

Spoorontwikkeling in Drenthe

Een analyse op basis van netwerk- en mobiliteitstheorieën

17-1-2016

Rijksuniversiteit Groningen

Bart Slagter

Begeleider: F.M.G. Van Kann

Samenvatting

De provincie Drenthe spreekt al enige tijd haar wens uit voor betere railverbindingen in de provincie. Een blik op het Nederlands spoornetwerk laat zien dat er zich enkele ‘missing links’ in het spoornetwerk bevinden wanneer wordt ingezoomd op de provincie. In dit onderzoek wordt op basis van een mobiliteitstheorie en een netwerktheorie geanalyseerd wat het effect van nieuwe spoortrajecten is. Het doel van het onderzoek is om inzicht te verwerven in de effecten van nieuwe spoortrajecten op reizigersaantallen en de robuustheid van het netwerk. Daarbij staat de volgende hoofdvraag centraal: *Wat zijn de kansen en beperkingen voor de ontwikkeling van nieuwe spoortrajecten en het hergebruiken van oude spoortrajecten in de provincie Drenthe, gezien vanuit bestaande netwerk- en mobiliteitstheorieën?*

Het graviteitsmodel (mobiliteitstheorie) wordt toegepast om de aantrekkingskracht van steden en stedelijke regio's in Noord-Nederland en Twente te berekenen. Op basis van deze theorie worden drie mogelijke trajecten met elkaar vergeleken.

De grafentheorie (netwerktheorie) wordt gebruikt om te kijken hoe het netwerk verandert wanneer er een nieuw traject wordt aangelegd. Ook hierbij wordt de aanleg van drie mogelijke trajecten met elkaar vergeleken. De grafentheorie wordt toegepast op de manier zoals Derrible en Kennedy (2009) toestand, vorm en structuur bepalen voor metronetwerken.

Uit het onderzoek blijkt dat de trajecten Emmen – Stadskanaal en Emmen – Groningen op basis van het graviteitsmodel de meeste reizigers zullen trekken. Het traject Emmen – Assen scoort hierop minder. Volgens de grafentheorie zal vooral het traject Emmen – Stadskanaal het netwerk versterken in zijn *graad van verbondenheid*. De *structurele verbondenheid* zal met de aanleg van nieuwe lijnen afnemen.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	3
- 1.1 Aanleiding en relevantie	3
- 1.2 Probleemstelling	3
- 1.3 Doelstelling	4
- 1.4 Hoofdvraag en deelvragen	4
- 1.5 Leeswijzer	4
2. Theoretisch kader	5
- 2.1 Literatuur	5
- 2.2 Mobiliteitstheorieën	5
- 2.3 Netwerktheorieën	6
- 2.4 Conceptueel model	7
- 2.5 Missing links in Drenthe	7
3. Methodologie	10
- 3.1 Toepassing graviteitsmodel	10
- 3.2 Toepassing grafentheorie	14
- 3.3 Toepassing theorie Derrible en Kennedy (toestand, vorm en structuur)	16
4. Resultaten	18
- 4.1 Resultaten graviteitsmodel	18
- 4.2 Veranderingen in de graaf	20
- 4.3 Veranderingen in karakteristieken en indicatoren graaf	24
5. Conclusies	28
6. Literatuurlijst	30
7. Bijlagen	31

1. Inleiding

1.1 Aanleiding en relevantie

De provincie Drenthe bracht in 2010 het plan 'Railvisie 2040' uit. Dit plan zette de ambities van de provincie Drenthe op het gebied van spoorontwikkeling uiteen. Belangrijke speerpunten waren de ontwikkeling van een spoorlijn tussen Groningen en Emmen en het betrekken van Assen bij de plannen voor een regiotram in Groningen. Ook het voorstel voor een spoorverbinding tussen Drenthe en Duitsland wordt door de provincie aangedragen (Provincie Drenthe, 2010).

Wanneer er in infrastructuurnetwerken een vraag ontstaat naar nieuwe verbindingen, noemt men deze verbindingen ook wel 'missing links' in het netwerk. Missing links in infrastructuurnetwerken zijn in het verleden vaker onderzocht op basis van verschillende theorieën, zo ook in de provincie Drenthe.

In het verleden beschikte de provincie over een uitgebreider spoornetwerk dan nu. Veel tram- en treinrails zijn tegenwoordig gesloten en vaak ook opgebroken. De provincie draagt ook niet alleen de opties aan voor de ontwikkeling van nieuw spoor, maar ook voor het hergebruiken van oude spoortrajecten.

1.2 Probleemstelling

Een discussiepunt bij de railvisie is dat Drenthe een relatief dunbevolkte provincie is en niet gebaat zou zijn bij meer spoorverbindingen. Een argument vóór de ontwikkeling van spoorwegen in Drenthe is dat het wegnemen van missing links tussen steden als Groningen en Emmen niet alleen voor Drenthe een verrijking is, maar ook voor hoger gelegen netwerkniveaus. Waar nu al het treinverkeer via Zwolle moet, geeft een spoorverbinding Groningen – Emmen een extra link tussen Noord- en Zuid-Nederland. Daarbij bestaat de mogelijkheid op een betere verbinding tussen Twente en het noorden van Nederland. Zo zou er een robuuster Nederlands spoornetwerk moeten ontstaan.

Hoewel het plan voor de regiotram in Groningen tegenwoordig van de baan is, blijft er nog altijd de vraag van provincie Drenthe naar nieuwe spoorwegen. De provincie beschikte voorheen over een uitgebreider netwerk aan spoorwegen. Zo waren er verbindingen tussen Assen, Stadskanaal en Emmen. Deze spoorwegen liggen deels nog op dezelfde plek. Ze zijn echter niet meer in gebruik. Hergebruik van oude trajecten kan wellicht kosten besparen. De spoorlijn Veendam-Stadskanaal ligt nog altijd op dezelfde plek en is op dit moment in gebruik als museumlijn. De verwachting is dat deze lijn in 2019 weer voor personenvervoer gebruikt kan worden (DvhN, 2013). Vanuit dit oogpunt ligt het nog meer voor de hand om de spoorlijn door te trekken naar Emmen.

1.3 Doelstelling

Dit onderzoek zal zich richten op een analyse van het ontwikkelen van nieuwe spoorlijnen in de provincie Drenthe. Het doel is daarbij om inzicht te verwerven in de effecten van nieuwe spoorlijnen op reizigersaantallen en de robuustheid van het netwerk. Zoals in 'Railvisie 2040' naar voren komt, vindt de provincie dat er gekeken moet worden naar de mogelijkheden voor verschillende trajecten (Provincie Drenthe 2010). In dit onderzoek zal het nut van nieuwe spoortrajecten geanalyseerd worden op basis van bestaande theorieën.

1.4 Hoofdvraag en deelvragen

Refererend aan hoofdstuk 1.1 en 1.2 is er een interessante discussie ontstaan over de mogelijkheden voor ontwikkeling van spoorwegen in Drenthe. De hoofdvraag die daaruit voortvloeit en centraal zal staan in dit onderzoek is: *Wat zijn de kansen en beperkingen voor de ontwikkeling van nieuwe spoortrajecten en het hergebruiken van oude spoortrajecten in de provincie Drenthe, gezien vanuit bestaande netwerk- en mobiliteitstheorieën?*

De deelvragen die hieruit voortkomen zijn:

1. Wat zijn geschikte netwerk- en mobiliteitstheorieën om het nut van nieuwe trajecten in Drenthe te bepalen?
2. Wat zijn de onderlinge verschillen tussen mogelijke nieuwe spoortrajecten, gezien vanuit bestaande mobiliteitstheorieën, en welk spoortraject heeft daarbij het meeste nut?
3. Wat zijn de onderlinge verschillen tussen mogelijke nieuwe spoortrajecten, gezien vanuit bestaande netwerktheorieën, en welk spoortraject heeft daarbij het meeste nut?

1.5 Leeswijzer

Deze scriptie bestaat uit vier onderdelen. In hoofdstuk 2, Theoretisch kader, wordt de relevante literatuur uiteen gezet en wordt deelvraag 1 beantwoord. Ook worden hier de relaties tussen de begrippen uitgelegd en gevisualiseerd in een conceptueel model. In hoofdstuk 3, Methodologie, worden de geschikte theorieën bruikbaar gemaakt voor het onderzoek. In hoofdstuk 4, Resultaten, worden de resultaten uitgewerkt en bediscussieerd. In het laatste hoofdstuk, Conclusie, worden de conclusies uit de resultaten getrokken. Ook worden hier de gebruikte theorieën bediscussieerd.

2. Theoretisch kader

2.1 Literatuur

Zoals eerder beschreven, zijn er meerdere onderzoeken geweest naar de ontwikkeling van nieuwe infrastructuur. Beleidsdocumenten en visies zoals *Breda – Utrecht, de vergeten corridor* (BAM, 2008) en *Breda – Utrecht doorgerekend* (KiM, 2009) bevatten bruikbare methodes om een draagvlak voor bepaalde trajecten te berekenen. Hierin wordt het missende spoortraject tussen Breda en Utrecht geanalyseerd. In deze onderzoeken worden bestaande mobiliteitstheorieën gebruikt om het nut van een nieuw traject inzichtelijk te maken. Het artikel *De ontbrekende spoorlink van het noorden: vervoers- en optiewaarde studie voor de spoorlijn Heerenveen - Groningen* van Draak (2010) is een vergelijkbaar artikel, waarin een ander traject wordt onderzocht. Ook hierin worden netwerk- en mobiliteitstheorieën gebruikt. Voor de ontwikkeling van spoortrajecten specifiek in de provincie Drenthe heeft Van Der Lelij (2008) een onderzoek gedaan. Zijn artikel *Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse van Nieuwe Spoorverbindingen tussen Groningen en Emmen*, richt zich op het traject tussen Emmen en Groningen. Hierbij gaat het om een complete Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse. Een nuttige uitwerking van een netwerktheorie is gedaan door Prins (1995). In zijn artikel *Systematisch ontwerpen van railnetwerken: een toepassing van de grafentheorie*, zet hij de grafentheorie uiteen.

Allereerst, zal er voor dit onderzoek een uitwerking gemaakt moeten worden van bruikbare netwerk- en mobiliteitstheorieën om deelvraag 2 en 3 te beantwoorden. Er moet gekeken worden welke theorieën, modellen en variabelen van toepassing zijn bij de te onderzoeken trajecten in Drenthe. Welke trajecten dit precies zijn, zal worden toegelicht in hoofdstuk 2.5.

2.2 Mobiliteitstheorieën

Een bekende mobiliteitstheorie is het graviteitsmodel. Het model is afkomstig uit de natuurkunde, waarbij de mate van zwaartekracht tussen twee voorwerpen of hemellichamen wordt beschreven. Rodrigue et al., (2009) geven een algemene beschrijving van het graviteitsmodel, toegepast de geografie. Het graviteitsmodel is in dit vakgebied een model dat de mate van mobiliteit of verkeer van goederen voorspelt, meestal tussen twee steden, regio's of landen. Hierbij zijn verschillende variabelen mogelijk.

Deze theorie is in de geografie al op veel manieren gebruikt. Zo ook bij onderzoeken naar infrastructuur, waarin veelal voorspellingen worden gedaan over de mate van mobiliteit tussen steden of regio's. Het onderzoek van Van Der Lelij (2008) is een voorbeeld van een toepassing van het graviteitsmodel in een onderzoek naar spoorverbindingen. Het model kan in een formule als volgt worden weergegeven:

$$G = C \left(\frac{A_1 \times A_2}{W^2} \right)$$

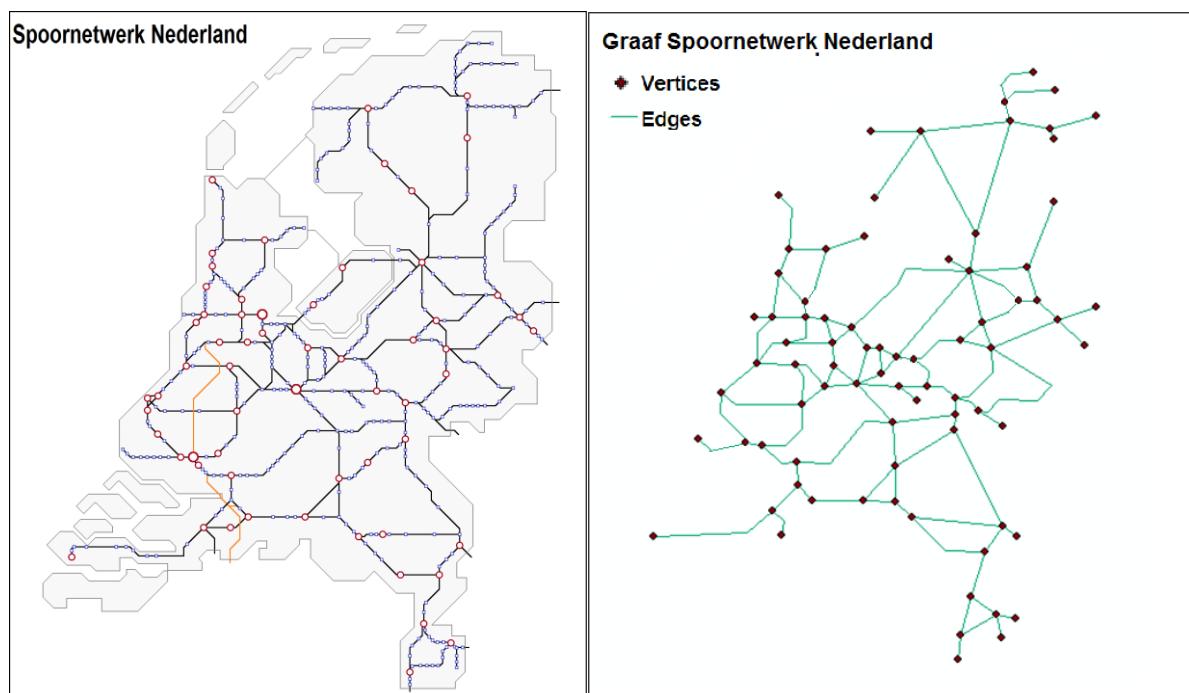
Daarin staat G voor de mate van graviteit of mobiliteit. C is een constante. A is een gegeven over een stad. Toegepast in de geografie is dit vaak het aantal inwoners of het aantal banen in een stad. De letter W staat voor de weerstand tussen twee steden. Dit kan allerlei dingen zijn, maar betreft meestal de afstand of reistijd.

In de natuurkunde is gebleken dat het model betrouwbaar is om de zwaartekracht tussen voorwerpen of hemellichamen te berekenen. Om mobiliteit tussen steden of regio's te voorspellen is de formule minder geschikt. Het gaat hierbij immers om menselijk gedrag, dat aan veel meer factoren onderhevig is. Toch wordt de theorie veel gebruikt in de geografie, vanwege zijn eenvoud.

2.3 Netwerktheorieën

Een bekende en veelgebruikte netwerktheorie is de grafentheorie. De grafentheorie is een wiskundige theorie en bestudeert grafen. Grafen zijn versimpelde weergaves van netwerken, waarbij veel mogelijkheden voor berekeningen ontstaan. Prins beschrijft de grafentheorie in zijn onderzoek als volgt: *“De grafentheorie omschrijft situaties in een stelsel van knopen en schakels, de zogenaamde graaf. Met behulp van deze modellering zijn verschillende problemen op te lossen door de toepassing van algoritme.”* (Prins, 1995).

Het analyseren en vergelijken van verschillende netwerken op een exacte manier is erg complex. Wanneer een netwerk vereenvoudigd wordt tot een graaf is dit beter mogelijk. Deze grafen bestaan in de basis vaak uit, 'vertices' en 'edges', oftewel knopen en lijnen. Aan de hand van het aantal knopen en lijnen in een graaf kunnen veel mogelijke berekeningen uitgevoerd worden die iets zeggen over een netwerk. Een voorbeeld van een graaf, gebaseerd op het Nederlandse spoor netwerk staat weergegeven in figuur 1.



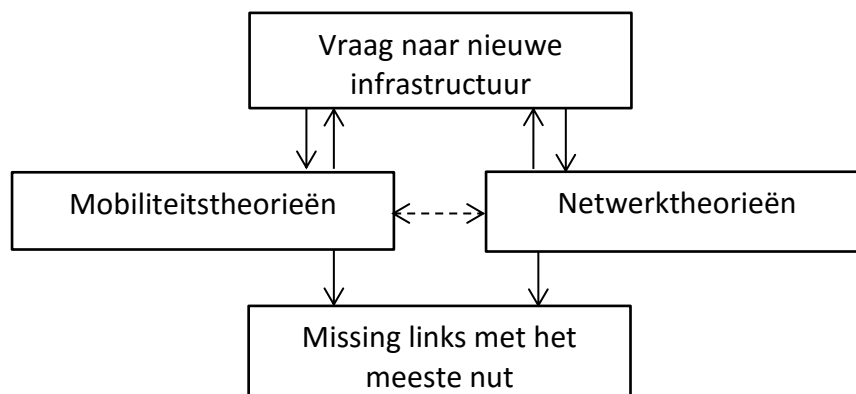
Figuur 1: Het Nederlands spoor netwerk (links) uitgewerkt in een graaf (rechts).

Derrible en Kennedy (2009) passen de grafentheorie toe in hun onderzoek om de karakteristieke vorm, toestand en structuur van metronetwerken te bepalen. Daarvoor wordt een aantal formules opgesteld. De formules bevatten de gebruikelijke variabelen als edges en vertices, maar ook het aantal lijnen, lijnlengte en aantal stations in metronetwerken. Via deze variabelen worden metronetwerken gekarakteriseerd. Wanneer de grafentheorie toegepast wordt op metronetwerken worden de spoorverbindingen vaak als edges gezien. Als vertices nemen Derrible en Kennedy alleen de overstap- en eindstations

mee in de berekeningen. Op die manier kunnen spoornetwerken weergegeven worden als grafen. Deze theorie zal in dit onderzoek toegepast worden om te kijken hoe toestand, vorm en structuur veranderen in het spoornetwerk van Nederland wanneer bepaalde spoorlijnen in Drenthe worden aangelegd.

2.4 Conceptueel model

Het conceptueel model is een weergave van hoe de beschreven concepten en begrippen met elkaar samenhangen. Hierin staat centraal hoe de mogelijkheden voor het ontwikkelen van een nieuw infrastructuurproject volgens de in dit onderzoek toegepaste theorie tot stand komen. De vraag naar nieuwe infrastructuur wordt in dit geval zowel getoetst als bepaald door netwerk- en mobiliteitstheorieën. Dit resulteert in een of meerdere trajecten die het meeste nut hebben volgens de theorieën.



Er wordt in dit onderzoek gefocust op zowel mobiliteitstheorieën als netwerktheorieën. De reden hiervoor is dat op basis van mobiliteitstheorieën, die een voorspelling kunnen doen over het aantal reizigers, een bepaald traject waarschijnlijk vrijwel nooit uit kan. In dat geval kan het argument gegeven worden dat, hoewel een traject niet winstgevend zal zijn, de robuustheid van het gehele netwerk wel beter wordt. Deze robuustheid kan geanalyseerd worden met toepassingen van netwerktheorieën. Op basis van een combinatie van deze twee, kunnen uitspraken gedaan worden over de trajecten die het meeste nut zullen hebben.

2.5 Missing links in Drenthe

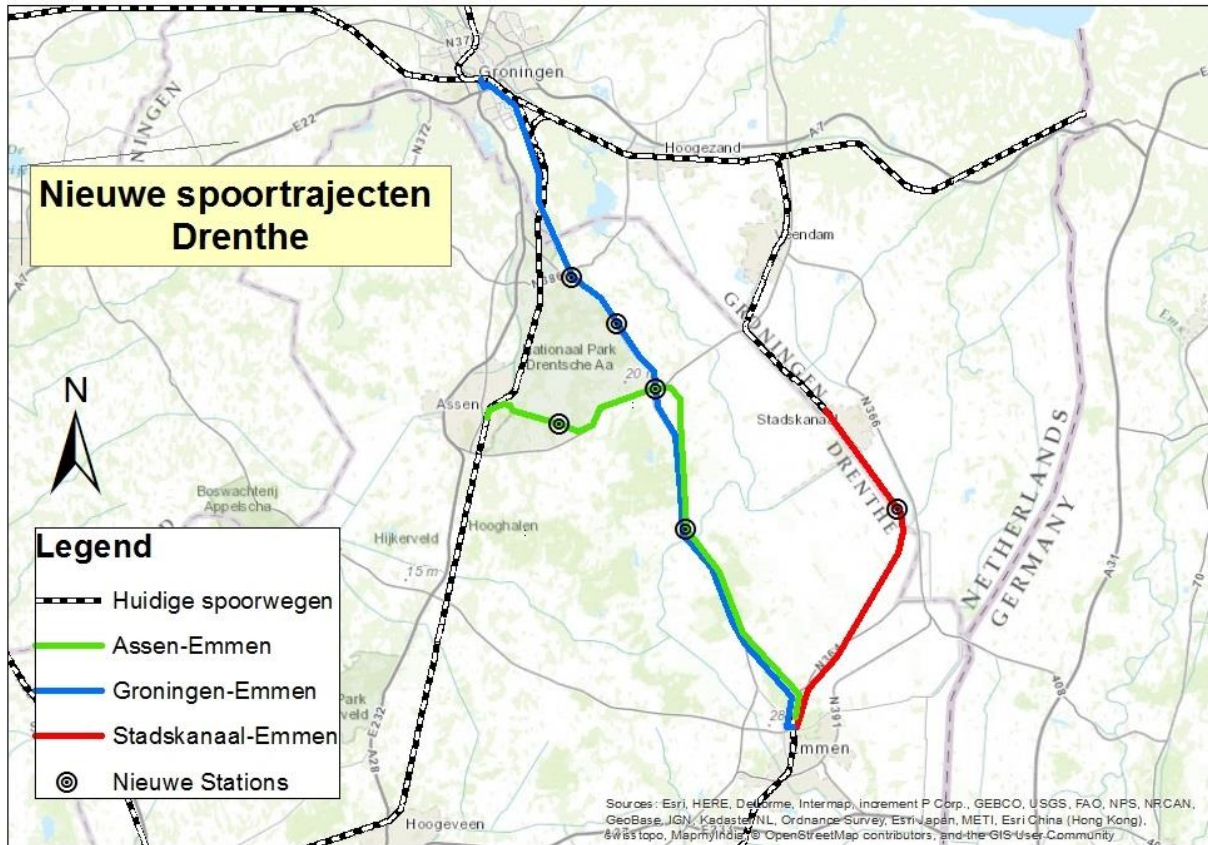
De belangrijkste missing links in Drenthe bevinden zich vooral rondom de stad Emmen. Emmen is een gemeente met 107.775 inwoners (CBS, 2015) en heeft in het Nederlandse spoornetwerk snelle verbindingen met Zwolle en verschillende steden in Twente. De missing link met het noorden is opvallend, aangezien een blik op de Nederlandse spoorkaart laat zien dat een verbinding met noordelijker gelegen knooppunten duidelijk ontbreekt. Dit wordt opgevangen door middel van een busverbinding tussen Groningen en Emmen. Omdat dit onderzoek gefocust is op unimodaal vervoer, worden alleen de spoorverbindingen geanalyseerd.

In het verleden heeft de provincie Drenthe over een robuuster spoornetwerk beschikt. Het huidige traject Zwolle – Emmen liep destijds door tot Stadskanaal, waardoor ook de verbinding tussen Emmen en Groningen, via Veendam en Hoogezand, aanwezig was. Ook waren er meerdere tramsporen die steden en dorpen in Drenthe verbonden. Hieronder viel ook het traject Assen – Emmen.

Delen van deze infrastructuur zijn nog altijd terug te vinden. Zo is de spoorlijn Zuidbroek-Veendam in 2011 heropend. Deze lijn loopt nog door tot Stadskanaal en Musselkanaal, een traject dat tegenwoordig dienst doet als museumlijn. Naar verwachting wordt het traject Veendam – Stadskanaal in 2019 heropend voor personenvervoer (DvhN, 2013). Met een hemelsbrede afstand tussen de stations in Stadskanaal en Emmen van 21 kilometer, lijkt het logisch om deze missing link in het spoornetwerk weg te nemen. Daarbij is Stadskanaal een van de zeven steden in Nederland met meer dan 20.000 inwoners zonder treinstation. Het wegnemen van de missing link is echter nooit van de grond gekomen, omdat verschillende onderzoeken uitwezen dat dit niet rendabel zou zijn.

Volgens het plan 'Railvisie 2040' (Provincie Drenthe 2010) zou een traject dat Groningen en Emmen verbindt, parallel aan de N34 een betere oplossing zijn. Om dit traject, in de Railvisie de Hondsruglijn genoemd, te realiseren zou echter een compleet nieuwe spoorlijn tussen Groningen en Emmen moeten worden aangelegd. Een ander mogelijk traject, dat een stuk korter zou zijn, is Assen – Emmen. Een traject waar in het verleden ook trams en treinen reden.

In dit onderzoek zullen drie missing links in Drenthe uitgewerkt en geanalyseerd gaan worden. Dit zijn Groningen – Emmen, Stadskanaal – Emmen en Assen – Emmen. Deze drie trajecten zullen eerst een concrete uitwerking moeten krijgen, voordat deze getest kunnen worden door netwerk- en mobiliteitstheorieën. De routes die de trajecten zullen volgen, de lengte van de trajecten, en de tussengelegen stations zullen moeten worden vastgesteld voor de nieuw aan te leggen trajecten om de theorieën te kunnen toepassen. Voor Groningen – Emmen zal het plan rondom de in de Railvisie gepresenteerde Hondsruglijn worden aangehouden. De lijn Emmen – Stadskanaal zal eerst het oude traject richting Musselkanaal volgen om vervolgens af te takken richting Emmen. Via deze route kan het tussenstation Musselkanaal in hergebruik worden genomen. Deze route zal naar verwachting efficiënter zijn dan de complete oude route te hergebruiken, omdat in dit traject geen relatief grote tussenstations liggen en het gehele traject langer is. De lijn Assen – Emmen zal het oude traject via Rolde, Gieten en Borger volgen (figuur 2).

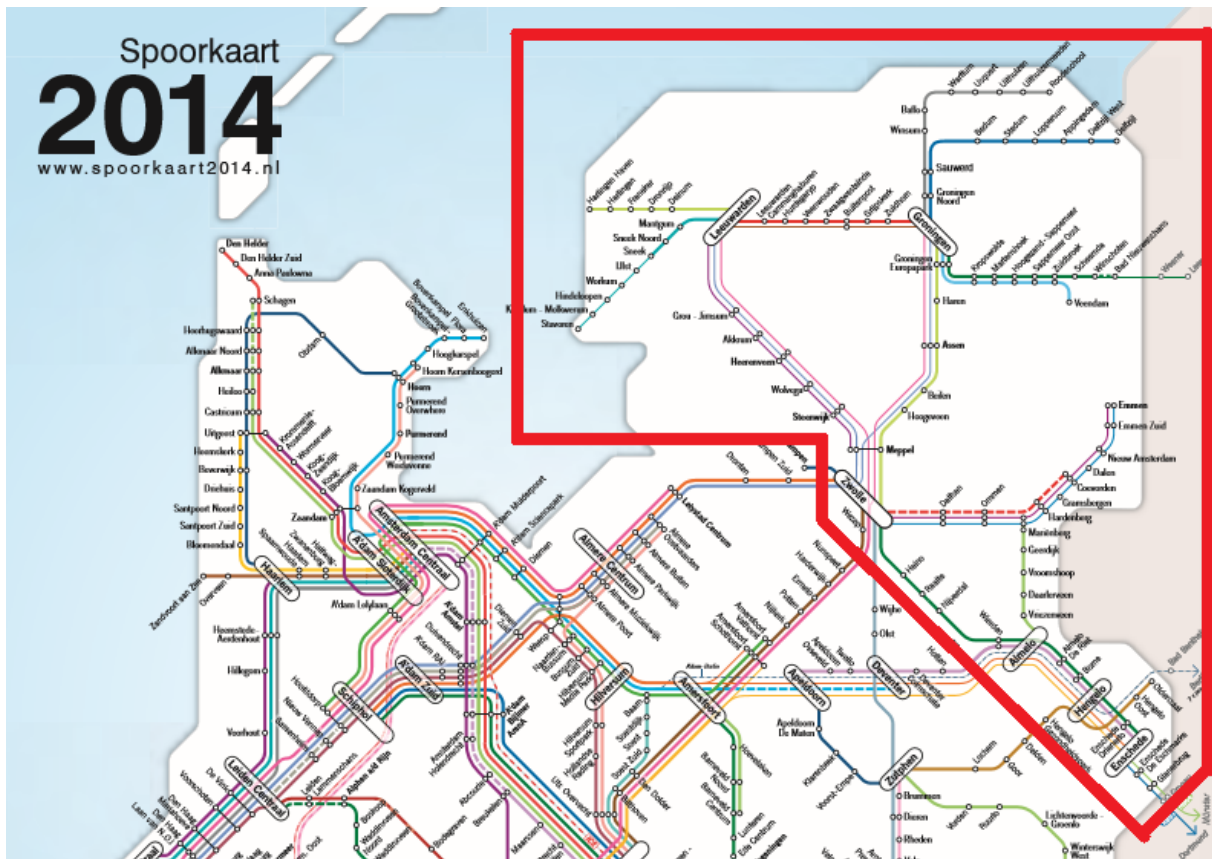


Figuur 2: Uitwerking van nieuwe trajecten in Drenthe en tussengelegen stations.

3. Methodologie

3.1 Toepassing graviteitsmodel

Om de het graviteitsmodel geschikt te maken voor een analyse in het Nederlandse spoornetwerk, is een uitsnede gemaakt van het netwerk. De reden hiervoor is dat het gehele Nederlandse spoornetwerk te uitgebreid en complex is om de theorie op toe te passen. Omdat er onderzoek wordt gedaan naar wat het nut is van nieuwe spoorlijnen vanuit Emmen naar Groningen, Assen of Stadskanaal wordt er een uitsnede gemaakt van het noordoostelijke deel van het netwerk (zie figuur 3).



Figuur 3: Uitsnede van het netwerk.

Deze uitsnede is tot stand gekomen met de aanname dat het aantal reizigers dat vanaf voorbij Zwolle of Twente via een spoorlijn vanaf Emmen naar het noorden reist, verwaarloosbaar klein is. Daarom worden deze lijnen en stations niet meegenomen in het netwerk.

Om met behulp van het graviteitsmodel te meten hoeveel passagiers bepaalde trajecten zouden trekken, wordt de formule gebruikt zoals gegeven in hoofdstuk 2.2:

$$G = C \left(\frac{A_1 \times A_2}{W^2} \right)$$

De mate van graviteit (G) tussen twee steden is in dit geval het aantal reizigers op een traject. Daarbij wordt aangenomen dat het aantal reizigers op een traject in beide richtingen

even groot is. Alle reizen betreffen een retour. De weerstand (W) wordt verondersteld als de reistijd tussen twee steden. De beide A 's staan voor het aantal inwoners in twee steden. Er wordt hier voor het aantal inwoners gekozen en niet voor het aantal arbeidsplaatsen, omdat de variantie van de constanten, berekend voor trajecten in Noord-Nederland, voor het aantal inwoners kleiner is dan voor het aantal arbeidsplaatsen. Dit houdt in dat het aantal inwoners een constantere factor is om mee te rekenen in de formule. Daarbij wordt ook verondersteld dat dit de meest relevante factor is voor mobiliteit, omdat het gaat om het aantal mensen dat een reis maakt.

Het bepalen van een constante:

De constante (C) is een onbekende waarde. Om een geschikte constante te berekenen voor de trajecten in de provincie Drenthe kan een gemiddelde van constanten van vergelijkbare trajecten worden genomen.

Om een goede gemiddelde constante te berekenen moeten eerst de G , A_1 , A_2 , en W bekend zijn. Zoals eerder vermeld zullen de A 's het aantal inwoners in beide steden betreffen (verkregen via CBS Statline) en de W de reistijd (verkregen via www.NS.nl). De G (het aantal reizigers op een traject) is moeilijker te bepalen. De NS maakt daarover geen cijfers openbaar. Het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007) geeft prognoses over hoeveel reizigers er op spoortrajecten in Nederland zullen reizen in het jaar 2020. Voor dit onderzoek worden deze prognoses aangehouden om de mate van graviteit (G) in de formule in te vullen. G wordt dan gegeven in 'aantal reizigers per dag in beide richtingen'.

Om de constante te berekenen wordt de formule van het graviteitsmodel omgebouwd. Op deze manier kunnen voor verschillende bestaande trajecten constanten berekend worden. De gemiddelde van de constanten op vergelijkbare trajecten in het noorden van Nederland kan als constante voor het model gebruikt worden.

$$C = \frac{G \times W^2}{A_1 \times A_2}$$

Uit de resultaten van deze formule blijkt echter dat de foutmarge van de berekende constanten erg groot is. Zo is de constante voor het traject Leeuwarden – Zwolle ruim tien keer zo groot als de constante bij het traject Leeuwarden – Groningen. Dit valt te verklaren uit het feit dat er op het traject Leeuwarden – Zwolle veel vaker sprake zal zijn van een doorreis, en bij Leeuwarden – Groningen niet.

Het bepalen van een goede constante is daarom op een andere manier gedaan. Een uitgebreide uitleg daarvan is te vinden in bijlage 1. De constante is bepaald op $\frac{1}{5000}$.

Het aanvullen van de weerstandsvariabele:

Om tot een betrouwbaardere uitkomst te komen in het graviteitsmodel is het nuttig om de weerstandsvariabele (W) op te delen in verschillende factoren die invloed hebben op het reizigersgedrag.

Voor dit onderzoek is aangenomen dat de weerstandsvariabele (W) voornamelijk afhangt van de reistijd met de trein. Deze variabele kan met een tweetal factoren worden aangevuld:

Autobezit: Er wordt aangenomen dat een hoger autobezit in een stad een positieve invloed heeft op de weerstandsvariabele. Dit houdt in dat een hoger autobezit in een stad ervoor zorgt dat er minder mensen met de trein zullen reizen. Om dit toe te passen in de formule wordt gebruik gemaakt van het aantal auto's in een gemeente per duizend inwoners (CBS, 2014). In Nederland is het gemiddelde autobezit 420 per 1000 inwoners. Op basis van in hoeverre het autobezit in een bepaalde gemeente hier boven of onder zit, wordt een factor groter of kleiner dan 1 toegevoegd aan de weerstandsvariabele. Een uitgebreidere uitleg over het verband tussen het autobezit en het treingebruik is te vinden in bijlage 2.

Studenten: Nederlanders die aan het MBO, HBO of WO studeren maken meer kilometers met de trein dan elke andere vorm van vervoer (CBS, 2014). Daarom wordt de aanname gemaakt dat het percentage studenten in een stad invloed heeft op het treingebruik van en naar andere steden. Er wordt aangenomen dat een hoger percentage studenten een negatieve invloed heeft op de weerstandsvariabele. Wanneer er meer studenten in een stad wonen, wordt er meer gebruikt gemaakt van de trein. Het percentage studenten in Nederland is volgens de cijfers van het CBS 7,1%. Als een percentage studenten in een stad hier boven of onder ligt wordt een factor lager of hoger dan 1 aan de weerstandsvariabele toegevoegd. Een uitgebreidere uitleg over het verband tussen het aantal studenten in een stad en het treingebruik is te vinden in bijlage 2.

Door deze twee factoren toe te voegen aan de weerstandsvariabele (W), kan deze nu geschreven worden als $W = r * a * s$, waarin de variabelen respectievelijk *reistijd*, *autobezit* en *percentage studenten* betekenen. Zo verandert de formule als volgt:

$$G_{1,2} = C \left(\frac{A_1 \times A_2}{(r \times a_{1,2} \times s_{1,2})^2} \right)$$

De r is in deze formule de reistijd in minuten. De a en de s zijn factoren die worden bepaald zoals weergegeven in tabel 1. Omdat de a en de s voor twee steden verschillende factoren zijn, wordt de a voor de ene stad (a_1) vermenigvuldigd met de a voor de tweede stad (a_2) tot de factor $a_{1,2}$. Hetzelfde geldt voor de factor s . Deze factoren zijn variabel. Voor dit onderzoek zijn de factoren bepaald zoals in tabel 1, maar dit kunnen ook andere waarden zijn. Het belangrijkste is in dit geval om weer te geven dat de mobiliteit tussen twee steden versterkt of verzwakt kan worden door de variabelen a en s .

	Aantal	Factor		Percentage	Factor
Aantal auto's per	250-300	0,85	Percentage	20-25	0,80
1000 inwoners (a)	300-350	0,9	Studenten (s)	15-20	0,85
	350-400	0,95		11-15	0,90
	400-450	1,00		8-11	0,95
	450-500	1,05		6-8	1,00
	500-550	1,10		4-6	1,05

Tabel 1: Vastgestelde weerstandsfactoren op basis van stadskenmerken.

Het netwerk opdelen in stedelijke regio's:

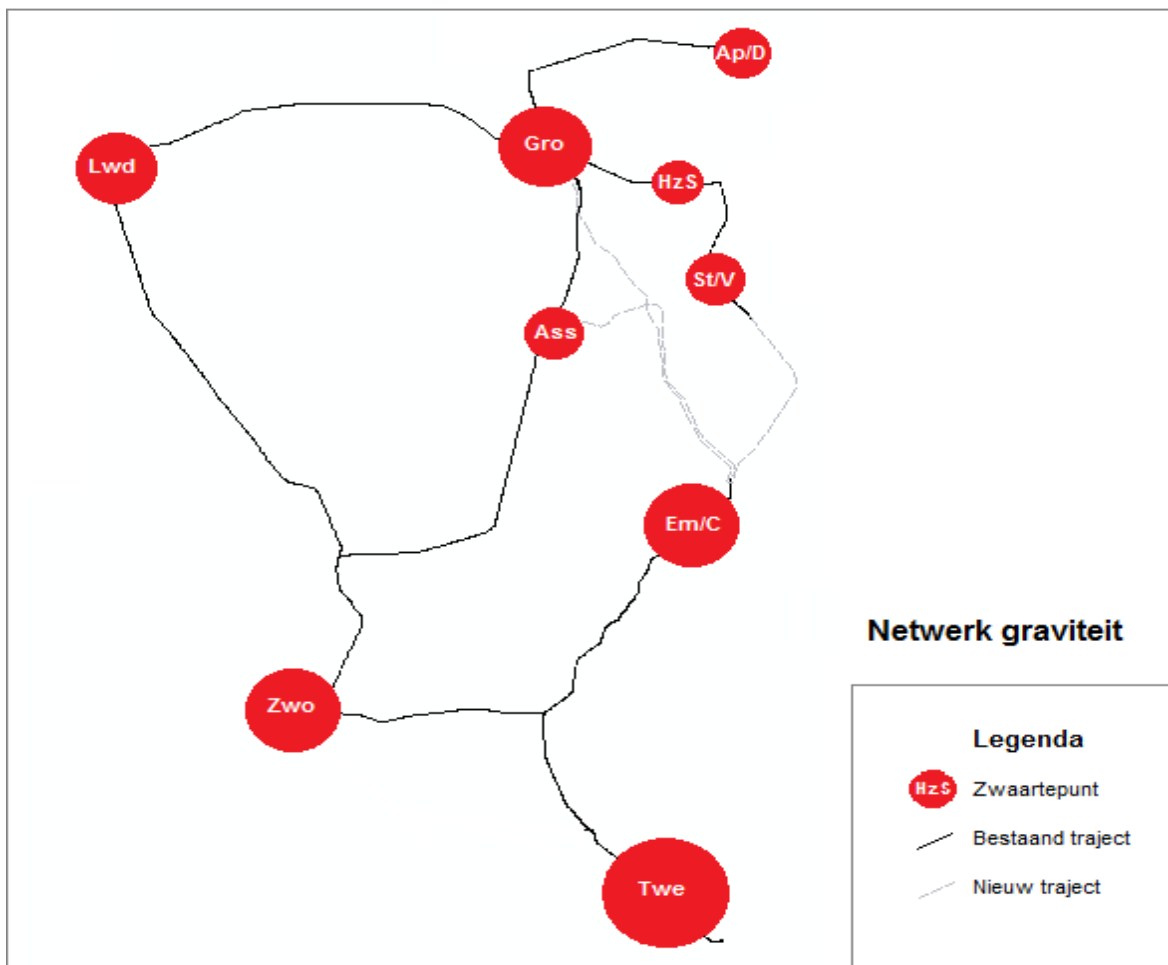
Zoals in hoofdstuk 2.5 genoemd, worden er in dit onderzoek drie mogelijke trajecten uitgewerkt: Emmen – Groningen, Emmen – Assen en Emmen – Stadskanaal. Om een schatting te maken van het aantal reizigers op deze drie trajecten wordt de mate van graviteit tussen verschillende steden in het noorden uitgewerkt. De reistijden op nieuwe trajecten wordt aan de hand van huidige dienstregelingen en afstanden tussen nieuw aan te leggen stations geschat.

Omdat het aanleggen van een traject tussen twee steden niet alleen reizigers oplevert die hun reis beperken tot deze twee steden (er kan ook sprake zijn van een doorreis), moet de mate van graviteit voor alle steden in het netwerk berekend en opgeteld worden. Een nieuw traject tussen Emmen en Groningen levert bijvoorbeeld ook treinreizigers op tussen Groningen en steden in de regio Twente.

Om de berekeningen te vereenvoudigen, wordt een aantal steden samengevoegd tot stedelijke regio's. Dit zijn:

- Almelo/Hengelo/Enschede (Twente)
- Stadskanaal/Veendam
- Appingedam/Delfzijl
- Emmen/Coevorden.

Een schematisch overzicht van de graviteit in het netwerk is weergegeven in figuur 4. De resultaten uit deze methode worden uitgewerkt in hoofdstuk 4.1.



Figuur 4: Zwaartepunten in het netwerk en tussengelegen trajecten.

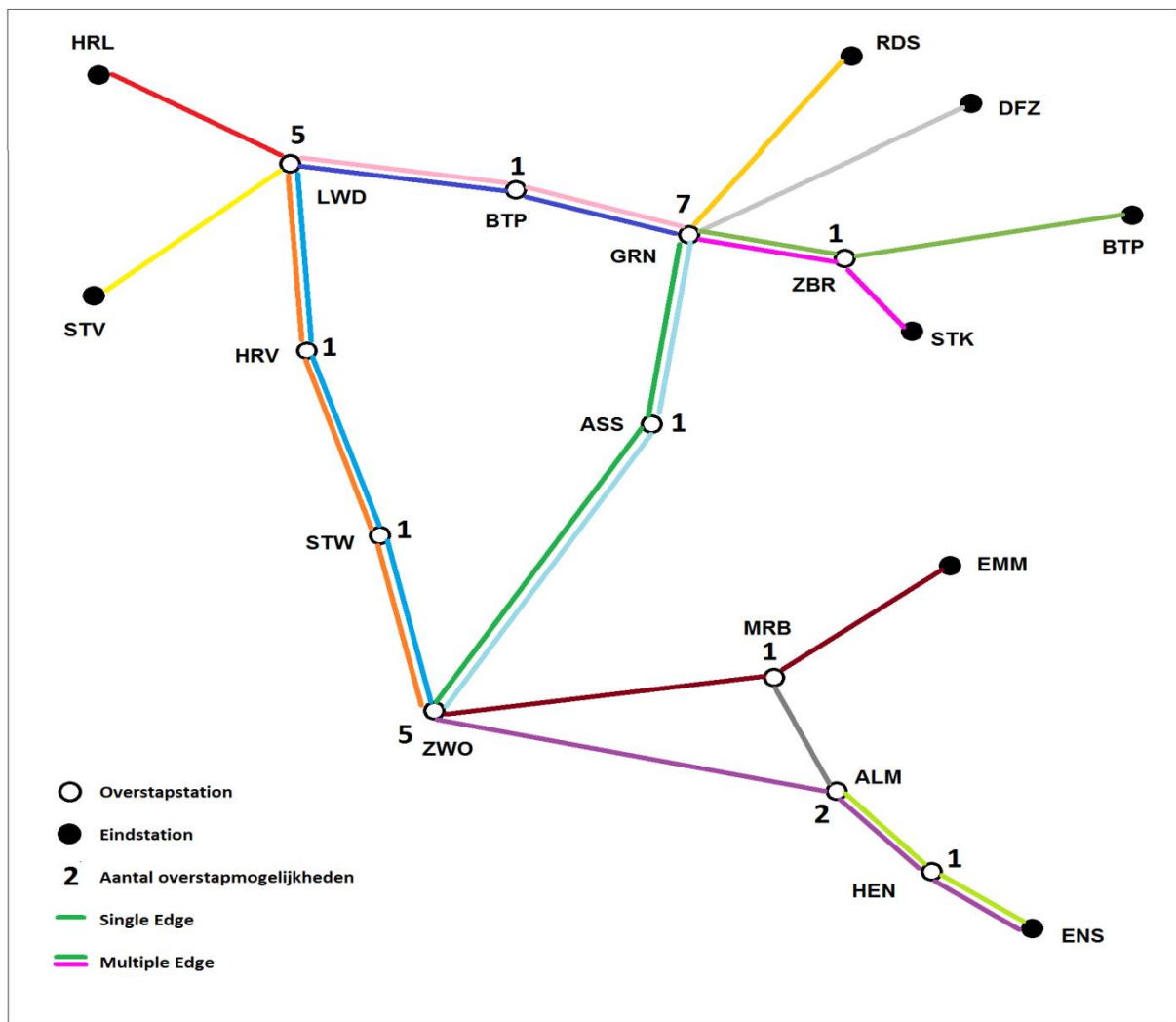
3.2 Toepassing grafentheorie

Om de verschillende mogelijke trajecten in Drenthe met elkaar af te wegen op basis van een netwerktheorie is een toepassing van de grafentheorie in Drenthe nodig. Daarvoor zal de methode om vorm, toestand en structuur van netwerken te berekenen van Derrible en Kennedy (2009) gebruikt worden. Deze methode is ontwikkeld om metronetwerken met elkaar te vergelijken. Het netwerk dat in dit onderzoek geanalyseerd zal worden is, vanuit treinnetwerken gezien, van een klein schaalniveau. Daarom zal de methode van Derrible en Kennedy voor metronetwerken in dat opzicht bruikbaar kunnen zijn om een treinnetwerk van deze grootte te analyseren.

Verschillen tussen metronetwerken en treinnetwerken zijn er echter wel. Het aantal lijnen in een metronetwerk is makkelijker te bepalen dan in het Nederlands treinnetwerk, omdat metro's op vrijwel elk station stoppen en treinen in Nederland vaak bestaan uit intercity's en stoptreinen.

Om de methode van Derrible en Kennedy goed toe te passen in het Nederlandse spoornetwerk wordt dezelfde uitsnede van het Nederlands spoornetwerk gebruik als in figuur 3. Om dit netwerk weer te geven in een graaf (zie figuur 5) is een aantal aannames gedaan:

- Een verbinding tussen twee stations is een multiple edge wanneer er zowel een stoptrein als een intercity rijdt.
- Een verbinding tussen twee stations is een single edge wanneer er alleen een stoptrein rijdt.
- Een station is een overstapstation wanneer er overgestapt kan worden op een andere lijn, of een station is een overstapstation wanneer het een intercitystation is.
- Overstapstations waarbij een overstap erg onwaarschijnlijk of niet nuttig is, worden buiten beschouwing gelaten. Voorbeelden hiervan zijn Sauwerd, Groningen Europapark (er wordt aangenomen dat reizigers op Groningen Centraal al in de juiste trein stappen) en Meppel (Er wordt aangenomen dat mensen op station Zwolle al in de juiste trein stappen).



Figuur 5: Graaf van het netwerk.

Om de verschillende mogelijke trajecten Emmen – Assen, Emmen – Groningen en Emmen – Stadskanaal met elkaar te vergelijken, wordt er met de methode van Derrible en Kennedy gekeken naar hoe de toestand, vorm en structuur van het netwerk in de graaf veranderen wanneer er een nieuwe schakel in het netwerk wordt toegevoegd. De indicatoren van het huidige netwerk staan weergegeven in tabel 2. De totale lijnlengte (L) en het aantal stations (n_s) in het spoorwegennetwerk zijn bepaald met behulp van de data *Spoorbanen en stations (incl. tram/metro)*, afkomstig van de BRT (2014-2015). Hiervoor is het programma ArcMap gebruikt. Via ArcMap kunnen deze gegevens in de zogeheten ‘attribute table’ gemakkelijk afgelezen worden.

Lijnen en stations	Lengte (L in km)	943
	Stations (n_s)	85
	Lijnen (n_L)	16
Overstappen	Max. transfers (δ)	3
	Transfer opties (v_c^t)	26
Vertices	Total Vertices (v)	19
	End Vertices (v^e)	8
	Transfer Vertices (v^t)	11
Edges	Total Edges (e)	30
	Single Edges (e^s)	20
	Multiple Edges (e^m)	10

Tabel 2: karakteristieken van de graaf.

3.3 Toepassing theorie Derrible en Kennedy (toestand, vorm en structuur)

De drie karakteristieken, toestand, vorm en structuur, worden bepaald aan de hand van een aantal formules.

Toestand geeft de fase van ontwikkeling van het netwerk aan door middel van twee indicatoren, namelijk *complexiteit* (β) en *graad van verbondenheid* (γ). De *complexiteit* (β), Geeft de verhouding tussen het aantal edges en vertices aan in een netwerk. De *graad van verbondenheid* (γ) geeft aan hoe goed een netwerk verbonden is, in verhouding tot hoe goed het netwerk verbonden zou kunnen zijn.

$$\beta = \frac{e}{v} \qquad \gamma = \frac{e}{3v - 6}$$

De vorm van een netwerk wordt tevens vastgesteld aan de hand van twee indicatoren. De eerste is het aantal stations (n_s) in het netwerk. Als tweede indicator wordt of de *gemiddelde lijnlengte* (A), of de *gemiddelde afstand tussen stations* (S) gebruikt. In dit onderzoek zal dit de gemiddelde lijnlengte zijn. Deze indicatoren geven aan of een netwerk meer regionale toegankelijkheid, regionale dekking of lokale dekking biedt. Om deze indicatoren te bepalen wordt de *totale lijnlengte* (L) van het netwerk, het *aantal lijnen* (n_L) en het *aantal stations* (n_s) in een netwerk gemeten.

$$A = \frac{L}{n_L} \qquad S = \frac{L}{n_s}$$

De laatste karakteristiek, structuur, wordt ook vastgesteld door twee indicatoren. Deze indicatoren zijn de *structurele verbondenheid* (ρ) en de *directheid* (τ). De *structurele verbondenheid* kent de indicator v_c^t , het aantal overstapmogelijkheden. Het aantal overstapmogelijkheden bij een station geeft dit station als het ware een weegfactor in zijn mate van belangrijkheid. De indicator *directheid* geeft de verhouding tussen het *aantal lijnen* (n_L) en het *maximaal aantal overstappen* (δ) weer.

$$\rho = \frac{v_c^t - e^m}{v^t} \quad \tau = \frac{n_L}{\delta}$$

Door een nieuwe verbinding vanuit Emmen naar Groningen, Assen of Stadskanaal in de graaf in te tekenen, veranderen de karakteristieken toestand, vorm en structuur van het netwerk. Op die manier kan bekeken worden hoe de robuustheid van het netwerk steeds verandert en kan een vergelijking gemaakt worden. Een uitwerking van deze methode wordt gedaan in hoofdstuk 4.2.

4. Resultaten

4.1 Resultaten graviteitsmodel

Zoals in hoofdstuk 3.1 uitgelegd, wordt het aantal treinreizigers op een traject bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$G_{1,2} = C \left(\frac{A_1 \times A_2}{(r \times a_{1,2} \times s_{1,2})^2} \right)$$

Waarin:	G	= het aantal treinreizigers tussen twee steden.
	C	= een constante $\left(\frac{1}{5000}\right)$.
	A	= het aantal inwoners in een stad of stedelijke regio.
	r	= de reistijd in minuten.
	a	= weegfactor voor het aantal auto's per 1000 inwoners in een stad.
	s	= weegfactor voor het percentage studenten in een stad.

Om het model te gebruiken zullen eerst alle variabelen voor de zwaartepunten (zoals gegeven in figuur 4) moeten worden bepaald. Deze variabelen staan weergegeven in tabel 3. De cijfers zijn afkomstig van het CBS.

Stad	A	Auto's per 1000 inw.	Aantal studenten	Percentage studenten	a	s
Assen	67165	425	4175	6,2%	1,00	1,00
Groningen	200210	289	41701	20,8%	0,85	0,80
Hoogezand-Sappemeer	29433	451	1923	6,5%	1,05	1,00
Veendam/Stadskanaal	39945	480	3267	8,2%	1,05	0,95
Zwolle	124032	373	9824	7,9%	0,95	1,00
Leeuwarden	95949	373	12747	13,3%	0,95	0,90
Delfzijl/Appingedam	37352	452	2851	7,6%	1,05	1,00
Emmen/Coevorden	91000	490	7752	8,5%	1,05	0,95
Twente	285650	417	26959	9,4%	1,00	0,95

Tabel 3: Gegevens per zwaartepunt in het netwerk.

In de hieronder weergegeven tabellen 4a, 4b en 4c, staan de verkregen aantallen reizigers per dag in beide richtingen gegeven. Dit zijn de uitkomsten van het graviteitsmodel, wanneer de variabelen uit tabel 3 worden ingevuld in de formule. Hieraan wordt de enige ontbrekende variabele, de reistijd, nog toegevoegd. De reistijd is bepaald op basis van de afstand van het traject en het aantal tussenstations waarop een stop plaatsvindt. Er wordt verondersteld dat een stop de rit met twee minuten vertraagt en een overstap de rit met vijf minuten vertraagt.

Op basis van deze geschatte reistijden op de drie mogelijke trajecten en de bestaande reistijden tussen de andere zwaartepunten in het netwerk, wordt gekeken naar voor welke reizen in het netwerk een nieuw traject onderdeel uitmaakt van de route met de minste weerstand (de kortste reistijd). Een traject dat niet op de route met de kortste reistijd ligt voor een bepaalde reis wordt niet meegenomen in de berekening en krijgt 0 reizigers.

Voor deze reizen wordt in de tabellen 4a, 4b, en 4c het aantal reizigers berekend met de formule, om uiteindelijk tot een totaal aantal reizigers te komen dat dagelijks zal reizen op een traject.

Traject Emmen - Assen	Reistijd (r)	Aantal reizigers (G)
Emmen/Coevorden - Assen	28	1567
Emmen/Coevorden - Groningen	48	3437
Groningen - Twente	94	3102
Emmen/Coevorden – Appingedam/Delfzijl	85	86
Emmen/Coevorden – Leeuwarden	88	254
Appingedam/Delfzijl - Twente	133	121
Totaal		8567

Tabel 4a: Aantal reizigers op traject Emmen – Assen.

Traject Emmen - Groningen	Reistijd (r)	Aantal reizigers (G)
Emmen/Coevorden - Groningen	36	6111
Emmen/Coevorden - Leeuwarden	76	340
Groningen - Twente	80	4283
Emmen/Coevorden – Appingedam/Delfzijl	75	110
Emmen/Coevorden – Leeuwarden	76	416
Twente - Leeuwarden	120	577
Twente – Appingedam/Delfzijl	119	151
Totaal		11988

Tabel 4b: Aantal reizigers op traject Emmen – Groningen.

Traject Emmen – Stadskanaal	Reistijd (r)	Aantal reizigers (G)
Emmen/Coevorden – Stadskanaal/Veendam	17	2541
Emmen/Coevorden – Groningen	40	4950
Hoogezand-Sappemeer – Emmen/Coevorden	37	357
Hoogezand-Sappemeer – Twente	79	271
Groningen – Twente	84	3884
Emmen/Coevorden – Appingedam/Delfzijl	79	99
Emmen/Coevorden – Leeuwarden	80	375
Appingedam/Delfzijl – Twente	123	142
Stadskanaal/Veendam – Twente	64	620
Zwolle – Stadskanaal/Veendam	77	186
Totaal		13425

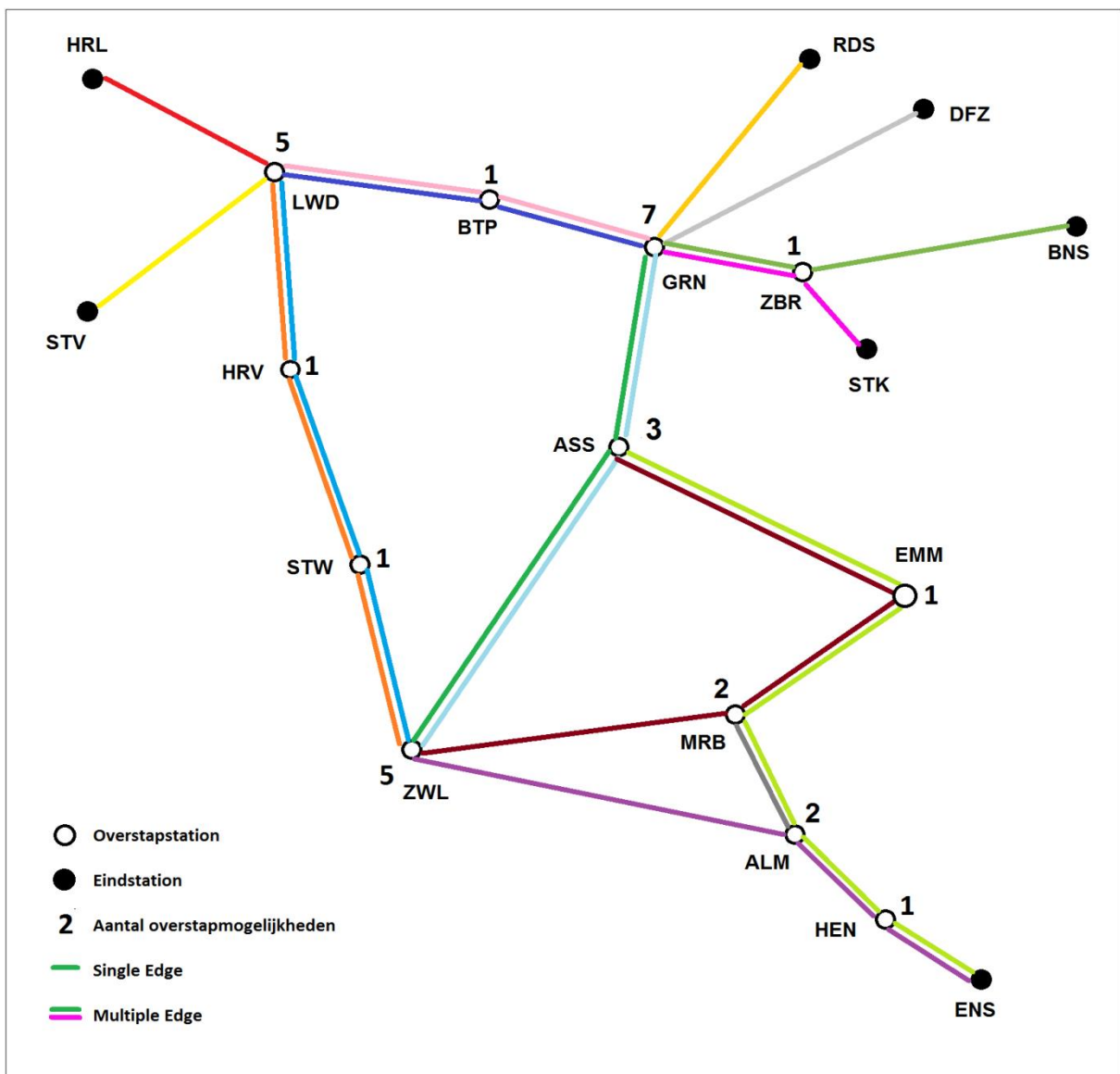
Tabel 4c: Aantal reizigers op traject Emmen – Stadskanaal.

Wat duidelijk wordt uit de resultaten van het graviteitsmodel, is dat het aantal reizigers op het traject tussen Emmen en Stadskanaal het grootst zal zijn, namelijk 13.425. Dit zijn er meer dan op het traject Emmen – Groningen (11.988) en Emmen – Assen (8.567). Er mag verondersteld worden dat de schattingen van concrete reizigersaantallen niet geheel betrouwbaar zijn, omdat de foutmarge van de constante waarschijnlijk hoog is en er veel aannames zijn gedaan over reizigersgedrag. De getallen geven echter wel de onderlinge verschillen aan op basis van het model.

4.2 Veranderingen in de graaf

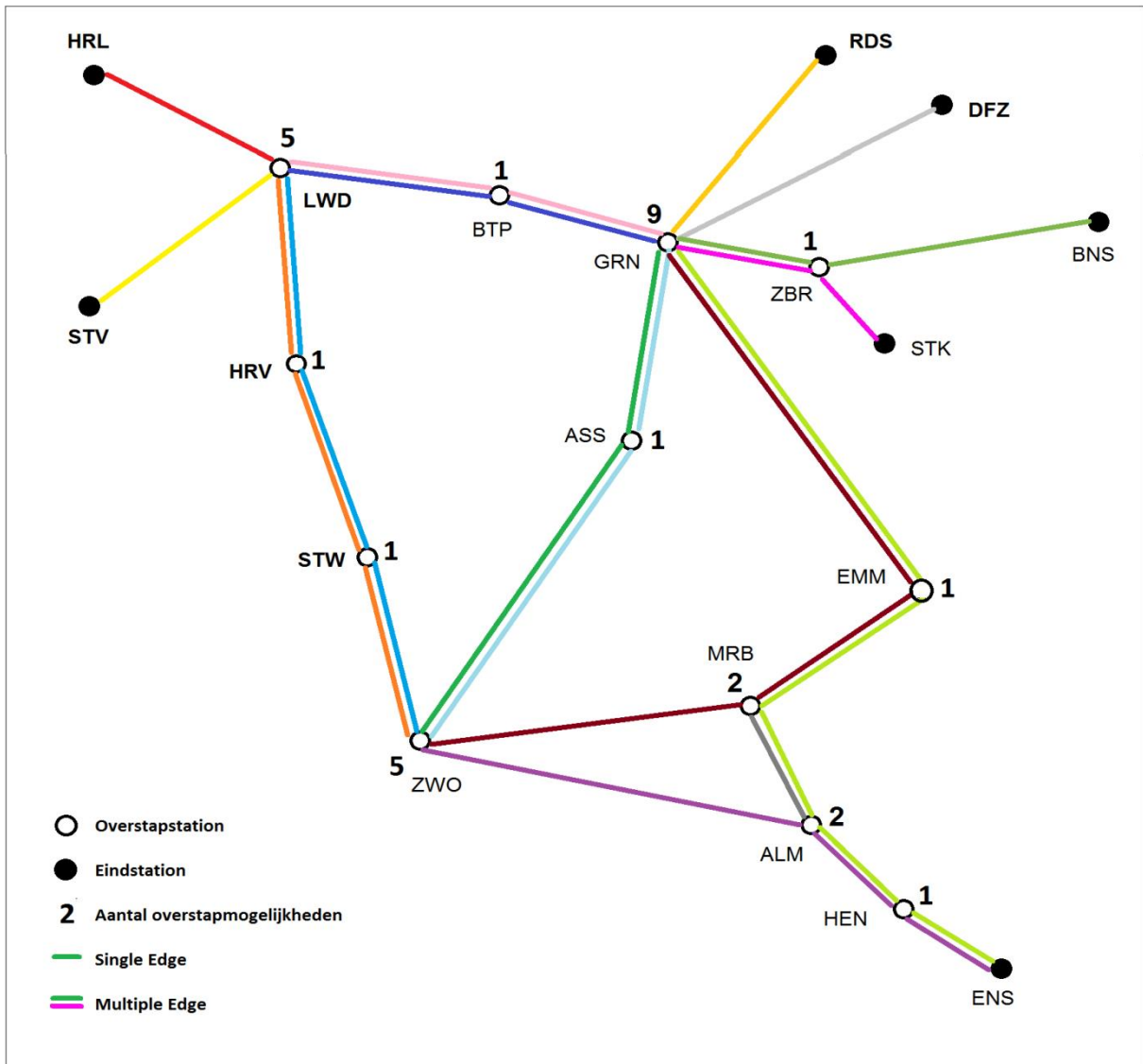
Het toevoegen van extra lijnen in de graaf van het huidige spoornetwerk (figuur 5) Levert veranderingen op in de karakteristieken (toestand, vorm en structuur) van deze graaf. Er zal hier een korte uitleg worden gegeven over hoe de nieuwe trajecten precies doorwerken in de graaf.

Emmen – Assen (figuur 6a): Dit traject zal in de graaf een lijn verlengen van Enschede naar Assen. Er ontstaan drie extra stations. De *end vertex* bij Emmen zal veranderen in een *transfer vertex*. Met de toevoeging van deze lijn wordt de totale lijnlengte 106 km langer. Omdat deze trein als intercity tussen Enschede, Hengelo, Almelo, Emmen en Assen wordt verondersteld, wordt ook de lijn van Zwolle naar Emmen doorgetrokken tot Assen als stoptrein. Een spoortraject zal immers nooit bereden worden door alleen intercity's. In dat geval zouden tussengelegen stations geen zin hebben. De totale lijnlengte wordt door deze verlengde lijn Zwolle – Emmen – Assen nog eens 45 km langer en ontstaat er tussen Assen en Emmen een *multiple edge*. Ook het aantal overstapmogelijkheden verandert.



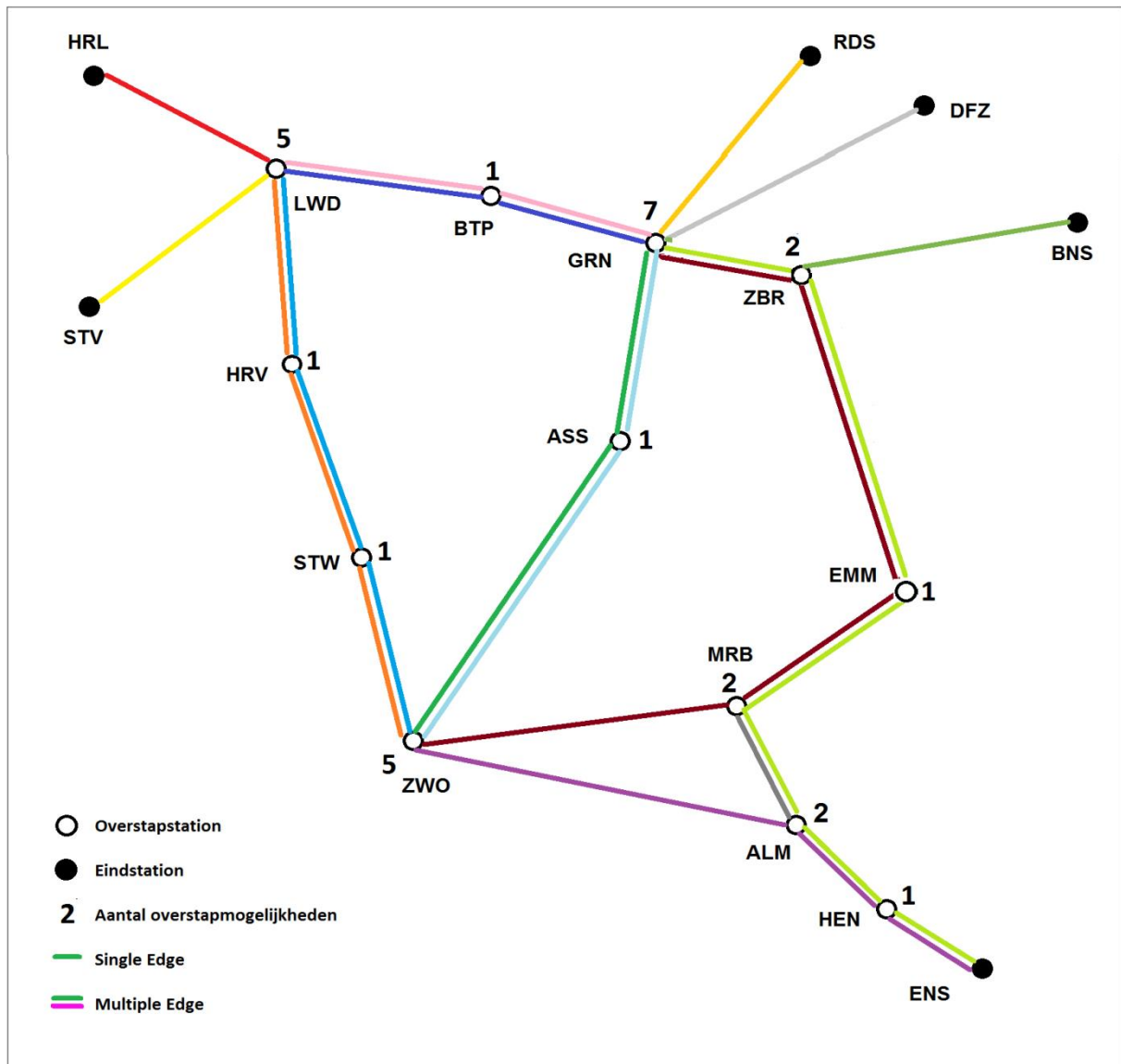
Figuur 6a: Graaf met toevoeging traject Emmen – Assen.

Emmen – Groningen (figuur 6b): Het toevoegen van dit traject levert in de graaf een langere lijn op, namelijk de lijn van Enschede naar Groningen. De totale lijnlengte van de graaf wordt hierdoor met 118 km vergroot en er ontstaan vier extra stations. Ervanuit gaande dat treinen op de nieuwe lijn tussen Enschede, Hengelo, Almelo, Emmen en Groningen zowel intercity's en stoptreinen worden, moet ook een extra lijn tussen Groningen en Emmen getekend worden. Dit resulteert in het doortrekken van de bestaande lijn tussen Zwolle en Emmen naar Groningen. De totale lijnlengte wordt hierdoor 57 km langer en een aantal *single edges* verandert in *multiple edges*. Emmen wordt een *transfer vertex* en het aantal overstapmogelijkheden in de graaf wordt groter.



Figuur 6b: Graaf met toevoeging traject Emmen – Groningen.

Emmen – Stadskanaal (Figuur 6c): Door deze spoorlijn in de graaf te verwerken ontstaat er tevens een nieuwe lijn van Enschede naar Groningen. Er ontstaat hierdoor 112 km extra totale lijnlengte. De *end vertex* Stadskanaal verdwijnt en er ontstaat een extra station, namelijk in Musselkanaal. De bestaande lijn van Groningen naar Stadskanaal zal nu doorrijden tot Zwolle. Omdat het ook bij deze spoorlijn aannemelijk is dat er zowel stoptreinen als intercity's gaan rijden bestaat het traject uit *multiple edges*. Hierdoor ontstaat er in totaal 140 km extra lijnlengte in de gehele graaf. Emmen verandert in een *transfer vertice*. Ook het aantal overstapmogelijkheden verandert.



Figuur 6c: Graaf met toevoeging traject Emmen – Stadskanaal.

4.3 Veranderingen in karakteristieken en indicatoren graaf

Met de aanleg van een lijn veranderen de eigenschappen, en dus ook de karakteristieken van de graaf. Een overzicht hiervan staat weergegeven in tabellen 5 en 6. Tabel 6 geeft de uitkomsten van de ingevulde formules die in hoofdstuk 3.3 beschreven zijn. Aan de hand van de uitkomsten in tabel 6 kan iets over de veranderende toestand, vorm en structuur gezegd worden.

	Lengte (L in km)	Stations (n_s)	Lijnen (n_L)	Max. transfers (δ)	Transfer opties (v^t_c)
Huidig netwerk	943	85	16	3	26
Emmen-Assen	1094	88	16	3	30
Emmen-Groningen	1118	89	16	3	30
Emmen-Stadskanaal	1083	86	15	3	29

Tabel 5: Karakteristieken van de grafen.

	Total Vertices (v)	End Vertices (v^e)	Transfer Vertices (v^t)	Total Edges (e)	Single Edges (e^s)	Multiple Edges (e^m)
Huidig netwerk	19	8	11	30	20	10
Emmen-Assen	19	7	12	34	21	13
Emmen-Groningen	19	7	12	34	21	13
Emmen-Stadskanaal	18	6	12	33	20	13

Tabel 5 (vervolg): Karakteristieken van de grafen.

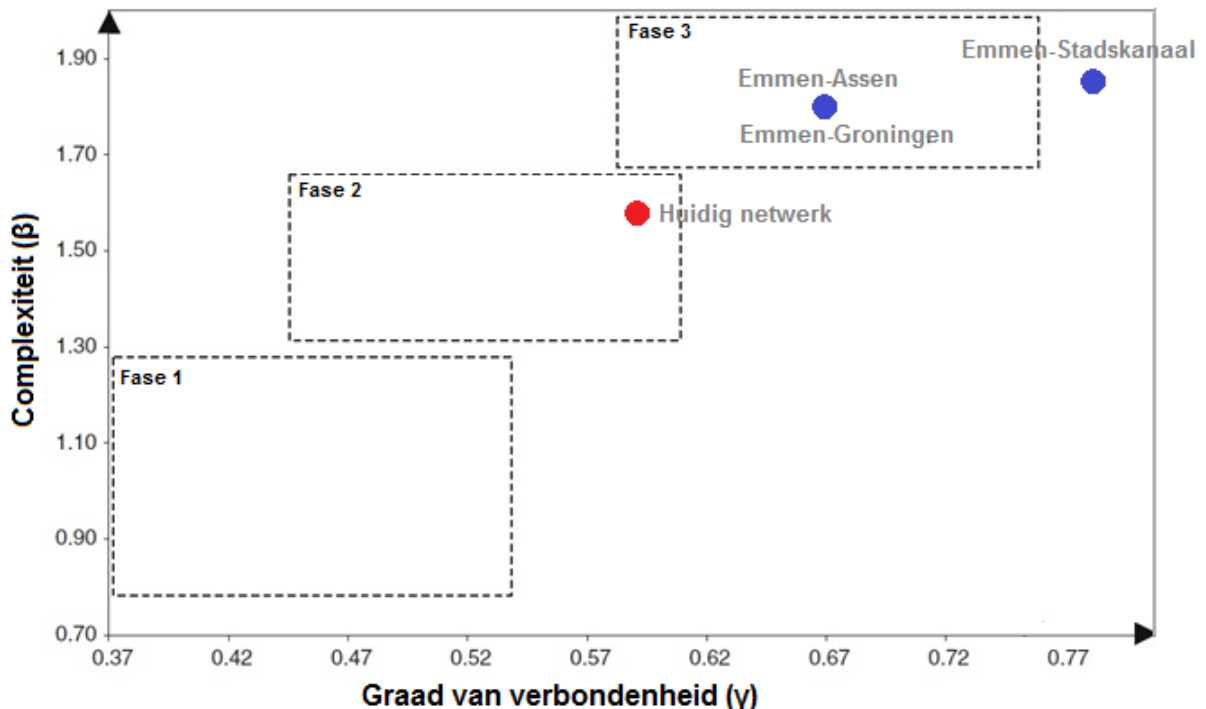
	Complexi- teit (β)	Graad van verbonden- heid (γ)	Gem. lijnlengthe (A)	Gem. afstand stations (S)	Str. verbon- denheid (ρ)	directheid (τ)
Huidig netwerk	1,579	0,588	58,94	11,09	1,455	5,333
Emmen-Assen	1,789	0,667	68,38	12,43	1,417	5,333
Emmen-Groningen	1,789	0,667	69,88	12,56	1,417	5,333
Emmen-Stadskanaal	1,833	0,786	72,20	12,59	1,333	5,000

Tabel 6: Karakteristieken van de grafen (toestand, vorm en structuur).

Om veranderingen in toestand, vorm en structuur overzichtelijk te maken, gebruiken Derrible en Kennedy spreidingsdiagrammen in hun onderzoek naar metronetwerken. De resultaten uit tabel 6 worden ook in dit onderzoek verwerkt in spreidingsdiagrammen voor toestand, vorm en structuur.

Toestand: Figuur 7a laat zien hoe de toestand van de graaf verandert met het toevoegen van de drie spoortrajecten vanaf Emmen. Derrible en Kennedy benoemen de toestand van netwerken in drie fasen. Hoe hoger de fase, hoe verder een netwerk is in zijn ontwikkeling. In het diagram is te zien dat het huidige netwerk zich in fase 2 bevindt. Het toevoegen van de spoorlijn Emmen – Assen of Emmen – Groningen brengt het netwerk in fase 3. Welke van de twee lijnen wordt aangelegd maakt hierbij niet uit. Het toevoegen van de lijn Emmen – Stadskanaal brengt het netwerk in de ‘beste’ toestand omdat de graad van verbondenheid hier substantieel toeneemt.

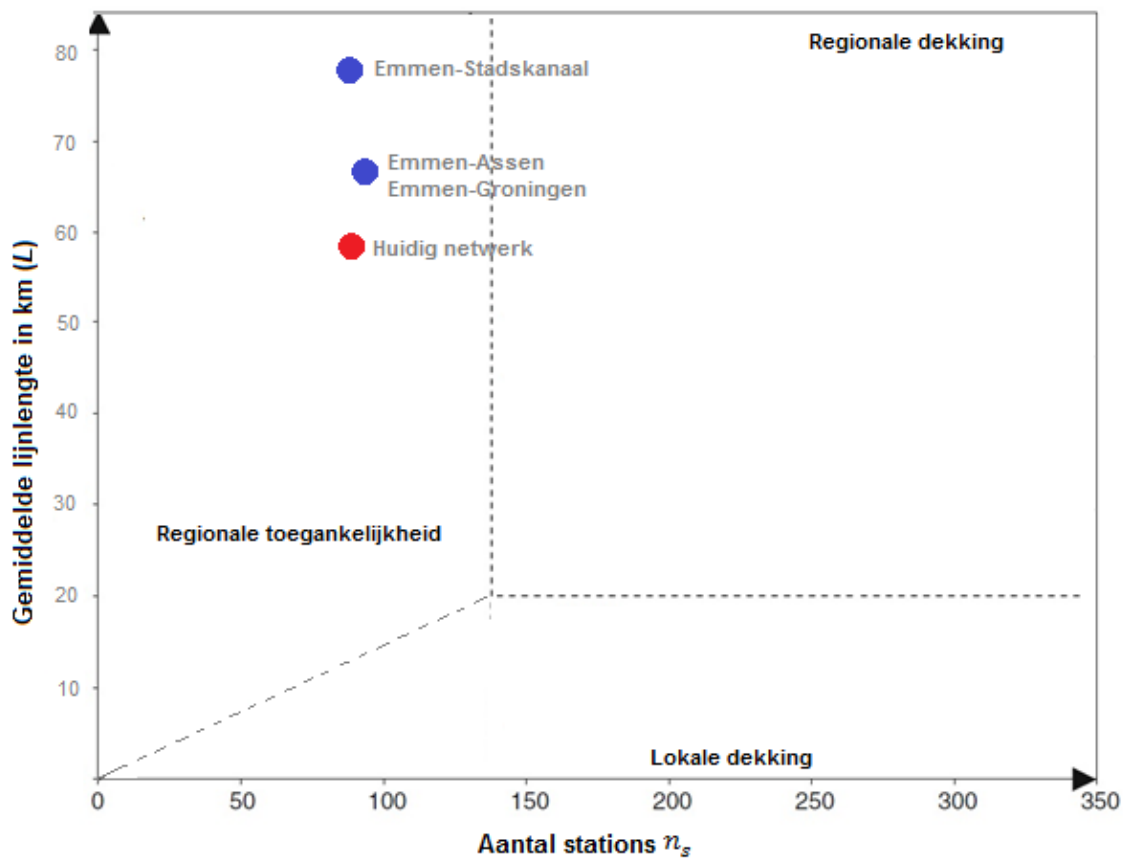
De kaders die Derrible en Kennedy in hun theorie stellen voor de verschillende fasen, zijn overgenomen uit hun onderzoek naar metronetwerken. Daarbij vallen alle toestanden van de geanalyseerde metronetwerken binnen deze grenzen. Bij figuur 7a kan dus de kanttekening geplaatst worden of voor treinnetwerken dezelfde kaders gelden. De toestand van het netwerk gaat namelijk voorbij aan fase 3 wanneer de lijn Emmen – Stadskanaal wordt toegevoegd. Het is aannemelijk dat wanneer de toestand van treinnetwerken bepaald wordt, de kaders van de fasen anders ingedeeld moeten worden dan bij de analyse van metronetwerken.



Figuur 7a: Veranderingen in de toestand.

Vorm: De karakteristiek vorm bepaalt of een metronetwerk gericht is op regionale toegankelijkheid, regionale dekking of lokale dekking. Voor treinnetwerken is deze karakteristiek minder geschikt. Zoals in figuur 7b te zien is valt het netwerk met iedere verandering in de categorie regionale toegankelijkheid. Dit is te verklaren omdat stations in een treinnetwerk logischerwijs op een grotere afstand van elkaar liggen dan in metronetwerken. De vorm van een treinnetwerk in Nederland is daarom vaak regionale toegankelijkheid.

Ook bij dit diagram kan dus de vraag gesteld worden of de grenzen die Derrible en Kennedy stellen om de vorm van een metronetwerk te bepalen realistisch zijn voor treinnetwerken in Nederland.



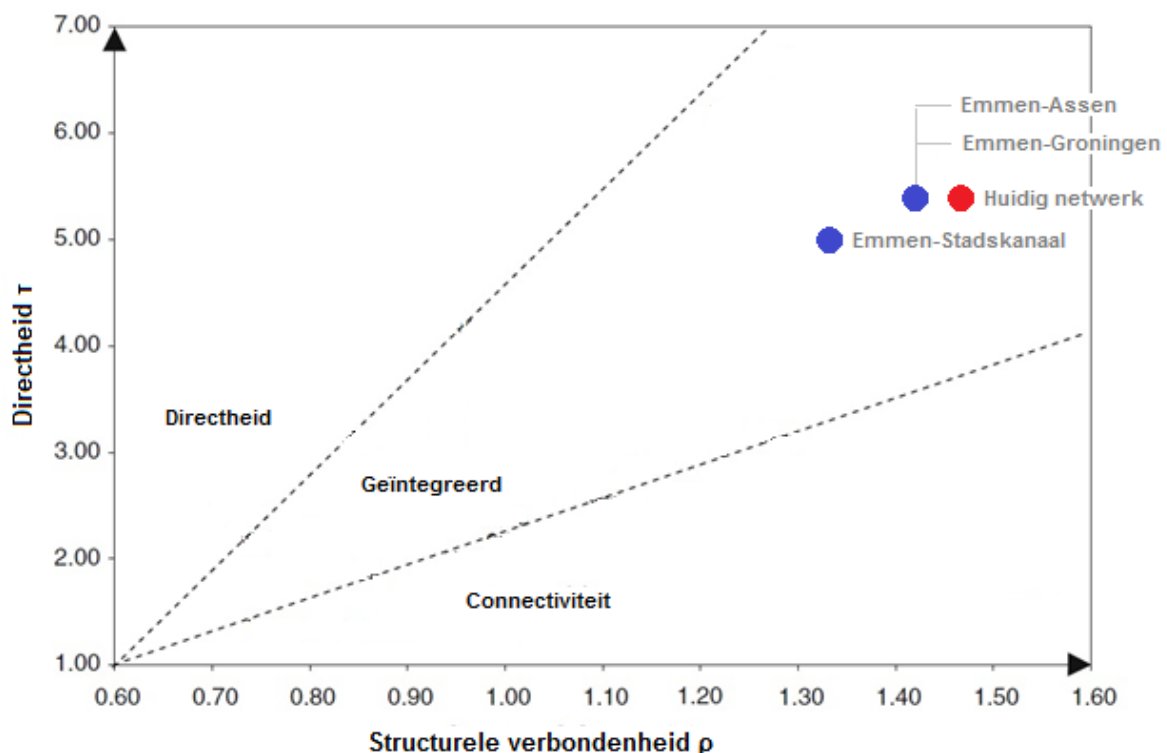
Figuur 7b: Veranderingen in de vorm.

Structuur: Wat duidelijk wordt in de structuur van de graaf, is dat het spoornetwerk duidelijk een geïntegreerd netwerk is (figuur 7c). Het aanleggen van nieuwe trajecten levert een opvallende daling op in de structurele verbondenheid. Wederom is te zien dat het voor de karakteristieken van graaf niet uitmaakt of de lijn Emmen – Assen wordt aangelegd of dat de lijn Emmen – Groningen wordt gerealiseerd.

De daling in structurele verbondenheid is opvallend, omdat er juist edges worden toegevoegd in het netwerk. Het zou logischer zijn als dit een positieve uitwerking heeft op de structurele verbondenheid. Er worden immers meer lijnen en stations aangelegd en de graadmeters die het netwerk analyseren zouden positiever moeten uitvallen. De formule die de structurele verbondenheid bepaalt luidt als volgt:

$$\rho = \frac{v_c^t - e^m}{v^t}$$

Hieruit valt op te maken dat de structurele verbondenheid gelijk is aan het verschil tussen het aantal overstapmogelijkheden en multiple edges, gedeeld door het aantal transfer vertices. Op basis van de veranderingen in deze variabelen (zie tabel 6) is de daling in structurele verbondenheid te verklaren. Derrible en Kennedy leggen dit als volgt uit: *“Indeed, adding one edge between two new vertices will not improve connectivity since the two new transferpossibilities at the numerator will be offset by the two new transfer-vertices at the denominator. It therefore becomes clearer that ρ effectively measures a rather structurally focused connectivity.”* Hierbij wordt dus benadrukt dat het gaat om de *structurele* verbondenheid, waarbij het uitbreiden van het netwerk niet altijd leidt tot een hogere waarde van de indicator. Het ontstaan van nieuwe transfer vertices (als noemer van de breuk in de formule) werkt een hogere structurele verbondenheid tegen.



Figuur 7c: Veranderingen in de structuur.

5. Conclusies

In dit onderzoek zijn op basis van netwerk- en mobiliteitstheorieën drie mogelijke nieuwe spoortrajecten in de provincie Drenthe met elkaar vergeleken. De drie trajecten waren Emmen – Assen, Emmen – Groningen en Emmen – Stadskanaal. De hoofdvraag luidt: *Wat zijn de kansen en beperkingen voor de ontwikkeling van nieuwe spoortrajecten en het hergebruiken van oude spoortrajecten in de provincie Drenthe, gezien vanuit bestaande netwerk- en mobiliteitstheorieën?*

Als mobiliteitstheorie is het uit de natuurkunde afkomstige graviteitsmodel gebruikt. Hiervoor werd een aantal steden en stedelijke regio's geselecteerd die als zwaartepunten in het model zouden fungeren. Aan de hand van een formule werd het aantal potentiële reizigers op een nieuw traject berekend. Op basis van een aantal stedelijke kenmerken als variabelen werden de meeste reizigers voorspeld op het traject Emmen – Stadskanaal, gevolgd door Emmen – Groningen. Emmen – Assen zou volgens het model de minste reizigers trekken.

Voor ieder traject werd een exact aantal reizigers berekend. Dit getal geeft echter slechts een zeer ruime indicatie. Het aantal reizigers tussen Appingedam/Delfzijl en Twente kan in het gunstigste geval bijvoorbeeld 151 zijn volgens het model. De vraag is of dat reëel is en de aannames correct zijn. Het model is gebaseerd op menselijk gedrag en dit is lastig te voorspellen. Ook zal het aantal reizigers op een traject van veel meer variabelen afhangen. Daarbij is het bepalen van een constante lastig, omdat de voorspelde reizigersaantallen volgens het Ministerie van Verkeer en Waterstaat op bestaande trajecten zeer wisselend correleren met het aantal inwoners in twee steden en de reistijd. Het Ministerie van Verkeer en Waterstaat geeft bovendien geen exacte reizigersaantallen. Het exacte voorspelde aantal reizigers op de nieuw te ontwikkelen trajecten in Drenthe is dus niet erg betrouwbaar. De onderlinge verschillen geven echter wel een indicatie welk traject het meeste draagvlak heeft.

Het graviteitsmodel zal een betere toepassing kunnen krijgen in het Nederlandse spoornetwerk wanneer de cijfers van het exacte aantal reizigers op een bestaand traject duidelijk zijn. In het ideale geval zou zelfs inzichtelijk gemaakt kunnen worden wat het aantal reizigers is dat van een bepaalde stad naar een andere stad reist. De NS zou deze cijfers, met behulp van gegevens van het in- en uitchecken met de OV-chipkaart, kunnen verkrijgen. Ook uitgebreider onderzoek naar reizigersmotieven zou de formule kunnen aanscherpen met meerdere variabelen die het reizigersgedrag bepalen.

Als netwerktheorie is gebruik gemaakt van de grafentheorie, en in het bijzonder de toepassing van Derrible en Kennedy (2009) op metronetwerken. Hun onderzoek naar de toestand, vorm en structuur van metronetwerken wordt in Drenthe toegepast om te kijken welk van de drie nieuwe trajecten het spoornetwerk het beste versterkt.

De belangrijkste conclusies hieruit zijn dat het voor de robuustheid van het netwerk vrijwel niks uitmaakt of het traject Emmen – Assen of Emmen – Groningen wordt aangelegd. De veranderingen in toestand, vorm en structuur zijn hierbij vrijwel altijd gelijk. Het toevoegen van het traject Emmen – Stadskanaal zorgt er vooral voor dat de graad van verbondenheid

vergroot wordt. Het aanleggen van elk van de drie trajecten zal de toestand van het spoornetwerk in het noorden van fase 2 naar fase 3 brengen. Een opvallende conclusie is dat de structurele verbondenheid van het netwerk kleiner wordt met het aanleggen van nieuwe trajecten.

Het gebruik van de grafentheorie om te vergelijken welk traject het netwerk het beste versterkt geeft echter het probleem dat het Nederlands spoornetwerk, hoewel van een bescheiden grootte, geen metronetwerk is. Dit komt vooral naar voren wanneer de vorm van het netwerk werd bepaald. Het aanleggen van nieuwe trajecten levert nauwelijks een verandering op. De vorm van het netwerk blijft regionale toegankelijkheid.

Een ander kritiekpunt bij het toepassen van de methode van Derrible en Kennedy in het Nederlandse spoornetwerk is, dat het bepalen van het aantal lijnen en de lijnlengte in de graaf op verschillende manieren gedaan kan worden. Het werken met lijnen is voor metronetwerken geschikt, omdat metro's vaak in afzonderlijke lijnen rijden, waarbij op elk station gestopt wordt. Bij treinnetwerken is dit anders. Wanneer een nieuw traject alleen als stoptrein zou rijden wordt het in de graaf een enkele lijn, maar wanneer er ook een intercity rijdt, wordt het een dubbele. Deze keuze heeft invloed op de uitkomsten wanneer een graaf geanalyseerd wordt.

Dit probleem zou in de theorie verwerkt kunnen worden door op basis van de mate van graviteit (het aantal reizigers) tussen twee steden te bepalen of een lijn alleen stoptreinen of ook intercity's krijgt in de graaf. Op die manier ontstaat er een link tussen het graviteitsmodel en de grafentheorie. Wanneer het graviteitsmodel op een van de trajecten een relatief groot aantal reizigers voorspelt, kan men dit in de graaf laten resulteren in een multiple edge, met zowel stoptreinen als intercity's. Het graviteitsmodel heeft dan wel een andere weerstandsvariabele nodig. Er zijn dan namelijk twee mogelijkheden voor de reistijd. Die van een stoptrein, of die van een intercity. Een vervangende weerstandsvariabele zou de afstand tussen steden kunnen zijn.

Ondanks het feit dat op beide theorieën het nodige aan te merken valt, kan wel een afweging gemaakt worden welk traject het beste aangelegd kan worden, wanneer deze vergeleken wordt met andere mogelijke trajecten. De conclusie hieruit is dat het traject Stadskanaal – Emmen het meeste nut zal hebben. Dit in tegenstelling tot de uitkomsten van het rapport 'Railvisie 2040'.

6. Literatuurlijst

- BAM & Goudappel Coffeng (2008), *Breda – Utrecht, de vergeten corridor*.
- Bertolini, L. (2005), *Evolutionary urban transportation planning: an exploration*, Amsterdam.
- Basisregistratie Topografie (2014-2015), *Spoorbanen en stations (incl. tram/metro)*.
- CBS Statline (2014), *Aantal personenauto's per duizend inwoners naar gemeenten*.
- CBS Statline (2015), *Aantal inwoners per gemeente*.
- CBS Statline (2014), *Mobiliteit in Nederland; vervoerwijzen en motieven, regio's*.
- CBS Statline (2014), *Mobiliteit in Nederland; persoonskenmerken en vervoerwijzen, regio's*.
- Derrible & Kennedy (2009), *Characterizing metro networks: state, form and structure*, Toronto.
- Draak, M. R. (2010), *De ontbrekende spoorlink van het noorden: vervoers- en optiewaarde studie voor de spoorlijn Heerenveen - Groningen*, Enschede.
- DvhN (2013), [Pleidooi voor spoor Emmen-Stadskanaal](#), Groningen.
- Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (2009), *Breda – Utrecht doorgerekend*, Den Haag.
- Lelij, A. van der (2008), *Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse van Nieuwe Spoorverbindingen tussen Groningen en Emmen*, Groningen.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007), [Landelijke markt- en capaciteitsanalyse spoor](#).
- Nederlandse Spoorwegen (2009), *Aantal in- en uitstappers*, Geraadpleegd op 3-10-2015 via www.treinreiziger.nl.
- Prins, E. (1995), *Systematisch ontwerpen van railnetwerken: een toepassing van de grafentheorie*, Delft.
- Provincie Drenthe (2010), *Railvisie 2040*, Assen.
- Rauws, W., Beeftink, M. & Hartman, S. (2010), *Crisis in de regionale planning: waar zijn de verbindende ruimtelijke concepten?*, Groningen.
- Rodrigue, J. P., Comtois, C., Slack, B. (2009), *The Geography of Transport Systems*. Londen, New York.
- Sanders, F. M. (1994), *Infrastructuurplanning en duurzame ontwikkeling*, Delft.
- Spoorbeeld (2012), *Visie op de omgeving van spoor en station*.

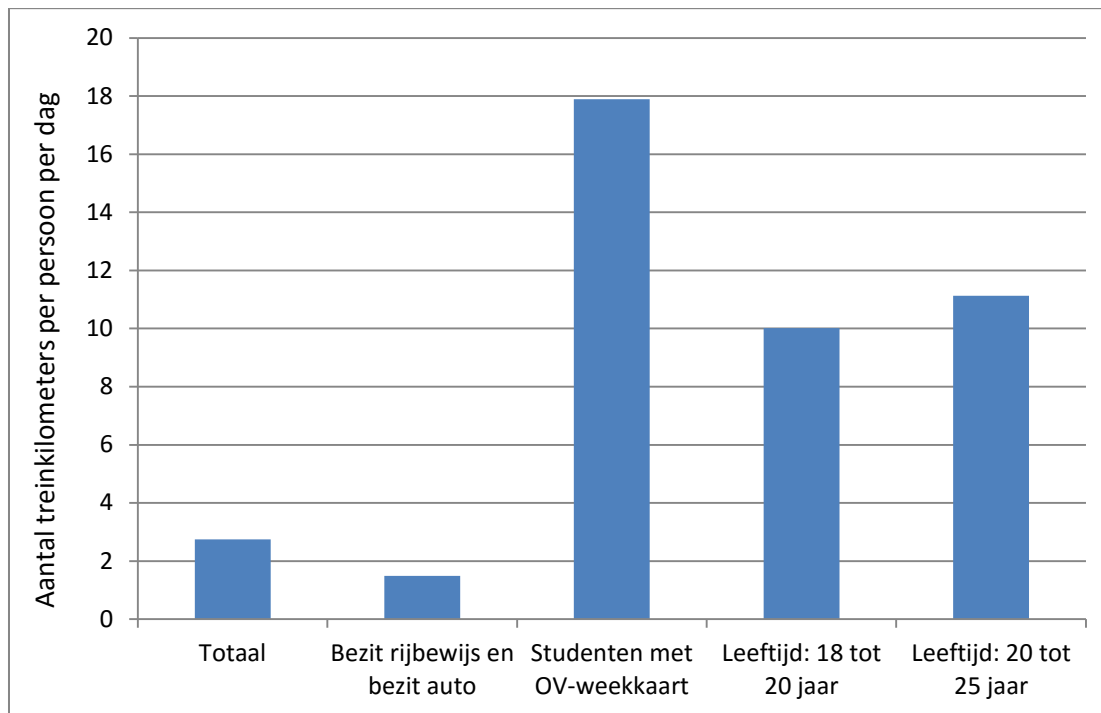
7. Bijlagen

Bijlage 1:

SOM									
=0,0002*((G28*H28)/((B28*C28*D28*E28*F28)^2)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
		r	a1	a2	s1	s2	A1	A2	G
28	Emmen/Coevorden - Assen	28	1,05	1,00	0,95	1,00	91000	67165	1567
29	Emmen/Coevorden - Groningen	48	1,05	0,85	0,95	0,80	91000	200210	3437
30	Groningen - Twente	94	0,85	1,00	0,80	0,95	200210	285650	3102
31	Emmen/Coevorden - Appingedam/Delfzijl	85	1,05	1,05	0,95	1,00	91000	37352	86
32	Emmen/Coevorden - Leeuwarden	88	1,05	1,05	0,95	0,90	91000	95949	254
33	Appingedam/Delfzijl - Twente	133	1,05	1,00	1,00	0,95	37352	285650	121
34	Totaal Emmen - Assen								8567
35									
36	Emmen/Coevorden - Groningen	36	1,05	0,85	0,95	0,80	91000	200210	6111
37	Emmen/Coevorden - Leeuwarden	76	1,05	1,05	0,95	0,90	91000	95949	340
38	Groningen - Twente	80	0,85	1,00	0,80	0,95	200210	285650	4283
39	Emmen/Coevorden - Appingedam/Delfzijl	75	1,05	1,05	0,95	1,00	91000	37352	110
40	Emmen/Coevorden - Leeuwarden	76	1,05	0,95	0,95	0,90	91000	95949	416
41	Twente - Leeuwarden	120	1,00	0,95	0,95	0,90	285650	95949	577
42	Twente - Appingedam/Delfzijl	119	1,00	1,05	0,95	1,00	285650	37352	151
43	Totaal Emmen - Groningen								11988
44									
45	Emmen/Coevorden - Stadskanaal/Veendam	17	1,05	1,05	0,95	0,95	91000	39945	2541
46	Emmen/Coevorden - Groningen	40	1,05	0,85	0,95	0,80	91000	200210	4950
47	Hoogezand-Sappemeer - Emmen/Coevorden	37	1,05	1,05	1,00	0,95	29433	91000	357
48	Hoogezand-Sappemeer - Twente	79	1,05	1,00	1,00	0,95	29433	285650	271
49	Groningen - Twente	84	0,85	1,00	0,80	0,95	200210	285650	3884
50	Emmen/Coevorden - Appingedam/Delfzijl	79	1,05	1,05	0,95	1,00	91000	37352	99
51	Emmen/Coevorden - Leeuwarden	80	1,05	0,95	0,95	0,90	91000	95949	375
52	Appingedam/Delfzijl - Twente	123	1,05	1,00	1,00	0,95	37352	285650	142
53	Stadskanaal/Veendam - Twente	64	1,05	1,00	0,95	0,95	39945	285650	620
54	Zwolle - Stadskanaal/Veendam	77	0,95	1,05	1,00	0,95	124032	39945	186
55	Totaal Emmen - Stadskanaal								13425

De gemiddelde constante voor het graviteitsmodel is bepaald op $\frac{1}{5000}$. Om tot de constante te komen zijn eerst alle variabelen) voor de trajecten (zie hoofdstuk 4.1) ingevuld in Excel. daarna is de volledige formule van het graviteitsmodel in de bovenste balk ingevoerd. Vervolgens is de constante op een dusdanige manier bijgesteld totdat er realistische getallen in de gele totaalbalken kwamen te staan. De mate van deze realiteit is bepaald op basis van bestaande reizigersaantallen op vergelijkbare trajecten in het noorden van Nederland zoals gegeven in het document *Landelijke markt- en capaciteitsanalyse spoor* (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007)

Bijlage 2:



Bron: CBS (2014)

Het totale aantal reizigerskilometers met de trein is gemiddeld 2,75 per persoon per dag. Voor personen die een auto (en rijbewijs) bezitten is dit iets meer dan de helft, namelijk 1,49 kilometer. Studenten met een Ov-weekkaart maken duidelijk meer gebruik van de trein. Per persoon leggen zij gemiddeld 17,89 kilometer per dag af. Over studenten met een Ov-weekendkaart, of studenten in het algemeen heeft het CBS geen gegevens beschikbaar. Het is dus aannemelijk dat het aantal kilometers in feite lager kan liggen dan 17,89. Wel wordt aangenomen dat studenten over het algemeen meer reizigerskilometers maken dan de gemiddelde Nederlander. Uit de gegevens van het CBS blijkt ook duidelijk dat personen in de leeftijdscategorie 18-25 veel meer gebruik van de trein maken. Deze leeftijdsgroep bestaat over het algemeen ook uit studenten.

Op basis van deze gegevens ontstaan de volgende aannames:

- Naarmate het autobezit in een stad hoger is in een stad, zal het treingebruik van en naar deze stad lager zijn.
- Naarmate het percentage studenten in een stad hoger is, zal het treingebruik van en naar deze stad hoger zijn.