



Bepaling van de gunstigheid van locaties voor multimodale LNG-stations

Bachelor thesis

Joost Bult

Begeleid door Roelof Weekhout, Rijkswaterstaat Oost-Nederland

Kasper van Zuilekom, Universiteit Twente

3 september 2017

Bepaling van de gunstigheid van locaties voor multimodale LNG-stations

Bachelor thesis

Versie:	4.0
Datum:	3 september 2017
Plaats:	Arnhem
Auteur:	Joost Bult
Studentnummer:	s1536974
E-mailadres:	j.m.bult@student.utwente.nl
Opleiding:	Bachelor Civiele Techniek
Onderwijsinstelling:	Universiteit Twente
Begeleider:	Kasper van Zuilekom
Stage-instelling:	Rijkswaterstaat Oost-Nederland
Stageperiode:	18 april 2017 – 5 juli 2017
Begeleider:	Roelof Weekhout

Afbeelding titelpagina: Rolande LCNG-station Tilburg, Rolande LNG B.V.

Voorwoord

Dit document is het verslag van het onderzoek naar de bepaling van de gunstigheid van locaties voor multimodale LNG-tankstations. Daarnaast is het mijn bachelorscriptie voor de opleiding Civiele Techniek aan de Universiteit Twente.

Voor het onderzoek heb ik van 18 april 2017 tot 5 juli 2017 stage gelopen bij Rijkswaterstaat Oost-Nederland. Hoewel mijn opdracht afwijkt van de meeste werkzaamheden op het gebied van scheepvaart en verkeer binnen de afdeling Netwerkontwikkeling en Visie, heb ik een goed beeld gekregen van de werkzaamheden binnen deze tak van Rijkswaterstaat.

Graag wil ik Roelof Weekhout bedanken voor zijn begeleiding tijdens de stage bij Rijkswaterstaat. Naast de inhoudelijke begeleiding heb ik als onbekende in de wereld van scheepvaart met zijn hulp een beeld kunnen krijgen van de dagelijkse praktijk en afwegingen in de scheepvaart. Ook wil ik Kasper van Zuilekom, begeleider van de Universiteit Twente, bedanken. Zijn kritische vragen en ideeën over de methode hebben een grote bijdrage geleverd aan de totstandkoming van het model.

Ook alle andere collega's binnen Rijkswaterstaat wil ik graag bedanken. De collega's van de afdeling Netwerkvisie en Ontwikkeling hebben me een goed beeld gegeven van hun werkzaamheden en stonden altijd klaar bij vragen. De stageplaats had ik daarnaast waarschijnlijk niet gevonden zonder de hulp van Willem Traag. Ook heeft Tom van der Schelde een grote bijdrage geleverd door hulp te bieden bij het Binnenvaart Informatie Systeem (BIVAS). De data uit het Nederlands Regionaal Model (NRM) had ik nooit kunnen gebruiken zonder de hulp van Ronald Plasmeijer en Sjerk de Groot.

Voor de feedback op het onderzoeksvoorstel en tussentijdse verslagen wil ik graag Dieuwke Maas bedanken. Tot slot wil ik Josan Tielen en Martien Bult bedanken voor de huisvesting tijdens de stage bij Rijkswaterstaat.

Samenvatting

In dit onderzoek is geanalyseerd hoe gunstig locaties in Oost-Nederland zijn voor multimodale LNG-tankstations. Om deze “gunstigheid” te bepalen is een model opgesteld. De gunstigheid in dit model is gebaseerd op de winst voor de tankstationhouder. Dit is afhankelijk van de omzet, inkoopkosten en bevoorradingskosten. De brandstofprijs wordt daarbij zo gekozen dat de winst op die locatie maximaal is.

Voor de analyse zijn verschillende deelmodellen gebruikt. De deelmodellen waarbij de bevoorradingskosten van de tankstations worden berekend zijn *p-median models*, die locaties koppelen aan de meest goedkope faciliteit. Voor het bepalen van de vraag van de binnenvaart en vrachtwagens naar LNG is gebruik gemaakt van delen van het *Flow Interception Location Model*, waarbij de vraag afhankelijk is van de omreiskosten om naar een tankstation te komen en de brandstofprijs. Naarmate de brandstofprijs en omreiskosten toenemen, zal een kleiner deel van de voertuigen dat die reis maakt gebruik maken van het tankstation.

Het model is geïmplementeerd in ArcGIS en Matlab. De verschillende deelmodellen moeten apart worden uitgevoerd. Het model is zo geïmplementeerd dat deze gebruikt kan worden door andere dienstonderdelen van Rijkswaterstaat.

Op basis van de berekende gunstigheid en de gevoeligheidsanalyse wordt geadviseerd om bij later gebruik van het model een aparte inkoopprijs voor binnenvaart en vrachtwagens aan te nemen. Daarnaast bestaat het model nu uit de bepaling van een “gunstigheid”, die vervolgens handmatig is omgezet naar een terugverdientijd. De berekening van de terugverdientijd zou eenvoudig kunnen worden geïmplementeerd in het model, waardoor de uitvoer meteen goed te duiden is.

Uit de resultaten van het onderzoek blijkt dat de bevoorradingskosten van een LNG-tankstation sterk afhankelijk zijn van de bevoorradingsmodaliteit. Bevoorrading met een tankschip kost veel minder dan bevoorrading met een LNG-tankwagen. De potentiële vraag naar LNG van binnenvaartschepen concentreert zich in het rivierengebied. De potentiële vraag naar LNG van vrachtwagens is hoog langs de A2-corridor en in de regio Arnhem-Nijmegen.

Uit de berekening volgt een kaart met per locatie een gunstigheidswaarde voor een LNG-tankstation. Deze gunstigheid is het hoogst vlak ten zuiden van Utrecht en langs de Waal bij Nijmegen. Om de gunstigheidswaarde te duiden is deze omgezet in een terugverdientijd voor de investering in een LNG-tankstation. Hieruit volgen erg korte terugverdientijden, grotendeels onder de 18 jaar. Dit wordt verklaard doordat er is aangenomen dat LNG de plek inneemt van diesel als dominante brandstof.

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting	3
1 Introductie	6
1.1 Energietransitie	6
1.2 Probleemanalyse	7
1.3 Onderzoeksvragen	8
2 Literatuuronderzoek	9
2.1 Benaderingen voor het bepalen van locaties voor faciliteiten	9
2.2 Modellen volgens de node-approach	10
2.3 Gebruikte onderdelen uit de besproken modellen	12
3 Methode	14
3.1 Conceptueel model	14
3.2 Modelformulering	18
3.3 Implementatie	21
3.4 Dataverzameling en verwerking	23
3.5 Methode voor de duiding van de gunstigheid	27
3.6 Methode van de onzekerheidsanalyse	27
4 Resultaten	28
4.1 Transportkosten van de bevoorrading van tankstations met LNG	28
4.2 Vraag en omzet van LNG voor de binnenvaart	29
4.3 Vraag en omzet van LNG voor vrachtwagens	31
4.4 Bevoorradings- en inkoopkosten	32
4.5 Gunstigheid	33
5 Discussie	35
5.1 Samenstelling van de gunstigheid van een locatie	35
5.2 Invloed van enkele gebruikte methodes	36
5.3 Gevoeligheidsanalyse	37
6 Conclusie	39
7 Aanbevelingen	42
8 Referenties	43

Bijlage A	Onderzoeksgebied en Terminals	45
Bijlage B	Modeloverzicht	47
Bijlage C	Model Maken_Netwerkdatasets	50
Bijlage D	Passeertijden sluizen	51
Bijlage E	Gunstigheid en terugverdiëntijd	53
	E.1 Truck-to-ship bunkerpunt	53
	E.2 Tankstation zonder bunkerpunt	54
Bijlage F	Interviews	55
	F.1 Evert van der Laan	55
	F.2 Theo Heinink	56
	F.3 Cees Kamphuis	57
	F.4 Salih Karaarslan	58

1 Introductie

Het onderzoek dat in dit rapport beschreven wordt heeft als doel om de gunstigheid van locaties voor LNG-stations in Oost Nederland te bepalen. Het gaat hierbij om marktvraag, positie ten opzichte van potentiële klanten en bevoorradingskosten voor LNG op een locatie, die leiden tot een hoge potentiële winst. Om dit te bepalen is een model opgesteld. De uitvoer van dit model is een kaart met voor elke locatie binnen Oost-Nederland een score qua gunstigheid.

In de inleiding worden de context, de probleemstelling en de onderzoeksvragen van het onderzoek besproken. Het literatuuronderzoek in Hoofdstuk 2 gaat in op de verschillende modellen, waarvan onderdelen worden gebruikt in het tijdens dit onderzoek opgestelde model. De constructie van dit model wordt besproken in Hoofdstuk 3 Methode. De verschillende stappen in de constructie van een model worden chronologisch besproken. Hierbij worden ook de gebruikte parameters beargumenteerd. Hoofdstuk 4 beschrijft de resultaten en de analyse daarvan. Hierop volgt de Discussie in Hoofdstuk 5. De onderzoeksvragen worden beantwoord in de Conclusie in Hoofdstuk 6. Hoofdstuk 7 bevat de aanbevelingen die worden gedaan voor verder onderzoek naar de gunstigheid van LNG-locaties.

1.1 Energietransitie

Gedreven door de klimaatverandering, de uitputting van fossiele brandstofbronnen en de afhankelijkheid van politiek instabiele landen, heeft de Nederlandse overheid ingezet op een energietransitie. Onderdeel van deze energietransitie is de verduurzaming van brandstoffen voor de transportsector (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014). Dit betekent dat voor de meeste vervoersmodaliteiten toegewerkt wordt naar een elektrische aandrijving, eerst met opslag in batterijen en later in een brandstofcel. Elektrische aandrijving voor zwaar vervoer, zoals scheepvaart, vrachtwagens over lange afstand en treinen indien geen bovenleiding beschikbaar is, is voorlopig geen optie, vanwege de beperkte opslagcapaciteit en voorraad en het feit dat deze techniek voor zwaar verkeer nog in de kinderschoenen staat. Voor deze modaliteiten is een transitiebrandstof nodig, om de periode te overbruggen totdat ook deze modaliteiten over kunnen gaan op een meer duurzame aandrijving.

Een mogelijke transitiebrandstof is methanol, dat geproduceerd kan worden uit koolstofdioxide en waterdamp uit lucht (Institute for the Analysis of Global Security, sd). Onder andere voor kleine schepen wordt onderzocht of methanol een haalbare optie is (Maritiem Kennis Centrum, 2017). Een probleem bij het gebruik van methanol is dat het erg giftig is.

Een andere mogelijke transitiebrandstof is aardgas, dat vooral uit methaan bestaat. Hoewel aardgas een fossiele brandstof is, is het schoner dan huidige brandstoffen als diesel en benzine (Energy Information Administration, 1999) (Beer, et al., 2001) (R. Verbeek, 2015) (Kumar, et al., 2011). Daarnaast kan fossiel aardgas vervangen worden door biogas uit organische afvalstromen.

Om als brandstof voor zwaar vervoer te kunnen dienen, moet er veel aardgas in een beperkt volume worden meegenomen. Dit kan door het aardgas samen te persen tot *compressed natural gas* (CNG), of door het te condenseren tot *liquefied natural gas* (LNG).

CNG heeft een druk van ongeveer 200 bar op kamertemperatuur. De energiedichtheid is ongeveer 250 keer zo groot als voor aardgas op atmosferische druk. LNG is aardgas van rond de -162°C bij atmosferische druk. Bij deze temperatuur is aardgas vloeibaar, waardoor de energiedichtheid ongeveer 2,4 keer zo groot is als dat van CNG en 600 keer zo groot als dat van aardgas bij kamertemperatuur en atmosferische druk.

Vanwege de hoge dichtheid wordt LNG gebruikt om aardgas te verscheppen vanuit de herkomstlanden Qatar en Algerije naar LNG-Terminals in grote havens als Rotterdam en Zeebrugge. Hier wordt het grootste deel verdampt en in het lokale gasnetwerk gepompt.

Door de hoge energiedichtheid is LNG geschikt als transitiebrandstof voor zwaar vrachtvervoer (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014). Voor iets minder zware transportmiddelen kan ook CNG gebruikt worden als brandstof.

1.2 Probleemanalyse

Vanuit de Rijksoverheid wordt de transitie van diesel en benzine naar LNG voor zwaar transport gestimuleerd (Green Deal, 2012). Ook vanuit de Europese Unie wordt de overstap qua brandstof van schepen en vrachtwagens op LNG aangemoedigd en wordt aangespoord tot de ontwikkeling van een netwerk van LNG-tankstations (Europese Unie, 2014). Zo moet er uiterlijk 2030 in alle door de Europese Commissie vastgestelde kernhavens een LNG-tankpunt zijn. Ook langs het wegennetwerk moeten de komende jaren LNG en CNG-tankstations gerealiseerd worden. Als LNG wordt verdampt in een drukvat ontstaat CNG. Het is daarom relatief eenvoudig om LNG-tankstation ook geschikt te maken voor het tanken van CNG.

Tegelijkertijd gelden er veiligheidscontouren en andere veiligheidseisen voor LNG-tankstations. Daar komt bij dat lokale overheden het beleid met betrekking tot ecologie, externe veiligheid, luchtkwaliteit en het verminderen van overlast van verkeer intensiveren. Hierdoor ontstaan ruimtelijke conflicten rond steden, waar zowel logistieke centra als bewoning samen komen.

Vanwege de snelle ontwikkeling van LNG-tankstations en de genoemde potentiële ruimtelijke conflicten, stelt Rijkswaterstaat Oost-Nederland een LNG-Kansenkaart op. Met de LNG kansenkaart kan er gestuurd worden op waarschijnlijke locaties (Anticiperen), kunnen alternatieven bekeken worden bij vergunningsaanvragen (Beoordelen) en kunnen initiatiefnemers voor LNG-tankstations geholpen worden (Faciliteren).

De LNG Kansenkaart bestaat uit twee delen: een beperkingenkaart en economische gunstigheidskaart. De beperkingenkaart geeft aan waar mogelijke locaties liggen voor LNG-tankstations op grond van veiligheids-, natuur- en milieueisen en de verstoring van transportstromen. Voorliggend onderzoek gaat over het tweede deel van de LNG-Kansenkaart: de gunstigheidskaart. Daarin wordt op basis van marktvraag, positie ten opzichte van potentiële klanten en bevoorradingskosten voor LNG, per locatie een potentiële winst voor de tankstationhouder bepaald.

De zogenaamde gunstigheid voor locaties wordt bepaald met behulp van een model, dat in het kader van dit onderzoek is opgezet. Op dit moment zijn er namelijk nog geen modellen waarmee de winstgevendheid of haalbaarheid van LNG-tankstations vlakdekkend kan worden afgeleid. In eerdere modellen voor de locatiekeuze voor tankstations wordt uitgegaan van een netwerk in plaats van een enkel tankstation en wordt de haalbaarheid op enkele vooraf aangewezen locaties bepaald. Meer hierover wordt beschreven in Hoofdstuk 2.

1.3 Onderzoeksvragen

Er zijn zeer veel factoren die van invloed zijn op de winstgevendheid van een LNG-tankstation. Dit zijn onder andere vraag naar LNG en de afstand tot de potentiële afnemers, maar ook bevoorradingskosten en inkoopkosten.

Bepaling van de vraag naar LNG per bedrijf zal door de grote hoeveelheid concurrentiegevoelige informatie die benodigd is echter erg moeilijk, zo niet onhaalbaar zijn. Naast de winstgevendheid kunnen ook strategische overwegingen, zoals het voorkomen dat concurrenten locaties innemen en het behouden van het klantenbestand, invloed hebben op de locatiekeuze. Omdat ook deze factoren nauwelijks te modelleren zijn wordt uitgegaan van de eerdergenoemde winstgevendheid.

Daarom is de volgende onderzoeksvraag geformuleerd:

Wat is, met betrekking tot de bevoorradingskosten en de vraag naar LNG, de gunstigheid van locaties in Oost-Nederland voor multimodale LNG-tankstations?

Het eindproduct van het onderzoek is een kaart, met daarin per locatie een gunstighedsfactor die gelieerd is aan de potentiële winst voor de tankstationhouder. Het onderzoek heeft betrekking op locaties in Gelderland en Overijssel, inclusief de wateren langs de grenzen van de provincies, uitgebreid met locaties langs de Lek in of aan de rand van de provincie Utrecht. Dit deel van de Lek valt ook binnen het beheergebied van Rijkswaterstaat Oost-Nederland. Een kaart van het onderzoeksgebied is opgenomen in Bijlage A.

Voor de bevoorrading van de LNG-stations is bevoorrading met tankwagens en tankschepen onderzocht. De vraag naar LNG is bepaald voor binnenvaart en vrachtwagens. *Short sea*, scheepvaart over zee, waarbij de oceaan niet gekruist wordt, bijvoorbeeld naar Groot-Brittannië en over de Middellandse of Oostzee, valt hierbij onder binnenvaart.

Het was niet mogelijk om genoeg data voor vraag van bussen te verkrijgen. Wel is het model geschikt om de vraag van bussen mee te nemen. Op basis van interviews (zie Bijlage F.3) en literatuuronderzoek (Provincie Gelderland, 2016) (Provincie Overijssel, 2014) is gebleken dat treinen waarschijnlijk geen gebruik zullen maken van aandrijving op LNG.

De onderzoeksvraag is beantwoord met een ruimtelijke analyse. Om een antwoord te formuleren is een aantal deelvragen geformuleerd:

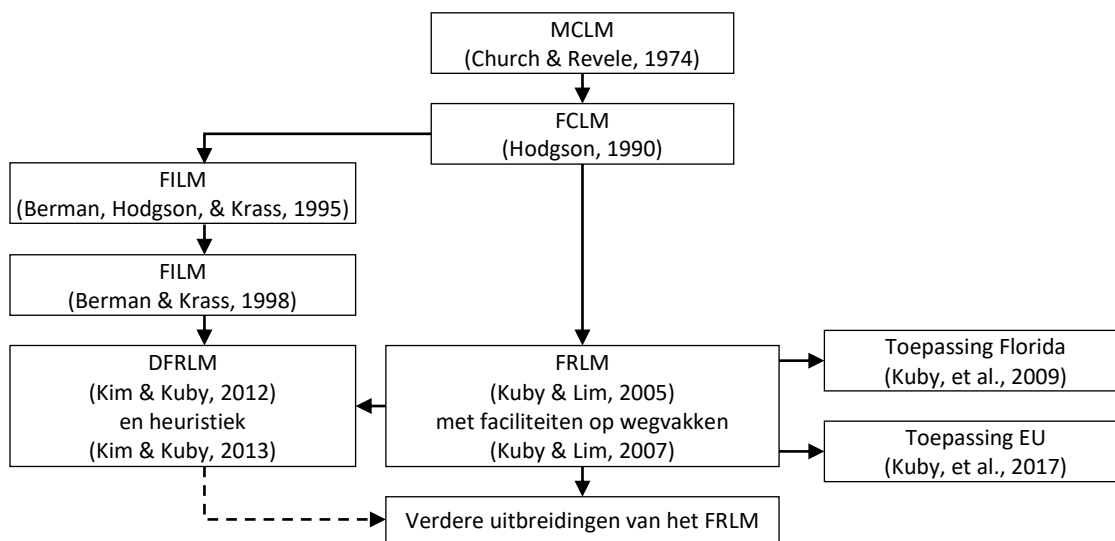
1. *Wat zijn de bevoorradingskosten voor LNG-tankstations in Oost-Nederland?*
2. *Wat is de vraag naar LNG in Oost-Nederland?*
3. *Wat zijn de criteria voor het gebruik van een LNG-tankstations van potentiële gebruikers?*
4. *Bij welke waarden van de opgestelde gunstighedsfactor is een LNG-tankstations winstgevend?*

Het onderzoek zal in een volgend stadium ook door andere regionale dienstonderdelen van Rijkswaterstaat uitgevoerd worden. Hier is bij het opstellen van het model rekening mee gehouden. Daarvoor is er een stappenplan bij het model gemaakt en zijn de ervaringen met het model en aanbevelingen voor verder gebruik beschreven in Hoofdstuk 7.

2 Literatuuronderzoek

Voorafgaand aan de constructie van het nieuwe model is een literatuuronderzoek uitgevoerd naar bestaande modellen, waarmee geschikte locaties voor tankstations kunnen worden bepaald. Dit is gedaan om te onderzoeken welke modellen of onderdelen daarvan gebruikt kunnen worden om de onderzoeksvraag te beantwoorden. Er zijn daarom verschillende eerdere studies naar de bepaling van de beste locatie voor een faciliteit bekeken.

De meeste eerdere onderzoeken naar de locatiekeuze voor tankstations hebben betrekking op CNG-tankstations en elektrische oplaadpunten voor personenauto's, in tegenstelling tot het in dit verslag beschreven model dat gemaakt is voor LNG-tankstations voor zwaar vrachtvervoer. Veel modellen zijn uitbreidingen van eerder geconstrueerde modellen. Figuur 1 geeft een overzicht van de modellen die worden besproken in de volgende paragrafen. Tevens is daarin de onderlinge samenhang en de chronologische ontwikkeling van de modellen weergegeven.

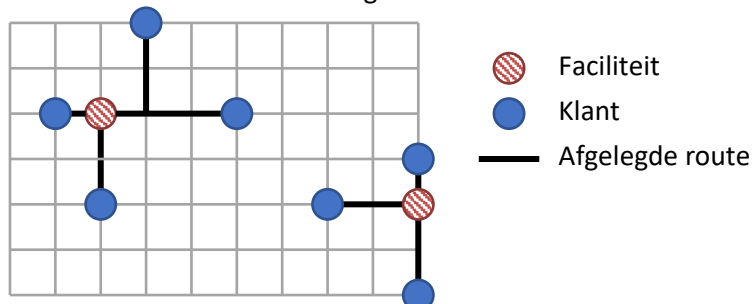


Figuur 1: Samenhang tussen de besproken modellen

2.1 Benaderingen voor het bepalen van locaties voor faciliteiten

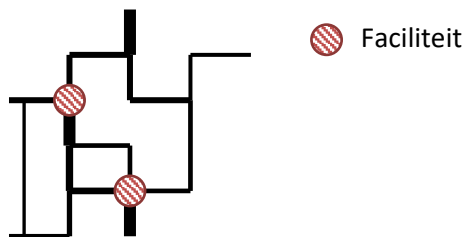
Modellen voor het bepalen van locaties van faciliteiten kunnen worden ingedeeld aan de hand van drie mogelijke benaderingen: de *p-median approach*, *arc-approach* en *node-approach* (Upchurch & Kuby, 2010).

Bij de *p-median approach* worden een vooraf bepaald aantal p faciliteiten zo geplaatst dat de kosten of afstand tussen de klanten en faciliteiten minimaal is. De klanten gaan dus vanaf een vaste locatie naar de faciliteit en weer terug.



Figuur 2: Voorbeeld van de *p-median approach* met twee faciliteiten. De faciliteiten zijn zo geplaatst dat de totale afstand tussen klanten en een faciliteit minimaal is.

De *arc-approach* gaat er niet vanuit dat mensen vanaf een vaste locatie komen, maar tijdens een reis van een faciliteit gebruikmaken, zoals bij tankstations meestal het geval is. De klanten komen niet vanaf vaste locaties maar worden gerepresenteerd als intensiteiten op een verbinding (*arc*). Bij deze methode wordt een vooraf bepaald aantal p faciliteiten zo geplaatst dat deze grenzen aan verbindingen met een zo groot mogelijke intensiteit. Dit werd voor het eerst toegepast het *Maximal covering location model* (MCLM)(Church & Velle, 1974).



Figuur 3: Voorbeeld van de *arc-approach* met twee faciliteiten. De dikte van de verbindingen geeft de intensiteit aan.

Nadeel van deze benadering is dat locaties op knooppunten gevoelig zijn voor dubbeltelling (Upchurch & Kuby, 2010). In werkelijkheid zullen klanten namelijk van meerdere verbindingen gebruik maken. Dit zou voorkomen kunnen worden door de locaties niet op knooppunten, maar op verbindingen te plaatsen. De grootste aantallen potentiële klanten zullen echter juist op knooppunten voorkomen, dus met een dergelijke aanpassing zullen geen optimale locaties gevonden worden (Hodgson, 1990).

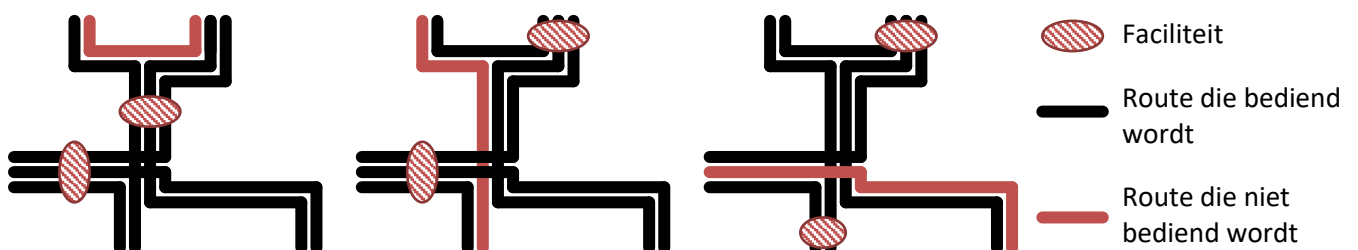
Dit dilemma werd opgelost met een derde benadering; Bij de *node-approach* wordt de vraag van klanten gepresenteerd door middel van reizen. Modellen met deze benadering worden in de volgende paragrafen besproken.

2.2 Modellen volgens de node-approach

Er is veel onderzoek gedaan naar modellen volgens de *node-approach*. Bovendien wordt in het geconstrueerde model veel gebruik van onderdelen van deze modellen. Daarom worden in deze paragraaf verschillende modellen volgens deze benadering besproken.

2.2.1 Flow-capturing location model (FCLM)

Het eerste model volgens de *node-approach* is het *Flow-capturing location model* (FCLM) (Hodgson, 1990). In dit model is het doel om met een vooraf bepaald aantal faciliteiten zo veel mogelijk potentiële klanten te bedienen. Hierbij worden klanten bediend als er minimaal één faciliteit aanwezig is op de route die zij reizen.

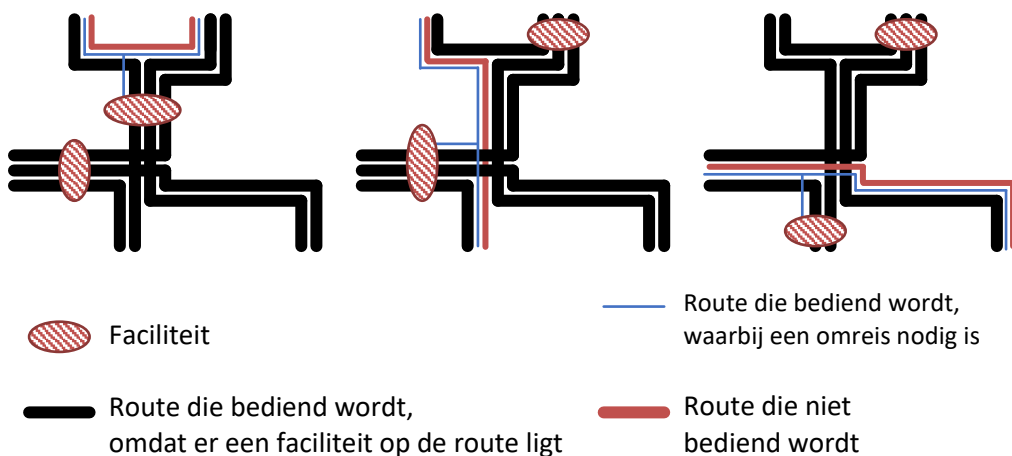


Figuur 4: Voorbeeld van de werking van het FCLM met twee faciliteiten. Het is onmogelijk om met twee faciliteiten alle routes te bedienen.

Een nadeel van deze methode is dat er herkomst-bestemmingsmatrices nodig zijn, die vervolgens toegewezen moeten worden aan een bepaalde route (Upchurch & Kuby, 2010). Het kost veel tijd om herkomst-bestemmingsmatrices te maken, waardoor deze niet vaak beschikbaar of actueel zijn.

2.2.2 Flow interception location model (FILM)

Bij het FCLM worden klanten alleen bediend als er een faciliteit op hun route ligt. Het is echter mogelijk dat klanten bereid zijn om (kleine) omwegen te maken om van een faciliteit gebruik te maken. Het *Flow interception location model* (FILM) (Berman, Hodgson, & Krass, 1995) maakt het mogelijk om een kleine omweg vanaf de originele route mogelijk te maken. Slechts een deel van de mensen die de route rijden zal een omweg maken. Hoe groot dit deel is wordt bepaald met een aandeelfunctie die afhankelijk is van de omreiskosten of omreisafstand.

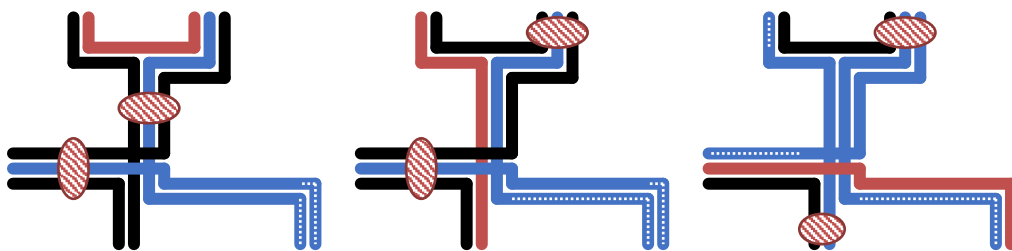


Figuur 5: Voorbeeld van de werking van het FILM met twee faciliteiten.

Het FILM werd later uitgebreid om naast klanten die een route afleggen ook klanten die vanaf een vaste locatie komen mee te kunnen nemen (Berman & Krass, 1998). De klanten reizen vanaf hun vaste locatie 'om' naar de faciliteit en terug. Ook voor deze klanten geldt dat het aandeel klanten dat bediend wordt afhankelijk is van de omreiskosten of omreisafstand.

2.2.3 Flow-refueling location model (FRLM)

Een andere factor waarmee in het FCLM geen rekening is gehouden is dat voor sommige faciliteiten één faciliteit op de route niet voldoende is om de route volledig te bedienen. Dit is bijvoorbeeld het geval voor tankstations. Het *Flow-refueling location model* (FRLM) (Kuby & Lim, 2005) houdt rekening met de actieradius van voertuigen en beoordeelt een route alleen als "bediend" op het moment dat de gehele route ook daadwerkelijk afgelegd kan worden.



Figuur 6: Voorbeeld van de werking van het FRLM met twee faciliteiten. De blauwe routes geven reizen aan die niet bediend worden vanwege de beperkte actieradius. Met witte stippen is aangegeven welk deel van de route zij zonder brandstof zitten.

Het FRLM is gebruikt in onderzoeken naar locaties voor waterstof tankstations in Florida (Kuby, et al., 2009) en LNG-tankstations in de Europese Unie (Kuby, Capar, & Kim, 2017). Uit dit laatste onderzoek blijkt dat voor langeafstandsvervoer op LNG vooral investeringen in Duitsland nodig zijn. Het FRLM is uitgebreid zodat faciliteiten niet alleen op vooraf bepaalde locaties, maar op alle plekken op wegvakken gelokaliseerd kunnen worden (Kuby & Lim, 2007).

2.2.4 Uitbreidingen op het Flow-refueling location model (FRLM)

In het FRLM wordt geen rekening gehouden met kleine omwegen. Daarom is het model uitgebreid tot een *Deviation-flow refueling location model* (D-FRLM) (Kim & Kuby, 2012). Net als in het FILM wordt het aandeel potentiële klanten dat omreist bepaald met een aandeelfunctie, afhankelijk van de omreiskosten. Omdat dit tot lange rekentijden leidt is hiervoor een heuristiek opgesteld (Kim & Kuby, 2013).

Het FRLM is vervolgens nog veel verder uitgebreid. Omdat er geen gebruik wordt gemaakt van het FRLM worden deze uitbreidingen minder uitgebreid besproken.

Een van de uitbreidingen van het FRLM is het *Capacitated flow refueling location model* (CFRLM) (Upchurch, Kuby, & Lim, 2009). In dit model hebben tankstations slechts een beperkte capaciteit aan brandstof. Ook voor deze uitbreiding is een heuristiek opgesteld (Lima & Kuby, 2010) om de rekentijd te beperken. In een uitbreiding op het D-FRLM is het aandeel potentiële klanten dat omreist naast omreiskosten afhankelijk van verkoopprijs en merk (Yıldız, Arslan, & Karaslan, 2016).

Het D-FRLM en CFRLM zijn gecombineerd en uitgebreid tot een model met meerdere tijdvakken (Miralinaghi, Keskin, Lou, & Roshandeh, 2017). Door per tijdvak het aantal nieuw te bouwen faciliteiten aan te geven wordt voor elke tijdstap bepaald waar een faciliteit moet komen om totaal bediende vraag te maximaliseren.

In het FRLM worden met een vastgesteld aantal faciliteiten zo veel mogelijk routes bediend. Om tot een model te komen dat met zo min mogelijk faciliteiten alle routes bedient (een *set-covering model*), is het FRLM geherformuleerd (MirHassani & Ebrazi, 2012).

Het *set-covering model* kan eenvoudig worden omgeschreven in een zogenaamde *flow-based FRLM*, waardoor er geen herkomst-bestemmingsmatrix meer nodig is. Later is dit gebruikt om het *multi-period flow-based FRLM* te maken (Chung & Kwon, 2015).

2.3 Gebruikte onderdelen uit de besproken modellen

De besproken modellen hebben als doel om de optimale locaties voor een bepaald aantal faciliteiten te identificeren. Op locaties wordt dus wel of geen faciliteit geplaatst. Dit verschilt van het doel van het opgestelde model om de gunstigheid per locatie te bepalen. Het gaat er niet om een locatiekeuze voor een faciliteit, maar hoe gunstig elke locatie is voor een faciliteit. Daarom kunnen de besproken modellen niet in hun totaliteit worden gebruikt, maar slechts onderdelen ervan.

Bij de locatiekeuze van faciliteiten zijn de locaties onderling afhankelijk van elkaar. Indien er op een bepaalde locatie een faciliteit komt, bedient deze een vraag die niet meer door een andere faciliteit bediend hoeft te worden. Bij de bepaling van de gunstigheid voor elke locatie, zoals in het opgestelde model, zijn de locaties onderling niet afhankelijk van elkaar. Het is daardoor mogelijk om ruimtelijke deelanalyses (netwerkanalyses) los van elkaar uit te voeren en de resultaten later te combineren. Zo worden bijvoorbeeld de bevoorradingskosten en de vraag los van elkaar voor alle locaties bepaald om de uitvoer vervolgens te combineren. Op deze manier ontstaat een vrij overzichtelijk model.

Delen van de beschreven modellen en benaderingen worden gebruikt voor verschillende netwerkanalyses binnen het opgestelde model.

Voor de bepaling van de transportkosten van bevoorrading is de *p-median approach* gebruikt. Hierbij zijn de LNG-Terminals de faciliteiten (deze leveren het LNG) en zijn de tankstations de klanten (deze nemen het LNG van de terminals af). Voor elke locatie wordt de terminal met de laagste transportkosten bepaald door het aantal faciliteiten dat geplaatst wordt gelijk te stellen aan het aantal locaties waar een faciliteit geplaatst kan worden. In dit geval wordt dus niet zozeer een locatie voor de terminals bepaald, maar wordt de methode gebruikt om de terminals aan de tankstation-locaties te koppelen.

Klanten van een LNG-tankstation zullen mogelijk een stuk omreizen om te tanken. Daarom kunnen het CFLM en FRLM niet worden gebruikt voor het geconstrueerde model.

De actieradius van LNG-voertuigen is zo groot dat ze na een keer tanken al tot ver buiten het onderzoeksgebied kunnen reizen. Het is daarom niet nodig om rekening te houden met de actieradius en die onderdelen van het FRLM te gebruiken.

Daarom zijn voor de bepaling van de vraag naar LNG, delen van het FILM gebruikt. Op basis van de omreisafstand is voor een route het aandeel bepaald dat door de faciliteit bediend wordt. Ook zijn er klanten die vanaf een vaste locatie naar de faciliteit gaan, zoals in het uitgebreide FILM. Dit geldt voor bussen die vanaf de remise naar het tankstation gaan.

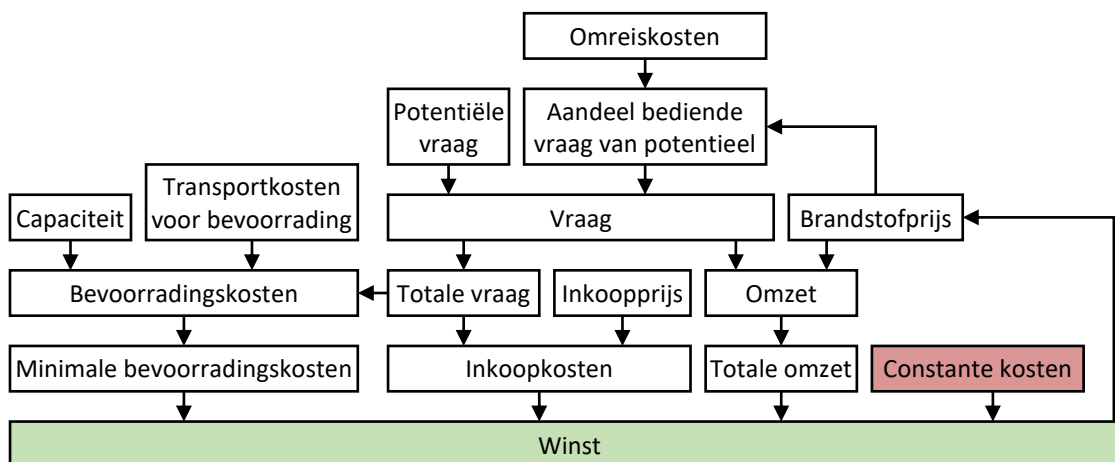
3 Methode

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe een nieuw model is geconstrueerd voor het bepalen van de gunstigheid van een locatie voor een LNG-tankstation. De constructie van het opgestelde model wordt in een aantal chronologische stappen doorlopen. Allereerst wordt het complete conceptuele model gepresenteerd. Vervolgens worden in paragraaf 3.2 de relaties in het causaal relatiediagram geformuleerd als formules. Deze formules zijn vervolgens geïmplementeerd in de computerprogramma's ArcGIS en Matlab. Het hoofdstuk sluit af met de wijze van de dataverzameling en de bespreking van de methode van de onzekerheidsanalyse.

3.1 Conceptueel model

Het model bepaalt de gunstigheid van locaties door locatiespecifieke factoren die de winstgevendheid van een LNG-station bepalen. Om deze factoren te identificeren is een causaal relatiediagram opgesteld. Vervolgens zijn de modelkarakteristieken en de validatie van het conceptueel model beschreven.

3.1.1 Causaal relatiediagram



Figuur 7: Eenvoudige versie van het causaal relatiediagram

Het causaal relatiediagram wordt van onder naar boven toegelicht. De winst is afhankelijk van de omzet en verschillende kostenposten. De bevoorradingskosten en inkoopkosten zijn afhankelijk van de vraag naar LNG en verschillen daarom per locatie. De constante kosten, bijvoorbeeld personeelskosten en afschrijving installatie, worden voor de verschillende locaties gelijk verondersteld en daarom niet meegenomen.

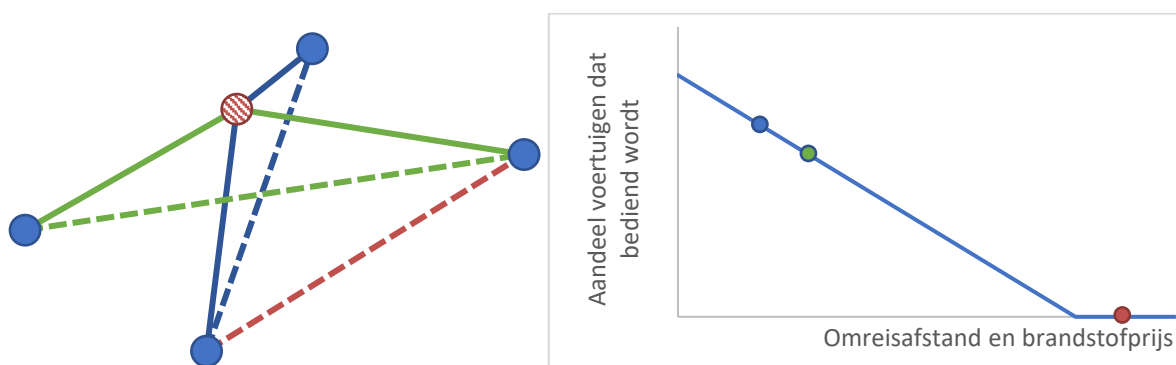
De omzet van een tankstation is gelijk aan de vraag naar LNG vermenigvuldigd met de brandstofprijs. De brandstofprijs wordt hierbij zó gekozen dat de winst maximaal is. De inkoopkosten worden bepaald door de vraag naar LNG en de inkoopprijs.

De bevoorradingskosten worden bepaald aan de hand van het aantal voertuigen, afhankelijk van de vraag en capaciteit, en de transportkosten voor een voertuig. Om tot zo laag mogelijke bevoorradingskosten te komen wordt van de verschillende bevoorradingsmodaliteiten en bevoorradingsterminals de combinatie met de laagste kosten gekozen.

De vraag naar LNG is zoals in het FILM (zie Paragraaf 2.2.2) afhankelijk van het aantal klanten dat bij het tankstation tankt en de vraag van elke klant. Voor binnenvaart en vrachtwagens wordt ervan uitgegaan dat deze tijdens hun reis tanken (zie ook Paragraaf **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Voor bussen geldt dat deze tanken vanaf de remise (zie Bijlage F.2).

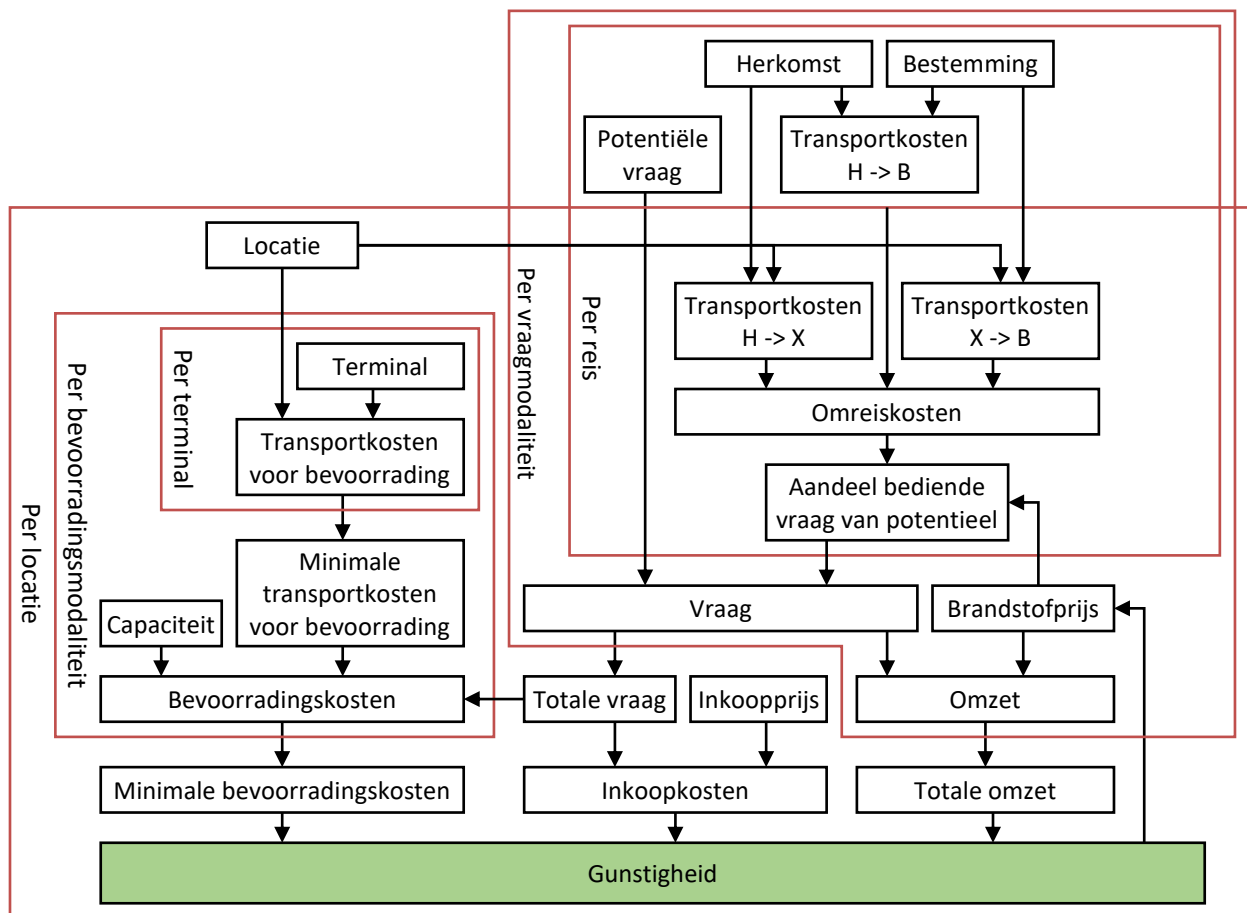
Voor een reis die een x aantal voertuigen maakt, wordt het aandeel dat gebruik maakt van het tankstation bepaald op basis van de omreisafstand en brandstofprijs. Hoe groter de omreisafstand en hoger de brandstofprijs, hoe kleiner deel van de voertuigen bediend wordt door het tankstation, totdat de omreisafstand zo groot is dat de reis helemaal niet wordt bediend. Het aandeel bediende reizen en de potentiële vraag van alle reizen bepalen samen de vraag.

In figuur 8 wordt dit principe toegelicht. In het linkerdeel van het figuur is te zien hoe de oorspronkelijke, directe reis tussen herkomst en bestemming weer. De doorgetrokken lijnen de reis in het rechterdeel van het figuur is het aandeel van de voertuigen dat zal omreizen (en dus bediend wordt door de faciliteit) weergegeven als functie van de omreisafstand en de brandstofprijs; de blauwe en groene stip geven aan dat, vanwege de kleinere omreisafstand, er op de blauwe route een groter aandeel van de voertuigen zal omrijden dan op de groene route. Voor de rode reis is de omreisafstand zo groot dat geen enkel voertuig dat deze reis maakt, bediend wordt door de faciliteit.



Figuur 8: Bepaling van het aandeel voertuigen dat zal omrijden naar een faciliteit.

Het relatiediagram in figuur 7 beschrijft de relaties uitgaande van één modaliteit, één reis en één locatie. In onderstaand diagram is dit uitgebreid naar meerdere modaliteiten, locaties en reizen.



Figuur 9: Uitgebreide versie van het causaal relatiediagram

3.1.2 Simplificaties

Met het onderzoek wordt de gunstigheid van LNG-tankstations per locatie bepaald. Er wordt voor elke locatie in Oost-Nederland een score bepaald. Dit gebeurt voor elke locatie apart. Er wordt dus niet, zoals in een *Flow Refueling Location Model* het geval is, een netwerk van faciliteiten ontworpen. Of het mogelijk is om van een locatie naar een volgend tankstation te komen wordt dan ook niet meegenomen. Bedrijven die een netwerk van tankstations opzetten kunnen daarom andere locaties als gunstiger ervaren vanwege de relatieve positie in hun netwerk.

Op dit moment zijn er nog weinig LNG-tankstations, maar dit verandert snel en er is veel onzekerheid over toekomstige locaties. Daarom kunnen en worden omliggende stations niet meegenomen in de analyse.

Wel wordt in de zogenaamde aandeelfunctie rekening gehouden met concurrentie, omdat het aandeel potentiële klanten dat bediend wordt afhankelijk is van de omreiskosten en brandstofprijs. De aandeelfunctie is niet als locatie-afhankelijk gemodelleerd; de concurrentie op alle plekken hetzelfde geacht. Bij de interpretatie van het resultaat moet dus rekening gehouden worden waar zich al tankstations bevinden.

Ook is de afweging om al dan niet bij een tankstation te tanken vereenvoudigd. Het aandeel potentiële vraag dat van het tankstation gebruik maakt wordt gemodelleerd als lineair afhankelijk van de brandstofprijs en omreiskosten. Chauffeurs kunnen echter ook andere motieven hebben om voor een bepaald tankstation te kiezen. Dit is echter te complex om dit onderzoek te modelleren en zal in deze markt beperkt zijn.

De bevoorrading van een LNG-tankstation wordt gemodelleerd als een heen- en terugreis van een LNG-Terminal in Rotterdam of Zeebrugge naar de betreffende locatie. In werkelijkheid kunnen meerdere tankstations in één reis bevoorraad worden. Ook kunnen tankstations bevoorraad worden vanaf een ander tankstation. Op deze manier ontstaat een complexe *supply chain*. Onderzoek naar de *supply chain* voor LNG is gedaan in het project Dinalog (Vis & Buijs, 2017). De resultaten van dit onderzoek zijn echter nog niet gepubliceerd.

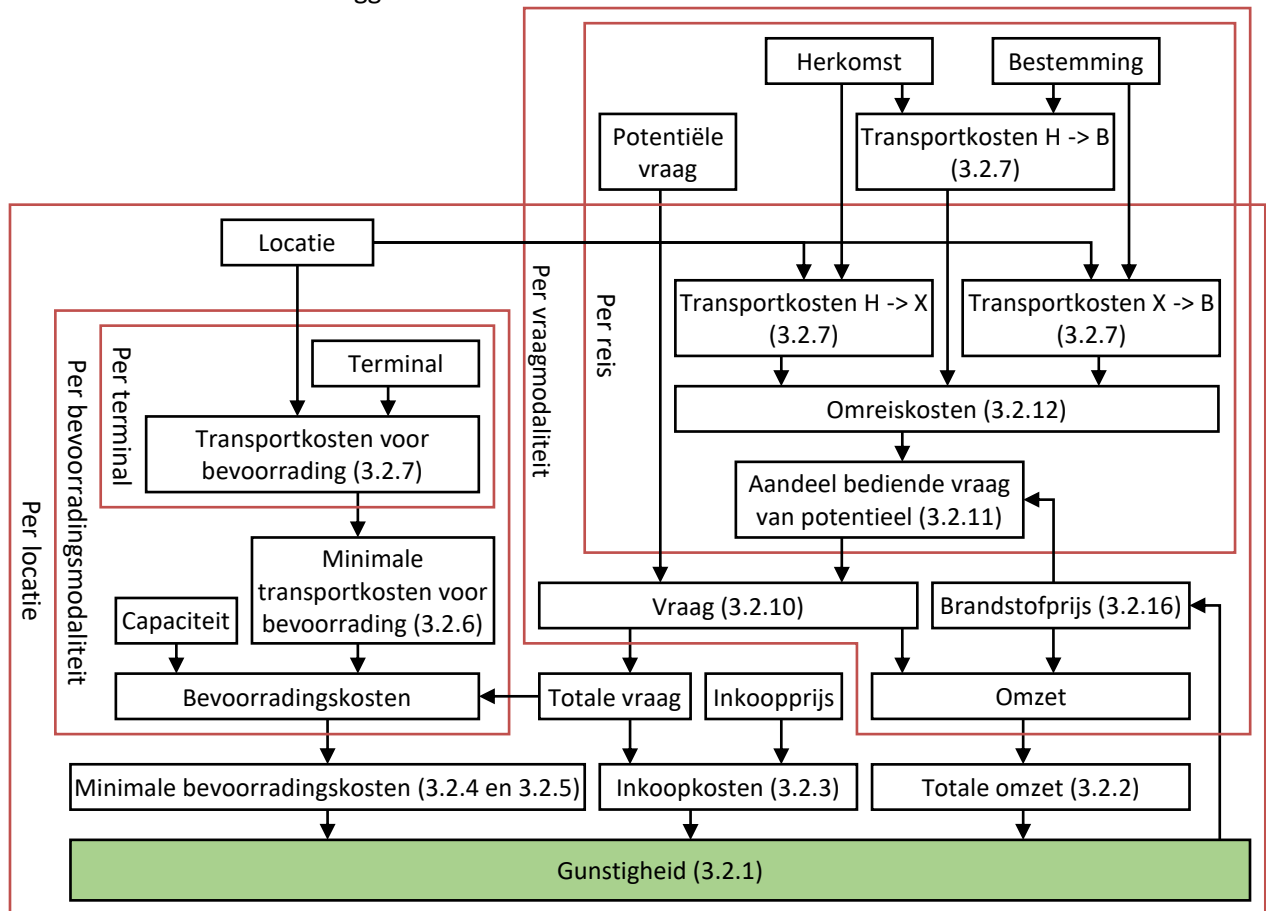
In het onderzoek wordt de *boil-off* van LNG niet meegenomen. Bij opslag van LNG zal ondanks de goede isolatie een klein deel verdampen. Deze *boil-off* kan opgevangen worden in een drukvat om het als CNG te verkopen. In het model wordt uitgegaan van 0% *boil-off*, waardoor alle bevoorraadde LNG ook verkocht wordt. De kosten door *boil-off* worden in eerdere verslagen geschat op €0,00046 per kg (Buck Consultats International, 2015).

Vervoerders zullen pas overstappen op LNG als er voldoende LNG-tankstations zijn om te tanken. Er zal sprake zijn van een overgangperiode waarin de verschillende brandstoffen naast elkaar worden gebruikt. In het model is LNG aangenomen als de dominante brandstof voor vrachtwagens en schepen, zoals dat nu het geval is met diesel. Het model beschrijft dus de situatie na de overgangperiode. De potentiële vraag naar LNG wordt gelijkgesteld aan het aantal schepen en vrachtwagens dat geschikt is voor aandrijving met LNG, vermenigvuldigd met een vraag per voertuig.

Tot slot wordt ervan uit gegaan dat een locatie alleen gunstig is als er een business case is (er valt winst te maken). Zoals eerder genoemd kunnen er ook andere, strategische argumenten zijn om een tankstation op een bepaalde locatie te vestigen.

3.2 Modelformulering

De relaties in het causaal relatiediagram zijn geformuleerd tot formules. De formules beschrijven hoe een bepaalde variabele tot stand komt. In sommige gevallen zijn meerdere relaties gecombineerd en worden tussenvariabelen weggelaten.



Figuur 10: Uitgebreide versie van het causaal relatiediagram met bij de variabelen aangegeven in welke formule deze worden bepaald.

De gunstigheid wordt bepaald met de winstfactoren die locatie-afhankelijk zijn. De gunstigheid in euro per jaar op locatie i wordt gedefinieerd als:

$$G(i) = O(i) - K_I(i) - K_b(i) \quad 3.2.1$$

waarbij: G = gunstigheid (€/jaar); O = omzet (€/jaar); K_I = inkoopkosten (€/jaar); K_b = bevoorradingskosten (€/jaar); i = locatie.

De omzet wordt bepaald aan de hand van de vraag en de brandstof(verkoop)prijs. Deze verschillen per modaliteit:

$$O(i) = \sum_{m_v} p_v(i, m_v) * q(i, m_v) \quad 3.2.2$$

waarbij: p_v = brandstofprijs (€/kg); q = vraag (kg/jaar); m_v = vraagmodaliteit.

De inkoopkosten worden op eenzelfde manier berekend, met de inkoopprijs in plaats van de brandstofprijs:

$$K_I(i) = \sum_{m_v} p_I * q(i, m_v) = p_I * \sum_{m_v} q(i, m_v) \quad 3.2.3$$

waarbij: p_I = inkoopprijs (€/kg).

3.2.1 Bevoorradingskosten

De bevoorradingskosten verschillen per bevoorradingmodaliteit. Het aantal voertuigen dat gebruikt wordt voor bevoorrading wordt altijd op een geheel getal naar boven afgerond.

$$K_b(i) = \min_{m_b} (n(i, m_b) * d_b(i, m_b)) \quad 3.2.4$$

$$n(i, m_b) = \left\lceil \frac{\sum_{m_v} (q(i, m_v))}{c(m_b)} \right\rceil \quad 3.2.5$$

waarbij: m_b = bevoorradingmodaliteit; n = aantal voertuigen; d_b = transportkosten voor bevoorrading (€); c = capaciteit (kg).

De transportkosten voor bevoorrading zijn de transportkosten vanaf die terminal en via die route, waarbij de transportkosten minimaal zijn:

$$d_b(i, m_b) = \min_T (\min_{route} (d(T \rightarrow route \rightarrow i, m_b))) \quad 3.2.6$$

waarbij: d = transportkosten (€); T = Terminal.

De transportkosten van een route is de som van de transportkosten van alle segmenten:

$$d(T \rightarrow route \rightarrow i, m_b) = \sum_{z \in route} (d_z(z, m_b)) \quad 3.2.7$$

waarbij: z = segment

De transportkosten bestaan uit een afstand en tijdselement:

$$d(z, m_b) = t(z, m_b) * \gamma_t(m_b) + s(z, m_b) * \gamma_s(m_b) \quad 3.2.8$$

waarbij: t = tijd (h); s = afstand (km); γ_t = tijdskosten (€/h); γ_s = afstandkosten (€/km).

De tijd wordt berekend door de afstand te delen door de snelheid:

$$t(z, m_b) = \frac{s(z, m_b)}{v(z, m_b)} \quad 3.2.9$$

waarbij: v = snelheid (km/h)

3.2.2 Vraag naar LNG

De vraag naar LNG is een deel van de potentiële vraag. Dit aandeel wordt bepaald met de brandstofprijs en de omreiskosten. Omdat de brandstofprijs zo wordt bepaald, dat de winst maximaal is, zal het aandeel bediende vraag altijd tussen 0 en 1 zijn.

$$q(i, m_v) = \sum_{HB} (Q(m_v, HB) * r(i, m_v, HB)) \quad 3.2.10$$

waarbij: Q = potentiële vraag (kg/jaar); r = aandeel bediende vraag van potentieel; HB = reis

$$r(i, m_v, HB) = \alpha(m_v) * (p_v(m_v) * L(m_v) + d_{om}(i, m_v, HB)) + \beta(m_v) \quad 3.2.11$$

waarbij: d_{om} = omreiskosten (€); L = gemiddelde tankinhoud (kg); α en β = constanten.

De omreiskosten worden bepaald door de transportkosten van de originele reis af te trekken van de transportkosten voor een reis via de tanklocatie. De reis via de tanklocatie kan daarbij in tweeën worden gesplitst: van herkomst naar de tanklocatie en van tanklocatie naar de bestemming.

$$d_{om}(i, m_v, HB) = \min_{route}(d(H \rightarrow route \rightarrow i, m_b)) + \min_{route}(d(i \rightarrow route \rightarrow B, m_b)) - \min_{route}(d(H \rightarrow route \rightarrow B, m_b)) \quad 3.2.12$$

De transportkosten worden op eenzelfde manier bepaald als bij de bevoorradingskosten, zoals te zien in Formules 3.2.7, 3.2.8 en 3.2.9. Bussen zullen vanaf de remise naar het tankstation komen dus geen originele reiskosten (H->B) hebben.

3.2.3 Berekening van de brandstofprijs

De brandstofprijs wordt zo gekozen, dat de winst maximaal is. Dit houdt in dat de afgeleide van de winst over de prijs nul moet zijn. Daarom wordt een formule voor de gunstigheid gedifferentieerd. Door Formules 3.2.1 tot en met 3.2.5 en Formule 3.2.10 te combineren ontstaat:

$$G(i) = \sum_{m_v}(p_v(i, m_v) * \sum_{HB}(Q(m_v, HB) * r(i, m_v, HB))) - p_I * \sum_{m_v}(\sum_{HB}(Q(m_v, HB) * r(i, m_v, HB))) - \min_{m_b} \left(\left\lceil \frac{\sum_{m_v}(\sum_{HB}(Q(m_v, HB) * r(i, m_v, HB)))}{c(m_b)} \right\rceil * d_b(i, m_b) \right) \quad 3.2.13$$

Door de afronding van het aantal voertuigen weg te laten, Formule 3.2.11 te substitueren en de formule om te schrijven ontstaat:

$$G(i) = \sum_{m_v} \left(\sum_{HB} \left(Q(m_v, HB) * \left(\alpha(m_v) * (p_v(i, m_v) * L(m_v) + d_{om}(i, m_v, HB)) + \beta(m_v) \right) \right) \right) - \sum_{m_v} (\sum_{HB}(Q(m_v, HB) * (\alpha(m_v) * (p_v(i, m_v) * L(m_v) + d_{om}(i, m_v, HB)) + \beta(m_v)))) * \left(p_I + \min \left(\frac{d_b(i, m_b)}{c(m_b)} \right) \right) \quad 3.2.14$$

Formule 3.2.14 differentiëren over de brandstofprijs geeft:

$$\frac{dG}{dp_v}(i, m_v) = \sum_{HB}(Q(m_v, HB)) * \left(\beta(m_v) + \alpha(m_v) * L(m_v) * \left(2 * p_v(i, m_v) + p_I + \min_{m_b} \left(\frac{d_b(m_b)}{c(m_b)} \right) \right) \right) + \alpha(m_v) * \sum_{HB}(d_{om}(i, m_v, HB) * Q(m_v, HB)) \quad 3.2.15$$

Gelijkstellen van Formule 3.2.15 aan nul en omschrijven geeft:

$$p_v(i, m_v) = \frac{1}{2} * \left(p_I + \min_{m_b} \left(\frac{d_b(m_b)}{c(m_b)} \right) - \frac{\sum_{HB}(d_{om}(i, m_v, HB) * Q(m_v, HB))}{\sum_{HB}(Q(m_v, HB)) * L(m_v)} - \frac{\beta(m_v)}{\alpha(m_v) * L(m_v)} \right) \quad 3.2.16$$

Er kan dus voor elke locatie en vervoersmiddel een prijs worden bepaald. De gunstigheid per locatie kan worden verkregen uit de volgende variabelen en constanten:

Transportkosten voor bevoorrading $t_b(i, m_b)$
Omreiskosten $d_{om}(i, m_v, HB)$ en potentiële vraag $Q(m_v, HB)$
Inkoopprijs p_I
Capaciteit van bevoorradingsvoertuigen $c(m_b)$
Vraag per voertuig $L(m_v)$
Constanten in de aandeelfunctie $\alpha(m_v)$ en $\beta(m_v)$.

3.3 Implementatie

Het model is geïmplementeerd in ArcGIS en Matlab. Het model is opgedeeld in verschillende deelmodellen. Een overzicht van de deelmodellen is te vinden in 0. Deelmodellen in de eerste twee stappen zijn om de invoerdata geschikt te maken voor de werkelijke analyse en worden beschreven in Paragraaf 3.4.

De implementatie in twee verschillende softwareprogramma's en het handmatig moeten aanmaken van Netwerk Datasets in ArcGIS, maken dat het niet mogelijk is om het volledige model met een druk op de knop is uit te voeren. Het uitvoeren van het volledige model duurt ongeveer 2:15 uur met een Intel Core i7-4700MQ CPU, 2.40 GHz.

Ruimtelijke- en netwerkanalyses, zoals de bepaling van de omreiskosten, zijn geïmplementeerd in ArcGIS Model Builder. Met ArcGIS kunnen netwerkanalyses op een snelle manier met een *Location-Allocation* analyse of *OD-cost matrix* analyse worden uitgevoerd. Controle van deze berekeningen kan door een Route analyse uit te voeren. Dit is een tool die Formule 3.2.12 voor één route uitrekent. Berekeningen zonder ruimtelijke component en met uitgebreide *for-loops*, veelvoudig herhaalde berekeningsstappen, zijn geïmplementeerd in Matlab. Matlab voert berekeningen over het algemeen veel sneller uit dan ArcGIS Model Builder.

3.3.1 Transportkosten voor bevoorrading

De transportkosten voor bevoorrading zijn bepaald met *Location-Allocation* analyses in ArcGIS. Dit is een analyse die voor alle locaties de transportkosten voor bevoorrading eenvoudig kan berekenen als in Formule 3.2.6. Het deelmodel Bevoorradingskosten_Tankwagen berekent de bevoorradingkosten met een tankwagen voor alle locaties. De bevoorradingkosten met tankschepen wordt in het deelmodel Bevoorradingskosten_Tankschepen berekend voor locaties langs vaarwegen. Tankstations in het binnenland zijn immers niet bereikbaar voor tankschepen. De kosten van overslag worden te hoog geacht.

3.3.2 Transport- en omreiskosten

Voor het bepalen van de omreiskosten van vrachtwagens en binnenvaartschepen zijn de transportkosten van drie reizen nodig, zoals te zien in Formule 3.2.12. Er zijn daarom voor beide modaliteiten drie deelmodellen die de transportkosten berekenen:

- Transportkosten_HB: Berekent de transportkosten van de originele reizen van herkomst naar bestemming.
- Transportkosten_HX: Berekent de transportkosten van de herkomsten naar de tankstation-locaties.
- Transportkosten_XB: Berekent de transportkosten van de tankstation-locaties naar de bestemmingen.

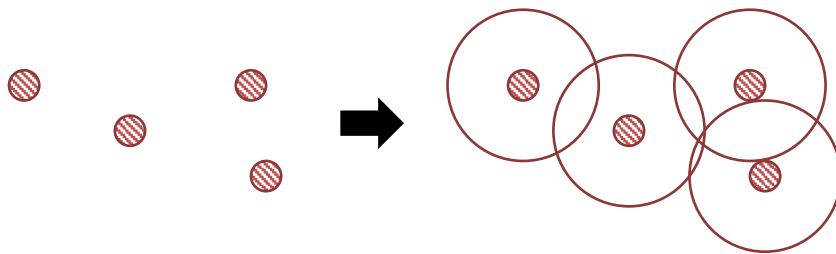
Voor bussen zijn er geen originele reizen dus is alleen het model Transportkosten_HX nodig. Omdat de bussen heen en weer terugrijden naar de remise zou uit Transportkosten_HX immers dezelfde transportkosten volgen als uit Transportkosten_XB.

In deze deelmodellen wordt gebruik gemaakt van *OD cost matrix* analyses in ArcGIS. Dit is een in ArcGIS beschikbare methode om snel de transportkosten als in Formule 3.2.6 te berekenen voor combinaties van verschillende herkomsten en bestemmingen.

De transportkosten van de verschillende reizen worden in de deelmodellen Omreiskosten gecombineerd tot een matrix met omreiskosten voor elke combinatie van reis en locatie, zoals in formule 3.2.12.

3.3.3 Meetvlakken

De transportkosten worden berekend tussen twee punten. Om voor alle plekken in Oost-Nederland een gunstigheidsscore te berekenen worden deze punten in deelmodel Meetvlakken omgezet tot vlakken. Dit wordt gedaan door cirkelvormige ‘buffers’ om de locaties te maken. Hierbij zullen sommige vlakken vertegenwoordigd kunnen worden door meerdere punten.



Figuur 11: Uitleg van de methode waarmee meetpunten omgezet worden in meetvlakken en hoe deze meetvlakken meerdere punten kunnen vertegenwoordigen

3.3.4 Gunstigheid

In het deelmodel Gunstigheid worden met de omreiskosten, transportkosten voor bevoorrading en parameters van de aandeelfunctie, de inkoopprijs, de capaciteit van bevoorradingsvoertuigen en de vraag per voertuig, de gunstigheid voor alle meetvlakken berekend. Als vlakken vertegenwoordigd kunnen worden door meerdere punten, dan zullen de meest gunstige locaties voor alle waarden worden gekozen. Uitvoer is een tabel met voor elk meetvlak een gunstigheidsscore en informatie over de vraag, bevoorradingskosten en brandstofprijs. Door deze tabel (handmatig) aan de meetvlakken in ArcGIS te koppelen ontstaat de gunstigheidskaart.

3.3.5 Verificatie

De verschillende deelmodellen zijn geverifieerd door te kijken of de uitvoer in een logische orde van grootte is. Daarnaast zijn de berekeningen in de verschillende deelmodellen voor enkele locaties en reizen handmatig uitgevoerd ter controle.

3.4 Dataverzameling en verwerking

De invoerdata zijn te verdelen in vier soorten: netwerkdata (zie Paragraaf 3.4.1), zelf bepaalde geografische data (Paragraaf 3.4.2), herkomst-bestemmingsmatrices (Paragraaf 3.4.3) en enkele parameters (Paragraaf 3.4.4 t/m 3.4.6). Voor elke soort worden hierna de bronnen beschreven en is eventueel aangegeven hoe de data geschikt zijn gemaakt voor gebruik in het model.

3.4.1 Netwerkdata

De geografische data voor de netwerken komen uit de Geodata-bibliotheek van Rijkswaterstaat. Uit deze bibliotheek zijn de ArcGIS lagen in Tabel 1 gebruikt. Deze gegevens bestaan uit open data, wat inhoudt dat ze zonder registratie toegankelijk zijn voor iedereen.

Geografische data	Toepassing
NWB_vaarwegen_vaarwegvakken	Netwerk vaarwegen
NWB_wegen_wegvakken	Netwerk autowegen
NWB_vaarwegen_kmmarkeringen	Kilometermarkeringen
NWB_wegen_hectometerpunten	Hectometermarkeringen
Vaarweg_informatie_nederland	Sluizen en stuwen

Tabel 1: Netwerkdata

De Netwerkdata zijn in de deelmodellen Brondata_Vaarwegen en Brondata_Autowegen deels geschikt gemaakt voor gebruik in de analyse. Hierbij worden ook per segment de transportkosten berekend, zoals in Formule 3.2.8.

Vervolgens worden in deelmodellen Brondata_Meetpunten_vaarwegen en Brondata_Meetpunten_autowegen de locaties geschikt gemaakt voor de analyse. Hierbij worden de hectometerpunten en kilometermarkeringen die in Oost-Nederland liggen uitgedund, zodanig dat een geheel Oost-Nederland bedekt wordt, maar er niet onnodig veel locaties zijn. Zo stonden in de kaart met hectometermarkeringen bijvoorbeeld de hectometerpaaltjes aan beide zijden van de weg. Dit is uitgedund tot een punt per kilometer.

Daarnaast moesten er handmatig Netwerk Datasets gemaakt worden op basis van het vaarwegennetwerk en het autowegennetwerk. Het is niet mogelijk in ArcGIS om dit met een model te doen. Voor beide netwerken moet dit zowel voor de vraagmodaliteit als voor de bevoorradingsmodaliteit worden gedaan. De stappen die hierbij gevolgd moeten worden zijn beschreven in Bijlage C.

3.4.2 Zelf bepaalde geografische data

Het onderzoeksgebied bestaat uit Gelderland en Overijssel, inclusief de wateren die daarvan de grenzen vormen, uitgebreid met locaties langs de Lek in of aan de rand van de provincie Utrecht, zoals beschreven in paragraaf 1.3. In ArcGIS is een zogenaamde *feature class* aangemaakt van dit onderzoeksgebied, die te zien is in Bijlage A

De LNG-terminals vanaf waar de tankstations bevoorraad moeten worden zijn ook handmatig ingevoerd. Er zijn op dit moment terminals in Rotterdam en Zeebrugge. Omdat er grote onzekerheid bestaat over de bouw van terminals bij Eemshaven en in Noordrijn-Westfalen zijn deze locaties nog niet meegenomen. Omdat er alleen een wegenbestand met wegen voor Nederland beschikbaar was, zijn voor bevoorrading vanaf Zeebrugge verschillende grensovergangen toegevoegd. Vervolgens is de tijd en afstand vanaf Zeebrugge naar deze grensovergangen bepaald, zoals te vinden in Bijlage A.

3.4.3 Herkomst-bestemmingsmatrices

De gebruikte herkomst-bestemmingsmatrix van vrachtwagens is het Basisbestand 2014 van het Nederlands Regionaal Model Oost (NRM Oost). Dit is n van de strategische verkeersmodellen van Rijkswaterstaat die worden gebruikt voor het opstellen van prognoses van mobiliteitsontwikkelingen en de effecten van beleidsmaatregelen. Het basisbestand 2014 is het meest actuele basisbestand en is opgesteld door het CBS op basis van enquêtegegevens, het register van Rijksdienst voor het Wegverkeer (RDW) en cijfers van buitenlandse wegvervoerders. Bij het basisbestand 2014 is een geografisch bestand met de zones in het NRM geleverd.

Om het model sneller te maken is de resolutie van de herkomst-bestemmingsmatrix grover gemaakt door zones samen te voegen. Dit is gedaan door zones die verder van het onderzoeksgebied liggen al bij een grotere afstand samen te voegen dan zones die dichterbij het onderzoeksgebied liggen. De afname van de nauwkeurigheid blijft hierdoor beperkt, terwijl het model bijna driemaal zo snel wordt. Daarnaast zijn de zones in het buitenland geprojecteerd op de grensovergangen met Nederland, omdat er alleen een netwerk voor Nederland beschikbaar is.

De gebruikte herkomst-bestemmingsmatrix van binnenvaartschepen is het Basisbestand Binnenvaart 2014. Deze matrix wordt gebruikt voor analyses in het Binnenvaart Informatie Systeem (BIVAS) van Rijkswaterstaat. Ook voor de vaarwegen is alleen een netwerk voor Nederland beschikbaar. Daarom zijn ook hier zones in het buitenland verdeeld over de grensovergangen. Dit gaat gepaard met het samenvoegen van zones in het buitenland, waardoor het model tweemaal zo snel kan worden uitgevoerd.

Het is helaas niet mogelijk geweest om een overzicht van busremises in Oost-Nederland te verkrijgen. Het opzoeken van de locaties van busremises om deze vervolgens handmatig in een kaart te zetten kost veel tijd. Daarnaast zou het aantal bussen nog steeds onbekend zijn. Daarnaast blijkt uit interviews dat busbedrijven bij de aanschaf waarschijnlijk direct zelf een niet-publiek tankstation op het remiserterrein zullen bouwen (zie Bijlage F.2). Bussen worden daarom niet meegenomen in de analyse. Het model is wel geschikt om dit later te doen.

3.4.4 Capaciteit van tankers en vraag per voertuig

Op dit moment zijn er LNG-tankers voor de binnenvaart met een capaciteit van 800 m³ LNG (Bijlsma, 2017), wat bij een dichtheid van 455 kg/m³ gelijkstaat aan 364 ton. Er wordt daarom uitgegaan van een capaciteit van een bevoorradingschip van 364 ton.

LNG-tankwagens hebben een capaciteit van tussen de 40 en 55 m³ (Raben, Meulenbrugge, & Bos, 2013) (Centrum Maritieme Technologie en Innovatie, 2011). Er wordt voor het model uitgegaan van een capaciteit van 45 m³, wat bij een dichtheid van 455 kg/m³ ongeveer gelijkstaat aan 20,5 ton.

Huidige schepen die op LNG varen hebben een tankinhoud van 40 tot 60 m³ (Cryonorm, sd). Dit is voldoende om van Rotterdam naar Bazel te varen en terug (Argonon Shipping B.V.). Er wordt uitgegaan van een tankinhoud van 50 m³, wat bij wat bij een dichtheid van 455 kg/m³ ongeveer gelijkstaat aan 22,75 ton LNG.

LNG wordt in Nederland op dit moment door twee merken vrachtwagens op grote schaal gebruikt. Dit zijn de Scania P310 LNG met een tankinhoud van 145 kg LNG (Nationaal LNG Platform, 2017) en de IVECO Stralis LNG Euro-VI met een tankinhoud van 195 kg LNG (Rolande, 2017). Er wordt daarom uitgegaan van een gemiddelde tankinhoud van 170 kg LNG.

3.4.5 Transportkosten en inkoopprijs

De parameters voor transportkosten zijn bepaald met de kostenbarometer wegvervoer en kostenbarometer binnenvaart (Panteia, 2017). In de methodische beschrijving bij deze bestanden (NEA Transportonderzoek en -opleiding, 2004) staat beschreven dat de variabele kosten afhankelijk zijn van afstand en de personeelskosten afhankelijk zijn van tijd. Er is gebruik gemaakt van de meest recente beschikbare data uit 2015. De parameters voor transportkosten gelden per voertuig en zijn weergegeven in Tabel 2.

Parameter	Symbol	Waarde
Tijdkosten tankschip	$\gamma_t^{tankschip}$	€ 45,28 per uur
Tijdkosten tankwagen	$\gamma_t^{tankwagen}$	€ 31,37 per uur
Tijdkosten binnenvaart	$\gamma_t^{binnenvaart}$	€ 78,78 per uur
Tijdkosten vrachtwagen	$\gamma_t^{vrachtwagens}$	€ 28,97 per uur
Afstandkosten tankschip	$\gamma_s^{tankschip}$	€ 1,3917 per km
Afstandkosten tankwagen	$\gamma_s^{tankwagen}$	€ 0,2722 per km
Afstandkosten binnenvaart	$\gamma_s^{binnenvaart}$	€ 3,9104 per km
Afstandkosten vrachtwagen	$\gamma_s^{vrachtwagen}$	€ 0,3491 per km

Tabel 2: Parameters voor transportkosten

Naast de tijd die benodigd is voor het reizen, zijn er enkele andere zaken in het transport van LNG die tijd kosten, namelijk het laden en wachten bij sluizen.

Er zitten grote verschillen in de laadtijd voor tankschepen en tankwagens. Bij de GATE Terminal Rotterdam wordt LNG geladen met een maximale snelheid van 1000 m³/uur (Transport Online, 2016). Bij een tankschip van 800 m³ kost dit dus 0,8 uur. Hier komt nog twee uur bij aan verliestijd door veiligheidsprocedures en controles (Weekhout, 2016). De laadtijd voor tankwagens, inclusief veiligheidsprocedures en controles, wordt geschat op 45 minuten (Fluxys, 2013).

De Passeertijden van sluizen uit het Netwerk Informatie Systeem van Rijkswaterstaat zijn handmatig gekoppeld aan de sluizen uit Vaarweg Informatie Nederland op basis van de Vaarroutecode en Vaarroutenaam. De data waren niet geautomatiseerd te koppelen, omdat de namen niet (volledig) overeenkomen. Daarnaast hadden sommige sluizen in beide bronnen een andere vaarroutecode en zijn sommige sluizen in het Netwerk Informatie Systeem samengevoegd. De passeertijden zijn te vinden in Bijlage D.

De inkoopprijs van LNG wordt op basis van eerder onderzoek naar locaties voor LNG-tankstations (Buck Consultats International, 2015) geschat op 90% van de huidige verkoopprijs. De huidige verkoopprijs van LNG is € 1,025 (PitPoint, 2017). De inkoopprijs P_I is daarom $0,90 \cdot 1,025 = € 0,9225$.

3.4.6 Aandeelfunctie

Het aandeel van de potentiële vraag, dat van een tanklocatie gebruik gaat maken, wordt lineair afhankelijk geacht van de prijs en omreiskosten, zoals weergegeven in Figuur 8.

$$r = \alpha * (p_v * L + d_{om}) + \beta$$

waarbij: r = aandeel bediende vraag van potentieel; d_{om} = omreiskosten (€); L = gemiddelde tankinhoud (kg); α en β = constanten.

De parameters α en β bepalen hoe deze aandeel-kostencurve loopt. Het is erg lastig om informatie te vinden over de bereidheid van vrachtwagenchauffeurs en binnenvaartschippers om om te reizen. Op basis van de interviews blijkt dat deze bereidheid waarschijnlijk erg beperkt is. Wel zullen enkele omwegen rond een bedrijventerrein en naar een haven voorkomen. Daarom zijn maximale omwegen van 5 kilometer voor binnenvaart en 30 kilometer voor vrachtwagens aangenomen. De brandstofprijs schommelde van 2012 tot 2017 tussen de € 1,20 en €1,00 per kg. Omdat de komst van nieuwe tankstations de brandstofprijs iets zullen doen dalen is uitgegaan van veel vraag bij €0,90 per kg en weinig vraag bij €1,10 per kg.

Ook als de brandstofprijs en omreisafstand klein zijn, zal een heel groot deel van de langskomende voertuigen niet tanken, simpelweg omdat ze nog een stuk door kunnen rijden op de huidige tank. Daarom is aangenomen dat het aandeel vrachtwagens dat bediend wordt door een tankstation maximaal 0,05% van een reis is. Voor binnenvaart is het maximaal bediende aandeel 0,5% van een reis. In Tabel 3 is te zien voor welke combinaties van omreisafstand en brandstofprijs, welk aandeel geldt:

Omreisafstand vrachtwagens	Brandstofprijs vrachtwagens	Aandeel	Omreisafstand binnenvaart	Brandstofprijs binnenvaart	Aandeel
0 km	€ 0,90	0.0005	0 km	€ 0,90	0.005
30 km	€ 1,10	0	5 km	€ 1,10	0

Tabel 3: Waarden voor het bepalen van de parameters van de aandeelfunctie

Dit resulteert in de volgende parameters:

Parameter	Symbool	Waarde
Alfa binnenvaart	$\alpha^{binnenvaart}$	-0,00000108795/€
Alfa vrachtwagen	$\alpha^{vrachtwagen}$	-0,00000628072/€
Bèta binnenvaart	$\beta^{binnenvaart}$	0,027275715
Bèta vrachtwagen	$\beta^{vrachtwagen}$	0,001460951

Tabel 4: Parameters voor de aandeelfunctie

3.5 Methode voor de duiding van de gunstigheid

De vierde deelvraag van dit onderzoek luidt:

Bij welke waarden van de opgestelde gunstighedsfactor is een LNG-tankstations winstgevend?

Met deze vraag wordt de gunstigheid uit het model geduid. Dit wordt gedaan door de terugverdientijd te berekenen. Voor deze terugverdientijd zijn de constante kosten, voor bijvoorbeeld huur, energie en onderhoud, die uit het model zijn weggelaten, en investeringskosten nodig.

De constante en investeringskosten zijn afhankelijk van het soort tankstation.

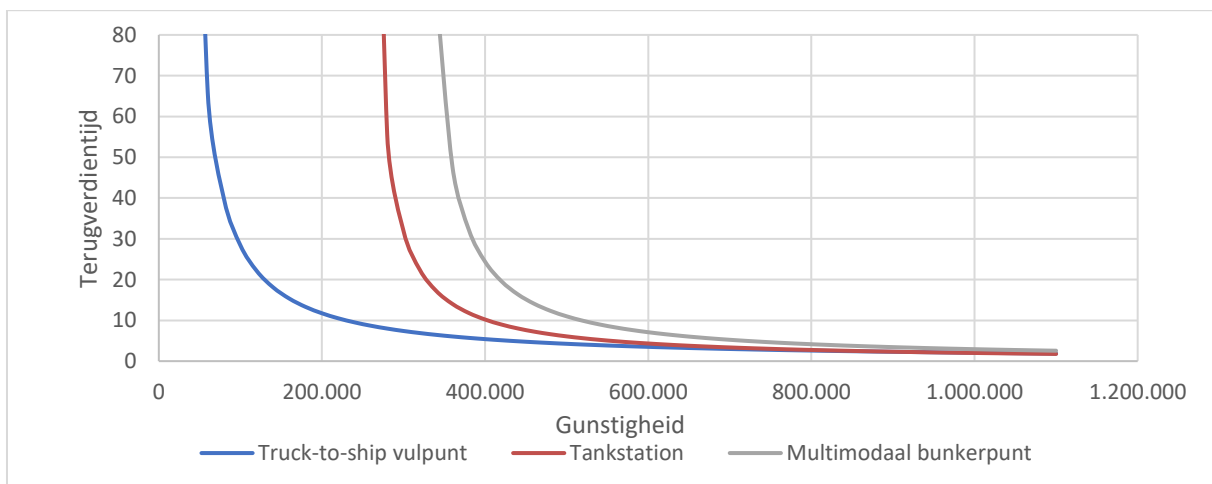
Tankstation-type	Constante kosten (€/jaar)	Investeringskosten (€)	Vraag afkomstig van
Truck-to-ship vulpunt	29.600	100.000	Binnenvaart
Tankstation	253.000	1.500.000	Vrachtwagens en Bussen
Multimodaal bunkerpunt	318.000	2.000.000	Alle modaliteiten

Tabel 5: Constante en investeringskosten voor verschillende types tankstations (Buck Consultats International, 2015)

De terugverdientijd kan als volgt worden berekend:

$$\text{Terugverdientijd} = \frac{\text{Investeringskosten}}{\text{Gunstigheid} - \text{Constante kosten}}$$

Dit resulteert in de onderstaande grafiek.



Figuur 12: Terugverdientijd afgezet tegen de gunstigheid

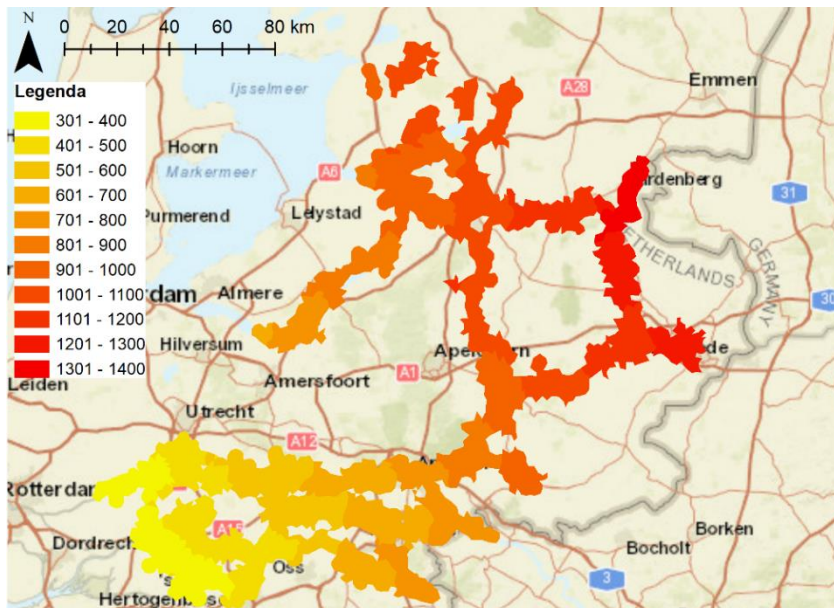
3.6 Methode van de onzekerheidsanalyse

Om te bepalen welke parameters belangrijk zijn in de onzekerheidsanalyse wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Dit wordt gedaan door middel van een *one factor at a time* (OAT) gevoeligheidsanalyse. Verschillende parameters zijn gevarieerd met -10% en +10%. Gemeten is wat deze variatie betekent voor de gunstigheid.

4 Resultaten

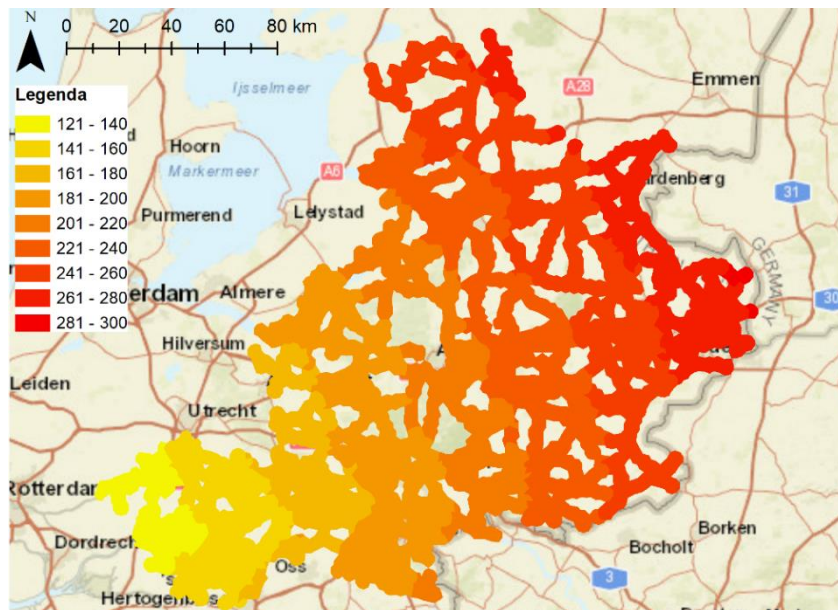
In dit hoofdstuk zijn de resultaten van het onderzoek gepresenteerd. Eerst zijn de resultaten voor de transportkosten voor bevoorrading, de vraag en omzet van binnenvaart, de vraag en omzet van vrachtwagens, de bevoorradingskosten en de inkoopkosten van het LNG gepresenteerd, geanalyseerd en gevalideerd. Hierna is de hieruit volgende gunstigheid, dat uitvoer is van het model besproken. Deze is vervolgens geduid met de terugverdientijd.

4.1 Transportkosten van de bevoorrading van tankstations met LNG



Figuur 13: Transportkosten bij bevoorrading met een tankschip in €

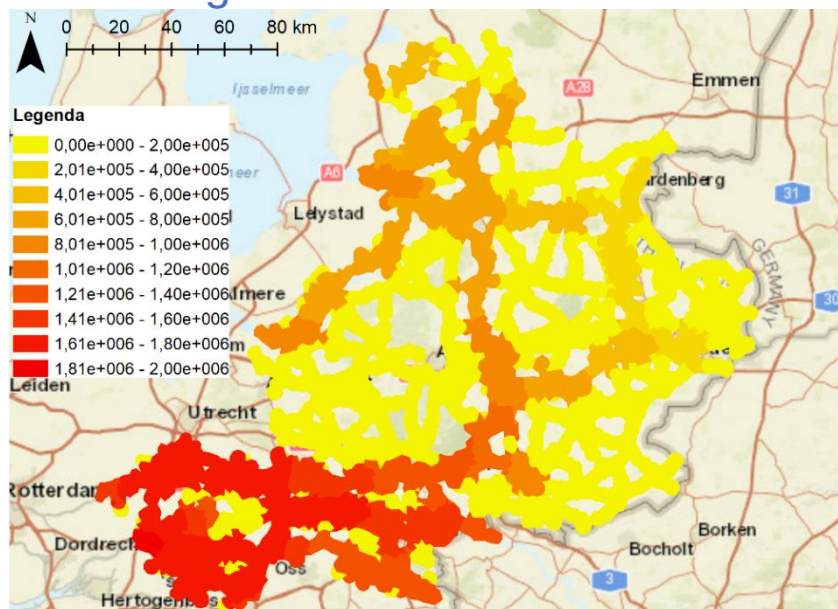
Bevoorrading met tankschepen wordt bij alle locaties gedaan vanuit de LNG-terminal in Rotterdam. Bevoorrading vanuit de LNG-terminal in Zeebrugge is voor het gehele onderzoeksgebied dus duurder. Voor de transportkosten voor bevoorrading met tankschepen geldt dat de transportkosten toenemen als de locatie verder van de LNG-terminal bij Rotterdam ligt. De transportkosten liggen tussen de €300 en €1400 voor een tankschip.



Figuur 14: Transportkosten van bevoorrading met een tankwagen in €

Ook voor bevoorrading met tankwagens geldt dit bij alle locaties wordt gedaan vanuit de LNG-terminal in Rotterdam. Na verdere analyse blijkt dat er locaties zijn in Noord-Limburg waar bevoorrading vanuit Zeebrugge goedkoper is. De grens tussen het verzorgingsgebied van Rotterdam en dat van Zeebrugge ligt dus net buiten het onderzoeksgebied. Ook hier geldt dat in de kaart met transportkosten duidelijk te zien is hoe ver locaties van Rotterdam liggen. De transportkosten liggen tussen de €120 en €300 per tankwagen.

4.2 Vraag en omzet van LNG voor de binnenvaart

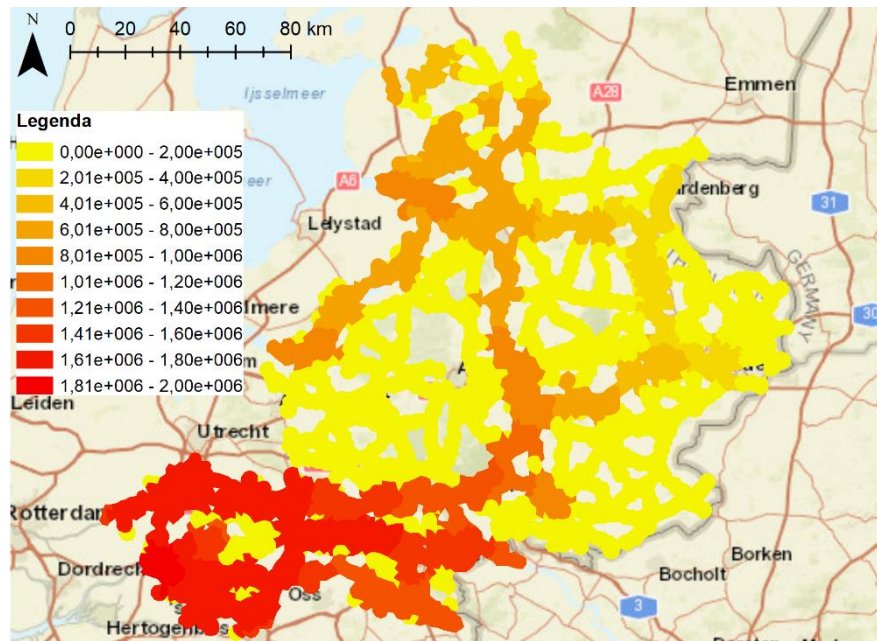


Figuur 15: Bediende vraag van LNG voor binnenvaartschepen in kg LNG/jaar

De bediende vraag van binnenvaartschepen is vooral groot in het rivierengebied. De verdeling tussen de rivieren kunnen de validiteit van het model ter discussie stellen, aangezien de bediende vraag bij alle rivieren in dezelfde orde van grootte ligt, namelijk tussen de 1.400 en 2.000 ton LNG per jaar. De Waal is echter een veel drukker bevaren rivier dan de Neder-Rijn, Lek en Maas. Een mogelijke verklaring zou kunnen zijn dat de transportkosten van binnenvaart in dit model voor alle rivieren constant zijn, waar dit in werkelijkheid per rivier verschilt.

Dit beeld komt redelijk overeen met eerder onderzoek, waarin een bediende vraag van 1.820 ton LNG per jaar wordt verwacht (Buck Consultats International, 2015).

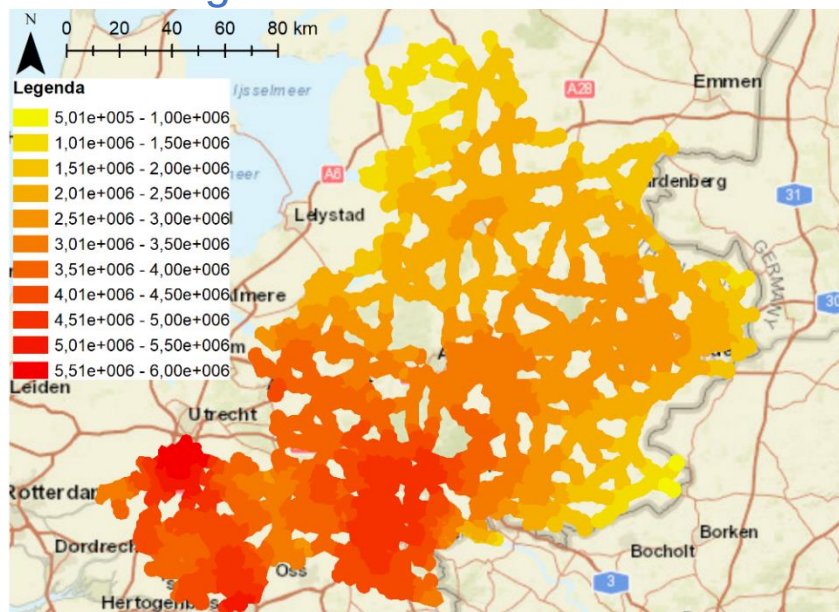
Uit het model volgt een brandstofprijs voor binnenvaart tussen de €1,126 en €1,150 per kg. Dit is een stuk hoger dan de €0,80 en €0,45 per kg die in literatuur genoemd wordt (PitPoint, 2017). Dit valt te verklaren doordat er in het model met één inkoopprijs is gewerkt, terwijl voor vrachtwagens wel en voor binnenvaart geen accijns geldt (zie Bijlage F.4 en Paragraaf 5.3).



Figuur 16: Omzet van LNG voor binnenvaartschepen in €/jaar

Omdat er, zoals hierboven besproken, in het model weinig verschil zit tussen de verkoopprijzen voor LNG bij de verschillende locaties langs rivieren komt de omzet van binnenvaartschepen sterk overeen met de bediende vraag. De omzet uit de binnenvaart ligt in het rivierengebied tussen de €1.400.000 en €2.000.000 per jaar. Dit komt wederom overeen met eerder onderzoek, waarbij met vrij weinig schepen een omzet van €1.028.177 per jaar werd berekend.

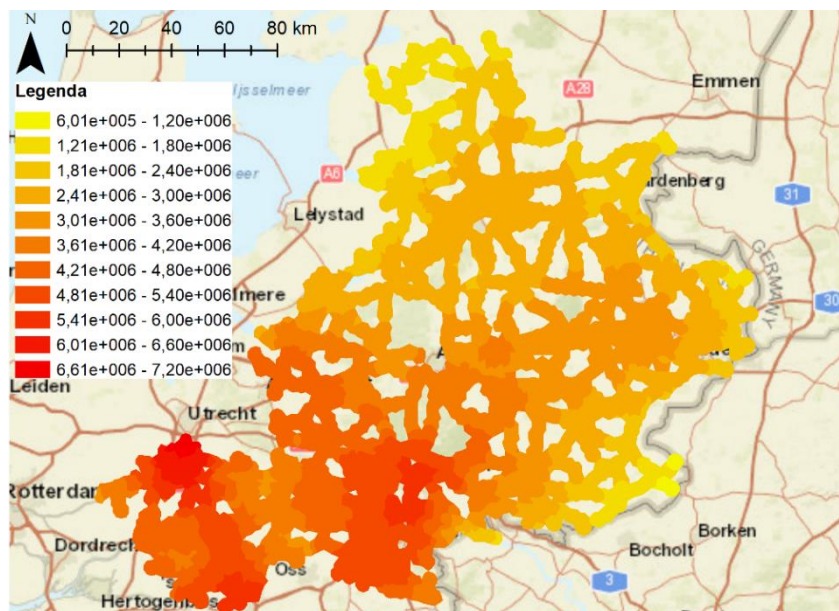
4.3 Vraag en omzet van LNG voor vrachtwagens



Figuur 17: Vraag van LNG voor vrachtwagens in kg LNG/jaar

Vooral rond de A2-corridor en Arnhem-Nijmegen is de bediende vraag van vrachtwagens hoog. Ook de A1 is in de kaart te onderscheiden. De bediende vraag ligt tussen 500 en 6.000 ton LNG per jaar. Eerdere studies die uitgaan van 1.000 ton LNG per jaar (Buck Consultats International, 2015) liggen in dezelfde marge.

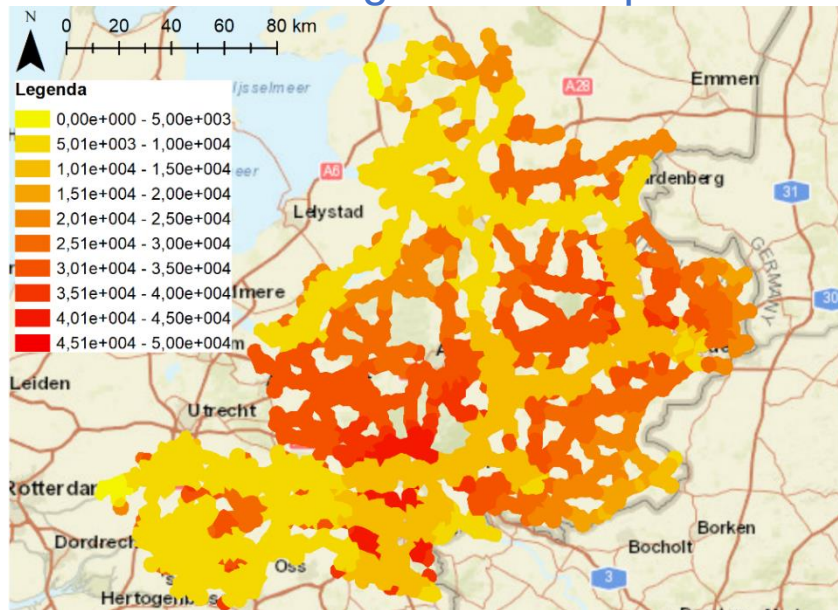
De brandstofprijs voor vrachtwagens liggen tussen €1,149 en €1,143 per kg. Dit is iets hoger dan de €1,025 en €1,036 per kg die in literatuur genoemd wordt (PitPoint, 2017).



Figuur 18: Omzet van LNG voor vrachtwagens in €/jaar

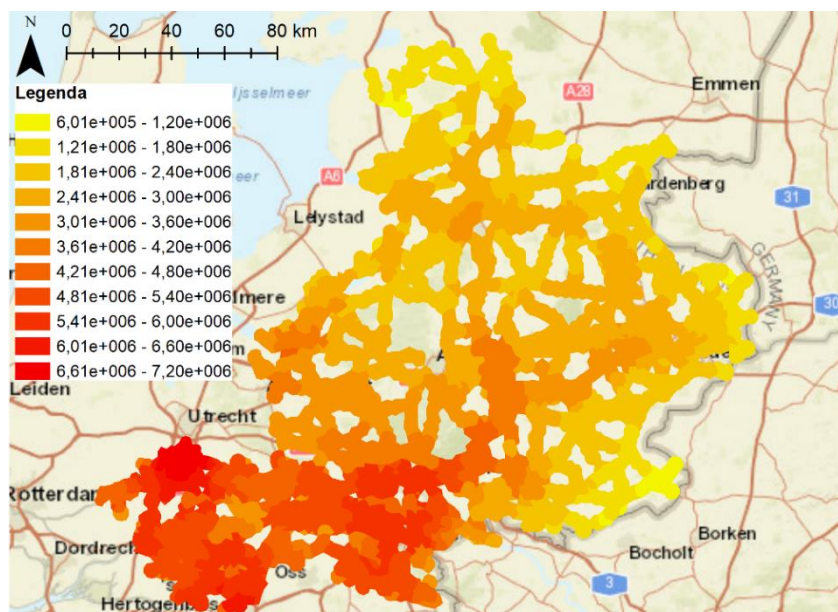
Net als bij de bediende vraag is de omzet van LNG door verkoop aan vrachtwagens bij de A2-corridor en regio Arnhem-Nijmegen hoog. De omzet ligt voor het gehele onderzoeksgebied tussen € 600.000 en € 7.200.000 per jaar. Dit is vrij hoog vergeleken met een eerdere studie die op €963.402 per jaar uitkomt (Buck Consultats International, 2015). Dit verschil wordt waarschijnlijk verklaard door de hogere brandstofprijs.

4.4 Bevoorradings- en inkoopkosten



Figuur 19: Bevoorradingskosten van LNG in €/jaar

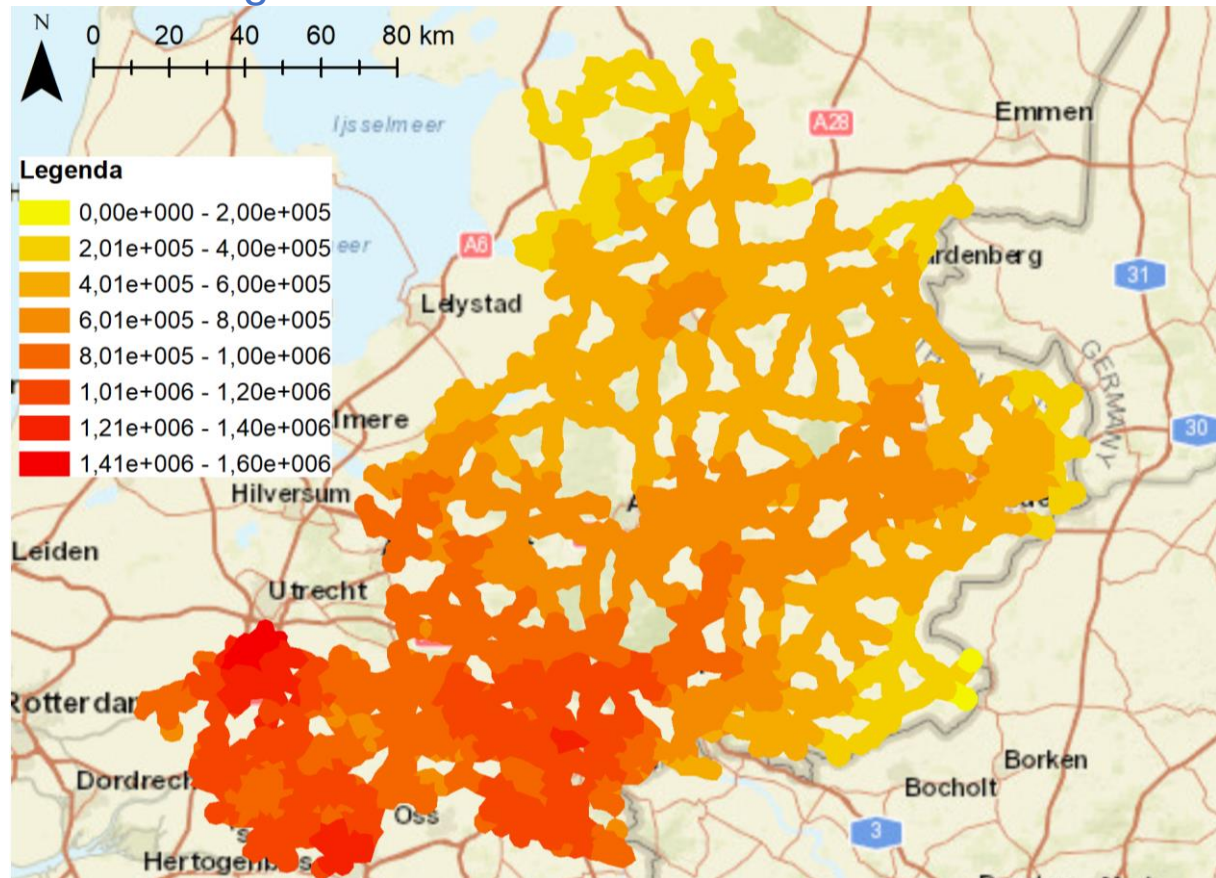
Voor de bevoorradingskosten verschilt het enorm of een locatie al dan niet bevoorraad kan worden met tankschepen. Zoals uit de figuur duidelijk blijkt liggen de kosten langs de rivieren, kanalen en de randmeren op het laagste niveau. De bevoorradingskosten bij locaties die bevoorraad worden met een tankschip zijn maximaal €15.000 per jaar. Bevoorrading met tankwagens kost tussen de €20.000 en €50.000 per jaar. Dit is lager dan een eerder onderzoek waar voor bevoorrading met tankwagens €96.726 per jaar gerekend werd (Buck Consultats International, 2015). In dat onderzoek zijn de transportkosten voor bevoorrading voor alle locaties constant aangenomen op €600/kg. Dit is dus een minder precieze methode dan in dit onderzoek is gebruikt.



Figuur 20: Inkoopkosten van LNG in €/jaar

Omdat de inkoopprijs als een constante is aangenomen, worden de verschillen in inkoopkosten volledig verklaard door verschillen in de vraag naar LNG. De totale inkoopkosten bij een locatie liggen tussen de €600.000 en €7.200.000 per jaar.

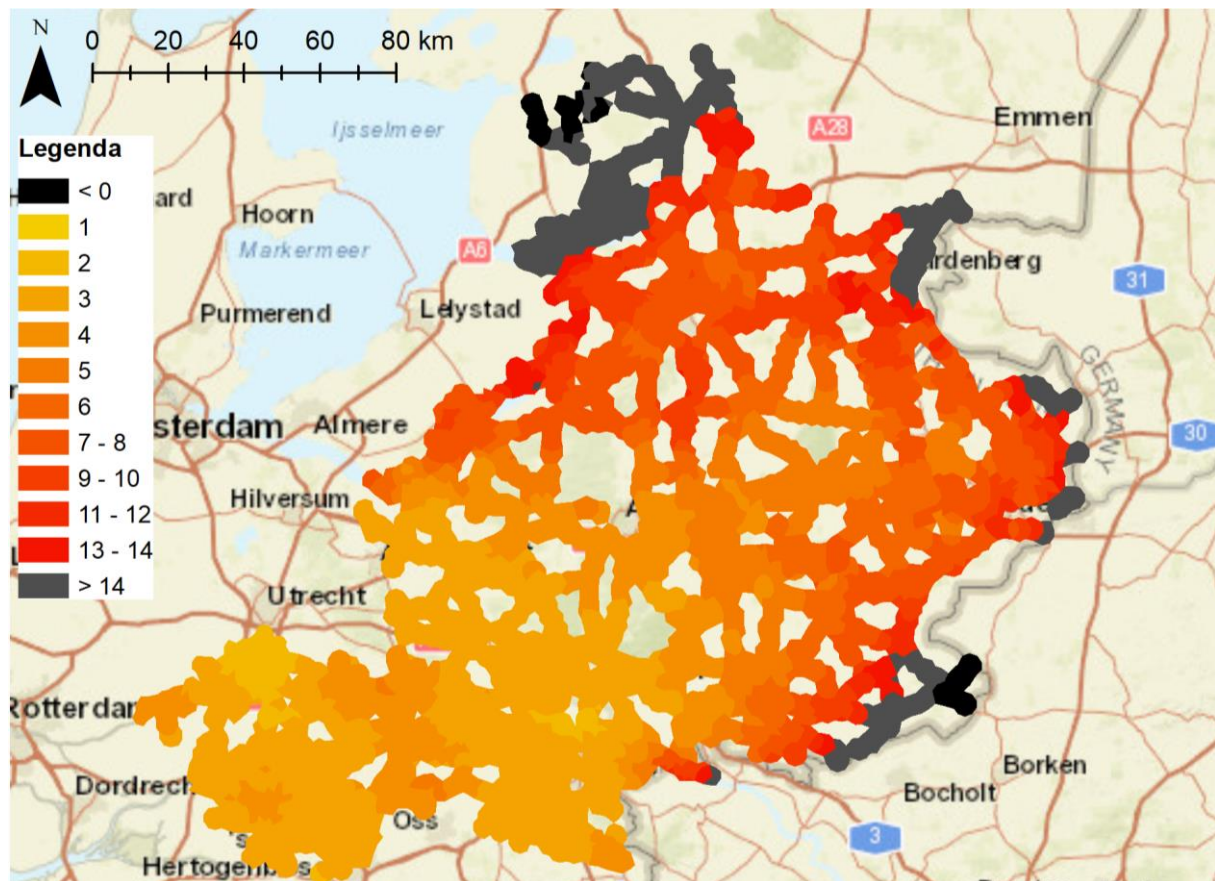
4.5 Gunstigheid



Figuur 21: Gunstigheid van een locatie voor een LNG-tankstation in €/jaar

De gunstigheid van een LNG-tankstation op een locatie varieert van €1.600.000 per jaar vlak ten zuiden van Utrecht tot bijna €0 per jaar ten oosten van Winterswijk. De gunstigheid is vooral hoog op plaatsen waar de grote rivieren en grote wegen elkaar kruisen. Dit is het geval bij Utrecht, 's-Hertogenbosch en Arnhem-Nijmegen. De locaties met een hoge gunstigheid komen overeen met eerdere onderzoeken naar kansrijke locaties. Bij Nijmegen en Nieuwegein, waar de gunstigheid groot is, zijn al initiatieven voor een LNG-tankstation bekend (Buck Consultants International, 2015).

Om de gunstigheid te duiden is voor verschillende types tankstations de terugverdientijd bepaald, zoals beschreven in Paragraaf 3.5. De hierboven besproken gunstigheid geldt alleen voor een multimodaal bunkerpunt. *Truck-to-ship* vulpunten kunnen immers geen vrachtwagens en bussen bedienen en tankstations zonder bunkerpunt kunnen geen binnenvaartschepen bedienen. De gunstigheid voor deze types tankstations is weergegeven in Bijlage E. Hieronder is de terugverdientijd voor een multimodaal bunkerstation besproken. Voor locaties die niet langs vaarwegen liggen is de terugverdientijd voor een tankstation zonder bunkerstation weergegeven.



Figuur 22: Terugverdientijd van een multimodaal LNG-bunkerpunt in jaren

In gebieden die grijs gekleurd zijn, is de terugverdientijd langer dan 14 jaar. In de zwartgekleurde gebieden zal verlies worden gedraaid, waardoor de investeringskosten niet terugverdiend worden.

De terugverdientijd is veel plekken extreem laag. Uit eerder onderzoek komt een gemiddelde terugverdientijd van 22 jaar (Buck Consultats International, 2015). Dit verschil wordt verklaard door de hierboven beschreven verschillen op het gebied van bevoorradingskosten en omzet. Door de omgekeerd evenredige functie van de terugverdientijd kan een kleine afname van de gunstigheid de terugverdientijd een stuk langer maken.

5 Discussie

Om te bepalen hoe het model functioneert zijn de resultaten verder geanalyseerd. Eerst is bepaald hoe de gunstigheid is samengesteld. Vervolgens is geanalyseerd wat de invloed is van enkele methodes, zoals het bepalen van de verkoopprijs op basis van een maximale winst en het afronden van het aantal bevoorradingsvoertuigen. Vervolgens zijn de resultaten van de onzekerheidsanalyse gepresenteerd.

5.1 Samenstelling van de gunstigheid van een locatie

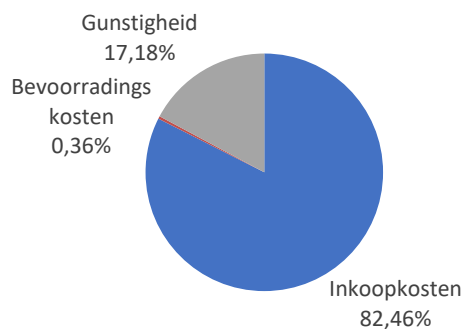
De gunstigheid wordt bepaald volgens de formule:

$$G(i) = O(i) - K_I(i) - K_b(i) \quad 3.2.1$$

waarbij: G = gunstigheid (€/jaar); O = omzet (€/jaar); K_I = inkoopkosten (€/jaar); K_b = bevoorradingskosten (€/jaar); i = locatie.

In Figuur 23 is weergegeven hoe de verschillende posten invloed hebben op de gunstigheid. Dit is gedaan door te kijken hoe de omzet op een locatie gemiddeld wordt verdeeld over de verschillende kostenposten, waarbij de gunstigheid (winst), net als op een balans, als een kostenpost wordt gezien.

Gemiddelde verdeling van de omzet

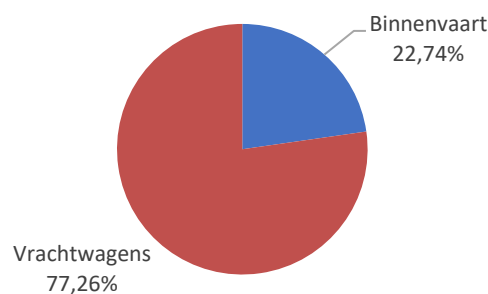


Figuur 23: Gemiddelde verdeling van de omzet

Zichtbaar is dat de bevoorradingskosten slechts een heel kleine rol spelen in de gunstigheid van een locatie. In Paragraaf 5.2.1 wordt daarom bekeken of het model te vereenvoudigen is door te rekenen zonder bevoorradingskosten.

Ook is bekeken wat het aandeel is van de verschillende vraagmodaliteiten in de omzet.

Herkomst van de omzet



Figuur 24: Herkomst van de omzet per modaliteit

Zichtbaar is dat de binnenvaart en vrachtwagens beide voor een substantieel deel bijdragen aan de omzet.

5.2 Invloed van enkele gebruikte methodes

Er wordt bekeken wat de invloed van enkele gebruikte methodes is op het resultaat, en of deze methodes verbeterd of versimpeld kunnen worden.

5.2.1 Bevoorradingskosten

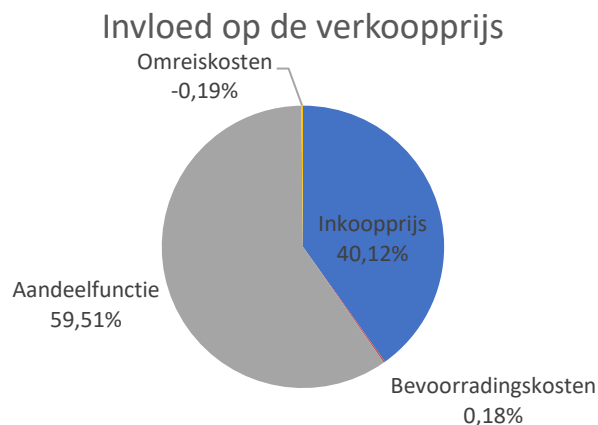
In de vorige paragraaf is besproken dat de bevoorradingskosten slechts een beperkt aandeel hebben in de gunstigheid. Daarom is bekeken wat er gebeurt als de bevoorradingskosten volledig worden weggelaten uit de gunstigheid. Het weglaten van de bevoorradingskosten uit de gunstigheid leidt tot een verschil in de gunstigheid van gemiddeld 2,02%. Dit aandeel wordt groot genoeg geacht om de bevoorradingskosten onderdeel te laten blijven uitmaken van de analyse.

5.2.2 Afronding van het aantal bevoorradingstvoertuigen

In de huidige methode wordt het aantal voertuigen voor bevoorrading naar boven afgerond op een positief geheel getal. De gemiddelde vraag naar LNG bij een locatie is 2318 ton. Een bevoorradingsschip heeft een capaciteit van 364 ton. Er is bekeken wat de gunstigheid is als het aantal bevoorradingsschepen niet wordt afgerond. Dit geeft een verschil in de gunstigheid van gemiddeld 4,22%. Dit verschil wordt te groot geacht om afronding weg te laten.

5.2.3 Bepaling van de brandstofprijs

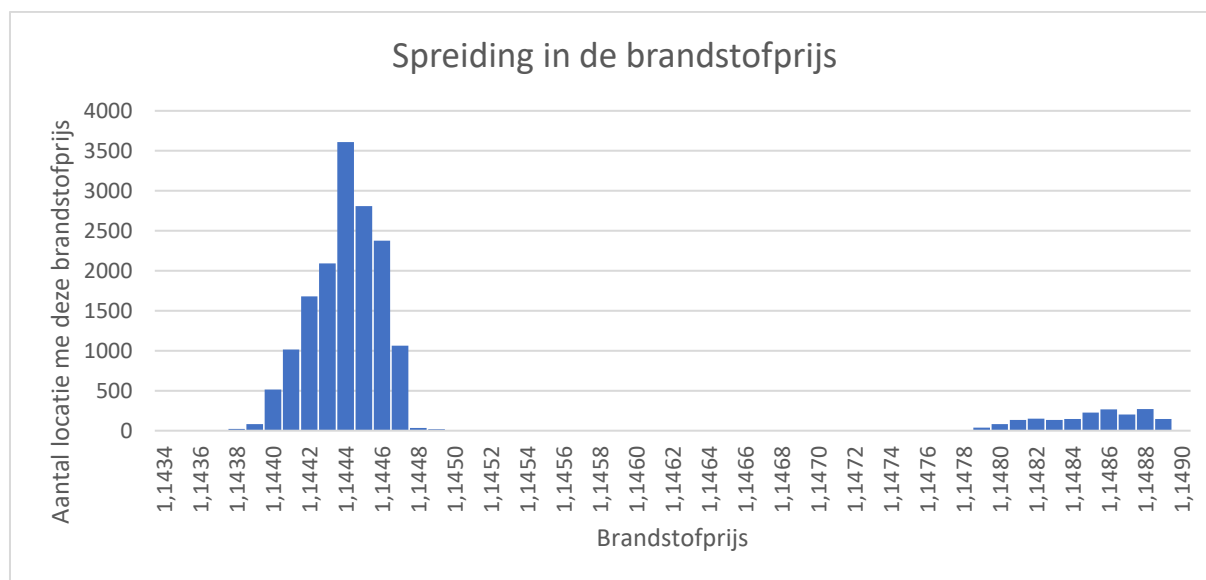
De brandstofprijs wordt bepaald, zó dat de gunstigheid maximaal is. Er is bekeken wat de invloed is van de verschillende factoren die de brandstofprijs bepalen.



Figuur 25: Invloed van verschillende posten op de verkoopprijs

Zichtbaar is dat vooral de inkoopprijs en de aandeelfunctie invloed heeft op de verkoopprijs. Dit zijn factoren die niet locatie-afhankelijk zijn. Er is daarom verder onderzoek gedaan naar het aannemen van een constante brandstofprijs.

In Figuur 26 is te zien dat de locaties op basis van de verkoopprijs voor vrachtwagens in twee groepen verdeeld kunnen worden. De locaties met een prijs tussen €1,1438 en €1,1448 blijken bevoorraadt te kunnen worden met tankschepen. De locaties met een prijs tussen €1,1478 en €1,1490 liggen verder in het binnenland, waardoor alleen bevoorrading met tankwagens mogelijk is. De bevoorradingskosten hebben dus wel degelijk invloed op de verkoopprijs. Voor de verkoopprijs voor de binnenvaart geldt dit niet, omdat op deze locaties altijd bevoorrading met een tankschip mogelijk is.



Figuur 26: Spreiding van de brandstofprijs bij verschillende locaties

De verschillen tussen de brandstofprijzen blijven echter vrij klein. Daarom is bekeken wat het resultaat zou zijn van een constante brandstofprijs. Het gemiddelde verschil van de gunstigheid tussen een variabele en constante prijs is 9,67% met voor sommige locaties zelfs 27,65%. De variatie in de brandstofprijs speelt dus wel degelijk een belangrijke rol in de gunstigheid.

5.3 Gevoeligheidsanalyse

De gevoeligheid van verschillende parameters is bepaald door deze een voor een te variëren en te bekijken wat het verschil is in de gunstigheid.

Parameter	Vershil in gunstigheid bij -10 %	Vershil in gunstigheid bij +10 %
Inkoopprijs	87,88%	-52,58%
Vraag per vrachtwagen	68,22%	-44,67%
Vraag per schip	20,20%	-8,11%
Capaciteit van een tankschip	-0,15%	0,12%
Capaciteit van een tankwagen	-0,15%	0,12%
Afstand waarbij geen vrachtwagens meer omreizen	-10,49%	11,21%
Afstand waarbij geen binnenvaartschepen meer omreizen	-0,02%	0,02%
Transportkosten van binnenvaartschepen	0,75%	-0,63%
Transportkosten van vrachtwagens	9,34%	-7,46%
Transportkosten van tankwagens	0,13%	-0,13%
Transportkosten van tankschepen	0,14%	-0,14%

Tabel 6: Resultaten van de gevoeligheidsanalyse

De gunstigheid van een locatie is erg gevoelig voor de inkoopprijs. In dit onderzoek is uitgegaan van één inkoopprijs voor zowel vrachtwagens als binnenvaart. Uit interviews (zie Bijlage F.4) is gebleken dat de inkooprijzen voor deze modaliteiten verschillen, omdat er bij vrachtwagens wel en bij binnenvaart geen accijns betaald hoeft te worden. Gezien de grote gevoeligheid voor deze invoerparameter op het resultaat, wordt daarom geadviseerd om in het vervolg verschillende inkooprijzen voor vrachtwagens en binnenvaart te hanteren. Door het wegvallen van accijns voor de binnenvaart zal de gunstigheid toenemen en de terugverdientijd afnemen.

Ook de vraag per vrachtwagen en de vraag per schip hebben een grote invloed op de gunstigheid van locaties. Opvallend is dat de gunstigheid afneemt, naarmate de vraag per voertuig stijgt. Dit komt doordat in de aandeelfunctie de verkoopprijs belangrijker wordt ten opzichte van de omreisafstand. Omdat de omreisafstand bij stijging van de vraag per voertuig, relatief minder belangrijk is, wordt het zoekgebied voor een goedkoop tankstation groter. Tankstations krijgen hierdoor meer concurrentie, waardoor de prijzen en winstmarges dalen.

In het huidige model zijn de vraag per schip en vraag per vrachtwagen constanten. Het is mogelijk om verschillende waarden aan te nemen voor verschillende scheepsklassen. Voor vrachtwagens is dit moeilijker, omdat in de huidige herkomst-bestemmingsmatrix geen vrachtwagenklassen zijn gespecificeerd.

Bij de afstand waarbij vrachtwagens en binnenvaartschepen niet meer omreizen is geen negatieve relatie aanwezig, zoals bij de vraag per voertuig wel het geval is. Dit komt omdat hier de omreisafstand niet alleen ten opzichte van de kosten van de brandstof (relatief), maar ook in absolute zin verandert. Het zoekgebied van een voertuig wordt daardoor kleiner en vrachtwagens zullen minder vaak omreizen om te tanken.

Tot slot is de gunstigheid van locaties vrij gevoelig voor de transportkosten van vrachtwagens. Voor alle transportkosten geldt dat deze zijn gebaseerd op betrouwbare bronnen, die jaarlijks door Rijkswaterstaat worden vernieuwd. Wel is er geen onderscheid gemaakt in verschillende voertuigklassen. Deze zullen in werkelijkheid vooral bij schepen variëren en bij vrachtwagens slechts in beperkte mate.

6 Conclusie

In dit hoofdstuk zijn eerst de verschillende deelvragen beantwoord. Vervolgens is een antwoord gegeven op de centrale onderzoeksvraag.

Deelvraag 1: Wat zijn de bevoorradingskosten voor LNG-tankstations in Oost-Nederland?

De bevoorradingskosten voor LNG-tankstations is sterk afhankelijk van de bevoorradingsmodaliteit. Indien er bevoorraad kan worden met een tankschip, zijn de bevoorradingskosten maximaal €15.000 per jaar. Hiervoor geldt dat, hoe verder de afstand tussen de LNG-terminal van Rotterdam en de locatie is, hoe hoger de transportkosten voor bevoorrading zijn. Als op een locatie meer vraag is naar LNG, en er dus meer bevoorraad moet worden, worden de bevoorradingskosten ook hoger. Indien er bevoorraad moet worden met een tankwagen liggen de bevoorradingskosten tussen de €20.000 per jaar en €50.000 per jaar. Voor deze locaties speelt de afstand tot de LNG-terminal een minder grote rol. Vooral de hoeveelheid LNG die bevoorraad moet worden is dan bepalend.

Deelvraag 2: Wat is de vraag naar LNG in Oost-Nederland?

Voor de vraag naar LNG is vooral het aantal vrachtwagens dat in de buurt rijdt van belang. Hoge concentraties vrachtwagens bevinden zich langs de A2-corridor en in het gebied Arnhem-Nijmegen. Hier kan de bediende vraag van LNG oplopen tot 6.000 ton per jaar. Rond Hengelo en Zwolle kan er tussen de 2.500 ton per jaar en 3.000 ton per jaar worden afgenomen. Verder van grote wegverbindingen neemt dit af tot 500 ton per jaar ten oosten van Winterswijk. Hierbij moet worden meegenomen dat locaties in grensgebieden een lagere afzet hebben dan in werkelijkheid het geval zal zijn, omdat er geen buitenlands wegennetwerk is gebruikt.

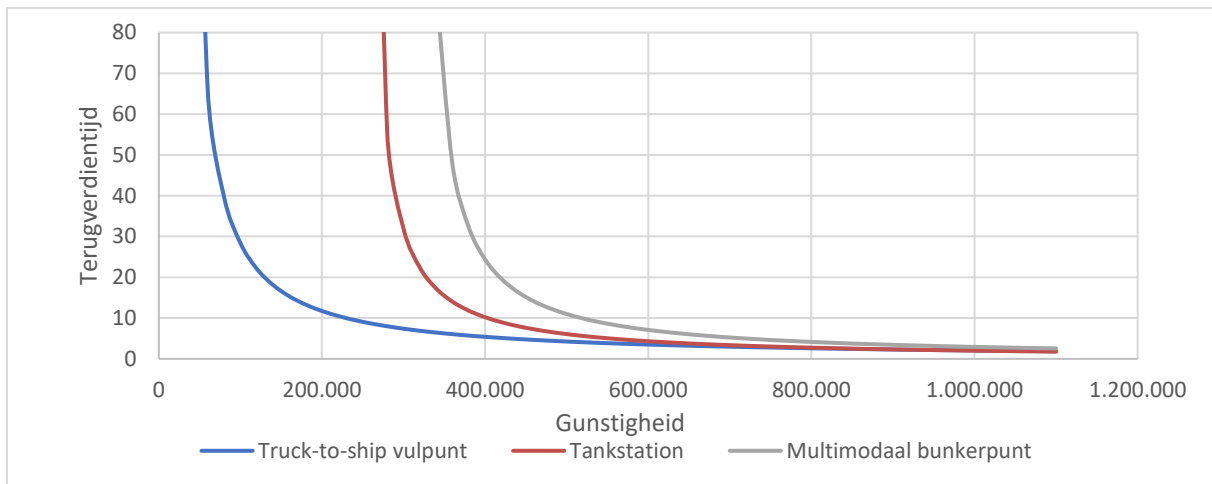
In de binnenvaart wordt tot maximaal 2.000 ton per jaar afgezet in het rivierengebied. Langs de IJssel kan tussen de 600 en 1.000 ton per jaar worden afgezet. Langs het Twentekanaal en Overijssels kanaal loopt dit terug tot 200 ton per jaar, al is het de vraag of hier ooit schepen op LNG zullen varen. De scheepstypes die het meest geschikt zijn voor ombouw tot aandrijving met LNG kunnen niet in deze wateren varen.

Deelvraag 3: Wat zijn de criteria voor het gebruik van een LNG-tankstations van potentiële gebruikers?

Het is erg lastig om de criteria van potentiële gebruikers te bepalen. Bedrijven zijn erg terughoudend met deze concurrentiegevoelige informatie. Op basis van eerdere modellen en interviews is ervan uitgegaan dat gebruikers slechts beperkt extra kosten willen maken als gevolg van het moeten tanken. Zowel de verkoopprijs als de omreiskosten zijn daarbij van invloed. In dit model is uitgegaan van maximaal 30 kilometer omreisafstand voor vrachtwagens en 5 kilometer omreisafstand voor schepen.

Deelvraag 4: Bij welke waarden van de opgestelde gunstighedsfactor is een LNG-tankstations winstgevend?

Naast de gunstighedsfactor zijn ook de investeringskosten van invloed op de winstgevendheid. Er is daarom berekend hoe lang het op een locatie duurt, voordat een investering is terugverdient: de terugverdientijd. Doordat verschillende types stations andere investeringskosten hebben, verschilt de terugverdientijd per type tankstation.



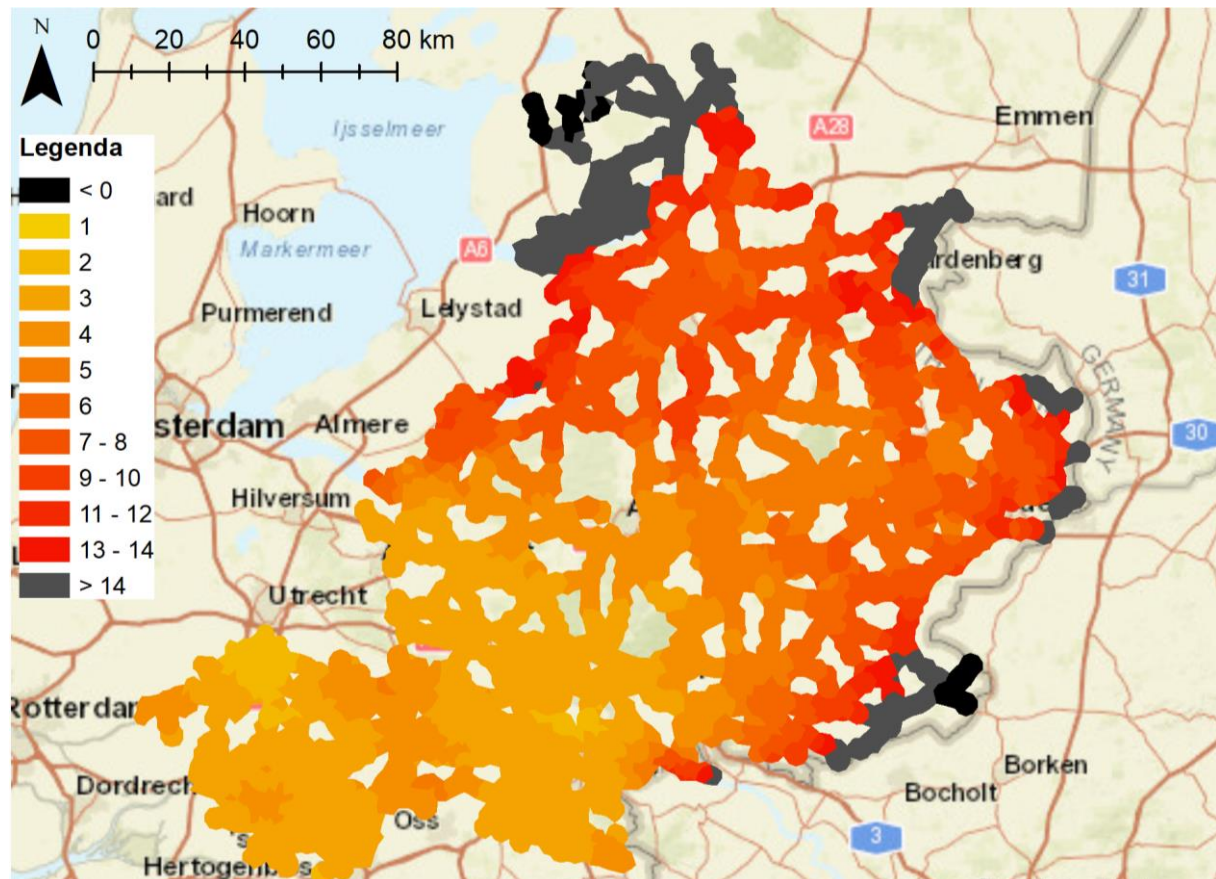
Figuur 27: Terugverdientijd afgezet tegen de gunstigheid

Inde figuur is te zien dat tankstations boven een bepaalde gunstigheid winstgevend zijn. Dit is €19.600 per jaar voor een *Truck-to-ship* vulpunt, €253.000 per jaar voor een tankstation zonder bunkerstation en €318.000 voor een multimodaal bunkerstation. De gunstigheid, waarbij de terugverdientijd realistisch wordt, ligt iets hoger.

Met de deelvragen kan de centrale onderzoeksvraag worden beantwoord.

Wat is, met betrekking tot de bevoorradingskosten en de vraag naar LNG, de gunstigheid van locaties in Oost-Nederland voor multimodale LNG-tankstations?

Met de terugverdientijd van de investering in de bouw van een LNG-tankstation is bepaald welke locaties in Oost-Nederland gunstig zijn voor een LNG-tankstation.



Figuur 28: Terugverdientijd in jaren

In de figuur is zichtbaar gemaakt wat de terugverdientijd is voor verschillende locaties. In gebieden die grijs gekleurd zijn, is de terugverdientijd langer dan 14 jaar. In de zwartgekleurde gebieden zal verlies worden gedraaid, waardoor de investeringskosten niet terugverdiend worden. Over het algemeen is de terugverdientijd erg laag. Door de inkoopprijs te variëren voor vrachtwagens en binnenvaart zal de terugverdientijd verder afnemen.

De lage terugverdientijd kan verklaard worden door de aanname dat LNG de dominante transitiebrandstof is. Hierdoor is de vraag in het model groter dan de huidige werkelijke vraag naar LNG, omdat er nog maar weinig vrachtwagens en schepen op LNG zijn.

7 Aanbevelingen

De ontwikkelde gunstighedskaart voor LNG-tankstations kan door Rijkswaterstaat worden gebruikt om te bekijken waar LNG-tankstations een grote potentie hebben. In de geschiktheidskaart, het andere deel van de LNG Kansenkaart, wordt bekeken welke locaties met betrekking tot veiligheid en ruimtelijke ordeningseisen geschikt zijn voor LNG-tankstations. Er wordt daarbij uitgegaan van beperkte aanpassingen en investeringen.

Wel moeten vraagtekens gezet worden bij de absolute waarden van de terugverdiëntijd. De berekende terugverdiëntijden zijn vrij laag voor LNG-tankstations in vergelijking tot eerdere onderzoeken.

Rijkswaterstaat wil de gebruikte methode gebruiken om ook voor andere regio's een LNG Kansenkaart op te stellen. Het model is daarom gebruiksvriendelijk gemaakt door veel stappen te becommentariëren. Ook zijn de handmatige acties tot een minimum beperkt.

Het grootste deel van de invoerparameters kan gebruikt worden voor geheel Nederland. Uiteraard moet de ArcGIS-feature class met het onderzoeksgebied wel aangepast worden. Daarnaast is het Nederlands Regionaal Model Oost (NRM Oost) gebruikt voor de vraag van vrachtwagens. Voor LNG Kansenkaarten van andere regio's kunnen de andere regionale verkeersmodellen van Rijkswaterstaat kunnen gebruikt. Tot slot moet gekeken worden of de grensovergangen vanaf waar bevoorraad wordt representatief zijn voor andere regio's.

In deze analyse is de vraag van LNG van bussen niet meegenomen. Ook is geconstateerd dat er in de spoorwereld weinig ontwikkeling is op het gebied van treinen op LNG. Het model is wel geschikt om bussen en treinen mee te nemen in de analyse. Daarnaast is het model geschikt om parameters met de vraag per voertuig te variëren voor verschillende voertuigklassen. Zoals in de discussie is besproken wordt aangeraden om voor binnenvaart en andere voertuigen een andere inkoopprijs aan te nemen, op basis van verschillen in accijns.

Er wordt aangeraden om bij vervolgonderzoek het model in Python in plaats van Matlab te modelleren. Dit maakt het mogelijk om het volledige model in ArcGIS uit te voeren. Ook zal hierdoor de snelheid van ruimtelijke analyses verbeteren. Daarnaast bestaat het model nu uit de bepaling van een gunstigheid, die vervolgens is omgezet naar een terugverdiëntijd. De berekening van de terugverdiëntijd zou eenvoudig kunnen worden geïmplementeerd in het model, waardoor de uitvoer meteen goed te duiden is.

8 Referenties

- Argonon Shipping B.V. (sd). *ARGONON, SUSTAINABLE SHIP*. Opgehaald van http://www.deenshipping.com/files/documents/Argonon%20PressMap_LRES.pdf
- Beer, T., Grant, T., Morgan, G., Lapszewicz, J., Anyon, P., Edwards, J., . . . Williams, D. (2001). *Comparison of transport fuels*. FINAL REPORT (EV45A/2/F3C) to the Australian Greenhouse Office on the Stage 2 study of life-cycle emissions analysis of alternative fuels for heavy vehicles, Australia.
- Berman, O., & Krass, D. (1998). Flow intercepting spatial interaction model: a new approach to optimal location of competitive facilities. *Location Science*, 1(1-4), 41-65. doi:10.1016/S0966-8349(98)00047-3
- Berman, O., Hodgson, J., & Krass, D. (1995). Flow-Interception Problems. In Z. Drezner, *Facility Location: A Survey of Applications and Methods* (pp. 389–426). Berlin: Springer.
- Buck Consultants International. (2015). *Bouwstenen voor het LNG Masterplan Gelderland*. Nijmegen: Provincie Gelderland.
- Buck Consultats International. (2015). *Marktintroductie LNG in weg- en watertransport in de provincie Gelderland*. Nijmegen: Provincie Gelderland.
- Chung, S. H., & Kwon, C. (2015, April). Multi-period planning for electric car charging station locations: A case of Korean expressways. *European Journal of Operational Research*, 242(2), 677–687. doi:10.1016/j.ejor.2014.10.029
- Church, R., & Velle, C. R. (1974, January). The maximal covering location problem. *Papers in regional science*, 32(1), 101-118. doi:10.1111/j.1435-5597.1974.tb00902.x
- Cryonorm. (sd). *Marine LNG Fuel systems*. Opgeroepen op augustus 28, 2017, van Cryonorm: <http://cryonorm.com/marine-lng-fuel-systems>
- Energy Information Administration. (1999). *Natural Gas 1998: Issues and Trends*. Office of Oil and Gas, DOE/EIA-0560(98). Washington, DC: U.S. Department of Energy. Retrieved from http://www.eia.doe.gov/oil_gas/natural_gas/analysis_publications/natural_gas_1998_issues_and_trends/it98.html
- Europese Unie. (2014). *Richtlijn van het Europees Parlement en de Raad van 22 oktober 2014 betreffende de uitrol van infrastructuur voor alternatieve brandstoffen*. Straatsburg.
- Fluxys. (2013). *LNG TOEGANGSREGLEMENT VOOR HET LADEN VAN TRUCKS*.
- Green Deal. (2012). *Green Deal LNG: Rijn en Wadden*. 's Gravenhage.
- Hodgson, J. (1990, July). A Flow-Capturing Location-Allocation Model. *Geographical Analysis*, 22(3), 270-279. doi:10.1111/j.1538-4632.1990.tb00210.x
- Institute for the Analysis of Global Security. (sd). *Sources of methanol*. Opgeroepen op 8 28, 2017, van iags.org: <http://www.iags.org/methanolsources.htm>
- Kim, J.-G., & Kuby, M. (2012, March). The deviation-flow refueling location model for optimizing a network of refueling stations. *International journal of hydrogen energy*, 37(6), 5406-5420. doi:10.1016/j.ijhydene.2011.08.108
- Kim, J.-G., & Kuby, M. (2013, April). A network transformation heuristic approach for the deviation flow refueling location model. *Computers & Operations Research*, 40(4), 1122–1131. doi:10.1016/j.cor.2012.10.021
- Kuby, M., & Lim, S. (2005, June). The flow-refueling location problem for alternative-fuel vehicles. *Socio-Economic Planning Sciences*, 39(2), 125-145. doi:10.1016/j.seps.2004.03.001
- Kuby, M., & Lim, S. (2007, June). Location of Alternative-Fuel Stations Using the Flow-Refueling Location Model and Dispersion of Candidate Sites on Arcs. *Networks and Spatial Economics*, 7(2), 129–152. doi:10.1007/s11067-006-9003-6
- Kuby, M., Capar, I., & Kim, J.-G. (2017, March). Efficient and equitable transnational infrastructure planning for natural gas trucking in the European Union. *European Journal of Operational Research*, 257(3), 979–991. doi:10.1016/j.ejor.2016.08.017

- Kuby, M., Lines, L., Schultz, R., Xiec, Z., Kima, J.-G., & Lim, S. (2009, August). Optimization of hydrogen stations in Florida using the Flow-Refueling Location Model. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(15), 6045–6064. doi:10.1016/j.ijhydene.2009.05.050
- Kumar, S., Kwon, H.-T., Choi, K.-H., Lim, W., Hyun Cho, J., Tak, K., & Moon, I. (2011, December). LNG: An eco-friendly cryogenic fuel for sustainable development. *Applied Energy*, 88 (12), 4264–4273. doi:10.1016/j.apenergy.2011.06.035
- Lima, S., & Kuby, M. (2010, July). Heuristic algorithms for siting alternative-fuel stations using the Flow-Refueling Location Model. *European Journal of Operational Research*, 204(1), 51–61. doi:10.1016/j.ejor.2009.09.032
- Maritiem Kennis Centrum. (2017). *Project Methanol als alternatieve brandstof voor vaartuigen van start gegaan*.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2014). *Een duurzame brandstofvisie met LEF*. Opgehaald van <http://www.energieakkoordser.nl/~media/01303b49eab0429b88c79c3353683e9e.ashx>
- Miralinaghi, M., Keskin, B. B., Lou, Y., & Roshandeh, A. M. (2017, March). Capacitated Refueling Station Location Problem with Traffic Deviations Over Multiple Time Periods. *Networks and Spatial Economics*, 17(1), 129–151. doi:10.1007/s11067-016-9320-3
- MirHassani, S. A., & Ebrazi, R. (2012, September). A flexible reformulation of the refueling station location problem. *Transportation Science*, 47(4), 617 - 628. doi:10.1287/trsc.1120.0430
- Nationaal LNG Platform. (2017, January 2th). *Waar kunnen trucks nu en binnenkort LNG tanken?* Opgeroepen op April 4th, 2017, van website Nationaal LNG Platform: <http://www.nationaallngplatform.nl/publicaties/>
- PitPoint. (sd). *Wie gebruiken LNG?* Opgeroepen op April 13th, 2017, van LNG.nl: <http://www.lng.nl/voorwie.html>
- Provincie Gelderland. (2016). *STATENBRIEF Verduurzaming regionaal spoor*. Arnhem.
- Provincie Overijssel. (2014). *Uitvoering motie Quick scan toepassing moderne technieken op provinciaal spoor*.
- R. Verbeek, M. V. (2015). *LNG for trucks and ships: fact analysis Review of pollutant and GHG emissions*. TNO.
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. (2017, april 25). *Rekenmethodiek LNG-tankstations*. Opgehaald van <http://www.scenarioboek.nl/wp-content/uploads/Rekenmethodiek-LNG-tankstations.pdf>
- Transport Online. (2016, augustus 29). *Gate terminal breidt uit met een derde laadplaats speciaal voor kleinere schepen*. Opgeroepen op augustus 28, 2017, van Transport Online: <http://www.transport-online.nl/site/74383/gate-terminal-breidt-uit-met-een-derde-laadplaats-speciaal-voor-kleinere-schepen/>
- Upchurch, C., & Kuby, M. (2010, November). Comparing the p-median and flow-refueling models for locating alternative-fuel stations. *Journal of Transport Geography*, 18(6), 750–758. doi:10.1016/j.jtrangeo.2010.06.015
- Upchurch, C., Kuby, M., & Lim, S. (2009, January). A Model for Location of Capacitated Alternative-Fuel Stations. *Geographical Analysis*, 41(1), 85-106. doi:10.1111/j.1538-4632.2009.00744.x
- Vis, P. d., & Buijs, D. i. (2017). *De rol van logistiek in een duurzame en efficiënte LNG distributieketen, Eindverslag Dinalog R&D project Design of LNG Networks*. Faculteit Economie en Bedrijfskunde. Rijksuniversiteit Groningen.
- Walker, W., P., P. H., Rotmans, J., Van der Sluijs, J., Van Asselt, M., Janssen, P., & Krayen von Krauss, M. (2003). Defining Uncertainty, A Conceptual Basis for Uncertainty Management in Model-Based Decision Support. *Integrated Assessment*, 4(1), 5-17.
- Weekhout, R. (2016). *Opmerkingen BSc-theis Joost Bult*.
- Yildiz, B., Arslan, O., & Karaşan, O. E. (2016, February). A branch and price approach for routing and refueling station location model. *European Journal of Operational Research*, 248(3), 815–826. doi:10.1016/j.ejor.2015.05.021

Bijlage A Onderzoeksgebied en Terminals

Er zijn LNG-terminals in de havens van Rotterdam en Zeebrugge. Omdat alleen het wegenetwerk van Nederland, en niet dat van België beschikbaar is, is de afstand en tijd van de haven van Zeebrugge tot verschillende grensovergangen bepaald. Omdat bevoorrading van het LGNC-tankstation met een binnenvaart-tankschip of tankwagen gebeurt, zijn dit grensovergangen langs mogelijke routes naar het onderzoeksgebied.



Figuur 29: Locaties van de LNG-terminals, het onderzoeksgebied en de grensovergangen

Naam	OBJECTID ArcGIS	Mode	GPS-coördinaten
GATE Rotterdam	1	Tankwagen	51°58'16.0"N 4°03'40.0"E
GATE Rotterdam	2	Schip	51°58'00.0"N 4°04'21.0"E
Sluis Terneuzen	3	Schip	51°19'56.0"N 3°49'05.0"E
N253 Sluis	4	Tankwagen	51°18'52.9"N 3°21'31.3"E
A4 Ossendrecht	5	Tankwagen	51°22'37.1"N 4°18'15.7"E
A16 Hazeldonk	6	Tankwagen	51°29'10.0"N 4°44'08.0"E
A67 Bladel	7	Tankwagen	51°19'08.4"N 5°12'34.0"E

Tabel 7: Locaties en informatie van de in ArcGIS ingevoerde terminals en grensovergangen

De afstand en tijd tot de sluis van Terneuzen is bepaald met de routeplanner The Blue Road Map. Dit is exclusief de tijd die het kost om de sluis bij Terneuzen door te gaan.

Naam	Duur (h:min)	Afstand (km)
Sluis Terneuzen	11:34	84,8

Tabel 8: Afstand en duur tot de sluis bij Terneuzen

De afstanden en tijden naar de grensovergangen voor tankwagens zijn bepaald met drie verschillende routeplanners: Google Maps, Bing Maps en HERE WeGo. De routeplanner is ingesteld met een vertrek op een gemiddelde woensdagmiddag om 12:00 uur. De gemiddelde duur en afstand zijn als uitgangspunt genomen.

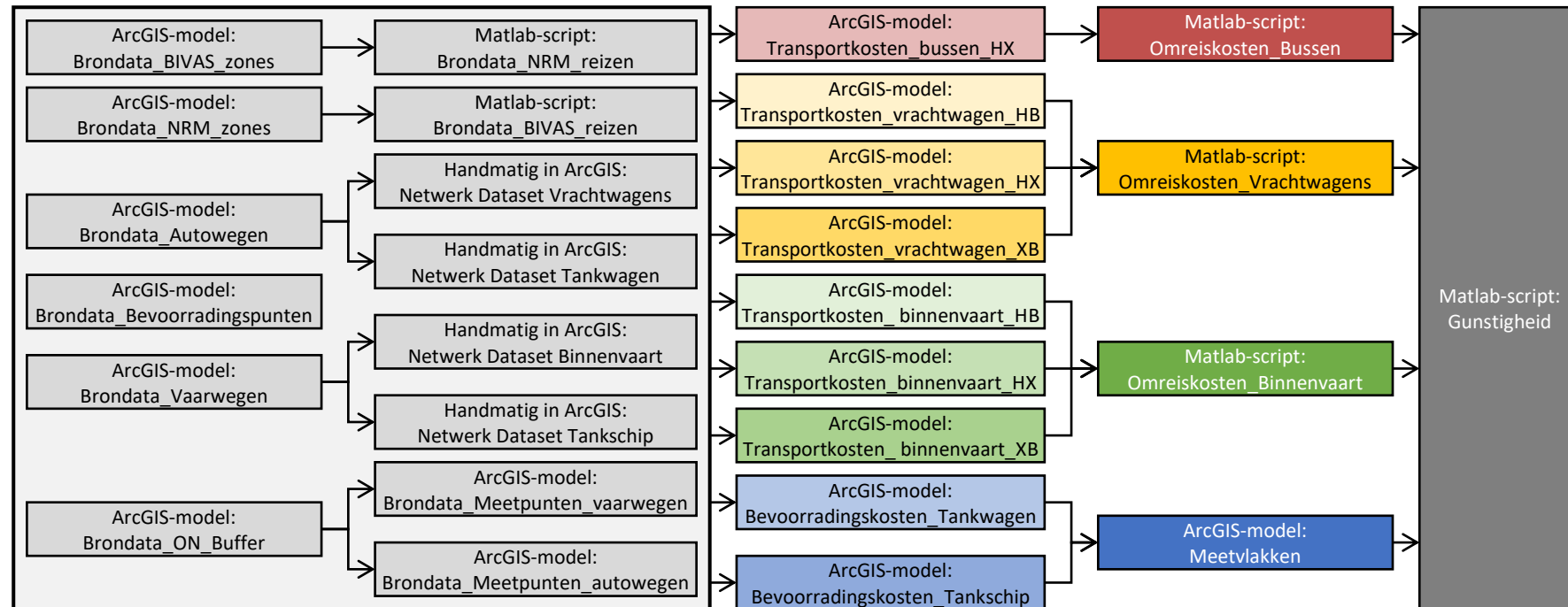
Naam	Google Maps	Bing Maps	HERE WeGo	Gemiddelde duur
N253 Sluis	0:20	0:19	0:19	0:19
A4 Ossendrecht	1:30	1:14	1:16	1:20
A16 Hazeldonk	1:50	1:32	1:33	1:38
A67 Bladel	1:55	1:43	1:44	1:47

Tabel 9: Bepaling van de reisduur (uren:minuten) tot de grensovergangen voor tankwagens

Naam	Google Maps	Bing Maps	HERE WeGo	Gemiddelde afstand
N253 Sluis	12,5	15,1	12	13,2
A4 Ossendrecht	103,0	105,6	105	104,5
A16 Hazeldonk	138,0	140,5	140	139,5
A67 Bladel	158,0	160,4	160	159,5

Tabel 10: Bepaling van de afstand in kilometer tot de grensovergangen voor tankwagens

Bijlage B Modeloverzicht



Figuur 30: Overzicht van de verschillende deelmodellen en hun volgorde

Invoer	Model	#	Type	Runtime	Uitvoer
	Brondata_Geodatabases	0	ArcGIS	00:00:01	LNG_Kansenkaart.gdb TEMP.gdb
E Bevoorradingpunten	Brondata_Bevoorradingpunten	1	ArcGIS	00:00:01	Bevoorradingpunten
I NWB_vaarwegen_vaarwegvakken.lyr					Stuwen
I vaarweg_informatie_nederland.lyr	Brondata_Vaarwegen (Alleen op RWS-netwerk)	1	ArcGIS	00:02:24	Sluizen
P Parameters reiskosten					Vaarwegen
A Passeertijden					Vaarwegen1
I NWB_wegen_wegvakken.lyr	Brondata_Autowegen (Alleen op RWS-netwerk)	1	ArcGIS	00:12:07	Autowegen
P Parameters reiskosten					Autowegen1
					Autowegen2
E ON	Brondata_ON_buffer	1	ArcGIS	00:00:07	ON_buffer (TEMP)
I NRM_Oost_2014	Brondata_NRM_zones	1	ArcGIS	00:01:05	Koppeltabel_NRM_zones.txt
E ON					NRM_zones
I Basisreizenbestand binnenvaart 2014	Brondata_BIVAS_zones	1	ArcGIS	00:00:34	Koppeltabel_BIVAS_zones.txt
E ON					BIVAS_zones
I NWB_vaarwegen_kmmarkeringen ON_buffer (TEMP)	Brondata_Meetpunten_vaarwegen	2	ArcGIS	00:00:30	Meetpunten_vaarwegen
I NWB_wegen_hectopunten ON_buffer (TEMP)	Brondata_Meetpunten_autowegen	2	ArcGIS	00:00:57	Meetpunten_autowegen
Koppeltabel_NRM_zones.txt					
I NRM_Oost_Basismatrix.txt	Brondata_NRM_reizen	2	Matlab	00:00:58	Vrachtwagen_reizen.txt
I Basisreizenbestand binnenvaart 2014 Koppeltabel_BIVAS_zones.txt	Brondata_BIVAS_reizen	2	Matlab	00:01:59	Binnenvaart_reizen.txt
Vaarwegen	Maken Netwerk Dataset Tankschip	2	Handmatig	00:01:00	Tankship_ND
Autowegen	Maken Netwerk Dataset Tankwagen	2	Handmatig	00:03:50	Tankwagen_ND
Vaarwegen1	Maken Netwerk Dataset Binnenvaart	2	Handmatig	00:01:00	Binnenvaart_ND
Autowegen1	Maken Netwerk Dataset Vrachtwagens	2	Handmatig	00:03:50	Vrachtwagens_ND
Tankwagen_ND					
Meetpunten_vaarwegen	Bevoorradingskosten_Tankwagen	3	ArcGIS	00:01:06	Meetpunten_vaarwegen
Meetpunten_autowegen					Meetpunten_autowegen
Bevoorradingpunten					
Tankschip_ND					
Stuwen					
Sluizen	Bevoorradingskosten_Tankschip	3	ArcGIS	00:00:08	Meetpunten_vaarwegen
Meetpunten_vaarwegen					
Bevoorradingpunten					
Vrachtwagen_ND					
Vrachtwagen_reizen	Transportkosten_Vrachtwagens_HB	3	ArcGIS	00:31:53	Vrachtwagens_HB.txt
NRM_zones					
Vrachtwagen_ND					
NRM_zones	Transportkosten_Vrachtwagens_HX	3	ArcGIS	00:16:22	Vrachtwagens_HX.txt
Meetpunten_vaarwegen					
Meetpunten_autowegen					
Vrachtwagen_ND					
NRM_zones	Transportkosten_Vrachtwagens_XB	3	ArcGIS	00:16:32	Vrachtwagens_XB.txt
Meetpunten_vaarwegen					
Meetpunten_autowegen					
Binnenvaart_ND					
Binnenvaart_reizen	Transportkosten_Binnenvaart_HB	3	ArcGIS	00:01:25	Binnenvaart_HB.txt
BIVAS_zones					
Sluizen					
Stuwen					
Binnenvaart_ND					
BIVAS_zones	Transportkosten_Binnenvaart_HX	3	ArcGIS	00:00:34	Binnenvaart_HX.txt
Sluizen					
Stuwen					
Vaarwegen_punten_ON					
Binnenvaart_ND					
BIVAS_zones	Transportkosten_Binnenvaart_XB	3	ArcGIS	00:00:34	Binnenvaart_XB.txt
Sluizen					
Stuwen					
Vaarwegen_punten_ON					
Vrachtwagen_ND					
E Remises	Transportkosten_Bussen_HX	3	ArcGIS	00:00:56	Bussen_HX.txt
Vaarwegen_punten_ON					
Autowegen_punten_ON					

Invoer	Model	#	Type	Runtijd	Uitvoer
Meetpunten_vaarwegen	Meetvlakken	4	ArcGIS	00:04:19	Koppeltabel_Meetvlakken.txt
Meetpunten_autowegen					Koppeltabel_Emplacementen.txt
E Emplacementen					Meetpunten.txt
E Remises					Emplacementen.txt
Binnenvaart_HB.txt	Omreiskosten_Binnenvaart	4	Matlab	00:01:01	Remises.txt
Binnenvaart_HX.txt					Reizen_Binnenvaart.mat
Binnenvaart_XB.txt					Omreiskosten_Binnenvaart.mat
Binnenvaart_HB.txt	Omreiskosten_Vrachtwagens	4	Matlab	00:17:02	Reizen_Vrachtwagens.mat
Binnenvaart_HX.txt					Omreiskosten_Vrachtwagens.mat
Binnenvaart_XB.txt					Omreiskosten_Vrachtwagens.mat
Bussen_HX.txt	Omreiskosten_Bussen	4	Matlab	00:00:02	Reizen_Bussen.mat
Koppeltabel_Meetvlakken.txt	Gunstigheid	5	Matlab	00:10:52	Omreiskosten_Bussen.mat
Koppeltabel_Emplacementen.txt					
Meetpunten.txt					
Emplacementen.txt					
Remises.txt					
Omreiskosten_Binnenvaart.mat					
Omreiskosten_Vrachtwagens.mat					
Omreiskosten_Bussen.mat					
Reizen_Binnenvaart.mat					
Reizen_Vrachtwagens.mat					
Reizen_Bussen.mat					
P Parameters aandeelfunctie					
P Parameters capaciteiten					
P Parameters inkoop prijs					
					Resultaat.txt

Tabel 11: Overzicht van de verschillende deelmodellen. Legenda bij de invoer: I = directe invoer, E = zelfbepaalde invoer, A = aangepaste invoer, P = parameters, verwerkt in de code

Bijlage C Model Maken_Netwerkdatasets

Het is niet mogelijk om in ArcGIS Model Builder een netwerk dataset te maken. De netwerk datasets kunnen met de hieronder beschreven stappen worden gemaakt. Dit is nodig voor de tankschip, tankwagen, binnenvaart en vrachtwagen datasets. De stappen voor deze netwerken zijn vrijwel hetzelfde.

Dataset -> New -> Network Dataset

- Name: Tankschip_ND, Tankwagen_ND, Binnenvaart_ND of Vrachtwagen_ND.
- Version: 10.1

Volgende >

- Select Autowegen of Vaarwegen

Volgende >

- Model turns: No

Volgende >

Volgende >

- Model elevation: None

Volgende >

- Length
 - Rename: Distance
 - Usage Type: Costs
 - Units: Meters
 - Data Type: Double
 - Open Evaluators
 - Type: Field
 - Value: DISTANCE
 - OK
- Add
 - Name: Time
 - Usage Type: Costs
 - Units: Hours
 - Data Type: Double
 - Open Evaluators
 - Type: Field
 - Value: TIME
- Add
 - Name: Costs
 - Usage Type: Costs
 - Units: Unknown
 - Data Type: Double
 - Open Evaluators
 - Type: Field
 - Value: COSTS
 - OK

Volgende >

Volgende >

- Establish driving directions: No

Volgende >

Volgende >

- Finish, Built Network

Bijlage D Passeertijden sluizen

NAAM	PLAATSNAAM	Sluis_ID	VRT_CODE	Passeertijd (min)
Zeesluis Farmsum	Farmsum	9178	1	58
Gaarkeukensluis	Grijpskerk	9515	3	29
Oostersluis	Groningen	9513	3	38
Robbengatsluis	Lauwersoog	9174	6	24
Dorkwerdersluis	Dorkwerd	9170	6	27
Prinses Margrietsluis	Lemmer	9184	21	34
Tsjerk Hiddessluizen	Harlingen	9188	22	50
Rogatsluis	Rogat	47469	76	22
Sluis Aadorp	Aadorp	9749	80	19
Sluis Hengelo	Hengelo (Ov)	45844	81	33
Sluis Delden	Ambt-Delden	9759	81	43
Sluis Eefde	Eefde	9757	81	55
Doesburg, sluis	Doesburg	9193	83	25
Prins Bernhardsluis, Deventer	Deventer	9207	84b	28
Spooldersluis	Zwolle	9486	86	27
Beukersschutsluis	Wanneperveen	9135	89	19
Blokzijl, sluis	Blokzijl	44205	92	19
Voorstersluis	Kraggenburg	9506	94	14
Marknessersluis	Marknesse	9504	94	14
Urkersluis	Urk	9508	95	18
St. Andries, sluis	Heerewaarden	9623	101a	44
Hagestein, sluis	Ossenwaard	9492	103	31
Driel, sluis	Doorwerth	9488	103	32
Grote Sluis, Vianen	Vianen (ZH)	9617	104	22
Grote Merwedestluis	Gorinchem	9621	104	24
Biesboschsluis	Werkendam	9722	109	22
Helsluis	Dordrecht	65430	110a	14
Goereesesluis	Stellendam	9476	117	29
Weurt, sluis	Nijmegen	9708	119	62
Wilhelminasluis, Andel	Andel	65528	120	31
Henriettesluis	Engelen	9246	121	27
Sluis Helmond	Helmond	65475	121	33
Sluis Schijndel	Schijndel	65460	121	36
Sluis Bosscherveld	Maastricht	9280	121	40
Marksluis	Oosterhout	9341	125	22

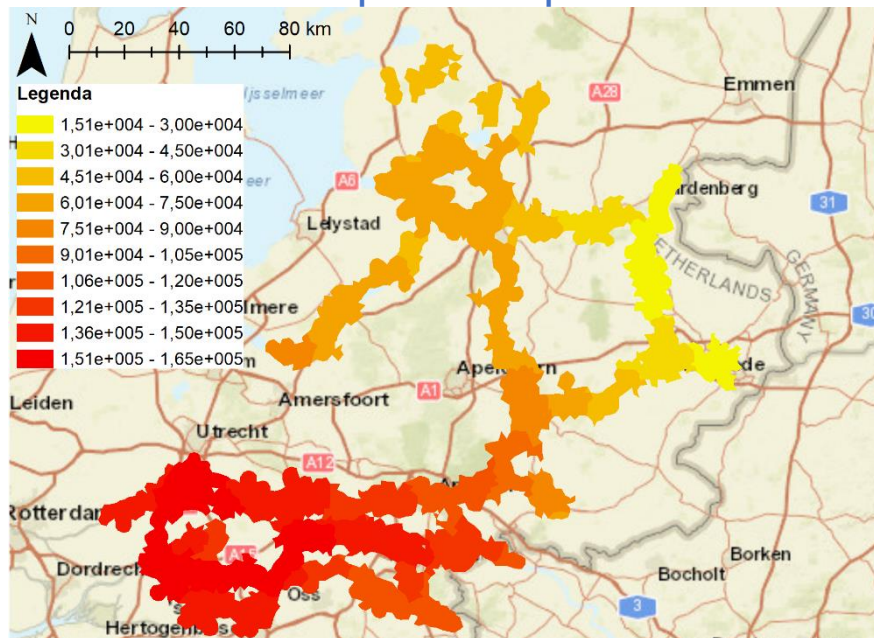
NAAM	PLAATSNAAM	Sluis_ID	VRT_CODE	Passeertijd (min)
Kreekraksluizen	Rilland	9653	129	83
Westsluis, Terneuzen	Terneuzen	9564	130	180
Middensluis, Terneuzen	Terneuzen	9482	130b	180
Oostsluis, Terneuzen	Terneuzen	9484	130b2	180
Sluis Veere	Veere	9469	134	44
Sluis Vlissingen	Vlissingen	9463	134	47
Zandkreeksluis	Kats	65457	135	30
Hansweert, sluis	Hansweert	9559	137	70
Roompotsluis	Vrouwenpolder	9649	138	22
Grevelingensluis	Bruinisse	65539	141	30
Krammersluizen	Bruinisse	9570	143	175
Volkeraksluizen	Willemstad	9566	143	185
Sluis Grave	Nederasselt	9701	150	35
Sluis Heel	Heel	9675	150	58
Prinses Maxima Sluizen	Lith	9703	150	68
Sluis Belfeld	Baarlo	9693	150	75
Sluis Sambeek	Sambeek	9697	150	86
Sluis Limmel	Maastricht	9664	150	86
Sluis Born	Born	9667	150	111
Sluis Linne	Linne	9686	152a	27
Sluis Roermond	Roermond	9688	152a	28
Sluis Empel	's Hertogenbosch	66650	151	30
Algerasluis	Capelle aan den IJssel	9547	211d	20
Prins Bernhardsluis	Echteld	9552	225	61
Prinses Irenesluis	Wijk bij Duurstede	9549	225	69
Prinses Beatrixsluizen	Vreeswijk	65537	225e	83
Zuidersluis, Nieuwegein	Nieuwegein	9382	226	19
Koninginnensluis	Vreeswijk	9384	226	22
Noordersluis, Utrecht	Utrecht	9379	226	40
Nijkerkersluis	Nijkerk	9346	229	22
Roggebotsluis	Dronten	9350	229	23
Houtribsluizen	Lelystad	9374	230	53
Vaartsluis	Almere	9580	231	16
Noordersluis, Lelystad	Lelystad	9454	231a	18
Ketelsluis	Ketelhaven	9586	232	15
Zuidersluis, Almere	Almere	9584	232	16
Oranjesluizen	Schellingwoude	9642	233	91
Willemsluis	Amsterdam	9634	234	23
Koopvaardersschutsluis	Den Helder	9428	235	21
Wilhelminasluis, Zaandam	Zaandam	9638	236	21
Krabbersgatlsuis	Enkhuizen	9317	251	67
Julianasluis	Gouda	9601	270	39
Lorentzsluizen	Kornwerderzand	9286	301	62
Stevinluis	Den Oever	9289	302	27

Tabel 12: Passeertijden van sluizen

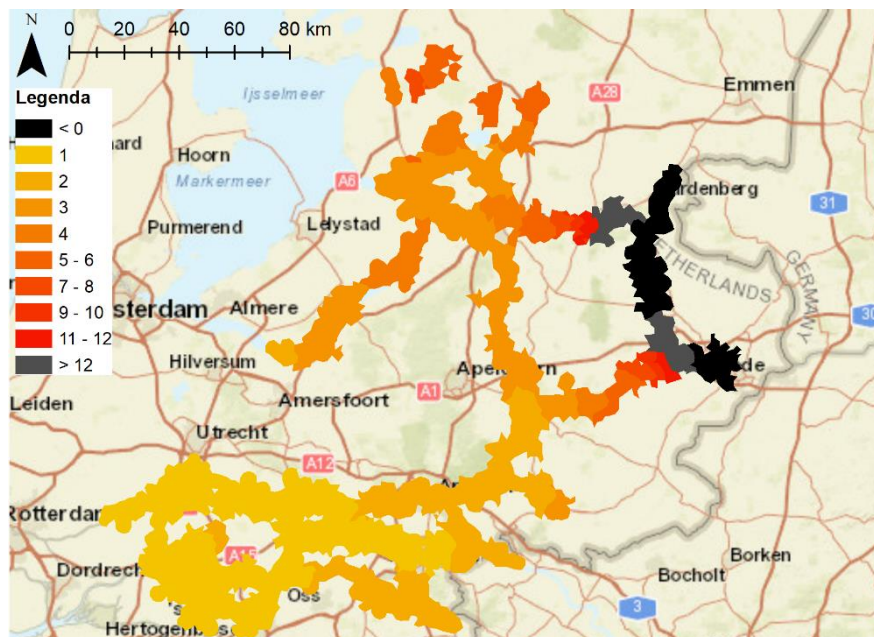
Bijlage E Gunstigheid en terugverdiëntijd

In deze bijlage worden de gunstigheid en terugverdiëntijd voor andere tankstationtypes dan een multimodaal bunkerstation gepresenteerd.

E.1 Truck-to-ship bunkerpunt



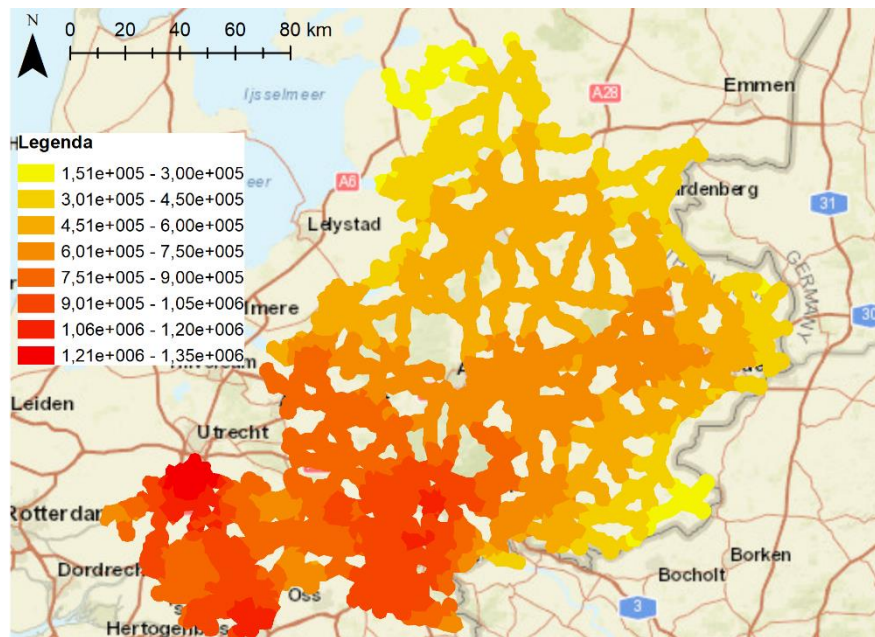
Figuur 31: Gunstigheid voor LNG Truck-to-ship bunkerpunten in €/jaar



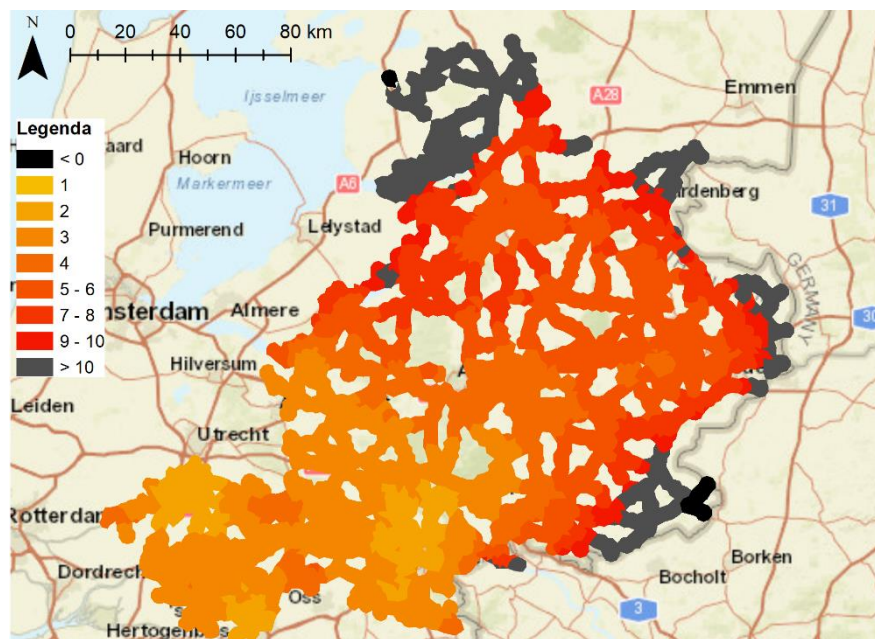
Figuur 32: Terugverdiëntijd van LNG Truck-to-ship bunkerpunten in jaren

Truck-to-ship bunkerpunten hebben een hoge gunstigheid en lage terugverdiëntijd in het rivierengebied. Net als bij multimodale tankstations ligt de terugverdiëntijd erg laag. Eerder onderzoek berekende een terugverdiëntijd van 8 jaar (Buck Consultats International, 2015). Het relatieve verschil tussen deze twee onderzoeken is voor multimodale bunkerpunten en *Truck-to-ship* bunkerpunten ongeveer gelijk. In de zwartgekleurde gebieden wordt geen winst gemaakt, dus kan de investering niet terugverdiënt worden.

E.2 Tankstation zonder bunkerpunt



Figuur 33: Gunstigheid voor LNG-tankstations zonder bunkerpunt in €/jaar



Figuur 34: Terugverdiendtijd voor LNG-tankstations zonder bunkerpunt in jaren

Tankstation zonder bunkerpunt hebben een hoge gunstigheid en lage terugverdiendtijd rond de A2-corridor en de regio Arnhem-Nijmegen. Net als bij multimodale tankstations ligt de terugverdiendtijd erg laag. Eerder onderzoek berekende een terugverdiendtijd van 14 jaar (Buck Consultats International, 2015). Het relatieve verschil tussen deze twee onderzoeken is voor multimodale bunkerpunten en tankstations zonder bunkerpunt ongeveer gelijk. In de zwartgekleurde gebieden wordt geen winst gemaakt, dus kan de investering niet terugverdiend worden.

Bijlage F Interviews

F.1 Evert van der Laan

Adviseur op het gebied van brandstoffen bij Duurzame mobiliteit, afdeling WVL, Rijkswaterstaat.
Betrokken bij het opstellen van de brandstofvisie vanuit zwaar wegvervoer (en binnenvaart).

Ontwikkeling van LNG

- Binnenkort start een subsidieregeling van het Ministerie van I&M 'DKTI' voor duurzame brandstoffen. In projecten moet de hele keten (van leverancier tot eindgebruiker) vertegenwoordigd worden.
- Bij het verschijnen van de brandstofvisie in 2011 was de voorziene ontwikkeling: LNG -> Bio-LNG & Biodiesel -> Elektrisch
- Op dit moment kijkt Rijksrederij al naar elektrische boten. Breitner heeft elektrische vrachtwagens voor distributie (12 ton). VDL is bezig met de ontwikkeling van een elektrische trekker (28 ton) met actieradius van 200 kilometer.
- In 2030/ 2040 zullen alle beschikbare vormen brandstoffen nodig om te voldoen aan vraag in combinatie met het halen van milieudoelen. In welke verdeling dit zal zijn is onduidelijk. De treinwereld slaat LNG over en gaat direct naar batterijen of waterstof.

Causaal relatiediagram:

- De operationele en investeringskosten kunnen ook in het model. Deze zijn constant dus kunnen vrij simpel toegevoegd worden en zijn toch nodig voor interpretatie.
- De combinatie van bunkeren met laden en lossen wordt niet meegenomen. Huidige bunkerstations liggen overal langs vaarwegen, maar LNG-stations ontwikkelen zich bij havens.

Parameters:

- Mogelijk kunnen verschillende scenario's bekeken worden voor een totaal aandeel LNG. (Implementatie kan door het aandeel bij geen omreiskosten te variëren).
- Over andere parameters in geen bekendheid.

F.2 Theo Heinink

Provincie Gelderland

Redenen voor het stimuleren van LNG vanuit de provincie

- In Gelderland zijn veel belangrijke transportassen voor weg en water.
- Binnen 10-15 jaar is de olie op voor zwaar transport door toename vraag chemische industrie, lage prijs, klimaat en milieu, publieke opinie)
- Traject dat de provincie voor zich ziet: LNG -> Bio-LNG -> Elektrisch -> Waterstof.
Voorspelling voor 2020: 250 extra vrachtwagens op LNG en 12 tankstations

LNG-stations in ontwikkeling in Gelderland:

- Tiel (als Pesse in de kop van Overijssel)
- Heumen
- Nijmegen-Noord
- Heteren

In onderzoek:

- Ede
- Barneveld
- Ermelo
- Zevenaar
- Doetinchem
- Apeldoorn
- Eerbeek

Onderzoek van Provincie Gelderland:

- Ontwikkeling van LNG wordt benaderd vanuit mobiliteit, maar wordt gecombineerd met andere vakgebieden om draagvlak te creëren.
- Uit inventarisatie stromen & verladers blijkt dat er afname is over strekken (minder vrachtwagens, efficiënter laden schepen en treinen), maar toename op kruispunten (meer modaliteitswissels).
- Vrachtwagens tanken niet langs de weg en rijden niet om, want dit kost tijd. Ze worden aan het begin/eind van de dag volgetankt bij het bedrijventerrein. Tankstations komen bij de ontsluiting van bedrijventerreinen.
- Niet overal langs de Rijn zijn bunkerpunten nodig wegens de grote actieradius.

Projecten van Provincie Gelderland:

- Een dekkend netwerk van LNG-tankstations realiseren. Hierbij is alleen een faciliterende rol nodig.
- De meerwaarde van een LNG-truck is € 35000, wat over 7 jaar afgeschreven moet worden. Met een subsidie van € 8000 per truck tot maximaal € 65000 wordt de terugverdientijd 4 tot 5 jaar.
- Voor de binnenvaart wordt begonnen bij de meest vervuilende schepen van klasse 5 en groter. De afschrijftermijn van een schip is 80 jaar en ombouw kost €1-1,5 miljoen. Omdat de hele markt onder water staat is er een belangrijke rol voor banken. De conservatieve markt en weinig middelen maken een transitie lastig.
- Er is gekeken naar veerponten op LNG bij binnenstedelijke gebieden, maar Provincie Utrecht haakte af.
- De productie van Bio-LNG wordt gedaan vanuit de energietransitie, maar kan gecombineerd worden als bedrijven hun eigen LNG te produceren met industrieel afval.

Afweging van een tankstationhouder

- Hoeveel potentiële klanten zijn er in de directe omgeving (op het bedrijventerrein). Langskomende verkeersstromen spelen geen rol.

Kosten van een tankstation

- De investeringskosten zijn erg afhankelijk van grondkosten.
- De kosten voor de bouw zijn vrij laag. Pitpoint tankstations zijn rendabel bij 12 vrachtwagens per dag.
- Combinaties met andere brandstoffen, zoals CNG en waterstof, en faciliteiten, zoals vergaderfaciliteiten, foodketens, overnachtingen zijn mogelijk.

Bussen:

- Bussen worden nu getankt op de remise en zullen dat waarschijnlijk blijven doen. Er wordt dan een tankstation bij de remise gebouwd. In Nijmegen rijden bussen op CNG en bij de introductie is direct een tankstation geplaatst.

Case Valburg:

- LNG is geen thema voor treinen. De lijnen Tiel-Arnhem en de Maaslijn worden geëlektrificeerd. Een LNG bunkerpunt komt er al bij Nijmegen. Niet een afluadpunt voor vrachtwagens.

F.3 Cees Kamphuis

Relatiemanager voor gemeenten en provincies in Oost-Nederland bij ProRail

Personenvervoer

- Op dit moment worden of zijn verschillende decentrale lijnen geëlektrificeerd. Dit zijn o.a. Kamper-Zwolle, Zwolle-Enschede en Maaslijn. Drijfveren zijn de accijns op diesel en milieudoelstellingen van concessieverleners.
- Er komt een proef voor treinen op waterstof in Noord-Nederland. Stadler heeft op dit moment een trein op waterstof die komend jaar gaat proefrijden. Duitsland is met vele boemeltjes leidend in dit soort technieken.
- Uit onderzoek van Movares blijken andere opties verduurzamingsopties, zoals elektrificatie, partiële elektrificatie en waterstof, beter dan overstap op LNG. Echter worden de lage scores voor LNG nauwelijks beargumenteerd.

Goederenvervoer

- Er rijden diesellocomotieven op noordelijke route vanaf de Betuwelijn. Deze zullen echter alleen stoppen en tanken als dit de aankomsttijd niet beïnvloed.
- Goederenvervoerders hebben weinig duurzaamheidsdoelstellingen en zullen alleen overgaan op LNG bij business case.
- Rangeerbewegingen met diesellocomotieven zouden slechts voor een heel beperkte vraag naar LNG zorgen.
- Een LNG-station bij Valburg in combinatie met andere modaliteiten is wel mogelijk. De reden voor de terminal is verduurzaming van transport, dus dit zou daar goed in passen.

F.4 Salih Karaarslan

Expertise- en innovatiecentrum Binnenvaart (EICB)

LNG in de scheepvaart

- Alleen in Doesburg zit een vast bunkerstation, maar die is voor zover bekend nog niet gebruikt.
- Een onderzoek van EU (LNGbinnenvaart.eu), dat wordt uitgevoerd door Engie en PitPoint probeert een doorbraak van LNG te forceren door kapitaal voor de bouw van bunkerstations en ombouw van schepen te bieden.
- Op dit moment zijn er 7 LNG-binnenvaartschepen. In 2019 ongeveer zullen dit 29 schepen op een vloot van 6000 zijn (15 schepen van Shell en 6 uit het bovengenoemde EU-project zullen erbij komen). Ongeveer 200 tot 300 schepen hebben andere aanpassingen, zoals roetfilters.
- Waterstof als brandstof is nog erg ver weg. Er wordt meer moeite in aandrijving met elektriciteit gestopt. De focus ligt vooral op de verbetering van de luchtkwaliteit. Ook trainingen en sensoren of meetsystemen voor efficiënter varen zijn in opkomst.
- Binnenvaart blijft achter op wegvervoer en zeevaart door de financiële positie en marktcultuur. Er is geen serieproductie en schepen zijn woningen, dus hebben hypotheek.

Locatie bunkerstations

- Eerst zullen bunkerstation bij punten waar veel stromen samenkomen (havens) komen. Voor diesel zijn er ook pas later langs vaarwegen bunkerpunten gekomen.
- Restricties aan andere zaken, zoals afvalwater en mogelijkheid tot inkopen hebben ook invloed op de locatie van bunkerstations.
- De vaste kosten voor een bunkerstation kunnen ook verschillen per locatie.
- Het is niet mogelijk om naar een locatie te kijken zonder naar de omgeving te kijken. Bunkerstations zullen altijd in elkaars servicegebied liggen.

Potentiële klanten en volumes

- Hoe meer een klant verbruikt, hoe sneller er een business case. Vanaf een verbruik van ongeveer 500 m³ diesel per jaar is er een business case voor LNG. Hier voldoen ongeveer 300 schepen in Nederland aan.
- Prominent heeft onderzoek gedaan naar de afnamevolumes van schepen (prominent-iwt.eu). Een schatting is 100 m³ per jaar voor een spits, 500 m³ per jaar voor 110-meters en 2000 m³ per jaar voor duwboten.

Bunkervoorkeuren en omreisafstanden

- Voorkeuren voor bunkerstations en mogelijke omreisafstanden zijn niet bekend.
- Schepen zullen waarschijnlijk heel beperkt omvaren, misschien 100 meter.
- Andere zaken, zoals inkopen en het lozen van afvalwater zullen ook invloed hebben op de keuze voor een bunkerstation.
- Danser bunkert net buiten Rotterdam, waarschijnlijk wegens de drukte in Rotterdam zelf.

Parameters

- In de inkoopprijs voor vrachtwagens moet accijns worden meegenomen. Voor binnenvaart geldt geen accijns. Tankstationhouders zullen de inkoopprijs niet prijsgeven.
- Interrijn geeft indicatieve verkoopprijs af voor diesel in de binnenvaart
- De laadtijd van een tankschip is niet bekend.