



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur in de beleidsinformatica

Masterthesis

***Inzichten in Voetbalstrategie: Datavisualisatie van Passnetwerken en
Expertperspectieven***

Lars Cuyvers

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master handelsingenieur in de beleidsinformatica

PROMOTOR :

Prof. dr. Koenraad VANHOOF

BEGELEIDER :

De heer Maarten VANHOOF



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be

Universiteit Hasselt
Campus Hasselt:
Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt
Campus Diepenbeek:
Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

2023
2024



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur in de beleidsinformatica

Masterthesis

Inzichten in Voetbalstrategie: Datavisualisatie van Passnetwerken en Expertperspectieven

Lars Cuyvers

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master handelsingenieur in de beleidsinformatica

PROMOTOR :

Prof. dr. Koenraad VANHOOF

BEGELEIDER :

De heer Maarten VANHOOF

Woord vooraf

Bij het voltooien van deze masterproef wil ik mijn dankbaarheid uitspreken naar degenen die mij gedurende dit traject hebben gesteund en begeleid. Zonder het vertrouwen en de steun van de mensen rondom mij zou dit niet mogelijk geweest zijn.

Allereerst wil ik graag mijn promotor, Koen Vanhoof, bedanken. Zijn expertise en begeleiding zijn onmisbaar geweest voor het succes van dit onderzoek. Daarnaast zou ik graag mijn begeleider, Maarten Vanhoof, willen bedanken voor zijn voortdurende steun en waardevolle feedback doorheen het hele jaar. Ik wil ook de geïnterviewden bedanken voor hun bereidheid om hun waardevolle inzichten te delen, die zeer belangrijk waren voor de diepgang van deze studie. Mijn dank gaat ook uit naar Luca Pappalardo et al. (2019) voor hun baanbrekende paper over spatiotemporele match events, waarbij ze een dataset beschikbaar hebben gesteld die een belangrijke basis vormde voor dit onderzoek.

Verder wil ik Universiteit Hasselt bedanken voor de geboden kansen en inspirerende leeromgeving. Mijn dank gaat uit naar alle docenten en medestudenten die hebben bijgedragen aan mijn academische en persoonlijke groei. Tot slot, dank ik mijn familie en vrienden, wiens onvoorwaardelijke steun en begrip mij door de uitdagende momenten heen hebben geholpen.

Samenvatting

De opkomst van geavanceerde datavisualisatietechnieken heeft een belangrijke impact gehad op de manier waarop voetbalstrategieën worden geanalyseerd en geoptimaliseerd. In een tijd waarin data-analyse een integraal onderdeel is geworden van sportmanagement, biedt deze thesis een diepgaande verkenning van de toepassing van passnetwerken in de voetbalwereld. Passnetwerken zijn visuele weergaven van spelersinteracties, waarbij deze interacties de passes voorstellen. Ze kunnen gebruikt worden voor het begrijpen van teamdynamiek en speelstijlen. De onderzoeksvragen die centraal staan in dit werk zijn:

1. Is het mogelijk om passnetwerken op een duidelijke en begrijpbare manier te visualiseren?
2. Op welke manier kunnen voetbaltrainers en analisten gebruik maken van datavisualisaties en in het bijzonder passnetwerken?

Deze vragen zijn gekozen om de kloof tussen theoretische kennis en praktische toepassingen in de voetbalwereld te overbruggen. Het doel is om inzicht te verkrijgen in hoe passnetwerken kunnen bijdragen aan een diepere en meer gedetailleerde analyse van voetbalstrategieën. Daarnaast onderzoekt de studie hoe deze inzichten in de praktijk kunnen worden gebracht door coaches en analisten.

Onderzoeksopzet & Methodologie

De methodologie van dit onderzoek combineert kwantitatieve en kwalitatieve benaderingen om een uitgebreide analyse van passnetwerken te bieden. Kwantitatief werd gebruik gemaakt van datasets afkomstig van Wyscout, die gedetailleerde spatiotemporele gegevens over voetbalwedstrijden bevatten. Deze data omvatten passes, schoten, overtredingen, en andere relevante gebeurtenissen. De gegevens zijn verzameld gedurende een volledig seizoen van zeven prominente voetbalcompetities en internationale toernooien zoals het WK 2018 en het EK 2016. De analyse van deze data werd uitgevoerd met behulp van Python in een Jupyter Notebook. Packages zoals NetworkX en Pandas maakten het mogelijk om passnetwerken te creëren en te analyseren. Daarbij worden spelers weergegeven als knooppunten en passes als verbindingen. De visualisaties werden gemaakt op een schematische weergave van een voetbalveld, wat een intuïtieve en herkenbare weergave biedt van de speldynamiek.

Kwalitatieve data werd verzameld via interviews met domeinexperts, waaronder physical coaches en een videoanalist, die werkzaam zijn bij topvoetbalclubs in België. Deze interviews boden waardevolle inzichten in hoe passnetwerken en andere datavisualisatietechnieken worden gebruikt in de praktijk. De experts deelden hun ervaringen en perspectieven over de praktische toepassingen en de toegevoegde waarde van deze visualisaties in het verbeteren van trainings- en wedstrijdstrategieën. De interviews werden gestructureerd aan de hand van een reeks vooraf opgestelde vragen. Deze vragen zijn gericht op het begrijpen van de dagelijkse praktijk van data-analyse in het voetbal en het evalueren van de bruikbaarheid en effectiviteit van passnetwerken.

Resultaten & Waarde van het Onderzoek

Aan de hand van de code in het Jupyter notebook konden passnetwerken gevisualiseerd worden voor elke wedstrijd uit de dataset. De analyse van de passnetwerken leverde verschillende inzichten op over de dynamiek en strategieën van verschillende voetbalteams. De visualisaties van wedstrijden zoals bijvoorbeeld Real Madrid vs. Barcelona toonden duidelijke verschillen in speelstijlen en teaminteracties. Barcelona, dat bekend staat om zijn balbezit-georiënteerde speelstijl, vertoonde een dicht en goed verbonden passnetwerk. Dit wijst op een gecontroleerde samenhangende teamstrategie. Spelers zoals Busquets, Iniesta en Messi waren centrale knooppunten in het netwerk, wat hun cruciale rol in het behouden en distribueren van balbezit benadrukt. Real Madrid, daarentegen, toonde een meer verspreid netwerk met minder intensieve verbindingen, wat wijst op een speelstijl die meer afhankelijk is van individuele acties.

Een ander belangrijk deel van het onderzoek was gericht op centraliteitsmetrieken van passnetwerken, zoals degree centrality, degree prestige, betweenness centrality en closeness centrality. Degree centrality meet hoe vaak een speler betrokken is bij passes, terwijl degree prestige aangeeft hoe vaak een speler wordt gekozen als passontvanger. Deze twee metrieken zijn ook nog eens geïntegreerd in de gecreëerde visualisaties van de passnetwerken. Betweenness centrality onthult dan weer welke spelers curicaal zijn voor het verbinden van verschillende delen van het team, en closeness centrality meet hoe snel een speler via passes met zijn teamgenoten kan verbinden. Al deze metrieken bieden inzicht in de rol en invloed van individuele spelers binnen het team.

De analyse van de centraliteitsmetrieken toonde aan dat spelers met hoge scores op zowel degree centrality als degree prestige, een belangrijke rol hebben in het spelverloop en betrouwbaar worden gezien als passontvangers. Deze spelers zijn meestal centrale figuren in netwerken en hebben een belangrijke rol in de opbouw van dreigende acties. Interviews met domeinexperts bevestigden ook de waarde van deze metrieken. Ze merkten op dat de centraliteitsmetrieken kunnen helpen bij het identificeren van sleutelspelers van tegenstanders.

De kwalitatieve inzichten uit de interviews bevestigden de waarde van passnetwerken en centraliteitsmetrieken als analytisch hulpmiddel. Tijdens de interviews worden verschillende passnetwerken getoond die diverse speelstijlen van voetbalteams blootleggen. Domeinexperts bevestigden dat deze visualisaties helpen bij het identificeren van sleutelspelers en het evalueren van teamstrategieën. Ze gaven ook aan dat passnetwerken nuttig kunnen zijn voor het voorbereiden op wedstrijden door tegenstanders te analyseren. Bovendien werden suggesties voor verbeteringen gegeven zoals de integratie van meer contextuele informatie in de passnetwerken. Zo zouden bijvoorbeeld de belangrijkheid van de pass en de druk op de baldrager, een vollediger beeld van de speldynamiek weergeven.

Het onderzoek levert belangrijke bijdragen aan zowel de academische literatuur als de praktische toepassingen in de voetbalwereld. Het biedt een gedetailleerd raamwerk voor de visualisatie en analyse van passnetwerken. Dit kan trainers en analisten helpen om beter geïnformeerde, data-gedreven beslissingen te nemen. De bevindingen suggereren dat geavanceerde datavisualisatietechnieken de potentie hebben om voetbalstrategieën te verbeteren. Dit kan dan uiteindelijk leiden tot betere teamprestaties en een dieper begrip van de speldynamiek binnen

wedstrijden. Door de toepassing van passnetwerken zouden teams hun speelstijl kunnen optimaliseren, zwakke punten identificeren en tactische aanpassingen doorvoeren.

Het onderzoek bevestigde de eerste onderzoeksvraag door succesvolle visualisaties van passnetwerken te creëren. Dit is wel enkel mogelijk mits de beschikbaarheid van kwaliteitsvolle data en voldoende technische kennis. De tweede onderzoeksvraag werd ondersteund door inzichten uit interviews met domeinexperts die benadrukten dat passnetwerken waardevolle hulpmiddelen zijn voor het identificeren van sleutelspelers, evalueren van teamstrategieën en het voorbereiden op wedstrijden. De integratie van centraliteitsmetrieken zoals degree centrality en degree prestige in de visualisaties bood verder inzicht in de invloed en rol van individuele spelers. Dit wijst nog eens op de bruikbaarheid van passnetwerken voor strategische beslissingen.

Kritische Beschouwingen

Ondanks de waardevolle inzichten die dit onderzoek biedt, zijn er enkele belangrijke aannames en beperkingen die moeten worden erkend. Een cruciale aanname is dat de data uit de passnetwerken een nauwkeurige weergave bieden van de werkelijke spelersinteracties op het veld. Deze aanname is sterk afhankelijk van de precisie en volledigheid van de eventdata. De visualisaties zijn ook gebaseerd op het basiselftal zonder rekening te houden met wisselspelers, wat de analyse kan beïnvloeden. Een andere aanname is dat de bevindingen uit de interviews met de experts representatief zijn voor bredere strategische inzichten in het voetbal, ondanks dat de meningen subjectief kunnen zijn.

Methodologische beperkingen omvatten de keuze voor specifieke analysetechnieken en aangepaste formules voor de berekening van degree centrality en degree prestige. Voor de berekening van deze centraliteitsmetrieken zijn andere formules gebruikt dan in de literatuur om de grote en complexe dataset van voetbalwedstrijden efficiënter te kunnen analyseren. Deze aangepaste methoden waren minder berekening-intensief en beter geschikt voor de specifieke eigenschappen van de dataset. Daarnaast zijn betweenness centrality en closeness centrality nog niet opgenomen in de gecreëerde visualisaties. Dit kan leiden tot gemiste inzichten in de strategische rol van bepaalde spelers.

Inhoudsopgave

1	Introductie.....	9
2	Literatuurstudie	11
2.1	Datavisualisatie in de Sportwereld	11
2.1.1	Een Overzicht van Datavisualisatie in de Sportwereld	11
2.1.2	Technieken en Toepassingen van Datavisualisaties in de Sportwereld	11
2.2	Datavisualisatie in de Voetbalwereld	13
2.2.1	Een Overzicht van Datavisualisatie in de Voetbalwereld	13
2.2.2	Visualisatietypes in de Voetbalwereld	14
2.3	Analyse van Passnetwerken in Voetbal	21
2.3.1	Een Overzicht van Passnetwerken	21
2.3.2	Definitie en Basisprincipes van Passnetwerken	22
2.3.3	Methoden en Technieken voor het Visualiseren van Passnetwerken	23
2.4	Korte Conclusie van de Literatuurstudie	25
3	Methodologie.....	27
3.1	Onderzoekopzet.....	27
3.2	Dataverzameling	28
3.3	Dataverwerking.....	30
3.4	Creatie van Passnetwerken.....	31
3.5	Toepassing van Centraliteitsmetrieke.....	32
3.5.1	Degree Centrality.....	32
3.5.2	Degree Prestige	33
3.5.3	Betweenness Centrality	33
3.5.4	Closeness Centrality	33
3.6	Interviews met Domeinexperts	34
4	Resultaten	37
4.1	Visualisaties van Passnetwerken.....	37
4.1.1	Real Madrid – Barcelona	37
4.1.2	België - Italië	38
4.1.3	Napoli - Juventus.....	39
4.1.4	Leicester City – Manchester City	40
4.1.5	Inzichten uit de Vergelijking van de Passnetwerken	41
4.1.6	Evaluatie Methodologie	42
4.2	Analyse van de Centraliteitsmetrieke.....	42
4.2.1	Degree Centrality en Degree Prestige van Manchester City.....	42
4.2.2	Degree Centrality en Degree Prestige van Leicester City	43
4.2.3	Inzichten uit de Vergelijking van de Centraliteitsmetrieke.....	43
4.3	Doelen van de Visualisaties	44
4.4	Inzichten van Domeinexperts.....	45
4.4.1	Gebruik van Data en Tools	45
4.4.2	Visualisaties en hun Beperkingen	45

4.4.3	Inzichten uit Passnetwerken	46
4.4.4	Inzichten uit Centraliteitsmetrieken	47
4.4.5	Verbetervoorstellen voor de Visualisaties van Passnetwerken	47
4.4.6	Toekomstige Trends in Data-analyse in de Voetbalwereld	48
4.4.7	Bevindingen uit de Interviews met Domeinexperts	48
5	Discussie	49
6	Conclusie	51
7	Assumpties en Beperkingen	53
7.1	Assumpties	53
7.2	Beperkingen	53
7.3	Invloed op Geldigheid van de Resultaten	54
7.4	Toekomstig Onderzoek	54
8	Bibliografie	55
9	Appendix	59

1 Introductie

Het visualiseren van data is een proces waarbij data en informatie getransformeerd wordt in grafische of visuele representaties. Dit proces speelt een fundamentele rol in data-analyse en is essentieel om complexe data op een heldere en begrijpelijke manier te presenteren. Het stelt gebruikers in staat om inzichten te verkrijgen uit grote datavolumes door het vormen van mentale modellen. De kern van informatievevisualisatie ligt in het proces van het verkennen, begrijpen en analyseren van data via visuele interactie. Het uiteindelijke doel is om gecompliceerde datastructuren inzichtelijk te maken voor een gevarieerd publiek. De transformatie van onbewerkte data naar visuele formaten is cruciaal in diverse vakgebieden, variërend van financiën tot politiek en sport (S. Liu et al., 2014).

Datavisualisatie in sport, een dynamisch en groeiend onderzoeksgebied, draagt significant bij aan het begrijpen en verbeteren van sportprestaties. De visualisatie van sportgegevens biedt nieuwe methoden voor het exploreren en communiceren van complexe data. Geavanceerde technieken, variërend van het visualiseren van statistieken tot interactieve grafieken, helpen zowel professionals als liefhebbers om dieper in te gaan op sportstrategieën en prestaties. Dit alles maakt het mogelijk om patronen te ontdekken, prestaties te analyseren en tactieken te evalueren, wat leidt tot nieuwe inzichten in sport (Perin et al., 2018).

In het bijzonder speelt datavisualisatie in competitieve sporten een cruciale rol. Het analyseren van menselijke gedrags- en bewegingspatronen kan bijdragen tot het verbeteren van sportprestaties en het winnen van wedstrijden. Du en Yuan (2021) benadrukken het belang van het visualiseren van sportgegevens, zowel spatiotemporele (informatie over waar en wanneer acties plaatsvinden) als statistische gegevens (kwantitatieve data over sportprestaties). In hun onderzoek leggen ze de nadruk op de kernactiviteiten van het presenteren, vergelijken en voorspellen van kenmerken. Dit draagt bij aan effectieve besluitvorming tijdens wedstrijden en het verbeteren van trainings- en competitieprestaties. Dit onderstreept nog eens de noodzaak van data-analyse in deze sector (Du & Yuan, 2021).

In voetbal helpt datavisualisatie enorm bij het analyseren en verbeteren van spelprestaties. Met de vooruitgang in technologie kunnen nu gedetailleerde gegevens over spelersbewegingen en tactieken verzameld worden. Deze gegevens, ook wel geospatiale data genoemd, geven informatie over de posities en bewegingen van spelers op het veld. Visualisaties op basis van deze gegevens maken het mogelijk voor analisten om diepgaande analyses uit te voeren. Zo kunnen ze beter begrip krijgen van teamgedrag en strategieën tijdens wedstrijden. Datavisualisatie draagt op deze manier direct bij aan de ontwikkeling van effectievere voetbaltactieken en strategieën (Benito Santos et al., 2018).

In voetbal zijn passnetwerken een belangrijk hulpmiddel om tactieken en strategieën te analyseren. Door gebruik te maken van passgegevens kunnen gewogen en gerichte netwerken geconstrueerd worden waarin knooppunten (nodes) overeenkomen met spelers en pijlen (edges) met passes. Deze netwerken bieden direct visueel inzicht in een teamstrategie, waarbij men speelpatronen kan identificeren, hotspots op het speelveld kan bepalen en potentiële zwakke punten kan lokaliseren. Analisten krijgen dankzij deze netwerken meer inzicht in de interacties tussen teamgenoten. Met verschillende maatstaven van centraliteit kunnen ook de relatieve belangrijkheid van elke speler en

de 'populariteit' van een speler in het spel worden bepaald. Passnetwerken geven teams niet alleen de kans om hun spel te analyseren en te verbeteren, maar ook om zwakke punten te identificeren en aan te pakken (Peña & Touchette, 2012).

Passnetwerken worden al gebruikt in verschillende analyses van wedstrijden. Zo is er bijvoorbeeld het Twitter-account '11tegen11' dat veel gebruik maakt van passnetwerken in hun content. Op deze manier maken ze de verschillende interacties tussen spelers van een bepaalde wedstrijd visueel duidelijk (11tegen11 [@11tegen11], 2024).

Deze thesis wordt geschreven vanwege een interesse voor datavisualisaties, die voortkomt uit de opleiding Handelsingenieur in de Beleidsinformatica enerzijds, en anderzijds vanwege een grote passie voor de sportwereld. De thesis richt zich op het verkennen van de impact van datavisualisatie op voetbalstrategie, met name door de visualisatie van passnetwerken. Het doel is om te achterhalen of het mogelijk is om passnetwerken op een begrijpbare manier te visualiseren. Daarnaast kan deze thesis ook dienen als hulpmiddel voor professionals in de sport door aan te tonen hoe data gebruikt kan worden om besluitvorming en strategieën te verbeteren. Met een beter begrip van datavisualisatie in voetbal worden speltechnieken ontdekt die de dynamiek van het spel kunnen onthullen.

In het kader van deze doelstellingen worden volgende onderzoeksvragen gesteld:

3. Is het mogelijk om passnetwerken op een duidelijke en begrijpbare manier te visualiseren?
4. Op welke manier kunnen voetbaltrainers en analisten gebruik maken van datavisualisaties en in het bijzonder passnetwerken?

Het onderzoek kan van pas komen voor sportanalisten, coaches en spelers die streven naar een beter begrip van de complexe aard van voetbal en de rol die datavisualisatie kan spelen in de verbetering van sportprestaties en strategieontwikkelingen.

2 Literatuurstudie

2.1 Datavisualisatie in de Sportwereld

Deze sectie zal dieper ingaan op de bijdrage die datavisualisatie heeft in de sportwereld. Specifiek zal eerst een algemeen overzicht worden gegeven en daarna worden enkele technieken en toepassingen toegelicht.

2.1.1 Een Overzicht van Datavisualisatie in de Sportwereld

Datavisualisatie is een fundamentele techniek die in de sportwereld wordt gebruikt om complexe datasets, gerelateerd aan een sport, om te zetten in begrijpelijke visuele representaties. Coaches, spelers en analisten kunnen inzicht krijgen in sportprestaties en statistieken door de transformatie van ruwe data naar toegankelijke visualisaties (Afzal et al., 2023). De evolutie van datavisualisatie in sport is sterk verbonden met de technologische vooruitgang binnen de sector. Oorspronkelijk werd er nog niet veel gebruik gemaakt van data in de sportwereld en werden er bijgevolg ook geen visualisaties gemaakt. Indien men wel al gebruik maakte van data, bestonden de visualisaties voornamelijk uit eenvoudige grafieken en diagrammen. Vandaag de dag omvat datavisualisatie in de sportwereld geavanceerde technieken zoals real-time data-analyse en voorspellende modellering, ondersteund door Artificial Intelligence (AI) en Machine Learning (Lin et al., 2023).

De steeds groter wordende, complexe datasets maken het voor gebruikers niet makkelijk om bruikbare analyses uit te voeren en informatie op een begrijpbare manier te visualiseren. Geavanceerde big data-technologie heeft de sportwereld veranderd. De toename van sportgegevens heeft geleid tot nieuwe mogelijkheden en kansen voor big data in de sportwereld (Ranjan et al., 2020).

Om gebruik te kunnen maken van grote, complexe datasets benadrukken Liu, Mahapatra en Mayuri (2023) het belang van interactieve en automatische data-analyse. AI en andere moderne technologieën worden steeds populairder bij het analyseren van video's in de sportwereld (Y. Liu, 2020). Het gebruik van AI in sportvisualisatietechnologieën biedt een robuuste basis voor de ontwikkeling van fitness- en trainingstools, gedreven door AI en big-data analyses. Deze benaderingen verbeteren de nauwkeurigheid van de spelanalyses en kunnen potentieel zelfs het risico op blessures verminderen door grondige monitoring van de sportprestaties (A. Liu et al., 2023).

Naast de opkomst van AI en big-data analyses, heeft ook de integratie van spatiotemporele data-analyse een diepgaande impact gehad, voornamelijk op sporten zoals voetbal en basketbal. Bij deze sporten zijn de positionering en bewegingen van spelers namelijk cruciaal (Gudmundsson & Horton, 2018). Het gebruik van spatiotemporele data heeft geleid tot betere tactische beslissingen en een verbeterde voorbereiding op wedstrijden. Patronen en trends kunnen geïdentificeerd worden die bij traditionele analysemethoden over het hoofd zouden worden gezien.

2.1.2 Technieken en Toepassingen van Datavisualisaties in de Sportwereld

Datavisualisatie in de sport maakt gebruik van een reeks geavanceerde technieken om de prestaties van spelers en teams te analyseren. Afzal et al. (2023) benadrukken de diversiteit van

visualisatietechnieken die beschikbaar zijn voor sportanalisten. Interactieve dashboards zijn visualisaties die centraal staan in de moderne sportanalyse. Het stelt gebruikers in staat om aangepaste weergaven van prestatiegegevens te creëren, variërend van individuele spelersstatistieken tot teambrede tactische opstellingen. Naast dashboards zijn heatmaps ook een krachtige tool voor het visualiseren van activiteit op het speelveld. Deze kaarten tonen gebieden waar acties meestal plaatsvinden. Dit stelt coaches in staat om zones van hoge intensiteit te kunnen identificeren en strategieën hieraan aan te passen. Anderzijds traceren spelertrajecten de bewegingen van spelers over het veld. Dit biedt inzicht in de positionering en bewegingspatronen. Deze techniek is vooral nuttig in sporten zoals voetbal en basketbal, waar positionering en beweging cruciaal zijn voor succes (Afzal et al., 2023).

De opkomst van augmented reality (AR) en virtual reality (VR) biedt ook nieuwe mogelijkheden voor trainingsmethoden van atleten. AR-toepassingen zijn zelfs in staat om real-time feedback te geven tijdens trainingssessies. VR kan worden ingezet voor het simuleren van specifieke wedstrijdsituaties. Hierdoor kunnen spelers oefenen in een gecontroleerde, maar realistische omgeving. Dit zal ervoor zorgen dat ze beter voorbereid zijn en betere prestaties kunnen leveren tijdens echte wedstrijden (Lin et al., 2023).

De voortdurende verbeteringen in sensortechnologie en data-acquisitie kunnen ook een grote impact hebben op de vooruitgang van sportvisualisaties. Wearables, zoals GPS-trackers en bewegingssensoren, leveren real-time gegevens die worden gebruikt om de fysieke en medische toestand van atleten te monitoren. Door de directe gegevens die de sensoren leveren, kunnen bijvoorbeeld trainingssessies meer op maat gemaakt worden. De continue monitoring helpt ook bij het detecteren van potentiële overbelastingblessures. Dit stelt de staf in staat om vroegtijdig in te grijpen en preventieve maatregelen te nemen (Rana & Mittal, 2021).

2.2 Datavisualisatie in de Voetbalwereld

Deze sectie zal dieper ingaan op de invloed van datavisualisatie in de voetbalwereld. Eerst wordt een algemeen overzicht gegeven van datavisualisaties in voetbal. Daarna worden nog enkele specifieke visualisatietypes uitvoerig besproken.

2.2.1 Een Overzicht van Datavisualisatie in de Voetbalwereld

Volgende sectie zal een overzicht geven van de geschiedenis van datavisualisaties in de voetbalwereld en de recentere vooruitgangen die zich de laatste jaren hebben voorgedaan.

2.2.1.1 Geschiedenis van Datavisualisaties in de Voetbalwereld

Voetbal, dat wereldwijd als de meest populaire sport wordt beschouwd, liep qua statistische data achter op sporten zoals basketbal en honkbal. Dit is te wijten aan de unieke aard van voetbal. Door continue actie en weinig scores is het moeilijker om een volledige beoordeling te geven van de prestaties van teams en spelers. Recentelijk, sinds de UEFA Euro 2008, is er echter een trend van toenemende beschikbaarheid van uitgebreide spelgegevens, wat de deur opent voor diepgaandere analyses (Peña & Touchette, 2012).

In de voetbalwereld speelt datavisualisatie dus langzaam maar zeker een steeds belangrijkere rol (Bornn et al., 2018). In de begindagen van voetbalanalyses werden wedstrijden handmatig verwerkt door het gebruik van videobeelden. Analisten identificeerden interessante of beslissende momenten en vatten deze samen in hoogtepuntvideo's. Deze aanpak was zeer tijdrovend en sterk afhankelijk van de geselecteerde scènes. De analyses die hieruit voortkwamen waren bijgevolg subjectief en moeilijk reproduceerbaar (Stein et al., 2016).

Aanvankelijk lag de nadruk steeds op eenvoudige statistieken zoals balbezit en passnauwkeurigheid. Deze analyses waren beperkt omdat ze voornamelijk focusten op de gebeurtenissen rondom de bal, zonder veel aandacht voor de acties van spelers buiten balbezit. Wat spelers doen zonder bal is ook veelzeggend voor hun kwaliteit en bijdrage aan het spel. Dit heeft geleid tot een verschuiving naar meer geavanceerde dataverzameling en analysemethoden. Zo kon men niet alleen kijken naar wat er met de bal gebeurt, maar ook naar posities en bewegingen van spelers over het hele veld (Bornn et al., 2018).

2.2.1.2 Nieuwste Ontwikkelingen van Datavisualisaties in de Voetbalwereld

De recente vooruitgang in gegevensverzameling maakt het mogelijk om grote hoeveelheden gegevens te verzamelen met hoge temporele en ruimtelijke nauwkeurigheid, ook wel spatiotemporele data genoemd (Stein et al., 2016). Deze data wordt vaak nog te weinig gebruikt in de praktijk bij het onderzoeken van voetbalwedstrijden, wat luidt op een onderbenutting van de beschikbare gegevens (Travassos et al., 2013). Aan de hand van spatiotemporele data zijn coaches en analisten in staat om specifieke patronen en gedragingen te identificeren die cruciaal kunnen zijn voor het succes van wedstrijden. Diepgaande analyses van deze data kunnen leiden tot geavanceerde trainingstechnieken en betere sportprestaties (Gudmundsson & Horton, 2018).

Door de evolutie van specifieke technologieën waarmee gegevens met hoge temporele en ruimtelijke nauwkeurigheid verzameld kunnen worden, is de complexiteit van analyseproblemen aanzienlijk verhoogd. Deze ontwikkeling heeft geleid tot een groeiende behoefte aan geavanceerde technologieën zoals GPS-technologie, radiofrequentiesystemen en computer vision systemen. Deze technologieën zijn van cruciaal belang voor het verbeteren van de nauwkeurigheid van prestatieanalyses in verschillende vakgebieden. Ze bieden diepgaande inzichten die bijdragen aan de ontwikkeling van effectievere analysemethoden (Benito Santos et al., 2018).

GPS-technologie bijvoorbeeld, biedt uiterst nauwkeurige gegevens over de positionele locatie van spelers op het veld. Dit is essentieel indien men gedetailleerde analyses wil uitvoeren die betrekking hebben op de bewegingen of posities van spelers (Varley et al., 2012). Radiofrequentiesystemen, anderzijds, maken het mogelijk om bewegingen en posities van spelers te volgen met signalen die worden verzonden en ontvangen via tags die door de spelers worden gedragen. Hierdoor krijgt men een continu overzicht van bewegingen die tijdens wedstrijden en trainingen plaatsvinden (Frencken et al., 2010). Bovendien hebben computer vision systemen een revolutie teweeggebracht in de manier waarop videobeelden worden geanalyseerd. Nu kunnen automatisch posities en bewegingen van spelers gedetecteerd en gevolgd worden, wat een immense vooruitgang betekende in de analyse van wedstrijden (Valter et al., 2006).

2.2.2 Visualisatietypes in de Voetbalwereld

Datavisualisaties in de voetbalwereld kunnen in verschillende vormen voorkomen. Elke visualisatie heeft een eigen rol en doel binnen de context van voetbaldata-analyse. Hier volgt een beschrijving van enkele veelvoorkomend visualisatietypes.

Een van de meest voorkomende visualisatietechnieken in de voetbalwereld is het gebruik van heatmaps. Dit is een visualisatie die wordt gebruikt om de frequentie en locatie van spelersactiviteiten op het veld weer te geven. Heatmaps tonen waar spelers tijdens een wedstrijd het meest actief zijn, wat inzicht geeft in hun bewegingspatronen en tactische rollen. Ze worden gecreëerd uit trackingdata of eventdata, waarbij de eerste continue locatiegegevens biedt en de laatste specifieke spelersacties vastlegt (Garrido et al., 2022). De keuze tussen deze data heeft significante implicaties voor de interpretatie ervan. Dit komt doordat event-gebaseerde heatmaps een discretere weergave bieden die kan afwijken van de werkelijke spelersbewegingen die door trackingdata worden vastgelegd. Dit maakt heatmaps essentieel voor tactische analyses en wedstrijdvoorbereidingen, waarbij nauwkeurigheid in de gekozen schaal en resolutie van cruciaal belang is. Een voorbeeld van een heatmap kan je terugvinden bij afbeelding 1 op het einde van deze sectie. Zoals je gaat leren in de methodologie zal er in deze thesis gebruik gemaakt worden van eventdata. Dit is nodig omdat specifieke gebeurtenissen zoals passes, enkel met eventdata geanalyseerd kunnen worden.

Een meer gevorderde techniek van het visualiseren van heatmaps is het gebruik van kernel density schattingen. Hiermee wordt de concentratie van spelersposities op het veld zichtbaar. Voor deze techniek wordt gebruik gemaakt van trackingdata. 'Kernel density estimation' is een methode om de kansdichtheid van een dataset te schatten door een gladde curve te maken die de verdeling van de

data weergeeft, zonder dat elk datapunt afzonderlijk hoeft te worden bekeken. Deze techniek helpt bij het visualiseren van de meest frequente locaties waar een speler zich tijdens verschillende spelfases bevindt. Het biedt een dieper inzicht in hoe een speler beweegt en positioneert, afhankelijk van of het team de bal bezit of niet (Geppert et al., 2022). Door gebruik te maken van deze methode kunnen coaches en analisten de effectiviteit van specifieke spelers in verschillende zones op het veld evalueren en strategieën aanpassen om de dekking en impact op het spel te optimaliseren. Een voorbeeld van deze visualisatie kan je terugvinden bij afbeelding 2 op het einde van de sectie.

De visualisatie van gemiddelde posities van spelers tijdens verschillende spelfases is essentieel om de formaties en tactische aanpassingen van een team te begrijpen. Door middel van trackingdata kunnen de gemiddelde posities van de spelers tijdens de wedstrijd worden gevisualiseerd. Deze techniek toont waar spelers gemiddeld staan wanneer hun team in balbezit is en wanneer de tegenstander de bal heeft (Geppert et al., 2022). Het helpt bij het identificeren van strategische patronen en hoe teams reageren op verschillende spelsituaties. Deze inzichten zijn cruciaal voor het ontwikkelen van effectieve spelstrategieën en het begrijpen van de dynamiek van teamformaties. Een voorbeeld van deze visualisatie kan je vinden bij afbeelding 3 onderaan deze sectie.

Het analyseren van spelersposities voor en na het scoren van doelpunten kan ook waardevolle inzichten bieden in hoe tactische veranderingen invloed hebben op de prestaties van het team. De spelersposities kunnen gevisualiseerd worden door ze te plotten op een voetbalveld met behulp van trackingdata. Dit visualisatietype onderzoekt de technische verschuivingen en aanpassingen in spelersposities die optreden na een doelpunt (Geppert et al., 2022). Het is bijzonder nuttig voor het analyseren van de impact van doelpunten op het spelgedrag van teams en hoe coaches tactische veranderingen implementeren om het spel te beïnvloeden. Afbeelding 4 toont een voorbeeld van zo'n visualisatie.

Indien men grafische patronen in sportdata wil visualiseren kan men altijd gebruik maken van hexagonale binning. Hierbij wordt het veld opgedeeld in hexagonale cellen en worden de locaties en frequenties getoond waarop teams de bal veroveren. Dit helpt bij het analyseren van de strategische plaatsen op het veld waar teams de bal het meest effectief winnen. Aanvullend kan deze methode worden gebruikt om de gemiddelde passrichtingen en -afstanden na het winnen van de bal te visualiseren (Geppert et al., 2022). Dit biedt dan weer inzichten in de tactische beslissingen na het heroveren van de bal. Dit soort analyses is cruciaal voor het verbeteren van de efficiëntie van overgangsspelen en het optimaliseren van tactische benaderingen. Afbeelding 5 onderaan de sectie is een voorbeeld van deze visualisatie.

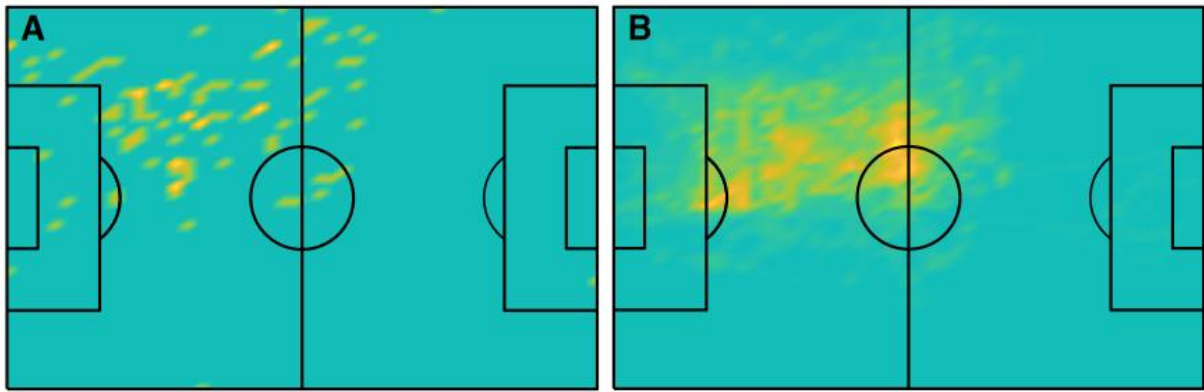
Daarnaast zijn er ook nog passnetwerken die een andere dimensie van analyse bieden door de interacties tussen spelers via passes weer te geven. Deze netwerken visualiseren hoe spelers met elkaar verbonden zijn en welke spelers centraal staan in de tactiek van het team (Pappalardo et al., 2019). Het analyseren van deze netwerken helpt bij het identificeren van sleutelspelers en het begrijpen van teamcohesie. Dit heeft dan uiteraard weer invloed op de besluitvorming voor toekomstige speltactieken en opstellingen. In deze masterproef staat het gebruik van passnetwerken centraal en zal er nog dieper worden ingegaan op deze visualisatietechniek. Afbeelding 6 toont een passnetwerk afkomstig van het Twitter-account '11tegen11'. Dit account creëert passnetwerken om

bepaalde speldynamieken toegankelijker en begrijpelijker te maken voor fans en analisten. Het account biedt een platform voor het delen van kennis over voetbaltactieken en spelersprestaties. Dergelijke content trekt vaak een publiek dat geïnteresseerd is in de meer technische kanten van voetbal (11tegen11 [@11tegen11], 2024).

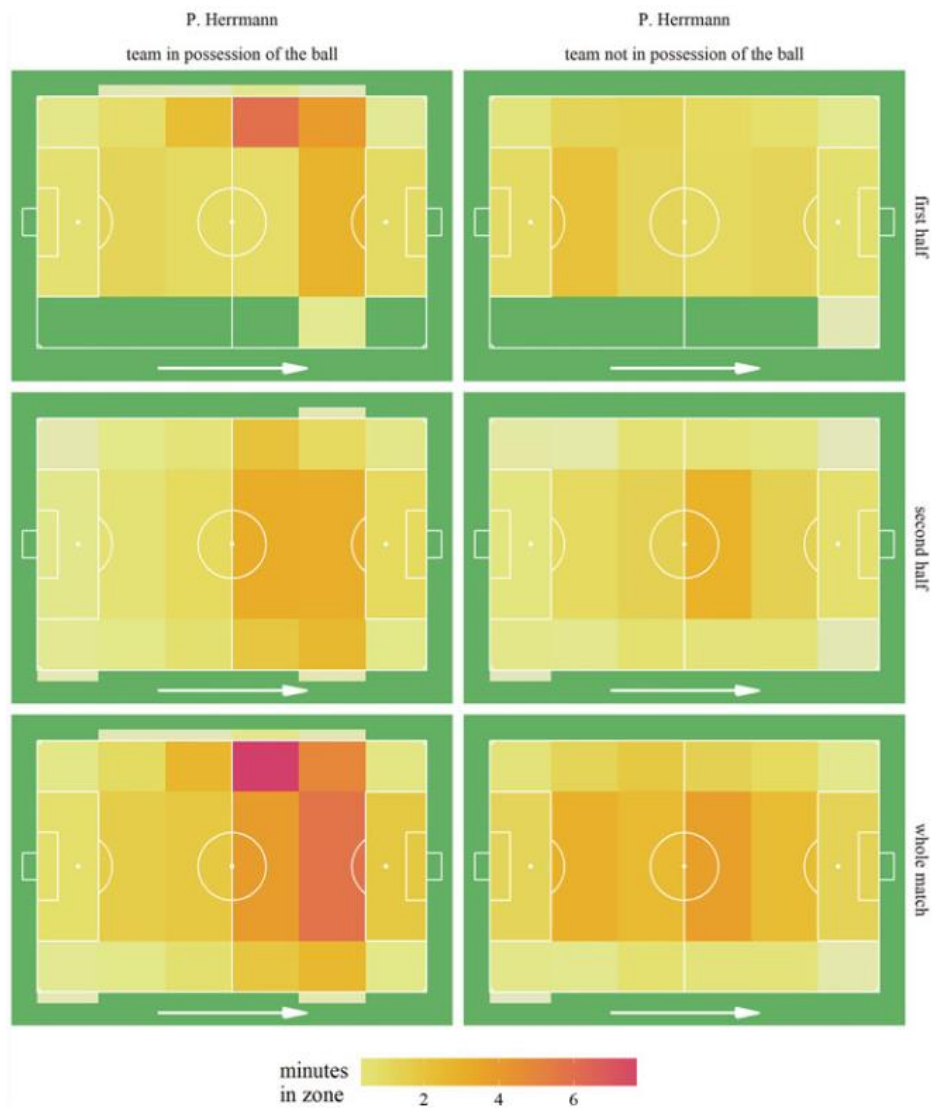
Volgende tabel toont een overzicht van de zojuist besproken visualisaties. Elk type zal eerst kort nog eens beschreven worden, gevolgd door het type data dat gebruikt wordt. Daarnaast worden ook enkele voordelen en nadelen opgesomd.

Visualisatie-type	Beschrijving	Type Data	Voordelen	Nadelen
Heatmaps	Visualiseren de frequentie en locatie van spelersactiviteiten op het veld.	Trackingdata, Eventdata	Helpt bij het identificeren van bewegingspatronen en tactische rollen. Eenvoudig te interpreteren en veel gebruikt.	Event-gebaseerde heatmaps kunnen een discretere weergave bieden die kan afwijken van werkelijke spelersbewegingen.
Kernel Density Schattingen	Gebruikt om de concentratie van spelersposities op het veld zichtbaar te maken door een gladde curve die de verdeling van de data weergeeft.	Trackingdata	Biedt gedetailleerd inzicht in de meest frequente locaties van een speler. Geschikt voor het analyseren van complexe bewegingspatronen.	Vereist gedetailleerde trackingdata die mogelijk niet altijd beschikbaar is. Complexer om te interpreteren.
Gemiddelde Posities	Visualiseert de gemiddelde posities van spelers tijdens verschillende spelfases, zowel in balbezit als zonder bal.	Trackingdata	Helpt bij het begrijpen van formaties en tactische aanpassingen. Eenvoudig te interpreteren.	Mist dynamische veranderingen in posities tijdens snelle spelmomenten.
Posities voor/na Doelpunten	Analyseert technische verschuivingen en aanpassingen in spelersposities voor en na het scoren van doelpunten.	Trackingdata	Biedt waardevolle inzichten in de impact van doelpunten op teamgedrag en tactische aanpassingen.	Vereist gedetailleerde trackingdata.
Hexagonale Binning	Verdeelt het veld in hexagonale cellen om de locaties en frequenties van balveroveringen te tonen.	Trackingdata	Helpt bij het analyseren van strategische plaatsen voor balveroveringen. Visualiseert gemiddelde passrichtingen en -afstanden.	Kan complex en moeilijk te interpreteren zijn zonder de juiste context.
Passnetwerken	Visualiseert de interacties tussen spelers via passes, toont hoe spelers verbonden zijn en wie centraal staat in de tactiek van het team.	Eventdata	Identificeert sleutelspelers en teamcohesie. Zeer gedetailleerd en geschikt voor diepgaande tactische analyses.	Vereist gedetailleerde eventdata die specifiek is voor passes.

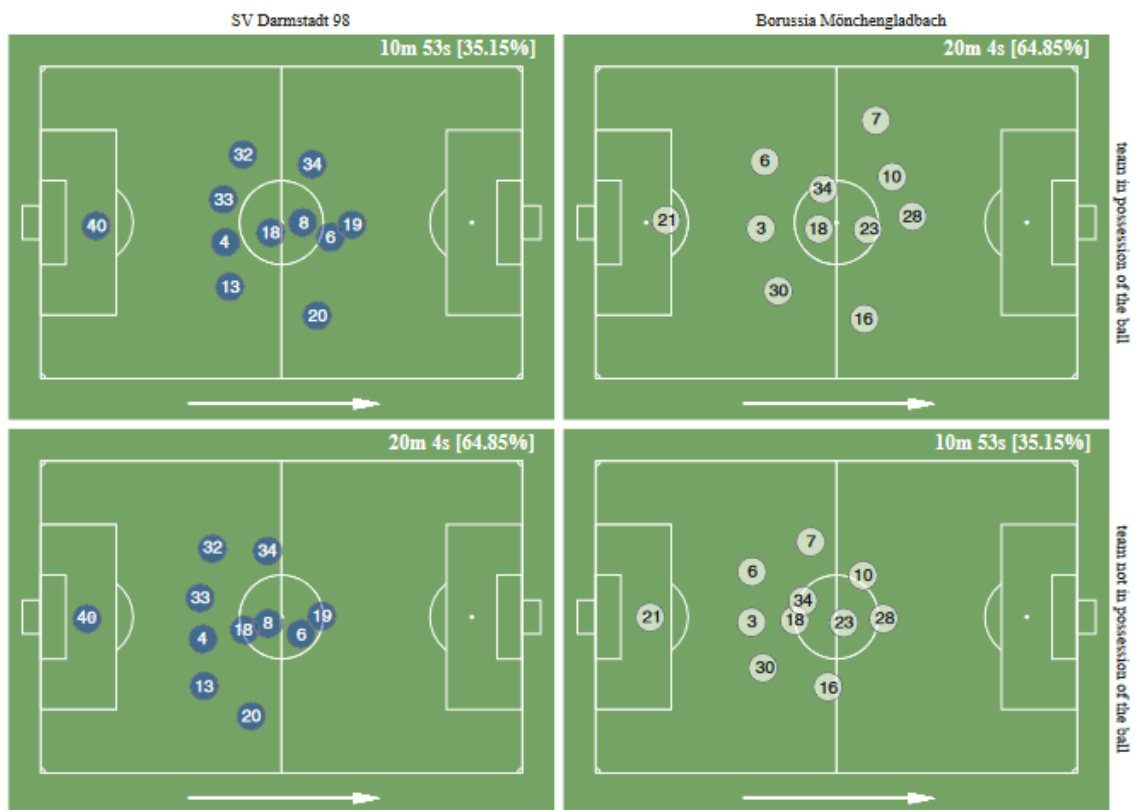
Tabel 1: Overzicht Verschillende Visualisatietypes in de Voetbalwereld



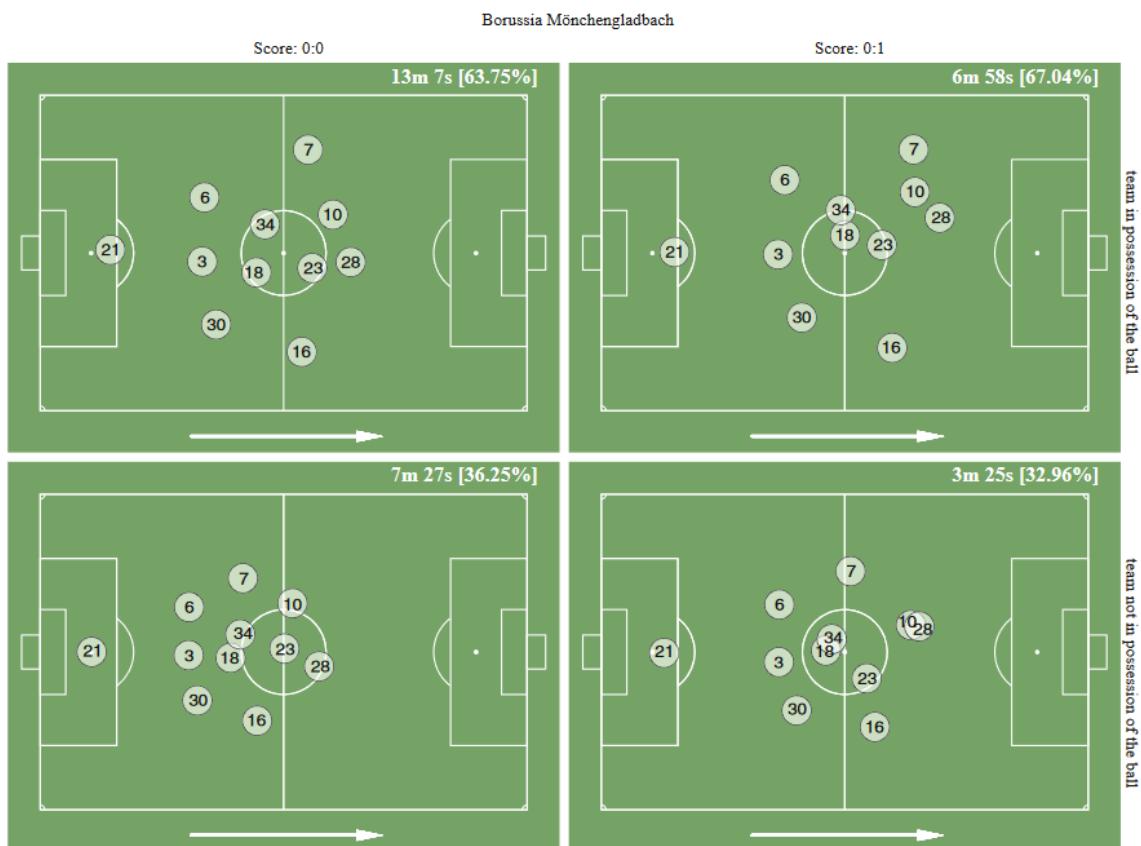
Afbeelding 1: Heatmapvergelijking tussen eventdata en trackingdata: (A) Heatmap gecreëerd op basis van eventdata; (B) Heatmap gecreëerd op basis van trackingdata (Bron: Garrido et al., 2022).



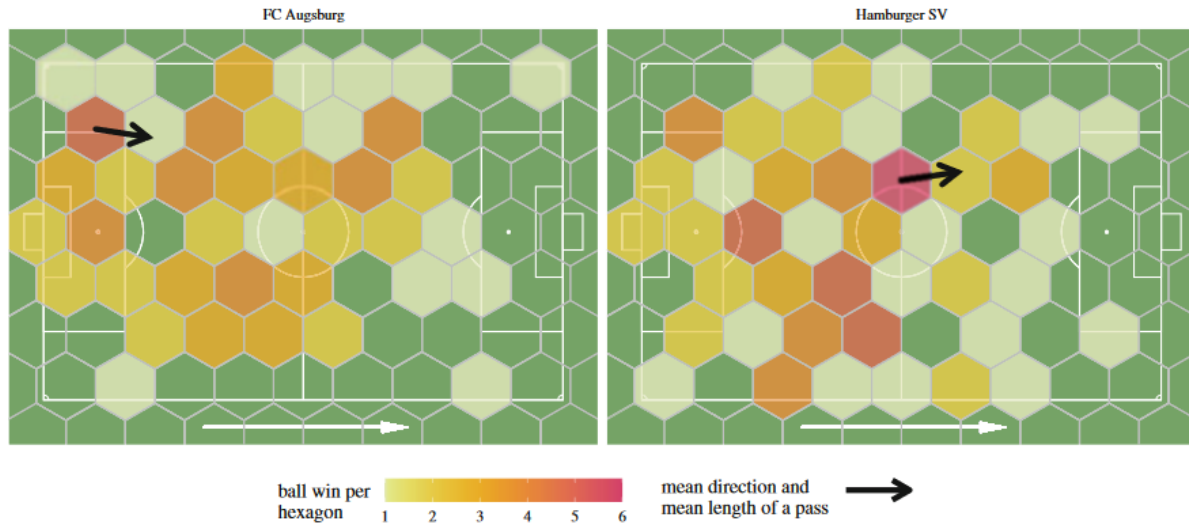
Afbeelding 2: Tijd dat linkermiddenvelder Patrick Herrmann heeft gespendeerd op 18 verschillende zones op het veld (Bron: Geppert et al., 2022).



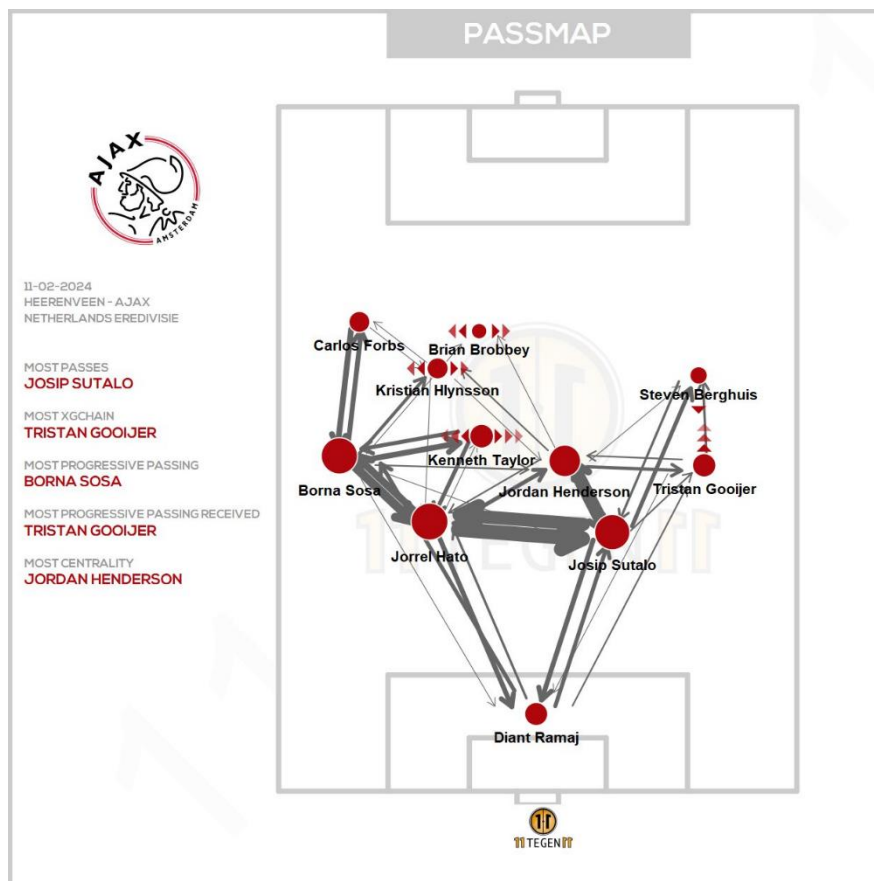
Afbeelding 3: Gemiddelde positie van elke speler van SV Darmstadt 98 en Borussia Mönchengladbach (Bron: Geppert et al., 2022).



Afbeelding 4: Gemiddelde positie van elke speler van Borussia Mönchengladbach voor en na het vallen van een doelpunt (Bron: Geppert et al., 2022).



Afbeelding 5: Het veld bevat 57 zeshoeken die balveroveringen tonen voor FC Augsburg en Hamburger SV. Groen betekent geen balveroveringen. Zwarte pijlen tonen gemiddelde passrichting en -lengte na balverovering (Bron: Geppert et al., 2022).



Afbeelding 6: Passnetwerk van Ajax uit de match tegen Heerenveen op 11 februari 2024 (Bron: 11tegen11 [@11tegen11], 2024).

2.3 Analyse van Passnetwerken in Voetbal

Volgende sectie zal een breder beeld geven van passnetwerken in de voetbalwereld. Allereerst wordt er een algemeen overzicht gegeven van passnetwerken in voetbal. Daarna worden een definitie en wat basisprincipes uitgelegd. Tot slot volgen enkele methoden en technieken om passnetwerken te visualiseren.

2.3.1 Een Overzicht van Passnetwerken

Historisch gezien hebben beroemde voetbalteams altijd een herkenbare speelstijl getoond. Dit is iets wat doorgaans voornamelijk werd herkend door voetbalexperts en niet zozeer beschreven werd aan de hand van spelstatistieken. Maar er is een manier om deze speelstijl bloot te leggen. Aan de hand van een passverdeling van een team kan een gewogen en gericht netwerk opgebouwd worden. Dit netwerk bestaat uit knooppunten (nodes) die spelers vertegenwoordigen en gewogen pijlen (edges) die het aantal succesvolle passes tussen spelers aangeven. Door elk knooppunt te koppelen aan de tactische positionering van het team, is het mogelijk om inzicht te krijgen in de stijl van het team (Peña & Touchette, 2012).

De afgelopen tien jaar heeft Social Network Analysis (SNA) aan populariteit gewonnen als methode voor het analyseren van passnetwerken binnen voetbalteams. Het gebruik van SNA voor het analyseren van passpatronen heeft voordelen ten op zichte van eerder gebruikte statistieken zoals passfrequenties en percentages (Ribeiro et al., 2017). SNA beschrijft namelijk meer het interactieve gedrag van een team in plaats van reductionistische analyses van individuen binnen een team. Hierdoor ontstaat een uitgebreidere en meer gedetailleerde analyse. Het hele netwerk wordt gebruikt om het interactieve gedrag van het team te beschrijven via connectiviteit en cohesiemetingen. Dit geeft een beeld van de wederzijdse passes binnen het team en de verbondenheid van het team door middel van passes (Clemente, Martins, Wong, et al., 2015).

Bij voetbalanalyses kan netwerkanalyse een specifieke en belangrijke bijdrage leveren aan het karakteriseren van speelpatronen en specifieke interacties tussen teamgenoten. Ondanks deze belangrijke en interessante bijdrage zijn er slechts een paar studies gepubliceerd die deze benaderingen gebruiken (Clemente et al., 2016). Een van de eerste studies omtrent netwerkbepredeling in de voetbalwereld werd uitgevoerd om de beste spelers van het Europees Kampioenschap 2008 te identificeren (Duch et al., 2010). In hun studie identificeerden ze de aanvalsacties die leidden tot doelpogingen. Aan de hand van een centraliteitsbenadering was men in staat om de meest invloedrijke speler te identificeren (Duch et al., 2010).

De groei van netwerkanalyse in voetbal is mede mogelijk gemaakt door de snelle ontwikkeling van nieuwe technologieën en de integratie van multidisciplinaire technieken. Dit multidisciplinaire aspect haalt voornamelijk methoden uit sociale wetenschappen en wiskunde aan. Samen vormen deze een krachtige toolkit voor het analyseren van complexe systemen zoals voetbalteams (Mazlan et al., 2023). Zoals eerder al aangehaald kan men tegenwoordig met behulp van geavanceerde dataverzamelingstechnieken, zoals GPS-technologie en computer vision systemen, enorme hoeveelheden spatiotemporele data verzamelen. Deze data kan men dan analyseren met statistische

modellen of grafentheorie. Hierdoor zijn analisten in staat om de dynamiek van voetbal op een meer granulaire manier te begrijpen (Mazlan et al., 2023).

In het verleden concentreerde het meeste netwerkanalyseonderzoek zich op aanvalsgedrag van teams. Vaak maakte men dan gebruik van geaggregeerde data van passing over lange perioden of hele wedstrijden (Malqui et al., 2019). Dit leidde tot een gebrek aan inzicht in de dynamiek die optreedt tijdens specifieke fasen van het spel. Eerder onderzoek miste vaak de subtiele interacties en de invloed van individuele spelers op de prestaties van het team tijdens cruciale momenten van het spel (Clemente et al., 2016).

Recentere studies hebben geprobeerd deze beperkingen aan te pakken door meer nadruk te leggen op gedetailleerde, situationele analyses die gebruikmaken van uitgebreide datasets van individuele spelprestaties en interacties. Deze aanpak stelt onderzoekers in staat om de specifieke bijdragen van spelers aan het teamspel beter te begrijpen. Dit omvat ook de strategische keuzes gemaakt door coaches gedurende een wedstrijd. De nadruk ligt steeds meer op het begrijpen van de activiteiten die vaak over het hoofd gezien worden in traditionele analyses, zoals het belang van tussenpersonen en hoe teams zichzelf organiseren en aanpassen aan de dynamiek van de tegenstander (Mazlan et al., 2023).

Social Network Analysis van teampasses is al gebruikt in een groot aantal verschillende contexten in het voetbal. Dit omvat onder andere uitgebreide analyses van wedstrijden in de Engelse Premier League (EPL) (Grund, 2012), individuele wedstrijd case studies (Yamamoto & Yokoyama, 2011), complete toernooien (Clemente, Martins, Kalamaras, et al., 2015), jeugdteams (Ribeiro et al., 2017), het identificeren van invloedrijke posities binnen teams (Clemente, Martins, Wong, et al., 2015), en passnetwerken die leiden tot doelpunten tijdens internationale toernooien (McLean et al., 2017). Deze studies hebben aangetoond dat succesvolle teams in vergelijking met onsuccesvolle teams een grotere connectiviteit hebben. Dit suggereert dat coöperatieve en gecoördineerde speelstijlen gerelateerd zijn aan betere prestaties (McLean et al., 2018).

Een belangrijke bevinding is dat er geen papers bestaan die specifiek vermelden waarvoor passnetwerken nu juist gebruikt worden en hoe coaches of analisten hier gebruik van maken. De meeste papers gaan over het technische aspect van het creëren van passnetwerken maar gaan nooit dieper in op het gebruik ervan. Dit is iets wat later in deze thesis nog aan bod zal komen door de integratie van de inzichten van verschillende domeinexperts op dit soort datavisualisaties.

2.3.2 Definitie en Basisprincipes van Passnetwerken

Een passnetwerk wordt beschreven als een grafische representatie van de passinteracties tussen spelers binnen een voetbalteam. De knooppunten (of nodes) in zo'n netwerk vertegenwoordigen de spelers, terwijl de verbindingen (of edges) tussen deze knooppunten de passes vertegenwoordigen die tussen spelers worden uitgewisseld. Zoals eerder al aangehaald, is het een benadering die gebruik maakt van grafentheorie en sociale netwerkanalyse. Hierdoor zijn we in staat om diepgaand inzicht te krijgen in hoe spelers samenwerken en hoe de bal binnen het team beweegt (Mazlan et al., 2023).

Voor het effectief opbouwen van deze netwerken is de verzameling en verwerking van uitgebreide post-match data zeer belangrijk. Het beheren van deze grote en complexe datasets is fundamenteel om nauwkeurige analyses en voorspellingen te kunnen maken. Cruciaal hierbij is ook de visualisatie. Door het gebruik van geavanceerde softwaretools zoals Tableau en Social Network Visualizer worden de data niet alleen toegankelijker, maar ook intuïtiever voor coaches en analisten. Deze tools helpen bij het visueel in kaart brengen van speelpatronen en strategieën, wat essentieel is voor het ontwikkelen van tactieken en het optimaliseren van teamperformantie (Mazlan et al., 2023).

Een goed ontworpen passnetwerk toont een adequate connectiviteit waarbij passes efficiënt over het team zijn verdeeld. Dit is een belangrijke eigenschap voor optimale samenwerking en velddekking. De densiteit van het netwerk geeft een indicatie van de mate van connectiviteit. Densiteit kan onthullen hoe intensief de interactie tussen de spelers is, en wijst op een geïntegreerde teamstrategie (McClean et al., 2018). Het identificeren van centrale spelers binnen dit netwerk, die vaak een sleutelrol binnen het team spelen, wordt vergemakkelijkt door centrale metrieken zoals 'degree of centrality'. Deze metriek meet de frequentie waarmee een speler betrokken is bij passes. Het onderstreept de invloed van een speler op de spelstroom, wat cruciaal is voor het begrijpen van de teamdynamiek (Mazlan et al., 2023).

Verder is 'degree prestige' een indicator die benadrukt hoe vaak een speler wordt gekozen als passontvanger door zijn teamgenoten. Dit reflecteert het vertrouwen dat andere spelers hebben in zijn vermogen om de bal veilig te ontvangen. Een hogere 'degree prestige' duidt op een speler die als betrouwbaar en strategisch belangrijk wordt beschouwd binnen het passnetwerk. Dit kan van groot belang zijn in cruciale spelmomenten waarin het behouden van balbezit vitaal is (Mazlan et al., 2023).

De 'betweenness centrality' kan ook een waardevolle maatstaf zijn die aangeeft in welke mate een speler zich bevindt op de kortste paden tussen andere spelers in het netwerk. Een hoge score op deze metriek suggereert dat een speler cruciaal is voor het faciliteren van de baloverdracht binnen het team. Dit is vaak essentieel voor een soepele en efficiënte speluitvoering (Peña & Touchette, 2012).

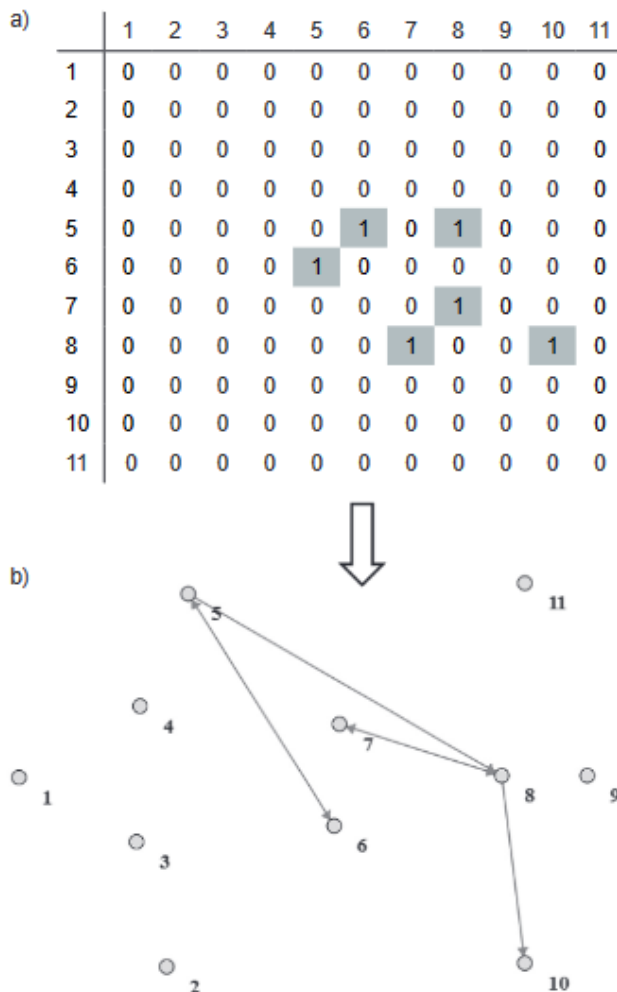
Ten slotte is er nog de 'closeness centrality' die aangeeft hoe dicht een speler bij alle andere spelers in het netwerk staat. Dit betekent dus hoe makkelijk een speler via passes met zijn teamgenoten kan verbinden. Een hogere 'closeness score' impliceert dat de speler snel en efficiënt informatie (passes) door het team kan verspreiden (Gonçalves et al., 2017).

Deze metrieken stellen ons in staat om de impact van spelers te kwantificeren. Ze worden vaak gebruikt in de creatie van passnetwerken en worden later in deze thesis nog uitvoerig besproken. De definities en formules van deze termen zullen nog aan bod komen in de methodologie.

2.3.3 Methoden en Technieken voor het Visualiseren van Passnetwerken

Voor het visualiseren van passnetwerken worden er verschillende methoden en technieken beschreven in de literatuur. In de studie van Clemente et al. (2016) ligt de kern van de visualisatiemethode bij het gebruik van adjacency matrices. Dit zijn matrices die de connecties tussen

de nodes (spelers) binnen het netwerk representeren. Elke matrix toont welke spelers met elkaar in verbinding staan door middel van passes. Een waarde van 1 in de matrix duidt op een directe pass tussen twee spelers, terwijl een waarde van 0 het gebrek aan directe interactie aangeeft. Ze worden opgesteld op basis van passes die vastgelegd zijn in video-highlights van wedstrijden (M. Fauzi et al., 2023). Clemente et al. (2016) hebben matrices gecreëerd voor elk aanvalsspel dat resulteerde in een doelpunt. Op basis hiervan kunnen onderzoekers zien welke spelers cruciaal zijn in de opbouw van succesvolle aanvallen (Clemente et al., 2016). Een voorbeeld van zo'n matrix kan je terugvinden bij afbeelding 7.



Afbeelding 7: a) Adjacency matrix van een aanvallende actie, en b) Netwerk op basis van adjacency matrix (Bron: Clemente et al., 2016).

Voor het effectief visualiseren van de passnetwerken wordt, zoals eerder al aangehaald, gebruik gemaakt van softwareprogramma's zoals Social Network Visualizer. Deze programma's maken het mogelijk om complexe netwerken te analyseren en visueel weer te geven. Ook diverse netwerkmetrieken, zoals 'degree centrality', 'betweenness centrality' en 'degree prestige' kunnen met behulp van deze programma's makkelijk berekend worden (M. Fauzi et al., 2023).

Sommige studies maken ook gebruik van ruimtelijke analyses waarbij het speelveld onderverdeeld wordt in verschillende regio's. Met zo'n benadering kan elke regio strategisch belangrijke informatie bieden over waar en hoe spelactiviteiten plaatsvinden tijdens een wedstrijd. Hierdoor kan men makkelijker vaststellen waar op het veld de meeste interacties plaatsvinden. Een gedetailleerde regionale analyse helpt bij het identificeren van sleutelzones op het veld die tactisch benut kunnen worden (Clemente et al., 2016). Prestaties kunnen daardoor verbeterd worden. Men zou bijvoorbeeld kunnen focussen op regio's die vaak worden gebruikt voor het opzetten van aanvallen of juist de regio's versterken die kwetsbaar blijken te zijn voor aanvallen van tegenstanders.

2.4 Korte Conclusie van de Literatuurstudie

Uit de literatuur over datavisualisatie in de sportwereld blijkt dat geavanceerde visualisatietechnieken een essentiële rol spelen in het interpreteren en verbeteren van sportprestaties. Door gebruik te maken van technologieën zoals AI en machine learning kunnen analisten en coaches grote en complexe datasets omzetten in begrijpelijke en nuttige visuele representaties. Deze vooruitgangen hebben het mogelijk gemaakt om grote, complexe datasets te verwerken en te visualiseren. Dit heeft de sportprestaties en strategische beslissingen aanzienlijk verbeterd. Spatiotemporele data-analyse en real-time visualisaties zijn vooral waardevol gebleken voor het blootleggen van patronen en trends die belangrijk zijn voor het succes van teams.

In de context van voetbal heeft datavisualisatie de manier waarop wedstrijden en spelers worden geanalyseerd, revolutionair veranderd. Historisch gezien waren voetbalanalyses beperkt en vooral subjectief, maar met de opkomst van geavanceerde dataverzamelingsmethoden en -tools is er nu een meer objectieve en gedetailleerde benadering mogelijk. Visualisatietypes zoals heatmaps, kernel density schattingen en passnetwerken kunnen een grote rol spelen in het begrijpen van speelstijlen, spelersposities en teamdynamieken. Deze tools kunnen coaches en analisten gebruiken bij het ontwikkelen van strategieën, het identificeren van sleutelspelers en het voorbereiden op wedstrijden.

Uit de literatuur over passnetwerken kwam naar voren dat deze netwerken een krachtig hulpmiddel zijn voor het analyseren van speelstijlen en teamdynamiek in voetbal. Door de interacties tussen spelers te visualiseren met behulp van technieken zoals Social Network Analysis, kunnen coaches en analisten diepgaande inzichten verkrijgen in de tactische positionering en de effectiviteit van passes binnen een team. Bovendien benadrukt de literatuur dat de identificatie van centrale spelers via centraliteitsmetrieken zeer goed van pas kan komen voor het optimaliseren van strategieën en het verbeteren van teamprestaties.

3 Methodologie

3.1 Onderzoeksopzet

Het onderzoeksopzet van deze thesis richt zich primair op het onderzoeken van de visualisatie van passnetwerken binnen de voetbalwereld. Dit onderzoek streeft ernaar de complexiteit van voetbalstrategieën te ontrafelen en te visualiseren door middel van geavanceerde datavisualisatietechnieken. De keuze om te focussen op passnetwerken vloeit voort uit het erkennen van hun potentieel om diepgaande inzichten in teamdynamieken en spelersinteracties te bieden. Passnetwerken kunnen coaches en analisten helpen om tactische beslissingen te ondersteunen en spelstrategieën te optimaliseren.

Binnen dit onderzoek worden specifieke doelen gesteld. Ten eerste is het de bedoeling om de mogelijkheden van datavisualisatie in het voetbal te verkennen door de ontwikkeling en toepassing van passnetwerken te analyseren. Dit omvat het bestuderen van de methoden voor het verzamelen, verwerken en visualiseren van passgegevens. Daarnaast wordt ook de helderheid en het interpretatiegemak van de gegenereerde visualisaties geëvalueerd. Een belangrijk aspect hierbij is het bepalen van de effectiviteit van verschillende visualisatietechnieken in het duidelijk weergeven van complexe spelpatronen en strategieën.

Ten tweede zal er onderzocht worden hoe voetbalcoaches en analisten gebruik maken van data en datavisualisaties bij hun alledaagse handelingen. Hier wordt dan ook nog dieper ingegaan op de bruikbaarheid van passnetwerken in de praktische voetbalwereld. Het gaat om het begrijpen van de manier waarop deze visualisaties kunnen bijdragen aan de verbetering van training, wedstrijdvoorbereiding en spelanalyse. Dit onderdeel van het onderzoek omvat ook het verzamelen van feedback van domeinexperts door middel van interviews. Zo wordt er een dieper inzicht verkregen in de praktische toepasbaarheid en de waarde van passnetwerken.

De methodologie die in dit onderzoek wordt toegepast, is een combinatie van kwantitatieve data-analyse en kwalitatieve inzichten verkregen uit expertinterviews. Deze benadering stelt ons in staat om niet alleen de technische aspecten van datavisualisatie te evalueren, maar ook de gebruikerservaring en de impact op de besluitvorming in de sport te onderzoeken.

Dit onderzoek levert nieuwe inzichten op in de effectiviteit van datavisualisatie in de sport, vooral in de voetbalwereld. Hiermee wordt de bestaande literatuur verrijkt. Het zal de academische gemeenschap en de voetbalindustrie voorzien van informatie over hoe data-gedreven benaderingen kunnen meewerken aan de ontwikkeling van voetbalstrategieën. Dit onderzoek hoopt een basis te leggen voor toekomstige exploratie van datavisualisatie in de sport. Daarnaast wordt gestreefd naar de uitbreiding van het gebruik van geavanceerde analytische technieken in de dagelijkse praktijk van sportanalyse.

3.2 Dataverzameling

De dataverzameling voor deze thesis is gebaseerd op een uitgebreide en gedetailleerde dataset bezorgd door Wyscout. Dit is een toonaangevend bedrijf in de voetbalindustrie. Zoals eerder al vermeld in de literatuurstudie is er in deze thesis gebruik gemaakt van eventdata. De verzamelde gegevens zijn afkomstig uit de paper van Pappalardo et al. (2019) en omvatten een breed scala aan spatiotemporele events van voetbalwedstrijden. Deze events beschrijven passes, schoten, overtredingen, duels, vrije trappen en buitenspel. Deze werden bijgehouden gedurende een heel seizoen van zeven prominente voetbalcompetities. Dit omvat competities zoals de Spaanse, Italiaanse, Engelse, Duitse en Franse eerste divisies. Naast competities omvat het ook internationale toernooien zoals het Wereldkampioenschap 2018 en het Europees Kampioenschap 2016 (Pappalardo et al., 2019).

De dataset bevat verschillende JSON-bestanden, waaronder competitions, players, matches en events. Elke subset is gebruikt bij het creëren van de visualisaties in deze thesis. Dit betekent dat de gegevens geïntegreerd moesten worden om zinvolle inzichten te verkrijgen.

Uit alle types van events uit de dataset wordt er enkel gebruik gemaakt van de passes. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de subtypes en tags die beschikbaar zijn voor dit type event.

Type	Subtype	Tags
Pass	Cross, Simple pass	Accurate, Not Accurate, Key Pass, Opportunity, Assist, Goal

Tabel 2: Overzicht van het Eventtype 'Pass'

Elke pass die is geregistreerd wordt ook beschreven aan de hand van enkele attributen. Hieronder vind je een overzicht van deze attributen.

Attribuut	Beschrijving
eventID	Het identificatienummer van het evenementstype.
eventName	De naam van het evenementstype (bv. "Pass").
subEventId	Het identificatienummer van het subevenementstype.
subEventName	De naam van het subevenementstype (bv. "Simple pass", "Cross").
tags	Een lijst van eventtags die aanvullende informatie over de pass beschrijven.
eventSec	Het tijdstip van de gebeurtenis (in seconden vanaf het begin van de huidige helft van de wedstrijd).
id	Een unieke identificatie van het evenement.

matchID	Het identificatienummer van de wedstrijd waartoe de pass behoort.
matchPeriod	De periode van de wedstrijd bv. "1H" voor de eerste helft, "2H" voor de tweede helft.
playerID	Het identificatienummer van de speler die de pass uitvoert.
teamID	Het identificatienummer van het team van de speler.
positions	De oorsprong- en bestemmingsposities geassocieerd met de pass. Elke positie is een paar van coördinaten (x,y) die de percentageposities op het veld aangeven.

Tabel 3: Overzicht van de Attributen van het Eventtype 'Pass'

De procedure voor het verzamelen van gegevens wordt uitgevoerd door ervaren videoanalisten. Zij zijn gespecialiseerd in het verzamelen van voetbaldata via een eigen software tool genaamd 'de tagger'. Deze tool is ontwikkeld en voortdurend verbeterd doorheen de jaren en is essentieel om hoge standaarden van prestaties te waarborgen. Alle evenementen tijdens een wedstrijd worden zorgvuldig gelabeld door deze analisten. Elke aanraking van de bal is een afzonderlijk evenement dat wordt geregistreerd met gedetailleerde informatie. Dit omvat onder andere het type, subtype, exacte locatie op het veld, en andere relevante attributen.

De gegevensverzameling begint met het instellen van de teamformaties aan het begin van de wedstrijd. Hier worden de posities van de spelers op het veld en hun rugnummer vastgelegd. Gedurende de wedstrijd tagt de operator elk balcontact als een nieuw evenement op de tijdlijn. Specifieke kenmerken zoals het type actie en de exacte locatie worden toegevoegd. Elk evenement wordt voorzien van aanvullende attributen die variëren afhankelijk van het type evenement (Pappalardo et al., 2019).

Naast de nauwgezette registratie van wedstrijdgegevens omvat de dataverzamelingsprocedure een grondige kwaliteitscontrole. Deze controle bestaat uit automatische en handmatige stappen om de nauwkeurigheid van de verzamelde gegevens te garanderen. Een algoritme wordt gebruikt om de meeste fouten, gemaakt door operators, automatisch te detecteren en te corrigeren. Zo worden bijvoorbeeld overeenkomende evenementen, getagd door verschillende operators, geverifieerd. Daarnaast is er ook een kwaliteitscontroleur. Deze voert een grondige controle uit van elke wedstrijd om eventuele fouten in de ingevoerde gegevens te identificeren en te corrigeren (Pappalardo et al., 2019).

Deze nauwkeurige en systematische benadering van dataverzameling biedt een betrouwbare basis voor verdere analyses binnen deze thesis. Dit maakt diepgaande inzichten in voetbalstrategieën en spelersinteracties mogelijk via de visualisatie van passnetwerken.

3.3 Dataverwerking

Er is uitgebreid aandacht besteed aan de verwerking en transformatie van ruwe voetbalwedstrijdgegevens naar bruikbare informatie. Deze verwerking gebeurde met Python, met specifieke toepassing van de bibliotheken Pandas en NetworkX. Pandas werd gebruikt voor data manipulatie en NetworkX voor het opbouwen en analyseren van netwerken.

De initiële verwerkingsstappen waren gebaseerd op een Jupyter Notebook die voorbeeldcode bevatte, ontleend aan de paper van Pappalardo et al. (2019). Deze code hielp bij het extraheren van gebeurtenissen uit specifieke wedstrijden en het filteren op passevenementen. Vervolgens werd de data gestructureerd om de interacties tussen spelers binnen een team te analyseren.

Voor deze thesis was de basiscode echter niet toereikend om gedetailleerde passnetwerken te visualiseren. Er waren substantiële aanpassingen en toevoegingen nodig. Belangrijke toevoegingen waren onder meer het berekenen van de gemiddelde positie van spelers op basis van hun passevenementen. Deze posities werden omgezet naar een formaat dat geschikt is voor NetworkX. Daarna werden de netwerken opgebouwd waarin spelers als knooppunten fungeren en passes als verbindingen.

Verder werd het netwerk verrijkt met visuele attributen. Spelers werden gelabeld met hun echte namen op de corresponderende posities op een voetbalveld. Deze visualisaties vereisten integratie van positionele data en correcte toewijzing van spelersidentiteiten aan hun locaties op het veld. Met NetworkX zijn diverse netwerkanalyses uitgevoerd. Deze analyses waren van belang om de invloed van individuele spelers binnen het netwerk te identificeren.

De geavanceerde visualisatie- en analysetechnieken tonen het belang van grondige dataverwerking in sportanalyse. Deze methodologieën stellen onderzoekers in staat om diepere inzichten te verkrijgen in de dynamieken van voetbalwedstrijden. Zo wordt er bijgedragen aan zowel theoretisch begrip als praktische toepassingen in sportstrategieën.

De code die gebruikt is voor de visualisaties in deze thesis, evenals de originele code van de paper van Pappalardo et al. (2019), zijn terug te vinden in het Python-bestand dat beschikbaar is via de Google Drive link in de appendix.

3.4 Creatie van Passnetwerken

Het is van belang even stil te staan bij enkele methodologische keuzes die cruciaal zijn voor het begrip en de interpretatie van de gepresenteerde data. Het visualiseren van complexe spelinteracties door middel van passnetwerken vereist een doordachte benadering waarbij elke keuze impact heeft op hoe de informatie wordt begrepen door de lezer. De keuzes beïnvloeden de duidelijkheid, nauwkeurigheid en esthetische kwaliteit van de visualisaties. Daarom zijn ze fundamenteel voor de kwaliteit van het onderzoek.

Een belangrijke beslissing betreft de weergave van de bidirectionaliteit van de edges in de netwerken. Deze is weggelaten om de visualisatie overzichtelijk en interpreteerbaar te houden. Bidirectionele edges zouden de visualisatie te complex maken, waardoor belangrijke patronen minder duidelijk zouden worden.

Bovendien is gekozen voor het visualiseren van de netwerken van tegenstanders op aparte plots. Deze strategische beslissing werd gedreven door de behoefte aan overzichtelijkheid en visuele aantrekkelijkheid. Het gelijktijdig tonen van netwerken van beide teams op één plot zou kunnen leiden tot een overladen en verwarrende weergave. Zo zouden individuele spelersinteracties moeilijker zichtbaar worden. Door elk team zijn eigen visuele ruimte te geven, blijven de strategieën en spelpatronen duidelijk en makkelijk interpreteerbaar voor de lezer.

De gemiddelde positie van elke speler wordt berekend over de gehele wedstrijd, dus inclusief beide speelhelften. Dit zorgt voor een meer accurate en representatieve weergave van de spelersposities en hun interacties op het veld gedurende de hele match. Dit is in contrast met een benadering die slechts één helft zou analyseren. Zo zou er een incompleet beeld gegeven worden van de speldynamiek.

Verder wordt de visualisatie van de passnetwerken geoptimaliseerd door deze weer te geven op een schematische weergave van een voetbalveld. Dit veld is georiënteerd van links naar rechts, waarbij links het eigen doel vertegenwoordigt en rechts het doel van de tegenstander. Deze opstelling volgt de conventionele weergave van voetbalvelden in tactische analyses. Dit maakt het voor de lezer intuïtief en herkenbaar. Deze keuze ondersteunt de leesbaarheid en het begrip van de strategische posities.

Elk passnetwerk bevat diverse elementen die inzicht geven in het spel. Bovenaan elke visualisatie wordt contextuele informatie getoond. De namen van de concurrerende teams, de datum van de wedstrijd, en de uitslag. Dit helpt bij het direct identificeren van de context van de gevisualiseerde data. Bij elk netwerk is een tabel toegevoegd die centrale metrieken voor elke speler individueel weergeeft. Deze metrieken kunnen helpen bij het beoordelen van de invloed en connectiviteit van elke speler binnen een netwerk. De 'Count' onder elke tabel geeft het totaal aantal passes weer dat een team heeft gemaakt tijdens een match. Deze kwantitatieve data biedt een extra laag van analyses. Zo kan men de dynamiek en de speelstijl van het team verder ontleden.

Deze doordachte aanpak in het ontwerp van de passnetwerken biedt waardevolle inzichten in de tactieken en strategieën van voetbalteams. Deze inzichten zijn gebaseerd op concrete data. De

gebruikte methoden sluiten nauw aan bij het hoofddoel van deze thesis. Ze stellen ons in staat om de onderliggende voetbalstrategieën te onthullen door geavanceerde analyse en visualisatietechnieken.

3.5 Toepassing van Centraliteitsmetrieken

Nu zal de toepassing van verschillende centraliteitsmetrieken op passnetwerken uitvoerig besproken worden. Deze metrieken zijn van groot belang voor het analyseren van de structuren en dynamieken binnen teams. Ze kunnen inzicht geven in de rollen en invloeden van individuele spelers binnen de collectieve spelpatronen. De keuze voor de specifieke metrieken wordt ondersteund door hun vermogen om belangrijke aspecten van spelersinteracties en teamstrategieën te onthullen. De centraliteitsmetrieken die gebruikt zijn in deze thesis omvatten: degree centrality, degree prestige, betweenness centrality en closeness centrality. De eerste twee zijn geïntegreerd in de passnetwerk visualisaties, de laatste twee zijn ter illustratie aangehaald bij de interviews. Betweenness- en closeness centrality zijn niet gebruikt in de visualisaties door een gebrek aan tijd. Hieronder volgt een uitleg van elk van de gebruikte metrieken, inclusief hun definities en toepassingen.

3.5.1 Degree Centrality

In de visualisaties is de degree centrality geïntegreerd om een diepgaand inzicht te geven in hoe vaak spelers interacteren binnen het speelveld. Degree centrality wordt gebruikt om te meten hoe actief een speler betrekken is bij het passpel, door zowel de inkomend als uitgaande passes te tellen. Dit biedt een directe indicatie van de speler zijn betrokkenheid bij het spel en zijn belang als schakelpunt in het passnetwerk. Spelers met een hoge degree centrality zijn vaak spilfiguren in het team, waar veel spelsituaties om draaien. De formule voor de degree centrality is als volgt:

$$\text{Degree Centrality}(i) = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N A_{ij}$$

Waarbij A_{ij} de gewogen adjacency matrix is en N het totaal aantal spelers (nodes) in het netwerk (Mazlan et al., 2023).

In tegenstelling tot de traditionele methode waarbij gebruik wordt gemaakt van adjacency matrices, is de degree centrality in deze thesis berekend met behulp van een meer directe methode via de netwerkstructuur gedefinieerd in NetworkX. Dit is omdat het verwerken van een adjacency matrix voor de gebruikte dataset zeer intensief is en veel tijd vraagt. Daarom is er gekozen voor een directe benadering waarbij de som van de gewichten van inkomende en uitgaande edges voor elke speler (node) wordt berekend. Deze som wordt vervolgens gedeeld door het totaal aantal verbindingen in het passnetwerk, om een percentage te geven dat de centraliteit van elke speler in het netwerk representeert.

3.5.2 Degree Prestige

Degree prestige, daarentegen, focust op de mate waarin een speler wordt vertrouwd als ontvanger van passes. Dit meet niet alleen de passontvangsten, maar geeft ook een indicatie van de positie van een speler als betrouwbare eindbestemming in de passequenties van het team. Een hoge degree prestige wijst op een speler die belangrijk is voor het behouden van balbezit en het succesvol afronden van aanvallen. Dit is essentieel voor het opbouwen van effectieve offensieve acties. Degree prestige wordt geformuleerd als volgt:

$$\text{Degree Prestige}(i) = \frac{\sum_{j=1}^N X_{ij}}{N - 1}$$

Hierbij representeert X_{ij} de gewogen matrix van inkomende passes naar speler i (Mazlan et al., 2023).

De toepassing van de degree prestige in deze thesis telt de inkomende gewichten (passes) voor elke speler en relateert dit aan het totale gewicht van alle passes (edges) in het netwerk. Dit biedt waardevol inzicht in de rol die spelers spelen als ontvangers binnen het spelsysteem. De keuze om niet direct gebruik te maken van de formules uit de genoemde papers was bewust. Net als bij de degree centrality zijn er voor de analyse van degree prestige in deze thesis geen adjacency matrices opgesteld. In plaats daarvan werd een directe berekening uitgevoerd via NetworkX. Dit was nodig voor een dynamischere en directere analyse van de netwerkdata, omdat het verwerken van een adjacency matrix voor de gebruikte dataset zeer intensief zou zijn en veel tijd zou vergen.

3.5.3 Betweenness Centrality

Betweenness centrality en closeness centrality zijn ook essentieel in de analyse van passnetwerken. Hoewel ze niet direct in de visualisaties zijn geïntegreerd, worden ze wel uitgebreid besproken tijdens interviews met voetbalexperts. Betweenness centrality onthult welke spelers belangrijk zijn voor het verbinden van verschillende delen van het team. Deze spelers fungeren als een brug waar veel spelpatronen doorheen lopen. Dit kan duiden op spelers die onmisbaar zijn voor het doorbreken van de defensieve linies van de tegenstander of voor het verbinden van de verdediging met de aanval. De betweenness centrality kan als volgt worden geformuleerd:

$$\text{Betweenness Centrality}(i) = \sum_{s \neq i \neq t} \frac{\sigma_{st}(i)}{\sigma_{st}}$$

Waar σ_{st} het aantal kortste paden van speler s naar speler t is, en $\sigma_{st}(i)$ is het aantal van die paden dat door speler i passeert (Gonçalves et al., 2017).

3.5.4 Closeness Centrality

Closeness centrality biedt inzicht in hoe snel en efficiënt informatie (in dit geval passes) door het team verspreidt. Dit wordt gedaan door te meten hoe 'dicht' spelers zijn tot alle anderen in het netwerk. Spelers met een hoge closeness score zijn vaak in staat om snel te reageren en zich aan te

passes aan veranderende spelsituaties. Dit maakt hen onmisbaar in teams die een snelle, dynamische speelstijl hanteren. De formule voor de closeness centrality is als volgt:

$$Closeness\ Centrality(i) = \frac{N - 1}{\sum_{j=1}^N d_{ij}}$$

Hierbij is d_{ij} de afstand tussen spelers i en j binnen het netwerk (Gonçalves et al., 2017).

Tijdens de interviews met de voetbalexperts zijn deze metrieken uitgelegd om inzichten te verzamelen over hoe ze kunnen worden gebruikt om de speelstijl en strategieën binnen jeugd- en professionele teams te begrijpen. De discussies richtten zich op de praktische toepasbaarheid van deze metrieken en de potentiële inzichten die ze kunnen bieden voor coaching en spelanalyse.

De keuze om deze centraliteitsmetrieken te gebruiken binnen de thesis is niet alleen gebaseerd op hun academische relevantie, zie sectie 2.3.2, maar ook op hun potentiële toepasbaarheid in het voetbal. Ze bieden een grondig begrip van individuele en collectieve tactieken. Ook benadrukken ze hoe spelers bijdragen aan de algemene teamdynamiek en prestaties. Dit diepgaande begrip kan helpen bij het formuleren van effectieve strategieën of tactische aanpassingen. Het onderstreept ook het belang van geavanceerde data-analyse in het moderne voetbal.

3.6 Interviews met Domeinexperts

Naast de kwantitatieve analyse van passnetwerken wordt ook gebruik gemaakt van kwalitatieve data. Dit gebeurt door middel van interviews met domeinexperts. Deze domeinexperts waren steeds aangesloten bij een voetbalclub. Ze vervullen rollen zoals physical coach en videoanalist en hebben jarenlange ervaring met clubs op het hoogste niveau in België. De interviews zijn essentieel om de bevindingen uit de data te verrijken met diepgaande inzichten die alleen door ervaring en deskundigheid kunnen worden verkregen. Hieronder wordt de opzet en implementatie van deze interviews beschreven.

De interviews met domeinexperts zijn zowel persoonlijk als online afgenomen, afhankelijk van de beschikbaarheid en voorkeur van de experts. Deze flexibele benadering zorgde ervoor dat inzichten konden verzameld worden vanuit verschillende clubs. Voorafgaand aan elk interview werden de deelnemers geïnformeerd over het doel en de context van het onderzoek. Tevens werd hun expliciete toestemming gevraagd voor het opnemen van de gesprekken. Dit was niet alleen belangrijk voor de ethische kant van het onderzoek, maar stelde mij ook in staat om de gesprekken achteraf nauwkeurig te analyseren en te interpreteren. De opnames van de interviews zijn terug te vinden via de Google Drive link in de appendix van deze thesis.

Elk interview werd gevoerd aan de hand van een reeks vooropgestelde vragen die ook te vinden zijn in de appendix. De vragenlijst hielp om relevante thema's systematisch te behandelen. Deze thema's omvatten 'Gebruik en analyse van data', 'Ervaring met passnetwerken', 'Evaluatie van de visualisaties', en 'Conclusie en toekomstige richtingen'. Enkele diepgaande vragen stimuleerden de

experts om te reflecteren op hun ervaringen. Dit leverde inzichten op over de praktische toepassing van de analytische bevindingen in trainingen en wedstrijden. Door opnieuw te luisteren naar de opnames konden de inzichten worden neergeschreven in de thesis.

De vragen dienden vooral als leidraad tijdens de interviews. Enkele voorbeelden van de vragen die gesteld werden zijn:

1. Wat zijn de primaire doelen bij het analyseren van de verzamelde data van spelers tijdens trainingen en wedstrijden?
2. Heeft u al eens gebruik gemaakt van passnetwerken als een tool in uw analyse? Zo ja, in welke hoedanigheid?
3. Na het bekijken van de visualisatie van het passnetwerk, wat zijn uw eerste gedachten over de duidelijkheid en de informatie die het biedt?
4. Welke toekomstige trends verwacht u in het gebruik van data-analyse in voetbalcoaching?

Tijdens de interviews werden verschillende visualisaties van passnetwerken getoond aan de experts. Elke visualisatie van een voetbalwedstrijd liet duidelijk andere netwerken zien, afhankelijk van factoren zoals de aanvallende of defensieve speelstijl van een ploeg en het aantal gegeven passes. Deze variaties in de passnetwerken hielpen de experts om de dynamieken en strategieën van de teams beter te begrijpen. De specifieke passnetwerken die gebruikt zijn voor deze interviews zijn terug te vinden in de appendix van deze thesis. Bij het afnemen van de interviews is gekozen om over concepten te praten, niet over de specifieke matches. De bedoeling is om de inzichten van de experts persoonlijk te interpreteren en weer te geven in de thesis.

De integratie van kwalitatieve data uit interviews helpt bij het valideren en interpreteren van de kwantitatieve resultaten. Deze aanpak laat ons toe om te begrijpen hoe de bevindingen van passnetwerken en centraliteitsmetriekeken kunnen worden toegepast in voetbalstrategieën. De interviews bieden niet alleen een dieper begrip maar ook praktische aanbevelingen die direct bruikbaar zijn in het voetbal. Door een gecombineerde benadering van kwantitatieve en kwalitatieve resultaten worden de onderzoeksresultaten niet alleen rijker, maar ook direct relevant voor praktische toepassingen in de sport.

4 Resultaten

In deze sectie worden de bevindingen van dit onderzoek naar de visualisatie van passnetwerken en hun bruikbaarheid binnen de voetbalwereld gepresenteerd. De resultaten zijn verdeeld in vier hoofddelen: de gecreëerde visualisaties van passnetwerken worden gepresenteerd, dan volgt een analyse van de centraliteitsmetrieken, daarna worden de doelen van de visualisaties besproken en uiteindelijk komen de inzichten verkregen uit interviews met domeinexperts.

4.1 Visualisaties van Passnetwerken

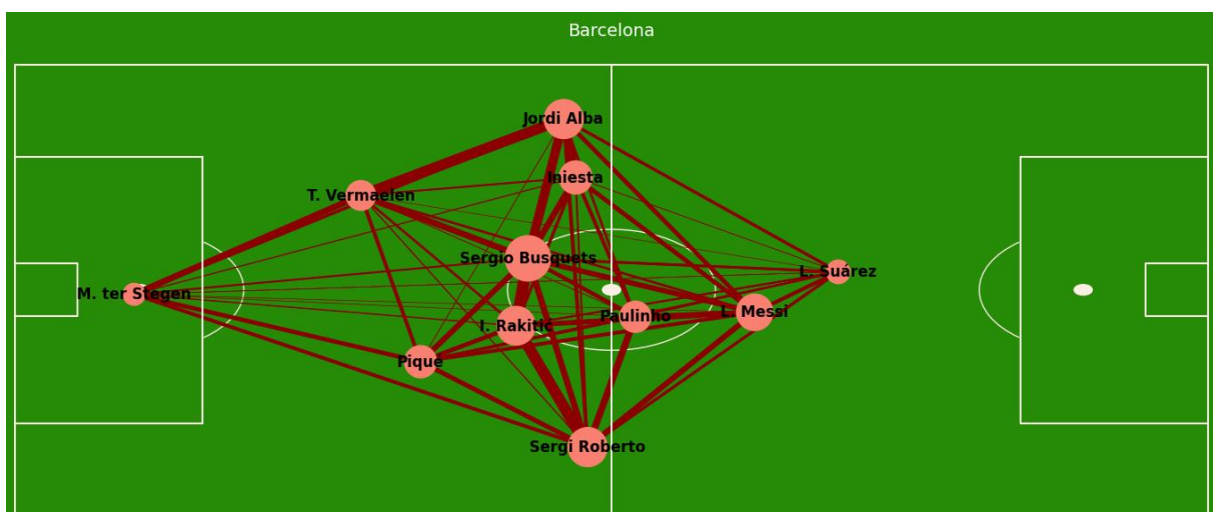
Zoals in de methodologie beschreven, worden de passnetwerken gevisualiseerd met behulp van Python code in een Jupyter Notebook. De onderstaande afbeeldingen zijn voorbeelden van deze visualisaties. Door gebruik te maken van een unieke match-id kunnen de passnetwerken van elke wedstrijd uit de dataset worden weergegeven.

In deze sectie worden de passnetwerken getoond die zijn gebruikt bij de interviews. Voor de analyse en de discussies heb ik specifiek gekozen voor de passnetwerken van vier verschillende wedstrijden, waarbij elk netwerk unieke inzichten biedt. Deze keuze stelt ons in staat om diverse aspecten van het spel en verschillende strategische benaderingen te onderzoeken. In totaal worden acht passnetwerken gepresenteerd, twee per wedstrijd, wat een uitgebreide en gedetailleerde weergave geeft van de variabiliteit en complexiteit van de voetbalstrategieën die in de interviews werden besproken.

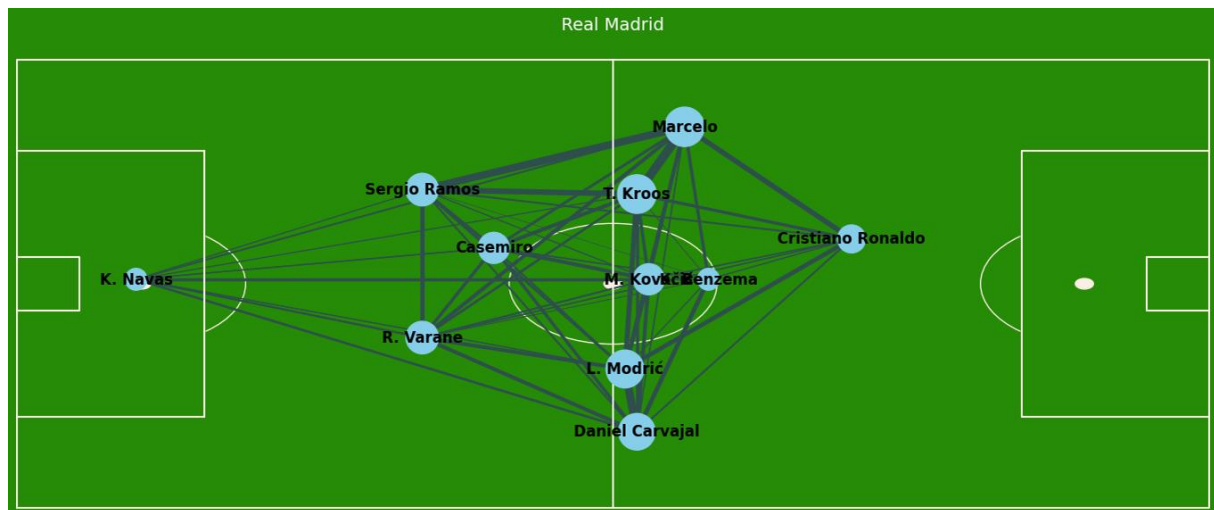
De passnetwerken van vier verschillende voetbalwedstrijden worden geanalyseerd en vergeleken. Deze worden nu uitvoerig besproken in de volgende secties. Unieke inzichten in de speelstijlen en strategieën van teams zullen worden blootgelegd.

4.1.1 Real Madrid – Barcelona

De onderstaande wedstrijd vond plaats op 23 december 2017 tussen Real Madrid en Barcelona, waarbij Barcelona met 0-3 won.



Afbeelding 8: Passnetwerk van Barcelona



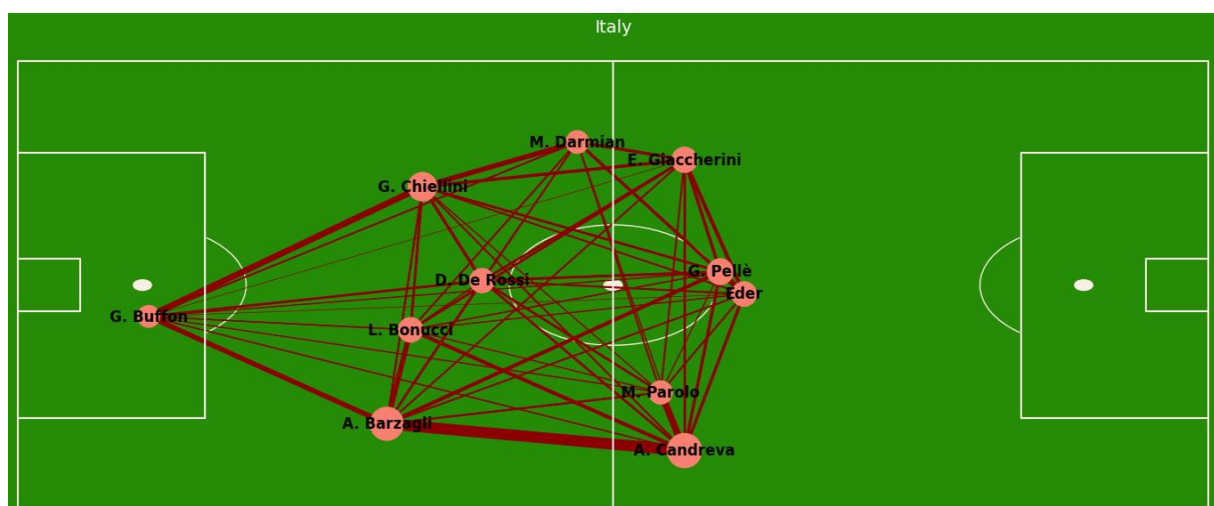
Afbeelding 9: Passnetwerk van Real Madrid

De wedstrijd tussen Real Madrid en Barcelona toont interessante verschillen in hun passnetwerken. Barcelona, dat met 0-3 won, laat een zeer dicht en goed verbonden netwerk zien. Spelers zoals Busquets, Iniesta en Messi zijn centraal in het netwerk, wat hun rol in het gecontroleerde balbezit en de opbouw van aanvallen benadrukt. De vele verbindingen en de dikte van de lijnen wijzen op een intensieve samenwerking en een hoog tempo in het passenspel.

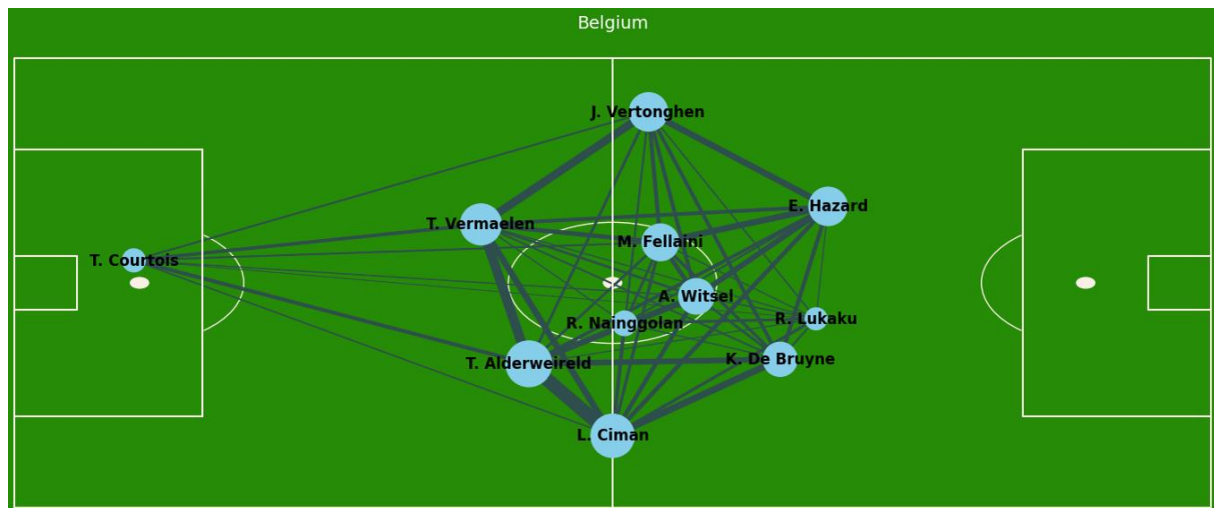
Real Madrid toont een meer verspreid netwerk met minder intense verbindingen. Spelers zoals Kroos en Modric hebben belangrijke rollen, maar de interacties zijn minder frequent en minder centraal dan bij Barcelona. Dit netwerk suggereert een speelstijl die meer afhankelijk is van individuele acties en minder van uitgebreide teaminteracties.

4.1.2 België - Italië

De onderstaande wedstrijd vond plaats op 13 juni 2016 tussen België en Italië op het EK, waarbij Italië met 0-2 won.



Afbeelding 10: Passnetwerk Italië



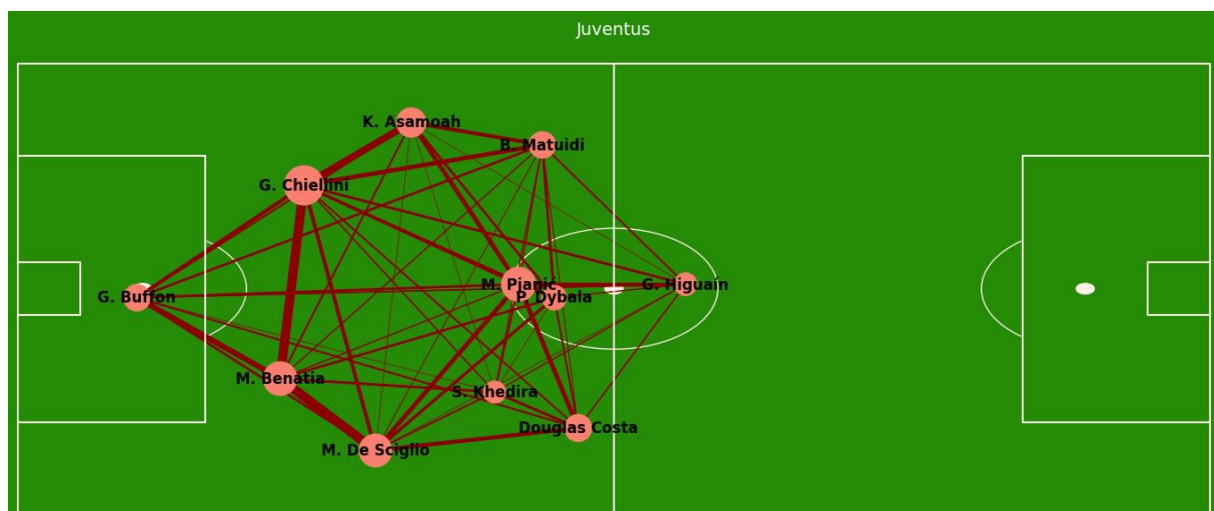
Afbeelding 11: Passnetwerk België

De passnetwerken van België en Italië tijdens hun wedstrijd op het EK 2016 tonen een duidelijk verschil in aanpak en strategie. Italië, dat de wedstrijd met 0-2 won, vertoont een zeer georganiseerde defensieve structuur. Hun netwerk laat zien dat de passes voornamelijk gericht waren op het behouden van balbezit in de achterste linies en het opbouwen van aanvallen vanuit een solide defensieve basis. De centrale rol van spelers zoals De Rossi en Bonucci benadrukt hun strategie om de bal veilig rond te spelen en pas op te bouwen wanneer een duidelijke aanvalsmogelijkheid zich voordeed.

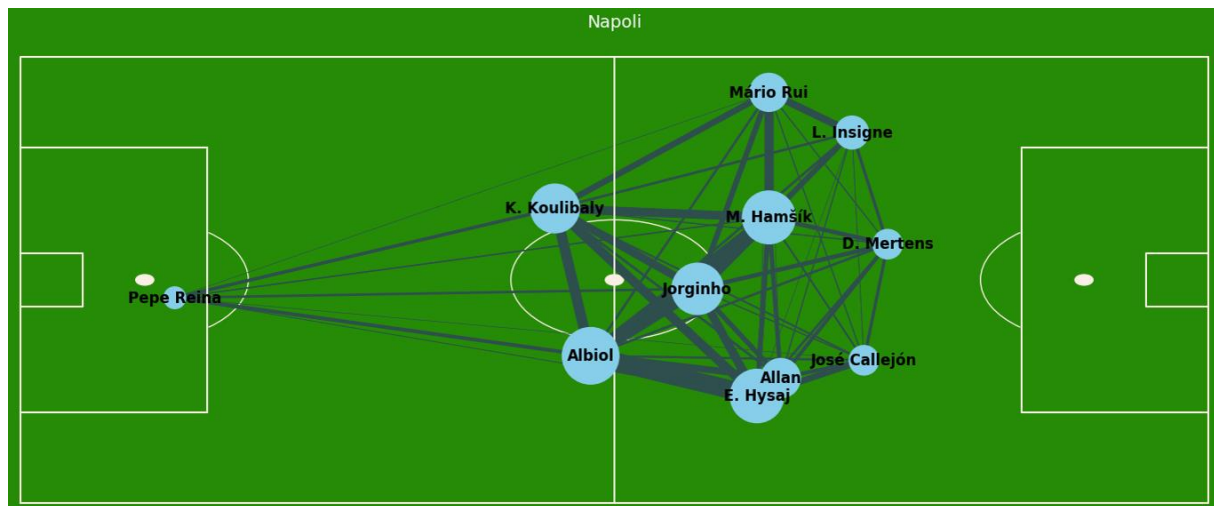
België, daarentegen, laat een meer verspreid passnetwerk zien met een focus op het middenveld. Spelers zoals Witsel en De Bruyne fungeren als centrale schakels, wat wijst op een offensievere benadering. Ondanks deze opzet bleek België niet effectief in het doorbreken van de Italiaanse verdediging, wat te zien is aan de mindere directe connecties in hun netwerk.

4.1.3 Napoli - Juventus

De onderstaande wedstrijd vond plaats op 1 december 2017 tussen Napoli en Juventus, waarbij Juventus met 0-1 won.



Afbeelding 12: Passnetwerk Juventus



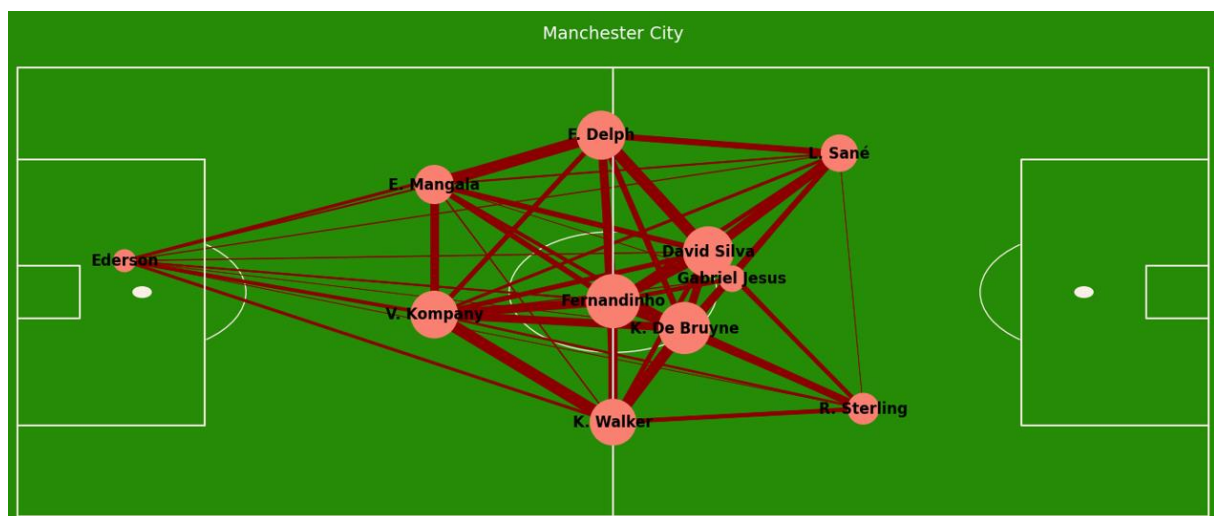
Afbeelding 13: Passnetwerk Napoli

De passnetwerken van Napoli en Juventus laten een opvallend verschil zien in hun benadering van het spel. Juventus, dat de wedstrijd met 0-1 won, toont een zeer defensieve opstelling. Hun netwerk is geconcentreerd rond de verdedigers en middenvelders, met spelers als Bonucci en Chiellini die een sleutelrol spelen in het balbezit. De passes zijn voornamelijk gericht op het behouden van controle en het neutraliseren van de tegenstander.

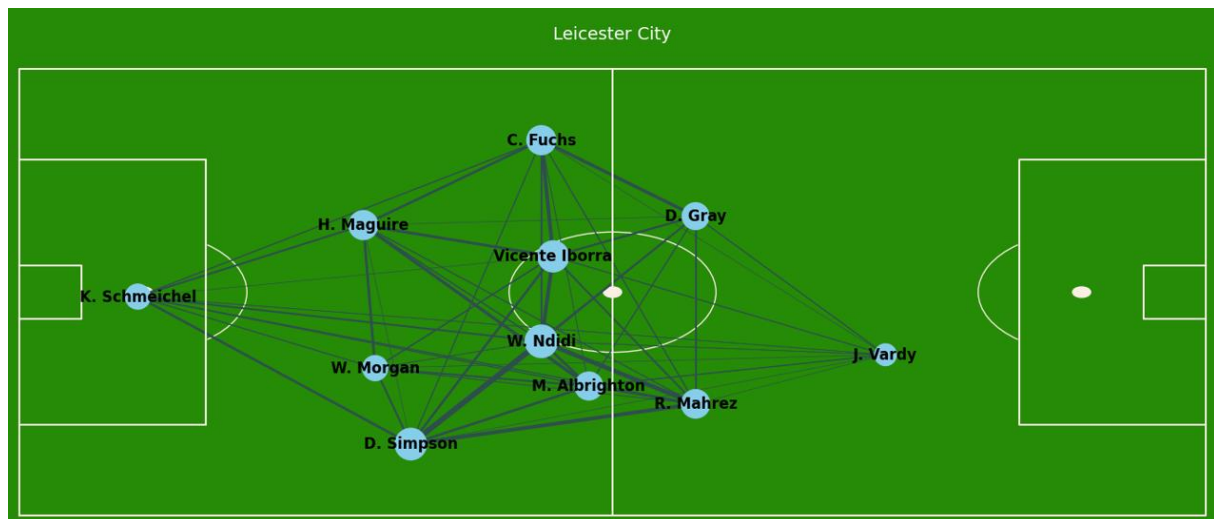
Napoli, daarentegen, toont een veel offensiever netwerk. Hun passes zijn gericht op het middenveld en de aanvalslinie, met spelers zoals Jorginho en Hamsik die centraal staan in het netwerk. Dit wijst op een strategie die gericht is op het domineren van het middenveld en het creëren van kansen door middel van snelle combinaties en aanvallende bewegingen. Het verschil in de hoeveelheid passes tussen beide teams onderstreept Juventus' defensieve stabiliteit en Napoli's aanvallende intenties.

4.1.4 Leicester City – Manchester City

De onderstaande wedstrijd vond plaats op 18 november 2017 tussen Leicester City en Manchester City, waarbij Manchester City met 0-2 won.



Afbeelding 14: Passnetwerk van Manchester City



Afbeelding 15: Passnetwerk van Leicester City

In de wedstrijd tussen Leicester City en Manchester City is er een duidelijk contrast in de passnetwerken van beide teams. Manchester City, bekend om hun balbezit-georiënteerde speelstijl, toont een dicht en complex netwerk met veel passes tussen de middenvelders en aanvallers. Spelers zoals De Bruyne, David Silva en Fernandinho zijn centrale figuren. Dit benadrukt hun rol in het creëren en distribueren van kansen. De hoge betrokkenheid en de dikke verbindingen in het netwerk wijzen op een goed geïntegreerd en samenhangend teamspel.

Aan de andere kant toont Leicester City een minder dicht netwerk met grote afstanden tussen de knooppunten. Dit wijst op een speelstijl die meer gericht is op snelle, directe aanvallen en minder op balbezit. Spelers zoals Vardy en Mahrez zijn belangrijke schakels, maar de interacties zijn minder intens dan bij Manchester City. Dit netwerk reflecteert Leicester's voorkeur voor snelle omschakelingen en counter-aanvallen.

4.1.5 Inzichten uit de Vergelijking van de Passnetwerken

Bij het vergelijken van de passnetwerken van deze wedstrijden komen verschillende inzichten naar voren. Ten eerste wordt duidelijk dat teams met een dicht en complex passnetwerk, zoals Barcelona en Manchester City, vaak balbezit-georiënteerde strategieën gebruiken om controle over het spel te behouden en kansen te creëren. Hun speelstijl is gebaseerd op een hoog tempo en intensieve samenwerking tussen de spelers.

Daarentegen tonen teams zoals Juventus en Leicester City een meer defensieve en directe speelstijl. Hun netwerken zijn minder dicht en tonen grotere afstanden tussen de knooppunten, wat wijst op een strategie die meer afhankelijk is van balbezit en meer gericht is op snelle aanvallen en het neutraliseren van de tegenstander.

Deze verschillen in passnetwerken kunnen waardevolle inzichten bieden voor coaches en analisten. Ze kunnen helpen bij het identificeren van sterke en zwakte punten in de speelstijl van een team en bij het ontwikkelen van gerichte trainingsstrategieën om de prestaties te verbeteren. Door de

netwerken te analyseren, kunnen teams beter voorbereid zijn op hun tegenstanders en hun eigen speelstijl optimaliseren om succesvoller te zijn in wedstrijden.

4.1.6 Evaluatie Methodologie

De methodologie is erin geslaagd om voor alle matches in de dataset visualisaties te creëren. De dataset bestond uit zeven competities en er zijn voor elke competitie 2 willekeurige matches gekozen. Deze werden steeds succesvol gevisualiseerd. Er wordt dus van uitgegaan dat de methode voor alle matches werkt, tenzij er een fout in de data zit.

4.2 Analyse van de Centraliteitsmetrieken

Na de bespreking van de passnetwerken in sectie 4.1, richten we ons nu op de centraliteitsmetrieken van dezelfde netwerken van Manchester City en Leicester City. De centraliteitsmetrieken bieden aanvullende inzichten in de structuur en dynamiek van teams. Ze kunnen ook helpen bij het identificeren van sleutelspelers en hun rollen binnen het netwerk. Op deze manier wordt ook blootgelegd hoe spelers interacteren en welke spelers cruciaal zijn voor het spelverloop.

De onderstaande tabellen worden onder de passnetwerken weergegeven in de gecreëerde visualisaties. Ze geven de degree centrality en degree prestige weer voor beide teams, zoals berekend met de aangepaste methoden beschreven in sectie 3.5.1 en 3.5.2. Deze aangepaste methoden, gebaseerd op Python-code in een Jupyter Notebook, bieden een dynamische en directe benadering voor het analyseren van de netwerkdata.

4.2.1 Degree Centrality en Degree Prestige van Manchester City

Player	Degree Centrality (%)	Degree Prestige (%)
K. Walker	21.26	10.63
V. Kompany	22.13	11.06
David Silva	25.0	12.5
F. Delph	23.28	11.64
R. Sterling	10.63	5.32
K. De Bruyne	26.15	13.07
E. Mangala	15.37	7.76
Ederson	6.32	3.16
Fernandinho	28.16	14.08
Gabriel Jesus	7.9	3.88
L. Sané	14.08	7.04

Tabel 4: Degree Centrality en Degree Prestige van Manchester City

In de tabel van Manchester City zien we dat spelers zoals Fernandinho, David Silva, en Kevin De Bruyne hoge scores behalen op zowel degree centrality als degree prestige. Dit betekent dat zij niet

alleen vaak betrokken zijn bij passes, maar ook vaak als ontvanger van passes worden gekozen door hun teamgenoten. Fernandinho, met een degree centrality van 28,16% en een degree prestige van 14,08%, is een centrale figuur in het netwerk. Dit benadrukt zijn rol als verdedigende middenvelder die de bal distribueert naar andere spelers.

David Silva en Kevin De Bruyne, met respectievelijk degree centrality scores van 25% en 26,15%, en degree prestige scores van 12,5% en 13,07%, zijn cruciale spelers in de opbouw van aanvallen. Hun hoge scores weerspiegelen hun vermogen om als schakelpunten te fungeren binnen het team. Dit doen ze door zowel balbezit te behouden als aanvallen op te zetten.

4.2.2 Degree Centrality en Degree Prestige van Leicester City

Player	Degree Centrality (%)	Degree Prestige (%)
Vicente Iborra	23.76	11.88
W. Morgan	12.87	6.44
H. Maguire	19.8	9.9
J. Vardy	7.92	3.96
C. Fuchs	19.8	9.9
D. Simpson	24.75	12.38
W. Ndidi	26.73	13.37
D. Gray	15.84	7.92
M. Albrighton	17.82	8.91
K. Schmeichel	12.87	6.44
R. Mahrez	18.81	9.41

Tabel 5: Degree Centrality en Degree Prestige van Leicester City

De tabel van Leicester City toont een minder geconcentreerd netwerk. Spelers zoals Vicente Iborra en Wilfred Ndidi hebben relatief hoge degree centrality scores van respectievelijk 23,76% en 26,73%. Dit wijst erop dat zij vaak betrokken zijn bij het passenspel. Ndidi's hoge degree prestige van 13,37% laat zien dat hij een betrouwbare ontvanger is, wat zijn rol als centrale middenvelder onderstreept.

4.2.3 Inzichten uit de Vergelijking van de Centraliteitsmetrieken

Bij het vergelijken van de centraliteitsmetrieken van beide teams valt op dat Manchester City een veel hoger niveau van interactie en connectiviteit heeft. De hoge scores van meerdere spelers wijzen op een goed geïntegreerd netwerk waar veel spelers betrokken zijn bij het passenspel. Dit ondersteunt de eerder besproken observaties uit de passnetwerken waarin Manchester City een bezit-gebaseerde speelstijl laat zien.

Leicester City daarentegen toont een meer gefragmenteerd netwerk. Slechts een paar spelers hebben hoge centraliteitsscores, wat suggereert dat het team meer afhankelijk is van individuele acties en

minder van collectief passenspel. Dit kan wijzen op een speelstijl die gericht is op snelle, directe aanvallen in plaats van het geduldig opbouwen van aanvallen via een uitgebreid passensysteem.

De centraliteitsanalyses bieden diepere inzichten in de tactische benaderingen van beide teams. Voor coaches en analisten kunnen deze inzichten waardevol zijn bij het ontwikkelen van strategieën en het optimaliseren van teamdynamieken. Door te begrijpen welke spelers centraal staan in het passenspel en hoe de bal binnen het team circuleert, kunnen gerichte trainingen worden gegeven en tactieken worden aangepast.

4.3 Doelen van de Visualisaties

In de voorgaande secties van deze thesis is het belang van de visualisaties in de sportwereld, specifiek in voetbal, uitgebreid besproken. We hebben gezien hoe visualisaties zoals heatmaps, spelertrajecten en gemiddelde posities van spelers inzicht kunnen bieden in de dynamiek van het spel. Deze technieken helpen analisten en coaches om prestaties te verbeteren en strategieën te ontwikkelen. Deze sectie introduceert de specifieke doelen van de visualisaties die in deze thesis zijn gecreëerd. Het vormt de brug naar de volgende sectie waarin de inzichten en de perspectieven van domeinexperts worden besproken.

De gecreëerde passnetwerken zijn ontworpen met meerdere doelstellingen voor ogen. Deze doelstellingen zijn gebaseerd op de noodzaak om diepgaande inzichten te verkrijgen in de dynamiek van voetbalwedstrijden en de interacties tussen spelers.

Ten eerste bieden ze inzicht in teamdynamiek en speelstijlen. Door passes tussen spelers te visualiseren, kunnen coaches en analisten de spelstrategie van een team beter begrijpen en vergelijken.

Daarnaast helpen de visualisaties bij het identificeren van sleutelspelers en hun rollen. Met behulp van centraliteitsmetrieken zoals degree centrality kunnen we vaststellen welke spelers cruciaal zijn voor het team en strategische beslissingen nemen over hun posities en taken.

Een ander belangrijk doel is de ondersteuning van coaching en training. De visualisaties bieden coaches hulpmiddelen om specifieke situaties te analyseren en gerichte feedback te geven, wat leidt tot verbeterde teamcohesie en effectiviteit.

Verder dienen de visualisaties om tegenstanders te evalueren. Door passnetwerken van tegenstanders te analyseren, kunnen coaches strategische plannen maken om sterke punten te neutraliseren en zwakke punten uit te buiten, wat helpt bij de voorbereiding op wedstrijden.

Ten slotte dragen de visualisaties bij aan wetenschappelijk onderzoek door nieuwe methoden te ontwikkelen voor het begrijpen van complexe teamsporten zoals voetbal. De methoden en bevindingen kunnen dienen als basis voor toekomstige studies en de ontwikkeling van geavanceerdere analysetechnieken.

Met deze inzichten uit de analyses van de passnetwerken is de volgende stap om de kwalitatieve inzichten te bespreken die verkregen zijn uit interviews met domeinexperts. Deze inzichten zullen helpen om de bevindingen uit de kwantitatieve analyses te toetsen en verder te verdiepen.

4.4 Inzichten van Domeinexperts

In deze sectie worden de inzichten gepresenteerd die voortkomen uit de interviews met twee physical coaches en een videoanalist van verschillende voetbalclubs uit de Belgische hoogste klasse. Deze experts deelden hun ervaringen en meningen over het gebruik van data. Daarbij lag er een bijzondere focus op passnetwerken en centraliteitsmetrieken, en hun impact op voetbalstrategieën en prestaties. De tussentitels in deze sectie zijn gebaseerd op de belangrijkste thema's en onderwerpen die tijdens de interviews aan bod zijn gekomen. In de appendix van deze thesis zijn de audiobestanden van de interviews terug te vinden via een Google Drive link. De interviews zijn afgenomen met Dries Betrands (physical coach), Symon Neutjens (physical coach) en Jan Boden (videoanalist).

De keuze om deze mensen te interviewen komt voort uit de rol die ze vervullen binnen een voetbalclub. Dries en Symon, beide werkzaam als physical coaches, maken intensief gebruik van data in hun dagelijkse taken. Ze hebben ruime ervaring opgebouwd in jeugdopleidingen en beloftenteams van clubs in de hoogste klasse. Jan, daarentegen, is een videoanalist die zich richt op het nemen van data-gedreven beslissingen binnen voetbalteams. Met jarenlange ervaring op het hoogste niveau in België brengt hij waardevolle inzichten in zijn werk.

4.4.1 Gebruik van Data en Tools

Uit de interviews met de physical coaches kwam naar voren dat er veel gebruik wordt gemaakt van GPS-systemen om fysieke data van spelers te verzamelen. Deze data, verzameld via GPS-trackers van Catapult tijdens trainingen en wedstrijden, wordt geanalyseerd met softwaretools zoals Opteamal. Visuele representaties zoals grafieken en tabellen zijn essentieel om de data inzichtelijk te maken voor coaches. Beide coaches benadrukten dat deze visualisaties vooral worden gebruikt voor het vergelijken van individuele spelersprestaties en teamgemiddelden. Dit kan helpen bij het opstellen van trainingsprogramma's en het aanpassen van trainingen om specifieke doelen te bereiken.

Jan Boden gaf aan dat naast GPS-data ook videobeelden uitgebreid worden geanalyseerd. In België heeft de eerste divisie een samenwerking met Stats, een onderverdeling van Opta, die alle eventdata en trackingdata levert. Hoewel de trackingdata geleverd door Stats kan worden gebruikt voor fysieke analyses, wordt dit minder vaak ingezet in vergelijking met de GPS-data die verzameld wordt via Catapult. Tactische data, of eventdata, wordt op de videobeelden gezet om verschillende fasen uit de wedstrijd makkelijk terug te kunnen kijken. Deze data wordt gebruikt om tegenstanders te analyseren, vergelijkbare fases eruit te halen, en doelpunten en assists te ranken. De eventdata wordt opgeslagen in XML-bestanden en geïmporteerd in Hudl Sportscode, een geavanceerde analysetool.

4.4.2 Visualisaties en hun Beperkingen

De physical coaches benadrukten dat de huidige visuele representaties, zoals eenvoudige grafieken en tabellen, beperkt zijn. Symon Neutjens gaf aan dat er een behoefte is aan meer geavanceerde en informatieve visuele weergaven die zowel voor het performance-gedeelte als voor het medische gedeelte van belang zijn. Er is nog veel ruimte voor verbetering in de manier waarop data wordt

gevisualiseerd en gepresenteerd aan coaches en zelfs spelers. Spelers kunnen namelijk veel voordeel halen uit gepresenteerde visualisaties, maar worden momenteel nauwelijks betrokken bij het datagebruik binnen een voetbalclub.

Uit het interview met de videoanalist kwamen ook enkele beperkingen op huidige visualisatietools. Wyscout voorziet bijvoorbeeld enkele visualisaties zoals heatmaps. Deze heatmaps maken geen onderscheid tussen balbezit en balverlies, waardoor de waarde van de visualisatie vermindert. Ook worden er bijvoorbeeld passnetwerken voorzien maar deze zijn gebaseerd op de gemiddelde positie van spelers gedurende een hele wedstrijd. Deze visualisaties kan je niet filteren of zelf manipuleren, ze worden gewoon voorzien in rapporten van Wyscout.

4.4.3 Inzichten uit Passnetwerken

De gecreëerde passnetwerken uit deze thesis werden voorgelegd aan de geïnterviewden. De visualisaties werden door iedereen gezien als waardevolle hulpmiddelen voor het evalueren van de tegenstanders en het begrijpen van teamdynamiek. Door de interactie tussen spelers via passes te visualiseren, krijgen coaches een beter inzicht in de strategische opstellingen en samenwerkingspatronen binnen een team. Coaches kunnen zo zwakke punten in het spel van de tegenstander identificeren en tactische plannen ontwikkelen om deze uit te buiten.

Een belangrijke opmerking die naar voren kwam tijdens het voorstellen van de passnetwerken, was dat het ook nuttig zou zijn om te weten wat voor soort passes de spelers geven. Dit werd aangehaald door beide physical coaches. Een speler die bijvoorbeeld veel passes geeft maar voornamelijk achteruit of zijwaarts, draagt anders bij dan een speler die minder passes geeft maar wel cruciale en risicovolle aanvallen opzet. De physical coaches waren geïnteresseerd in het identificeren van de belangrijkheid en het risico van bepaalde passes, en wie deze risico's neemt. Daarnaast werd benadrukt dat het belangrijk is om te weten waar op het veld de passes plaatsvinden en onder welke omstandigheden. Zo is er bijvoorbeeld een verschil tussen een pass die wordt gegeven onder druk of niet. Symon Neutjens zag veel voordeel in het zien van de locaties van de verschillende spelers en hoe ze zich door de wedstrijd heen bewegen. Dit kan waardevolle inzichten bieden.

Boden benadrukte dat passnetwerken zeer nuttig kunnen zijn voor coaches bij het plannen van trainingssessies en het ontwikkelen van strategieën. Dit komt vooral doordat passnetwerken een ander perspectief op de tegenstander bieden. Netwerken uit eerdere wedstrijden kunnen worden gebruikt om de tegenstander voorafgaand aan een wedstrijd te analyseren. Hij gaf aan dat deze netwerken coaches in staat stellen om tactische beslissingen te nemen door bijvoorbeeld te bepalen welke verdediger aan de bal moet komen, of welke instructies aan de flanken moeten worden gegeven om passlijnen naar binnen of naar buiten af te sluiten. Dit kan helpen bij het finetunen van de verdedigings- en aanvalstactieken. Hij gaf ook aan dat real-time data-analyse mogelijk is, bijvoorbeeld door tijdens de rust het passnetwerk van de eerste helft te tonen. Hieruit kunnen direct al inzichten worden verkregen. Daarnaast kunnen videobeelden worden geïntegreerd om specifieke fases aan de spelers uit te leggen tijdens de rust.

4.4.4 Inzichten uit Centraliteitsmetrieken

Tijdens de interviews werd uitgebreid gesproken over de eerder genoemde centraliteitsmetrieken. Deze werden erkend als waardevol voor het identificeren van sleutelspelers die vaak als schakel fungeren in het passenspel. De physical coaches hadden echter nog nooit gehoord van deze centraliteitsmetrieken en maakten daar binnen hun clubs geen gebruik van. Ze erkenden wel de potentie van deze metrieken voor het opstellen van spelersprofielen. Door Symon Neutjens werden vooral closeness centrality en betweenness centrality gezien als bijzonder nuttig voor het bepalen van de rol van een speler in het team. Een middenvelder zou bijvoorbeeld hoger moeten scoren op deze metrieken dan een spits. Dit zou kunnen helpen bij het bepalen van geschikte posities voor spelers op basis van hun profiel.

Jan Boden kende degree centrality en degree prestige al en beschouwde deze als zeer nuttig omdat ze een beoordeling van elke speler apart mogelijk maken. Hij was nog niet bekend met closeness centrality en betweenness centrality. Hij zag wel ook de waarde van deze metrieken, vooral voor rekrutering en scouting. Coaches zouden hier ook wel iets aan hebben, maar ze zijn vooral interessant voor scoutingdoeleinden.

4.4.5 Verbetervoorstellen voor de Visualisaties van Passnetwerken

Een interessante suggestie die uit de interviews met de physical coaches naar voren kwam, was om passnetwerken op verschillende momenten of fasen in een wedstrijd te plotten. Dit zou kunnen laten zien of teams van systeem of posities wisselen tijdens de wedstrijd. Het opdelen van de wedstrijd in verschillende fasen kan inzicht bieden in de dynamiek en flexibiliteit van een team. Beide physical coaches gaven ook aan dat het nuttig zou zijn om de context van de passes, zoals de locatie en druk op het veld, mee te nemen in de analyse. Daarnaast zouden meer gedetailleerde visualisaties kunnen helpen bij het begrijpen van de risico's en belangrijkheid van verschillende passes. Dries Bertrands haalde ook aan dat een map waarbij wordt gefocust op één speler zijn individuele passes van grote waarde kan zijn. Daarbij wordt er niet gekeken naar het hele team maar wordt er gefilterd op één speler en zo krijgt men meer individuele passingprofielen van een speler. Coaches zijn namelijk ook vaak geïnteresseerd in de individuele prestaties van spelers in plaats van het team als een geheel.

Jan Boden stelde ook specifieke verbeteringen voor de visualisatie van passnetwerken voor. Hij suggereerde om het veld verticaal te draaien, zodat het veld overeenkomt met de visualisaties die trainers vaak gebruiken waarbij links op het veld ook effectief links is in de visualisatie. Hij stelde ook voor om passnetwerken over meerdere wedstrijden heen samen te voegen om zo trends en patronen te ontdekken. Zo kan de tegenstander beter geanalyseerd worden. Daarnaast benadrukte Boden het belang van context bij passes en suggereerde het gebruik van een "packingscore". Dit is een maatstaf ontwikkeld door het Duitse bedrijf Impect*. Boden legt uit: "De packingscore geeft aan hoeveel tegenstanders worden geschakeld met een enkele pass." Dit kan bijvoorbeeld worden toegevoegd aan de visualisatie door meer gewicht te geven aan passes met een hoge packingscore. "Als deze score mee geïntegreerd kan worden in de visualisatie, dat zou wel interessant zijn," vermeldt de video-analist. Ten slotte stelde hij voor om passnetwerken te visualiseren volgens het

* <https://www.impect.com/en/>

gameplan van de coaches. Dit kan door bijvoorbeeld specifieke tactische passes met een andere kleur te markeren. Hierdoor worden passes die vooraf door de coaches zijn gevraagd, als onderdeel van een tactiek, gemarkeerd met een specifieke kleur. Door die tactische passes visueel te onderscheiden, kunnen coaches snel zien of het team volgens de geplande strategie heeft gespeeld.

4.4.6 Toekomstige Trends in Data-analyse in de Voetbalwereld

Een belangrijke trend die door de physical coaches werd genoemd, is de integratie van tactische data met fysieke en technische data. Deze holistische benadering van data-analyse kan leiden tot diepere inzichten en effectievere strategieën. De integratie van verschillende soorten data wordt gezien als cruciaal voor het verkrijgen van een compleet beeld van de spelprestaties en het ontwikkelen van verbeterde spelstrategieën. De experts voorspelden ook een toename in het gebruik van real-time data-analyse tijdens wedstrijden. Symon Neutjens gaf aan dat zowel assistent-coaches als hoofdcoaches baat kunnen hebben bij passnetwerken. Assistent-coaches kunnen deze gebruiken om sleutelspelers van een ploeg te identificeren. Hoofdcoaches kunnen hiermee de algehele teamdynamiek en strategieën analyseren.

Jan Boden verwachtte dat de rol van videoanalyse verder zal groeien, vooral met de opkomst van AI en machine learning. Deze technologieën kunnen helpen bij het automatisch taggen van spelmomenten en het genereren van diepgaande analyses die eerder onmogelijk waren. Bovendien voorspelde hij dat spelers in de toekomst meer betrokken zullen worden bij data-analyse binnen clubs en dat oudere coaches met IT-achterstand hier ook in mee zullen moeten gaan. Boden merkte ook op dat AI zou kunnen helpen bij het maken van beslissingen over spelers en transfers. Dit kan door bijvoorbeeld patronen te herkennen in de ontwikkeling en marktwaaarde van spelers, wat manueel niet mogelijk is.

4.4.7 Bevindingen uit de Interviews met Domeinexperts

Uit de interviews met de domeinexperts blijkt dat datavisualisaties en passnetwerken aanzienlijke waarde bieden voor de analyse en verbetering van voetbalstrategieën en prestaties. De physical coaches benadrukten het belang van geavanceerde visuele representaties en de integratie van diverse data voor een holistische analyse. Centraliteitsmetriecken werden als nuttig aanzien voor het identificeren van sleutelspelers en het verkrijgen van tactische inzichten. De videoanalist benadrukte de waarde van real-time data-analyse en de integratie van video- en datavisualisaties. Deze kwalitatieve inzichten verrijken de kwantitatieve analyses en bieden een robuuste basis voor verdere integratie van data-analyse in de voetbalwereld.

5 Discussie

De resultaten van dit onderzoek tonen aan dat het mogelijk is om passnetwerken op een duidelijk en begrijpbare manier te visualiseren. Deze visualisaties worden ook als nuttig beschouwd door domeinexperts. Deze discussie plaatst de bevindingen in de context van bestaande literatuur en theoretische kaders, en evalueert kritisch de gebruikte methodologieën en hun beperkingen. Bovendien wordt de praktische toepasbaarheid van de resultaten besproken, evenals de implicaties voor toekomstig onderzoek.

De methodologische benadering van deze thesis omvat zowel kwantitatieve analyses van passnetwerken als kwalitatieve inzichten uit interviews. De kwantitatieve analyses hebben aangetoond hoe passnetwerken worden gevisualiseerd en hoe ze bijdragen aan een dieper begrip van teamdynamiek en de rol van individuele spelers. Hiervoor speelt de beschikbaarheid van de juiste data wel een cruciale rol, alsook een voldoende technische kennis voor het creëren van de visualisaties. De passnetwerken hebben de speelstijlen en strategische benaderingen van verschillende teams effectief blootgelegd. Dit wordt onder ander geïllustreerd door de cases van Real Madrid vs. Barcelona en Napoli vs. Juventus. Deze visualisaties laten duidelijk zien hoe teams met verschillende speelstijlen, zoals de balbezit-georiënteerde aanpak van Barcelona en de defensieve strategie van Juventus, hun passes organiseren en uitvoeren. Dit sluit aan bij het werk van Peña en Touchette (2012), die benadrukken hoe passnetwerken speelstijlen kunnen blootleggen door knooppunten (spelers) en verbindingen (passes) in kaart te brengen.

Toch zijn er enkele beperkingen aan de methodologieën die in dit onderzoek zijn gebruikt. De kwantitatieve analyse is sterk afhankelijk van de nauwkeurigheid en volledigheid van de data die door Wyscout is geleverd. Eventuele fouten in de data kunnen de betrouwbaarheid van de resultaten beïnvloeden. Bovendien kan de complexiteit van passnetwerken soms leiden tot interpretatieproblemen, vooral wanneer de visualisaties te dicht of overladen raken. Het gebruik van NetworkX en andere softwaretools heeft de analyse vergemakkelijkt, maar ook hier zijn er beperkingen in de mate van detail en de schaalbaarheid van de analyses. Dit sluit aan bij de bevindingen van Clemente et al. (2016), die wijzen op de uitdagingen bij het visualiseren van complexe netwerken en het belang van duidelijke en interpreteerbare grafieken.

De kwalitatieve inzichten uit de interviews met domeinexperts bieden waardevolle aanvullingen op de kwantitatieve analyses. De experts bevestigen de bruikbaarheid van passnetwerken voor het evalueren van tegenstanders en het begrijpen van teamdynamiek. Hun feedback benadrukte echter ook de behoefte aan meer gedetailleerde informatie. Zoals het soort passes en de omstandigheden waaronder deze werden gegeven. Dit wijst op een belangrijke beperking van de huidige visualisaties: ze tonen niet de context van de passes, wat cruciaal kan zijn voor een volledige tactische analyse. Dit perspectief wordt ondersteund door de literatuur van Du en Yuan (2021), die het belang van spatiotemporele data en contextuele informatie in sportanalyses benadrukken.

De interpretatie van de passnetwerken heeft aangetoond hoe ze bijdragen aan het begrijpen van teamdynamiek en de rol van individuele spelers binnen een wedstrijd. De centraliteitsmetrieken, zoals degree centrality en degree prestige, hebben geholpen bij het identificeren van sleutelspelers

en hun invloed op het spelverloop. In de wedstrijd tussen Manchester City en Leicester City bijvoorbeeld, benadrukten de hoge centraliteitscores van spelers zoals Fernandinho en Kevin De Bruyne hun cruciale rol in de opbouw van aanvallen en het behoud van balbezit. Deze inzichten zijn consistent met bestaande literatuur. Die stelt namelijk dat succesvolle teams vaak hogere niveaus van teamconnectiviteit en samenwerking vertonen (McClean et al., 2018). Bovendien ondersteunt het werk van Grund (2012) en Clemente et al. (2015) de bevindingen dat teams met een grotere connectiviteit en coördinatie doorgaans beter presteren.

De praktische toepasbaarheid van de bevindingen is een ander belangrijk aspect van deze discussie. De passnetwerken en centraliteitsanalyses bieden coaches en analisten concrete hulpmiddelen om de prestaties van hun teams te evalueren en te verbeteren. Door inzicht te krijgen in de interacties tussen spelers en de strategische opstellingen van tegenstanders kunnen ze gerichtere trainingsprogramma's ontwikkelen en beter voorbereid zijn op wedstrijden. De interviews met domeinexperts bevestigen dit, waarbij zij het potentieel van deze visualisaties voor zowel tactische planning als prestatieverbetering onderstreepten. Dit sluit aan bij de bevindingen van Afzal et al. (2023), die de waarde van interactieve dashboards en andere visuele hulpmiddelen voor sportanalyses benadrukken.

Toekomstig onderzoek zou zich kunnen richten op het verder verfijnen van de visualisatietechnieken en het integreren van contextuele informatie over passes. Dit kan bijvoorbeeld door het opnemen van gegevens over de druk op de baldrager, de richting van de passes, en de positie van tegenstanders. Bovendien kunnen longitudinale studies die de ontwikkeling van passnetwerken over meerder seizoenen volgen, waardevolle inzichten bieden in hoe teamstrategieën evolueren en welke factoren bijdragen aan succesvol spel. Het integreren van real-time data-analyse tijdens de wedstrijden kan ook een significante impact hebben op de manier waarop coaches en analisten gebruik maken van passnetwerken. Deze suggesties zijn in lijn met de aanbevelingen van Stein et al. (2016), die pleiten voor de integratie van geavanceerde dataverzamelingstechnieken.

In conclusie, zowel de sterke punten als de beperkingen (die uitgebreider worden beschreven in sectie 7) van de gebruikte methodologieën worden benadrukt. De kwantitatieve en kwalitatieve benaderingen hebben samen bijgedragen aan een robuuste analyse van passnetwerken in voetbal. Ze kwamen met waardevolle implicaties voor zowel theorie als praktijk. Door verder onderzoek en verbetering van de huidige technieken kunnen passnetwerken nog meer bijdragen aan de ontwikkeling van data-gedreven strategieën in voetbal. Dit kan uiteindelijk leiden tot verbeterde teamprestaties en succes in de sport.

6 Conclusie

Het doel van dit onderzoek was om te onderzoeken hoe datavisualisatie, met name door middel van passnetwerken, kan bijdragen aan het begrijpen en verbeteren van voetbalstrategieën. Dit onderzoek richtte zich op twee centrale vragen: (1) Is het mogelijk om passnetwerken op een duidelijke en begrijpbare manier te visualiseren? en (2) Op welke manier kunnen voetbaltrainers en analisten gebruik maken van datavisualisaties en in het bijzonder passnetwerken?

De eerste onderzoeksvraag, die de mogelijkheid van duidelijke en begrijpbare visualisatie van passnetwerken onderzocht, werd positief beantwoord. Hiervoor is wel voldoende technische kennis nodig en dit is afhankelijk van de beschikbaarheid van de juiste data. In deze thesis zijn de visualisaties uitgevoerd in een Jupyter Notebook met behulp van Python. Door het gebruik van geavanceerde softwaretools zoals NetworkX, konden complexe passnetwerken effectief gevisualiseerd worden. Deze visualisaties maakten het mogelijk om de speelstijlen en de strategische benaderingen van verschillende teams te begrijpen en te analyseren. Zo toonde de visualisatie van passnetwerken van Barcelona en Real Madrid aan hoe Barcelona's balbezit-georiënteerde speelstijl zich onderscheidt van de meer verspreide en individuele benadering van Real Madrid. Dit bevestigt de bevindingen van Peña en Touchette (2012), die stelden dat passnetwerken kunnen helpen bij het blootleggen van teamstrategieën door de interacties tussen spelers te visualiseren.

De tweede onderzoeksvraag richtte zich op de praktische bruikbaarheid van passnetwerken voor coaches en analisten. Uit de interviews met domeinexperts bleek dat passnetwerken waardevolle hulpmiddelen zijn voor het evalueren van tegenstanders en het begrijpen van teamdynamiek. Coaches kunnen deze visualisaties gebruiken om zwakke punten in de speelstijl van tegenstanders te identificeren en hun eigen strategieën daarop af te stemmen. Op welke manieren kunnen coaches en analisten nu precies gebruik maken van deze datavisualisaties? De experts benadrukten verschillende toepassingen:

1. **Identificatie van sleutelspelers en hun rollen:** Door het gebruik van centraliteitsmetrieken, zoals degree centrality en betweenness centrality, kunnen coaches en analisten vaststellen welke spelers cruciaal zijn voor het team. Dit helpt bij strategische beslissingen over posities en taken van spelers binnen het team.
2. **Analyse van teamdynamiek en speelstijlen:** Passnetwerken geven inzicht in de wijze waarop spelers met elkaar interageren en hoe de bal door het team beweegt. Dit stelt coaches in staat om de spelstrategie van hun eigen team te evalueren en te vergelijken met die van tegenstanders. Bijvoorbeeld, een team met een dicht en complex netwerk zoals Barcelona kan worden geanalyseerd voor hun balbezit-georiënteerde speelstijl.
3. **Voorbereiding op wedstrijden:** Door de passnetwerken van tegenstanders te bestuderen, kunnen coaches strategische plannen maken om sterke punten van de tegenstander te neutraliseren en zwakke punten uit te buiten.
4. **Ondersteuning van coaching en training:** Visuele representaties zoals passnetwerken helpen coaches om specifieke situaties te analyseren en gerichte feedback te geven aan spelers. Dit leidt tot verbeterde teamcohesie en effectiviteit. Coaches gebruiken deze analyses om trainingsprogramma's aan te passen en specifieke doelen te bereiken.

De experts benadrukten echter ook de behoefte aan meer gedetailleerde informatie, zoals het soort passes en de omstandigheden waaronder ze werden gegeven. Dit geeft aan dat hoewel passnetwerken nuttige inzichten bieden, ze moeten worden uitgebreid met contextuele informatie om een volledig tactisch beeld te geven, zoals gesuggereerd door Du en Yuan (2021).

De bijdrage van dit onderzoek aan de academische literatuur ligt in de combinatie van kwantitatieve en kwalitatieve methoden om voetbalstrategieën te analyseren. De kwantitatieve analyses van passnetwerken, ondersteund door de kwalitatieve inzichten uit interviews, bieden een robuuste benadering om teamdynamiek en spelersinteracties te begrijpen. Deze aanpak sluit aan bij het werk van Clemente et al. (2016). Die benadrukken hoe belangrijk het is om duidelijke en interpreteerbare grafieken te gebruiken bij de visualisatie van complexe data.

Praktisch gezien kunnen de bevindingen van dit onderzoek coaches en analisten helpen bij het ontwikkelen van data-gedreven strategieën en inzichten. De passnetwerken bieden een visueel hulpmiddel om de interacties tussen spelers te analyseren en strategische beslissingen te nemen op basis van concrete data-analyse. De experts gaven aan dat deze visualisaties kunnen bijdragen aan het verbeteren van de teamcohesie en het voorbereiden op wedstrijden door inzicht te geven in de speelstijl en strategieën van tegenstanders.

Toekomstig onderzoek zou zich kunnen richten op het verder verfijnen van de visualisatietechnieken en het integreren van meer contextuele informatie in de passnetwerken. Dit kan bijvoorbeeld door gegevens over de druk op de baldrager, de richting van de passes en de positie van tegenstanders op te nemen. Bovendien kan real-time data-analyse tijdens wedstrijden de praktische toepasbaarheid van passnetwerken verder vergroten. Longitudinale studies die de ontwikkeling van passnetwerken over meerder seizoenen volgen, kunnen waardevolle inzichten bieden in hoe teamstrategieën evolueren en welke factoren bijdragen aan succesvol spel.

In conclusie heeft dit onderzoek aangetoond dat datavisualisatie, specifiek door middel van passnetwerken, een krachtig hulpmiddel is voor het begrijpen en verbeteren van voetbalstrategieën. De bevindingen dragen bij aan zowel de academische literatuur als de praktische toepassing in de sport. Door de methoden verder te verfijnen en nieuwe datasets te verkennen, kunnen toekomstige studies de impact van data-gedreven inzichten in voetbalstrategie verder vergroten. De positieve reacties van de domeinexperts en de kwantitatieve analyses benadrukken het potentieel van deze benadering om de dynamiek van het spel te onthullen en bij te dragen aan het succes van teams op het hoogste niveau.

7 Assumpties en Beperkingen

In deze sectie staat een gedetailleerde bespreking van de aannames die zijn gemaakt tijdens het onderzoeksproces en de beperkingen die inherent zijn aan de methoden en data die gebruikt zijn. Deze analyse is van belang om de reikwijdte en geldigheid van de onderzoeksresultaten te begrijpen.

7.1 Assumpties

Een van de belangrijkste aannames in dit onderzoek is dat de data uit de passnetwerken accuraat reflecteren hoe spelers interacties uitvoeren op het veld. Deze aanname is sterk afhankelijk van de nauwkeurigheid en volledigheid van de eventdata die gebruikt zijn. De passnetwerken zijn gebaseerd op gegevens die zijn verzameld door gespecialiseerde videoanalisten en software. Er wordt aangenomen dat de data een betrouwbare representatie biedt van de werkelijke spelsituaties.

Daarnaast wordt aangenomen dat de bevindingen uit de interviews met experts generaliseerbaar zijn voor bredere strategische inzichten in voetbal. Hoewel de meningen van de geïnterviewde experts subjectief kunnen zijn, wordt verondersteld dat hun jarenlange ervaring en diepgaande kennis een waardevolle bijdrage leveren aan het begrip van voetbalstrategieën en -analyses.

7.2 Beperkingen

Dan zijn er ook nog enkele beperkingen. Een belangrijke methodologische beperking is de keuze van de gebruikte analysetechnieken en de interpretatie van complexe netwerkgegevens. Zoals eerder al vermeld in de methodologie, zijn er in dit onderzoek andere formules gebruikt voor de berekening van de degree centrality en degree prestige dan die in de literatuur worden vermeld. Deze keuze is gemaakt vanwege de specifieke eigenschappen en vereisten van de dataset die in dit onderzoek werd gebruikt. De oorspronkelijke methoden maakten gebruik van adjacency matrices, zoals beschreven in de literatuur. Daardoor waren ze intensief in termen van berekeningen en niet optimaal voor de grote en complexe dataset van voetbalwedstrijden die werd geanalyseerd. De aangepaste formules maakten het mogelijk om meer direct en efficiënt de centraliteit van spelers binnen het netwerk te berekenen zonder overmatige computertijd en -middelen te verbruiken.

Daarnaast is er voor gekozen om enkel degree centrality en degree prestige op te nemen in de visualisaties en niet betweenness centrality en closeness centrality. Hoewel deze laatste twee metrieken, zoals besproken in de methodologie, ook zeer nuttig kunnen zijn voor de analyse van passnetwerken, zijn ze door een gebrek aan tijd niet opgenomen in de visualisaties. Betweenness centrality kan van pas komen om spelers te identificeren die cruciaal zijn voor het verbinden van teamgenoten en het faciliteren van aanvallen. Closeness centrality kan dan weer nuttig zijn omdat het aangeeft welke spelers het snelst kunnen communiceren met anderen via passes.

Er is ook niet gesorteerd op basis van degree centrality of prestige in de visualisaties. Deze keuze is gemaakt om bias te voorkomen. Als spelers zouden worden gesorteerd op basis van hun centraliteitswaarde, zou dit een vertekend beeld kunnen geven van hun daadwerkelijke spelbetrokkenheid en -invloed. Spelers met hogere centraliteitswaarden zouden visueel prominenter worden weergegeven, wat mogelijk andere belangrijke spelers met lagere centraliteitswaarden maar wel cruciale tactische rollen, zou overschaduwen. Het doel was om een objectieve weergave van de

teamstructuur en interacties te bieden zonder vooraf aannames over de belangrijkheid van bepaalde spelers te maken.

Er zijn ook enkele beperkingen die voortkomen uit de gebruikte datasets. De mogelijkheid bestaat dat de verzamelde data onvolledig is, wat kan leiden tot een vertekend beeld van de werkelijke speldynamiek. Bovendien zijn de data afkomstig van publiek beschikbare bronnen. Dit zou dus kunnen resulteren in een gebrek aan detail en precisie in de analyses.

Bij de visualisaties van de passnetwerken is ook geen rekening gehouden met wissels die zijn doorgevoerd tijdens de wedstrijd. Het netwerk wordt enkel gevisualiseerd met het basiselftal, wat betekent dat de dynamiek en impact van wisselers niet worden meegenomen in de analyses. Dit kan leiden tot een vertekend beeld van de werkelijke teaminteracties gedurende de hele wedstrijd.

7.3 Invloed op Geldigheid van de Resultaten

De bovenstaande assumpties en beperkingen hebben een significante invloed op de geldigheid van de onderzoeksresultaten. De nauwkeurigheid van de passnetwerken en de betrouwbaarheid van de expertbeoordelingen bepalen in grote mate de sterkte van de conclusies. Methodologische keuzes, zoals het selectief opnemen van bepaalde centraliteitsmetrieken, kunnen de interpretatie van de data beïnvloeden en daarmee de toepasbaarheid van de resultaten in de praktijk beperken. Het niet opnemen van betweenness centrality en closeness centrality kan leiden tot gemiste inzichten in de strategische rol van spelers die cruciale verbindingen maken binnen het team. Het niet sorteren op degree centrality of prestige voorkomt bias, maar kan ook betekenen dat de belangrijkste spelers niet altijd direct worden herkend in de visualisaties.

7.4 Toekomstig Onderzoek

Om deze beperkingen te adresseren, kan toekomstig onderzoek zich richten op het ontwikkelen van geavanceerde data-analysemethoden en het gebruik van uitgebreidere datasets. Het implementeren van betweenness centrality en closeness centrality in toekomstige visualisaties kan een vollediger beeld geven van de teamdynamiek. Daarnaast kan het opzetten van longitudinale studies, die de dynamieken over langere perioden volgen, bijdragen aan een diepgaander begrip van de speldynamiek in voetbal. Ook het combineren van meerdere databronnen kan helpen om een completer en nauwkeuriger beeld te krijgen van de spelprestaties en -strategieën.

Deze sectie benadrukt het belang van transparantie over de aannames en beperkingen van het onderzoek, om zo een realistisch beeld te geven van de betrouwbaarheid en toepasbaarheid van de resultaten.

8 Bibliografie

- [1] 11tegen11 [@11tegen11]. (2024, februar 11). There's a lot to say about this passmap, but a midfielder three not passing forward *and* not combining with each other is quite something. #heeaja #Ajax <https://t.co/ZNQt5l1ykQ> [Tweet]. Twitter. <https://twitter.com/11tegen11/status/1756708127582380526>
- [2] Afzal, S., Ghani, S., Hittawe, M. M., Rashid, S. F., Knio, O. M., Hadwiger, M., & Hoteit, I. (2023). Visualization and Visual Analytics Approaches for Image and Video Datasets: A Survey. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, 13(1), 5:1-5:41. <https://doi.org/10.1145/3576935>
- [3] Benito Santos, A., Theron, R., Losada, A., Sampaio, J. E., & Lago-Peñas, C. (2018). Data-Driven Visual Performance Analysis in Soccer: An Exploratory Prototype. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02416>
- [4] Bornn, L., Cervone, D., & Fernandez, J. (2018). Soccer analytics: Unravelling the complexity of "the beautiful game". *Significance*, 15(3), 26-29. <https://doi.org/10.1111/j.1740-9713.2018.01146.x>
- [5] Clemente, F. M., Martins, F. M. L., Kalamaras, D., Wong, P. D., & Mendes, R. S. (2015). General network analysis of national soccer teams in FIFA World Cup 2014. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15(1), 80-96. <https://doi.org/10.1080/24748668.2015.11868778>
- [6] Clemente, F. M., Martins, F. M. L., & Mendes, R. S. (2016). ANALYSIS OF SCORED AND CONCEDED GOALS BY A FOOTBALL TEAM THROUGHOUT A SEASON: A NETWORK ANALYSIS.
- [7] Clemente, F. M., Martins, F. M. L., Wong, P. D., Kalamaras, D., & Mendes, R. S. (2015). Midfielder as the prominent participant in the building attack: A network analysis of national teams in FIFA World Cup 2014. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15(2), 704-722. <https://doi.org/10.1080/24748668.2015.11868825>
- [8] Duch, J., Waitzman, J. S., & Amaral, L. A. N. (2010). Quantifying the Performance of Individual Players in a Team Activity. *PLoS ONE*, 5(6), e10937. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010937>
- [9] Frencken, W. G. P., Lemmink, K. A. P. M., & Delleman, N. J. (2010). Soccer-specific accuracy and validity of the local position measurement (LPM) system. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(6), 641-645. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2010.04.003>
- [10] Garrido, D., Burriel, B., Resta, R., del Campo, R. L., & Buldú, J. M. (2022). Heatmaps in soccer: Event vs tracking datasets. *Chaos, Solitons & Fractals*, 165, 112827. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2022.112827>
- [11] Geppert, L. N., Ickstadt, K., Karl, F., Münch, J., & Steinbrecher, M. (2022). Visualising Complex Data Within a Data Science Loop: A Spatio-Temporal Example from Football. In A. Steland & K.-L. Tsui (Red.), *Artificial Intelligence, Big Data and Data Science in Statistics: Challenges and Solutions in Environmetrics, the Natural Sciences and Technology* (pp. 301-319). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-07155-3_13
- [12] Gonçalves, B., Coutinho, D., Santos, S., Lago-Penas, C., Jiménez, S., & Sampaio, J. (2017). Exploring team passing networks and player movement dynamics in youth association football. *PloS one*, 12(1), e0171156.
- [13] Grund, T. U. (2012). Network structure and team performance: The case of English Premier League soccer teams. *Social Networks*, 34(4), 682-690. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2012.08.004>
- [14] Gudmundsson, J., & Horton, M. (2018). Spatio-Temporal Analysis of Team Sports. *ACM Computing Surveys*, 50(2), 1-34. <https://doi.org/10.1145/3054132>

- [15] Lin, T., Chen, Z., Beyer, J., Wu, Y., Pfister, H., & Yang, Y. (2023). The Ball is in Our Court: Conducting Visualization Research With Sports Experts. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 43(1), 84-90. <https://doi.org/10.1109/MCG.2022.3222042>
- [16] Liu, A., Mahapatra, R. P., & Mayuri, A. V. R. (2023). Hybrid design for sports data visualization using AI and big data analytics. *Complex & Intelligent Systems*, 9(3), 2969-2980. <https://doi.org/10.1007/s40747-021-00557-w>
- [17] Liu, S., Cui, W., Wu, Y., & Liu, M. (2014). A survey on information visualization: Recent advances and challenges. *The Visual Computer*, 30(12), 1373-1393. <https://doi.org/10.1007/s00371-013-0892-3>
- [18] Liu, Y. (2020). College Students' Physical Fitness Test Data Analysis, Visualization and Prediction Using Data Mining Techniques. *Journal of Physics: Conference Series*, 1631(1), 012121. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1631/1/012121>
- [19] M. Fauzi, M. S., Imran, K., & Mohamed, Z. (2023). Social Network Analysis and Data Visualization of Football Performance Preceded to the Goal Scored. In S. F. Syed Omar, M. H. A. Hassan, A. Casson, A. Godfrey, & A. P. P. Abdul Majeed (Red.), *Innovation and Technology in Sports* (pp. 57-74). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-99-0297-2_6
- [20] Malqui, J. L. S., Romero, N. M. L., Garcia, R., Alemdar, H., & Comba, J. L. D. (2019). How do soccer teams coordinate consecutive passes? A visual analytics system for analysing the complexity of passing sequences using soccer flow motifs. *Computers & Graphics*, 84, 122-133. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2019.08.010>
- [21] Mazlan, M. S., Sainan, K. I., & Mohamed, Z. (2023). Data Visualization of Football Using Degree of Centrality. In S. F. Syed Omar, M. H. A. Hassan, A. Casson, A. Godfrey, & A. P. P. Abdul Majeed (Red.), *Innovation and Technology in Sports* (pp. 75-93). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-99-0297-2_7
- [22] McLean, S., Salmon, P. M., Gorman, A. D., Naughton, M., & Solomon, C. (2017). Do inter-continental playing styles exist? Using social network analysis to compare goals from the 2016 EURO and COPA football tournaments knock-out stages. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 18(4), 370-383. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2017.1290158>
- [23] Mclean, S., Salmon, P. M., Gorman, A. D., Stevens, N. J., & Solomon, C. (2018). A social network analysis of the goal scoring passing networks of the 2016 European Football Championships. *Human Movement Science*, 57, 400-408. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.10.001>
- [24] OpenAI. (2023). ChatGPT (GPT-4 model) [Large language model]. <https://chat.openai.com/chat>
- [25] Pappalardo, L., Cintia, P., Rossi, A., Massucco, E., Ferragina, P., Pedreschi, D., & Giannotti, F. (2019). A public data set of spatio-temporal match events in soccer competitions. *Scientific Data*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0247-7>
- [26] Peña, J. L., & Touchette, H. (2012). A network theory analysis of football strategies (arXiv:1206.6904). arXiv. <http://arxiv.org/abs/1206.6904>
- [27] Rana, M., & Mittal, V. (2021). Wearable Sensors for Real-Time Kinematics Analysis in Sports: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 21(2), 1187-1207. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3019016>
- [28] Ranjan, G., Nguyen, T. N., Mekky, H., & Zhang, Z.-L. (2020). On Virtual Id Assignment in Networks for High Resilience Routing: A Theoretical Framework. *GLOBECOM 2020 - 2020 IEEE Global Communications Conference*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/GLOBECOM42002.2020.9322538>
- [29] Ribeiro, J., Silva, P., Duarte, R., Davids, K., & Garganta, J. (2017). Team Sports Performance Analysed Through the Lens of Social Network Theory: Implications for Research and Practice. *Sports Medicine*, 47(9), 1689-1696. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0695-1>

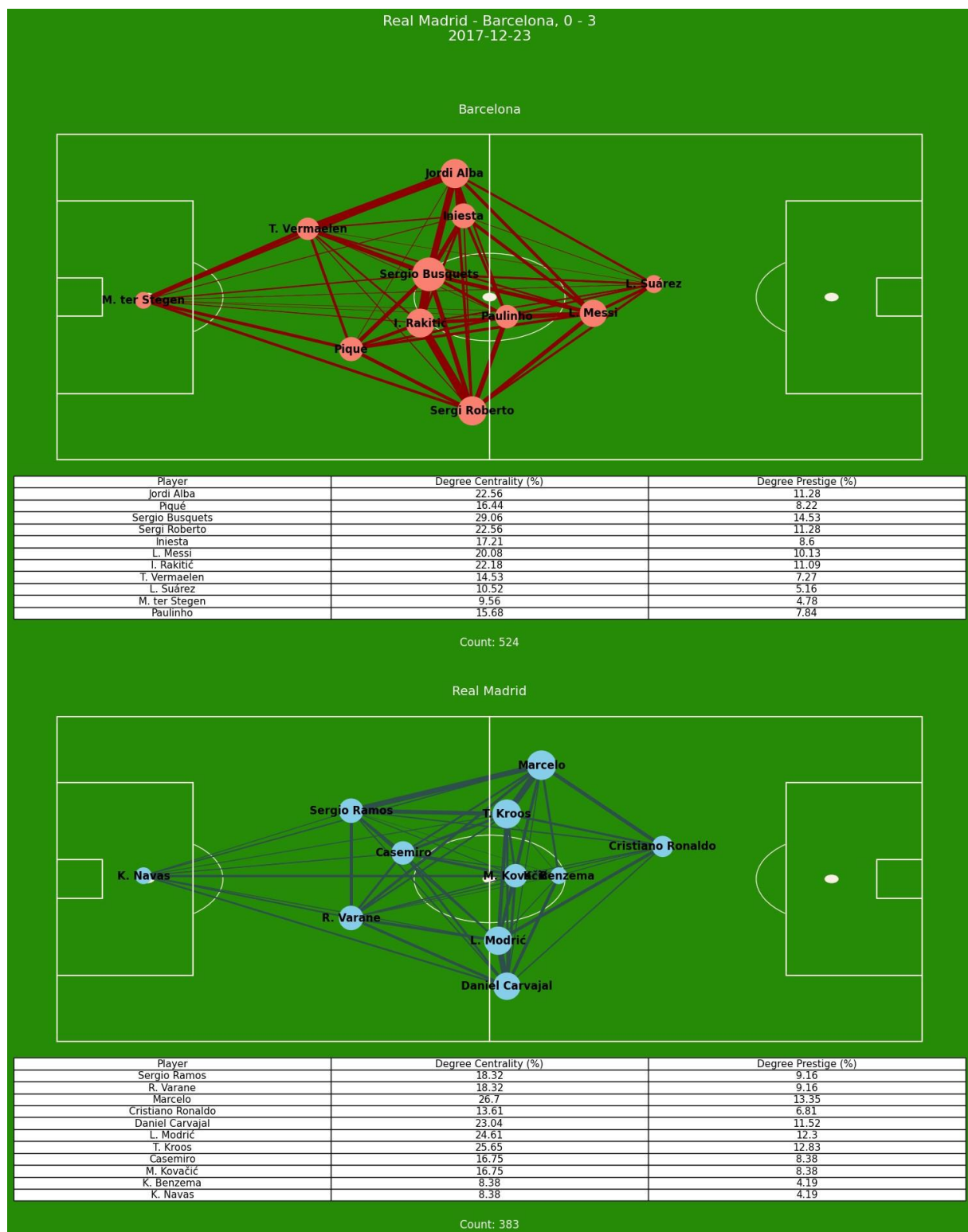
- [30] Stein, M., Janetzko, H., Lamprecht, A., Seebacher, D., Schreck, T., Keim, D., & Grossniklaus, M. (2016). From game events to team tactics: Visual analysis of dangerous situations in multi-match data. 2016 1st International Conference on Technology and Innovation in Sports, Health and Wellbeing (TISHW), 1-9. <https://doi.org/10.1109/TISHW.2016.7847777>
- [31] Travassos, B., Davids, K., Araujo, D., & Esteves, P. (2013). Performance analysis in team sports: Advances from an Ecological Dynamics approach. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 13, 89-95. <https://doi.org/10.1080/24748668.2013.11868633>
- [32] Valter, D. S., Adam, C., Barry, M., & Marco, C. (2006). Validation of Prozone ®: A new video-based performance analysis system. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 6(1), 108-119. <https://doi.org/10.1080/24748668.2006.11868359>
- [33] Varley, M. C., Fairweather, I. H., & Aughey, R. J. (2012). Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. *Journal of Sports Sciences*, 30(2), 121-127. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.627941>
- [34] Yamamoto, Y., & Yokoyama, K. (2011). Common and Unique Network Dynamics in Football Games. *PLOS ONE*, 6(12), e29638. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029638>

9 Appendix

A1: Vragenlijst Interviews

1. Wat zijn de primaire doelen bij het analyseren van de verzamelde data van spelers tijdens trainingen en wedstrijden?
2. Welke soorten data zijn cruciaal voor uw dagelijkse verantwoordelijkheden en hoe verzamelt u deze informatie?
3. Welke specifieke software- of hardwaretools zijn onmisbaar voor uw behoeften aan data-analyse?
4. Hoe gebruikt u visuele representaties van data, zoals grafieken of heatmaps, in uw rol? Welke voordelen bieden ze ten opzichte van traditionele datapresentaties (cijfers in tabellen)?
5. Heeft u al eens gebruik gemaakt van passnetwerken als een tool in uw analyse? Zo ja, in welke hoedanigheid?
6. Welke inzichten bieden passnetwerken die traditionele statistieken mogelijk missen?
7. Denkt u dat passnetwerken gebruikt kunnen worden voor het plannen van trainingssessies of het ontwikkelen van spelstrategieën?
8. Na het bekijken van deze visualisatie van het passnetwerk (presenteer de visualisatie), wat zijn uw eerste gedachten over de duidelijkheid en de informatie die het biedt?
9. Hoe zou dit type visualisatie verbeterd kunnen worden voor praktischer gebruik in training of spelanalyse?
10. (In vergelijking met andere visualisatietools die u hebt gebruikt, hoe onderscheidt deze zich?)
11. Hebt u al ervaring met centraliteitsmetriecken zoals degree centrality, degree prestige, betweenness centrality en closeness centrality?
12. Denkt u dat deze metriecken van pas kunnen komen in het analyseren van voetbalwedstrijden? Zo ja, op welke manier?
13. Welke toekomstige trends verwacht u in het gebruik van data-analyse in voetbalcoaching?
14. Als onderzoeker die zich richt op datagestuurde inzichten, welke gebieden zou u aanraden verder te verkennen?
15. Kunt u beschrijven hoe de integratie van data-analyse is geëvolueerd binnen uw rol als fysieke coach door de jaren heen?

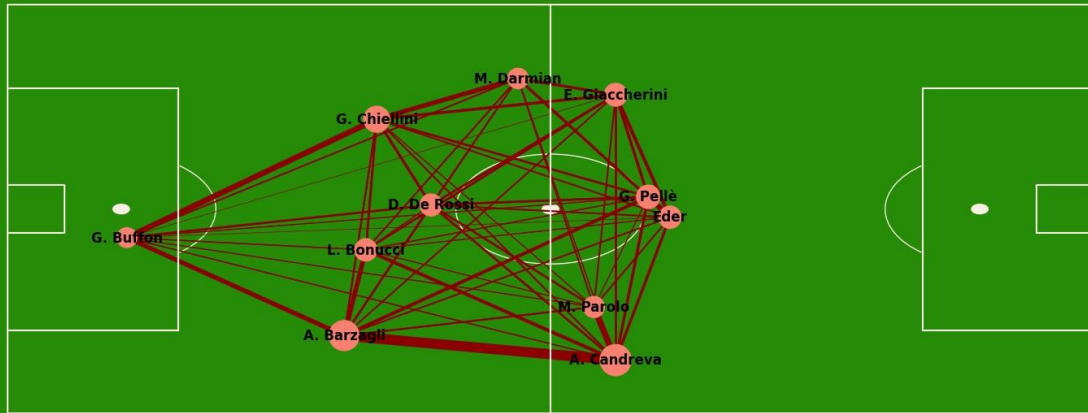
Gebruikte Passnetwerken



A2: Visualisatie Real Madrid - Barcelona

Belgium - Italy, 0 - 2
2016-06-13

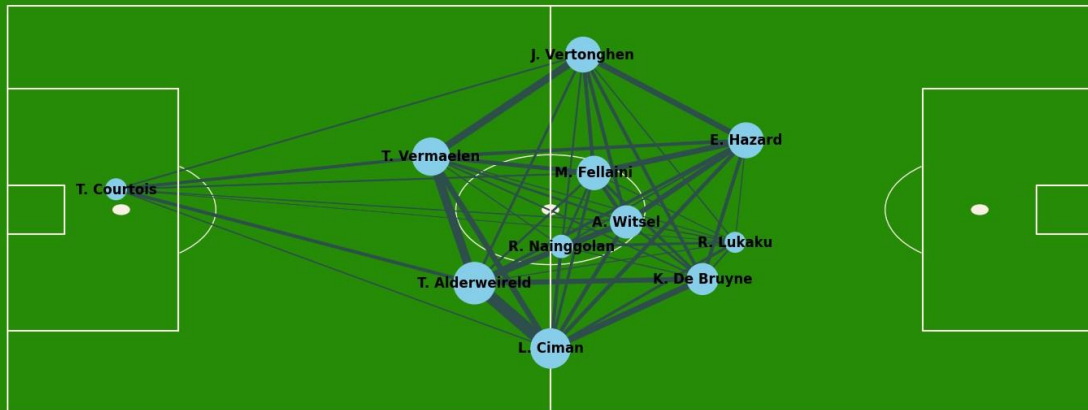
Italy



Player	Degree Centrality (%)	Degree Prestige (%)
D. De Rossi	16.15	7.93
G. Buffon	14.16	7.08
A. Barzagli	25.5	12.75
L. Bonucci	16.43	8.22
G. Chiellini	20.4	10.2
E. Giaccherini	17.0	8.5
A. Candreva	26.91	13.6
Eder	16.43	8.22
G. Pellè	17.56	8.78
M. Darmian	14.73	7.37
M. Parolo	15.3	7.65

Count: 354

Belgium



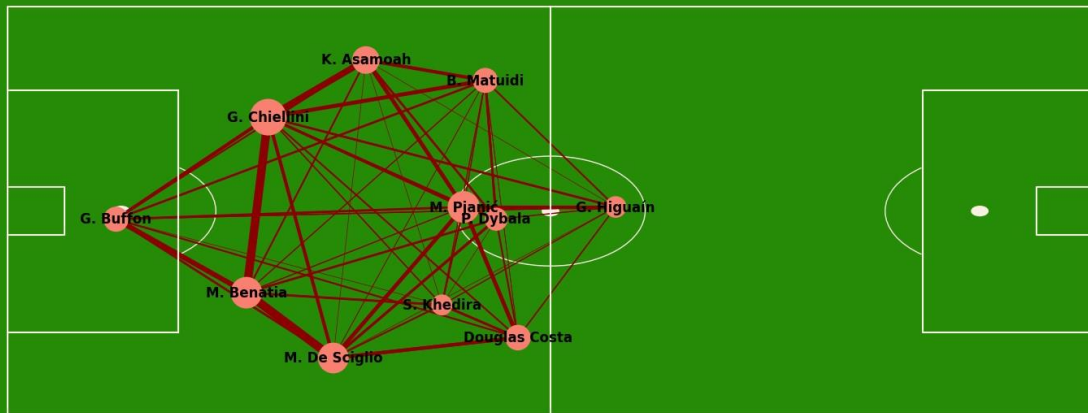
Player	Degree Centrality (%)	Degree Prestige (%)
T. Alderweireld	29.35	14.68
J. Vertonghen	20.96	10.48
T. Courtois	8.18	4.19
T. Vermaelen	23.69	11.74
M. Fellaini	19.29	9.64
R. Nainggolan	9.22	4.61
E. Hazard	20.96	10.48
K. De Bruyne	16.77	8.39
L. Ciman	26.42	13.21
A. Witsel	18.03	9.01
R. Lukaku	7.55	3.77

Count: 478

A3: Visualisatie Belgium - Italy

Napoli - Juventus, 0 - 1
2017-12-01

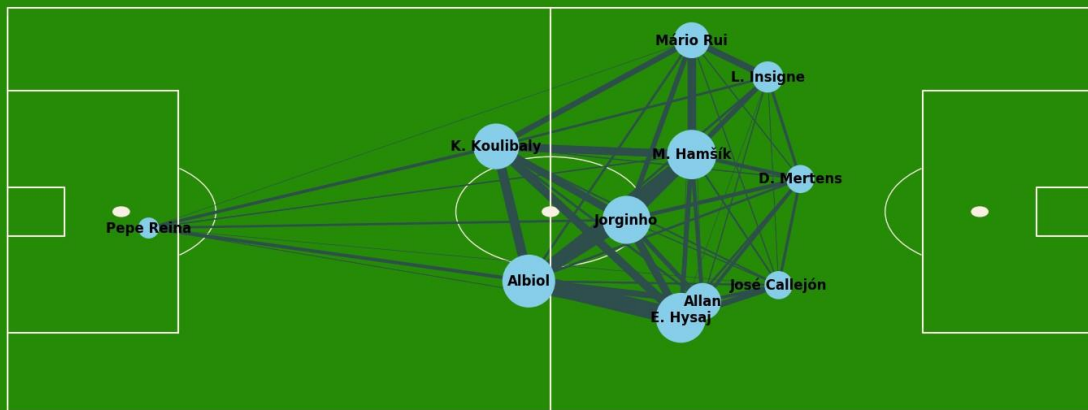
Juventus



Player	Degree Centrality (%)	Degree Prestige (%)
S. Khedira	10.88	5.44
G. Higuain	11.48	5.74
M. De Sciglio	22.36	11.18
M. Pjanic	23.87	12.08
G. Buffon	15.11	7.55
G. Chiellini	31.42	15.71
M. Benatia	23.56	11.78
P. Dybala	12.99	6.34
Douglas Costa	15.71	7.85
B. Matuidi	15.11	7.55
K. Asamoah	18.13	9.06

Count: 332

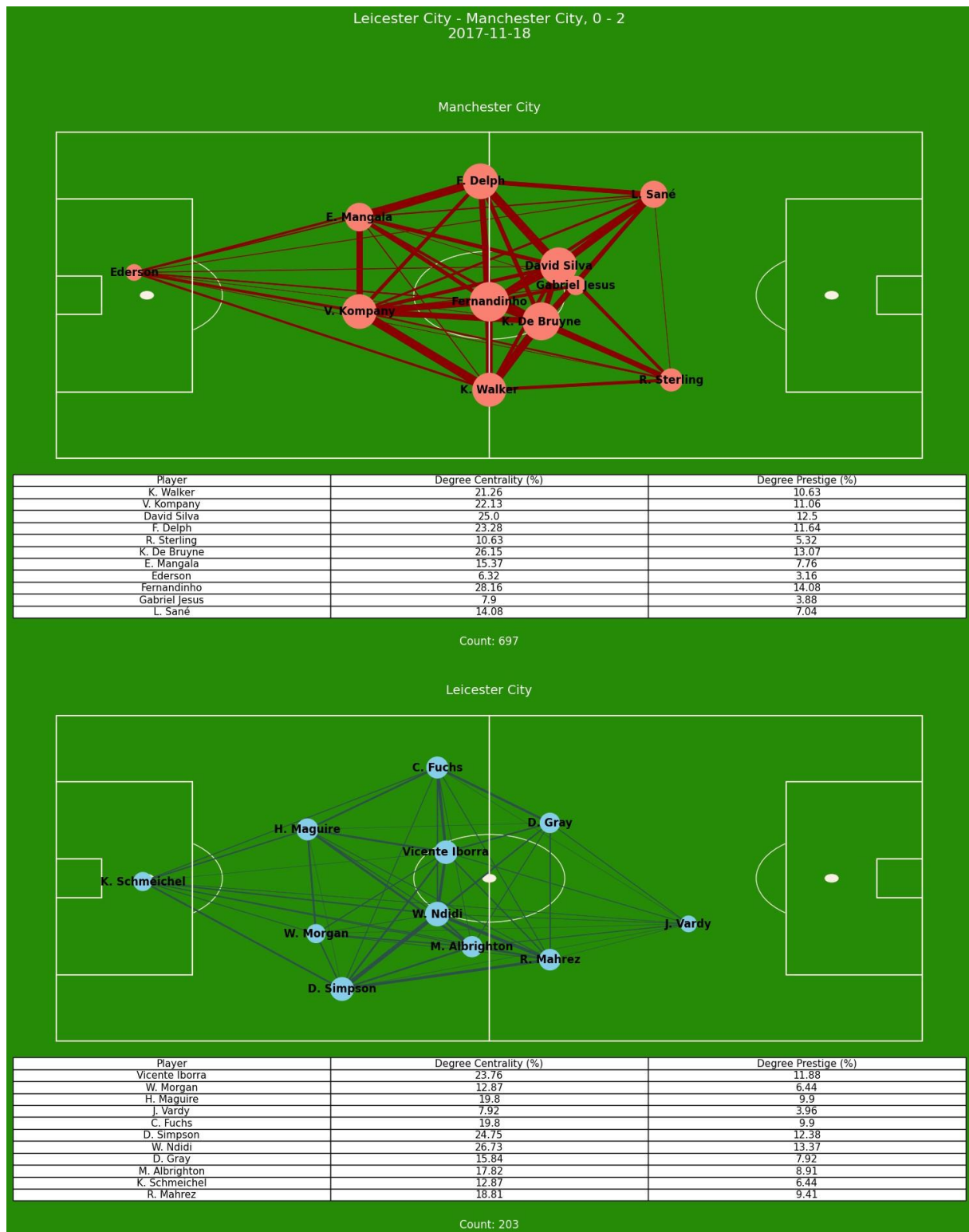
Napoli



Player	Degree Centrality (%)	Degree Prestige (%)
D. Mertens	8.72	4.36
Albiol	31.73	15.94
José Callejón	8.72	4.36
E. Hysaj	28.27	14.14
M. Hamsik	27.67	13.83
Jorginho	26.17	13.08
L. Insigne	10.83	5.41
Mario Rui	14.44	7.22
K. Koulibaly	23.61	11.73
Allan	15.34	7.67
Pepe Reina	4.81	2.41

Count: 666

A4: Visualisatie Napoli – Juventus



A5: Visualisatie Leicester City – Manchester City

A6: Audiobestanden Interviews en Code gebruikt voor de Visualisatie van de Passnetwerken

<https://drive.google.com/drive/folders/17oAKVuXGmQhJhwIFvp0BvEIMjC0dwXAH?usp=sharing>