



# Carbon Footprint Accounting

*Geautomatiseerde verbetermogelijkheden CO<sub>2</sub>-uitstoot  
Eindrapportage*

# Colofon

**Carbon Footprint Accounting**  
**Geautomatiseerde verbetermogelijkheden CO<sub>2</sub>-uitstoot**  
Eindrapportage  
PTL15.024.000.D01

Geschreven in opdracht van de Topsector Logistiek  
Maart 2021

**Auteur**  
H.H.M.J. Keetman MSc. EMFC RC



# Inhoudsopgave

<b>Managementsamenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>6</b>
1.1 Inleiding	6
1.2 Onderzoeksopdracht	7
1.3 Onderzoeksvragen	8
1.4 Relevantie van het onderzoek	8
1.5 Structuur van het rapport	8
<b>2 Verwachtingskader</b>	<b>9</b>
2.1 Introductie	9
2.2 Productieproces	9
2.3 Logistiek proces	10
<b>3 Onderzoeksmethode</b>	<b>13</b>
3.1 Onderzoeksstrategie	13
3.2 Onderzoek ontwerp	13
3.2.1 Data verzamelen	15
3.2.2 Definitie van variabelen: Producent	15
3.2.3 Definitie van variabelen: Logistiek dienstverlener	16
3.3 Data-analyse	16
3.4 Descriptieve statistiek en correlaties producent	18
3.5 Descriptieve statistiek en correlaties logistiek dienstverlener	19
<b>4 Resultaten</b>	<b>21</b>
4.1 Introductie	21
4.2 Gasverbruik producent	22
4.3 Elektriciteitsverbruik producent	23
4.4 Gas- versus elektriciteitsverbruik producent	24
4.5 Gasverbruik producent in relatie tot de variabelen	24
4.6 Elektriciteitsverbruik producent in relatie tot de variabelen	26
4.7 Additionele robuustheid checks producent	27
4.8 Dieserverbruik logistiek dienstverlener	29
4.9 Snelheid logistiek dienstverlener versus variabelen	33

# Inhoudsopgave

<b>5</b>	<b>Discussie en conclusies</b>	<b>36</b>
	5.1 Introductie	36
	5.2 Discussie	36
	5.2.1 Gasverbruik van de producent	36
	5.2.2 Elektriciteitsverbruik van de producent	36
	5.2.3 Dieserverbruik van de logistiek dienstverlener	37
	5.3 Conclusies	38
	5.3.1 Geautomatiseerd model	38
	5.3.2 Toevoegen variabelen	39
	5.3.3 Betrouwbaarheid van het model	39
	5.3.4 Generaliseerbaarheid	40
	5.3.5 Totaalconclusies	40
	5.4 Beperkingen van dit onderzoek	41
<b>6</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>42</b>
	6.1 Producent	42
	6.2 Logistiek dienstverlener	42
	<b>Referenties</b>	<b>43</b>
	<b>Bijlagen</b>	<b>44</b>
	Bijlage 1: RF1*	44
	Bijlage 2: RF1**	45
	Bijlage 3: RF2*	46
	Bijlage 4: Motorschip	47
	Bijlage 5: Data eenheden motorschip	48

## Managementsamenvatting

Dit rapport beschrijft het onderzoek naar de mogelijkheden van geautomatiseerde analyses op basis van brondata. Hiertoe zijn een viertal modellen opgesteld (twee vanuit het perspectief van een producent en twee voor een logistiek dienstverlener) teneinde veronderstelde relaties tussen de variabelen te onderzoeken op basis van opgestelde hypothesen. Het onderzoek is opgezet rondom de centrale vraag: is het mogelijk om statistische analyses dusdanig toe te passen op logistieke brondata dat verbetermogelijkheden t.a.v. CO<sub>2</sub>-uitstoot automatisch gegenereerd kunnen worden?

Het onderzoek toont aan dat zowel voor een producent als voor een logistiek dienstverlener modellen zijn te bouwen op basis waarvan statistische analyses kunnen worden uitgevoerd. Dit gebruikmakend van daadwerkelijke verbruiks-, productie- en vervoerscijfers al dan niet aangevuld met data uit openbare bronnen.

In dit onderzoek zijn geen redenen naar voren gekomen om aan te nemen dat deze opzet niet mogelijk zou zijn voor andere bedrijfsmodellen waardoor wordt aangenomen dat deze methodiek generaliseerbaar zou moeten zijn naar andere bedrijfsmodellen.

Het onderzoek toont aan dat het mogelijk is om op basis van basale gegevens geautomatiseerd te bepalen welke variabelen het meeste bijdragen aan variaties in het energieverbruik van een specifieke producent of logistiek dienstverlener en daarmee het meest in aanmerking komen om beheersmaatregelen te nemen. Dit teneinde de CO<sub>2</sub>-uitstoot te beperken. Vanzelfsprekend hangt de kwaliteit van dergelijke modellen af van de kwaliteit en kwantiteit van de onderliggende gegevens en de onderlinge relaties daartussen.

Voorts kunnen eventuele beheersmaatregelen eenvoudig worden geëvalueerd door nieuwe data te modelleren en te vergelijken met het eerdere datamodel. Dit biedt tevens een basis om financiële besparingen van CO<sub>2</sub>-beheersmaatregelen te prognosticeren.

Hierbij geldt naarmate meer data (e.g. meer perioden) in de berekening wordt meegenomen, het voorspellend model in beginsel betrouwbaarder zal worden, hetgeen uitnodigt voor continuïteit in het gebruik van een eventuele tool en het uitvoeren van CO<sub>2</sub> verminderende maatregelen. Deze aanpak sluit aan bij 'klein beginnen' - ofwel geen toegangsdrempel - welke door toevoeging van data en variabelen een steeds groter en meer voorspellend model wordt op basis van actuele data.

# Inleiding

## 1.1 Inleiding

Vanuit het Programma Topsector Logistiek is een laagdrempelige softwaredienst ontwikkeld voor logistieke bedrijven: voor verladers en vervoerders. Hiermee kan op basis van primaire data (vervoersopdrachten/ ladingsgegevens, en brandstof) de effectiviteit van de logistiek gemeten worden. Anders dan een financiële administratie - gericht op het eigen bedrijf - biedt dit een door partijen gedeeld boekhoudsysteem aan, gebaseerd op operationele data over goederenvervoer in een complexe, meervoudige uitbestede supply chain met vele individuele en uiteenlopende partijen.

Een dergelijke boekhouding geeft de stevige basis om zowel te analyseren, intern te rapporteren, te benchmarken, optimalisatiemogelijkheden te ontdekken en te modelleren, en monitoring uit te voeren als - ondersteund door accountantsverklaringen - verantwoording af te leggen naar externe stakeholders over CO<sub>2</sub>e-effectiviteit, kosten van uitstoot vanwege CO<sub>2</sub>e-beprijzing en uitstoot per product.

Met de inzet van 'ketendenken' - als instrument bij het tegengaan van klimaatverandering - ontstaat tevens behoefte aan een boekhouding die de totale CO<sub>2</sub>e-footprint van een eindproduct kan tonen (van grondstof tot kant-en-klaar product). In het Greenhouse Gas Protocol (GHG) is deze berekening als ultiem doel neergezet, echter zonder dat er een praktische en betaalbare manier bestaat om een dergelijke boekhouding in de keten te realiseren. Door de 'lessons learned' in de logistieke sector (N.B. Programma Topsector Logistiek) toe te passen op productieprocessen ontstaan nieuwe praktische oplossingen voor een dergelijke boekhouding.

### Ketendenken en duurzaamheid

Het tegengaan van de klimaatverandering vereist het verminderen van emissies in de logistieke keten. Om dit effectief te doen, is het nodig het principe van 'de vervuiler betaalt' te nuanceren en de verantwoordelijkheid hiervoor te herverdelen in de keten<sup>1</sup>. Ketendenken kan helpen om de tegenstelling van consumentengemak enerzijds en de effecten daarvan op klimaatverandering (tot op zekere hoogte) weg te nemen. Ketendenken betekent dat partijen in de keten verantwoordelijkheid nemen voor hun eigen rol in de keten en tegelijkertijd medeverantwoordelijkheid nemen voor datgene wat zij van ketenpartners verwachten. Een dergelijke verantwoordelijkheid begint met inzicht in de eigen CO<sub>2</sub>e-footprint en de CO<sub>2</sub>e-effecten van de eigen keuzes op die van de ketenpartners hetgeen een vorm van boekhouding vereist.

### Verbetermogelijkheden t.a.v. CO<sub>2</sub>-uitstoot

In de praktijk blijkt dat veel gebruikers van de software tooling behoefte hebben aan de inzet van externe experts om concrete verbetermogelijkheden te onderscheiden als input voor verbeterplannen. Vanuit het principe van 'scaling for impact' rijst nu de gedachte of er een mogelijkheid bestaat om bedoelde verbetermogelijkheden geautomatiseerd te genereren. Indien men daarin zou slagen zou dit verladers en vervoerders namelijk aanmerkelijke voordelen kunnen bieden waaronder:

1. Vergroting van inzicht doordat ook niet voor de hand liggende verbetermogelijkheden worden getoond;
2. Voorspelbaarheid van de CO<sub>2</sub>-uitstoot op basis van fluctuaties van variabelen;
3. Tijdswinst door direct inzicht in de verbetermogelijkheden te geven die de meeste impact lijken te hebben op reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot;
4. Lagere kosten doordat in voorkomende gevallen de inhuur van externe experts niet nodig zou hoeven te zijn;
5. Constante kwaliteit van verbetermogelijkheden in geval de verbetermogelijkheden op basis van generieke algoritmes tot stand kunnen komen.

<sup>1</sup> Bron: 'Ketendenken helpt bij het tegengaan van klimaatverandering' Rob Zuidwijk, Hoogleraar Global Supply Chains and Ports, Rotterdam School of Management, Erasmus Universiteit. 2020.

## Geautomatiseerde analyse mogelijkheden

Bij het automatiseren van verbetermogelijkheden dient gebruik gemaakt te worden van brongegevens waarna de mogelijke onderlinge verbanden daartussen worden onderzocht. Hiertoe leent zich de methodiek van statistische analyses voor het analyseren van brongegevens waarin (mogelijk) sprake is van een specifieke samenhang. Deze samenhang houdt in dat de waarde van een stochastische variabele (de afhankelijke variabele), op een storingsterm na, afhangt van een of meer in principe instelbare vrij te kiezen variabelen.

In deze opzet kan brondata in combinatie met een conceptueel model - die op basis van hypothesen de mogelijke samenhang tussen de variabelen bevat - gebruikt worden om statistische analyses uit te voeren. Dit kan bijvoorbeeld door energieverbruik dan wel CO<sub>2</sub>-uitstoot te kiezen als afhankelijke variabele in relatie tot controle variabelen en onafhankelijke variabelen.

## Mogelijke toepassingen

Op deze wijze zou bijvoorbeeld onderzocht kunnen worden in welke mate variabelen als brandstof, lading, motorvermogen, buitentemperatuur, stroming maar ook water onder de kiel, invloed hebben op de CO<sub>2</sub>-uitstoot van een binnenvaartschip. In dezelfde logica kan bijvoorbeeld in het wegvervoer onderzocht worden in welke mate variabelen als brandstof, lading, gemiddelde snelheid en seizoenen invloed hebben op de CO<sub>2</sub>-uitstoot van een vervoerder.

Zelfs indien CO<sub>2</sub>-accounting zou worden uitgebreid naar de algehele 'supply chain', waaronder fabricageprocessen, zou een dergelijke analysemethode opportuun kunnen zijn. Immers, hierbij kan van variabelen als productievolume, buitentemperatuur, daglicht, energiekeuzes (e.g. groene stroom) onderzocht worden in welke mate deze de energie uitstoot van elektriciteit of fossiele brandstoffen beïnvloedt.

Daarmee zou op basis van daadwerkelijke brondata bijgedragen kunnen worden aan modellering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van verladings en vervoerders die daarmee een voorspelbaarder karakter krijgt op basis van fluctuaties van de correlerende variabelen. Dit om te bekijken welke variabelen de meeste impact lijken te hebben, opdat men gericht plannen kan opstellen ter vermindering van CO<sub>2</sub>-uitstoot.

## 1.2 Onderzoeksopdracht

Onder verwijzing naar de offerte 'Verbetermogelijkheden t.a.v. CO<sub>2</sub>-uitstoot' met kenmerk CSCA2020/0003 d.d. 30 oktober 2020, heeft Connekt, namens het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat als uitvoerende organisatie van het Meerjarenprogramma Topsector Logistiek, opdracht gegeven om onderzoek te plegen naar de mogelijkheden van geautomatiseerde analyses op basis van daadwerkelijke brondata in combinatie met statistische analyses, met als centrale vraag:



*Is het mogelijk om statistische analyses dusdanig toe te passen op logistieke brondata dat verbetermogelijkheden t.a.v. CO<sub>2</sub>-uitstoot automatisch gegenereerd kunnen worden?*

### 1.3 Onderzoeksvragen

Op basis van bovenstaande zijn de volgende onderzoeksvragen opgesteld welke in dit document worden beantwoord:

1. Is een geautomatiseerd model op te bouwen dat de onderlinge samenhang toont van relevante variabelen. Dit om aan te geven waar de potentiële winst - in termen van uitstootvermindering - het meest te behalen is en in hoeverre deze afhankelijk is van onafhankelijke variabelen?
2. Indien bovenstaande mogelijk is, hoe kunnen variabelen worden toegevoegd om te bekijken of er sprake is van een mogelijk statistisch significante correlatie die men later (o.b.v. hypothesen) in de praktijk kan onderzoeken?
3. Op welke wijze zou de betrouwbaarheid voor een dergelijk model kunnen worden bepaald?
4. Is een dergelijke opzet op een dusdanige wijze op te zetten dat deze generaliseerbaar is voor verschillende bedrijfsmodellen (e.g. verladers, wegvervoerders, binnenvaart, manufacturing)?
5. Welke totaalconclusie kan getrokken worden uit de antwoorden op deze onderzoeksvragen en welke aanbevelingen volgen hieruit?

### 1.4 Relevantie van het onderzoek

Indien de centrale onderzoeksvraag positief beantwoord kan worden, betekent het dat naarmate meer data (e.g. meer perioden, trips) in de berekening worden meegenomen, het voorspellend model in beginsel betrouwbaarder wordt hetgeen uitnodigt voor continuïteit in het gebruik van de beoogde methodiek en de bijbehorende verbetermogelijkheden. Tevens zou men variabelen kunnen toevoegen om te bekijken of er sprake is van een mogelijk statistisch significante correlatie die men later - op basis van hypothesen - in de praktijk kan onderzoeken. Deze aanpak sluit aan bij 'klein beginnen' - ofwel geen toegangsdrempel - welke door toevoeging van data en variabelen een steeds groter en meer voorspellend model wordt op basis van actuele brondata.

### 1.5 Structuur van het rapport

Het tweede hoofdstuk beschrijft het verwachtingskader dit in dit onderzoek wordt gebruikt. Op basis van theorie en reguliere (business) logica zijn hypothesen opgesteld teneinde de kwantitatieve data hiermee te kunnen confronteren. De onderzoeksmethode is beschreven in hoofdstuk drie, inclusief het onderzoek ontwerp, de data verzameling en analysemethoden. De resultaten hiervan zijn weergegeven in hoofdstuk vier waarna de confrontatie van de resultaten met het verwachtingskader is beschreven in hoofdstuk vijf. Dit gevolgd door de beperkingen van het onderzoek en aanbevelingen voor eventueel vervolgonderzoek.



# Verwachtingskader

## 2.1 Introductie

Dit hoofdstuk beschrijft de geldende theorie dan wel reguliere (business) logica met betrekking tot dit onderzoek. Hierbij wordt zowel een productieproces beschouwd als een logistiek proces teneinde hypothesen op te stellen voor het statistisch onderzoek.

## 2.2 Productieproces

In productieprocessen wordt gewoonlijk gebruik gemaakt van productiemiddelen (e.g. machines) en productie- en kantoorruimtes die energie verbruiken. Bij het bepalen van een geschikte, representatieve casus t.a.v. een technisch omzettingsproces is gezocht naar een bedrijf uit het midden- en kleinbedrijf dat zowel qua bedrijfsvoering overzichtelijk is als een eigen duurzaamheidsbeleid voert. In dit onderzoek is een concrete casus van een productieproces als uitgangspunt gebruikt (Diepenmaat, Keetman, van 't Veer, 2020). Dit betreft een Nederlandse bierproducent die zowel gas als elektriciteit verbruikt voor de productie van bier. In de periode waarover de data beschikbaar is, zijn geen significante energiebesparende maatregelen doorgevoerd.

De producent gebruikt gas onder meer voor het verwarmen van de productie- en kantoorruimten maar ook voor diverse productiemiddelen (e.g. verwarmen van de ketels).

De producent gebruikt elektriciteit onder meer voor het verlichten en koelen van kantoorruimten maar ook voor diverse productiemiddelen (e.g. koelen van de lager kelders).

Bovenstaande betekent dat aannemelijk is dat zowel het gasverbruik als het elektriciteitsverbruik beïnvloed wordt door de hoogte van het productievolume.

*Hypothese P1: Gasverbruik is positief gecorreleerd met productievolume.*

*Hypothese P2: Elektriciteitsverbruik is positief gecorreleerd met productievolume.*

Tevens is het aannemelijk dat de gemiddelde buitentemperatuur hier het verbruik beïnvloedt. Immers, bij lage buitentemperaturen zal het gasverbruik naar verwachting toenemen vanwege het verwarmen van de productie- en kantoorruimten. Bij hoge buitentemperaturen zal meer moeten worden gekoeld (e.g. kantoorruimten en lager kelders) waardoor het elektriciteitsverbruik dan naar verwachting hoger zal zijn. Als maatstaf zal hiervoor de gemiddelde buitentemperatuur worden gekozen in Nederland.

*Hypothese P3: Gasverbruik is negatief gecorreleerd met buitentemperatuur.*

*Hypothese P4: Elektriciteitsverbruik is positief gecorreleerd met buitentemperatuur.*

In dagen met weinig buitenlicht (e.g. wintermaanden) zullen de productie- en kantoorruimten naar verwachting meer uren elektrisch verlicht zijn, hetgeen kan leiden tot een hoger elektriciteitsverbruik. Als maatstaf voor de hoeveelheid buitenlicht is het gemiddelde aantal zonuren gekozen in Nederland.

*Hypothese P5: Elektriciteitsverbruik is negatief gecorreleerd met zonuren.*

Tot slot, is ook van belang te onderzoeken óf en in welke mate het gasverbruik van invloed is op het elektriciteitsverbruik. Hierbij kan verwacht worden dat veelvuldig gebruik van gas een positief effect kan hebben op het elektriciteitsverbruik doordat de door gas gegenereerde warmte (deels) zal worden terug gekoeld. Dit leidt tot de laatste hypothese waar een onderlinge relatie tussen gasverbruik en elektriciteitsverbruik wordt aangenomen.

**Hypothese P6:** *Elektriciteitsverbruik is positief gecorreleerd met gasverbruik.*

Bovengenoemde hypothesen zullen worden getoetst op basis van de beschikbare kwantitatieve data. Dit teneinde de onderzoeksvragen te beantwoorden.

## 2.3 Logistiek proces

Bij het bepalen van een geschikte, representatieve casus t.a.v. een vervoerder is gezocht naar een bedrijf dat zowel qua bedrijfsvoering overzichtelijk is als een eigen duurzaamheidsbeleid voert. In dit onderzoek is de casus van een 135 meter lang motorschip gebruikt dat 24 uur per dag data opslaat t.a.v. variabelen als positie, snelheid, richting, dieptemeter, lading, wind, engine flow en engine NO<sub>x</sub>. Van een recente periode (herfst 2020) is data ontvangen van een actuele rondtrip van Antwerpen naar Duisburg naar Neuss naar Koblenz naar Keulen naar Duisburg en naar Antwerpen.

Het motorschip is sinds 2009 in de vaart. Het schip is 135 meter lang en 11,45 meter breed. Het heeft een laadvermogen van 3.878 ton met 3,59 meter diepgang en een containercapaciteit van 264 TEU. Hiermee behoort het schip tot de grotere schepen op de Europese binnenwateren. Het is een duurzaam schip, met twee dieselmotoren<sup>2</sup> met CCR II certificering, bakkencertificering en ADR. Bovendien heeft het schip katalysatoren en roetfilters die de uitstoot van schadelijke stoffen substantieel reduceren. Het motorschip ontving als eerste multi-purpose schip een groen label voor het vervoer van containers, droge bulk en stukgoed.

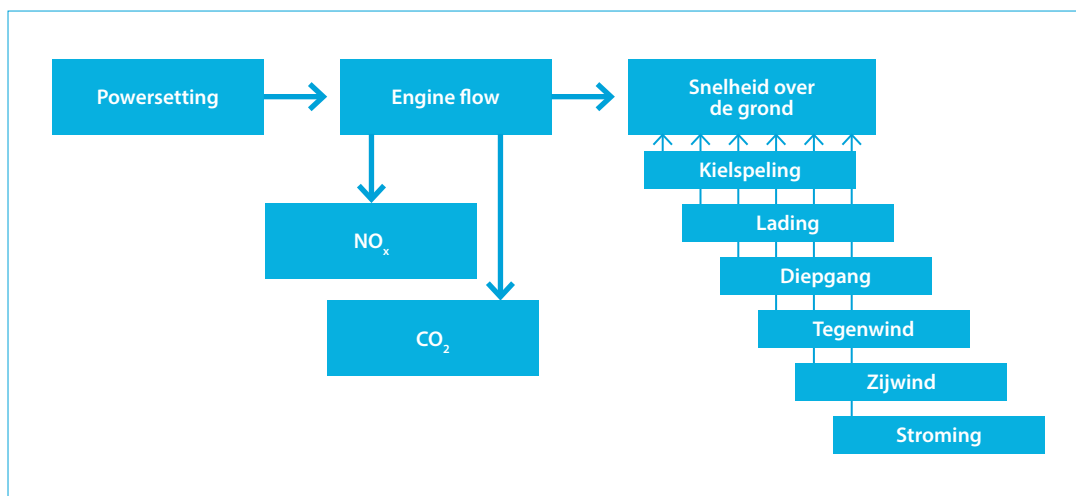
Vergeleken met het spoor-, weg- en luchtverkeer stoten binnenschepen relatief weinig CO<sub>2</sub> uit. Maar een goede CO<sub>2</sub>-prestatie alleen is niet voldoende om echt 'schoon' te worden genoemd. De transportsector stoot ook veel NO<sub>x</sub> en fijnstof uit. Om dit te reduceren zijn de hoofdmotoren van het motorschip uitgerust met een nabehandelingsinstallatie voor uitlaatgassen van Emigreen. Deze bestaat uit een roetfilter, die roet en fijnstof uit de uitlaatgassen filtert, en een SCR-katalysator, die de NO<sub>x</sub>-uitstoot met ca. 90% reduceert. Het schip voldoet hiermee ruimschoots aan de zwaarste emissie-eisen.

In deze casus is het brandstofverbruik - de engine flow (liter per uur) van motor 1 plus motor 2 - van belang voor de CO<sub>2</sub>-uitstoot.

Voor het motorschip is onderstaand model opgesteld dat de verwachte onderlinge relaties toont tussen de verschillende variabelen welke in dit onderzoek zullen worden onderzocht.

<sup>2</sup> Diesel: EN590.

**Figuur 2.3**  
Verwachte relaties  
tussen de variabelen



De variaties in de stand van de gashendels (powersetting) leidt tot variaties in engine flow. De engine flow bepaalt enerzijds de hoeveelheid  $\text{NO}_x$  en  $\text{CO}_2$ <sup>3</sup> en anderzijds de snelheid van het motorschip. De snelheid wordt hierbij naar verwachting tevens beïnvloed door de kielspeling, lading, diepgang, tegenwind, zijwind en strooming. In deze casus is snelheid over de grond (gemeten vanuit het gps-systeem) beschikbaar doch geen watersnelheid<sup>4</sup>. Aangezien scheepsmotoren meer diesel verbruiken bij hogere snelheden is de verwachting dat de engine flow toeneemt indien hogere snelheden worden gevaren. Bij het ontbreken van data over de watersnelheid, wordt onderscheid gemaakt tussen een trip die stroomopwaarts dan wel stroomafwaarts plaatsvindt. Navraag bij een binnenvaartschipper leert dat zijn binnenvaartschip (niet zijnde het schip in dit onderzoek) normaliter rond de 80% van het motorvermogen het meest efficiënt vaart<sup>5</sup>.

**Hypothese L1:** Snelheid is positief gecorreleerd met engine flow (N.B. maak hierbij onderscheid tussen stroomopwaarts en stroomafwaarts).

De kielspeling (UKC: 'under keel clearance') is de minimumruimte tussen het diepste punt van een schip en de (rivier) bodem. De UKC wordt normaliter bepaald aan de hand van de diepgang van het schip en de waterdiepte. Daarbij moet rekening gehouden worden met trim en slagzij die de UKC verminderen. Bij een lage kielspeling ondervindt een motorschip normaliter meer weerstand hetgeen een negatief effect heeft op de snelheid van het schip.

**Hypothese L2:** Snelheid is positief gecorreleerd met de kielspeling (N.B. maak hierbij onderscheid tussen stroomopwaarts en stroomafwaarts).

De hoeveelheid lading is van invloed op de snelheid van een motorschip. Immers, hoe meer lading wordt vervoerd des te lager ligt het schip in het water hetgeen meer weerstand betekent.

**Hypothese L3:** Snelheid is negatief gecorreleerd met de hoeveelheid lading (N.B. maak hierbij onderscheid tussen stroomopwaarts en stroomafwaarts).

De snelheid wordt tevens beïnvloed door windeffecten. Immers, met tegenwind zal een motorschip - mede door het effect van wind op water (e.g. golven) - naar verwachting een lagere grondsnelheid hebben terwijl dit met meewind hoger zal zijn.

<sup>3</sup> De gehanteerde emissiefactor voor diesel EN590 is 3,2 kg  $\text{CO}_2$  per liter.

<sup>4</sup> Navraag (bron: Covadem) leert dat de sensoren voor het meten van watersnelheid in de binnenvaart door beschadigingen tijdens het varen veelal onbetrouwbaar zijn dan wel in het geheel niet werken.

<sup>5</sup> Onder de 80% motorvermogen ervaart zijn schip m.n. motorweerstand en daarboven m.n. vaarweerstand.

**Hypothese L4:** *Snelheid is negatief gecorreleerd met de hoeveelheid tegenwind (N.B. maak hierbij onderscheid tussen stroomopwaarts en stroomafwaarts).*

Daarnaast kan beargumenteerd worden dat een motorschip een lagere snelheid heeft bij (sterke) zijwind. Immers, in een dergelijke situatie is roeruitslag nodig om op koers te blijven, hetgeen de weerstand van het motorschip zal verhogen.

**Hypothese L5:** *Snelheid is negatief gecorreleerd met de hoeveelheid zijwind (N.B. maak hierbij onderscheid tussen stroomopwaarts en stroomafwaarts).*

Vanuit haar duurzame configuratie, wordt ook de  $\text{NO}_x$  (engine 2) als variabele gemeten. De verwachting hierbij is dat de hoeveelheid  $\text{NO}_x$  positief correleert met de engine flow. Immers, een hoger brandstofverbruik genereert naar verwachting meer  $\text{NO}_x$ -uitstoot.

**Hypothese L6:** *Engine flow is positief gecorreleerd met de hoeveelheid  $\text{NO}_x$ .*

In het motorschip zijn sensoren geplaatst die de belading real-time meten. De gemeten variabelen zijn lading scheefligging, lading doorligging, lading bakboord voor, lading stuurboord voor, lading bakboord midden, lading stuurboord midden, lading bakboord achter en lading stuurboord achter (alle gemeten in centimeters). Deze variabelen zijn echter niet geschikt voor bedoelde analyses van een enkele trip aangezien de sensoren gevoelig blijken voor de vaaromstandigheden gedurende de trip (N.B. Als het schip stilligt, zijn de waarden wél stabiel). Dat betekent dat de effecten van lading op de  $\text{CO}_2$ -uitstoot alleen zullen worden berekend bij analyses over meerdere trips met een verschillende lading.

De breedte van een rivier (of kanaal) speelt hydrodynamisch een rol. Bij een brede rivier wordt minder weerstand ervaren dan bij een smalle rivier. Over bovengenoemde trip is echter geen data beschikbaar van de rivierbreedte. Wél is bekend dat de trip overwegend op ruim water heeft plaatsgevonden. Deze mogelijke variabele is derhalve buiten beschouwing gelaten.

## Onderzoeksmethode

### 3.1 Onderzoeksstrategie

De onderzoeksstrategie is een combinatie van kwantitatief bureauonderzoek en de verzameling van praktijkdata (Verschuren, 2010). Het bureauonderzoek betrof onderzoek data die vanuit een eerder onderzoek beschikbaar waren (producent) aangevuld met opgevraagde data vanuit de logistieke praktijk (logistiek dienstverlener).

### 3.2 Onderzoek ontwerp

Het onderzoek ontwerp is praktijk-georiënteerd onderzoek. Het onderzoek beoogt om de mogelijkheden te onderzoeken om op geautomatiseerde wijze verbetermogelijkheden aan te duiden teneinde de CO<sub>2</sub>-uitstoot, van een producent dan wel een logistiek dienstverlener, te verlagen. Dit door hypothesen - die zijn gebaseerd op de theorie en/of reguliere (business) logica - te toetsen met behulp van kwantitatieve data uit de praktijk, gebruikmakend van statistische analyses. Bedoeling is om op basis van statistische analyses de effecten te berekenen van onafhankelijke en controle variabelen op de afhankelijk variabele op basis van de beschikbare brondata. Tevens wordt beoogd om het voorspellend karakter hiervan in te schatten en de onderlinge interacties te duiden.

Deze studie hanteert een kwantitatief onderzoek ontwerp, op basis van zowel lineaire regressie (producent) als 'lineair mixed models' (logistiek dienstverlener). Bij meervoudige ('multiple' of 'multivariable') lineaire regressie zijn we geïnteresseerd in het gelijktijdig modelleren van twee of meer onafhankelijke variabelen. Dit is de methodiek die is gehanteerd bij de modellering van de producten.

In het geval van de logistiek dienstverlener is echter sprake van (een zeer groot aantal) herhaalde metingen. Daardoor zou de toepassing van lineaire regressie methodieken mogelijk té geflatteerde uitkomsten tonen t.a.v. de gehanteerde datasets. Dit vanwege de constatering dat de metingen van de logistiek dienstverlener betrekking hebben op vergelijkbare situaties - weliswaar in andere omstandigheden - en derhalve onvoldoende aangemerkt kunnen worden als onafhankelijke metingen. Het feit dat de logistiek dienstverlener over metingen beschikt met een frequentie van 30 metingen per minuut versterkt eventuele afhankelijkheden tussen deze metingen.

Wanneer de afhankelijk variabele voor de subjecten van een studie op verschillende tijdstippen gemeten wordt, moeten we een analysemethode gebruiken die rekening houdt met het feit dat metingen niet onafhankelijk van elkaar zijn en dat - naargelang het meetmoment - het effect van de onafhankelijk- en controle variabelen kan verschillen. Om hiervoor te corrigeren is voor de logistiek dienstverlener een mixed model complexer maar algemener te gebruiken dan een repeated measures ANOVA. Derhalve is hierbij overgegaan naar de meer geavanceerde analyse methodiek van 'lineair mixed modelling' ('mixed effects' modellen) - die geschikt is voor herhaalde metingen van dezelfde subjecten. Tevens zal de data van de logistiek dienstverlener worden geaggregeerd naar een lagere frequentie teneinde eventuele afhankelijkheden tussen metingen te verminderen.

Teneinde het probleem van endogeniteit<sup>6</sup> te adresseren, wordt speciale aandacht besteed aan twee bronnen die de schattingen van hoe X (onafhankelijke variabele) de Y (afhankelijke variabele) beïnvloedt kunnen vertekenen, zijnde niet-waarneembare heterogeniteit (die ontstaat als er niet-waarneembare factoren zijn die zowel de afhankelijke als de verklarende variabelen beïnvloeden) en gelijktijdigheid (die ontstaat als de onafhankelijke variabelen zijn een functie van de afhankelijke variabele of verwachte waarden van de afhankelijke variabele).

<sup>6</sup> Endogeniteit is het optreden in een model van een verband tussen een variabele die niet is opgenomen in het model met een variabele die daar wel in is opgenomen, er is een correlatie tussen een verklarende variabele en de foutterm.

Empirisch onderzoek gaat immers vaak voorbij aan een belangrijke bron van endogeniteit die ontstaat omdat de relaties tussen de waarneembare kenmerken waarschijnlijk dynamisch zijn. Dat wil zeggen, de huidige acties van een organisatie zullen zijn controleomgeving en toekomstige prestaties beïnvloeden, wat op zijn beurt zijn toekomstige acties zal beïnvloeden (Wintoki, et al., 2012).

### 3.2.1 Data verzamelen

De data van de producent beslaat de data van alle maanden in een volledig kalenderjaar. Deze dataset is direct afkomstig van de producent en verwerkt in calculaties die de CO<sub>2</sub>-uitstoot berekenen van de geproduceerde eindproducten op basis van het Green House Gas protocol voor de drie verschillende scopes. De eindresultaten zijn vervolgens door de producent geverifieerd en gevalideerd.

De brondata van de logistiek dienstverlener beslaat de data van een zestal trips waarbij elke 2 seconden een vijftiwintigtal variabelen zijn gemeten. Teneinde eventuele afhankelijkheden tussen metingen te verminderen is de brondata van de logistiek dienstverlener geaggregeerd naar een frequentie van 15 minuten.

Op basis van bovenstaande wordt geconcludeerd dat aan de voorwaarden van representatieve, valide en betrouwbare gegevens is voldaan.

### 3.2.2 Definitie van variabelen: Producent

Ten aanzien van de producent zijn de volgende variabelen gedefinieerd.

#### Afhankelijke variabele

In dit onderzoek is het gasverbruik (in Nm<sup>3</sup>) dan wel het elektriciteitsverbruik (in kWh) de afhankelijke variabele.

#### Controle variabele

De controle variabele in dit onderzoek is de productie (in HL).

#### Onafhankelijke variabelen

De onafhankelijk variabelen zijn de gemiddelde buitentemperatuur (in graden Celsius) en het landelijk gemiddelde aantal zonuren week<sup>7</sup> (uren).

#### Toegevoegde variabele

T.a.v. het gasverbruik (als afhankelijk variabele) is zonlicht als een toegevoegde variabele gebruikt.

Dit als interactie check daar hier geen hypothese over is gedefinieerd.

#### Overig

De letter  $\epsilon$  is toegevoegd om endogeniteit te adresseren.

### 3.2.3 Definitie van variabelen: Logistiek dienstverlener

De data van de logistiek dienstverlener beslaat de data van zes trips tussen België en Duitsland. Deze data is direct afkomstig van metingen door sensoren op het motorschip. De data is geanalyseerd en waar nodig geverifieerd met de data verwerkende organisatie. Op basis hiervan is geconcludeerd worden dat aan de voorwaarden van representatieve, valide en betrouwbare gegevens is voldaan.

<sup>7</sup> Bron: [www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/](http://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/)

Ten aanzien van het motorschip zijn de volgende variabelen gedefinieerd. Dit n.a.v. het model zoals weergegeven in figuur 2.3.

**Afhankelijke variabele**  
 In dit onderzoek is snelheid (knopen) gedefinieerd als de afhankelijke variabele.

**Controle variabele**  
 De controle variabele in dit onderzoek is de engine flow van de motoren uitgedrukt in liter per uur.

**Onafhankelijke variabelen**  
 De onafhankelijk variabelen zijn kielspeling (m), lading (tonnen), tegenwind en zijwind.

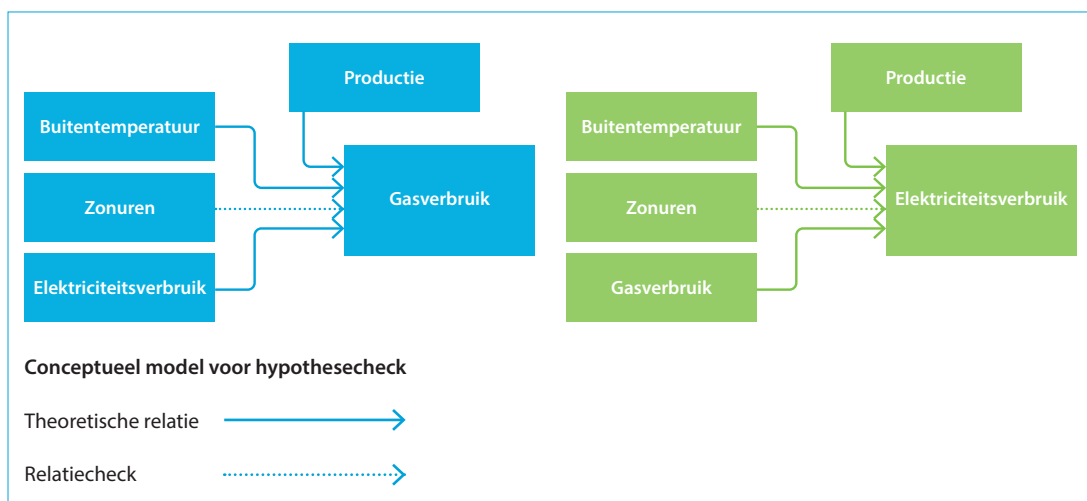
**Overig**  
 De letter  $\epsilon$  is toegevoegd om endogeniteit te adresseren.

### 3.3 Data-analyse

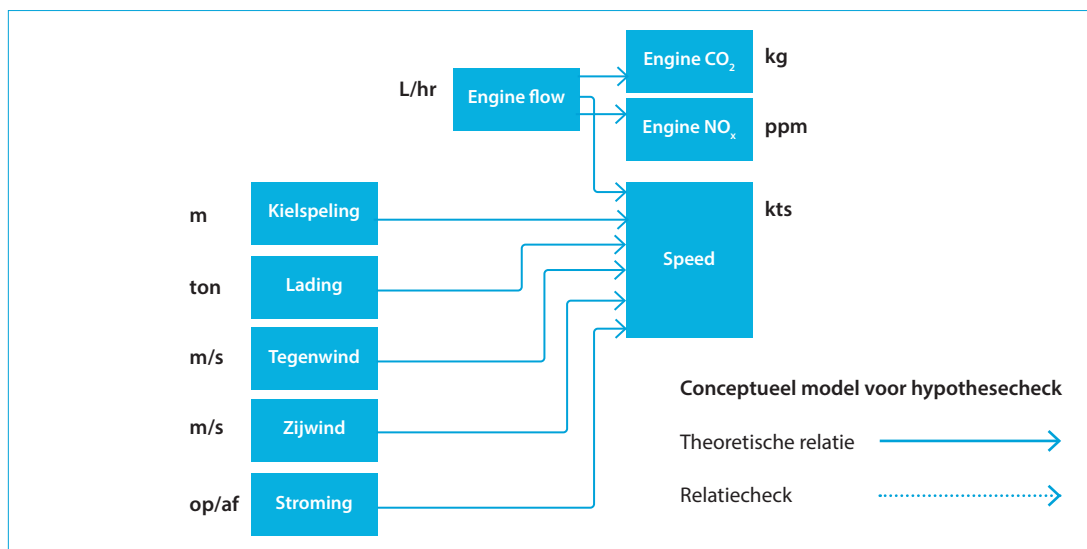
Regressieanalyse is een statistische techniek voor het analyseren van gegevens met mogelijke correlaties. Het is een manier om een afhankelijke variabele te voorspellen op basis van één of meerdere voorspellende variabelen.

Figuur 3.3 toont de conceptuele modellen van deze studie voor de hypothesen zoals beschreven in hoofdstuk twee. De effecten van mogelijke voorspellende variabelen op de afhankelijke variabele zal (energieverbruik) worden bestudeerd. Hierbij zijn geen vertragingseffecten onderzocht daar er is geen redenen zijn om aan te nemen dat variabelen later effecten hebben dan  $t + 1$ .

**Figuur 3.3a**  
 Twee conceptuele modellen t.a.v. de producent om de hypothesen te testen



**Figuur 3.3b**  
 Conceptueel model t.a.v. de logistiek dienstverlener om de hypothesen te testen



### 3.4 Descriptieve statistiek en correlaties producent

Tabel 3.4a toont de descriptieve analyse van de gehele data sample van de producent.

**Tabel 3.4a**  
Descriptieve analyse  
data sample  
(producent).

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Elektriciteit	12	387960	551370	462411.25	58039.676
Gas	12	114645	164055	133986.25	13631.692
Productie	12	7200	21600	14400.00	3786.099
Buitemtemperatuur	12	3.5	18.8	11.175	5.3389
Zonuren	12	52	266	161.33	78.994
Valid N (listwise)	12				

Hieruit blijkt dat over alle maanden van het onderzochte kalenderjaar de gegevens van de variabelen compleet zijn, het gemiddelde verbruik respectievelijk 462.411 kWh elektriciteit en 133.986 Nm<sup>3</sup> per maand bedraagt, de gemiddelde productie 14.400 HL per maand, de gemiddelde buitemtemperatuur 11,2 graden Celsius en het gemiddelde aantal zonuren 161 uur.

**Tabel 3.4b**  
Pearson correlation  
data sample  
(producent).

		Elektriciteit	Gas	Productie	Buitemtemperatuur	Zonuren
Elektriciteit	Pearson Correlation	1	-.463	.418	.947**	.688*
	Sig. (2-tailed)		.129	.176	<.001	.013
	N	12	12	12	12	12
Gas	Pearson Correlation	-.463	1	.382	-.594*	-.435
	Sig. (2-tailed)	.129		.220	.042	.157
	N	12	12	12	12	12
Productie	Pearson Correlation	.418	.382	1	.289	.245
	Sig. (2-tailed)	.176	.220		.363	.443
	N	12	12	12	12	12
Buitemtemperatuur	Pearson Correlation	.947**	-.594*	.289	1	.837**
	Sig. (2-tailed)	<.001	.042	.363		<.001
	N	12	12	12	12	12
Zonuren	Pearson Correlation	.688*	-.435	.245	.837**	1
	Sig. (2-tailed)	.013	.157	.443	<.001	
	N	12	12	12	12	12

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).  
\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Tabel 3.4b toont de Pearson-correlatie tussen de variabelen.

De tabel toont een positieve correlatie tussen elektriciteitsverbruik en buitemtemperatuur op 0,01 niveau. Zonuren tonen een positieve correlatie tussen elektriciteitsverbruik en aantal zonuren op 0,05 niveau. Gasverbruik toont een negatieve correlatie met buitemtemperatuur op 0,05 niveau.

Zonuren tonen een positieve correlatie met buitemtemperatuur op 0,05 niveau. Dit kan verklaard worden vanuit de logica dat het in Nederland in de zomer warm is met veel zonuren en in de winter koud met weinig zonuren.

Productie blijkt geen significante correlatie te tonen met gasverbruik dan wel met elektriciteitsverbruik. Evenals dat gasverbruik geen significante correlatie toont met elektriciteitsverbruik.

Belangrijk blijft te vermelden dat correlaties op zichzelf geen bewijs zijn van causaliteit.



### 3.5 Descriptieve statistiek en correlaties logistiek dienstverlener

Tabel 3.5a toont de descriptieve analyse van de gehele data sample van de logistiek dienstverlener.

**Tabel 3.5a**  
Descriptieve analyse data sample (logistiek dienstverlener).

Descriptive Statistics					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
GPS_SpeedOverGround	128400	.0	11.9	6.702	2.1221
Engine1_Flow	128400	0	220	53.49	21.839
Engine2_Flow	128400	0	204	57.91	22.810
Total_Engine_Flow	128400	6.00	424.00	111.4025	44.25470
Dieptemeter_Depth	128400	.0	18.0	3.722	1.8978
Lading	128398	113.00	1581.00	856.2872	544.19181
Head_Wind_Speed	128400	-21.81	33.56	2.5319	7.84004
Side_Wind_Speed	128400	-28.01	17.85	-1.5372	5.78349
Engine2_NOX	128400	0	830	331.28	201.956
Valid N (listwise)	128398				

Hieruit blijkt onder meer dat er in de gemeten periode, 128.400 waarnemingen zijn gedaan van de variabelen, de gemiddelde snelheid 6,702 knopen, de gemiddelde kielspeling 3,722 meter en het gemiddelde verbruik van de motoren respectievelijk 53,49 en 57,91 liter per minuut bedraagt. De hoeveelheid tegenwind en zijwind was respectievelijk gemiddeld 2,5318 kts<sup>8</sup> en -1,5371 kts. Tevens toont de NO<sub>x</sub>-uitstoot van motor 2 een gemiddelde waarde van 331,28 ppm.

**Tabel 3.5b**  
Pearson correlation data sample (logistiek dienstverlener).

		Correlations								
		GPS_SpeedO verGround	Engine1_Flow	Engine2_Flow	Total_Engine _Flow	Dieptemeter _Depth	Lading	Head_Wind_S peed	Side_Wind_S peed	Engine2_NO X
GPS_SpeedOverGround	Pearson Correlation	1	-.187**	-.213**	-.202**	-.092**	.223**	-.404**	-.150**	.408**
	Sig. (2-tailed)		.000	.000	.000	<.001	.000	.000	.000	.000
	N	128400	128400	128400	128400	128400	128398	128400	128400	128400
Engine1_Flow	Pearson Correlation	-.187**	1	.965**	.991**	-.107**	-.384**	.269**	.230**	-.292**
	Sig. (2-tailed)	.000		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N	128400	128400	128400	128400	128400	128398	128400	128400	128400
Engine2_Flow	Pearson Correlation	-.213**	.965**	1	.992**	-.143**	-.410**	.282**	.219**	-.322**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N	128400	128400	128400	128400	128400	128398	128400	128400	128400
Total_Engine_Flow	Pearson Correlation	-.202**	.991**	.992**	1	-.126**	-.401**	.278**	.227**	-.310**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.000
	N	128400	128400	128400	128400	128400	128398	128400	128400	128400
Dieptemeter_Depth	Pearson Correlation	-.092**	-.107**	-.143**	-.126**	1	.238**	.279**	.007*	.126**
	Sig. (2-tailed)	<.001	.000	.000	.000		.000	.000	.011	.000
	N	128400	128400	128400	128400	128400	128398	128400	128400	128400
Lading	Pearson Correlation	.223**	-.384**	-.410**	-.401**	.238**	1	-.042**	-.220**	.492**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.000		<.001	.000	.000
	N	128398	128398	128398	128398	128398	128398	128398	128398	128398
Head_Wind_Speed	Pearson Correlation	-.404**	.269**	.282**	.278**	.279**	-.042**	1	-.089**	.032**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.000	<.001		<.001	<.001
	N	128400	128400	128400	128400	128400	128398	128400	128400	128400
Side_Wind_Speed	Pearson Correlation	-.150**	.230**	.219**	.227**	.007*	-.220**	-.089**	1	-.384**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.011	.000	<.001		.000
	N	128400	128400	128400	128400	128400	128398	128400	128400	128400
Engine2_NOX	Pearson Correlation	.408**	-.292**	-.322**	-.310**	.126**	.492**	.032**	-.384**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	<.001	.000	
	N	128400	128400	128400	128400	128400	128398	128400	128400	128400

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).  
\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Tabel 3.5b toont de Pearson-correlatie tussen de variabelen. In deze tabel is overigens nog geen onderscheid gemaakt tussen de metingen stroomopwaarts en stroomafwaarts.

De tabel toont een positieve correlatie tussen total engine flow en snelheid maar ook tussen snelheid enerzijds en kielspeling, lading, tegenwind en zijwind anderzijds, allen op 0,01 niveau. Tevens toont de tabel een positieve correlatie tussen de engine flow van motor 2 en de NO<sub>x</sub>-uitstoot van motor 2 op 0,01 niveau. Hierbij is echter nog geen onderscheid gemaakt tussen de metingen stroomopwaarts en stroomafwaarts.

Belangrijk blijft te vermelden dat correlaties op zichzelf geen bewijs zijn van causaliteit.

<sup>8</sup> Een negatief teken geeft hierbij wind van bakboordzijde aan en een positief teken wind van stuurboordzijde.

## Resultaten

### 4.1 Introductie

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de analyse om de onderzoeksvragen te beantwoorden. De hypothesen voor de producent, zoals vermeld in hoofdstuk twee, zijn als achtereenvolgens:

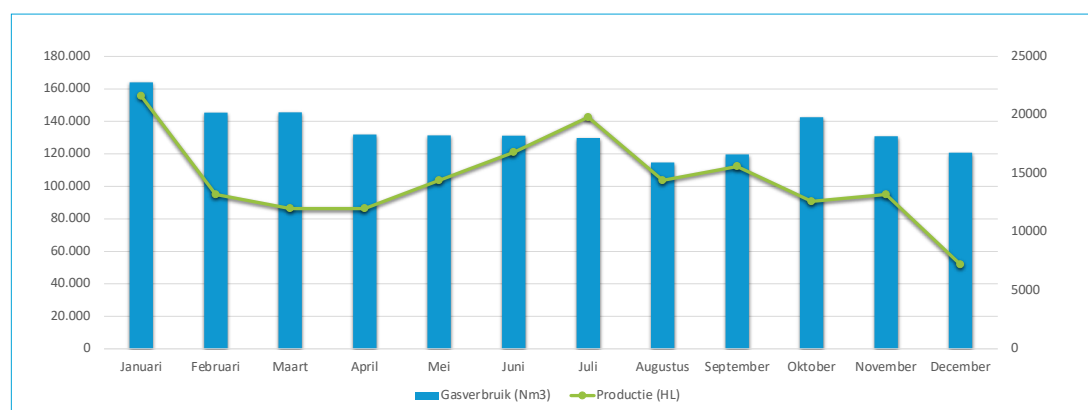
- Hypothese P1:** Gasverbruik is positief gecorreleerd met productievolume.
- Hypothese P2:** Elektriciteitsverbruik is positief gecorreleerd met productievolume.
- Hypothese P3:** Gasverbruik is negatief gecorreleerd met buitentemperatuur.
- Hypothese P4:** Elektriciteitsverbruik is positief gecorreleerd met buitentemperatuur.
- Hypothese P5:** Elektriciteitsverbruik is negatief gecorreleerd met zonuren.
- Hypothese P6:** Elektriciteitsverbruik is positief gecorreleerd met gasverbruik.

De hypothesen voor de logistiek dienstverlener, zoals vermeld in hoofdstuk twee, zijn als achtereenvolgens:

- Hypothese L1:** Snelheid is positief gecorreleerd met engine flow  
(N.B. maak hierbij onderscheid tussen stroomopwaarts en stroomafwaarts).
- Hypothese L2:** Snelheid is positief gecorreleerd met de kielspeling  
(N.B. maak hierbij onderscheid tussen stroomopwaarts en stroomafwaarts).
- Hypothese L3:** Snelheid is negatief gecorreleerd met de hoeveelheid lading  
(N.B. maak hierbij onderscheid tussen stroomopwaarts en stroomafwaarts).
- Hypothese L4:** Snelheid is negatief gecorreleerd met de hoeveelheid tegenwind  
(N.B. maak hierbij onderscheid tussen stroomopwaarts en stroomafwaarts).
- Hypothese L5:** Snelheid is negatief gecorreleerd met de hoeveelheid zijwind  
(N.B. maak hierbij onderscheid tussen stroomopwaarts en stroomafwaarts).
- Hypothese L6:** Engine flow is positief gecorreleerd met de hoeveelheid  $NO_x$ .

### 4.2 Gasverbruik producent

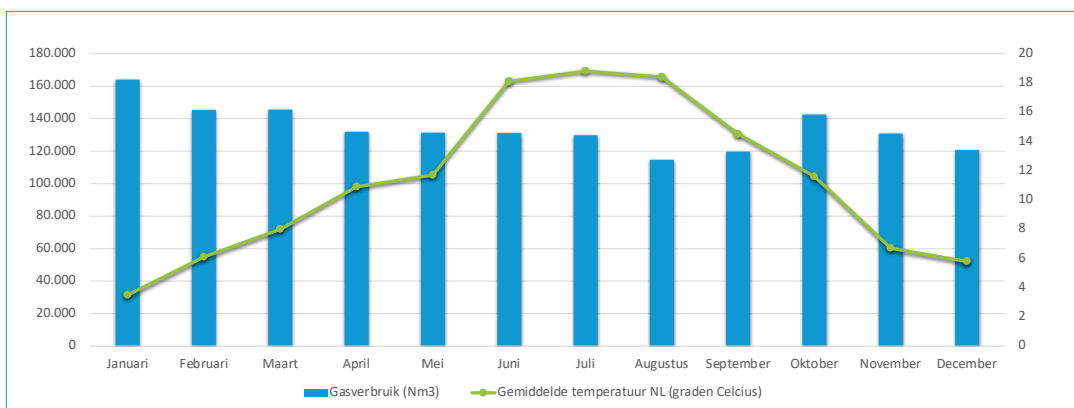
Onderstaande figuren tonen het gasverbruik per maand versus het productievolume en de buitentemperatuur van die maand.



In figuur 4.2a lijkt geen duidelijke correlatie te bestaan tussen het gasverbruik en productie.

**Figuur 4.2a**  
Gasverbruik versus  
productie

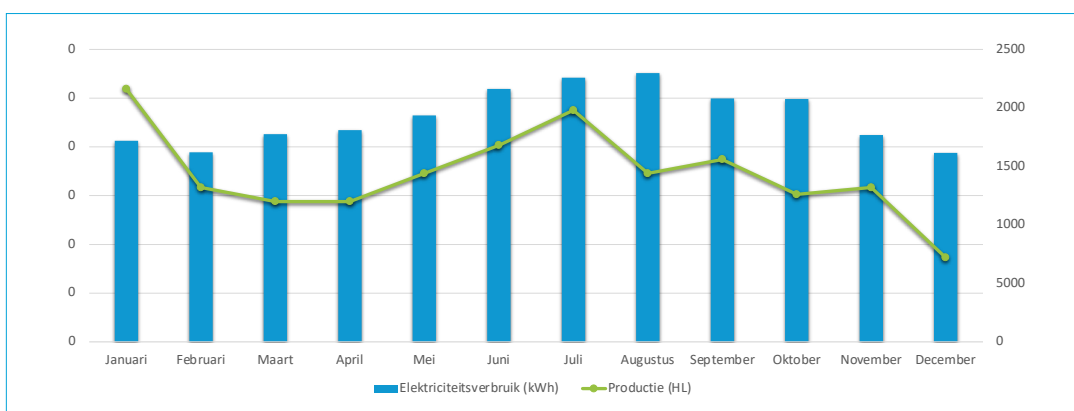
**Figuur 4.2b**  
Gasverbruik versus  
buitentemperatuur



In figuur 4.2b lijkt het gasverbruik negatief te correleren met de gemiddelde buitentemperatuur.

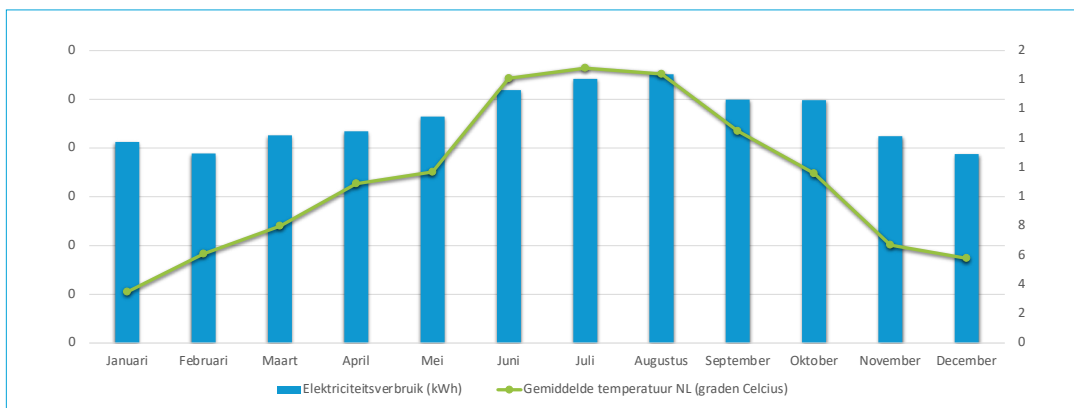
### 4.3 Elektriciteitsverbruik producent

**Figuur 4.3a**  
Elektriciteitsverbruik  
versus productie



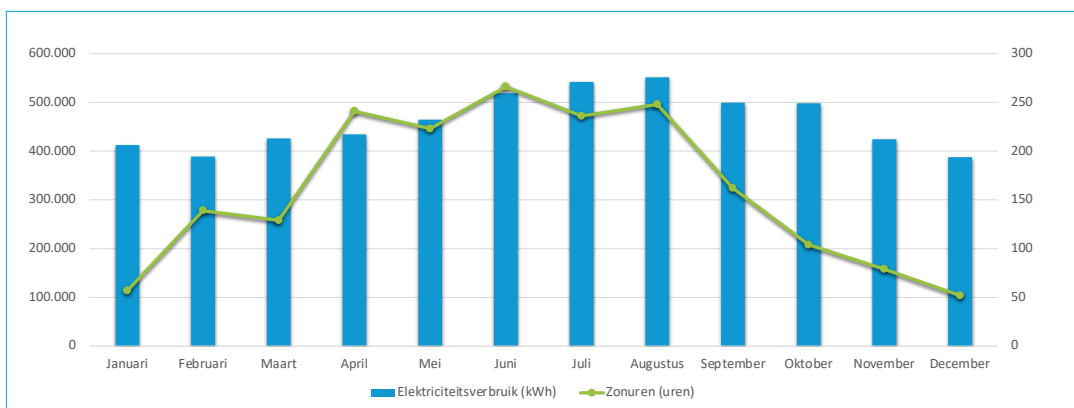
In figuur 4.3a lijkt het elektriciteitsverbruik positief te correleren met productie.

**Figuur 4.3b**  
Elektriciteitsverbruik  
versus buiten-  
temperatuur



In figuur 4.3b lijkt het elektriciteitsverbruik positief te correleren met de gemiddelde buitentemperatuur.

**Figuur 4.3c**  
Elektriciteitsverbruik versus zonuren

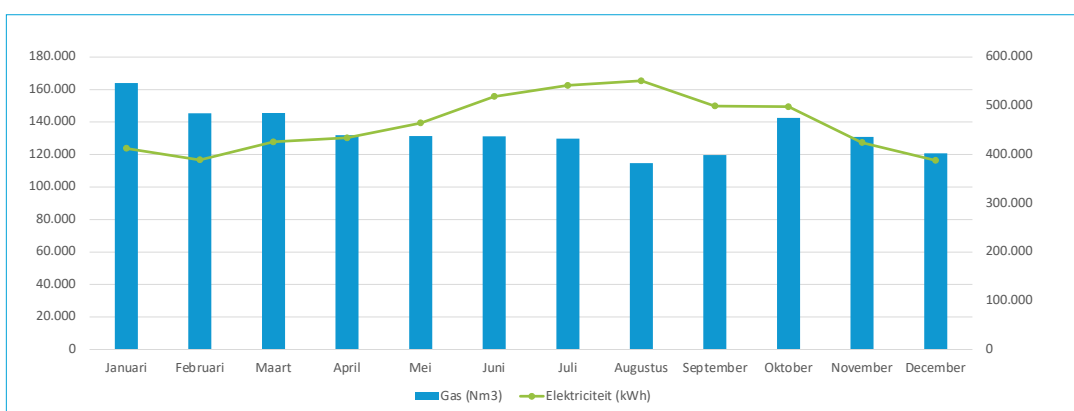


In figuur 4.3c lijkt het elektriciteitsverbruik positief te correleren met de aantal zonuren per maand.

### 4.4 Gas- versus elektriciteitsverbruik producent

In figuur 4.4 lijkt het gasverbruik negatief te correleren met het elektriciteitsverbruik per maand. Onduidelijk is of hier een direct verband is dan wel dat dit gelieerd is aan de seizoenen (buitentemperatuur, zonuren) die een direct effect lijken te hebben op enerzijds gasverbruik en anderzijds elektriciteitsverbruik.

**Figuur 4.4**  
Gasverbruik versus elektriciteitsverbruik



### 4.5 Gasverbruik producent in relatie tot de variabelen

In onderstaande tabel worden de statistische correlaties van het hoofdmodel getoond op basis van (bivariate) Pearson correlatie.

**Tabel 4.5a**  
Pearson correlaties

		Correlations				
		Elektriciteit	Gas	Productie	Buitentemperatuur	Zonuren
Elektriciteit	Pearson Correlation	1	-.463	.418	.947**	.688*
	Sig. (2-tailed)		.129	.176	<.001	.013
	N	12	12	12	12	12
Gas	Pearson Correlation	-.463	1	.382	-.594*	-.435
	Sig. (2-tailed)	.129		.220	.042	.157
	N	12	12	12	12	12
Productie	Pearson Correlation	.418	.382	1	.289	.245
	Sig. (2-tailed)	.176	.220		.363	.443
	N	12	12	12	12	12
Buitentemperatuur	Pearson Correlation	.947**	-.594*	.289	1	.837**
	Sig. (2-tailed)	<.001	.042	.363		<.001
	N	12	12	12	12	12
Zonuren	Pearson Correlation	.688*	-.435	.245	.837**	1
	Sig. (2-tailed)	.013	.157	.443	<.001	
	N	12	12	12	12	12

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).  
\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

T.a.v. de hypothesen blijkt hieruit het volgende:

**Hypothese P1** 'Gasverbruik is positief gecorreleerd met productievolume' wordt verworpen.  
Hier is geen significante correlatie zichtbaar.

**Hypothese P3** 'Gasverbruik is negatief gecorreleerd met buitentemperatuur' wordt aangenomen.  
Hier is een significante correlatie zichtbaar op het 0.05 niveau.

In onderstaande tabellen is de meervoudige lineaire regressieanalyse getoond van de formule:

$$\text{RFP1: Gasverbruik}_t = \alpha + \beta\text{Productie}_t + \beta\text{Buitentemperatuur}_t + \beta\text{Zonuren} + \beta\text{Elektriciteitsverbruik}_t + \epsilon_t$$

**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.851 <sup>a</sup>	.724	.567	8973.257

a. Predictors: (Constant), Elektriciteit, Productie, Zonuren, Buitentemperatuur

De Adjusted R Square<sup>9</sup> is van deze regressie is 0,567, hetgeen aangeeft dat 56,7% van het gasverbruik wordt verklaard vanuit de variantie van de variabelen.

**ANOVA<sup>a</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.480E+9	4	370104468	4.596	.039 <sup>b</sup>
	Residual	563635335	7	80519333.5		
	Total	2.044E+9	11			

a. Dependent Variable: Gas

b. Predictors: (Constant), Elektriciteit, Productie, Zonuren, Buitentemperatuur

De ANOVA toont dat de regressie formule een significant voorspellende waarde heeft.

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	66840.845	73166.882		.914	.391
	Productie	1.743	.925	.484	1.884	.102
	Buitentemperatuur	-4671.601	3046.739	-1.830	-1.533	.169
	Zonuren	79.548	84.863	.461	.937	.380
	Elektriciteit	.176	.223	.750	.788	.457

a. Dependent Variable: Gas

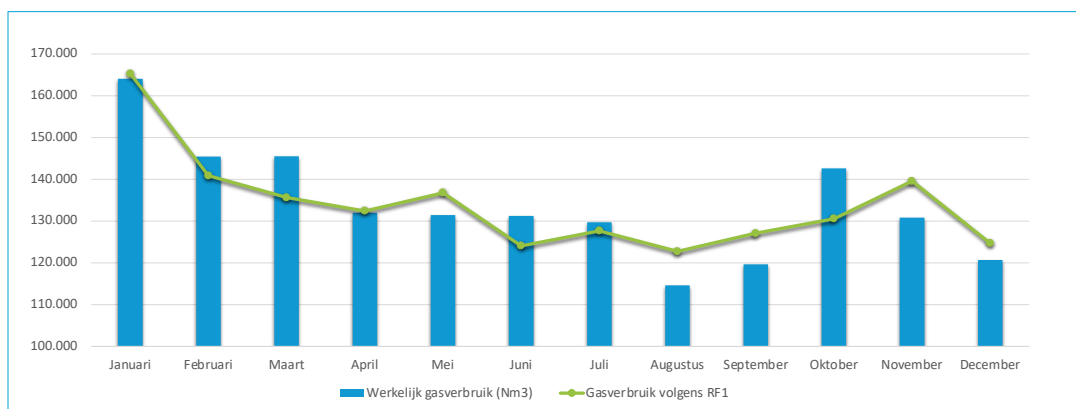
Op basis van de berekende coëfficiënten, kan de regressieformule worden opgesteld.

$$\text{RFP1: Gasverbruik}_t = 66840,845 + 1,743*\text{Productie}_t -4671,601*\text{Buitentemperatuur}_t + 79,548 \text{ Zonuren} + 0,176*\text{Elektriciteitsverbruik}_t$$

<sup>9</sup> Bij een meervoudige regressie is de 'Adjusted R Square' van belang (in plaats van 'R Square') omdat meer verklarende variabelen altijd meer van de variantie kunnen verklaren. De adjusted R<sup>2</sup> corrigeert hiervoor.

In figuur 4.5 zijn de uitkomsten van de regressieformule vergeleken met de werkelijke waarden van het gasverbruik.

**Figuur 4.5**  
Werkelijk gasverbruik versus regressieformule 1 (adjusted R<sub>2</sub> = 0,567)



### 4.6 Elektriciteitsverbruik producent in relatie tot de variabelen

Op basis van de statistische correlaties van het hoofdmodel (zie hoofdstuk 4.5) blijkt t.a.v. de hypothesen het volgende:

**Hypothese P2** 'Elektriciteitsverbruik is positief gecorreleerd met productievolume' wordt verworpen. Ook hier is geen significante correlatie zichtbaar.

**Hypothese P4** 'Elektriciteitsverbruik is positief gecorreleerd met buitentemperatuur' wordt aangenomen. Hier is een significante correlatie zichtbaar op het 0.01 niveau.

**Hypothese P5** 'Elektriciteitsverbruik is negatief gecorreleerd met zonuren' wordt verworpen. Hier is een juist een positieve significante correlatie zichtbaar op het 0.05 niveau.

In onderstaande tabellen is de meervoudige lineaire regressieanalyse getoond van de formule:

$$\text{RFP2: Elektriciteitsverbruik} = \alpha + \beta\text{Productie}_t + \beta\text{Buitentemperatuur}_t + \beta\text{Zonuren} + \beta\text{Gasverbruik}_t + \epsilon_t$$

**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.980 <sup>a</sup>	.960	.937	14545.613

a. Predictors: (Constant), Gas, Productie, Zonuren, Buitentemperatuur

De Adjusted R Square is van deze regressie is 0,937 hetgeen aangeeft dat 93,7% van het elektriciteitsverbruik wordt verklaard vanuit de variantie van de variabelen.

**ANOVA<sup>a</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3.557E+10	4	8.893E+9	42.034	<.001 <sup>b</sup>
	Residual	1.481E+9	7	211574866		
	Total	3.705E+10	11			

a. Dependent Variable: Elektriciteit

b. Predictors: (Constant), Gas, Productie, Zonuren, Buitentemperatuur

De ANOVA toont dat de regressie formule een significant voorspellende waarde heeft.

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	266359.540	74889.557		3.557	.009
	Productie	1.439	1.759	.094	.818	.440
	Buitemtemperatuur	14077.637	2066.883	1.295	6.811	<.001
	Zonuren	-272.600	103.359	-.371	-2.637	.034
	Gas	.463	.587	.109	.788	.457

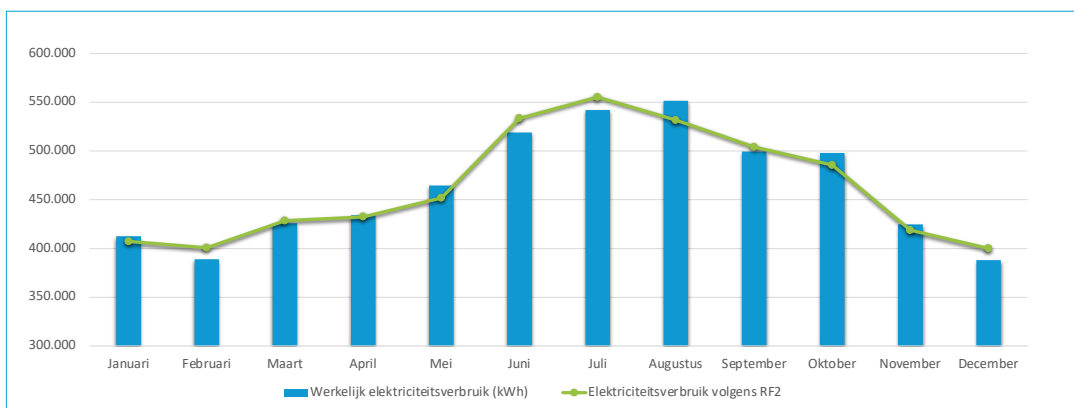
a. Dependent Variable: Elektriciteit

Op basis van de berekende coëfficiënten, kan de regressieformule worden opgesteld.

$$\text{RFP2: } \text{Elektriciteitsverbruik}_t = 266359,540 + 1,439 * \text{Productie}_t + 14077,637 * \text{Buitemtemperatuur}_t - 272,600 * \text{Zonuren} + 0,463 * \text{Gasverbruik}_t$$

In figuur 4.6 zijn de uitkomsten van de regressieformule vergeleken met de werkelijke waarden van het gasverbruik.

**Figuur 4.6**  
Werkelijk gasverbruik versus regressie formule 1 (adjusted R<sup>2</sup> = 0,937)



### 4.7 Additionele robuustheid checks producent

Regressieformule RF1 is voorts getoetst op variaties. Hieruit blijkt dat elke variatie op de formule (lees: weglaten van variabelen) leidt tot een lagere adjusted R Square met uitzondering van onderstaande twee formules (zie bijlage I).

$$\text{RFP1*}: \text{Gasverbruik} = \alpha + \beta \text{Productie}_t + \beta \text{Buitemtemperatuur}_t + \beta \text{Zonuren} + \epsilon_t$$

Deze formule heeft een adjusted R Square van 0,587 een significante uitkomst van de F-toets, leidend tot onderstaande formule.

$$\text{RFP1*}: \text{Gasverbruik} = 123827,198 + 2,173 * \text{Productie}_t - 2387,370 * \text{Buitemtemperatuur}_t + 34,348 * \text{Zonuren}$$

én

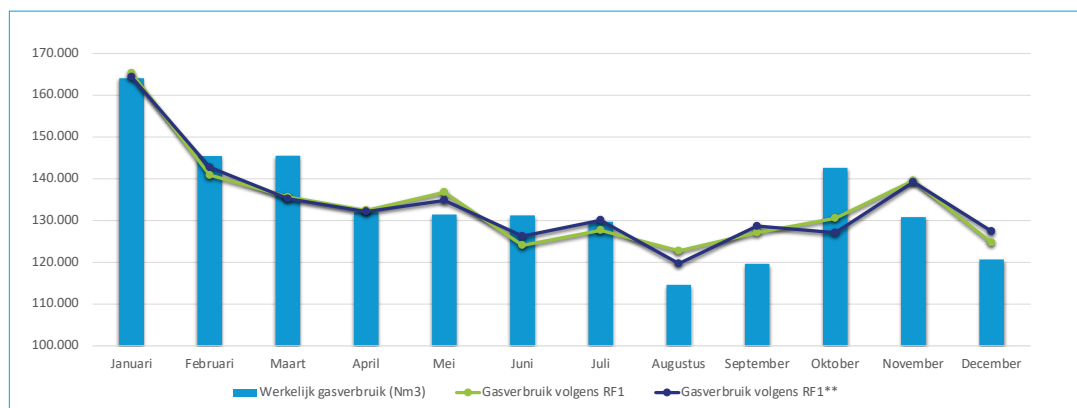
$$\text{RFP1**}: \text{Gasverbruik} = \alpha + \beta \text{Productie}_t + \beta \text{Buitemtemperatuur}_t + \beta \text{Zonuren} + \epsilon_t$$

Deze formule heeft een adjusted R Square van 0,619 een significante uitkomst van de F-toets (weliswaar op de grens), leidend tot onderstaande formule.

$$\text{RFP1}^{**}: \text{Gasverbruik} = 124583,449 + 2,176 * \text{Productie}_t - 1962,725 * \text{Buitentemperatuur}_t$$

Daarmee heeft RFP1\*\* een licht voorspellender waarde van RFP1 (zie figuur 4.7a).

**Figuur 4.7a**  
Werkelijk gasverbruik versus regressieformules RF1 en RF1\*\*



Ook regressieformule RF2 is voorts getoetst op variaties. Hieruit blijkt dat elke variatie op de formule (lees: weglaten van variabelen) leidt tot een lagere adjusted R square met uitzondering van onderstaande formule (zie bijlage II).

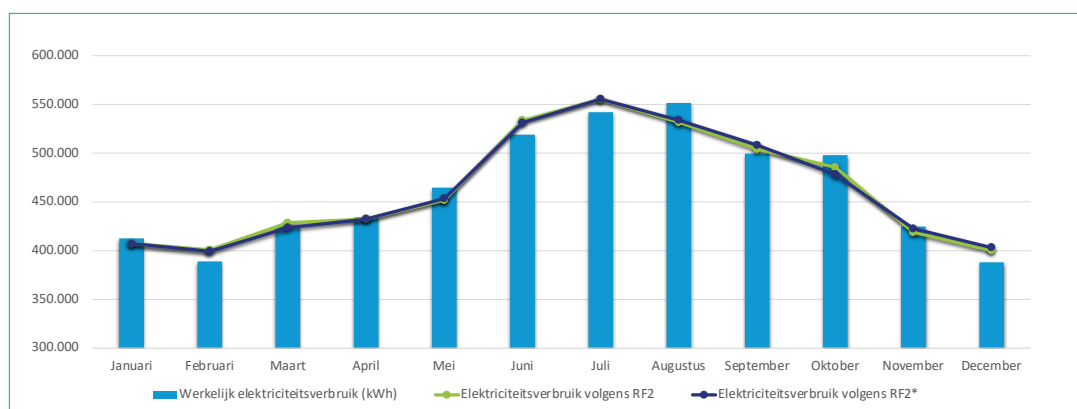
$$\text{RFP2}^*: \text{Elektriciteitsverbruik} = \alpha + \beta \text{Productie}_t + \beta \text{Buitentemperatuur}_t + \beta \text{Zonuren} + \epsilon_t$$

Deze formule heeft een adjusted R Square van 0,940 een significante uitkomst van de F-toets, leidend tot onderstaande formule.

$$\text{RFP2}^*: \text{Elektriciteitsverbruik} = 323649,203 + 2,445 * \text{Productie}_t + 12973,101 * \text{Buitentemperatuur}_t - 256,708 * \text{Zonuren} + \epsilon_t$$

Deze regressieformule heeft daarmee een licht hoger voorspellende waarde dan RFP2.

**Figuur 4.7b**  
Werkelijk elektriciteitsverbruik versus regressieformules RF2 en RF2\*

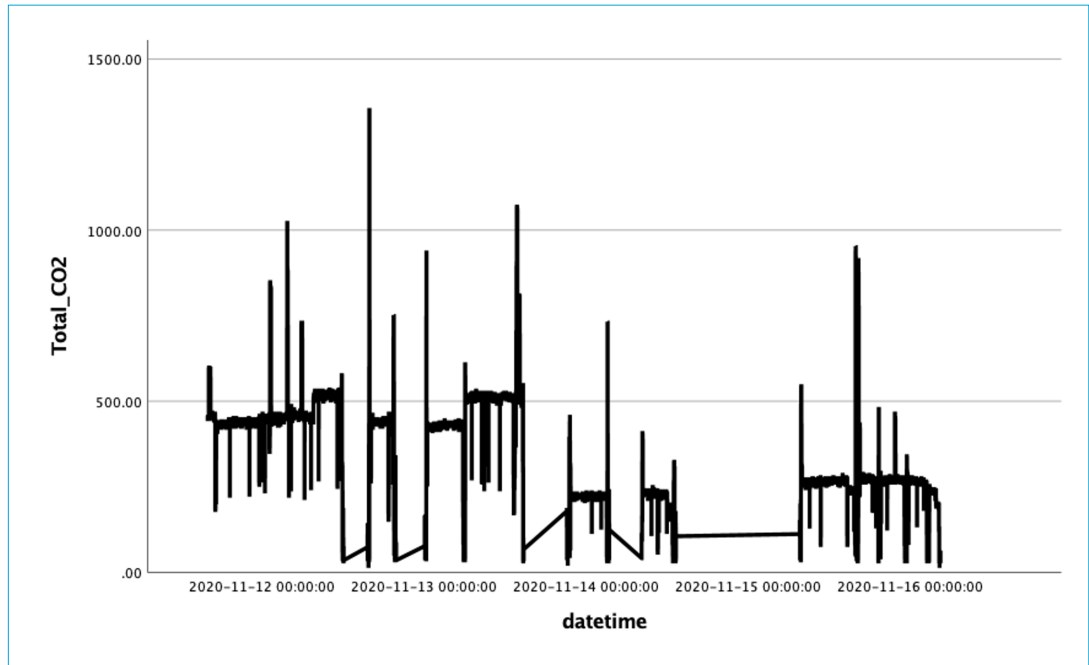




### 4.8 Dieserverbruik logistiek dienstverlener

Onderstaande figuur toont de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van beide motoren (kg per uur) van de logistiek dienstverlener gedurende de trip. Hierbij zijn alle metingen verwijderd waarbij het motorschip aangemeerd ('moored') was.

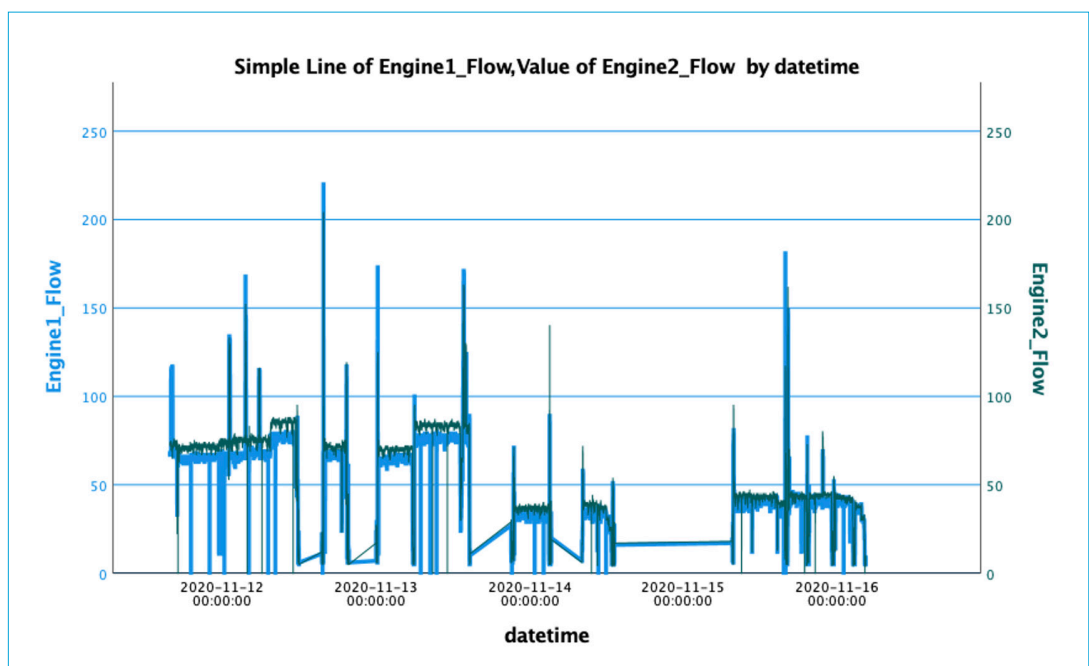
**Figuur 4.8a**  
Totaal dieserverbruik gedurende de trip



De hoge uitslagen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot zijn naar verwachting opgetreden als gevolg van verkeerssituaties tijdens de trip. Gelet op het feit dat het motorschip tijdens deze pieken sneller voer dan normaal, doet vermoeden dat wellicht andere schepen zijn ingehaald op dat moment dan wel andere vaarmanoeuvres zijn verricht.

Onderstaande figuur toont het dieserverbruik (liter per uur) per motor. Daaruit blijkt dat de motor 2 gedurende de trip een hoger dieserverbruik toont dan motor 1.

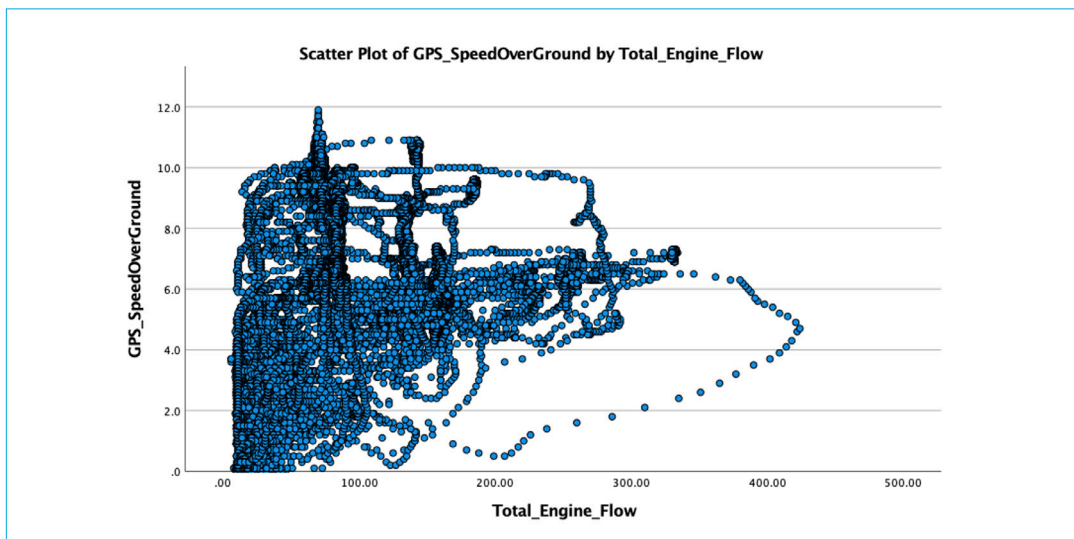
**Figuur 4.8b**  
Dieserverbruik motor 1 en motor 2 gedurende de trip



De twee motoren zitten ongeveer vijf meter van elkaar. Motor 2 (aan bakboordzijde) blijkt een andere pomconfiguratie te hebben die iets meer vermogen levert en daardoor meer brandstof verbruikt. Daarnaast kunnen verschillen ontstaan bij manoeuvres (e.g. wegvaren, bochten) waarbij de ene motor soms meer vermogen moet leveren dan de andere motor.

Onderstaande figuur toont de snelheid versus de engine flow.

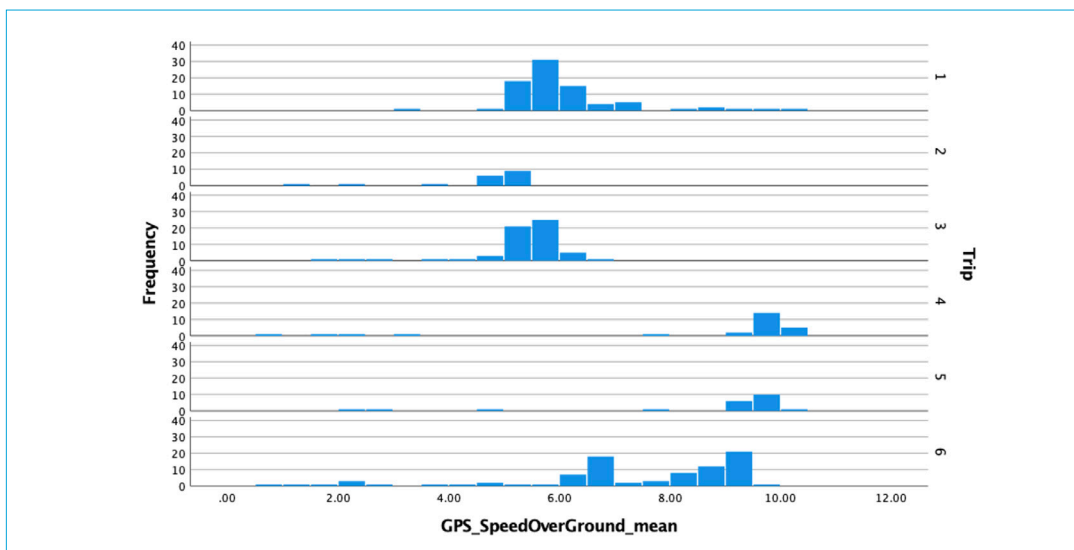
**Figuur 4.8c**  
Snelheid versus  
dieselverbruik



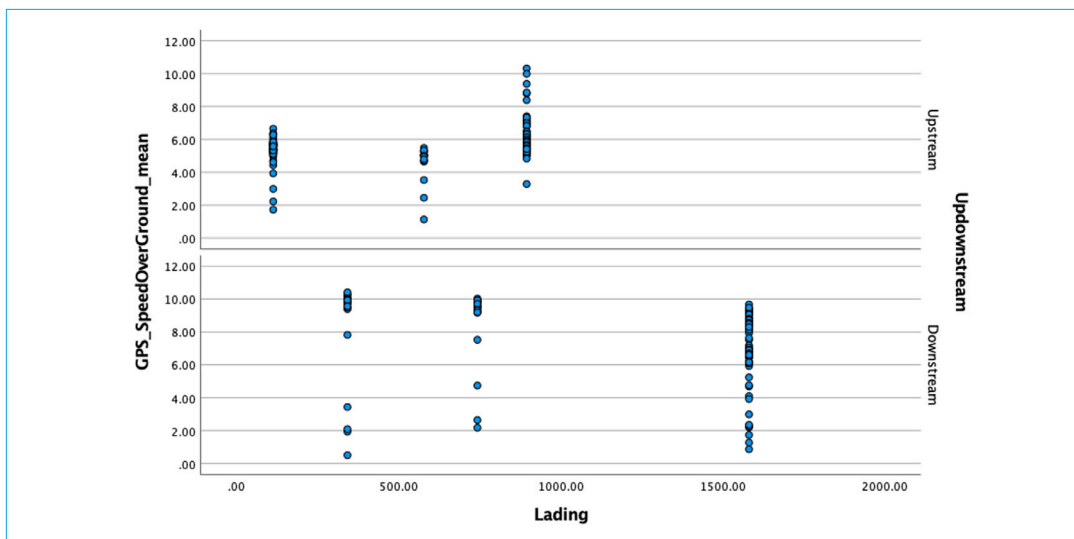
Deze patronen lijken erop te wijzen - dat naast de invloed van engine flow - meerdere variabelen van invloed zijn op de snelheid hetgeen uitnodigt tot een verdere analyse hiervan.

Voorts zijn de metingen geaggregeerd naar 15 minuten waarbij de tussenliggende waarden zijn gemiddeld. Onderstaande tabel toont de snelheid (afhankelijk variabele) over de grond voor elke trip. Hierin is te zien dat met uitzondering van trip 6, de snelheid over de grond min of meer een normaalverdeling heeft per trip.

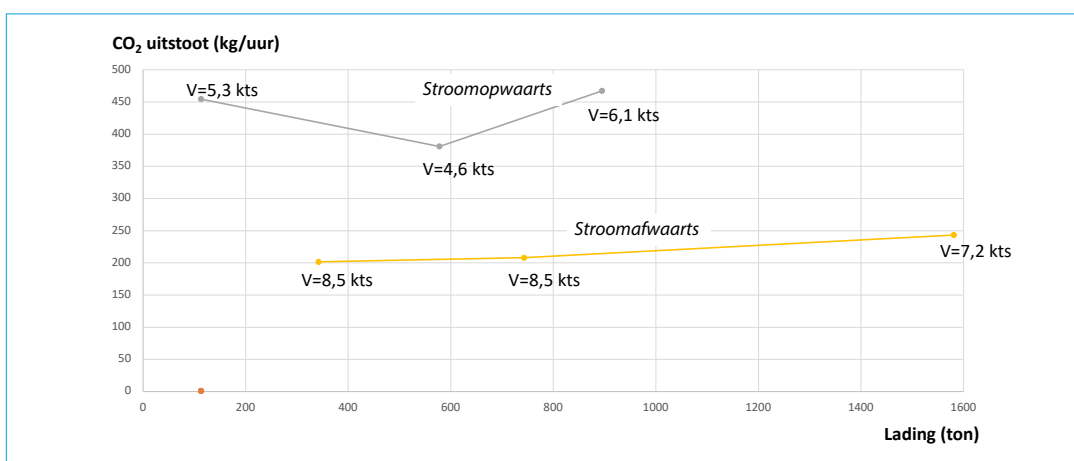
**Tabel 4.8a**  
Snelheid over de grond  
per trip



**Figuur 4.8d**  
Snelheid over de grond versus lading (stroomopwaarts en stroomafwaarts)



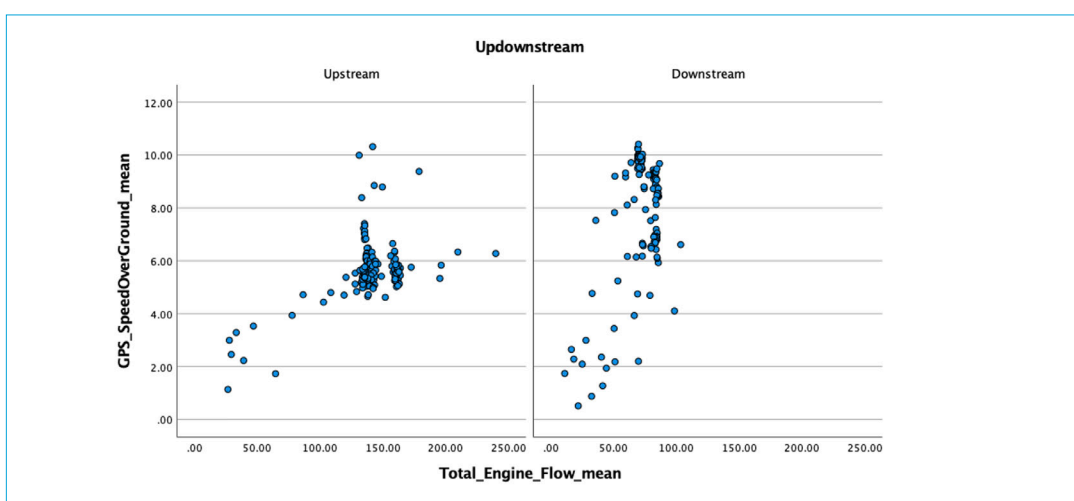
**Figuur 4.8e**  
Gemiddelde CO<sub>2</sub>-uitstoot versus lading (V = gemiddelde snelheid van de trip)



Uit bovenstaande figuren lijkt lading geen belangrijke impact te hebben op het gemiddeld dieselverbruik en daarmee op de gemiddelde CO<sub>2</sub>-uitstoot. De CO<sub>2</sub>-uitstoot lijkt eerder gerelateerd aan snelheid. Pas bij een lading van 1.581 ton stroomafwaarts gaat de gemiddelde CO<sub>2</sub>-uitstoot omhoog vergeleken met de lagere ladingen stroomafwaarts die een hogere gemiddelde CO<sub>2</sub>-uitstoot tonen.

Kijkend naar het opgestelde model (zie paragraaf 2.3) zou het brandstofverbruik - en daarmee de CO<sub>2</sub>-uitstoot - met name beïnvloed worden door de powersetting teneinde een bepaalde vaarsnelheid (zijnde: snelheid over de grond plus stroming) te bereiken. Die snelheid wordt vervolgens mogelijk ook beïnvloed door andere variabelen (e.g. kielspeling, tegenwind).

**Figuur 4.8f**  
Snelheid over de grond versus engine flow (stroomopwaarts en stroomafwaarts)



Onderstaande tabel toont de zes trips van het motorschip (inclusief vermelding van de lading) op basis van de geaggregeerde data.

**Tabel 4.8b**  
Snelheid versus  
dieselverbruik per trip

	Stroom	Gemiddelde snelheid	Gemiddeld dieselverbruik	Gemiddelde CO <sub>2</sub> -uitstoot	Lading
Trip 1	Opwaarts	6,1 knopen	146 L/uur	467 kg/uur	895 ton
Trip 2	Opwaarts	4,6 knopen	119 L/uur	381 kg/uur	578 ton
Trip 3	Opwaarts	5,3 knopen	142 L/uur	454 kg/uur	113 ton
Trip 4	Afwaarts	8,5 knopen	63 L/uur	202 kg/uur	342 ton
Trip 5	Afwaarts	8,5 knopen	65 L/uur	208 kg/uur	743 ton
Trip 6	Afwaarts	7,2 knopen	76 L/uur	243 kg/uur	1.581 ton

Stroomopwaarts liggen de snelheden gemeten over de grond in alle gevallen lager dan de snelheden stroomafwaarts. Daarbij is de gemiddelde CO<sub>2</sub>-uitstoot en het gemiddeld dieselgebruik stroomopwaarts in alle gevallen (aanmerkelijk) hoger dan stroomafwaarts.

### 4.9 Snelheid logistiek dienstverlener versus variabelen

In onderstaande tabel worden de statistische correlaties van het hoofdmodel getoond inclusief de interactie-effecten op basis van (bivariate) Pearson correlatie waarbij een onderscheid wordt getoond tussen de metingen stroomopwaarts en stroomafwaarts. Aangezien de lading per trip niet wijzigt, dient het geen doel om lading te betrekken in de correlaties. Wél zullen de zes trips onderling worden vergeleken om te bekijken of er een mogelijk effect van lading waar te nemen is op de snelheid van het motorschip.

**Tabel 4.9a**  
Pearson correlatie  
o.b.v. de metingen  
stroomopwaarts

		Correlations					
		Total_Engine_Flow_mean	Total_CO2	GPS_SpeedOverGround_mean	Dieptemeter_Depth_mean	Head_Wind_Speed_mean	Side_Wind_Speed_mean
Total_Engine_Flow_mean	Pearson Correlation	1	1.000**	.525**	-.023	.254**	.007
	Sig. (2-tailed)		.000	<.001	.774	.001	.926
	N	159	159	159	159	159	159
Total_CO2	Pearson Correlation	1.000**	1	.525**	-.023	.254**	.007
	Sig. (2-tailed)	.000		<.001	.774	.001	.926
	N	159	159	159	159	159	159
GPS_SpeedOverGround_mean	Pearson Correlation	.525**	.525**	1	.676**	-.089	.316**
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001		<.001	.263	<.001
	N	159	159	159	159	159	159
Dieptemeter_Depth_mean	Pearson Correlation	-.023	-.023	.676**	1	-.243**	.177*
	Sig. (2-tailed)	.774	.774	<.001		.002	.026
	N	159	159	159	159	159	159
Head_Wind_Speed_mean	Pearson Correlation	.254**	.254**	-.089	-.243**	1	-.328**
	Sig. (2-tailed)	.001	.001	.263	.002		<.001
	N	159	159	159	159	159	159
Side_Wind_Speed_mean	Pearson Correlation	.007	.007	.316**	.177*	-.328**	1
	Sig. (2-tailed)	.926	.926	<.001	.026	<.001	
	N	159	159	159	159	159	159

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).  
\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**Tabel 4.9b**  
Pearson correlatie  
o.b.v. de metingen  
stroomafwaarts

		Total_Engine_Flow_mean	Total_CO2	GPS_SpeedOverGround_mean	Dieptemeter_Depth_mean	Head_Wind_Speed_mean	Side_Wind_Speed_mean
Total_Engine_Flow_mean	Pearson Correlation	1	1.000**	.562**	-.018	.196*	-.360**
	Sig. (2-tailed)		.000	<.001	.842	.024	<.001
	N	132	132	132	132	132	132
Total_CO2	Pearson Correlation	1.000**	1	.562**	-.018	.196*	-.360**
	Sig. (2-tailed)	.000		<.001	.842	.024	<.001
	N	132	132	132	132	132	132
GPS_SpeedOverGround_mean	Pearson Correlation	.562**	.562**	1	-.397**	-.342**	-.073
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001		<.001	<.001	.406
	N	132	132	132	132	132	132
Dieptemeter_Depth_mean	Pearson Correlation	-.018	-.018	-.397**	1	.563**	.031
	Sig. (2-tailed)	.842	.842	<.001		<.001	.727
	N	132	132	132	132	132	132
Head_Wind_Speed_mean	Pearson Correlation	.196*	.196*	-.342**	.563**	1	-.248**
	Sig. (2-tailed)	.024	.024	<.001	<.001		.004
	N	132	132	132	132	132	132
Side_Wind_Speed_mean	Pearson Correlation	-.360**	-.360**	-.073	.031	-.248**	1
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001	.406	.727	.004	
	N	132	132	132	132	132	132

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).  
\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Uit de lineair mixed model analyse komen de volgende resultaten.

**Tabel 4.9c**  
Snelheid versus  
total engine flow  
(stroomopwaarts)

**Type III Tests of Fixed Effects<sup>a</sup>**

Source	Numerator df	Denominator df	F	Sig.
Intercept	1	155.553	54.042	<.001
Total_Engine_Flow_mean	1	71.673	48.566	<.001

a. Dependent Variable: GPS\_SpeedOverGround\_mean.

**Estimates of Fixed Effects<sup>a</sup>**

Parameter	Estimate	Std. Error	df	t	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Intercept	2.740114	.372737	155.553	7.351	<.001	2.003834	3.476393
Total_Engine_Flow_mean	.020425	.002931	71.673	6.969	<.001	.014582	.026268

a. Dependent Variable: GPS\_SpeedOverGround\_mean.

**Estimates of Covariance Parameters<sup>a</sup>**

Parameter	Estimate	Std. Error	Wald Z	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Residual	.835341	.095638	8.734	<.001	.667436	1.045486
Intercept + Total_Engine_Flow_mean [subject = Trip]	Variance .000007	.000006	1.151	.250	.000001	.000038

a. Dependent Variable: GPS\_SpeedOverGround\_mean.

**Tabel 4.9d**  
Snelheid versus  
total engine flow  
(stroomafwaarts)

**Type III Tests of Fixed Effects<sup>a</sup>**

Source	Numerator df	Denominator df	F	Sig.
Intercept	1	127.316	.275	.601
Total_Engine_Flow_mean	1	24.780	112.737	<.001

a. Dependent Variable: GPS\_SpeedOverGround\_mean.

**Estimates of Fixed Effects<sup>a</sup>**

Parameter	Estimate	Std. Error	df	t	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Intercept	-.331672	.632260	127.316	-.525	.601	-1.582771	.919427
Total_Engine_Flow_mean	.133066	.012532	24.780	10.618	<.001	.107244	.158889

a. Dependent Variable: GPS\_SpeedOverGround\_mean.

**Estimates of Covariance Parameters<sup>a</sup>**

Parameter	Estimate	Std. Error	Wald Z	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Residual	2.283546	.288768	7.908	<.001	1.782257	2.925831
Intercept + Total_Engine_Flow_mean [subject = Trip]	Variance .000406	.000280	1.451	.147	.000105	.001567

T.a.v. de hypothesen blijkt hieruit het volgende:

**Hypothese L1:** Snelheid is positief gecorreleerd met engine flow wordt aangenomen. Dit geldt zowel voor de metingen stroomopwaarts als stroomafwaarts. Hier is een significante correlatie zichtbaar op het 0.01 niveau.

T.a.v. hypothese L2 tonen de Pearson correlaties (tabellen 4.9a en 4.9b) geen significante correlaties tussen snelheid en kielspeling voor zowel de metingen stroomopwaarts als stroomafwaarts. Hierbij is echter belangrijk te vermelden dat deze metingen alle kioldiepten betreffen (t.w. 0 tot 18 meter). Het is echter aannemelijk dat alleen variaties in de kioldiepten tot enige meters effect hebben op de snelheid. Derhalve is hieronder nader onderzoek gedaan. Onderstaande tabel toont de berekende correlaties met variërende bandbreedtes van kioldiepte (N.B. gebruikmakend van alle beschikbare metingen).

**Tabel 4.9e**  
Pearson correlatie o.b.v. de metingen stroomopwaarts

\*\* Correlation is significant at the 0,01 level (2-tailed).

Kioldiepte	Pearson correlatie kioldiepte met snelheid	Aantal metingen
0 t/m 1 m	0,069	299
1 t/m 2 m	+0,362**	642
2 t/m 3 m	+0,062**	23.399
3 t/m 4 m	+0,127**	34.264
4 t/m 5 m	+0,141**	7.315

**Tabel 4.9f**  
Pearson correlatie o.b.v. de metingen stroomafwaarts

\*\* Correlation is significant at the 0,01 level (2-tailed).

Kioldiepte	Pearson correlatie kioldiepte met snelheid	Aantal metingen
0 t/m 1 m	-0,049	949
1 t/m 2 m	+0,329**	3.451
2 t/m 3 m	-0,024**	20.952
3 t/m 4 m	-0,259**	14.896
4 t/m 5 m	-0,262**	6.550

Hieruit blijkt de getoonde positieve correlatie van de kielspeling op de snelheid het grootst tussen de 1 en 2 meter. Mogelijk wordt dit verklaard door het feit dat bij kleine kioldieptes de squat<sup>10</sup> groter is waardoor lagere grondsnelheden worden aangehouden door de schipper. Daarnaast leert navraag dat de echosounder bij kleine dieptes minder betrouwbare metingen verricht, hetgeen mogelijk het gebrek aan significante correlatie tussen de 0 en 1 meter zou kunnen verklaren.

**Hypothese L2:** Snelheid is positief gecorreleerd met de kielspeling wordt aangenomen voor de metingen stroomafwaarts én stroomopwaarts (op het 0.01 niveau) voor kioldieptes tussen de 1 en 2 meter.

Aangezien de lading per trip niet wijzigt, dient het geen doel om lading te betrekken in de correlaties. Wél worden hieronder de zes trips onderling vergeleken om te bekijken of er een mogelijk effect van lading waar te nemen is op de snelheid van het motorschip. Als eerste worden de gemiddelde snelheden per trip getoond versus de vervoerde lading voor zowel de stroomopwaarts als de stroomafwaarts metingen.

<sup>10</sup> Door squat kan een schip dat in statische toestand voldoende water onder de kiel heeft, tijdens vaartlopen toch aan de grond lopen.

**Tabel 4.9g**  
'Compare means'  
voor de metingen  
stroomopwaarts

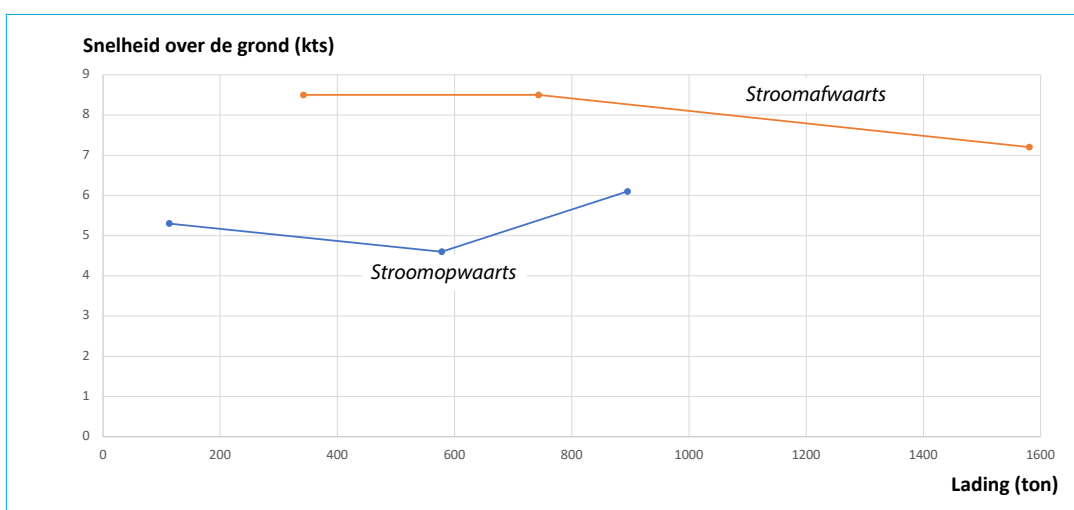
Report			
GPS_SpeedOverGround_mean			
Lading	Mean	N	Std. Deviation
113.00	5.3529	60	.84076
578.00	4.5994	18	1.12662
895.00	6.1190	81	1.10623
Total	5.6579	159	1.13671

**Tabel 4.9h**  
'Compare means'  
voor de metingen  
stroomafwaarts

Report			
GPS_SpeedOverGround_mean			
Lading	Mean	N	Std. Deviation
342.00	8.6121	26	2.94281
743.00	8.6050	21	2.36284
1581.00	7.2937	85	2.11769
Total	7.7620	132	2.40423

Onderstaande figuur geeft de gemiddeld snelheden over de grond weer voor de zes trips met verschillende lading.

**Figuur 4.9a**  
Snelheid versus lading



Bij de metingen stroomopwaarts varieert de snelheid met een toenemende lading doch bij de metingen stroomafwaarts daalt de snelheid met een toenemende lading. Het effect van lading op de snelheid is derhalve niet eenduidig.

**Tabel 4.9i**  
Snelheid versus lading  
(stroomopwaarts)

Type III Tests of Fixed Effects <sup>a</sup>				
Source	Numerator df	Denominator df	F	Sig.
Intercept	1	22.733	745.684	<.001
Lading	1	6.159	.271	.621

a. Dependent Variable: GPS\_SpeedOverGround\_mean.

**Tabel 4.9j**  
Snelheid versus lading  
(stroomafwaarts)

Type III Tests of Fixed Effects <sup>a</sup>				
Source	Numerator df	Denominator df	F	Sig.
Intercept	1	3.022	290.020	<.001
Lading	1	.201	4.915	.638

a. Dependent Variable: GPS\_SpeedOverGround\_mean.

Ook in de lineair mixed model analyse wordt geen significante relatie gevonden tussen lading en snelheid over de grond.

**Hypothese L3:** Snelheid is negatief gecorreleerd met de hoeveelheid lading wordt verworpen voor de metingen stroomafwaarts én stroomopwaarts.

Mogelijk wordt dit verklaard door het feit dat er slechts 6 trips (met verschillende lading) zijn gemeten. Tevens is geen nauwkeurige watersnelheid gemeten (anders dan de opgave stroomopwaarts en stroomafwaarts) waardoor de relatie tussen lading en watersnelheid niet nauwkeurig kan worden vastgesteld. Derhalve zal de aanbeveling worden gedaan om meer trips te meten en daarbij ook de watersnelheid te registreren teneinde een eventuele correlatie tussen lading en watersnelheid al dan niet vast te kunnen stellen.

Tabellen 4.9k en 4.9l tonen de berekende correlaties tussen snelheid en de hoeveelheid tegenwind voor zowel de stroomopwaarts als stroomafwaarts metingen.

**Tabel 4.9k**  
Snelheid versus tegenwind (stroomopwaarts)

Source	Numerator df	Denominator df	F	Sig.
Intercept	1	12.507	429.291	<.001
Head_Wind_Speed_mean	1	7.632	.057	.817

a. Dependent Variable: GPS\_SpeedOverGround\_mean.

**Tabel 4.9l**  
Snelheid versus tegenwind (stroomafwaarts)

Source	Numerator df	Denominator df	F	Sig.
Intercept	1	130	1546.703	<.001
Head_Wind_Speed_mean	1	130	17.200	<.001

a. Dependent Variable: GPS\_SpeedOverGround\_mean.

Parameter	Estimate	Std. Error	df	t	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Intercept	7.763803	.197411	130	39.328	<.001	7.373249	8.154357
Head_Wind_Speed_mean	-.087985	.021215	130	-4.147	<.001	-.129956	-.046013

a. Dependent Variable: GPS\_SpeedOverGround\_mean.

**Hypothese L4:** Snelheid is negatief gecorreleerd met de hoeveelheid tegenwind wordt verworpen voor de metingen stroomopwaarts doch aangenomen voor de metingen stroomafwaarts op het 0.01 niveau.

Hiervoor is voorsnog geen logische verklaring gevonden waardoor deze conclusie t.a.v. hypothese L4 met terughoudendheid dient te worden benaderd.

Voor de correlaties t.a.v. zijwind is het van belang om onderscheid te maken tussen enerzijds stroomopwaarts en stroomafwaarts en anderzijds zijwind van stuurboord en zijwind van bakboord. Onderstaande tabel toont de berekende (bi-variate) Pearson correlaties van deze combinaties (voor alle beschikbare metingen).



**Tabel 4.9m**  
Correlatie snelheid versus tegenwind (stroomafwaarts)

\*\* Correlation is significant at the 0,01 level (2-tailed).

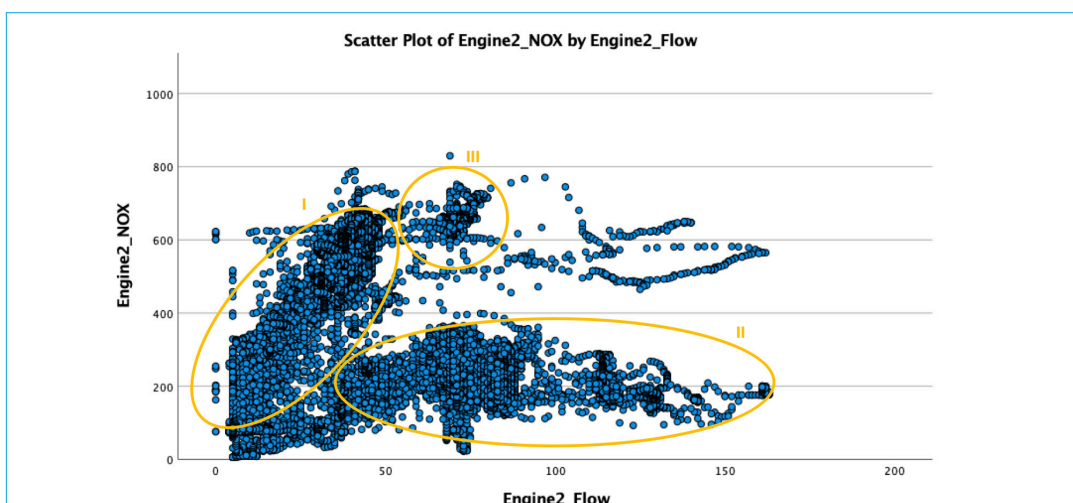
Pearson correlatie	Stroomopwaarts	Stroomafwaarts
Zijwind van stuurboord	+0,048**	-0,082**
Zijwind van bakboord	-0,025**	+0,064**

In bovenstaande tabel lijkt snelheid positief gecorreleerd met de hoeveelheid zijwind bij zijwind van stuurboord stroomopwaarts en zijwind van bakboord stroomafwaarts en negatief gecorreleerd bij zijwind van bakboord stroomopwaarts en zijwind van stuurboord stroomafwaarts (allen op het 0,01 niveau). Navraag leert dat hier geen logische verklaring voor wordt gevonden. Dit - in combinatie met het feit dat de getoonde (negatieve en positieve) correlaties bijzonder klein zijn - maakt dat deze hypothese wordt verworpen.

**Hypothese L5: Snelheid is positief gecorreleerd met de hoeveelheid zijwind wordt verworpen.**

Onderstaande figuur toont de NO<sub>x</sub>-uitstoot versus de engine flow (N.B. ten tijde van de metingen was alleen de data beschikbaar van de NO<sub>x</sub>-sensor van motor 2).

**Figuur 4.9b**  
Dieselverbruik motor 2 versus NO<sub>x</sub>-uitstoot motor 2.



In bovenstaande figuur lijken drie clusters zichtbaar. Cluster 1 lijkt een lineair verband waarbij de NO<sub>x</sub>-uitstoot toeneemt bij een hoger dieselverbruik. Cluster 2 lijkt ook een lineair verband waarbij de NO<sub>x</sub>-uitstoot min of meer gelijk blijft bij een hoger dieselverbruik. Navraag leert dat de verklaring hiervan ligt in het gebruik van een SCR-katalysator. Hierbij wordt ureum verneveld en gemengd met de uitstootgassen waardoor de concentratie NO<sub>x</sub> afneemt. Het ureum inspuiten gebeurt echter pas als de uitlaat minstens 220 graden is oftewel bij een hoger brandstofverbruik. Mogelijk dat haperingen in de werking van de katalysator cluster 3 verklaart.

Derhalve zijn de correlatie berekend voor een engine flow tussen de 0 en 50 liter per uur enerzijds en een engine flow boven de 50 liter per uur anderzijds.

**Tabel 4.9n**  
Correlatie NO<sub>x</sub>-uitstoot motor 2 versus dieselverbruik motor 2 tot 50 liter per uur.

Correlations			
		Engine2_Flow	Engine2_NO <sub>x</sub>
Engine2_Flow	Pearson Correlation	1	.736**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	8593	6503
Engine2_NOX	Pearson Correlation	.736**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	6503	6503

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

**Tabel 4.9o**  
 Correlatie NO<sub>x</sub>-uitstoot motor 2 versus dieselverbruik motor 2 boven de 50 liter per uur.

Correlations			
		Engine2_Flow	Engine2_NOX
Engine2_Flow	Pearson Correlation	1	-.795**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	119807	111335
Engine2_NOX	Pearson Correlation	-.795**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	111335	111335

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Hieruit blijkt dat bij een lage engine flow (tot 50 L/uur) een (hoge) positieve correlatie wordt getoond terwijl bij een hoge engine flow (boven de 50 L/uur) deze omslaat naar een (hoge) negatieve correlatie. Belangrijke verklaring hier is de werking van de SCR-katalysator (als de uitlaat minstens 220 graden is) bij een hoger brandstofverbruik.

**Hypothese L6:** Engine flow is positief gecorreleerd met de hoeveelheid NO<sub>x</sub> wordt aangenomen (op het 0,01 niveau) voor lage engine flows (tot circa 50 liter per uur).

Uit deze paragraaf blijkt dat met name de total engine flow positief gecorreleerd met de snelheid over de grond, zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts. Derhalve zijn formules FL1 en FL2 als volgt opgesteld:

$$FL1(\text{stroomopwaarts}): \text{Snelheid}_t = \alpha + \beta \text{Engine flow} + \epsilon_t$$

$$FL2(\text{stroomafwaarts}): \text{Snelheid}_t = \alpha + \beta \text{Engine flow} + \epsilon_t$$

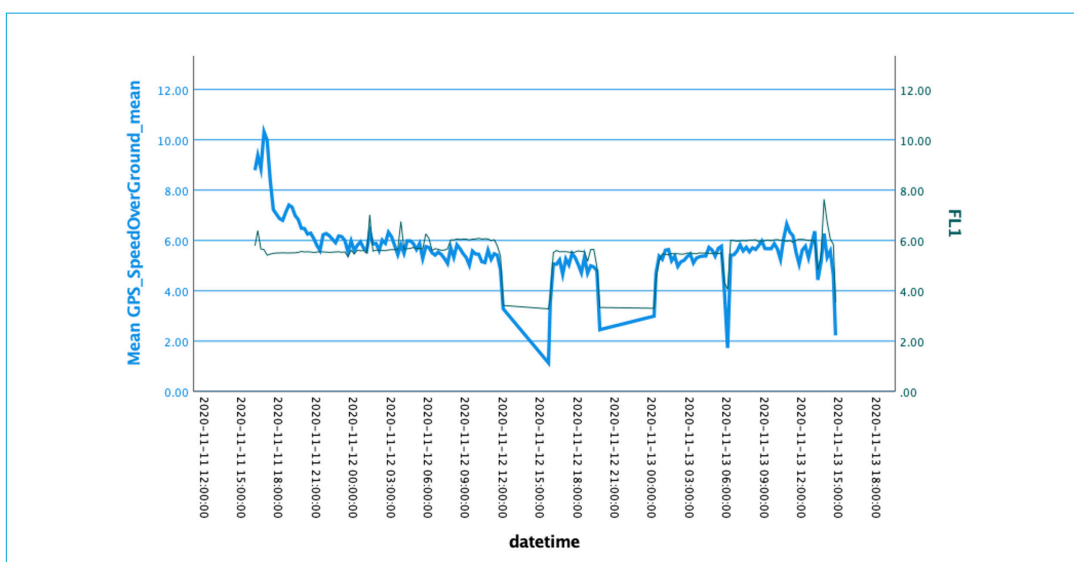
Uit tabel 4.8c en 4.8d blijken voorts respectievelijk de volgende formules.

$$FL1(\text{stroomopwaarts}): \text{Snelheid}_t = 2,740114 + 0,020425 * \text{Engine flow}$$

$$FL2(\text{stroomafwaarts}): \text{Snelheid}_t = -0,331672 + 0,133066 * \text{Engine flow}$$

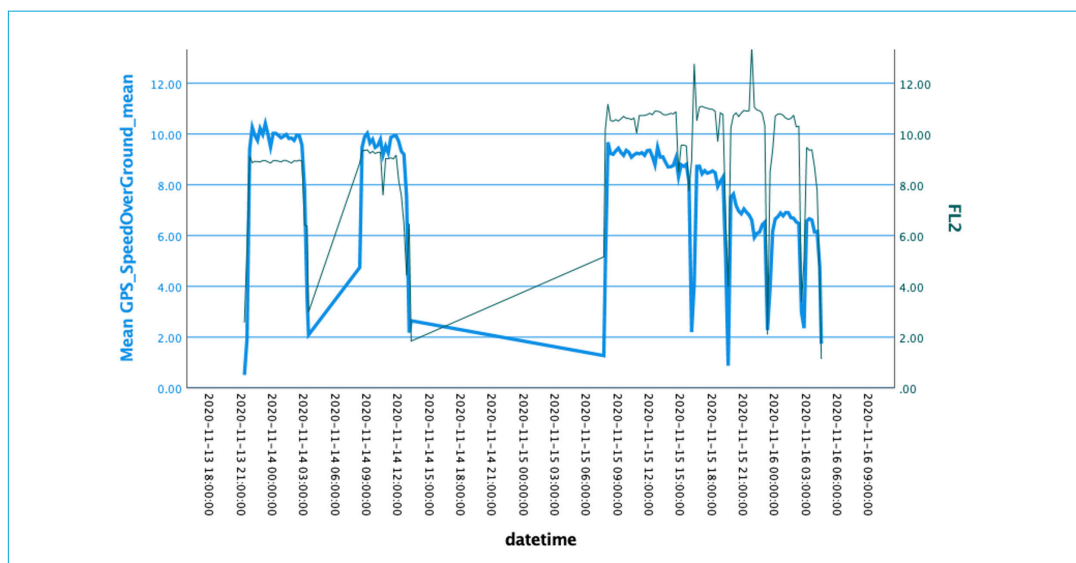
In figuur 4.9c en 4.9d zijn de uitkomsten van de respectievelijke formules vergeleken met de werkelijke waarden van snelheid over de grond.

**Figuur 4.9c**  
 Werkelijke snelheid versus FL1 (stroomopwaarts)



Uit deze figuur blijkt dat FL1 (stroomopwaarts) - weergegeven als de dunne lijn - redelijk de werkelijke snelheid over de grond - weergegeven als de dikke lijn - lijkt te voorspellen met uitzondering van de eerste uren waarin de werkelijke grondsnelheid relatief hoog is. In deze eerste fase zijn andere variabelen kennelijk ook van belang om de werkelijke grondsnelheid nauwkeuriger te voorspellen.

**Figuur 4.9d**  
Werkelijke snelheid  
versus formule FL2  
(stroomafwaarts)



Uit figuur 4.9d (stroomafwaarts) blijkt de total engine flow maar ten dele de werkelijke grondsnelheid te verklaren. Hier is een groter verschil tussen FL2 - weergegeven als de dunne lijn - en de werkelijke grondsnelheid - weergegeven als de dikke lijn - zichtbaar dan het geval is bij FL1. Dit wordt verklaard vanuit de 'estimates of fixed effects' tabellen 4.9c en 4.9d waarbij de 'estimate' van de 'residuals' in beide gevallen significant zijn op het 0,01 niveau doch een sterk verschillende waarde hebben. Stroomopwaarts is de 'estimate' van de 'residual' afgerond 0,84 en stroomafwaarts is deze 2,28, zijnde 2,7 keer zo hoog. Dat betekent dat de werkelijke grondsnelheid stroomafwaarts door aanmerkelijk meer variabelen - anders van total engine flow - wordt verklaard dan stroomopwaarts het geval is. Ook deze conclusie pleit ervoor om watersnelheid te meten, opdat nauwkeuriger conclusies aan kunnen worden verbonden aan de factoren die de snelheid verklaren.

## Discussie en conclusies

### 5.1 Introductie

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het vorige hoofdstuk geconfronteerd met het verwachtingskader uit hoofdstuk twee, gevolgd door discussie. Paragraaf 5.3 beschrijft de belangrijkste conclusies van het onderzoek. Paragraaf 5.4 bevat de beperkingen van dit onderzoek.

### 5.2 Discussie

#### 5.2.1 Gasverbruik van de producent

De regressie formule van het gasverbruik is als volgt opgesteld.

$$\text{RFP1: Gasverbruik}_t = 66.840,845 + 1,743 * \text{Productie}_t - 4.671,601 * \text{Buitentemperatuur}_t + 79,548 \text{ Zonuren}_t + 0,176 * \text{Elektriciteitsverbruik}_t$$

*Hypothese P1 'Gasverbruik is positief gecorreleerd met productievolume' wordt verworpen. Hier bleek geen significante correlatie zichtbaar hetgeen een opmerkelijke conclusie is: het gasverbruik varieert niet significant met variaties in het productievolume. Omgekeerd betekent dit dat - binnen zekere grenzen - de productievolumes zouden kunnen stijgen zonder een significante stijging te veroorzaken van het gasverbruik.*

*Hypothese P3 'Gasverbruik is negatief gecorreleerd met buitentemperatuur' is echter aangenomen. Hier is een significante correlatie zichtbaar op het 0.05 niveau. Dit wijst erop dat de buitentemperatuur, met een  $\beta$  van -4671,601 de grootste impact heeft op het gasverbruik. Daarmee hebben maatregelen die het gasverbruik minder afhankelijk maken van de buitentemperatuur de grootste impact op het terugdringen van het gasverbruik. Isolatie die de afhankelijkheid van het gasverbruik met slechts één graad buitentemperatuur zou verminderen levert hierbij een verwachte besparing op van 4.672 Nm<sup>3</sup> per maand ofwel 56.059 Nm<sup>3</sup> per jaar.*

*De K-waarde geeft aan hoeveel energie er per seconde door een oppervlak van één vierkante meter naar buiten gaat bij een temperatuurverschil tussen binnen en buiten van 1 graad Celsius. Als men de K-waarden van alle oppervlakten<sup>11</sup> (e.g. muren, ramen, dak, vloer) van een kantoor of fabrieksruimte kent, kan men voorspellen hoeveel energie men per dag verliest bij een bepaald temperatuurverschil tussen binnen en buiten. Er bestaat namelijk een vuistregel om met behulp van de K-waarde een schatting te maken van het gasverbruik t.w.: het aantal kubieke meter gas dat per stookseizoen naar buiten verdwijnt door één vierkante meter is gelijk aan 10 maal k.*

#### 5.2.2 Elektriciteitsverbruik van de producent

De regressie formule van het elektriciteitsverbruik is als volgt opgesteld.

$$\text{RFP2: Elektriciteitsverbruik}_t = 266.359,540 + 1,439 * \text{Productie}_t + 14.077,637 * \text{Buitentemperatuur}_t - 272,600 * \text{Zonuren}_t + 0,463 * \text{Gasverbruik}_t$$

<sup>11</sup> De K-waarden: enkel glas is 6, dubbel glas = 3, ongevulde spouwmuur 1,8 en gevulde spouwmuur = 0,8.

**Hypothese P2** 'Elektriciteitsverbruik is positief gecorreleerd met productievolume' is verworpen. Hier is geen significante correlatie zichtbaar hetgeen - net als bij het gasverbruik - een opmerkelijke conclusie is. Het gasverbruik varieert namelijk niet significant met variaties in het productievolume. Omgekeerd betekent dit dat - binnen zekere grenzen - de productievolumes zouden kunnen stijgen zonder een significante stijging te veroorzaken van het elektriciteitsverbruik.

**Hypothese P5** 'Elektriciteitsverbruik is negatief gecorreleerd met zonuren' is verworpen. Hier is een juist een positieve significante correlatie zichtbaar op het 0.05 niveau. Mogelijk kan dit verklaard worden vanuit het feit dat buitentemperatuur en zonuren sterk positief correleren op het 0,01 niveau.

**Hypothese P4** 'Elektriciteitsverbruik is positief gecorreleerd met buitentemperatuur' is wél aangenomen. Hier is een significante correlatie zichtbaar op het 0.01 niveau. Dit wijst erop dat de buitentemperatuur, met een  $\beta$  van 14077,637 de grootste impact heeft op het elektriciteitsverbruik. Daarmee hebben maatregelen die het elektriciteitsverbruik minder afhankelijk maken van de buitentemperatuur de grootste impact op het terugdringen van het gasverbruik. Isolatie die de afhankelijkheid van het elektriciteitsverbruik met slechts één graad buitentemperatuur zou verminderen levert een besparing op van 14.078 kWh per maand ofwel 168.932 kWh per jaar.

### 5.2.3 Diesilverbruik van de logistiek dienstverlener

De formules t.a.v. elektriciteitsverbruik zijn als volgt opgesteld.

$$FL1(\text{stroomopwaarts}): \text{Snelheid}_t = 2,740114 + 0,020425 * \text{Engine flow}$$

$$FL2(\text{stroomafwaarts}): \text{Snelheid}_t = -0,331672 + 0,133066 * \text{Engine flow}$$

De CO<sub>2</sub>-uitstoot wordt berekend aan de hand van de total engine flow gebruikmakend van de betreffende emissiefactor (3,2 liter engine flow per uur). De engine flow wordt echter bepaald door de snelheid die de schippers verkiest te varen alsmede door overige variabelen.

**Hypothese L1:** 'Snelheid is positief gecorreleerd met engine flow' wordt aangenomen. Dit geldt zowel voor de metingen stroomopwaarts als stroomafwaarts. Hier is een significante correlatie zichtbaar op het 0.01 niveau.

**Hypothese L2:** 'Snelheid is positief gecorreleerd met de kielspeling' wordt aangenomen voor de metingen stroomafwaarts én stroomafwaarts (op het 0.01 niveau) voor kielspeltes tussen de 1 en 2 meter.

**Hypothese L3:** Snelheid is negatief gecorreleerd met de hoeveelheid lading wordt verworpen voor de metingen stroomafwaarts én stroomafwaarts.

Mogelijk wordt dit verklaard door het feit dat er slechts 6 trips (met verschillende lading) zijn gemeten. Tevens is geen nauwkeurige watersnelheid gemeten (anders dan de opgave stroomopwaarts en stroomafwaarts) waardoor de relatie tussen lading en watersnelheid niet nauwkeurig kan worden vastgesteld. Derhalve zal de aanbeveling worden gedaan om meer trips te meten en daarbij ook de watersnelheid te registreren teneinde een eventuele correlatie tussen lading en watersnelheid al dan niet vast te kunnen stellen.

Dit is voorts ter verificatie voorgelegd aan een binnenvaartschipper die aangeeft dat als zijn schip leeg vaart, het schip normaliter zo'n 18 km/u vaart (vaarsnelheid) en 100 L/uur diesel verbruikt. Als hij vol vaart (circa 2.200 ton lading) vaart hij in de praktijk op hetzelfde toerental, verbruikt daarbij dan ook 100 L/uur maar vaart dan 'slechts' 14 km/uur. De reden dat de schipper 100 L/uur aanhoudt is dat dit zo'n 80% is van het motorvermogen is, zijnde de meest economische powersetting voor zijn schip (N.B. onder de 80% motorvermogen ervaart het schip meer motorweerstand en daarboven meer vaarweerstand). Dat is vermoedelijk een belangrijke verklaring voor de conclusie dat lading nauwelijks impact heeft op het dieselverbruik uitgedrukt in liters per uur. Wél geldt in dit voorbeeld dat een vol schip dus 28,5% meer tijd nodig heeft om dezelfde afstand af te leggen als een leeg schip. Derhalve is in dit voorbeeld 28,5% meer brandstof nodig voor dezelfde afstand. Overigens, bij vol vermogen verbruikt bovengenoemde schipper zo'n 300 L/uur zijnde een drie keer hoger verbruik dan bij de economische power setting. Dergelijke grote verschillen zijn ook zichtbaar in de gebruikte dataset (e.g. bij vaarmanoeuvres).

***Hypothese L4:** Snelheid is negatief gecorreleerd met de hoeveelheid tegenwind wordt verworpen voor de metingen stroomopwaarts doch aangenomen voor de metingen stroomafwaarts op het 0.01 niveau. Hiervoor is vooralsnog geen logische verklaring gevonden waardoor de conclusie t.a.v. hypothese L4 stroomafwaarts met terughoudendheid dient te worden benaderd.*

***Hypothese L5:** 'Snelheid is positief gecorreleerd met de hoeveelheid zijwind' wordt verworpen.*

***Hypothese L6:** 'Engine flow is positief gecorreleerd met de hoeveelheid  $NO_x$ ' wordt aangenomen (op het 0,01 niveau) voor lage engine flows (tot circa 50 liter per uur).*


Uit bovenstaande formules blijkt een groot verschil in de constante tussen de stroomopwaarts formule en de stroomafwaarts formule. Dit verschil wordt waarschijnlijk bepaald door de stroomsnelheid van het water. Zoals hierboven ook aangegeven, lijkt de invloed van lading op de snelheid inderdaad nihil.

## 5.3 Conclusies

In onderstaande paragrafen worden de vijf onderzoeksvragen achtereenvolgens behandeld. De aanbevelingen zijn verwoord in hoofdstuk zes.

### 5.3.1 Geautomatiseerd model


Onderzoeksvraag 1 is als volgt geformuleerd:

 *Is een geautomatiseerd model op te bouwen dat de onderlinge samenhang toont van relevante variabelen. Dit om aan te geven waar de potentiële winst - in termen van uitstootvermindering - het meest te behalen is en in hoeverre deze afhankelijk is van onafhankelijke variabelen?*

Dit onderzoek toont aan dat zowel voor een producent als voor een logistiek dienstverlener een model is te bouwen op basis van de uitkomsten van statistische analyses. Dit op basis van daadwerkelijke verbruiks-, productie- en vervoerscijfers eventueel aangevuld met data uit openbare bronnen. Door - op basis van hypothesen - de significantie van correlaties tussen de afhankelijk variabele, de controle variabelen en de onafhankelijke variabelen te berekenen, en een formule op te stellen, wordt duidelijk welke variabele(n) de meeste impact hebben op de afhankelijk variabele. In beginsel is deze werkwijze te automatiseren waarbij geautomatiseerd dezelfde stappen worden doorlopen als vermeld in dit rapport (inclusief F-test).

### 5.3.2 Toevoegen variabelen

Onderzoeksvraag 2 is als volgt geformuleerd:

 *Indien bovenstaande mogelijk is, hoe kunnen variabelen worden toegevoegd om te bekijken of er sprake is van een mogelijk statistisch significante correlatie die men later (o.b.v. hypothesen) in de praktijk kan onderzoeken?*

Variabelen kunnen eenvoudig worden toegevoegd aan de formule. Als voorbeeld voor de formule van de producent kan dat op onderstaande wijze:

$$\text{RFP: Gasverbruik} = \alpha + \beta\text{Productiet} + \beta\text{Buitentemperatuur} + \beta\text{Variabele1} + \beta\text{Variabele2} + \epsilon$$

En voor de logistiek dienstverlener:

$$\text{RFL: } \beta\text{Snelheid} = \alpha + \text{Engine flow} + \beta\text{Kielspel} + \beta\text{Lading} + \beta\text{Tegenwind} + \beta\text{Variabele1} + \beta\text{Variabele2} + \epsilon$$

Wél is van belang is op te merken dat een statistisch, significante correlatie niet per se betekent dat er een feitelijke correlatie bestaat. Hier dient namelijk een onderbouwde hypothese aan ten grondslag te liggen. Wél biedt deze methodiek een basis om vermoede onderlinge verbanden verder te onderzoeken.

### 5.3.3 Betrouwbaarheid van het model

Onderzoeksvraag 3 is als volgt geformuleerd:

 *Op welke wijze zou de betrouwbaarheid van een dergelijk model kunnen worden bepaald?*

Bij een meervoudige, lineaire regressieanalyse toont de hoogte van de Adjusted R Square onder voorwaarden (e.g. F-test) de mate van de voorspelbaarheid van de regressie formule. Bij RFP2 werd zelfs een Adjusted R Square van 0,937 bereikt hetgeen aangeeft dat 93,7% van het elektriciteitsverbruik wordt verklaard vanuit de variantie van de variabelen.

Bij lineair mixed modelling tonen de 'estimates of covariance parameters' de ingeschatte waarde van de residual en de significantie daarvan. Indien de 'residual estimate' significant is op het 0,01 of 0,05 niveau dan betekent de hoogte van de 'estimate' welk deel van de afhankelijk variabele wordt verklaard door andere variabelen dan de onafhankelijke variabele(n) hetgeen een graad is voor de betrouwbaarheid van het model. Omgekeerd, als de 'residual estimate' niet significant is - hetgeen naar verwachting niet vaak het geval zal zijn - dan is de betrouwbaarheid van de onafhankelijk variabele(n) hoog als verklaring voor de afhankelijk variabele.

Indien de betrouwbaarheid van de formule toeneemt door toevoeging van variabelen en/of interactie-effecten, wordt het opportuun om de daadwerkelijke correlatie tussen de afhankelijk variabele en de toegevoegde variabelen nader te onderzoeken.

### 5.3.4 Generaliseerbaarheid

Onderzoeksvraag 4 is als volgt geformuleerd:

**4** *Is een dergelijke opzet op een dusdanige wijze op te zetten dat deze generaliseerbaar is voor verschillende bedrijfsmodellen (e.g. verladers, wegvervoerders, binnenvaart, manufacturing)?*

In dit onderzoek zijn op vergelijkbare wijze modellen opgesteld voor een producent (manufacturing) en een logistiek dienstverlener (motorschip). Dit op basis van daadwerkelijke verbruiks- en productiecijfers van een tweetal verschillende bedrijven eventueel aangevuld met data uit openbare bronnen (buiten-temperatuur, zonuren). Hierbij zijn geen redenen naar voren gekomen om aan te nemen dat een dergelijke opzet niet mogelijk zou zijn voor andere bedrijfsmodellen mits hiertoe (vergelijkbare) brondata beschikbaar is. Derhalve wordt geconcludeerd dat de methodiek generaliseerbaar zou moeten zijn naar andere bedrijfsmodellen, doch dat per bedrijf - op basis van de specifieke brondata - de correlatie tussen de verschillende variabelen vanzelfsprekend zal variëren.

### 5.3.5 Totaalconclusies

Onderzoeksvraag 5 is als volgt geformuleerd:

**5** *Welke totaalconclusie kan getrokken worden uit de antwoorden op deze onderzoeksvragen en welke aanbevelingen volgen hieruit?*

Uit dit onderzoek kan geconcludeerd worden dat - gebruikmakend van statistische berekeningen op basis van onderbouwde hypothesen - het inderdaad mogelijk moet zijn om op geautomatiseerde wijze bedrijfsafhankelijke voorspellende modellen op te stellen. Dit op basis van de brondata van die specifieke bedrijven. Daarbij kunnen deze modellen op statistische wijze worden gevalideerd t.a.v. significantie en betrouwbaarheid.

Deze aanpak maakt het mogelijk om op basis van basale gegevens (e.g. energieverbruik en productiecijfers, eventueel aangevuld met openbare informatie) geautomatiseerd te bepalen welke variabelen het meeste bijdragen aan variaties in het energieverbruik en daarmee het meest in aanmerking komen om beheersmaatregelen te nemen teneinde de CO<sub>2</sub>-uitstoot te beperken. Vanzelfsprekend hangt de kwaliteit van dergelijke modellen af van de onderliggende gegevens en de onderlinge samenhang hiervan.

Voorts kunnen eventuele beheersmaatregelen eenvoudig worden geëvalueerd door nieuwe data te modelleren en te vergelijken met het eerdere datamodel (e.g. vergelijking van de  $\alpha$  en  $\beta$ -waardes). Deze methodiek biedt daarbij de mogelijkheid om financiële besparingen van energiemaatregelen te prognosticeren.

Hierbij geldt naarmate meer data (e.g. meer perioden) in de berekening wordt meegenomen, het voorspellend model in beginsel betrouwbaarder wordt hetgeen uitnodigt voor continuïteit in het gebruik van een beoogde tool en het uitvoeren van energiebesparende maatregelen. Daarbij kan men op basis van deze methodiek op eenvoudige wijze variabelen toevoegen om te bekijken of er sprake is van een mogelijk statistisch significante correlatie die men later - op basis van hypothesen - in de praktijk kan onderzoeken. Deze aanpak sluit aan bij 'klein beginnen' (ofwel geen toegangsdrempel) welke door toevoeging van data en variabelen een steeds groter en meer voorspellend model wordt op basis van actuele data.



## 5.4 Beperkingen van dit onderzoek

Hoewel de effecten van endogeniteit zoveel mogelijk worden verminderd, blijft endogeniteit de belangrijkste beperking. Alle vier opgestelde formules (FP1, FP2, FL1 en FL2) tonen significante 'estimated residuals' hetgeen betekent dat variaties in de afhankelijk variabelen tevens significant worden veroorzaakt door endogene factoren.

Dit onderzoek heeft gebruik gemaakt van een dataset met een beperkt aantal variabelen in een beperkte tijdsperiode voor zowel een producent als een logistiek dienstverlener. Het is aannemelijk dat een aantal andere variabelen - die vooralsnog niet beschikbaar zijn gesteld - tevens een significante invloed kunnen hebben op de afhankelijk variabelen. Zo is het bijvoorbeeld aannemelijk dat de buitentemperatuur ook invloed heeft op het dieselverbruik van de scheepsmotoren in het motorschip (in warme perioden zijn dieselmotoren in beginsel zuiniger) maar stond de beperkte dataset een dergelijke calculatie niet toe.

Belangrijk is ook de onderkennen dat de opgestelde regressie formules steunen op de data van de producent respectievelijk de logistiek dienstverlener. Deze data zijn ongetwijfeld mede afhankelijk van de specifieke setting van de producent (machinepark, productieproces) c.q. logistiek dienstverlener (scheepsconfiguratie). Derhalve zijn de formules niet zonder meer te hanteren voor gebruikers met een afwijkende setting c.q. configuratie. Omgekeerd is het wellicht juist ook de kracht van deze aanpak dat - bij gelijkblijvende setting c.q. configuratie - relatief goed voorspellende modellen zijn te berekenen met relatief weinig variabelen en data.

## Aanbevelingen

Uit dit onderzoek zijn onderstaande aanbevelingen voortgekomen voor respectievelijk de producent en de logistiek dienstverlener.

### 6.1 Producent

Aangezien de verwachting is dat de berekende modellen robuuster worden indien data over langere perioden zouden worden toegevoegd, zou de producent meerdere jaarcijfers kunnen gebruiken in de calculaties. Belangrijk hierbij is bij te houden óf en wanneer in deze perioden wijzigingen zijn geweest aan de configuratie (e.g. productieproces, machinepark, isolatie). Indien dat het geval is, zouden de effecten van de configuratie wijzigingen kunnen worden berekend door de modellen vóór en na te vergelijken op significante verschillen.

Tevens kan een verdieping van de geboden inzichten optreden indien additionele energiemeters (e.g. lagerkelder apart bemeteren) worden geplaatst in de brouwerij. Dit om deelberekeningen mogelijk te maken en eventuele (gerichte) beheersmaatregelen te kunnen nemen.

### 6.2 Logistiek dienstverlener

Ook hier geldt dat de berekende modellen robuuster worden indien data over langere perioden zouden worden toegevoegd. Daarmee zou dan ook de variabele 'buitentemperatuur' kunnen worden toegevoegd in de modellering.

Indien de variabele 'powersetting' - bijvoorbeeld uitgedrukt in toeren per minuut (rpm) - kan toegevoegd wordt de meest directe controle variabele van de schipper zichtbaar. Met powersetting (en roeruitslagen) bedient de schipper immers het motorschip en beïnvloedt daarmee de CO<sub>2</sub>- (en NO<sub>x</sub>-) uitstoot in directe zin. Tevens verdient het aanbeveling om naast de grondsnelheid de watersnelheid (log) te meten opdat nauwkeuriger het effect van stroming worden berekend. In dit onderzoek kan namelijk slechts met de scenario's stroomopwaarts en stroomafwaarts worden gerekend.

Over bovengenoemde trip is echter geen data beschikbaar van de rivierbreedte. Echter, de breedte van een rivier (of kanaal) speelt hydrodynamisch een rol. Bij een brede rivier wordt minder weerstand ervaren dan bij een smalle rivier. Het toevoegen van metingen over deze variabele kan de betrouwbaarheid van de modellering doen stijgen.

Registreer tevens wanneer en hoeveel getankt wordt opdat het gewicht van de dieseltanks betrokken kan worden in de analyses. Tevens kan het van belang zijn om te registreren op welke trips de schipper betaald voor de brandstof en op welke trips de opdrachtgever. Mogelijk gebruikt de schipper in het laatste geval namelijk meer brandstof - teneinde tijd te winnen - daar de kosten voor rekening van de opdrachtgever komen.

Gelet op de vele tijds gerelateerde (longitudinale) metingen in dit onderzoek lijkt het opportuun om ook een tijdserie analyse uit te voeren. Een dergelijk onderzoek is aanmerkelijk complexer dat hier is uitgevoerd. Belangrijke aanbeveling daarbij is om bij een dergelijk onderzoek een econometrist te betrekken in de onderzoeksmethode en interpretatie van resultaten. Dit vanwege het feit dat dit het vakgebied econometrie betreft.

## Referenties

Hoaglin, D., & Iglewicz, B. (1987). Fine tuning some resistant rules for outlier labeling. *Journal of American Statistical Association*, 82, 1147-1149.

Keetman, H., Diepenmaat, J., van 't Veer, R.W. (2020, Oktober). Carbon Footprint Accounting, Casus Bierbrouwerij, Keten denken en duurzaamheid, PTL16.014, pp. 1-23.

Osborne, J., & Waters, E. (2002). Four Assumptions Of Multiple Regression That Researchers Should Always Test. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 8(2).

Verschuren, P., & Doorewaard, H. (2010). *Designing a research project (second edition)*. The Hague: Eleven International Publishing.

Wintoki, M., Link, J., & Netter, J. (2012). Endogeneity and the dynamics of internal corporate governance. *Journal of Financial Economics* 105, 581-606.

**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.837 <sup>a</sup>	.700	.587	8758.014

a. Predictors: (Constant), Zonuren, Productie, Buitentemperatuur

**ANOVA<sup>a</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.430E+9	3	476810264	6.216	.017 <sup>b</sup>
	Residual	613622414	8	76702801.8		
	Total	2.044E+9	11			

a. Dependent Variable: Gas

b. Predictors: (Constant), Zonuren, Productie, Buitentemperatuur

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	123827.198	10798.054		11.468	<.001
	Productie	2.173	.729	.604	2.983	.018
	Buitentemperatuur	-2387.370	914.495	-.935	-2.611	.031
	Zonuren	34.348	61.037	.199	.563	.589

a. Dependent Variable: Gas

**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.829 <sup>a</sup>	.688	.619	8418.978

a. Predictors: (Constant), Buitentemperatuur, Productie

**ANOVA<sup>a</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.406E+9	2	703070278	9.919	.005 <sup>b</sup>
	Residual	637912651	9	70879183.4		
	Total	2.044E+9	11			

a. Dependent Variable: Gas

b. Predictors: (Constant), Buitentemperatuur, Productie

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	124583.449	10299.344		12.096	<.001
	Productie	2.176	.700	.604	3.107	.013
	Buitentemperatuur	-1962.725	496.608	-.769	-3.952	.003

a. Dependent Variable: Gas

**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.978 <sup>a</sup>	.956	.940	14196.705

a. Predictors: (Constant), Zonuren, Productie, Buitentemperatuur

**ANOVA<sup>a</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3.544E+10	3	1.181E+10	58.617	<.001 <sup>b</sup>
	Residual	1.612E+9	8	201546440		
	Total	3.705E+10	11			

a. Dependent Variable: Elektriciteit

b. Predictors: (Constant), Zonuren, Productie, Buitentemperatuur

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	323649.203	17503.603		18.490	<.001
	Productie	2.445	1.181	.159	2.070	.072
	Buitentemperatuur	12973.101	1482.392	1.193	8.751	<.001
	Zonuren	-256.708	98.940	-.349	-2.595	.032

a. Dependent Variable: Elektriciteit

Lengte	135 m.
Breedte	11,45 m.
Diepte	3,59 m.
Ledige diepgang	Gemiddeld 0,91 meter
Tonnage	3.878 ton op 3,59 meter diepgang 3.500 ton op 3,34 meter diepgang 3.000 ton op 3,00 meter diepgang 2.500 ton op 2,66 meter diepgang 2.000 ton op 2,32 meter diepgang 1.500 ton op 1,98 meter diepgang 1.000 ton op 1,63 meter diepgang
Lengte laadruim	105 m. lang
Breedte laadruim	10,10 m. breed
Hoogte laadruim	4,50 m.
Inhoud onder luikenkap	ca. 5000 m <sup>3</sup> .
Aantal containers	264 Teu (op 4 lagen zonder luikenkap) 252 Teu (op 4 lagen met luikenkap)
Reefer aansluitingen	8x. (3 op het achterschip en 5 op het voorschip).
Kruiplijn zonder ballast	ca 6.10 m. Kruiplijn met ballast afhankelijk van de beschikbare waterdiepte ter plaatse.
Motor vermogen	2x 1200 PK Cummins met uitlaatgassen nabehandelingsstelsel.
Boegschroeven	2x 560 PK Cummins.
Generatoren	2x 64 KVA Cummins in geluidsdichte kast.
Het schip heeft certificaten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• om met duwbakken te varen met een max tonnage van 9400 ton.</li> <li>• voor volcontinu vaart.</li> <li>• voor het vervoer van ADNR.</li> <li>• voor het vervoer van afvalstoffen.</li> </ul>
Gecertificeerd	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Green Award - GMP + - Niwo - Lean and Green</li> </ul>

## Data eenheden motorschip

Column name	Parameter	Eenheid
Datetime	Date and time	YYYY-mm-dd HH:MM:SS (UTC)
GPS_Latitude	Latitude	Decimal degrees (WGS 84)
GPS_Longitude	Longitude	Decimal degrees (WGS 84)
GPS_SpeedOverGround	Speed over ground	Knots
GPS_Heading	Heading	Degrees
Dieptemeter_Depth	Underkeelclearance	Meters
GPS_HDOP	Horizontal dilution of precision	-
Lading_GewichtLading	Total cargo load	Tonnes
Lading_DiepgangGemiddeld	Mean draft	Centimeters
Lading_Scheefligging	Scheefligging	Centimeters
Lading_Doorligging	Doorligging	Centimeters
Lading_BB_Voor	Inzinking bakboord voor	Centimeters
Lading_SB_Voor	Inzinking stuurboord voor	Centimeters
Lading_BB_Midden	Inzinking bakboord midscheeps	Centimeters
Lading_SB_Midden	Inzinking stuurboord midscheeps	Centimeters
Lading_BB_Achter	Inzinking bakboord achter	Centimeters
Lading_SB_Achter	Inzinking stuurboord achter	Centimeters
Engine1_Flow	Fuel use engine 1	Liter/hour
Engine2_Flow	Fuel use engine 2	Liter/hour
Total_Engine_Flow	Fuel use engine 1 and 2	Liter/hour
Engine2_NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> concentration engine 2	ppm
GSM_RSSI	GSM Received Signal Strength Indication	mdB
Wind_Direction	Wind direction (relative to ship heading)	Degrees
Wind_Speed	Wind speed (relative to the ship)	Knots
Head_Wind_Speed	Speed of Head Wind	Knots
Side_Wind_Speed	Speed of Side Wind	Knots
Mag_Variation	Magnetic variation	Degrees
GNSS_Mode	Global Navigation Satellite System	-
Status	Whether the ship is sailing or moored	-
Location	Location of the ship (between 2 harbors or in harbor)	-
Up-downstream	Whether the ship is sailing upstream or downstream	-



**Connekt/Topsector Logistiek**

Ezelsveldlaan 59

2611 RV Delft

+31 15 251 65 65

[info@connekt.nl](mailto:info@connekt.nl)

[www.connekt.nl](http://www.connekt.nl)

