

Doorontwikkeling en actualisatie van het strategisch goederenvervoersmodel van Nederland, BasGoed

Bart Wesseling – Significance – wesseling@significance.nl
John Spruijt – Rijkswaterstaat WVL – john.spruijt@rws.nl
Michiel de Bok – Significance en TU Delft – debok@significance.nl

Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 22 en 23 november 2018, Amersfoort

Samenvatting

Het optimaliseren van de goederen vervoerscorridors is een actuele beleidsvraag. Om deze en andere landelijke beleidsvragen rond goederenvervoer te kunnen beantwoorden is BasGoed ontwikkeld. BasGoed is onderdeel van het modelinstrumentarium van Ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&W) dat beheerd wordt door Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving. BasGoed is opgezet om op strategisch niveau uitspraken te kunnen doen over goederenvervoer, hiermee kunnen lange termijn prognoses voor de vervoersstromen over weg, water en spoor worden gemaakt.

Basgoed is in eerste instantie als eenvoudig goederenvervoersmodel opgezet, daarom ook de naam Basismodel voor Goederenvervoer (BasGoed). Om nieuwe beleidsvragen te kunnen beantwoorden, aan te sluiten bij recente ontwikkelingen in goederenvervoer en de kwaliteit van het model te verbeteren wordt het project BasGoed 2018 uitgevoerd om het model door te ontwikkelen. In dit project worden een groot aantal zaken veranderd in het BasGoed model. Zo is de volledige software architectuur gewijzigd, is de goederengroepindeling binnen het model gewijzigd om aan te sluiten bij de nieuwere NST indeling (voorheen NSTR). De zone-indeling is verfijnd: zo wordt er binnen Groot-Rijnmond nu onderscheid gemaakt tussen verschillende havenbekkens van de haven van Rotterdam en is de zonering in het buitenland verfijnd. Er is een nieuwe module toegevoegd die de binnenvaart reizen prognosticeert, en een geheel gewijzigde rittenmodule die de ritten via de weg prognosticeert.

Daarnaast is er in het model een scheiding aangebracht tussen containervervoer en niet-containervervoer. De niet-containerstromen stromen blijven via de modal-split en distributiemodule lopen. Voor het containertransport wordt er overgestapt op de nieuwe ContainerKetenModule. Om deze scheiding goed uit te voeren zijn de logit modellen van deze modules binnen BasGoed 2018 herschat. In de vorige versie van het strategische goederenvervoersmodel BasGoed werden multimodale containerstromen gemodelleerd als losstaande stromen per vervoerwijze. In de praktijk wordt echter volop gebruik gemaakt van multimodale transportketens voor containervervoer en vindt besluitvorming ook plaats op ketenniveau. Daarom draagt het toevoegen van de ContainerKetenModule waarin het containervervoer met multimodaleketens wordt gemodelleerd bij aan het beantwoorden van beleidsvragen rondom goederenvervoer.

Voor het ContainerKetenModule (CKM) zijn verschillende discrete keuze modellen getest. Het beste model bleek een multi nominal nested logit (MNNL) te zijn, waarbij er een nest voor intermodale ketens wordt meegenomen en een nest voor de hoofdvervoerswijzen spoor en binnenvaart. De kostengevoeligheden van het nieuwe model lijken plausibel. Met de volledige integratie van het CKM is het nu mogelijk om het openen of sluiten van multimodale containerterminals mee te nemen in de prognoses. Het nieuw geschatte model is in een voorbeeldcase toegepast door een nieuwe spoorterminal in Venlo mee te nemen in de prognoses. De resultaten laten zien dat het BasGoed model nu beleidsgevoelig is gemaakt voor het openen en sluiten van terminals.

1. Het Strategische Goederenvervoermodel BasGoed

Goederenvervoer is goed zichtbaar in Nederland. Overal om ons heen rijden vrachtwagens en varen schepen. Ons waterrijke land biedt grote voordelen voor transport over water en de haven van Rotterdam is de grootste toegangspoort van dit continent. De transportsector is een belangrijke driver voor de Nederlandse economie. Het goederenvervoer in Nederland is groeiende. In 2017 is het goederenvervoer in Nederland met 1,4% toegenomen (CBS, 2018). Het goed faciliteren van goederenstromen kan veel economische winsten opleveren. Voor Nederland is het van belang om voortdurend te anticiperen op ontwikkelingen op het gebied van verkeer en vervoer. Dit vindt plaats in verschillende verkenningen, projecten en programma's. Zo staat bijvoorbeeld in het MIRT onderzoek goederenvervoercorridors de vraag centraal hoe de Nederlandse logistieke corridors Oost en Zuid-Oost kunnen worden geoptimaliseerd (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017). De logistieke corridors verbinden onder andere de haven van Rotterdam met het Duitse Ruhrgebied. Binnen deze keten vinden er veel economische activiteiten plaats waar waarde wordt toegevoegd. Om de economische groei te kunnen opvangen dienen er ook voor deze corridors in kaart te worden gebracht wat de verwachte goederenstroom is en hoe deze optimaal kan worden gefaciliteerd. Met name het containertransport zal zich naar verwachting op deze corridors door ontwikkelen. Nederland zal blijvend actie moeten ondernemen om in de toekomst de concurrentiepositie te behouden en te versterken.

Basismodel voor Goederenvervoer (BasGoed)

De Nederlandse overheid heeft als rol het faciliteren van de handel en transport. De infrastructurele netwerken vormen de basis voor transport gerelateerde activiteiten. Er worden maatregelen genomen om ook in de toekomst alle (economische) ontwikkelingen te faciliteren. Voor een juiste inrichting van de goederenstromen is het van belang de omvang in te kunnen schatten en het effect van maatregelen te kunnen bepalen. Hiervoor is het **Basismodel voor Goederenvervoer** ontwikkeld (BasGoed). BasGoed is onderdeel van het modelinstrumentarium van Ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&W) dat beheerd wordt door Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving. BasGoed beschrijft de hoeveelheid goederen die binnen Nederland vervoerd worden per spoor, over de weg en met de binnenvaart. Het model wordt gebruikt om prognoses op te stellen voor de jaren 2030, 2040 en 2050. Periodiek worden de prognoses opgesteld om aan te sluiten bij de meest recente inzichten. De continue ontwikkelingen op het gebied van transport en logistiek leiden tot nieuwe beleidsvragen. Om de kwaliteit van de prognoses te waarborgen en nieuw type beleidsvragen te kunnen beantwoorden, wordt het model in 2017 en 2018 vernieuwd. Deze vernieuwing vindt plaats in het project BasGoed 2018.

Ontwikkeling ContainerKetenModule voor BasGoed (CKM)

Binnen dit project worden bestaande functionaliteiten vernieuwd en nieuwe functionaliteiten toegevoegd. Eén van de vernieuwingen is het integreren van een ContainerKetenModule in BasGoed. Deze module zoekt voor al het goederenvervoer per container een verdeling over multimodale routes tussen productielocatie en consumptielocatie. De toevoeging van deze module vergroot het toepassingsbereik van BasGoed en kan straks bijdragen aan het beter inschatten van effecten van maatregelen op corridorniveau. In deze paper zal de ontwikkeling van de ContainerKetenModule

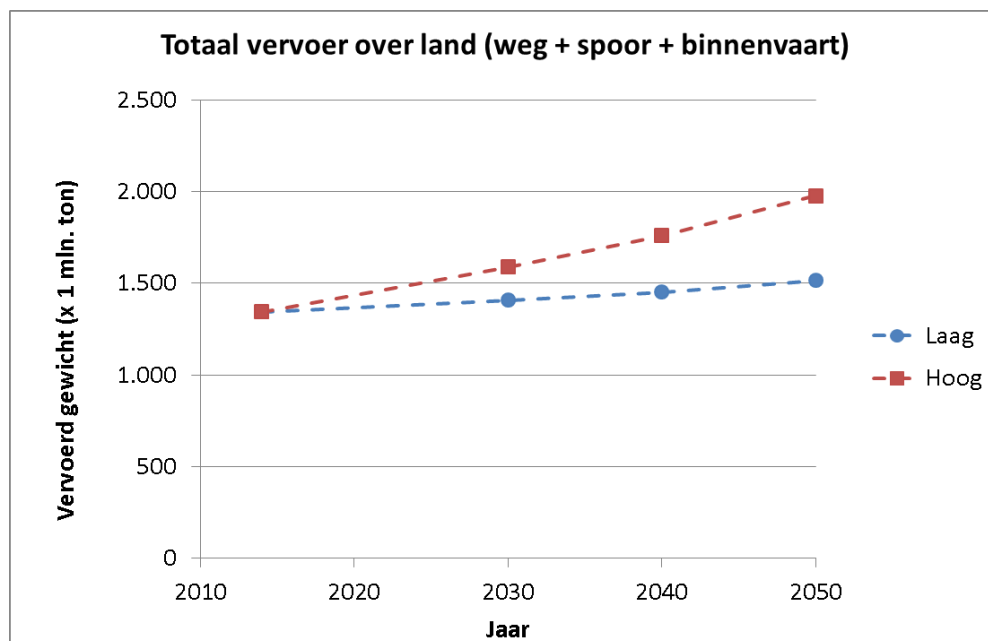
(CKM) worden toegelicht. Met een rekenvoorbeeld zal de werking en het nut van deze module worden geïllustreerd.

Korte Leeswijzer

Eerst volgt een toelichting op de algemene werking van het model. Daarna zal worden ingegaan op de wijzigingen en toevoegingen binnen het project BasGoed 2018. Vervolgens zal de ContainerKetenModule worden beschreven en wordt er dieper ingegaan op de werking van de module aan de hand van een toepassing.

2. De opzet van het model BasGoed

BasGoed is een strategisch goederenvervoermodel dat wordt ingezet voor beleidsanalyses en goederenvervoerprognoses (Figuur 1). Het model is bedoeld om effecten van maatregelen op goederenstromen door te rekenen. Dat kan bijvoorbeeld gaan om infrastructurele maatregelen als de Betuwelijn of ontwikkeling van de Tweede Maasvlakte, alsmede veranderende kostenstructuren door bijvoorbeeld hogere brandstofprijzen of vormen van beprijzing zoals een vrachtwagenheffing. In Figuur 2 is in een infographic de werking van BasGoed samengevat.



Figuur 1: Basisprognoses 2017 BasGoed (bron: Rijkswaterstaat, 2018)

Het model maakt gebruik van verschillende invoergegevens. Het gaat daarbij om:

- Waargenomen goederenstromen per modaliteit (basisbestanden goederenvervoer)
- Economische ontwikkelingen (WLO scenario's Hoog en Laag)
- Level of Service (Afstanden en reistijden)
- Kostenkentalen (kostenparameters)

Per modaliteit worden jaarlijks het aantal vervoerde goederen bijgehouden. Voor spoor worden de cijfers geleverd door Prorail. Vervoerde goederen over de weg en zeevaartgegevens worden door het CBS geleverd. Rijkswaterstaat zelf zorgt voor de basisbestanden voor de binnenvaart. De Planbureaus stellen de economische scenario's

op die ook door BasGoed wordt gebruikt. De bereikbaarheidstabellen komen voort uit andere toedelingsmodellen als het LMS (wegvervoer), BIVAS (Binnenvaart), NEMO (spoor) en geven de hoeveelheid tijd/afstand om van gebied A naar gebied B te verplaatsen. De tabellen bevatten alle relaties tussen BasGoed zones. De prognoses uit BasGoed zijn weer invoer voor de gedetailleerdere modaliteit specifieke modellen LMS, Bivas en NEMO. De kostenkennallen worden in verschillende modules gebruikt om de aantrekkelijkheid van een bepaald alternatief te bepalen zoals bijvoorbeeld welke bestemming er gekozen wordt of met welke modaliteit er vervoerd wordt.

Het model is modulair opgebouwd en berekent achtereenvolgens het volgende:

- Hoeveel goederen er geproduceerd en gebruikt worden in Nederland (economimodule)
- Hoeveel hiervan van waar naar waar vervoerd wordt (distributiemodule)
- Met welke vervoersmiddel dat gebeurt (modal split module)
- Hoeveel ritten dit voor het wegvervoer oplevert (rittenmodule)

Als eerste wordt binnen de economie module de waarde van de Nederlandse handel omgezet in hoeveelheid goederen die per zone geproduceerd en geconsumeerd worden. De economische module heeft als startpunt de waarde van de handel tussen Nederland en het buitenland, gedifferentieerd naar verschillende sectoren. Op de handel per sector wordt een jaarlijkse groei toegepast die gebaseerd is op de economische scenario's. Binnen de module vindt verder een regionalisatie plaats voor de vertaling van handel op nationaal niveau naar regionaal niveau. Ook wordt de waarde van de handel omgezet in gewicht door middel van waardegewichtverhoudingen. Per sector wordt bepaald welke goederen er gebruikt en geproduceerd worden. Met de koppeling tussen sectoren en goederen kan de groei voor de goederensoorten bepaald worden. Een gedetailleerde beschrijving van de economimodule is te vinden in Bovenkerk (2005).

Nu per zone bekend is hoeveel goederen geproduceerd en geconsumeerd worden kan in de distributiemodule bepaald worden van waar naar waar de goederen stromen. In deze module wordt een gewogen weerstand (afgeleide van de weerstand van de drie modaliteiten samen) gebruikt binnen een zwaartekrachtmodel.

In de modal split module wordt per relatie bepaald wat de verdeling is over de modaliteiten aan de hand van nutsfuncties. Hoe lager de kosten hoe hoger het nut en dus hoe aantrekkelijker de vervoerswijze. Uiteindelijk komt uit deze module het aantal ton vervoerd goed per modaliteit per relatie en goederensoort. Meer informatie over de distributie en modal split module in BasGoed is te vinden De Jong et al. (2011).

Als laatste wordt er in de rittenmodule voor al het vervoer over de weg bepaald hoeveel ritten er nodig zijn. Hierin wordt onderscheid gemaakt naar verschillende voertuigtypen.

Voor alle modules geldt dat er een groei bepaald wordt. Door de berekende groei toe te passen op het huidige vervoerspatroon worden de geprognosticeerde goederenstromen voor 2030, 2040 en 2050 verkregen, een groeifactor aanpak.

3. Doorontwikkeling model binnen het project BasGoed 2018

Om nieuwe beleidsvragen te kunnen beantwoorden, aan te sluiten bij recente ontwikkelingen en de kwaliteit van het model te waarborgen wordt het model doorontwikkeld binnen het project BasGoed 2018. Het project, dat in samenwerking met Significance, Panteia, Demis en DATMobility wordt uitgevoerd, levert een geheel nieuwe modelversie op van het goederenvervoermodel. In dit project worden verschillende wijzigingen doorgevoerd. De belangrijkste ontwikkelingen zijn:

- Toevoeging van de ContainerKetenModule (CKM)
- Toevoeging van de reizenmodule voor binnenvaart
- Een sterk gewijzigde rittenmodule voor het wegvervoer
- Verfijning van de geografie van het model
- Aanpassen goederengroepindeling
- Actualiseren van verschillende invoerbestanden

Daarnaast wordt ook de documentatie herzien en wordt een verbeterde software architectuur opgeleverd.

De ContainerKetenModule voorspelt voor containerstromen de verdeling over de vervoerswijzen en vervoersrelaties voor binnenvaart, weg en spoor. In tegenstelling tot niet-container stromen wordt binnen deze module voor containers een vervoersketen bepaald. Het aantal overslagterminals wordt in de berekening meegenomen en zodoende heeft het openen en sluiten van terminals invloed op de vervoersstromen.

Met de nieuwe modelversie van BasGoed kan bepaald worden hoeveel reizen er gemaakt gaan worden door de binnenvaart op basis van de geprognosticeerde vervoerde tonnen. Dit gebeurt met een relatief eenvoudige groeifactorberekening.

De rittenmodule in BasGoed is sterk gewijzigd. Deze module, die de toekomstige ritten via de weg prognosticeert, is uitgebreid met een voertuigtypekeuze model.

De wijzigingen in de goederengroepindeling zijn nodig om aan te sluiten op de wijze waarop goederen geregistreerd worden. Voorheen waren de BasGoed goederengroepen gebaseerd op de oude NSTR goederenclassificatie. Met de nieuwe goederengroepindeling wordt aangesloten op de NST2007 classificatie. In Tabel 1 is de nieuwe goederengroepindeling van BasGoed weergegeven.

Tabel 1: Overzicht van goederengroepen in BasGoed

Nummer	Goederengroep
1	Landbouw-, bosbouw- en visserijproducten
2	Steenkool, bruinkool en cokes
3	Ruwe aardolie en aardgas
4	Ertsen
5	Zout, zand, grind, klei
6	Aardolieproducten
7	Chemische producten

8	Kunststoffen/rubber
9	Basismetalen en metaalproducten
10	Overige minerale producten
11	Voedings- en genotsmiddelen
12	Machines, elektronica en transportmiddelen
13	Overige goederen

De geografische verfijning is toegepast voor het gebied Rotterdam-Rijnmond. Met deze verfijning kan er onderscheid worden gemaakt in de groeiprognoses voor het stadsdeel van Rotterdam en de verschillende havenbekkens. Ook is voor het buitenland op Europees grondgebied een verfijning naar NUTS2 niveau aangebracht om vervoer over de grens beter te kunnen modelleren, met name bedoeld voor inzicht op het vervoer bij grensovergangen.



Figuur 2: infographic BasGoed

4. De ContainerKetenModule van BasGoed

In de eerste delen van deze paper hebben we een overzicht gegeven van het model BasGoed, de verschillende modules die er binnen BasGoed zijn en welke aanpassingen er recent aan deze modules zijn gedaan. Naast dit overzicht wilde we ook inzoomen op de technische details. Omdat alle details te veel zou zijn voor deze paper, beperken we ons tot de ContainerKetenModule. In dit hoofdstuk zal de opzet van het model, de modelschattingen en een toepassing van het model worden beschreven.

4.1 *Introductie van de ContainerKetenModule*

In de vorige versie van het strategische goederenvervoermodel BasGoed werden multimodale containerstromen gemodelleerd als losstaande stromen per vervoerwijze. In de praktijk wordt echter volop gebruik gemaakt van multimodale transportketens voor containervervoer, in het bijzonder voor zeehavengebonden ketens, en vindt besluitvorming ook plaats op ketenniveau. Om met deze ketens van containerstromen rekening te kunnen houden en om effecten van het openen/sluiten van multimodale terminals door te kunnen rekenen, is in BasGoed 2018 het prototype van de ContainerKetenModule volledig geïntegreerd in BasGoed. Het prototype van de ContainerKetenModule is beschreven in de Bok et al. (2017). Binnen BasGoed 2018 is deze module volledig geïntegreerd binnen BasGoed heeft er een herspecificatie en herschatting van de module plaatsgevonden.

4.2 *Keuze alternatieven*

De ContainerKetenModule maakt onderscheid tussen maritieme stromen en continentale stromen. Maritieme stromen zijn containerketens die een zeehavenregio als begin en/of eindpunt hebben. De zeehavenregio's die in de ContainerKetenModule worden onderscheiden zijn: Amsterdam, Antwerpen en de 5 havenbekkens van de haven van Rotterdam.

In deze zeehavens wordt directe overslag naar spoor en binnenvaart verondersteld. Bij alle andere continentale zones wordt verondersteld dat er eerst wegtransport noodzakelijk is om goederen naar een multimodale terminal te vervoeren om vervolgens daar overgeslagen te worden op spoor of binnenvaart. Voor directe alternatieven geldt dat altijd het snelste directe alternatief beschikbaar is. Voor multimodale ketens wordt uitgegaan van een maximaal aantal keuzealternatieven, omdat rekening wordt gehouden dat niet per sé de snelste multimodale keten gekozen wordt. Omdat in veel regio's overslag van goederen mogelijk is, zijn theoretisch een groot aantal multimodale ketens te vormen, maar waarvan de meeste geen waarschijnlijke keuze alternatieven zijn. Daarom wordt voor de multimodale ketens uitgegaan van de 5 snelste multimodale ketens met hoofdvervoerswijze spoor en de 5 snelste ketens met hoofdvervoerswijze binnenvaart. Er worden voor bijna alle productie en consumptie relaties 11 verschillende keuze alternatieven meegenomen in de schattingen en toepassing van het containerketenmodel. Alleen tussen twee zeehavenzones wordt er met slechts 3 keuzealternatieven gerekend omdat er voor de binnenvaart en spoor slechts één mogelijke alternatief is (er is zowel aan de productie als aan de consumptie zijde geen voor of natransport via de weg noodzakelijk). Een overzicht van de verschillende ketentypes die worden meegenomen is weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2: Overzicht van multimodale ketens (we=weg, sp=spoor, bi=binnenvaart; T=multimodale terminal)

Segment	Keten type	omschrijving	# alts.	Nr. keuze-alternatieven
Continentaal	we	direct weg	1	11
	we-T-sp-T-we	IM spoor	5	
	we-T-bi-T-we	IM binnenvaart	5	
Zeehavens afvoer	we	direct weg	1	11
	sp-T-we	IM spoor met direct toegang in zeehaven	5	
	bi-T-we	IM bvrt met direct toegang in zeehaven	5	
Zeehavens aanvoer	we	direct weg	1	11
	we-T-sp	IM spoor met direct toegang in zeehaven	5	
	we-T-bi	IM bvrt met direct toegang in zeehaven	5	
Tussen Zeehavens	we	Weg direct	1	3
	sp	Spoor direct	1	
	bi	Binnenvaart direct	1	

4.3 Data gebruikt voor de schattingen

Omdat er geen data beschikbaar is op het niveau van multimodale ketens zijn vele veronderstellingen nodig om de unimodale herkomst-bestemmingsstromen te vertalen naar multimodale ketens. De volgende aanpak wordt gehanteerd om te komen tot Productie Consumptie-ketendata.

Voor iedere Productie-Consumptie regio wordt bepaald of en hoe de stromen tussen productie zone, multimodale terminals en consumptie zones loopt. Om de unimodale herkomst-bestemmingstromen (als bron voor deze stromen worden de Basisbestanden Goederenvervoer gebruikt) te vertalen naar multimodale ketens tussen productie- en consumptielocatie, zijn vervolgens diverse veronderstellingen nodig. In een aparte notitie (TNO, 2016) is het databewerkingsproces in meer detail beschreven. Op hoofdlijnen is er een methode bepaald om de verschillende data zodanig te combineren dat de uiteindelijke PC matrix zo consistent mogelijk is met de data die als input wordt gebruikt. Deze matrix dient als input voor de schatting en implementatie van de ContainerKetenModule.

4.4 Kosten functie in de ContainerKetenModule

In de ContainerKetenModule wordt de kostenfunctie (formule 1) gebruikt om de kosten van de verschillende multimodaleketens uit te rekenen. In deze formule worden de afstand en tijdskosten van de verschillende legs waaruit de keten is opgebouwd bij elkaar opgeteld. Daarnaast worden ook de kosten voor de overslag van weg naar spoor/binnenvaart of andersom meegenomen.

$$G_{i,j,r,g} = \sum_{l \in r} (c_{v,g}^d \cdot D_{i,j,l} + c_{v,g}^t \cdot T_{i,j,l}) + \sum_{t \in r} (c_{v,g}^{ove}) \quad (1)$$

Waarin:

- G : totale transportkosten
- i, j : herkomst resp. bestemming
- g : goederengroep
- r : route (=keten)

l	: ketensegment
t	: terminal
v	: hoofdvervoerswijze
$c_{v,g}^d$: afstandafhankelijke tarief (Euro/tonkm)
D	: afstand (km)
$c_{v,g}^t$: tijdafhankelijke tarief (Euro/ton/h)
T	: transporttijd (h)
$c_{v,g}^{ove}$: overslagkosten (Euro/ton/terminal): kosten die de terminal rekent voor overslag, inclusief kosten voor personeel en materieel van de terminal.

In de schatting van routekeuzemodellen wordt de kostennutsfunctie aangevuld met modaliteitsspecifieke constanten die naast modaliteit ook verschillen tussen zeehavengebonden ketens en continentale ketens bevatten. Tijd is al opgenomen in de berekening van de gegeneraliseerde kosten. In de nutsfunctie komt tijd voor een tweede keer terug om de kapitaalkosten uit te drukken. Dit zijn de kosten voor interest, ontwaarding en verzekering van goederen tijdens het transport.

$$U_{i,j,r} = \beta_{s,g}^{gcost} \cdot G_{i,j,r} + \beta^{kcost} \cdot (T_{i,j,r} + t_v^{ove}) + \beta_v^{term} \cdot \ln(KP_{v,r}) + MSC_{s,v} \quad (2)$$

Waarin:

$G_{i,j,r}$: transportkosten G tussen herkomst i en bestemming j over route r, zie vergelijking (1);
$T_{i,j,r}$: transporttijd in uur tussen herkomst i en bestemming j over route r;
t_v^{ove}	: overslagtijd in uur vervoerswijze (v) specifiek;
$\beta_{s,g}^{gcost}$: te schatten coëfficiënt voor de totale transportkosten per goederengroep g, per segment s, waarbij onderscheid is gemaakt naar de segmenten zeehaven gebonden en continentaal;
β_s^{kcost}	: te schatten coëfficiënt voor transporttijd in uren, met name de invloed van kapitaalkosten (financieringskosten goederen tijdens transport);
β_v^{term}	: te schatten coëfficiënt voor aantal terminal combinaties in de multi-modale-keten
$MSC_{s,v}$: constante per hoofdvervoerswijze v van de keten (direct weg, IM spoor of IM bvrt), per segment s, waarbij onderscheid gemaakt is naar de continentale en zeehavengebonden stromen.

4.5 Openen en Sluiten van Container Terminals

Door het openen of sluiten van containerterminals kunnen multimodale container routes verschuiven. Om de verschuiving van deze routes te simuleren in BasGoed wordt een variabele KP (ketenpotentiaal) meegenomen in utiliteitsfunctie van de ContainerKetenModule. Het Ketenpotentiaal is het aantal mogelijk routes dat gezien het aantal terminals tussen deze twee zones kan bestaan. De variabele voor het ketenpotentieel moet in een natuurlijke logaritme staan om deze onafhankelijk van de zonering te maken McFadden (1978). Een grafische weergave voor het ketenpotentiaal is gegeven in Figuur 3. Formule 3 geeft het ketenpotentiaal in formulevorm.

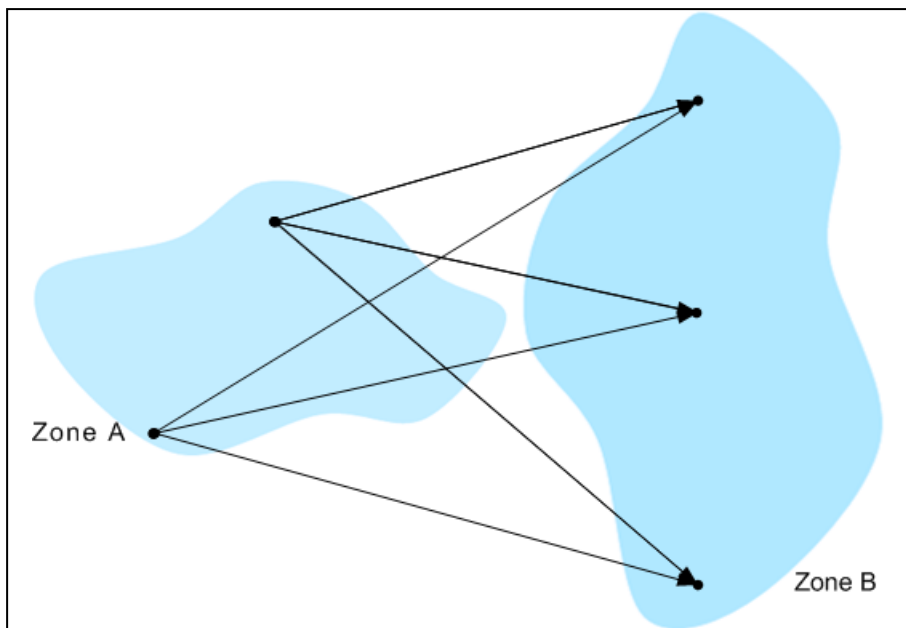
$$KP_{v,r} = (N_{termT1,v} * N_{termT2,v}), \text{ IF } (v \neq \text{weg}) \quad (3)$$

Waarin:

$KP_{v,r}$ = Het ketenpotentieel voor route r met hoofdvervoerswijze v , waar v binnenvaart of spoor kan zijn.

$N_{termT1,v}$ = Het aantal terminals in de regio waar de goederen op hoofdvervoerswijze v worden overgeladen, de eerste terminalregio van de route, waarbij v alleen spoor of binnenvaart kan zijn.

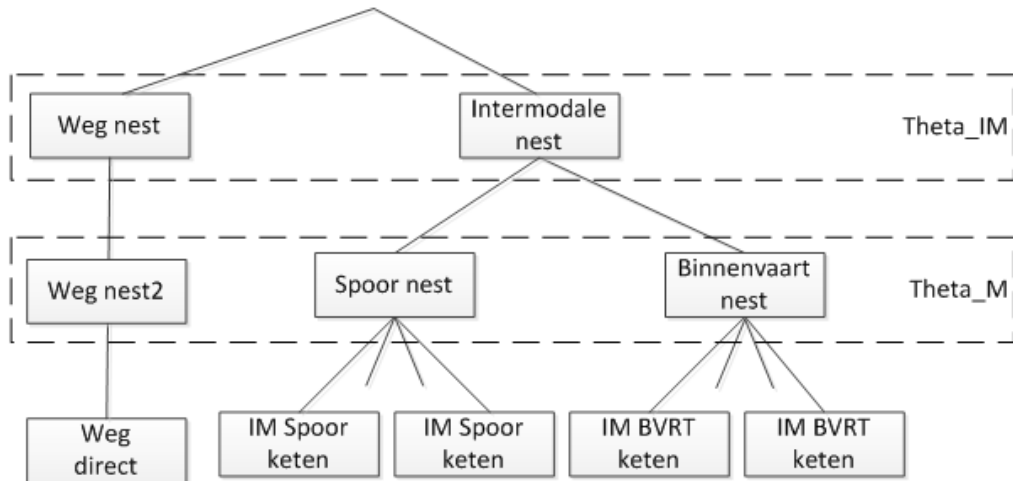
$N_{termT2,v}$ = Het aantal terminals in de regio waar de goederen vanaf hoofdvervoerswijze v worden geladen, de tweede terminalregio van de route, waarbij v alleen spoor of binnenvaart kan zijn.



Figuur 3: Hypothetische situatie met zone A met twee terminals en zone B met drie terminals. De ketenpotentiaal heeft in dit geval: $2 \times 3 =$ waarde 6.

4.6 Schattingsresultaten

In het ContainerKetenModule is een multi-nominal nested logit (MNNL) model geschat. De neststructuur die is geschat is weergegeven in Figuur 4. Hierin is een neststructuur met 2 niveaus weergegeven. Het eerste level nest neemt alle spoor en binnenvaart alternatieven samen in één nest. In het tweede level is er een nest voor alle alternatieven met spoor als hoofdvervoerswijze en een nest met binnenvaart als hoofdvervoerswijze. De eerste level nest zorgt ervoor dat de multimodale alternatieven spoor en binnenvaart meer uitwisseling met elkaar hebben dan met weg vervoer. De tweede level nest zorgt voor dat de alternatieven met spoor als hoofdvervoerswijze meer uitwisseling met elkaar hebben dan met de andere alternatieven, net zoals de alternatieven met binnenvaart als hoofdvervoerswijze een sterkere uitwisseling met elkaar hebben dan met de andere alternatieven. In de schattingen van het model worden twee nestcoëfficiënten meegenomen, θ_{IM} voor het eerste level nest en θ_M voor het tweede level nests.



Figuur 4: Neststructuur met 2 niveaus, waarvan het eerste niveau met multimodale nest is en het tweede niveau de hoofdvervoerswijzen onderscheidt.

In de schattingen van het CKM zijn goederengroepen 2 & 4 en 3 & 6 bij elkaar genomen. Het aantal waarnemingen in goederengroepen 2 en 3 is te gering om significante coëfficiënten voor totale transportkosten te schatten. Daarom zijn deze twee goederengroepen gecombineerd met de goederengroepen die qua type goederen het meest lijken op de goederen in goederengroep 2 en 3.

Tabel 3: Overzicht van de schattingsresultaten van de ContainerKetenModule, tussen haakjes de t-waarden

Schattingresultaten ContainerKetenModule			
algemene info	Aantal waarnemingen	44650	
	Final log (L)	-32336.3	
	D.O.F.	31	
	Rho ² (0)	0.672	
		continentaal	zeehaven gebonden
coefficienten	$\beta_{gcost13}$	-0.5767 (-28.5)	-0.9695 (-61.1)
	$\beta_{gcost12}$	-0.4901 (-24.6)	-0.8454 (-42.8)
	$\beta_{gcost11}$	-0.5683 (-28.1)	-0.8909 (-61.2)
	$\beta_{gcost10}$	-0.6524 (-13.0)	-1.346 (-26.5)
	β_{gcost9}	-0.6354 (-17.3)	-1.109 (-41.3)
	β_{gcost8}	-0.3208 (-8.8)	-0.9901 (-33.5)
	β_{gcost7}	-0.6731 (-22.1)	-1.369 (-45.3)
	β_{gcost5}	-0.8810 (-11.9)	-1.301 (-22.0)
	β_{gcost3_6}	-0.5860 (-5.2)	-0.9393 (-12.9)
	β_{gcost2_4}	-3.195 (-4.3)	-1.795 (-9.4)
	β_{gcost1}	-0.4956 (-20.4)	-0.9190 (-43.2)
	MSC_sp	-32.68 (-44.2)	-11.85 (-54.5)
	MSC_iw	-25.19 (-43.2)	-9.374 (-52.4)
	β_{term_sp}	0.2429 (4.1)	
	β_{term_iw}	0.2973 (8.1)	
	β_{kcost}	-0.00942 (-3.5)	
nest coefficienten	Theta_IM	0.2009 (29.5)	
	Theta_M	0.5446 (31.2)	

In deze paper wordt alleen de eindspecificatie van het schattingsonderzoek van de ContainerKetenModule gepresenteerd. De eindspecificatie van het ContainerKetenModule bevat 22 coëfficiënten (Gcost) die de totale transportkosten meenemen. Er is onderscheid gemaakt tussen continentale containerketens en maritieme containerketens. Naast de totale transportkosten zijn er ook coëfficiënten geschat voor kapitaalkosten (Kcost). Er zijn 4 alternatief specifieke constanten meegenomen. Bij deze coëfficiënten wordt ook onderscheid gemaakt tussen maritieme en continentale stromen, en tussen de hoofdvervoerswijzen spoor en binnenvaart.

Na de modelschattingen zijn er op basis van de geschatte coëfficiënten ook kostengevoeligheden berekend. In Tabel 4 zijn de kostengevoeligheden van het geschatte model weergegeven. De kruiselasticiteiten tussen spoor en binnenvaart zijn hoger in het geneste model omdat beide alternatieven in het multimodale nest zitten: dit betekent dat bij een verhoging van kosten voor intermodaal spoorvervoer, relatief meer tonnen verplaatsen naar multimodale binnenvaartketens. Dit lijkt een meer plausibel substitutiepatroon.

Tabel 5 geeft een overzicht van modelgevoeligheden die in de literatuur is te vinden. Deze range en meest waarschijnlijke waarden zijn afgeleid uit: Significance en CE Delft (2010), Significance en VTI (2010), De Jong et al. (2010), Rich et al. (2009), Abate (2018), BVU (2015), Hightool (2016), Jensen et al. (2016), De Jong et al. (2014), Jourguin et al. (2014), Produkt + Markt Marketing Research (2016). De opgenomen elasticiteiten gelden voor het hele goederenvervoer, en niet specifiek voor containervervoer. In de literatuur worden voor containervervoer vaak iets hogere elasticiteiten gevonden. Voor modellen waarbij een goederenketen wordt gemodelleerd wordt vaak een lagere elasticiteit voor wegvervoer gevonden. Omdat in het ContainerKetenModule ook goederenketens worden gemodelleerd kunnen de elasticiteiten voor wegvervoer (-0,52) als relatief hoog worden beschouwd wanneer je deze vergelijkt met internationale literatuur. De elasticiteiten voor spoor (-0,76) en binnenvaart (-0,90) liggen relatief dicht bij de meest waarschijnlijke waarde uit de literatuur van -0,80.

Tabel 4: kostenelasticiteiten bij modelschattingen

Genest model	+10%kosten		
	weg	spoor	BVRT
weg	-0.52177	0.021206	0.661845
spoor	0.192308	-0.75581	0.59529
BVRT	0.526256	0.263128	-0.90259

Tabel 5: prijselasticiteiten uit de literatuur

Modaliteit	Range van eigen prijselasticiteiten
Weg	-0,04 - -0,52 meest waarschijnlijk -0,25
Spoor	-0,4 - -1,2 meest waarschijnlijk -0,8
Binnenvaart	-0,26 – - 2,6 meest waarschijnlijk -0,8

4.7 Toepassing

De nieuwe ContainerKetenModule is in staat om de opening en sluiting van nieuwe terminals mee te nemen in de prognose. In deze fictieve toepassing laten we zien welke invloed het openen van een spoorterminal heeft op de prognoseresultaten. Voor deze toepassing gaan we uit van het openen van één nieuwe terminal tussen 2014 (basisjaar van BasGoed) en 2030. Het betreft hier railterminal Greenport Venlo die bij de ontwikkeling van Trade Port Noord in Venlo wordt aangelegd. Deze terminal ligt in de zone Noord-Limburg waar al twee andere spoor-containerterminals in de buurt van Venlo liggen.

In Tabel 6 is de verandering in de prognose van BasGoed weergegeven door het toevoegen van de terminal in Venlo. In de tabel is weergegeven hoeveel goederen er met welke modaliteit van (herkomst) of naar (bestemming) de COROP zone Noord-Limburg worden getransporteerd. De prognose is gedaan voor 2030 met het WLO Hoog scenario. Aan het einde van de ContainerKetenModule worden de multi-modaleketens opgeknipt in losse legs en wordt vervolgens een groeifactormodel met de basisbestanden goederenvervoer uitgevoerd. De resultaten na deze groeifactormodule zijn weergegeven in Tabel 6.

De veranderingen in de prognose laten een plausibel beeld zien. Door het openen van een extra spoorterminal kan worden verwacht dat de grootste veranderingen plaatsvinden bij het spoorvervoer. Een deel van de extra vervoerde goederen per spoor worden niet meer per binnenvaart schip vervoerd de afname in binnenvaart transport is kleiner dan de stijging van spoorvervoer. Door het openen van een extra terminal in Noord-Limburg wordt deze zone beter ontsloten en wordt het aantrekkelijker om de multi-modale ketens via deze regio te laten lopen. Met andere woorden de zone Noord-Limburg trekt meer transport naar zich toe uit omliggende regio's. Doordat meer multimodale ketens door deze zone lopen is ook het benodigde voor en natransport via de weg groter. Dit verklaart de toename van het wegtransport. Hoewel de richting van de verandering goed te verklaren is kan er gediscussieerd worden of omvang van de verandering niet relatief klein zijn. De terminal-coëfficiënt die is geschat heeft relatief een veel kleinere bijdrage aan het verklaren van de variantie tussen alternatieven dan de coëfficiënten voor de totale transportkosten. Mede hierdoor kan de relatief beperkte toename door het toevoegen van een nieuwe terminal worden verklaard.

Tabel 6: Verandering in vervoerde goederen in containers van en naar zone Noord-Limburg bij het openen van een extra spoor terminal. Goederenvervoer in 2030 met WLO Hoog scenario

Goederen in ton	Referentie			openen terminal			verandering		
	weg	spoor	bvrt	weg	spoor	bvrt	weg	spoor	bvrt
Herkomst	2,082,663	794,681	549,200	2,091,021	829,997	544,172	8,358	35,316	-5,028
Bestemming	2,205,897	1,471,131	1,578,189	2,209,076	1,512,296	1,561,477	3,179	41,165	-16,712

5. Conclusie

De ContainerKetenModule is volledig geïntegreerd binnen BasGoed, waarbij de distributie en modal-split module die het niet-container stromen simuleren zijn herschat. De

ContainerKetenModule is binnen dit project goederengroep specifiek gemaakt, wat het mogelijk maakte om ook goederengroep-specifieke coëfficiënten mee te nemen in het schattingsproces. Er is een multi-nominale nested logit (MNNL) geschat voor de ContainerKetenModule waarbij een nest voor multimodale alternatieven en een nest voor hoofdvervoerswijze spoor en binnenvaart is opgenomen. De geschatte coëfficiënten zijn significant en uitlegbaar en de berekende kostengevoeligheden met deze coëfficiënten vallen binnen een plausibele range die gevonden wordt in de internationale literatuur.

In het eindmodel zijn ook parameters opgenomen voor het aantal multimodale terminals in een regio. De parameter voor ketenpotentiaal beschrijft het aantal mogelijk routes dat tussen deze twee zones kan bestaan gegeven het aantal multimodale terminals in die zones. Het meenemen van deze informatie heeft als voordeel dat het model gevoelig wordt voor het aantal terminals in een regio waarmee het toepassingsbereik dus wordt vergroot. In een toepassing is aangetoond dat de richting van verandering door het toevoegen van een extra terminal er logisch uitziet.

Referenties

Abate, M., Vierth, I., Karlsson, R., de Jong, G.C., Baak, J. (2018), A stochastic freight transport model, VTI, Stockholm, *Transportation*, <https://doi.org/10.1007/s1116-018-9856-9>.

Beratergruppe Verkehr und Umwelt (BVU) (2015), Modellgestützte Ermittlung von Preisnachfrageelastizitäten für ausgesuchte Segmente im Güterverkehr, Schlussbericht, BVU, Freiburg.

Bovenkerk, M. (2005) SMILE + , the new and improved Dutch national freight model system, paper gepresenteerd op de European Transport Conference 2005.

CBS. (2018). Jaarmonitor goederenvervoer 2017.

Michiel de Bok, Gerard de Jong, Lóri Tavasszya, Jaco van Meijeren, Igor Davydenko, Michiel Benjamins, Noortje Groot, Onno Miete, Monique van den Berg (2017) Development of a multimodal transport chain choice model for container transport for BasGoed, paper presented at the European Transport Conference 2017, Barcelona

Hightool (2016), Deliverable 43: Elasticities and equations of the HIGH-TOOL Model (Final Version), Report for EU DGMOVE, Hightool Consortium, Karlsruhe.

Jensen, A.F., Thorhauge, M., de Jong, G.C., Rich, J., Dekker, T., Johnson, D., Ojeda Cabral, M., Bates, J., Nielsen, O.A. (2016), A model for freight transport chain choice in Europe, paper presented at the HEART conference, Delft

Jong, G.C. de, J. Baak, K. Ruijs, M. Pieters, T. Bellemans, D. Janssens and G. Wets (2010) Passenger and freight transport in Flanders 2010-2040 under three scenario's, Paper presented at the European Transport Conference 2010, Glasgow. <http://etcproceedings.org>.

Jong, G.C. de, A. Burgess, L. Tavasszy, R. Versteegh, M. de Bok and N. Schmorak. (2011). Distribution and modal split models for freight transport in The Netherlands. Paper presented at ETC 2011, Glasgow.

Jong, G.C. de (2014), Freight service valuation and elasticities, in: L. Tavasszy and G.C. de Jong (Eds.): *Modelling Freight Transport*, Elsevier Insights Series, Elsevier, London/Waltham.

Jourguin, B., Tavasszy, L., Duan, L. (2014), On the generalized cost - demand elasticity of intermodal container transport, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 14-4, 362-374.

McFadden, D.L., 1978. Modelling the choice of residential location. In A. Karlqvist et al (Eds.): *Spatial Interaction Theory and Residential Location*, North-Holland, Amsterdam.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2017). MIRT onderzoek goederenvervoercorridors Oost en Zuidoost.

Produkt + Markt Marketing Research (2016), Validierung ausgewählter Komponenten des Trassenpreissystems 2017, Abschlussbericht, Produkt und Markt, Wallenhorst.

Rich, J., R.M. Holmblad and C.O. Hansen (2009) A weighted logit freight model choice model, *Transportation Research E*, 45, 1006-1019.

Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving. (2018). Basisprognoses goederenvervoer 2018.

Significance en CE Delft (2010) Price sensitivity of European road transport – towards a better understanding of existing results. Report for Transport & Environment. The Hague: Significance

Significance en VTI (2010) Review of the international literature on price elasticities of freight transport by rail. Report for Swedish Rail Administration. The Hague/Stockholm: Significance/VTI

TNO (2016) Opstellen van intermodale PC Tabel voor container stromen, 22 augustus 2016, TNO, Delft.