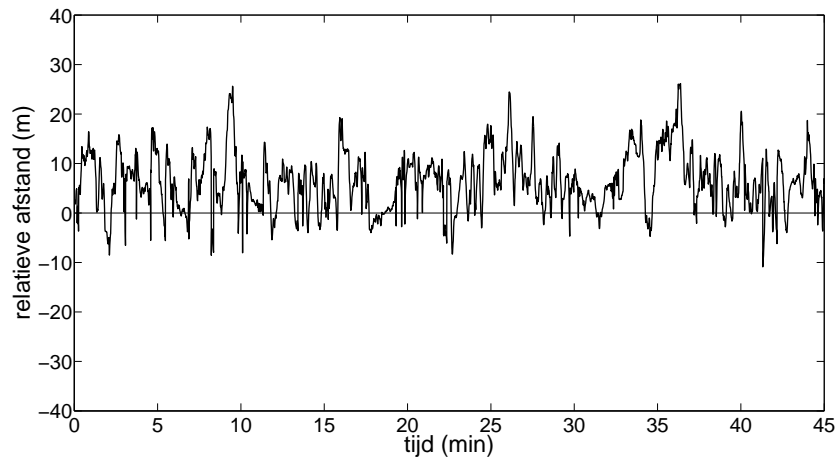
Figuur 6.18: Possibiliteit dat een aanvaller aan het ‘verdedigen’ is, gemeten op elk moment over één wedstrijd helft van de wedstrijd Club Brugge - Standard Luik.

### 6.3.3 Verdedigend gedrag middenvelder

Zoals in sectie 6.2 reeds aangehaald werd, zijn er in een competitiewedstrijd meerdere profielen van spelers aanwezig zijn. Daarom wordt ook in deze sectie een onderscheid gemaakt tussen twee profielen van middenvelden: een defensieve middenvelder en een offensieve middenvelder. Voor de defensieve middenvelder bestaat zijn takenpakket vooral uit defensieve taken.

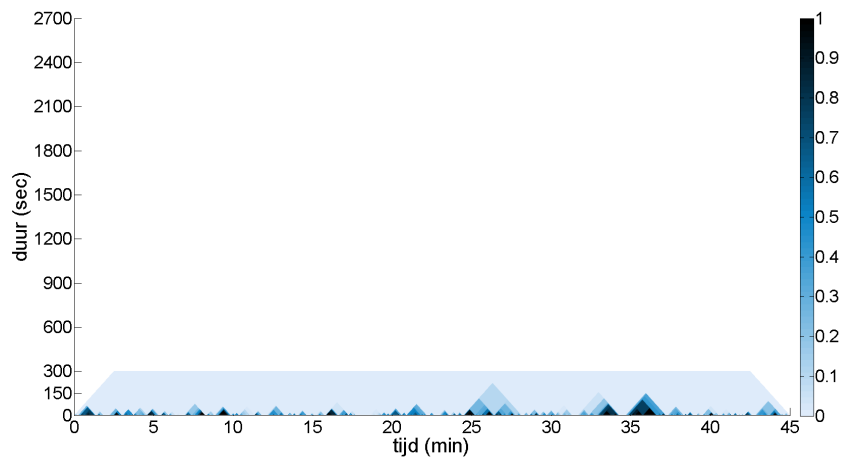
#### Verdedigend gedrag defensieve middenvelder

In figuur 6.19 wordt de relatieve afstand van een defensieve middenvelder tot de loodlijn van zijn ploeg in de tijd uitgezet. Deze afstand kan vervolgens gebruikt worden om de mogelijkheid te modelleren dat deze defensieve middenvelder aan het ‘verdedigen’ is, gebruik makend van de lidmaatschapsfunctie in sectie 6.3.



Figuur 6.19: *Klassieke* voorstellingswijze van de relatieve afstand van een defensieve middenvelder tot de loodlijn van de ploeg, gemeten op elk moment over één wedstrijdhalft van de wedstrijd Club Brugge - Standard Luik.

Uit de relatieve afstand in figuur 6.19 is af te leiden dat de defensieve middenvelder zich over het algemeen achter de loodlijn van zijn ploeg bevindt, maar nooit voor een lange periode. We verwachten dus vele, kleine driehoeken te zien in het CTM-diagram, afgewisseld met periodes waar de mogelijkheid 0 is, aangezien de speler zich voor de loodlijn bevindt op die momenten. Dit vermoeden wordt bevestigd, zoals te zien is in figuur 6.20.

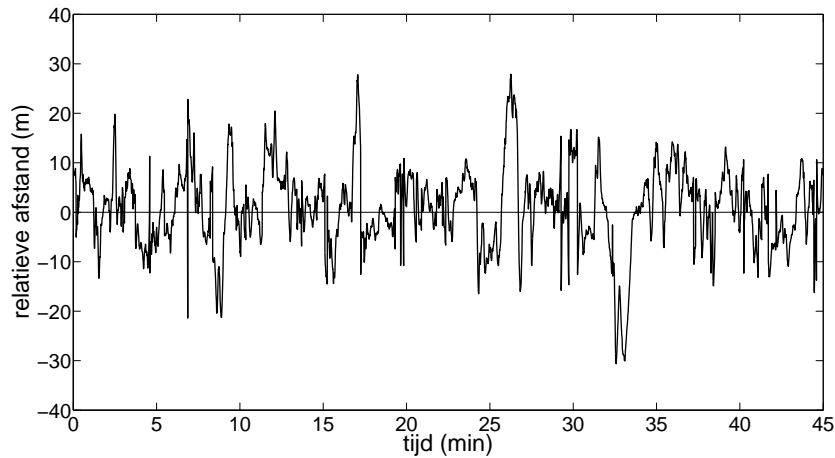


Figuur 6.20: CTM-diagram, waarop de projectie-operator is toegepast, dat de mogelijkheid modelleert dat een defensieve middenvelder gedurende maximaal 300 s aan het ‘verdedigen’ is.

### Verdedigend gedrag offensieve middenvelder

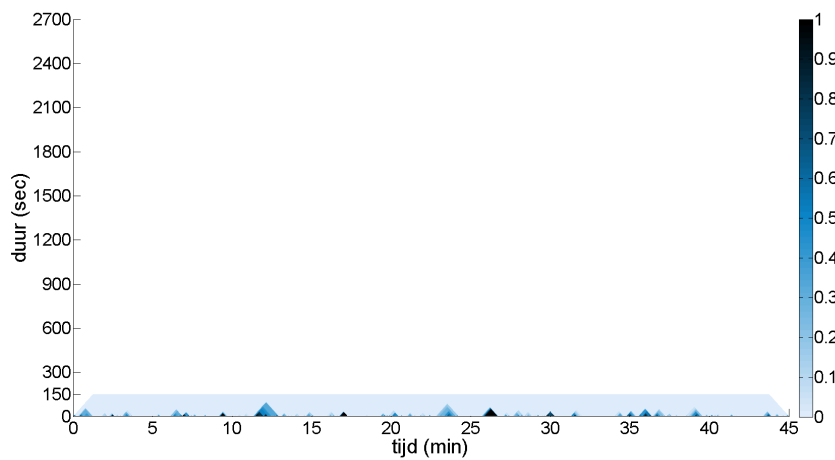
In figuur 6.21 wordt de relatieve afstand van een offensieve middenvelder tot de loodlijn van zijn ploeg uitgezet. Deze afstand kan vervolgens gebruikt worden om de mogelijkheid te modelleren dat deze offensieve middenvelder aan het ‘verdedigen’ is, gebruik makend

van de lidmaatschapsfunctie in sectie 6.3.



Figuur 6.21: *Klassieke* voorstellingswijze van de relatieve afstand van een offensieve middenvelder tot de loodlijn van de ploeg, gemeten op elk moment over één wedstrijd helft van de wedstrijd Club Brugge - Standard Luik.

In tegenstelling tot de defensieve middenvelder zien we dat de offensieve middenvelder zich voornamelijk voor de loodlijn van de ploeg bevindt, zoals te zien is in figuur 6.21. De mogelijkheid dat de offensieve middenvelder aan het ‘verdedigen’ is zal dus meestal 0 zijn, met uitzondering van een aantal, kortere periodes. Het CTM-diagram dat deze mogelijkheid uitdrukt wordt gevisualiseerd in figuur 6.22. Hier is ook nog eens de projectie-operator voor 150 s op toegepast om de kortere lengte van de tijdsintervallen nog meer te verduidelijken.



Figuur 6.22: CTM-diagram, waarop de projectie-operator is toegepast, dat de mogelijkheid modelleert dat een offensieve middenvelder gedurende maximaal 150 s aan het ‘verdedigen’ is.

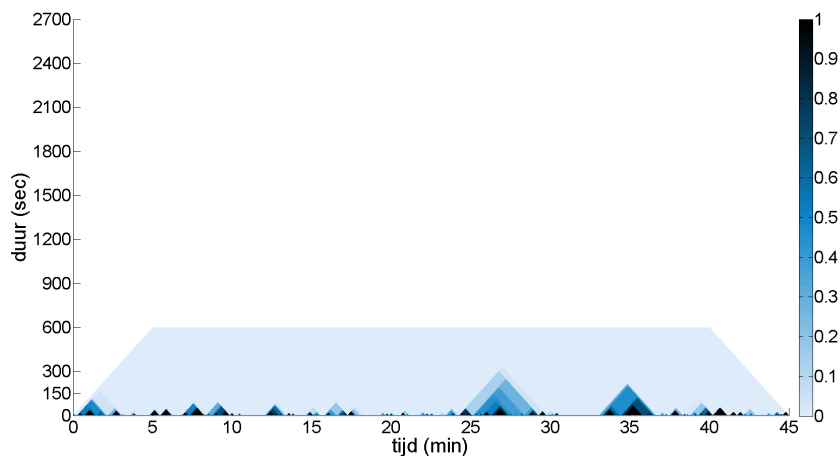
## 6.4 Semantische betekenis verdedigend gedrag

Een eerste bemerking over het algoritme uit sectie 6.1.3 is dat geen rekening gehouden wordt met standaardsituaties. Voorbeelden hiervan zijn een hoekschop of een vrije trap. In deze gevallen wordt de voorgestelde methode minder betrouwbaar en kan het zijn dat de mogelijkheid laag ligt, door de onderlinge posities van de spelers van een ploeg. Een mogelijke oplossing zou zijn, gebruik makend van de informatie uit de wedstrijd, om de periodes waar dergelijke spelsituaties zich afspelen buiten beschouwing te laten in verdere analyses. In deze masterproef wordt hier echter niet verder op ingegaan.

Verder is het ook zo dat **niet** geldt dat, indien de mogelijkheid laag is dat een speler aan het ‘verdedigen’ is, dit betekent dat de speler aan het ‘aanvallen’ is. Voor een aanvaller of offensieve middenvelder bijvoorbeeld kan niet gekeken worden naar periodes waar de mogelijkheid dat deze speler aan het ‘verdedigen’ is, laag is om hier conclusies uit te trekken. Het is nodig om opnieuw een lidmaatschapsfunctie op te stellen, die de mate uitdrukt waarin een speler aan het ‘aanvallen’ is, bijvoorbeeld van de vorm

$$\mu_{aanvallen}(x) = \begin{cases} 0 & \text{als } x > 0 \\ \frac{-x}{14} & \text{als } 0 \geq x \geq -14 \\ 1 & \text{als } x < -14 \end{cases}$$

Voor een aanvaller uit de competitiewedstrijd Club Brugge - Standard Luik resulteert bovenstaande lidmaatschapsfunctie of dus de mogelijkheid dat een aanvaller aan het ‘aanvallen’ is, in figuur 6.23.



Figuur 6.23: CTM-diagram, waarop de projectie-operator is toegepast, dat de mogelijkheid modelleert dat een aanvaller gedurende maximaal 600 s aan het ‘aanvallen’ is.

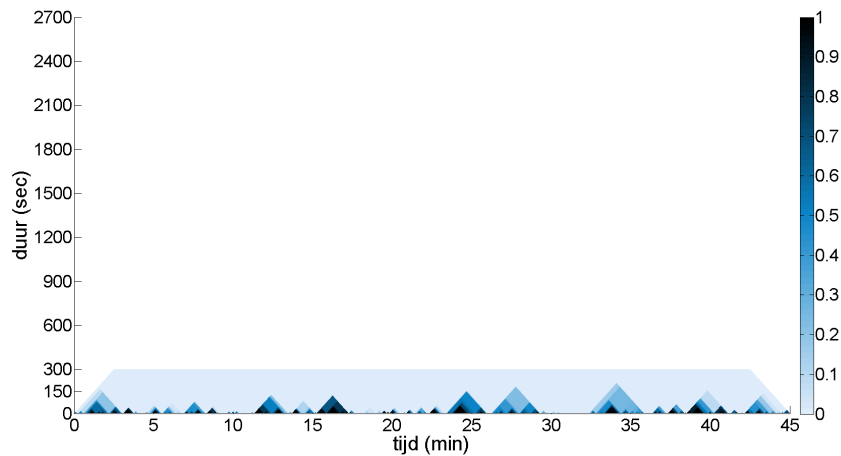
Ook is het mogelijk om voor een speler te bepalen of deze verdedigend speelt ten opzichte van zijn eigen gemiddelde positie. Dit kan bepaald worden door gebruik te maken van de

positie  $(S_X, S_Y)$  van een speler op elk moment en een nieuwe afstandsmaat te definiëren t.o.v. deze positie. Een dergelijke analyse kan dan uitgevoerd worden voor alle verdedigers, alle middenvelders, alle aanvallers of voor het volledige team. Dit wordt in deze masterproef niet verder uitgewerkt.

Tot slot wordt in deze sectie nagegaan wat de invloed en de semantische betekenis is van twee *combinatie-operatoren*, namelijk de conjunctie-operator en de disjunctie-operator.

**Conjunctie-operator** De conjunctie-operator, zoals gedefinieerd in sectie 5.3, stelt de doorsnede tussen twee lidmaatschapsgraden voor.

Deze doorsnede kan in de context van de mogelijkheid, gedefinieerd in dit hoofdstuk, gebruikt worden. Zo zal bijvoorbeeld de vraag of ‘zowel de centrale verdediger als de vleugelverdediger aan het verdedigen zijn’ kunnen beantwoord worden gebruik makend van de conjunctie-operator. In figuur 6.24 wordt deze vraagstelling gevisualiseerd. Het resulterende CTM-diagram is opgebouwd uit de mogelijkheid dat de centrale verdediger aan het ‘verdedigen’ is, zie figuur 6.14, en de mogelijkheid dat de vleugelverdediger aan het ‘verdedigen’ is, zie figuur 6.16.



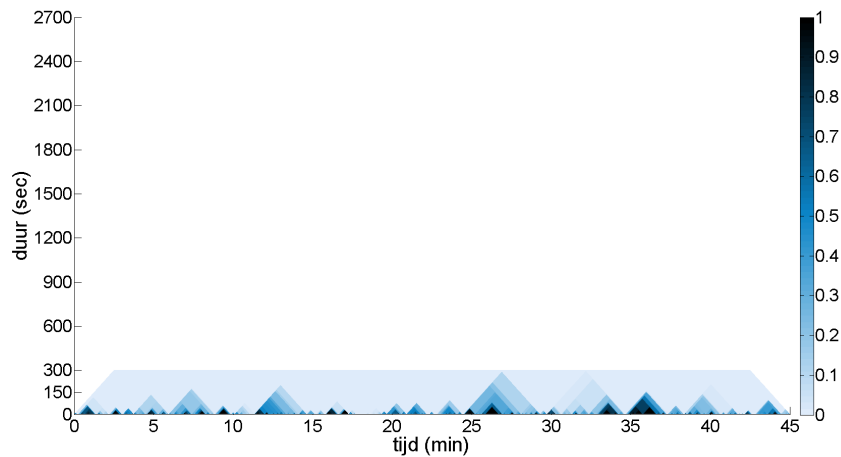
Figuur 6.24: CTM-diagram dat de mogelijkheid modelleert dat zowel de centrale verdediger als de vleugelverdediger gedurende maximaal 300 s aan het ‘verdedigen’ zijn, gebruik makend van de conjunctie-operator, waarop de projectie-operator is toegepast.

We zien dat enkel tussen minuut 30 en minuut 33 de mogelijkheid dat beide spelers aan het verdedigen zijn laag is. Tijdens de rest van de wedstrijd is de mogelijkheid steeds  $> 0$ , maar wel met een vrij korte lengte; dit valt op door de vele, kleine driehoeken in het CTM-diagram. Een mogelijke conclusie is dus dat het plausibel is dat beide verdedigers vaak samen in verdedigende acties betrokken zijn, maar nooit voor een lange periode.



**Disjunctie-operator** De disjunctie-operator, zoals gedefinieerd in sectie 5.4, stelt de unie tussen twee lidmaatschapsgraden voor.

Deze unie kan, net zoals de doorsnede, in de context van de mogelijkheid, gedefinieerd in dit hoofdstuk, gebruikt worden. Zo zal bijvoorbeeld de vraag of ‘minstens één van de profielen van middenvelden (ofwel de defensieve middenvelder ofwel de offensieve middenvelder) aan het verdedigen is’ kunnen beantwoord worden gebruik makend van de disjunctie-operator. In figuur 6.25 wordt deze vraagstelling gevisualiseerd. Het resulterende CTM-diagram is opgebouwd uit de mogelijkheid dat de defensieve middenvelder aan het ‘verdedigen’ is, zie figuur 6.20, en de mogelijkheid dat de offensieve middenvelder aan het ‘verdedigen’ is, zie figuur 6.22.



Figuur 6.25: CTM-diagram dat de mogelijkheid modelleert dat ofwel de defensieve middenvelder ofwel de offensieve middenvelder gedurende maximaal 300 s aan het ‘verdedigen’ is, gebruik makend van de disjunctie-operator, waarop de projectie-operator is toegepast.

Buiten een klein tijdsinterval rond minuut 17 is er in de hele wedstrijdheft geen enkel tijdsinterval waarop geen van beide spelers aan het verdedigen is of m.a.w. waar de mogelijkheid 0 is dat minstens één van de profielen van middenvelden aan het verdedigen is. Ook valt op dat de lengte van de tijdsintervallen met een hoge mogelijkheid kan oplopen tot 5 minuten of 300 s. Een mogelijke conclusie is dus dat beide middenvelden hun defensieve taken goed op elkaar afgestemd hebben en dat het bijna altijd plausibel is dat minstens één van beide aan het ‘verdedigen’ is.

## Hoofdstuk 7

# Conclusies en de toekomst van het voetbal

In dit laatste hoofdstuk worden in sectie 7.1 de conclusies voor deze masterproef opgesomd, waarna in sectie 7.2 enkele verdere onderzoekspistes voorgesteld worden. Tot slot wordt in sectie 7.3 een beeld gegeven van de huidige staat van analysetechnieken in het voetbal en hoe deze er in de toekomst kunnen uitzien.

### 7.1 Conclusies

In Hoofdstuk 1, meer bepaald in sectie 1.3, zijn de onderzoeksvragen behandeld in deze masterproef opgesteld.

1. Welke meetonderwerpen zijn interessant om te modelleren als mogelijkheden?
2. Is er een eenduidig verband tussen de berekening van een mogelijkheid en de onderliggende mogelijkheden in een CTM-diagram?
3. Zijn er mogelijke combinaties van de verschillende meetonderwerpen die opnieuw aanleiding geven tot mogelijkheden?
4. Is er een verband tussen de verschillende wedstrijden/ spelers en de mogelijkheden?
5. Wat is de huidige invloed van prestatie-analyse in het voetbal?

In de loop van het onderzoek zijn al deze onderzoeksvragen uitvoerig toegelicht. Om een antwoord op de eerste onderzoeksvraag te formuleren, is nagegaan hoe tijdsintervallen gevisualiseerd kunnen worden en hoe data in de tijd als meetresultaten uitgedrukt kunnen worden. Ook is onderzocht op welke manier mogelijksdistributies opgesteld kunnen worden, in het algemeen en specifiek voor de beschouwde dataset van Club Brugge KV. Vervolgens zijn een aantal mogelijkheden opgesteld, met het oog op het verbeteren van voetbaltactiek. Het gaat hier om de mogelijkheden dat ‘een speler een hoge *bodyload* heeft’, ‘een speler een hoge hartslag heeft’, ‘een speler actief deelneemt aan een spelsituatie’ en ‘een speler aan het verdedigen is’. Deze laatste mogelijkheid is het resultaat van

een casestudie, waarbij het verdedigend gedrag van spelers gemodelleerd is. Hiervoor is een algoritme opgesteld, dat gegeven een bepaalde speler van een bepaalde ploeg, gaat na in welke mate deze speler aan het verdedigen is.

De tweede onderzoeksvraag is beantwoord door na te gaan hoe een CTM-diagram opgesteld kan worden. Hierbij is gebruik gemaakt van een aggregatie-operator om de waarde van elk punt in het diagram te bepalen. Aangezien steeds mogelijkheden in het diagram gevisualiseerd worden, is deze aggregatie-operator gelijk aan de min-operator. Voor deze operator is er wel degelijk een eenduidig verband, zo zal de waarde van een punt in het diagram steeds gelijk zijn aan het minimum van de onderliggende punten. In heel het onderzoek is gebruik gemaakt van deze operator om de CTM-diagrammen op te stellen.

Om het antwoord op de derde onderzoeksvraag uit te werken, zijn een aantal *combinatie-operatoren* opgesteld die inwerken op twee CTM-diagrammen waarin mogelijkheden gevisualiseerd worden. Het gaat hier om de conjunctie-operator, de disjunctie-operator, de Kleene-Dienes-operator, de Lukasiewicz<sub>S</sub>-operator, de Reichenbach-operator, de Gödel-operator, de Lukasiewicz<sub>R</sub>-operator en tot slot de Goguen-operator. Ook is nog een operator besproken die inwerkt op één enkel CTM-diagram, namelijk de projectie-operator. Vervolgens zijn deze operatoren gebruikt om na te gaan hoe de verschillende mogelijkheden met elkaar kunnen gecombineerd worden. Zo geeft bijvoorbeeld het toepassen van de conjunctie-operator aanleiding tot de mogelijkheid dat ‘een speler vermoeid is’ als het resultaat van de combinatie van de mogelijkheid dat ‘een speler een hoge hartslag heeft’ en de mogelijkheid dat ‘een speler actief deelneemt aan een spelsituatie’.

Voor de vierde onderzoeksvraag is ook gebruik gemaakt van de bovenvermelde *combinatie-operatoren*. Hier zijn echter identieke mogelijkheden beschouwd, over verschillende wedstrijden tijdens eenzelfde trainingssessie. Zo blijkt bijvoorbeeld dat er duidelijk verschillende tijdsintervallen, over verschillende wedstrijden heen, te onderscheiden zijn waar de mogelijkheid hoog is dat een speler een ‘hoge hartslag’ heeft. Ook voor de verschillende spelers zijn dergelijke analyses mogelijk.

Een uitgebreid antwoord op de vijfde onderzoeksvraag en een mogelijke evolutie is terug te vinden in sectie 7.3.

## 7.2 Verdere onderzoekspistes

Dit onderzoek vormt een combinatie tussen de mogelijkheidstheorie en het Continuous Triangular Model, maar deze combinatie biedt nog andere mogelijkheden om verder onderzoek uit te voeren.

In het vijfde hoofdstuk over de *combinatie-operatoren* werden twee klassen van implicatie-operatoren onderzocht, namelijk de S-implicaties en de R-implicaties. Er bestaan echter nog andere klassen van implicatie-operatoren, zoals de contraposities van R-implicaties.

Deze kunnen eventueel op een zelfde manier onderzocht worden als de andere implicatie-operatoren.

De Allen-relaties, die inwerken op verschillende tijdsintervallen, en hun invloed op de verschillende CTM-diagrammen kunnen ook verder onderzocht worden. Vervolgens kunnen deze relaties gebruikt worden om ook een semantisch rijkere betekenis te onderzoeken van de onderliggende mogelijkheden in het CTM-diagram.

In het zesde hoofdstuk werd bij de bepaling van de mogelijkheid of een speler aan het ‘verdedigen’ is, geen rekening gehouden met standaardsituaties, zoals bijvoorbeeld een hoekschop of een vrije trap. Indien deze informatie in de dataset aanwezig is, zou deze gebruikt kunnen worden om tot een meer accurate beschrijving te komen. Ook is in sectie 6.4 een andere mogelijkheid voorgesteld om voor een speler te bepalen wat zijn rol is t.o.v. zijn eigen gemiddelde tijdens de wedstrijd.

In deze masterproef is ondersteld dat alle CTM-diagrammen een gelijke granulariteit hebben en dat de beschouwde tijdsintervallen bij de *combinatie-operatoren* steeds een gelijke lengte hebben. Een mogelijke uitbreiding zou kunnen zijn om te gaan onderzoeken of een mogelijkheid over een korter interval invloed heeft op een mogelijkheid over een langer interval. Zo kan bijvoorbeeld een mogelijkheid over 30 s vergeleken worden met een mogelijkheid over 15 minuten om een indicatie te krijgen van het gedrag van een speler in een bepaalde actie t.o.v. zijn gedrag in het verloop van de wedstrijd.

## 7.3 Evolutie van het voetbal

Bij Europese topclubs zien we dat af en toe recente technologieën gebruikt worden om tijdens de wedstrijd zelf gegevens over de ploeg op te vragen en te analyseren. Zo maakte de technische staf van de Spaanse voetbalclub Atletico Madrid in de thuiswedstrijd in mei 2014 tegen Getafe CF gebruik van de *Google Glass* om wedstrijdstatistieken op te vragen en de ploeg bij te sturen indien nodig [Dai14]. Aangezien er momenteel binnen de FIFA hierover nog geen reglementeringen zijn, wordt er in de media verder weinig aandacht aan besteed. Maar toch doet het voorval enkele ethische vragen rijzen. Het doet denken aan de introductie van de welbekende ‘oortjes’ bij de wielrenners, die ervoor zorgen dat de renners op elk moment live feedback krijgen van de managers uit het peloton. Het is best mogelijk dat een dergelijke evolutie zich voordoet in het voetbal en er ook binnenkort tegenstanders zullen opduiken van deze methode, die een oneerlijk voordeel kan leveren t.o.v. clubs die niet over deze technologie beschikken.

Naast technologische snufjes zien we bij clubs uit de Premier League, de Engelse eerste klasse, dat deze ook meer en meer gebruik maken van data-analisten. Video-analisten, die elke match uitgebreid analyseren, bestaan al een tijdje, maar het is pas sinds in Amerika de NBA en de NFL (respectievelijk de Amerikaanse basket- en rugbycompetitie) ook gebruik maken van data-analisten dat Europese clubs dit ook toepassen. Zij gaan op zoek

naar spelpatronen in wedstrijden of gaan onderzoeken in welke formatie een ploeg de beste resultaten haalt. Een aantal mogelijke conclusies, die door Chris Anderson en David Sally in hun boek ‘The Numbers Game: Why Everything You Know About Football is Wrong’ heel uitgebreid beschreven worden, zijn dat een ploeg meer kans heeft om te scoren als een hoekschop kort genomen wordt of dat managers best hun eerste wissel doorvoeren voor minuut 58 als hun team achterstaat [AS13, Fan14].

Ook in de Jupiler Pro League, de Belgische competitie, zijn er al een aantal onderzoeken uitgevoerd gebruik makend van informatie uit de verschillende wedstrijden. Zo publiceerde de KU Leuven eind maart een onderzoek waarbij onderzocht wordt welke ploeg het meest aanvallend, agressief of efficiënt speelt. Hierbij baseerden ze zich op het balbezit, het aantal schoten op doel en het aantal gele kaarten per wedstrijd [Mor14]. Net als in de Europese competities is het doel van dit onderzoek om, naast een analyse van eventueel de tegenstander, vooral de eigen prestaties te beoordelen en kan het een ondersteuning bieden voor eventuele tactische keuzes.

Om nog verder na te gaan wat de huidige invloed van dergelijke analysetechnieken in het Belgische voetbal zijn en of deze überhaupt door elke club toegepast worden, werd een interview afgenomen van een oud-speler van Club Brugge KV. Het betreft hier Gert Verheyen, die actief was voor de club als veldspeler tussen 1992 en 2006. Aangezien Gert Verheyen momenteel coach is van de U-18 en de U-19 bij de Belgische voetbalbond, heeft hij een nog duidelijker beeld van de tools waarover een technische staf beschikt. Toch is een interview niet altijd informatief, bovendien is het moeilijk om van een voetbalcoach de antwoorden te krijgen waar men naar op zoek is. De Morgen publiceerde in december 2013 een heel interessant artikel over de inhoud van interviews en de ‘standaardantwoorden’ die door voetbalcoaches en -spelers vaak gebruikt worden [Mor13].

Uit het interview met Verheyen valt op dat voor hem het ‘buikgevoel’ van de coach nog steeds primeert boven alle informatie die door data-analisten kan aangeleverd worden. Het is dus belangrijk dat deze analisten beseffen dat veel van hun werk vaak dient als ondersteuning voor de technische staf, niet als vervanging van bijvoorbeeld één van de linietrainers. Wat ook opvalt is de bemerking van Verheyen dat voor jonge spelers enkel data of informatie niet voldoende is. Jonge spelers hebben nood aan een visuele analyse, statistieken zijn nietszeggend als deze niet ondersteund worden door beeldmateriaal van de desbetreffende acties. Tot slot vermoedt hij dat analysetechnieken meer en meer hun intrede zullen maken in het professionele voetbal, al dan niet om *live* tijdens een wedstrijd de coaches te ondersteunen, zoals nu al in het wielrennen gebeurt. Het volledige interview met Gert Verheyen is terug te vinden in bijlage A.

Uit al deze recente ontwikkelingen kunnen we dus concluderen dat er een stijgende interesse is voor de informatie die verkregen kan worden gebruikmakend van analysetechnieken en in de toekomst zal deze interesse alleen maar toenemen.

## Bijlage A

### Interview met Gert Verheyen

*Op het terras van le 'Pain Quotidien' in Wemmel ontmoet ik Gert Verheyen op maandagmiddag 5 mei 2014. Van het prachtige weer genietend bespreekt hij met Johan Walem, de coach van de beloften, nog even de net afgelopen training van de U-19 bij de KBVB. Nadien maakt Gert tijd vrij om op mijn vragen te antwoorden.*

**NA:** Voor mij is voetbal altijd een hobby gebleven, voor jou duidelijk niet. Vanaf wanneer heb jij gemerkt dat je in het voetbal je carrière kon uitbouwen?

**GV:** Ik speelde twee jaar bij Lierse in 2<sup>de</sup> klasse en ging toen nog naar het secundair onderwijs. Ik trainde dus elke dag en combineerde die trainingen met les in het 5<sup>de</sup> en 6<sup>de</sup> middelbaar, dit ging zonder problemen. Daarna heb ik een jaar verder gestudeerd en op dat moment kreeg ik de kans om bij Anderlecht te gaan spelen. Toen had ik voor mezelf uitgemaakt van voetbal op het hoogste niveau twee jaar te proberen: lukte het niet binnen die twee jaar, dan zou ik terug gaan studeren. Van dat studeren is niets meer in huis gekomen want ik ben uiteindelijk vier jaar bij Anderlecht gebleven. Wanneer ik na drie maanden mijn medestudenten uit het secundair nog eens terugzag, merkte ik al dat ik niet meer mee was met de leerstof. Het zou me dus heel veel moeite gekost hebben om na twee jaar terug te beginnen met studeren. Maar goed, het is niet nodig geweest.

**NA:** Zoals je zelf zegt, heb je heel je carrière in België gevoetbald. Was dat een bewuste keuze? Of waren er ook andere aanbiedingen?

**GV:** Ik heb de kans gekregen om naar Ipswich Town te gaan, maar ik lag onder contract. Ik heb ook niet moeilijk gedaan om kost wat kost weg te geraken. Ooit heb ik ook gesproken met Hertha Berlijn maar zij hebben nooit een officieel bod gedaan. Daar was ik samen met Bart Goor gaan onderhandelen: voor hem hadden ze wel geld, toen wij er kwamen was het geld op. Mijn loon was geen probleem, maar ze hadden geen transfersom meer voor Club Brugge. Het is dan ook niet doorgegaan.

**NA:** Stonden de Belgische clubs in die tijd niet hoger aangeschreven dan nu?

**GV:** Misschien wel, maar zelf was ik op dat gebied eerder een bangerik. Ik dacht ook: ik zit goed, de mensen zien mij hier graag, het is een goede club. Oké, ik kon in het buitenland veel meer verdienen, maar ik had zoiets van het is goed zo, ik had een basisplaats, ik had ook drie kinderen. Moet ik daar spijt van hebben? Neen,

want ik heb een schitterende carrière achter de rug. Maar ik weet wel dat ik als voetballer in deze tijd nooit veertien jaar in België zou doorbrengen.

**NA:** Waar lijkt het volgens jou aan te wijten dat de Belgische clubs Europees minder goed presteren? Heeft dit met geld te maken of met de opleiding?

**GV:** Met opleiding zal het niet te maken hebben. Als je kijkt naar de infrastructuur, en naar de kwaliteit van de trainers, dan zijn we daar op vooruit gegaan. Als ik naar de basiskwaliteit kijk bij de U-19 spelers van de nationale ploeg, dan is dat toch vrij goed.

**NA:** Was het voor jou een logische stap om na je spelerscarrière bij Club Brugge coach te worden van de beloften ?

**GV:** Ik heb dat één jaar gedaan maar dan had ik het echt wel gehad, ik bedoel niet zozeer het trainer zijn maar ik had het gehad op het veld. Ik had echt zin om iets anders te doen. Toen werkte ik ook gelijktijdig voor televisie en dat was echt mijn ding, analist zijn en co-commentator, dat laatste doe ik eigenlijk nog liever, zo commentaar geven bij live-wedstrijden. Maar op Club Brugge vonden ze dat dat niet meer kon: ik besprak matches van de beloften van Club Brugge, zei gewoon mijn gedacht als hun trainer en als het niet goed was, zei ik dat ook. Toch had Club nooit gedacht dat ik bij hen zou weg gaan.

**NA:** Is er sprake van een voetbalmicrobe die er uiteindelijk voor gezorgd heeft dat je nu toch trainer van de U-19 bij de KBVB bent?

**GV:** Ik ben wel blij van nu terug trainer te zijn maar ik heb nooit de ambitie gehad van een grote trainerscarrière uit te bouwen. Ik ben wel graag baas, maar het hoeft niet op het hoogste niveau te zijn. Waarom dan die overstap als coach van de U-19? Ik heb een kledingwinkel gehad en dat is een heel vlak leven. Elke dag is hetzelfde, je wordt niet wild van tien pulls te verkopen op een dag. Het gevoel van winst en verlies, hoogtepunten en dieptepunten was toch wel iets wat ik miste. Daarom ben ik blij van dat terug te hebben.

**NA:** Is het ook omdat je gelooft in het project van de Rode Duivels?

**GV:** Ik vind het vooral leuk. Eigenlijk is deze situatie ideaal voor mij: trainer hoef ik niet elke dag te zijn. Hier (bij de U-19) ga ik van de ene match naar de andere met een tussenperiode. Dit vind ik leuker omdat ik het kan combineren met mijn werk bij de televisie. Dat was voor mij een voorwaarde om te komen werken bij de KBVB, sorry, maar het werk bij TV geef ik niet op.

**NA:** Merk jij dat het takenpakket van een trainer veranderd is ten opzichte van 10 jaar geleden? Nemen we Club Brugge als voorbeeld: trainer Daum was voorstander van zo veel mogelijk analysetechnieken rond de ploeg te gebruiken, terwijl Leekens als trainer zei dat hij het op zijn manier wou doen en zijn buikgevoel laten spreken.

**GV:** Ik ga nu ook wel anders te werk dan toen ik trainer was van de beloften bij Club Brugge. Waarom? In de eerste plaats omdat ik bij de KBVB een hele staf ter beschikking heb: een assistent, een keepertrainer, een teammanager, een dokter, een kinesist. Vroeger bij de beloften had ik enkel een keepertrainer, voor de rest deed ik alles alleen. Automatisch komt er nu dus meer management aan te pas.

En (zoals al gezegd) ik speel graag de baas. Ik ben liever hoofdtrainer op een lager niveau dan hulptrainer op een hoog niveau, ik doe graag mijn eigen 'goesting'.

**NA:** Keren we nog eens terug naar de jongeren: merk jij dat, samen met de digitalisering van de samenleving, ook de opleiding van jonge spelers anders verloopt?

**GV:** Het eerste wat de jongens doen als zij na een training op hun kamer komen, is naar hun iPhone of iPad grijpen. Volgens het reglement mag het niet. Moeten wij ons daar kwaad om maken? Ik vind van niet. Aan tafel mogen zij van mij hun iPhone gebruiken, ik wil alleen geen geluidjes horen en ook niet dat ze bellen. Als we samen aan tafel zitten te babbelen met elkaar en een van hen krijgt een berichtje en beantwoordt dat, 'so what?', daar maak ik mij dan echt niet druk om. Maar er moet wel conversatie zijn. Als ik op een moment voel dat ze alleen met hun telefoon bezig en niet meer met elkaar praten, dan houdt het op voor mij.

*Op dit moment, neen dit is geen grapje, rinkelt de telefoon van Gert.*

**NA:** Is bij jullie het gebruik van die mobiele toestellen al geïntegreerd? Wordt bijvoorbeeld na de wedstrijd de videoanalyse van elke speler gedownload op de iPad van de spelers?

**GV:** Neen, we gebruiken daarvoor onze laptop en projecteren via beamer op groot scherm. De video wordt in groep bekeken en besproken.

**NA:** Er is een duidelijke trend van Europese topclubs om al op jonge leeftijd talenten bij Belgische clubs weg te plukken. Vind je dat het beter is dat spelers in een meer professionele, zij het minder vertrouwde, omgeving opgeleid worden?

**GV:** Als je als speler naar Manchester City, of United of Chelsea gaat, dan is daar de omkadering beter: daar staan vier trainers op het veld, ze hebben een schitterend veld, het materiaal is beter, alles is meer uitgerust. Maar voor mij hangt het minder af van de club dan van de trainer: de jeugdtrainer van Westerlo kan misschien een betere trainer zijn dan die van Club Brugge. Het hangt dus minder af van de club dan van de mensen die daar werken. Daar ben ik van overtuigd. Maar goed, bij de U-21 van City hebben ze Patrick Viera als trainer, die is wel fantastisch, het is zeker een meerwaarde voor de spelers als zij met iemand met zo een ervaring kunnen werken. Dat wil wel nog niet zeggen dat ze daarom meer kans hebben om door te breken. Hoeveel jeugdspelers van Manchester City breken door? Nul komma nul. Wat is de hoop of de kans om daar door te breken? Niets. Doe je het dan voor die paar jaar opleiding? Dat kan best een reden zijn. Als geld een reden is, dan zeg ik altijd: dat is fout. Dat is ook vaak zo.

**NA:** Zagen we niet iets gelijkaardig bij de broers Musonda (*In de zomer van 2012 vertrokken de drie talentvolle broers Musonda van de jeugdopleiding van Anderlecht naar Chelsea, red.*)? Zoals zij het gecommuniceerd hebben, leek het toch uit geldgewin. Daar was jij dus geen voorstander van?

**GV:** Neen. Pas op, ik heb die broers bij mij. Maar ze moeten volgend jaar wel ergens kunnen spelen, net als alle U-19 spelers trouwens. Het heeft geen zin dat ze nog in de U21 of de beloften-competitie gaan spelen; die moeten volgend jaar ergens in



de eerste ploeg spelen. Als zij het mij vragen geef ik hen die raad ook mee. Maar vooral hun managers kijken heel raar als je zegt ‘Ik zou hem een jaartje in tweede klasse laten spelen.’ Voor hen moet het allemaal geweldig zijn en snel gaan.

**NA:** Het Personal Performance Center (PPC) dat Club Brugge introduceerde bij hun spelers enkele jaren geleden, zegt jou dat iets?

*Gert onderbreekt mij meteen om duidelijk te maken dat hij nog nooit de werking hiervan gezien heeft.*

**NA:** Dat is nu net wat ik wou vragen, vermits er enkele spelers bij jou zijn die van Club Brugge komen: heb je al meegemaakt dat die spelers zeggen ‘Wacht even, ik moet de regels van mijn PPC nakijken?’ Heb jij zelf al van spelers gehoord wat hun ervaringen zijn met dit systeem?

**GV:** Wat die jongens moeten doen na de match is een rapport invullen en dat doorsturen. Vaak komen ze dat doen op mijn laptop en zo kan ik dat achteraf lezen. Het is goed om te lezen hoe ze zichzelf beoordelen. Maar vaak zie ik in hun zelfevaluatie dingen terugkomen die ik hen gezegd heb tijdens de training. Hun zelfbeoordeling komt vaak neer op wat de trainer heeft gezegd. ‘Het zal wel zo zijn want de trainer heeft het gezegd.’ Is dat je zelf beoordelen? Niet helemaal toch.

**NA:** Zie jij dat als een nadeel dat zij nu zo vaak geëvalueerd worden? Vroeger werd hen misschien enkel gezegd ‘Je hebt talent, het komt wel in orde.’

**GV:** Ik weet niet of dat een nadeel is. De voetbalwereld is een harde wereld. Die is er voor de winnaars, niet voor de ‘losers’. De realiteit is dat bij een kern van twintig man bij de U-19, er misschien één A-international wordt. Als je nu naar de A-ploeg kijkt, hoeveel spelers zijn er daar van hetzelfde geboortejaar? Dat je uit één geboortejaar, uit één generatie vier of vijf A-internationals zou halen, dat is zeer uitzonderlijk. Als ik naar mijn medespelers bij de jeugd van de nationale ploeg of van de internationale beloften kijk, dan valt het mij op hoe weinig daarvan zelfs maar profvoetballer zijn geworden. Echt angstaanjagend weinig.

**NA:** En toch spreekt de pers heel de tijd over de gouden generatie.

**GV:** Ik zeg dat niet te vlug. Dat wordt dikwijls gezegd en eigenlijk doe je die jongens daar geen plezier mee. Er loopt iets mis bij hen. En heeft dat dan te maken met het feit dat ze heel hun leven zijn opgehemeld? Als je naar de resultaten van die gasten kijkt bij de nationale ploeg: die hebben nog niks gewonnen. Waar baseer je je dan op om te zeggen dat ze goed zijn?

**NA:** Zit hun selectie van sommige spelers voor de A-ploeg daar voor iets tussen?

**GV:** Natuurlijk. Voor mij hoeven ze niet te komen. Maar een jongen als Divock Origi, die ook bij Johan (*Walem, trainer van de beloften bij de KBVB, red.*) in de beloften heeft gespeeld, die haalt er zijn neus niet voor op om met de U-19 binnenkort te gaan spelen op een voorbereidingstoernooi. Origi heeft een half jaar in eerste gespeeld bij Rijsel, hij is heel blij dat hij mee kan gaan. Dat is voor mij ook een reden om te denken ‘Die gaat het maken.’ Maar bij gasten die zichzelf nogal snel te goed vinden om met de U-19 mee te spelen, daar zit er volgens mij mentaal

iets fout. Dat zegt immers iets over je doorzettingsvermogen, over je fierheid om op internationaal niveau te spelen.

**NA:** Als je het goedvindt, wil ik het nu hebben over mijn onderzoek. Vanwaar kwam mijn idee tot dit onderzoek? Na de verloren CL-halve finale in oktober hoorden we een ontevreden reactie van Hazard over de speelstijl van Chelsea. Zijn kritiek zorgde ervoor dat José Mourinho hem automatisch terechtwees op zijn defensieve taken, iets wat hij ook al eerder in het begin van het seizoen deed. Is deze kritiek volgens jou terecht?

**GV:** Zelf heb ik dat ook al meegemaakt. Vorige week nog bracht ik een flankspeler in en zei hem dat als de rechterback één voorzet gaf (hij was een links buiten), hij met mij 's middags in het bos kon gaan lopen. Al na vijf minuten was het zover. Na de match heb ik dan maar gezegd dat ik het 'niet gezien had'. Toch is het superbelangrijk, maar die gasten hebben zoiets van 'laat maar lopen', soms zeggen ze zelf 'Ik was moe, trainer.' Maar moe zijn telt niet mee in het voetbal. Als je back erover gaat, moet je mee.

**NA:** Wel dat is net wat ik probeer te onderzoeken in mijn masterproef, namelijk op een objectieve manier voorstellen wat het gedrag is van een aanvaller/ middenvelder.

**GV:** Dat is wel goed; want met al die commentaar en analyses van nu kom je bij perceptie en dat is gevaarlijk. Vaak denk je dat het zo is, maar als je het puur objectief, met cijfers gaat beoordelen, dan zie je vaak toch iets anders.

*Ik toon nu aan Gert mijn onderzoeksresultaten van de belofteploeg uit sectie 6.2. Hij merkt duidelijk het verschil op tussen de profielen van een verdediger en een middenvelder. Hij verwacht van de middenvelders een fluctuerend positieverloop rond het middelpunt, wat ook te zien is in mijn visuele weergave, zie figuur 6.9 en figuur 6.11.*

**NA:** Wat soort tactische informatie zouden jullie kunnen halen uit dit soort analyses?

**GV:** Voor een trainer vind ik dat interessant. De jongens zelf kunnen daar niets mee doen. Zij moeten zichzelf zien op reële beelden. Zij kunnen een fase niet terug vertellen, ze weten niet wat ze aan het doen waren. Als je hen vraagt 'We hebben een goal binnengekreken. Wat is er daar gebeurd? Wat was jij op dat moment aan het doen?', dan kunnen zij dat niet vertellen. Zij hebben echte beelden nodig.

**NA:** Stel dat jij in je carrière had kunnen beschikken over die extra informatie die wij nu krijgen uit data- en videoanalyse, had jij er dan gebruik van gemaakt?

**GV:** Zeker en vast. Ook als trainer zou ik dat nu doen, maar dan eerder uit interesse omdat alle bijkomende informatie winst is. De grote vraag van de trainer met data en cijfers, met alles wat zwart op wit te bewijzen is, is wel of je daar je selectie laat van afhangen. Stel dat je twijfelt tussen twee jongens op eenzelfde positie, gaat dit dan beslissen of je Piet of Pol zet. Dan, denk ik, ga ik toch voor de jongen bij wie ik gevoelsmatig een beter gevoel heb. Ook al scoort die minder in vergelijking met de andere.

**NA:** Jij ziet data-analyse dus eerder als een ondersteuning bij het (buik)gevoel?

- GV:** Klopt. Maar als het verschil te groot is, als de toestand van de speler lamenteabel is en hij totaal uit conditie is, dan ga ik hem niet opstellen. Maar als het verschil niet te groot is, gaat data-analyse mijn beslissing toch niet in de hoek duwen.
- NA:** Vind jij dat spelers zich moeten opofferen voor hun ploeg? Denk bijvoorbeeld aan Hazard die beter puur offensief wordt uitgespeeld want, eerlijk gezegd, verdedigend vind ik hem toch niet zo sterk.
- GV:** Zichzelf opofferen voor het geheel is de basis van alles en ik begrijp Mourinho. Ik ben het helemaal met hem eens. Misschien moeten spelers dat niet doen in elke wedstrijd. Zo was ik ook een rechtsbuiten die af en toe bewust zijn back niet nam, ten eerste omdat ik wist dat die niet goed was, ten tweede omdat ik dacht dat we zouden recupereren omdat we beter waren. Je moet een soort van intelligentie hebben als speler. Mourinho zal ook wel zeggen dat ze gerust eens mogen blijven stilstaan als ze op voorsprong staan en de betere ploeg zijn. Je moet aanvoelen in welk soort matches je dat kan doen. Ik probeer dat ook aan mijn spelers bij te brengen. Maar het is moeilijk, spelers hebben bepaalde taken op bepaalde plaatsen. Maar je mag hun intuïtie en hun ‘straatvoetballerskwaliteiten’ nooit afpakken. Elke speler moet dat evenwicht zoeken.
- NA:** Op welke manier zou onderzoek zoals nu aan de UGent gevierd wordt, je kunnen helpen bij je analyse? En wat soort tactische informatie zou jij kunnen halen uit dit soort analyses?
- GV:** Dat hangt er van af. Als dat onderzoek per fase is uitgevoerd, dan helpt dat wel. Maar in het geheel van de match niet, denk ik. Dikwijls zie je na afloop van matches in de Champions League ook waar de speler allemaal is geweest, dat is dan een wirwar van punten en pijlen. De analyse moet eigenlijk heel specifiek zijn om een meerwaarde te bieden. En dan nog gaat het om het echte beeld. Een echt beeld zegt immers meer dan een pijl. In scoutingverslagen zie je dat ook: een centrale middenvelder met drie pijlen naar boven en drie pijlen naar achter. Precies of dat niet logisch is. Dat is zijn taak: naar voor en naar achter lopen.
- NA:** In de Premier League beschikt elke topclub over een klein leger analisten, die dergelijke analysetechnieken toepassen, net als in de grote Amerikaanse sportcompetities zoals de NBA en de NFL. Denk je dat er momenteel bij Belgische clubs nood is aan een automatische verwerking van grote hoeveelheden data?
- GV:** Ik denk wel dat die toepassingen gaan toenemen. Ook bij het voetbal komt alles overgewaaid. Het heeft natuurlijk ook met financiële middelen te maken. Als wij een match gaan spelen in Engeland, dan zien we dat de nationale jeugd daar speelt met GPS-toestellen. Daarover beschikt de KBVB bij de jeugd nog niet. Het zou me wel interesseren, daarom heb ik gevraagd om de voorbereiding van de U-19 ook met GPS-toestellen te kunnen aanvatten. Omdat ik zelf professioneel voetbal gespeeld heb, kan ik me voorstellen hoeveel energie een actie vraagt, maar soms vrees ik dat ik als trainer iets te ver durf gaan. Langs de andere kant mag je tegenwoordig bij spelers nooit meer in het rood gaan wat hun fysieke conditie betreft, je moet tussen bepaalde zones blijven. Maar wat als je in de rode zone zit en je back gaat je voorbij, moet je dan zeggen ‘Ai, ik zit in het rood en stop er

mee.'? Die mentale sterkte, dat mentaal pijn doen, moet je op training ervaren. Anders zal het in de match niet lukken.

- NA:** Kijken we dan naar sommige spelers, zoals Mario Balotelli bijvoorbeeld, die niet bepaald trainingsbeesten zijn: is het dan nog relevant om dergelijke analysetechnieken te gebruiken, als je spelers toch amper moeite doen op training?
- GV:** Uiteraard niet. Maar laat me Maxime Lestienne als voorbeeld nemen: vroeger deed hij maar wat, hij speelde echt goed, maar dacht over niets na, hij speelde puur op intuïtie. Nu echter probeert Preud'homme (*Michel Preud'homme, coach van de A-ploeg van Club Brugge, red.*) hem patronen te laten volgen, 'als dat gebeurt moet jij naar daar, als dat gebeurt moet je naar daar.'. Daar had Lestienne het in het begin moeilijk mee. Hij is een van de spelers die het op een gegeven moment toch wel oppikt, anderen doen dat nooit. Ik heb mannen waar ik bewust niets tegen zeg, want hoe meer ik hen zeg, hoe minder ik er van terug krijg.
- NA:** Een aantal weken geleden werd een staffid van Atletico Madrid gespot met de Google Glass, vermoedelijk ging het hier om live data over de spelers die werd gepresenteerd voor dit staffid. Zou dat volgens jou nuttig kunnen zijn?
- GV:** Misschien helpt het wel, bijvoorbeeld bij vervangingen: want daar heb je weer de perceptie die meespeelt, jij denkt van een speler dat hij er moe uit ziet, maar misschien kan hij nog gemakkelijk doorgaan; aan een andere speler zie je niets maar hij zit wel kapot. Als je dan direct zou kunnen zien hoeveel energie hij al heeft verbruikt, dan kan zo een systeem wel helpen.
- NA:** Graag had ik je ook een aantal vragen gesteld over de Rode Duivels. Merkte je als speler bij de Rode Duivels dat spelers die op hetzelfde moment actief waren in een buitenlandse competitie, zoals Marc Wilmots bijvoorbeeld, op een meer professionele manier trinden dan de spelers die actief waren in België?
- GV:** Er waren toen niet zoveel Belgische spelers in het buitenland als nu. Ik heb nooit het gevoel gehad dat zij fysiek sterker waren dan wij. Ik was zelf ook een fysieke speler, bij de nationale ploeg werd ik altijd bij de 'sterksten' gerekend. Volgens mij maakt dat niet veel uit. Wat maakt je eigenlijk beter als speler? Samen spelen met betere spelers, de weerstand die groter is, de tegenstander die sterker is en daar week in week uit mee geconfronteerd worden. Wij speelden ook wel eens Europees, maar op het moment dat je aangepast was aan het tempo, was het Europees avontuur al voorbij. Dan kon je weer zes maanden wachten. Bij die buitenlandse competities was dat niet zo. Waar ik het nu wel moeilijk mee heb zijn spelers die van hier vertrekken naar het buitenland, Duitsland of Engeland, en het daar allemaal zo veel beter vinden. Waarom? Daar trainen ze hard en goed. Vaak zijn dat wel de spelers die hier in België reclameerden dat ze 45 minuten moesten lopen voor de training. Maar lopen in Duitsland of Engeland? Geen probleem. Blijkbaar kunnen zij dat in het buitenland wel opbrengen om dat te doen. Wij hebben tegen Duitsland gespeeld. De cultuur van die Duitsers, de beleving al tijdens de opwarming, de fysieke power die ze uitstralen, dat is gewoon x10 tegenover die van ons. Dat is puur cultuur, de jongens zijn zo groot geworden.
- NA:** Is dat hier dan niet te bereiken in een ploeg?

- GV:** Als je heel je cultuur verandert. Portugal doet dat ook al vanaf de jeugd, zelfs bij hun kleinste ‘sjotterkes’. Wij mogen bij de jeugd niet eens zeggen dat we spelen om te winnen. Winnen is een vies woord bij onze jeugd, het moet in de eerste plaats plezant zijn. Voor Portugal is winnen het belangrijkste, net als agressiviteit. Die woorden mogen wij in onze jeugdopleiding niet gebruiken.
- NA:** In het populaire programma over de Rode Duivels ‘Iedereen Duivel’ zien we dat er enorm veel aandacht gaat naar de entourage van de spelers i.v.m. voeding, video-analyses, opvolging van de trainingen, etc. In welke mate vind jij dat al deze kleine zaken kunnen bijdragen tot de individuele prestaties van de spelers?
- GV:** Als zij in hun privé die levenshouding consequent doortrekken, dan kan dat. Maar niet als ze dat alleen opvolgen tijdens de vijf dagen stage, en de tien dagen thuis zich daar niets van aan trekken. Dan heeft dat totaal geen zin. Die professionele omkadering kan helpen om je spelers te doen begrijpen dat het zo moet.
- NA:** Als afsluiter zou ik jou willen vragen om twee voorspellingen te doen. Denk je dat Club Brugge nog kampioen kan worden na hun nederlaag van gisteren (*Club Brugge verloor op zondag 4 mei met 0 – 1 van Anderlecht, red.*)?
- GV:** Dat kan, ik zeg niet dat ze kampioen gaan worden. Wat ik zie van andere ploegen, vind ik maar zwak. De bedoeling van de play-offs is een hoger niveau te brengen, de intensiteit ligt wel hoger dan in de reguliere competitie, maar veel hoogstaande matches hebben we nog niet gezien. Gelukkig is het wel enorm spannend tot op de laatste speeldag.
- NA:** Tot slot: waar denk je dat de Rode Duivels gaan eindigen?
- GV:** Ik denk dat we zeker door de poule zullen gaan. Maar verder maak ik geen enkele voorspelling meer. We kunnen van iedereen verliezen, we kunnen van iedereen winnen. Als Duitsland of Portugal onze tegenstander in de volgende ronde wordt, begin dan maar, hé.
- NA:** Dan rest mij nu enkel nog je van harte te bedanken voor dit interview en je veel succes te wensen voor je wedstrijd vanavond op Standard Luik.
- GV:** Succes? Ik moet toch zelf niet spelen, enkel toekijken!



Selfie met Gert Verheyen.

# Bibliografie

- [All83] James F. Allen. Maintaining knowledge about temporal intervals. *Communications of the ACM*, 26(11):832–843, 1983.
- [AS13] C. Anderson and D. Sally. *The Numbers Game: Why Everything You Know About Football Is Wrong*. Penguin Books, 2013.
- [Cai13] L. Caioli. *Messi: Het verhaal van een jongen die een wereldster werd*. Thomas Rap, 2013.
- [Dai14] DailyMail. The secret to Atletico’s soaring success: Madrid coaches use Google Glass during win against Getafe. <http://www.dailymail.co.uk/sport/football/>, 14 april 2014.
- [DP97] D. Dubois and H. Prade. The three semantics of fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 90(2):141–150, September 1997.
- [DT07] G. De Tré. *Principes van databases*. Pearson Education, 2007.
- [DT14] G. De Tré. Vage databanken. Universiteitssyllabus, 2014.
- [eFu14] eFunda. Center of Mass, 2014.
- [Elm11] Navathe Elmasri. *Fundamentals of Database Systems*. Pearson Education, 2011.
- [Fan14] Fan! Waarom Anderlecht kampioen wordt en Barcelona de beste corners trapt, 25 januari 2014.
- [Gal13] E. Galeano. *Soccer in Sun and Shadow*. Nation Books, 2013.
- [Kul96] Zenon Kulpa. Diagrammatic representation of interval space in proving theorems about interval relations. pages 4–5, 1996.
- [Kul01] Zenon Kulpa. Diagrammatic representation for interval arithmetic. *Linear Algebra and Its Applications*, pages 55–80, 2001.
- [Lig97] Gérard Ligozat. Figures for thought: temporal reasoning with pictures. *In Workshop on Spatial and Temporal Reasoning*, pages 31–36, 1997.

- [Mor13] De Morgen. 'We vergaten te voetballen', 23 december 2013.
- [Mor14] De Morgen. Waasland-Beveren nauwkeurigst, Club meest efficiënt, 20 maart 2014.
- [Nie13] Het Nieuwsblad. Mourniho wil meer ambitie van 'Eddie' Hazard, 21 augustus 2013.
- [Nie14] Het Nieuwsblad. Mourinho haalt uit naar Eden Hazard, 2 mei 2014.
- [Opt14] OptaSports. Opta Homepage. <http://http://www.optasports.com/>, 2014.
- [Pey13] G. Peyskens. GPS-Tracking van voetballers tijdens specifieke wedstrijdvormen: Analyse aan de hand van het CTM. Master's thesis, Universiteit Gent, Vakgroep Geografie, 2013.
- [QAD<sup>+</sup>10] Y. Qiang, K. Asmussen, M. Delafontaine, B. Stichelbaut, and G. De Tré. Handling imperfect time intervals in a two dimensional space. *Control and Cybernetics*, pages 1–25, 2010.
- [QCL<sup>+</sup>13] Y. Qiang, S. H. Chavoshi, S. Logghe, P. De Maeyer, and N. Van de Weghe. Multi-scale analysis of linear data in a two-dimensional space. *Information Visualization*, 2013.
- [Qia12] Y. Qiang. *Modelling temporal information in a two-dimensional space*. PhD thesis, Ghent University, 2012.
- [Spo13] Sporza. Heatmap OptaSports. [http://www.sporza.be/cm/sporza/matchcenter/mc\\_voetbal/](http://www.sporza.be/cm/sporza/matchcenter/mc_voetbal/), 2013.
- [VdWDD<sup>+</sup>07] N. Van de Weghe, R. Docter, P. De Maeyer, B. Bechtold, and K. Ryckbosch. The triangular model as an instrument for visualising and analysing residuality. *Journal of Archaeological Science*, 34(4):649–655, April 2007.
- [Wil10] J. Wilson. *Vier-Vier-Twee: De geschiedenis van voetbaltactiek*. Amstel Sport, 2010.
- [Zad65] L.A. Zadeh. Fuzzy sets. *Information and Control*, pages 338–353, 1965.
- [Zad78] L.A. Zadeh. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, pages 3–28, 1978.
- [Zad97] L.A. Zadeh. Towards a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic. *Fuzzy Sets and Systems*, pages 111–127, 1997.

# Lijst van figuren

1.1	Heatmap, gebruik makend van de tool van OptaSports, van verschillende spelers in de Premier League. . . . .	2
2.1	Schets van het instrument <i>clepsydra</i> , dat door de Romeinen gebruikt werd om een meer exacte indicatie van de verstreken tijd te verkrijgen. . . . .	8
2.2	Visuele weergave van een tijdsinterval. . . . .	9
2.3	Klassieke voorstellingswijze van een verzameling van tijdsintervallen. . . . .	13
3.1	Cartoon over de werking van mogelijkheden. . . . .	16
3.2	Lidmaatschapsfunctie voor grote lengten van personen. . . . .	20
3.3	Klassieke voorstellingswijze van een verzameling van meetresultaten. . . . .	21
3.4	Klassieke voorstellingswijze van de <i>bodyload</i> van een speler, gemeten op elk moment over een periode van 5 minuten tijdens een wedstrijd. . . . .	25
3.5	Possibiliteitsdistributie die de mogelijkheid uitdrukt dat ‘een speler een hoge <i>bodyload</i> heeft’. . . . .	26
3.6	Klassieke voorstellingswijze van de hartslag van een speler, gemeten op elk moment over een periode van 5 minuten tijdens een wedstrijd. . . . .	26
3.7	Possibiliteitsdistributie die de mogelijkheid uitdrukt dat ‘een speler een hoge hartslag heeft’. . . . .	27
3.8	Klassieke voorstellingswijze van de snelheid van een speler, gemeten op elk moment over een periode van 5 minuten tijdens een wedstrijd. . . . .	28
3.9	Possibiliteitsdistributie die de mogelijkheid uitdrukt dat ‘een speler actief deelneemt aan een spelsituatie’. . . . .	28
4.1	Visuele voorstelling van een tijdsinterval met behulp van het Triangular Model. . . . .	31
4.2	Voorstelling van een verzameling tijdsintervallen met behulp van het Triangular Model. . . . .	31
4.3	Voorstelling van de aggregatie-operator in het Continuous Triangular Model. . . . .	33
4.4	Kleurcodering gebruikt in deze masterproef om de mogelijkheden in het CTM te modelleren. . . . .	34
4.5	CTM-diagram dat de mogelijkheid modelleert dat een speler een ‘hoge <i>bodyload</i> ’ heeft. . . . .	35
4.6	CTM-diagram dat de mogelijkheid modelleert dat een speler een ‘hoge hartslag’ heeft. . . . .	36



4.7	CTM-diagram dat de mogelijkheid modelleert dat een speler ‘actief deelneemt’ aan een spelsituatie. . . . .	36
5.1	Inwerking van een algemene operator $\otimes$ op de verschillende CTM-diagrammen en op de brondata. . . . .	40
5.2	3D-visualisatie van de conjunctie-operator. . . . .	41
5.3	Voorstelling van eerste <i>track</i> en tweede <i>track</i> , voor de conjunctie-operator als <i>combinatie-operator</i> . . . . .	42
5.4	3D-visualisatie van de disjunctie-operator. . . . .	43
5.5	Voorstelling van eerste <i>track</i> en tweede <i>track</i> , voor de disjunctie-operator als <i>combinatie-operator</i> . . . . .	45
5.6	3D-visualisatie van de Kleene-Dienes-operator. . . . .	47
5.7	Voorstelling van eerste <i>track</i> en tweede <i>track</i> , voor de Kleene-Dienes-operator als <i>combinatie-operator</i> . . . . .	48
5.8	3D-visualisatie van de Lukasiewicz <sub>S</sub> -operator. . . . .	49
5.9	Voorstelling van eerste <i>track</i> en tweede <i>track</i> , voor de Lukasiewicz <sub>S</sub> -operator als <i>combinatie-operator</i> . . . . .	50
5.10	3D-visualisatie van de Reichenbach-operator. . . . .	51
5.11	Voorstelling van eerste <i>track</i> en tweede <i>track</i> , voor de Reichenbach-operator als <i>combinatie-operator</i> . . . . .	52
5.12	3D-visualisatie van de Gödel-operator. . . . .	53
5.13	Voorstelling van eerste <i>track</i> en tweede <i>track</i> , voor de Gödel-operator als <i>combinatie-operator</i> . . . . .	54
5.14	3D-visualisatie van de Lukasiewicz <sub>R</sub> -operator. . . . .	55
5.15	Voorstelling van eerste <i>track</i> en tweede <i>track</i> , voor de Lukasiewicz <sub>R</sub> -operator als <i>combinatie-operator</i> . . . . .	57
5.16	3D-visualisatie van de Goguen-operator. . . . .	58
5.17	Voorstelling van eerste <i>track</i> en tweede <i>track</i> , voor de Goguen-operator als <i>combinatie-operator</i> . . . . .	59
5.18	Voorstelling van het CTM-diagram dat de mogelijkheid modelleert dat ‘een speler een hoge hartslag heeft’, met een projectie-operator inwerkend op het CTM-diagram voor verschillende lengtes. . . . .	61
5.19	CTM-diagram voor de eerste vraagstelling, gebruik makend van de conjunctie-operator. . . . .	63
5.20	CTM-diagram voor de eerste vraagstelling, gebruik makend van de conjunctie-operator en de projectie-operator. . . . .	64
5.21	CTM-diagram voor de tweede vraagstelling, gebruik makend van de conjunctie-operator. . . . .	64
5.22	CTM-diagram voor de eerste vraagstelling, gebruik makend van de disjunctie-operator. . . . .	65
5.23	CTM-diagram voor de tweede vraagstelling, gebruik makend van de disjunctie-operator. . . . .	66
5.24	CTM-diagram voor de eerste vraagstelling, gebruik makend van de implicatie-operator. . . . .	67

5.25	CTM-diagram voor de tweede vraagstelling, gebruik makend van de implicatie-operator. . . . .	68
6.1	Indicatie van positie van spelers van de rode ploeg en de blauwe ploeg op een voetbalveld, alsook de centroïde van elke ploeg. . . . .	71
6.2	Relatieve afstand van speler, in functie van de tijd. . . . .	72
6.3	Algoritme dat de drie stappen bevat om de relatieve afstand voor een speler tot de loodlijn van zijn ploeg te bepalen. . . . .	73
6.4	<i>Klassieke</i> voorstellingswijze van de relatieve afstand van een verdediger tot de loodlijn van de ploeg, gemeten op elk moment over een wedstrijd van 5 minuten. . . . .	75
6.5	Possibiliteit dat een verdediger aan het ‘verdedigen’ is, gemeten op elk moment over een wedstrijd van 5 minuten. . . . .	76
6.6	CTM-diagram dat de mogelijkheid modelleert dat een verdediger aan het ‘verdedigen’ is. . . . .	76
6.7	<i>Klassieke</i> voorstellingswijze van de relatieve afstand van een aanvaller tot de loodlijn van de ploeg, gemeten op elk moment over een wedstrijd van 5 minuten. . . . .	77
6.8	Possibiliteit dat een aanvaller aan het ‘verdedigen’ is, gemeten op elk moment over een wedstrijd van 5 minuten. . . . .	77
6.9	<i>Klassieke</i> voorstellingswijze van de relatieve afstand van een middenvelder tot de loodlijn van de ploeg, gemeten op elk moment over een wedstrijd van 5 minuten. . . . .	78
6.10	Possibiliteit dat een aanvaller aan het ‘verdedigen’ is, gemeten op elk moment over een wedstrijd van 5 minuten. . . . .	78
6.11	CTM-diagram, waarop de projectie-operator is toegepast, dat de mogelijkheid modelleert dat een middenvelder gedurende maximaal 60 s aan het ‘verdedigen’ is. . . . .	79
6.12	Translatie van assenstelsel om ervoor te zorgen dat alle afstanden positief zijn. . . . .	80
6.13	<i>Klassieke</i> voorstellingswijze van de relatieve afstand van een centrale verdediger tot de loodlijn van de ploeg, gemeten op elk moment over één wedstrijd helft van de wedstrijd Club Brugge - Standard Luik. . . . .	81
6.14	CTM-diagram, waarop de projectie-operator is toegepast, dat de mogelijkheid modelleert dat een centrale verdediger gedurende maximaal 600 s aan het ‘verdedigen’ is. . . . .	82
6.15	<i>Klassieke</i> voorstellingswijze van de relatieve afstand van een vleugelverdediger tot de loodlijn van de ploeg, gemeten op elk moment over één wedstrijd helft van de wedstrijd Club Brugge - Standard Luik. . . . .	83
6.16	CTM-diagram, waarop de projectie-operator is toegepast, dat de mogelijkheid modelleert dat een vleugelverdediger gedurende maximaal 300 s aan het ‘verdedigen’ is. . . . .	83

- 
- 6.17 *Klassieke* voorstellingswijze van de relatieve afstand van een aanvaller tot de loodlijn van de ploeg, gemeten op elk moment over één wedstrijd helft van de wedstrijd Club Brugge - Standard Luik. . . . . 84
- 6.18 Possibiliteit dat een aanvaller aan het ‘verdedigen’ is, gemeten op elk moment over één wedstrijd helft van de wedstrijd Club Brugge - Standard Luik. 85
- 6.19 *Klassieke* voorstellingswijze van de relatieve afstand van een defensieve middenvelder tot de loodlijn van de ploeg, gemeten op elk moment over één wedstrijd helft van de wedstrijd Club Brugge - Standard Luik. . . . . 86
- 6.20 CTM-diagram, waarop de projectie-operator is toegepast, dat de mogelijkheid modelleert dat een defensieve middenvelder gedurende maximaal 300 s aan het ‘verdedigen’ is. . . . . 86
- 6.21 *Klassieke* voorstellingswijze van de relatieve afstand van een offensieve middenvelder tot de loodlijn van de ploeg, gemeten op elk moment over één wedstrijd helft van de wedstrijd Club Brugge - Standard Luik. . . . . 87
- 6.22 CTM-diagram, waarop de projectie-operator is toegepast, dat de mogelijkheid modelleert dat een offensieve middenvelder gedurende maximaal 150 s aan het ‘verdedigen’ is. . . . . 87
- 6.23 CTM-diagram, waarop de projectie-operator is toegepast, dat de mogelijkheid modelleert dat een aanvaller gedurende maximaal 600 s aan het ‘aanvallen’ is. . . . . 88
- 6.24 CTM-diagram dat de mogelijkheid modelleert dat zowel de centrale verdediger als de vleugelverdediger gedurende maximaal 300 s aan het ‘verdedigen’ zijn, gebruik makend van de conjunctie-operator, waarop de projectie-operator is toegepast. . . . . 89
- 6.25 CTM-diagram dat de mogelijkheid modelleert dat ofwel de defensieve middenvelder ofwel de offensieve middenvelder gedurende maximaal 300 s aan het ‘verdedigen’ is, gebruik makend van de disjunctie-operator, waarop de projectie-operator is toegepast. . . . . 90

# Lijst van tabellen

- 1.1 De verschillende eigenschappen opgemeten tijdens de oefenwedstrijden van de beloftenploeg van Club Brugge KV. . . . . 3
- 2.1 De dertien verschillende Allen-relaties. . . . . 11
- 3.1 De conjunctie-operator ( $\wedge$ ), de disjunctie-operator ( $\vee$ ) en de implicatie-operator ( $\Rightarrow$ ) uit de Booleaanse algebra. . . . . 23

## Lijst van algoritmen

- 1 Methode om de  $X$ -coördinaten van elk tijdsinterval te bepalen volgens de *klassieke* voorstellingswijze. . . . . 12
- 2 Methode om de coördinaten van elk meetresultaat te bepalen, gebruik makend van het lijndiagram. . . . . 21
- 3 Methode om de relatieve afstand van een speler met positie  $(S_X, S_Y)$  tot de loodlijn van zijn team te bepalen, om na te gaan in welke mate deze speler aan het verdedigen is. Hierbij duidt  $(C_X, C_Y)$  de centroïde van zijn eigen team aan, terwijl  $(C_{X_2}, C_{Y_2})$  de centroïde van het andere aanduidt. . 74

