

Modelling buisleiding voor de energietransitie

Verkenning van uitdagingen en onzekerheden

Achtergronddocument bij WLO 2025 Goederenvervoer



Panteia

Toegankelijkheid

Het PBL hecht veel waarde aan de toegankelijkheid van zijn producten. Deze producten die in opdracht van het PBL door externe partijen zijn gemaakt, zijn echter niet volledig toegankelijk. Als u problemen ervaart bij het lezen ervan, dan kunt u contact opnemen via info@pbl.nl. Vermeld daarbij s.v.p. de naam van de publicatie en het probleem waar u tegenaan loopt.

Modellering buisleiding voor de energietransitie

Verkenning van uitdagingen en onzekerheden
Achtergronddocument bij WLO 2025 Goederenvervoer

Auteur(s)

Jan Kiel

Opdrachtgever(s)

Planbureau voor de Leefomgeving

Gepubliceerd

Zoetermeer, 16-6-2025

Projectnummer

10945

Versie

5

Status

Definitief

De verantwoordelijkheid voor de inhoud berust bij Panteia. Het gebruik van cijfers en/of teksten als toelichting of ondersteuning in artikelen, scripties en boeken is toegestaan mits de bron duidelijk wordt vermeld. Vermenigvuldigen en/of openbaarmaking in welke vorm ook, alsmede opslag in een retrieval system, is uitsluitend toegestaan na schriftelijke toestemming van Panteia. Panteia aanvaardt geen aansprakelijkheid voor drukfouten en/of andere onvolkomenheden.



Inhoudsopgave

	Samenvatting	5
	Achtergrond, doel en opzet	5
	Hoofdvragen en antwoorden	5
	Conclusies	7
	Aanbevelingen	8
1	Inleiding	11
1.1	Achtergrond	11
1.1.1	WLO-2024 scenario's	11
1.1.2	Rol van BasGoed voor het goederenvervoer	11
1.1.3	Uitdagingen energietransitie	13
1.2	Hoofdvragen en doel	14
1.3	Opzet rapport	15
2	Prognoses met BasGoed	17
2.1	Inleiding	17
2.2	Economische Model (EM) van BasGoed	17
2.2.1	Vorbereiden van de invoerdata	17
2.2.2	Methodologieën voor prognose: Endogene en exogene methode	18
2.2.3	Mogelijke aanpassingen door gebruikers	19
2.2.4	Conclusie	19
2.3	Buisleidingtransport in BasGoed	20
2.3.1	Huidige status van buisleidingtransport in BasGoed	20
2.3.2	Conceptuele ontwikkeling van de Buisleidingmodule	21
2.3.3	Beperkingen en nabewerkingen	21
2.3.4	Verdere ontwikkeling buisleidingtransport in BasGoed	21
2.3.5	Conclusie	22
3	Energietransitie en buisleiding	24
3.1	Inleiding	24
3.2	Goederenvervoer in Nederland	25
3.2.1	Algemeen	25
3.2.2	Vervoer van gevaarlijke stoffen	28
3.2.3	Conclusie	30
3.3	Huidige rol van buisleidingen	31
3.4	Transitie naar duurzame energiedragers	32
3.5	Aanpassen of uitbreiden van de infrastructuur	33
3.6	Alternatieve modaliteiten voor energietransport	35
3.7	Gevolgen van het tempo van de energietransitie	37
3.8	Slotopmerkingen	38



4	Afbouw aardgas	41
4.1	Inleiding	41
4.2	De afbouw van aardgas	41
4.3	De afbouw van aardgas in BasGoed	42
4.3.1	Afbouw van aardgas in BasGoed	42
4.3.2	Regionale splitsing en impact op prognoses	43
4.3.3	Behandeling van handels-, technische en preferentiecoëfficiënten	43
4.3.4	Tussen- of nabewerkingen en correcties	44
4.3.5	Conclusie	45
4.4	Slotopmerkingen	46
5	Nieuwe energiedragers	48
5.1	Inleiding	48
5.2	Structurele onzekerheid in de BasGoed prognoses	48
5.3	Impact op modaliteiten en buisleidinginfrastructuur	51
5.4	Impact van nieuwe energiedragers op goederenvervoer	53
5.5	Slotopmerkingen	55
6	Conclusies en aanbevelingen	58
6.1	Hoofdvragen en antwoorden	58
6.2	Conclusies	59
6.3	Aanbevelingen	60
	Referenties	63
	Literatuur	63
	Websites	63
	Colofon	65



Samenvatting

Achtergrond, doel en opzet

De energietransitie zorgt voor ingrijpende veranderingen in het goederenvervoer in Nederland. Met de afbouw van fossiele brandstoffen en de opkomst van nieuwe energiedragers zoals waterstof en ammoniak neemt de rol van buisleidingen als transportmodaliteit mogelijk toe. In de huidige versie van BasGoed worden buisleidingen nog niet expliciet meegenomen (hoewel een concept buisleiding model al beschikbaar is), wat leidt tot onvolledige goederenvervoerprognoses. Het doel van dit rapport is om inzicht te geven in de impact van buisleidingen op het goederenvervoer en concrete aanbevelingen te formuleren voor het verbeteren van de scenario's met behulp van de vigerende versie van BasGoed.

Het rapport begint met een analyse van hoe BasGoed goederenvervoerprognoses maakt en wat het gevolg is van het ontbreken van buisleidingen hierin. Vervolgens wordt de invloed van de energietransitie op het gebruik van buisleidingen besproken, met onder meer aandacht voor de mogelijkheden om bestaande infrastructuur aan te passen. Daarnaast wordt ingegaan op de afbouw van aardgas en de opkomst van nieuwe energiedragers zoals waterstof en ammoniak. Het rapport onderzoekt ook de tijdelijke rol van andere modaliteiten zoals weg-, spoor- en binnenvaart wanneer buisleidingen niet beschikbaar zijn. Tot slot biedt het rapport concrete conclusies en aanbevelingen om buisleiding in BasGoed in combinatie met energietransitie te verbeteren.

Hoofdvragen en antwoorden

Hoe groot is de structurele fout van het niet opnemen van buisleidingen in BasGoed op de prognoses voor het goederenvervoer en kan dit door post-processing worden gecorrigeerd?

Het ontbreken van buisleidingen als modaliteit in BasGoed leidt tot een lagere vervoerde volume (in mln ton) in de *totale* goederenvervoerprognoses van ongeveer 16% (het aandeel van buisleiding in 2023). In toekomstige scenario's voor de periode 2040-2060 kan dit verschil oplopen tot 20-25% naarmate buisleidingen een grotere rol gaan spelen in de energietransitie. Dit wordt veroorzaakt doordat het vervoersvolume (in mln ton) van nieuwe energiedragers zoals waterstof en ammoniak hoger is door hun energiedichtheid. Deze onvolkomenheid in de *totale* goederenvervoerprognoses kan worden gecorrigeerd in BasGoed door middel van post-processing of inzet van het concept buisleidingmodel, waarbij het aandeel van buisleidingen ter grootte van 16-25% wordt meegenomen voor de toekomstjaren. Dit vereist echter wel aanvullende analyses en 'expert judgement' om de verwachte vervoersvolumes goed vast te stellen.



Of we het ontbreken van vervoer via buisleiding een structurele fout moeten noemen is overigens de vraag. In de economie module van BasGoed wordt in principe het volume van alle goederen meegenomen. De modaliteit buisleiding is niet zichtbaar in de resultaten en heeft niet direct invloed op de andere modaliteiten. Bij een grootschalige verandering van het transportsysteem als gevolg van energietransitie kan dat wel het geval zijn via modal shift of als tijdelijke modaliteit totdat buisleidingen het vervoer kunnen overnemen.

Wat is de rol van buisleidingen in de energietransitie en zijn ze geschikt voor het vervoer van energiedragers zoals waterstof en ammoniak?

Buisleidingen spelen een belangrijke rol in de energietransitie door het transport van nieuwe energiedragers zoals waterstof en ammoniak mogelijk te maken. Bestaande buisleidingen kunnen in sommige gevallen worden aangepast voor het vervoer van deze nieuwe energiedragers, maar technische en veiligheidsbeperkingen moeten hierbij in acht worden genomen. Nieuwbouw van buisleidingen is waarschijnlijk noodzakelijk. De geschiktheid van buisleidingen hangt af van factoren zoals de eigenschappen van de energiedragers, de benodigde investeringen, beschikbare ruimte en de veiligheidseisen. Het is mogelijk dat andere modaliteiten tijdelijk of aanvullend nodig zijn, afhankelijk van de snelheid en omvang van de energietransitie.

Zal de energietransitie leiden tot een verschuiving naar andere modaliteiten of is nieuwe buisinfrastructuur nodig?

De energietransitie zal leiden tot een (tijdelijke) verschuiving naar andere modaliteiten zoals weg-, spoor- en binnenvaart, vooral wanneer buisleidingen (nog) niet beschikbaar of aangepast zijn voor nieuwe energiedragers zoals waterstof en ammoniak. Daarnaast moet rekening worden gehouden met andere energiedichtheden waardoor we mogelijk met meer goederenvervoervolumes te maken krijgen. Deze verschuiving en autonome ontwikkeling kan de vervoersprognoses voor deze modaliteiten verhogen. Op de lange termijn is nieuwe buisinfrastructuur of aanpassing van bestaande buisleidingen noodzakelijk om efficiënt te kunnen voldoen aan de vervoersvraag van nieuwe energiedragers zoals waterstof en ammoniak. De mate waarin nieuwe buisinfrastructuur nodig is, hangt af van de ontwikkeling van verschillende energiedragers (welke worden dominant) en de snelheid van de transitie naar duurzame energiebronnen.

Hoe beïnvloedt de afbouw van aardgas de delfstoffensector en de prognoses in BasGoed en welke onzekerheden spelen hierin mee?

In BasGoed rekent de Economiemodule met een multiregionale input-output tabel. In deze tabel zit een productgroep Delfstoffen. Deze bevat naast steenkool, ijzer, zand en grind ook delfstoffen als aardolie. Voor gebruik worden Delfstoffen gesplitst naar de goederensoorten van BasGoed. Momenteel worden aardgas en aardolie in BasGoed samengevoegd in één goederensoort, wat leidt tot minder goede prognoses. Omdat aardgas sneller wordt afgebouwd dan aardolie, is het beter om deze twee energiedragers apart te modelleren eventueel via post-processing. Er zijn wel onzekerheden over de snelheid van de afbouw van aardgas, die afhangen van technologische ontwikkelingen, beleidskeuzes en marktomstandigheden. Deze onzekerheden maken het noodzakelijk om flexibele modellen en scenario's te ontwikkelen, ondersteund door 'expert judgement'.



Conclusies

Niet opnemen van buisleidingen in BasGoed introduceert een structurele fout

Buisleidingen worden momenteel niet expliciet als modaliteit gemodelleerd in BasGoed. Dit leidt tot een verschil in de *totale goederenvervoerprognoses* (in mln ton) van ongeveer 16% (aandeel in 2023). In toekomstige scenario's (2040-2060) kan dit verschil oplopen tot naar schatting 20-25% als de energietransitie vordert en buisleidingen een grotere rol spelen. Het extra volume (in mln ton) wordt veroorzaakt door het verschil in energiedichtheid van waterstof en ammoniak, waardoor meer volume moet worden vervoerd. De verwachte extra volumes (in mln ton) moeten nader worden vastgesteld, bijvoorbeeld via 'expert judgement'. Of we moeten spreken van een structurele fout is de vraag. BasGoed neemt in de economiemodule namelijk al het goederenvervoer mee. Buisleiding is dan niet zichtbaar, maar op de achtergrond wel aanwezig in de prognoses.

De afbouw van aardgas beïnvloedt de goederenvervoerprognoses

Aardgas en aardolie worden in BasGoed samengevoegd in één categorie, terwijl aardgas sneller wordt afgebouwd dan aardolie. Deze samenvoeging zorgt voor minder nauwkeurige prognoses en vertekent mogelijk de impact van de energietransitie op goederenstromen. De minder nauwkeurige prognoses, omdat aardgas en aardolie(-producten) als één goederensoort wordt gezien, geldt in principe voor alle modaliteiten.

Nieuwe energiedragers creëren extra vervoersbehoeften

De vervanging van aardgas en aardolie(-producten) door nieuwe energiedragers zoals waterstof en ammoniak leidt tot veranderingen in de vervoersstromen. Door verschillen in energiedichtheid wordt *tot* 63% extra vervoersvolume (in mln ton) verwacht om dezelfde energievraag te dekken, wat een impact heeft op de capaciteit van de vervoersmiddelen. De 63% is gebaseerd op een hypothetisch geval waarbij is gekeken naar het volledig vervangen van aardgas door waterstof en aardolie door ammoniak. Door het verschil in energiedichtheid neemt het vervoerde volume toe. De verwachting is echter dat in realiteit het extra volume lager zal zijn dan 63% omdat we rekening moeten houden onder andere: a) aardgas en aardolie die nog lange tijd in gebruik blijven, b) met alternatieve energiedragers zoals elektriciteit die kunnen worden ingezet en c) technologische ontwikkelingen als brandstofcellen en supergeleiding die zuiniger zijn dan brandstofmotoren.

Impact op andere modaliteiten

Wanneer buisleidingen niet of minder beschikbaar zijn voor het transport van waterstof en ammoniak, dan zullen mogelijk andere modaliteiten (weg, spoor, binnenvaart) de groei van deze goederenstromen (tijdelijk) moeten opvangen. Dit kan leiden tot een toename van de vervoersprognoses voor deze modaliteiten, afhankelijk van de omvang van waterstof en ammoniak binnen de goederensoort 'Chemische producten' van BasGoed.

Onzekerheden compliceren prognoses

De snelheid en richting van de energietransitie zijn onzeker en hangen af van technologische ontwikkelingen, beleidskeuzes en marktomstandigheden. Deze onzekerheden vragen om aanpassing van de modellen (eventueel via post-processing) en het toepassen van 'expert judgement' voor onderbouwde aannames. Voor de aanpassing van



BasGoed zijn suggesties gedaan. Het gaat om het structureel inzetten van de concept buisleidingmodule en het splitsen van de productgroep Delfstoffen in de Economie module en het splitsen van de goederengroep Aardgas en Aardolie(-producten).

Bestaande buisleidingen bieden potentieel voor hergebruik

Bestaande buisleidingen kunnen in sommige gevallen worden aangepast voor waterstof en ammoniak, maar technische en veiligheidsbeperkingen vereisen verdere beoordeling en investeringen. Alternatieven, zoals nieuwbouw, blijven waarschijnlijk noodzakelijk.

Aanbevelingen

Pas het concept buisleiding model toe of voer post-processing correcties uit

Voeg het aandeel buisleiding (16-25%) toe aan de *totale vervoersprognoses* om rekening te houden met het huidige en toekomstige aandeel van buisleidingen in het volume aan goederenvervoer. Deze betreffen vooral de natte bulk. Aardgas en aardolie(-producten) worden afgebouwd, tegelijkertijd worden waterstof en ammoniak opgebouwd. De hoeveelheid volume en de snelheid waarmee dat moet gebeuren moet nader worden onderzocht.

Breid dit ook uit naar andere modaliteiten. Analyseer hoeveel waterstof en ammoniak tijdelijk en/of permanent via weg, spoor of binnenvaart worden vervoerd wanneer buisleidingen nog niet beschikbaar zijn of als aanvulling op buisleidingen. Deze toename moet worden meegenomen in de prognoses voor deze modaliteiten.

Splits Delfstoffen en Aardgas en Aardolie(-producten) in BasGoed

Maak met behulp van post-processing voor de korte termijn onderscheid tussen aardgas en aardolie(-producten), aangezien aardgas sneller wordt afgebouwd. Gebruik beschikbare data om de impact op de prognoses nauwkeuriger te modelleren. Neem alle modaliteiten mee, dus niet alleen buisleidingen.

Voor de lange termijn kan worden overwogen om zowel Delfstoffen goed op te splitsen in de Economie module, als het opnemen twee aparte goederengroepen, één voor Aardgas en één voor Aardolie(-producten) in BasGoed op te nemen. Dit helpt om betere prognoses te maken en BasGoed in te kunnen zetten voor de impact van de energietransitie op de vervoerde volumes.

Gebruik 'expert judgement' voor nieuwe energiedragers

Betrek experts bij het inschatten van de verwachte volumes van waterstof en ammoniak binnen de goederenstroom voor chemische producten. Deze inschattingen kunnen helpen bij het invullen van de inzet van buisleiding, zeevaart, weg, spoor en binnenvaart voor het vervoer.

Houd rekening met volumes van nieuwe energiedragers

Integreer een toename van volume (*tot* maximaal 63%) in de prognoses bij vervanging van aardgas door waterstof en aardolie door ammoniak. Bekijk ook wat dit bij andere energiedragers doet zoals biobrandstoffen of methanol. Deze toename moet over alle modaliteiten inclusief buisleiding worden verdeeld. Zoals hiervoor aangegeven is daar 'expert judgement' voor nodig.



Ontwikkel scenario's om gevoeligheden te bepalen

Werk met scenario's die variëren in de snelheid en richting van de energietransitie om de gevoeligheid op het vervoerde volume te bepalen. Denk hierbij aan:

- **Snelle transitie** – Hoge volumes van waterstof en ammoniak via de (tijdelijke) modaliteiten.
- **Langzame transitie** – Langere afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en lagere volumes nieuwe energiedragers en de impact op het gebruik van de modaliteiten.

Maak gebruik van gevoeligheidsanalyses om de impact van deze variaties op goederenstromen te kwantificeren.

Onderzoek multimodale oplossingen

Gebruik in BasGoed alternatieve landmodaliteiten (weg, spoor en binnenvaart) als tijdelijke oplossingen totdat de buisleidinginfrastructuur volledig beschikbaar of aangepast is. Combineer de transportmodaliteiten waar mogelijk om flexibiliteit te vergroten in BasGoed. Dit betekent dat goed moet worden nagedacht over de invulling van de scenario's voor 2040, 2050 en 2060.

Monitor de ontwikkeling van energiedragers

De groei van waterstof en ammoniak is sterk verbonden met de ontwikkeling van chemische producten. Integreer aannames over deze ontwikkelingen in BasGoed (en invoer scenario's), in samenwerking met experts en actuele marktdata. Hou ook een oog op de ontwikkeling van andere energiedragers zoals biobrandstoffen, methanol of elektriciteit. Ook deze kunnen een alternatief vormen voor de huidige fossiele brandstoffen.



1



1 Inleiding

1.1 Achtergrond

1.1.1 WLO-2024 scenario's

De nieuwe WLO-scenario's (Welvaart en Leefomgeving) zijn lange-termijn verkenningen die momenteel worden ontwikkeld door het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Deze scenario's bieden inzicht in mogelijke toekomstbeelden voor de Nederlandse economie, leefomgeving, mobiliteit en ruimtelijke ordening. De WLO-scenario's zijn bedoeld om rekening te houden met onzekerheden in ontwikkelingen zoals economische groei, bevolkingsgroei, klimaat en technologische innovaties, terwijl ze beleidsneutraal blijven. Dit maakt de scenario's bruikbaar voor het toetsen van beleidsmaatregelen en strategische investeringen.

De WLO 2024-scenario's bouwen voort op eerdere edities, maar leggen meer nadruk op de grote maatschappelijke transities die Nederland doormaakt, vooral de klimaattransitie. Het doel is om beleidsmakers te voorzien van een realistische bandbreedte die verschillende toekomstscenario's omvat, zoals variaties in economische groei en de snelheid van de energietransitie. De scenario's helpen om beleidsopties te formuleren, onder andere op het gebied van verkeer en vervoer.

Een belangrijk aandachtspunt in de WLO 2024-scenario's is de afbouw van fossiele brandstoffen, zoals aardgas en de vraag hoe nieuwe vormen van energie, zoals waterstof, zullen worden geïntegreerd in de nationale transport- en energienetwerken. Daarnaast speelt de vraag of bestaande infrastructuur, zoals buisleidingen, kan worden aangepast voor het transport van nieuwe energiedragers.

De scenario's hebben een horizon tot 2060 en zijn gericht op het waarborgen van flexibiliteit en robuustheid in het beleid, wat belangrijk is voor het realiseren van duurzame en toekomstbestendige keuzes.

1.1.2 Rol van BasGoed voor het goederenvervoer

BasGoed¹ modelleert goederenvervoerstromen in Nederland. Het model biedt inzicht in de huidige en toekomstige goederenvervoersstromen met verschillende modaliteiten, zoals weg, spoor, binnenvaart en zeevaart, verschillende goederensoorten zoals 'Agrarische producten' en 'Chemische producten', en onderscheid naar container en niet-container. BasGoed ondersteunt bij beleidskeuzes door prognoses te maken van de vervoersvraag en de verdeling van goederenstromen over de modaliteiten.

De WLO-scenario's worden in BasGoed gebruikt voor het kwantificeren van de goederenstromen, die worden beïnvloed door uiteenlopende sociaaleconomische en technologische ontwikkelingen. Het model vertaalt de bredere economische

¹ Rijkswaterstaat (2024). *BasGoed - Basismodel Goederenvervoer*. Den Haag: Rijkswaterstaat. Zie: [BasGoed Publicatie](#).

projecties van de WLO-scenario's naar gedetailleerde prognoses over de volumes van goederenvervoer en de gebruikte modaliteiten. Hierdoor wordt het mogelijk om te zien welke goederengroepen zullen groeien of krimpen en hoe dat het transportsysteem beïnvloedt.

BasGoed gebruikt economische data, zoals de MRIO-tabel (Multi-Regionale Input-Output), om te voorspellen hoe veranderingen in productie, handel en consumptie het goederenvervoer beïnvloedt. Deze prognoses zijn gebaseerd op sectorale groei, internationale handel en regionale economische dynamiek. De WLO-scenario's vormen basis input voor BasGoed, waarin variabelen zoals bevolkingsgroei, economische groei en technologische vooruitgang worden meegenomen om de goederenstromen te modelleren.

Eén van de belangrijkste uitdagingen voor BasGoed binnen de nieuwe WLO-scenario's is het modelleren van de energietransitie en de daaruit voortvloeiende afbouw van fossiele brandstoffen, zoals aardgas en olie. Momenteel zijn aardgas en olie in BasGoed samengevoegd in één goederengroep, wat de prognoses lastig te interpreteren maakt wanneer één of meer van deze brandstoffen wordt afgebouwd. Dit is een belangrijk aandachtspunt voor de energietransitie, aangezien aardgasgebruik in Nederland afneemt door de afbouw van gaswinning², terwijl olie nog langere tijd in gebruik kan blijven.

Verder houdt BasGoed (nog) geen expliciete rekening met buisleidingen als modaliteit, hoewel deze een belangrijke rol spelen in het transport van aardgas en aardolie. Het ontbreken van buisleidingen in het model kan mogelijk leiden tot lacunes in de prognoses over de goederenstromen en volumes, vooral wanneer de energietransitie verschuivingen in de gebruikte modaliteiten veroorzaakt. De vraag hoe de bestaande buisleidingen kunnen worden aangepast voor nieuwe energiedragers, zoals waterstof en ammoniak, vormt een uitdaging voor het opstellen van de WLO-scenario's.

BasGoed biedt beleidsmakers inzichten in hoe goederenstromen zich over de komende decennia kunnen ontwikkelen onder verschillende economische en beleidsmatige omstandigheden. Dit is belangrijk voor het plannen van toekomstige infrastructuur, zoals wegen, spoorlijnen, binnenhavens en overslagfaciliteiten. Door de toepassing van de WLO-scenario's in BasGoed krijgen we meer inzicht in de impact van verschillende groeiscenario's op het goederenvervoer, zoals technologische innovaties of veranderingen in economische groei.

Voor de energietransitie en de afbouw van fossiele brandstoffen helpt BasGoed om mogelijke knelpunten in de infrastructuur te identificeren en scenario's te verkennen waarin nieuwe energiedragers het bestaande transportnetwerk benutten of waarin aanpassingen nodig zijn.

² Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) (2020). *De economische rol van aardgas na de productiebeperkingen*. Den Haag: CBS. Zie: [CBS Publicatie](#).



1.1.3

Uitdagingen energietransitie

De energietransitie is een belangrijke transitie voor Nederland. Het goederenvervoer zal hier direct door worden beïnvloed. De verschuiving van fossiele brandstoffen, zoals aardgas en aardolie, naar duurzame energiedragers, zoals waterstof en biobrandstoffen, vraagt om een heroverweging van de gebruikte modaliteiten en infrastructuur. De energietransitie brengt verschillende uitdagingen met zich mee, zowel op beleidsniveau als op de modellering ervan in BasGoed.

De afbouw van fossiele brandstoffen, vooral aardgas, is een belangrijk onderdeel van de energietransitie in Nederland. De gaswinning in Groningen wordt versneld afgebouwd en de vraag naar aardgas zal de komende decennia verder dalen door nationale en internationale klimaatdoelen. Dit heeft gevolgen voor de goederenstromen die afhankelijk zijn van de productie en het transport van aardgas.

In BasGoed wordt aardgas samen met olie gemodelleerd binnen één goederengroep. Dit kan leiden tot minder nauwkeurige prognoses, omdat de afbouw van aardgas waarschijnlijk sneller zal verlopen dan die van olie, vooral in de eerste decennia van de transitie. Bovendien wordt het vervoer van aardgas bijna altijd via buisleidingen gedaan, terwijl buisleidingen (nog) niet worden gemodelleerd in BasGoed. De afname van aardgastransport via buisleidingen wordt niet volledig weerspiegeld in de modellering, waardoor mogelijk geen volledig beeld bestaat van de impact van de energietransitie op het goederenvervoer.

Momenteel worden buisleidingen vooral gebruikt voor het transport van fossiele brandstoffen, zoals aardgas. De energietransitie roept echter de vraag op wat de toekomstige rol van deze infrastructuur zal zijn. Kunnen bijvoorbeeld bestaande buisleidingen worden aangepast voor het transport van duurzame energiedragers, zoals waterstof en ammoniak, of zullen deze leidingen grotendeels overbodig worden? Of moet een nieuwe parallelle infrastructuur voor waterstof of ammoniak worden aangelegd? Zijn er andere alternatieven voor het vervoer? Gaan waterstof en ammoniak deels aardgas en aardolie vervangen?

Dit zijn belangrijke vragen omdat het aanpassen van bestaande buisleidingen wellicht goedkoper en efficiënter is dan het aanleggen van volledig nieuwe infrastructuur. Anderzijds kunnen technische beperkingen en veiligheidsnormen ervoor zorgen dat nieuwe buisinfrastructuur noodzakelijk is voor het vervoer van duurzame energiedragers. Uiteraard is het ook maar de vraag of waterstof en ammoniak dominante energiedragers gaan worden. De WLO-scenario's moeten daarom rekening houden met dergelijke onzekerheden, waarin buisleidingen een blijvende rol spelen, of juist worden vervangen door andere modaliteiten.

Daarnaast kunnen er nieuwe goederenstromen ontstaan door de energietransitie, zoals de vraag naar waterstof, ammoniak en biobrandstoffen, maar ook vraag naar technologieën die bijdragen aan CO₂-reductie, zoals batterijen en windmolens. De WLO-scenario's moeten deze nieuwe goederenstromen meenemen om een volledig beeld te schetsen van de impact van de transitie op het goederenvervoer.

Een ander aspect van de energietransitie is de onzekerheid over de snelheid en de reikwijdte ervan. De transitie naar een koolstofarme economie kan sneller verlopen dan verwacht door technologische doorbraken, veranderende markten, of strengere

klimaatdoelstellingen. Tegelijkertijd kunnen geopolitieke ontwikkelingen of economische crises de transitie vertragen, waardoor fossiele brandstoffen zoals aardgas langer een rol blijven spelen dan momenteel wordt voorzien.

1.2 Hoofdvragen en doel

In dit rapport staan drie vraagstukken centraal. Ze betreffen de rol van buisleidingen en de impact van de energietransitie op het goederenvervoer binnen de ontwikkeling van nieuwe WLO-scenario's. Het doel van deze studie is om de onzekerheden rondom deze onderwerpen te analyseren en aanbevelingen te geven die gebruikt kunnen worden voor het verder ontwikkelen van realistische en bruikbare WLO-scenario's.

Het doel van deze studie is om inzicht te geven in de mogelijke impact van de energietransitie op het goederenvervoer en de manier waarop BasGoed hiermee omgaat. Hierbij ligt de focus op de vraag hoe de afbouw van aardgas en andere fossiele brandstoffen correct gemodelleerd kan worden en hoe de veranderende rol van buisleidingen in het vervoer van nieuwe energiedragers kan worden meegenomen. Het uiteindelijke doel is om input te geven aan de ontwikkeling van de nieuwe WLO-scenario's.

Dit rapport beantwoordt drie hoofdvragen die centraal staan in de discussies rond het goederenvervoer en de energietransitie binnen de WLO-scenario's:

- Hoe groot is de structurele fout van het niet opnemen van buisleidingen in BasGoed op de prognoses voor het goederenvervoer en kan dit door post-processing worden gecorrigeerd?*

BasGoed modelleert standaard (nog) geen buisleidingen als modaliteit, terwijl deze belangrijk zijn voor het vervoer van fossiele brandstoffen zoals aardgas en aardolie. De vraag is hoe groot de fout is die wordt gemaakt door buisleidingen te negeren en in hoeverre dit kan worden gecorrigeerd in postprocessing of aanvullende modellen.
- Wat is de rol van buisleidingen in de energietransitie en zijn ze geschikt voor het vervoer van energiedragers zoals waterstof en ammoniak?*

Met de verschuiving naar duurzame energiedragers, zoals waterstof en ammoniak, rijst de vraag of bestaande buisleidingen aangepast kunnen worden voor het transport van deze nieuwe energiedragers, of dat nieuwe infrastructuur nodig is. Of zijn er wellicht andere mogelijkheden? Dit is van belang voor de vervoersbehoeften en investeringen in infrastructuur.
- Zal de energietransitie leiden tot een verschuiving naar andere modaliteiten of is nieuwe buisinfrastructuur nodig?*

Deze vraag hangt sterk samen met de vorige vraag wat de rol van buisleidingen is. De energietransitie leidt tot andere energiedragers, waarvan het nog maar de vraag is welke dat zijn. Dat kunnen energiedragers zijn als waterstof en ammoniak, maar even goed elektriciteit gewonnen uit wind-, zonne- en waterenergie. En uiteraard de vraag in hoeverre modaliteiten als weg, spoor en binnenvaart nieuwe energiedragers kunnen vervoeren. Dit leidt vervolgens tot de vraag of nieuwe buisleidingen nodig zijn.

4. *Hoe beïnvloedt de afbouw van aardgas de delfstoffensector en de prognoses in BasGoed en welke onzekerheden spelen hierin mee?*

De afbouw van aardgas is een belangrijk onderdeel van de energietransitie. Dit roept de vraag op hoe BasGoed omgaat met de veranderende aardgasvraag, aangezien aardgas en olie momenteel in dezelfde goederengroep worden gemodelleerd. Het is belangrijk om de onzekerheden rond de snelheid van de afbouw en de impact op goederenstromen goed te modelleren.

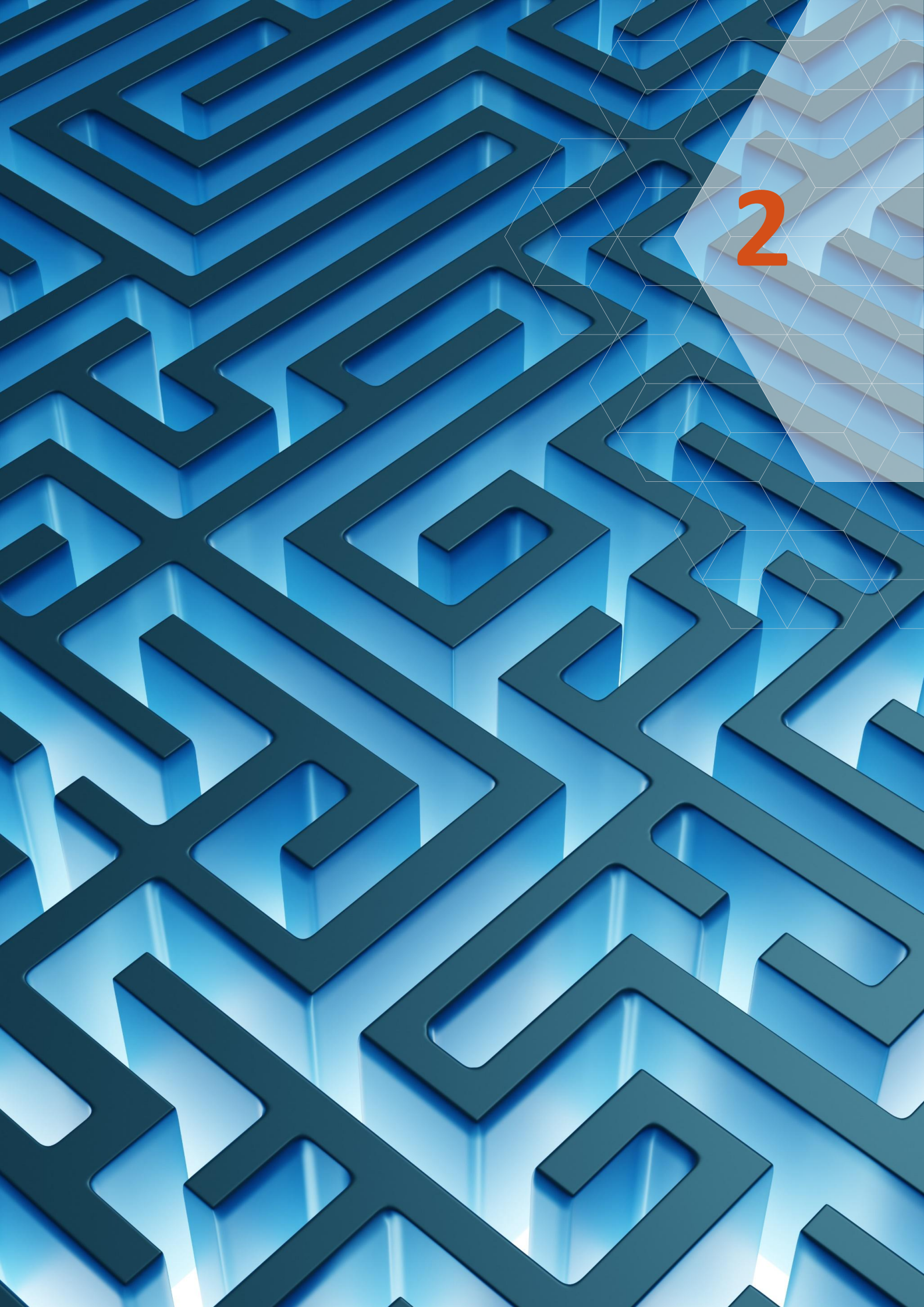
Om de bovenstaande hoofdvragen te beantwoorden, zullen ook enkele subvragen worden behandeld:

- Hoe kan de prognoses voor de afbouw van fossiele brandstoffen worden verfijnd, gezien de verschillende trends voor aardgas en aardolie?
- Welke nieuwe energiedragers zullen de fossiele brandstoffen gaan vervangen en hoe worden deze vervoerd?
- In hoeverre kunnen buisleidingen worden aangepast voor het transport van duurzame energiedragers, zoals waterstof en ammoniak?
- Is de huidige infrastructuur geschikt voor het vervoer van nieuwe energiedragers?
- Hebben we nieuwe buisleidingen nodig omdat de huidige nog in gebruik zijn?
- Welke alternatieve modaliteiten kunnen worden ingezet als buisleidingen niet geschikt blijken voor de nieuwe energiedragers?
- Wat zijn de gevolgen voor de infrastructuur als de energietransitie sneller of langzamer verloopt dan verwacht?

1.3 Opzet rapport

Dit rapport is opgebouwd uit vijf hoofdstukken die samen de uitdagingen en onzekerheden rond buisleidingtransport in de energietransitie analyseren.

- **Hoofdstuk 2 - Prognoses met BasGoed.** Dit hoofdstuk bespreekt hoe BasGoed goederenvervoerprognoses maakt en hoe buisleidingtransport hierin wordt gemodelleerd.
- **Hoofdstuk 3 - Energietransitie en buisleiding.** Hierin wordt de rol van buisleidingen in de energietransitie behandeld, inclusief de mogelijkheden en uitdagingen bij het transport van nieuwe energiedragers zoals waterstof en ammoniak.
- **Hoofdstuk 4 - Afbouw aardgas.** Dit hoofdstuk richt zich op de gevolgen van de afbouw van aardgas voor goederenstromen en hoe deze verandering in BasGoed wordt gemodelleerd.
- **Hoofdstuk 5 - Nieuwe energiedragers.** Hier wordt ingegaan op de impact van nieuwe energiedragers op goederenvervoer en de onzekerheden die daarmee gepaard gaan.
- **Hoofdstuk 6 - Conclusie en aanbevelingen.** In het laatste hoofdstuk worden de belangrijkste conclusies en aanbevelingen v samengevat.

The background is a complex, three-dimensional geometric pattern in shades of blue. It consists of interlocking, stepped rectangular blocks that create a sense of depth and movement. Overlaid on the right side of the image is a semi-transparent hexagonal grid. A large, bold, orange number '2' is positioned within this grid, slightly to the right of the center.

2

2 Prognoses met BasGoed

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk biedt een beschrijving van hoe BasGoed economische prognoses maakt voor het goederenvervoer en hoe het met buisleiding transport omgaat.

Het hoofdstuk begint met een toelichting op de Economische Module (EM) van BasGoed, die gebruikmaakt van multi-regionale input-output tabellen (MRIO) om voorspellingen te doen. Vervolgens wordt ingegaan op de methoden die kunnen worden gebruikt voor het maken van economische prognoses, inclusief de mogelijkheden om het model aan te passen aan scenario's, zoals de energietransitie.

Het tweede deel van het hoofdstuk richt zich op het integreren van buisleiding-transport in BasGoed, een modaliteit die onder meer van belang is voor het faciliteren van de energietransitie. De ontwikkeling van een buisleidingmodule biedt nieuwe mogelijkheden om verschuivingen in goederenstromen beter te begrijpen, hoewel dit nog volop in ontwikkeling is. De uitdagingen en toekomstige uitbreidingen van deze module, waaronder het toevoegen van spoor als modal shift-optie en het modelleren van de capaciteit van buisleidingen, worden besproken.

2.2 Economische Model (EM) van BasGoed

2.2.1 Voorbereiden van de invoerdata

De EM maakt gebruik van een MRIO tabel voor het basisjaar en groeifactoren per sector en type (import, export, productie en finale vraag) om goederenvervoer-prognoses te maken. Deze data is afkomstig van PBL. Om het EM goed te laten functioneren, is een voorbereiding c.q. aanpassing van de invoer data noodzakelijk. Dit proces omvat twee belangrijke stappen: het splitsen van regio's naar sub-regio's en het detailleren van de productgroep 'Delfstoffen'.

Splitsen van regio's

De eerste stap in het verwerken van economische data voor BasGoed is de regionalisatie van de MRIO-tabel. Dit betekent dat de handelsstromen worden uitgesplitst naar BasGoed-zones in Nederland. Deze regionalisatie zorgt ervoor dat verschillen in economische activiteit tussen regio's, zoals productie- en consumptiepatronen, nauwkeuriger worden weergegeven. De data worden verfijnd met statistische gegevens zoals het BasGoed-ketenbestand en bevolkingsstatistieken.

Opsplitsing van 'Delfstoffen'

In het basisjaar worden de gegevens over de productgroep 'Delfstoffen' in de MRIO tabel verder gedetailleerd. Dit is van belang, omdat deze productgroep meerdere soorten producten omvat die qua ontwikkeling niet samenhangen. Denk aan zout en zand versus olie en gas.

De opsplitsing gebeurt door de productgroep te verdelen in de volgende subcategorieën:

- Steenkool, bruinkool en cokes
- Ruwe aardolie en aardgas (NB: samengevoegd in één categorie)
- Ertsen
- Zout, zand, grind en klei

De splitsing van deze productgroep maakt het mogelijk om specifieke ontwikkelingen van delfstoffen te volgen. Dit is echter niet zonder beperkingen: aardolie en aardgas zitten in dezelfde subcategorie, waardoor het lastig is om de afzonderlijke impact van de afbouw van aardgas goed te modelleren. Er zijn mogelijk nabewerkingen nodig om specifieke scenario's voor de energietransitie goed te simuleren.

2.2.2

Methodologieën voor prognose: Endogene en exogene methode

BasGoed kent twee methoden voor het genereren van economische prognoses met de EM: de endogene en de exogene methode. Beide methoden hebben hun eigen toepassingen en beperkingen, afhankelijk van de gewenste precisie en flexibiliteit.

Endogene methode

De endogene methode neemt de MRIO-tabel van het basisjaar als uitgangspunt en berekent de toekomstige economische ontwikkelingen op basis van aannames over BBP- en bevolkingsgroei. De coëfficiënten – handels-, technische en preferentiecoëfficiënten – worden constant gehouden, tenzij expliciete aanpassingen plaatsvinden. Deze methode biedt de flexibiliteit om scenario's te simuleren zonder dat vooraf een volledig nieuwe MRIO-tabel nodig is.

De coëfficiënten omvatten het volgende:

- *Technische coëfficiënten.* Deze beschrijven hoeveel input (energie, materialen) nodig is voor de productie van een eenheid output in een bepaalde sector. Aangezien de energietransitie de productietechnologie verandert (bijvoorbeeld minder fossiele brandstoffen en meer duurzame energie), kan de gebruiker deze coëfficiënten aanpassen om de impact van deze veranderingen te modelleren.
- *Preferentiecoëfficiënten.* Deze geven aan hoe de vraag naar producten in de toekomst zal veranderen. De gebruiker kan deze coëfficiënten wijzigen om een verschuiving in de energiemix of consumptievoorkeuren weer te geven, zoals een toename in de vraag naar alternatieve energie ten koste van aardgas.
- *Handelscoëfficiënten.* Deze geven de afhankelijkheid van regio's van elkaars producten weer. Door deze coëfficiënten aan te passen, kan de impact van veranderende internationale handelsstromen als gevolg van de energietransitie worden gemodelleerd.

De endogene methode is nuttig voor scenario's waarbij de economische structuur grotendeels hetzelfde blijft, maar op onderdelen bewust wijzigingen worden aangebracht om transities, zoals de afbouw van aardgas, te modelleren.

Exogene methode

De exogene methode maakt gebruik van een vooraf berekende MRIO-tabel voor een toekomstjaar. Deze MRIO-tabel bevat al alle aanpassingen die nodig zijn om toekomstige handelsstromen en productcategorieën te simuleren. Dit betekent *niet* dat de splitsing van de productgroep 'Delfstoffen' uit de MRIO-tabel naar aardgas,

aardolie, zand, zout, grind en ertsen al is toegepast. Deze splitsing kan worden aangebracht door de splitsingsfactoren van het basisjaar te gebruiken en hierop aanpassingen te maken voor ontwikkelingen zoals de energietransitie.

De exogene methode is minder flexibel, omdat de prognose gebaseerd is op een vooraf vastgestelde set aannames. Dit maakt het minder geschikt voor simulaties waarin nieuwe scenario's of onverwachte beleidswijzigingen moeten worden verwerkt, zoals een versnelde afbouw van aardgas. Gebruikers hebben minder controle over de details van de prognose.

2.2.3

Mogelijke aanpassingen door gebruikers

Gebruikers van BasGoed kunnen diverse parameters of coëfficiënten van de EM aanpassen om meer realistische en nauwkeurige prognoses te maken:

- *Aanpassen van technische coëfficiënten.* Gebruikers kunnen de hoeveelheid fossiele energie die nodig is voor productieprocessen verminderen en vervangen door alternatieve energiebronnen. Dit simuleert de impact van technologische innovaties en de verschuiving naar een koolstofarme economie.
- *Wijzigen van preferentiecoëfficiënten.* Door deze coëfficiënten aan te passen, kunnen gebruikers veranderingen in de vraagvoorkeuren modelleren, zoals een verschuiving van aardgas naar hernieuwbare energiebronnen in huishoudens en industrie.
- *Herzien van handelscoëfficiënten.* De energietransitie heeft gevolgen voor de internationale handel. Gebruikers kunnen deze coëfficiënten aanpassen om de impact van veranderende importstromen van fossiele brandstoffen en duurzame energie te simuleren.
- *Tussen- of nabewerkingen uitvoeren.* Als de splitsing van delfstoffen onvoldoende gedetailleerd is, kunnen gebruikers correcties toepassen op de output van het model. Dit is vooral nuttig voor het modelleren van de afbouw van aardgas, waarbij de verhouding tussen aardgas en aardolie wordt aangepast. De tussenbewerking betekent dat een modelrun wordt onderbroken na de EM om aanpassingen door te voeren. Een nabewerking wordt uitgevoerd op de eindresultaten.

Figuur 1 geeft een vereenvoudigd overzicht te zien van BasGoed. De tussenbewerkingen worden op de handelsstromen uitgevoerd, de nabewerkingen op de transportvolumes in tonnen en/of trips.

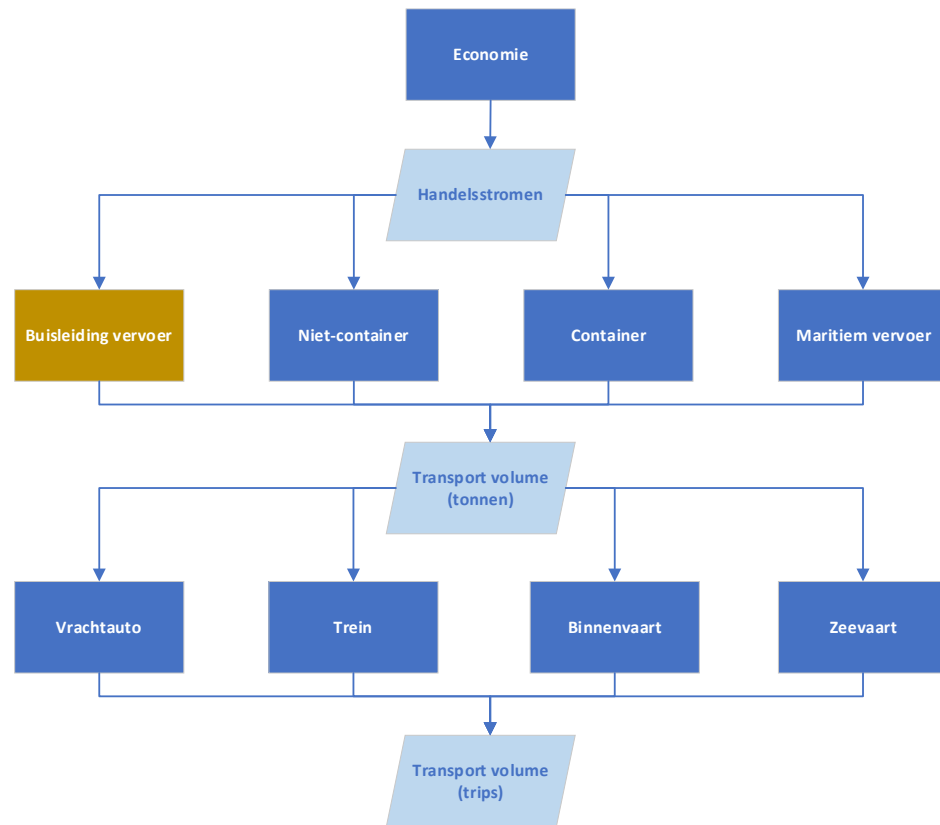
2.2.4

Conclusie

De EM van BasGoed biedt een basis voor het maken van goederenvervoerprognoses door gebruik te maken van een MRIO tabel. Het model kan flexibel worden toegepast met verschillende methoden, zoals de endogene en exogene benadering, om de impact van economische en demografische veranderingen te simuleren. Ondanks de kracht van deze methoden kent de EM enkele beperkingen, vooral in het modelleren van specifieke transitie zoals de afbouw van aardgas. Dit komt door de samenvoeging van aardolie en aardgas in dezelfde goederengroep en de noodzaak van tussen- en/of nabewerkingen om scenario's voor de energietransitie beter te kunnen simuleren. Verdere verfijningen en aanpassingen blijven nodig om de energietransitie en de veranderende vraag naar fossiele en hernieuwbare energie beter te integreren in de prognoses van BasGoed.



Figuur 1 Vereenvoudigd overzicht van BasGoed



Bron: Panteia

2.3 Buisleidingtransport in BasGoed

Het buisleidingtransport is momenteel een conceptuele en gedeeltelijk geïntegreerde modaliteit in BasGoed, waaraan nog verder gewerkt wordt om bijvoorbeeld de impact van de energietransitie te kunnen modelleren (zie Kiel et al, 2024). Buisleidingen spelen een belangrijke rol in het transport van vloeibare en gasvormige goederen, zoals aardolie, aardgas en chemische producten, en worden steeds belangrijker voor het transport van nieuwe energiedragers zoals waterstof en CO₂.

2.3.1 Huidige status van buisleidingtransport in BasGoed

Momenteel is het buisleidingtransport in BasGoed opgenomen, maar in een beperkte en nog niet volledig ontwikkelde vorm. De module richt zich vooral op bestaande buisleidingstromen voor traditionele energiedragers. Deze stroomdata zijn gebaseerd op historische gegevens en schattingen van transportvolumes via bestaande buisleidingen.

De huidige buisleidingmodule biedt weinig flexibiliteit om toekomstige stromen van nieuwe energiedragers, zoals waterstof of ammoniak, nauwkeurig te modelleren. Dit maakt het lastig om de impact van de energietransitie en de verwachte modal shift van weg- en watertransport naar buisleidingen volledig te simuleren.

2.3.2

Conceptuele ontwikkeling van de Buisleidingmodule

Om buisleidingtransport te integreren in BasGoed, wordt gewerkt aan een verbeterde buisleidingmodule met vier sub-modules:

- 1 *Groeimodule*. Deze module voorspelt de groei van bestaande buisleidingstromen op basis van economische scenario's en energietransitie-aannames.
- 2 *Nieuwe Stromen-module*. Deze sub-module voegt toekomstige goederenstromen toe, zoals het transport van waterstof en CO₂, en maakt gebruik van scenario's die rekening houden met infrastructuurontwikkelingen.
- 3 *Modal shift-module*. Deze module simuleert de *potentiële* verschuiving van goederenstromen van andere modaliteiten (zoals weg of binnenvaart) naar buisleidingen. Dit is onder andere van belang voor de energietransitie, waarbij buisleidingen een duurzamer alternatief bieden.
- 4 *Outputmodule*. Hierin worden de resultaten gepresenteerd, inclusief het volume van goederen dat via buisleidingen wordt vervoerd en de impact op het totale transportnetwerk.

2.3.3

Beperkingen en nabewerkingen

Eén van de grootste uitdagingen bij het modelleren van buisleidingtransport is het gebrek aan gedetailleerde en betrouwbare data over toekomstige stromen en de snelheid waarmee nieuwe buisleidinginfrastructuur wordt ontwikkeld. Dit kan leiden tot onnauwkeurigheden in de prognoses, zeker wat betreft nieuwe stromen zoals waterstof en CO₂.

Om deze tekortkomingen op te vangen, kunnen gebruikers nabewerkingen uitvoeren. Dit houdt in dat de output van de buisleidingmodule handmatig wordt gecorrigeerd op basis van externe gegevens of specifieke aannames over energietransitie en infrastructuurprojecten, zoals de aanleg van nieuwe waterstofleidingen.

2.3.4

Verdere ontwikkeling buisleidingtransport in BasGoed

De buisleidingmodule bevindt zich momenteel in de tweede ontwikkelingsfase, waarin de functionaliteit voor modal shifts wordt uitgebreid. Eén van de belangrijkste uitbreidingen is het toevoegen van spoorvervoer als optie voor modal shift naar buisleidingen. Beslisregels worden ontwikkeld om realistische verschuivingen van spoorvolumes naar buisleidingtransport te simuleren.

Een belangrijk aspect van de module is het bepalen van de capaciteit van buisleidingen. Dit gebeurt in een drietrapsbenadering:

- *Technische capaciteitsanalyse*. Verzameling van technische informatie over buisleidingen, zoals diameter, druk en pompcapaciteit.
- *Opstellen van een vereenvoudigd netwerk*. Het netwerk wordt vereenvoudigd en gebaseerd op openbare gegevens uit de Atlas Leefomgeving, wat geschikt is voor de BasGoed-analyses.
- *Uitbreiding met bestaande en geplande leidingen*. Het netwerk wordt geüpdatet met informatie over bestaande en geplande buisleidinginfrastructuur, om zo toekomstige ontwikkelingen in kaart te brengen.

Naast de standaard modal shift van binnenvaart en spoor naar buisleidingen, wordt ook de mogelijkheid onderzocht van een "reverse modal shift". Dit is nodig omdat bij het bereiken van de capaciteit van een buisleiding er niet zonder meer een nieuwe

buisleiding ligt. Voor een nieuwe buisleiding moet er voldoende vervoersvolume om de investering te rechtvaardigen. De reverse modal shift omvat het modelleren van scenario's waarin volumes van buisleidingen terug worden verplaatst naar spoor of binnenvaart.

2.3.5

Conclusie

Het modelleren van buisleidingstransport in BasGoed is belangrijk voor het ondersteunen van de energietransitie. Hoewel BasGoed momenteel nog beperkt is in het modelleren van buisleidingstromen, onder meer door de samenvoeging van aardolie en aardgas in dezelfde goederengroep, biedt de ontwikkeling van een buisleidingmodule hoop voor de toekomst. Verdere verfijning en het splitsen van aardolie en aardgas blijven echter belangrijke aandachtspunten om de impact van de energietransitie realistisch en goed weer te geven.

3



3 Energietransitie en buisleiding

3.1 Inleiding

De energietransitie vraagt om fundamentele veranderingen in de energie-infrastructuur. Buisleidingen spelen een belangrijke rol in de huidige infrastructuur voor het transport van aardgas, olieproducten en chemische stoffen. Met een mogelijke verschuiving naar duurzame energiedragers, zoals waterstof en ammoniak, rijst de vraag in hoeverre de bestaande buisleidingnetwerken kunnen worden aangepast, of dat nieuwe infrastructuur nodig is. Dit hoofdstuk beschrijft de veranderende rol van buisleidingen binnen deze transitie en de uitdagingen en kansen die dit met zich meebrengt.

In Nederland ligt ongeveer 300.000 kilometer buisleiding, waarvan 18.000 kilometer voor het transport van gevaarlijke stoffen (zie [Rijksoverheid, 2024](#)). Deze buisleidingen vormen een onderdeel van het energie- en grondstoffentransport, met verbindingen die vaak landsgrenzen overschrijden. De Structuurvisie Buisleidingen 2012-2035 benadrukt de noodzaak om ruimte te reserveren voor toekomstige buisleidingen, mede vanwege de verwachte groei in transportvolumes en de toenemende behoefte aan veilige en efficiënte transportmodaliteiten voor gevaarlijke stoffen, zoals aardgas of waterstof (Ministerie van I&M, 2012).

De hoofdvraag die centraal staat, is:

Wat is de rol van buisleidingen in de energietransitie en hoe verandert de functie van deze infrastructuur?

Om deze vraag te beantwoorden, wordt in dit hoofdstuk ingegaan op de technische en economische uitdagingen bij het uitbreiden of aanpassen van buisleidingen voor nieuwe energiedragers, zoals waterstof en ammoniak. Deze analyse is belangrijk voor het begrijpen van de impact op de vervoersbehoeften en de investeringen die nodig zijn om de energietransitie te ondersteunen.

De opbouw van het hoofdstuk is als volgt:

- In paragraaf 3.2 wordt de huidige rol van buisleidingen besproken, waarbij de nadruk ligt op het belang van deze infrastructuur voor de economie en industrie.
- Paragraaf 3.4 behandelt de overgang naar duurzame energiedragers, met een beschrijving van de specifieke eisen en uitdagingen bij het transport van waterstof, ammoniak en andere nieuwe energiedragers.
- In paragraaf 3.5 worden de technische en economische aanpassingen besproken die nodig zijn voor de bestaande infrastructuur, evenals de scenario's waarin nieuwe buisleidingen nodig zouden zijn.
- Paragraaf 3.6 kijkt naar alternatieve transportmodaliteiten die kunnen worden ingezet als buisleidingen niet geschikt blijken voor de energietransitie.
- Paragraaf 3.7 bespreekt de mogelijke gevolgen van een versneld of vertraagd verloop van de energietransitie voor de planning en investeringsstrategieën.
- Het hoofdstuk sluit af met paragraaf 3.8, waarin enkele slotopmerkingen worden gedaan.

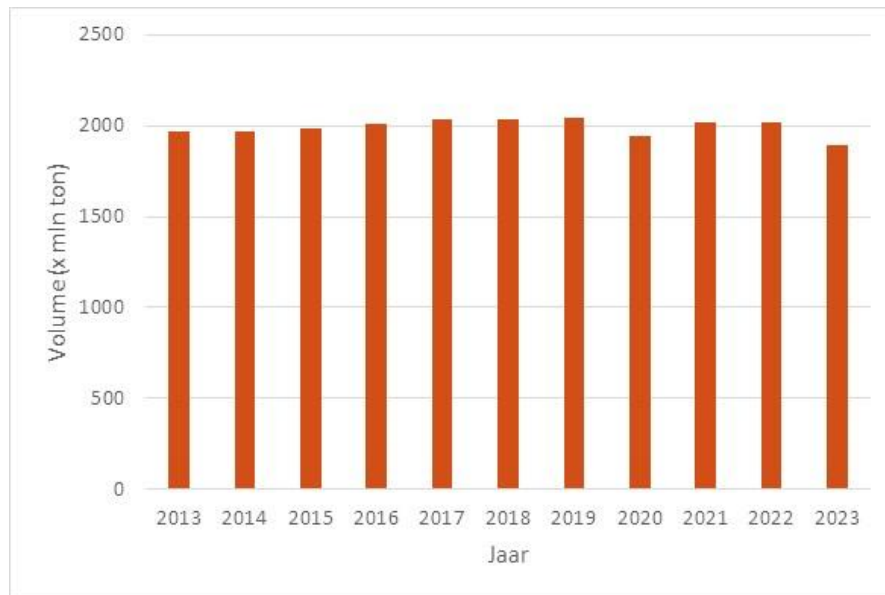
3.2 Goederenvervoer in Nederland

In deze paragraaf belichten we eerst het goederenvervoer in Nederland, om zo de positie van buisleidingen in het goederenvervoersysteem toe te lichten. Dat doen we via enkele algemene kenmerken van het volume aan goederenvervoer naar vervoerwijze en richting over de afgelopen 10 jaar. Daarna gaan we in op het vervoer van gevaarlijke stoffen.

3.2.1 Algemeen

Figuur 2 geeft het totale volume van het goederenvervoer in Nederland weer voor alle vervoerwijzen. Het totale vervoerde volume is over de jaren heen relatief stabiel gebleven, met lichte fluctuaties. De piek ligt rond 2018-2019, wat mogelijk te maken heeft met economische groei in die periode. Er is een lichte daling zichtbaar in 2020, wat gerelateerd is aan de impact van de COVID-19-pandemie op het goederenvervoer. Na herstel in 2021 lijkt het volume in 2023 weer iets te zijn afgenomen, mogelijk als gevolg van structurele en geopolitieke veranderingen. Deze grafiek benadrukt de algehele stabiliteit van het goederenvervoersysteem in Nederland, maar toont ook de noodzaak om rekening te houden met externe factoren (zoals economische schommelingen, corona, geopolitieke veranderingen en de energietransitie).

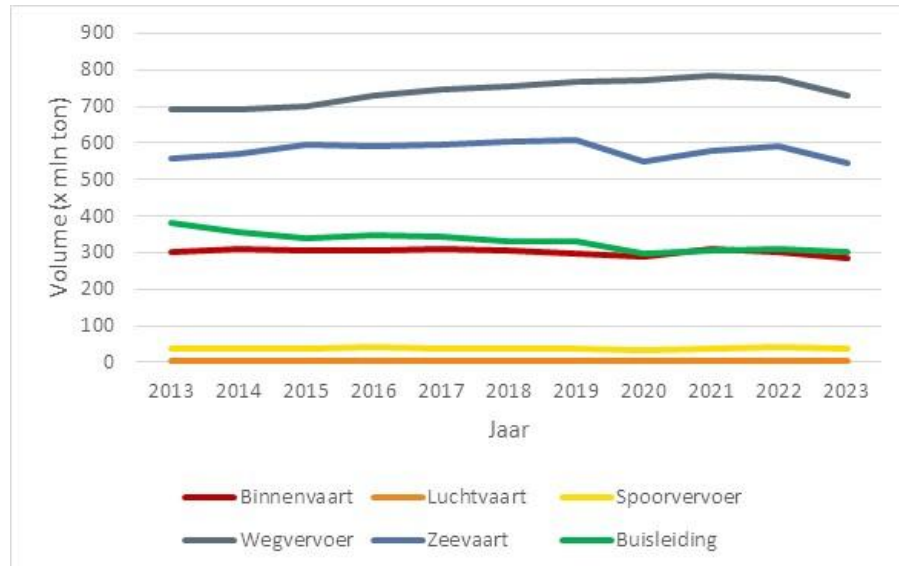
Figuur 2 Totaal volume goederenvervoer (mln ton) 2013-2023



Bron: CBS

Figuur 3 laat de absolute volumes zien die met verschillende modaliteiten zijn vervoerd tussen 2013 en 2023. Zeevaart en wegvervoer domineren het totale volume. Binnenvaart is een stabiele modaliteit door de jaren heen. Het volume via buisleidingen neemt licht af, wat waarschijnlijk samenhangt met de afname van fossiele brandstoffen (aardgas). De omvang van het volume via buisleidingen is vergelijkbaar met die via de binnenvaart. Spoor- en luchtvervoer zijn in vergelijking met de andere modaliteiten klein qua volume.

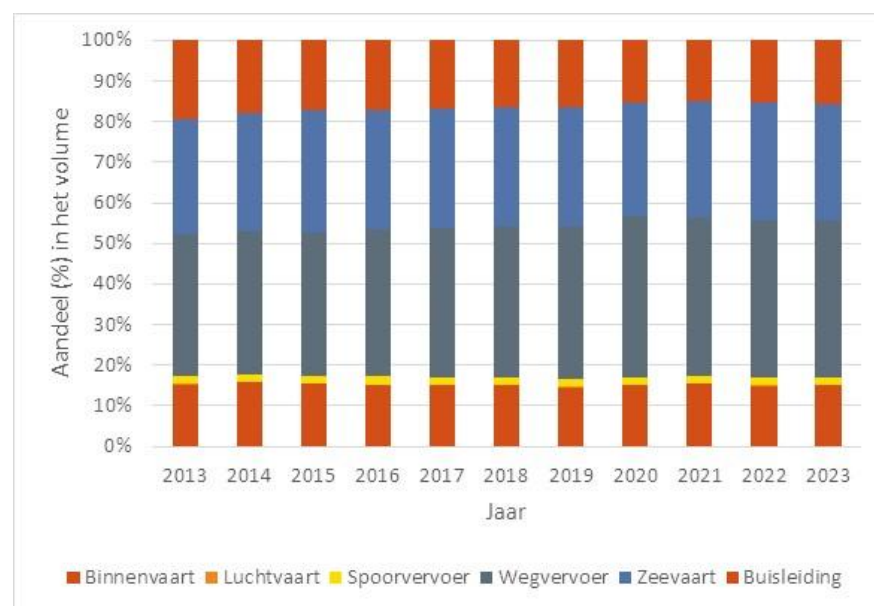
Figuur 3 Volume goederenvervoer (mln ton) per modaliteit 2013-2023



Bron: CBS

Figuur 4 toont de verdeling van het vervoerde volume als percentage van het totaal per modaliteit. Het wegvervoer heeft het grootste aandeel (38% in 2023), gevolgd door zeevaart (29%), betaande uit zowel deep sea als short sea. Het aandeel van binnenvaart is stabiel (15% tussen 2013 en 2023). Het aandeel buisleiding neemt langzaam af van 19% in 2013 naar 16% in 2023. Spoor en luchtvaart hebben een aandeel van respectievelijk 2% en 0%.

Figuur 4 Aandeel modaliteiten (%) in totaal vervoerde volume



Bron: CBS

Figuur 5 Volume goederenvervoer (mln ton) naar richting (aanvoer, afvoer, binnenlands)

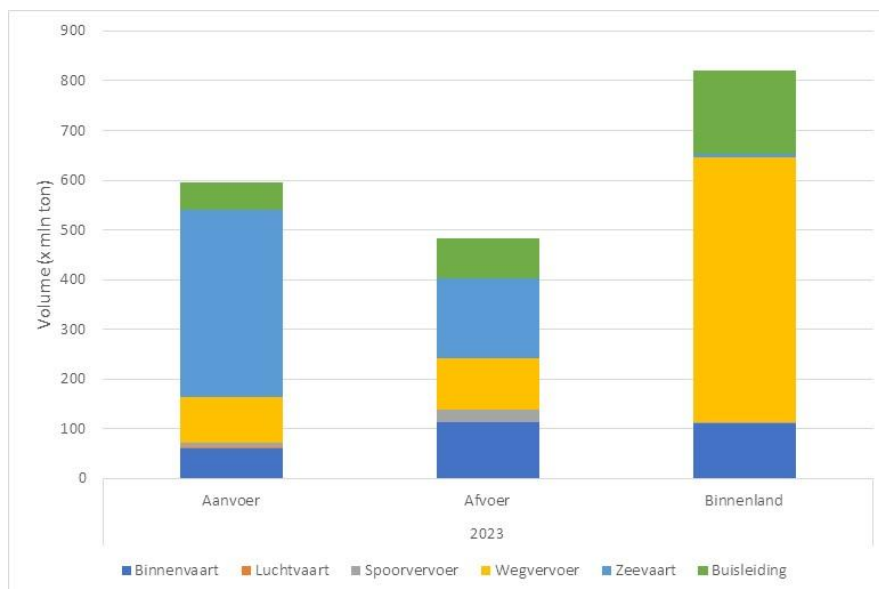


Bron: CBS

Figuur 5 toont het vervoerde volume uitgesplitst naar aanvoer, afvoer en binnenlands vervoer. Binnenlands vervoer domineert met een constant hoger volume (tegen de 900 mln ton) in vergelijking met aan- en afvoer (respectievelijk rond de 600 en 500 mln ton). Echter, gezamenlijk zijn de aan- en afvoer groter. Hoewel dit lijkt aan te tonen dat Nederland een belangrijke locatie is voor de aan- en afvoer van goederen, moeten we benadrukken dat tonnen vaak dubbel geteld worden. Aanvoer van olie over zee en afvoer via buisleiding zijn dezelfde tonnen, maar gemeten voor een andere modaliteit.

Figuur 6 vergelijkt de modal split van de verschillende richtingen (aanvoer, afvoer, binnenland) in 2023. Voor binnenlands vervoer speelt wegvervoer een grote rol, terwijl bij aanvoer en afvoer zeevaart dominant is. Het aandeel van buisleidingen is zichtbaar maar bescheiden in vergelijking met andere modaliteiten. Buisleidingen spelen vooral binnen Nederland een belangrijke rol.

Figuur 6 Modal split per richting in 2023



Bron: CBS

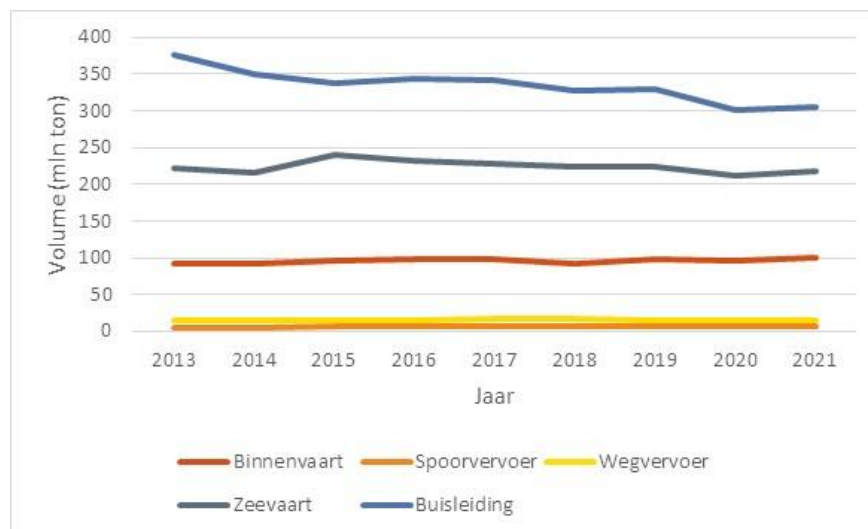
3.2.2

Vervoer van gevaarlijke stoffen

Deze paragraaf biedt een overzicht van het vervoer van gevaarlijke stoffen in Nederland tussen 2013 en 2021, met een nadruk op volumes, verdeling naar richting en de rol van verschillende modaliteiten. Ze illustreren zowel de totale trends in het transport van gevaarlijke stoffen als de specifieke bijdragen van modaliteiten zoals buisleidingen, binnenvaart, zeevaart, spoor- en wegvervoer. Ze tonen de dynamiek in het vervoer van gevaarlijke stoffen, de verschuivingen als gevolg van externe factoren zoals de energietransitie, en de afhankelijkheid van specifieke modaliteiten voor bepaalde transportstromen.

Figuur 7 laat de ontwikkeling van de vervoerde volumes voor gevaarlijke stoffen per modaliteit zien. Buisleidingen domineren het transport van gevaarlijke stoffen, maar wel met een geleidelijke afname tussen 2013 en 2021, wat mogelijk verband houdt met de energietransitie en de daling van aardgasvolumes. Binnenvaart laat een stabiele trend zien. Spoor- en wegvervoer hebben beperkte volumes en blijven redelijk constant over de jaren. Zeevaart blijft een belangrijke modaliteit, hoewel er ook hier een lichte daling zichtbaar is in de recentere jaren.

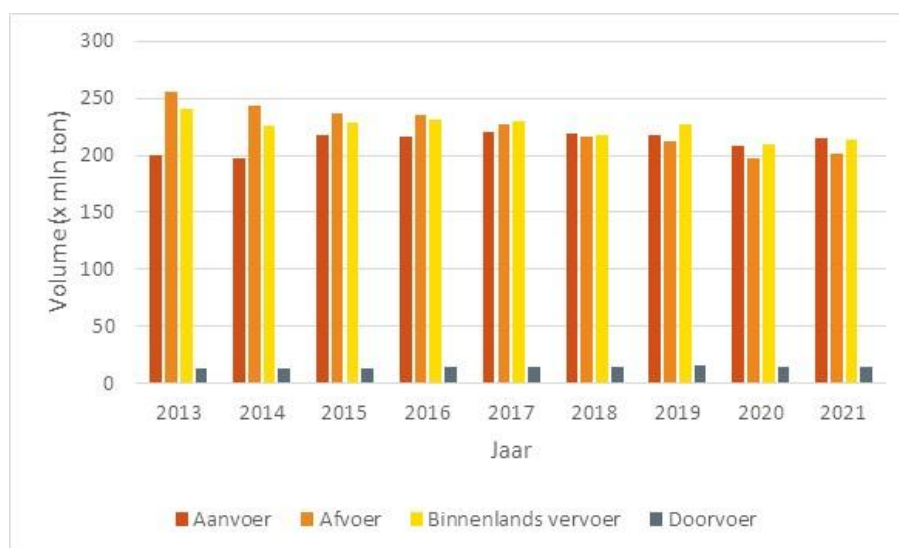
Figuur 7 Volume gevaarlijke stoffen per modaliteit (2013-2021)



Bron: CBS

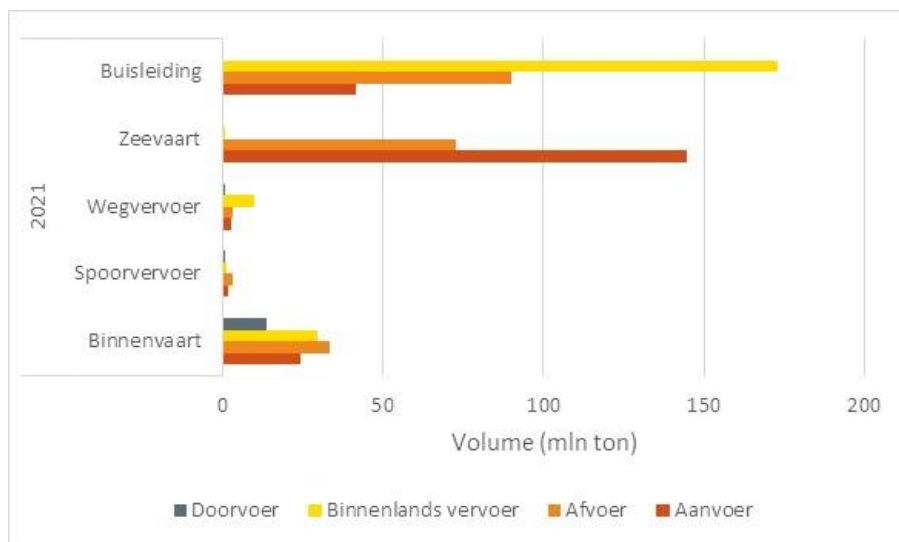
Figuur 8 richt zich op de verdeling van deze volumes aan gevaarlijke stoffen naar richting (aanvoer, afvoer, binnenlands vervoer en doorvoer). Dit geeft inzicht in het nationale en internationale belang van het vervoer van gevaarlijke stoffen. Alle richtingen tonen een dalend patroon. Aan- en afvoer dalen licht, met afvoer aanvankelijk hoger dan aanvoer, maar na 2018 zijn die rollen omgedraaid. Binnenlands vervoer is even belangrijk als aan- en afvoer, wat de belangrijke rol van het vervoer van gevaarlijke stoffen binnen Nederland benadrukt. Doorvoer is relatief klein in vergelijking met andere richtingen.

Figuur 8 Verdeling van gevaarlijke stoffen naar richting (2013-2021)



Bron: CBS

Figuur 9 Modal split gevaarlijke stoffen naar richting (2021)



Bron: CBS

Figuur 9 koppelt modaliteiten aan de richting voor 2021. Buisleidingen zijn dominant in het binnenlands vervoer van gevaarlijke stoffen, vooral vanwege de rol in het vervoer van aardgas en aardolie. Chemische producten spelen een kleinere rol. Zeevaart heeft een groot aandeel in de aan- en afvoer, wat logisch is gezien de import en export via zeehavens. Binnenvaart is belangrijk in alle richtingen. Vooral voor doorvoer van gevaarlijke stoffen is de binnenvaart van belang. Spoor- en wegvervoer hebben een marginale rol in het vervoer van gevaarlijke stoffen, maar zijn wel relevant voor specifieke niches zoals korte-afstandsleveringen of regionale distributie.

3.2.3

Conclusie

Buisleidingen zijn een belangrijk onderdeel van het Nederlandse goederenvervoersysteem, vooral voor het transport van vloeibare en gasvormige gevaarlijke stoffen zoals aardgas, aardolie en chemische producten. Ze bieden een efficiënte en veilige modaliteit. Vooral voor het binnenlands vervoer is hun aandeel significant. Desondanks laten recente trends een lichte afname in het gebruik van buisleidingen zien, voornamelijk door de dalende vraag naar fossiele brandstoffen als gevolg van de energietransitie.

Hoewel buisleidingen een relatief bescheiden aandeel hebben in het totale goederenvervoer (circa 16% in 2023), blijven ze dominant in het vervoer van gevaarlijke stoffen. Ze vullen daarbij andere modaliteiten aan, zoals zeevaart voor aan- en afvoer en binnenvaart voor doorvoer. Dit onderstreept het belang van buisleidingen als een stabiele en duurzame modaliteit. Voor de toekomst ligt hun potentie vooral in het vervoer van nieuwe energiedragers zoals waterstof, ammoniak en CO₂, mits de infrastructuur hiervoor technisch wordt aangepast.

3.3 Huidige rol van buisleidingen

Buisleidingen vormen een efficiënte en veilige transportmodaliteit voor grote volumes van vloeibare en gasvormige producten (mits goed gecontroleerd en getest). Ze maken het mogelijk om deze stoffen snel en met een relatief laag risico te verplaatsen tussen productie-, opslag- en consumptiepunten, zonder dat daarbij andere modaliteiten zoals weg, spoor en binnenvaart, wordt belast.

De belangrijkste toepassingen van het huidige buisleidingennetwerk zijn het transport van:

- *Aardgas*. Het aardgasnetwerk is de grootste gebruiker van buisleidingen in Nederland. Aardgas is belangrijk voor de warmtevoorziening, elektriciteitsproductie en industriële processen.
- *Olieproducten en chemicaliën*. Transport van olie, chemische stoffen en andere grondstoffen via buisleidingen is cruciaal voor de petrochemische industrie in clusters zoals de Rotterdamse haven en Chemelot in Limburg.
- *CO₂ en restwarmte*. In toenemende mate wordt het netwerk ook gebruikt voor innovaties zoals CO₂-opslag en restwarmtetransport.

Buisleidingen ondersteunen de chemische en energie-intensieve industrieën die afhankelijk zijn van een betrouwbare en goedkope toevoer van grondstoffen. De overheid ziet de bestaande buisleidinginfrastructuur als een belangrijke asset die moet worden onderhouden en uitgebreid om de concurrentiepositie van Nederland te behouden.

Verder positioneert Nederland zich als een belangrijk knooppunt in het Europese energietransport. Via het netwerk worden grondstoffen niet alleen binnen Nederland vervoerd, maar ook naar buurlanden, wat mede bijdraagt aan de logistieke positie van Nederland als de ‘gasrotonde’ van Europa.

Buisleidingen kennen diverse voordelen, zoals veilig vervoer van gevaarlijke stoffen, minder CO₂ uitstoot en minder congestie. Ondanks de voordelen kent het transport via buisleidingen ook risico's. Incidenten zoals gaslekken of olievervuiling kunnen ernstige gevolgen hebben voor de omgeving. Het Besluit externe veiligheid buisleidingen (Bevb) reguleerde tot 1 januari 2024 de veiligheidseisen voor buisleidinginfrastructuur, waarbij rekening wordt gehouden met risico's voor omwonenden en milieugevoelige gebieden. Daarnaast worden er voortdurend maatregelen getroffen om graafschade te voorkomen, die een belangrijke oorzaak blijft van incidenten met buisleidingen. Dit vereist samenwerking tussen leiding-exploitanten, overheden en gebruikers van de ondergrond (zie [Atlasleefomgeving, 2024](#)).

Sinds 1 januari 2024 is de Bevb vervallen en opgenomen in de Omgevingswet, het Besluit activiteiten omgeving en het Besluit kwaliteit leefomgeving (zie [ILT, 2024](#)). Deze regels zorgen ervoor dat buisleidingen zijn geïntegreerd in de ruimtelijke ordening en dat er voldoende ruimte wordt gereserveerd voor uitbreiding.

3.4 Transitie naar duurzame energiedragers

De energietransitie brengt een verschuiving met zich mee van het gebruik van fossiele brandstoffen naar diverse duurzame energiedragers, zoals waterstof, ammoniak, elektriciteit uit hernieuwbare bronnen (water, wind, en zon) en biobrandstoffen. Hoewel waterstof en ammoniak veel aandacht krijgen als transporteerbare energiedragers, is het nog onduidelijk welke energievorm de meeste dominantie zal worden. De 'winnende' energiedrager zal afhangen van technologische doorbraken, economische haalbaarheid, en beleidsbeslissingen die de ontwikkeling en implementatie van bepaalde infrastructuren bevorderen. Op dit moment is het aannemelijk dat de 'winnende' energiedrager nog lange tijd op zich zal laten wachten. Tot dan zullen uiteenlopende energiedragers naast elkaar blijven bestaan.

Buisleidingen zijn vooral aantrekkelijk voor het transport van energiedragers die in grote volumes efficiënt en veilig over lange afstanden verplaatst kunnen worden, zoals waterstof en ammoniak. Daarentegen is elektriciteit voornamelijk afhankelijk van hoogspanningsnetwerken en transformatorstations voor distributie, terwijl biobrandstoffen mogelijk een minder geïntegreerde rol kunnen spelen, afhankelijk van hun beschikbaarheid en logistieke uitdagingen.

Waterstof en ammoniak worden steeds vaker genoemd als nieuwe energiedragers voor een duurzame toekomst. Waterstof kan worden gebruikt als schone brandstof of als grondstof in industriële processen, terwijl ammoniak in toenemende mate wordt beschouwd als een efficiënte manier om waterstof te vervoeren over lange afstanden. Het transport van waterstof via buisleidingen stelt wel specifieke eisen aan de infrastructuur. Waterstofmoleculen zijn veel kleiner dan methaanmoleculen (zoals die in aardgas), waardoor het risico op lekkage groter is. Dit betekent dat de materialen van de buisleidingen bestand moeten zijn tegen een proces waarbij staal broos wordt door langdurige blootstelling aan waterstof (AT Osborne et al, 2019).

Ammoniak vereist eveneens bijzondere aandacht bij transport via buisleidingen vanwege de giftigheid en het potentieel gevaar bij lekkage. Hoewel ammoniak als energiedrager veelbelovend is, moeten bestaande leidingen mogelijk versterkt, aangepast of vernieuwd worden om de veiligheid te waarborgen.

Een tussenoplossing in de overgang naar een waterstofinfrastructuur is het *bijmengen van waterstof* in het bestaande aardgasnetwerk. Dit proces houdt in dat een bepaald percentage waterstof wordt toegevoegd aan het aardgas dat door de buisleidingen stroomt. Het bijmengen van waterstof kan bijdragen aan het verminderen van CO₂-uitstoot, zonder dat direct grootschalige aanpassingen aan het netwerk nodig zijn. Het bijmengen van waterstof is echter niet zonder complicaties. De huidige aardgasleidingen en gebruiksaanpassingen, zoals cv-ketels en industriële installaties, kunnen waterstof maar tot een bepaald percentage veilig verwerken. Onderzoek wijst uit dat tot 20% bijmenging technisch mogelijk is zonder ingrijpende aanpassingen, hoewel dit afhankelijk is van de specifieke kenmerken van het netwerk en de materialen die worden gebruikt.

Het bijmengen van waterstof wordt gereguleerd door strikte veiligheidsnormen. De Omgevingswet speelt een rol bij het waarborgen van de veiligheid van de netwerken waarin waterstof wordt bijgemengd. Daarnaast is een zorgvuldige monitoring van de effecten op het materiaal van de buisleidingen noodzakelijk (KIWA,2020).

Eén van de belangrijkste vragen bij de energietransitie is of de bestaande buisleidingen kunnen worden aangepast voor het transport van duurzame energiedragers, of dat nieuwbouw nodig is. Dit is een complexe kwestie die afhangt van verschillende factoren, waaronder de technische haalbaarheid, de kosten en de beschikbaarheid van alternatieve infrastructuur. Bedenk daarbij dat de huidige buisleiding-infrastructuur voor aardgas er al tientallen jaren ligt en daarmee mogelijk verouderd is. In de volgende paragraaf gaan we daar verder op in.

De Structuurvisie Buisleidingen 2012-2035 wijst op het belang van het reserveren van ruimte voor dergelijke nieuwe leidingen, vooral in regio's met veel industriële activiteit en logistieke knooppunten. Het Rijk speelt een belangrijke rol bij het plannen en coördineren van deze ontwikkelingen, vooral gezien het internationale belang van buisleidingverbindingen waterstof (Ministerie van I&M, 2012).

De transitie naar duurzame energiedragers opent ook perspectieven voor innovatie. Intelligente buisleidingen, die gebruik maken van sensortechnologie en digitale monitoring, kunnen zorgen voor een veiliger en efficiënter netwerk. Daarnaast zijn er mogelijkheden om buisleidingen te integreren in een zogenaamd 'Physical Internet', waarin goederenstromen op een efficiënte en duurzame manier worden gemanaged (Vannieuwenhuyse et al, 2023).

3.5 Aanpassen of uitbreiden van de infrastructuur

De transitie naar duurzame energiedragers zoals waterstof en ammoniak vereist dat de bestaande buisleidinginfrastructuur technisch wordt aangepast, of dat er investeringen worden gedaan in geheel nieuwe infrastructuur. Dit brengt zowel technische uitdagingen als economische overwegingen met zich mee.

Eén van de meest voor de hand liggende opties is het aanpassen van de bestaande buisleiding infrastructuur. Deze aanpassingen zijn complex en afhankelijk van de aard van de energiedrager die getransporteerd wordt.

Het aanpassen van buisleidingen voor waterstof vereist uitgebreide maatregelen. Waterstof is een bijzonder klein molecuul dat makkelijk door lekken kan ontsnappen en materiaalstructuren kan aantasten, met name door het fenomeen van verbrossing. Dit proces maakt staal broos en kan de veiligheid van het netwerk bedreigen (Antea Group, 2016).

Technische oplossingen omvatten:

- *Versterkte materialen.* Het aanbrengen van coatings of het gebruik van speciaal ontworpen staalsoorten om de integriteit van de leidingen te waarborgen.
- *Verminderen van druk.* Waterstof kan veilig worden getransporteerd bij lagere drukniveaus, wat kan helpen om het risico op lekkage te verminderen.

- *Intelligente monitoring.* De implementatie van sensoren die de druk en materiaalintegriteit continu bewaken, om vroegtijdig problemen te detecteren en lekken te voorkomen.

Voor het transport van ammoniak zijn andere technische eisen van toepassing, vooral vanwege de giftigheid van ammoniak. De aanpassingen kunnen onder meer bestaan uit het versterken van de leidingen en het implementeren van betere veiligheidsmaatregelen bij knooppunten en overslagstations. Bovendien vereist het gebruik van ammoniak strikte protocollen voor incidentmanagement en noodhulp. Het aanpassen van bestaande buisleidingen is niet alleen een technische, maar ook een economische afweging. De kosten van dergelijke aanpassingen zijn hoog en er moet worden vastgesteld of deze opwegen tegen de voordelen van hergebruik van de infrastructuur.

Daarbij moet gelet worden op factoren zoals:

- *Levensduur van aanpassingen.* Hoe oud de huidige infrastructuur is en hoe lang de aangepaste infrastructuur meegaat voordat verdere upgrades nodig zijn.
- *Vergelijking met nieuwbouw.* Het vergelijken van de kosten voor aanpassingen met de aanleg van nieuwe buisleidingen die speciaal ontworpen zijn voor het transport van waterstof of ammoniak.
- *Opschaling en flexibiliteit.* De mogelijkheid om de infrastructuur in de toekomst verder op te schalen of aan te passen aan andere energiedragers.

De investeringen die hiermee gemoeid zijn, hebben niet alleen invloed op energiebedrijven en industrie, maar vereisen ook publieke en private samenwerking. De overheid kan bijvoorbeeld een rol spelen in het verlenen van subsidies of het ontwikkelen van regelgevingskaders die investeringen aantrekkelijker maken voor de private sector (Vannieuwenhuijse et al, 2023).

Als de aanpassing van bestaande buisleidingen niet haalbaar of niet kosteneffectief is, moet worden overwogen om geheel nieuwe infrastructuur aan te leggen. Dit geldt vooral voor regio's met een hoge vraag naar duurzame energiedragers of voor tracés die belangrijk zijn voor het (grensoverschrijdend) transport van de energiedragers. Voor waterstof is de aanleg van een nieuw netwerk soms de meest veilige en duurzame oplossing. Dit kan plaatsvinden langs bestaande industriële clusters en transportcorridors, zoals de Delta Rhine Corridor, waar de vraag naar grootschalig waterstoftransport naar verwachting hoog zal zijn.

De Structuurvisie Buisleidingen 2012-2035 geeft richtlijnen voor waar deze nieuwe leidingen gepland kunnen worden en hoe ze het beste kunnen worden geïntegreerd in bestaande infrastructuur. Dit is van belang om ruimtelijke conflicten te minimaliseren en een efficiënt netwerk op te zetten dat toekomstbestendig is (Ministerie van I&M, 2012).

De investeringen in het aanpassen of bouwen van buisleidingen hebben een grote economische impact. Naast de directe kosten voor de aanleg en het onderhoud van de infrastructuur zijn er ook bredere economische effecten, zoals de impact op de concurrentiepositie van Nederland als energie- en logistiek knooppunt.



Investerings in buisleidingen moeten worden gezien als langetermijnprojecten met een rendement dat pas na meerdere decennia volledig kan worden gerealiseerd. Dit betekent dat zowel overheidsbeleid als private investeringsstrategieën rekening moeten houden met de onvoorspelbaarheid van de energiemarkt en technologische ontwikkelingen.

Overheden, netbeheerders en industriële gebruikers moeten samenwerken om een kosteneffectieve en betrouwbare infrastructuur te waarborgen. Dit kan door middel van publiek-private partnerschappen en innovatieve financieringsmodellen.

De mogelijkheid dat elektriciteit uit hernieuwbare bronnen een grotere rol gaat spelen, betekent dat de afhankelijkheid van buisleidingen voor transport kan veranderen. Mocht elektriciteit de belangrijkste energiedrager worden, dan zal de infrastructuur zich meer richten op slimme elektriciteitsnetwerken en opslagoplossingen, in plaats van grootschalige buisleidinginfrastructuur. Echter, voor waterstof, dat als energiedrager beter geschikt is voor grootschalig industrieel gebruik en opslag, blijven buisleidingen belangrijk. Daarom is het goed om te anticiperen op meerdere scenario's, waarbij flexibiliteit in de infrastructuur essentieel is om toekomstige energiemarkten te bedienen.

3.6 Alternatieve modaliteiten voor energietransport

Het transport van energiedragers via buisleidingen is niet altijd de enige of meest geschikte oplossing, vooral wanneer buisleidingen niet aangepast kunnen worden voor nieuwe energiedragers of wanneer er knelpunten ontstaan door beperkingen in de infrastructuur. In deze paragraaf worden alternatieve modaliteiten besproken die een rol kunnen spelen in de energietransitie en wordt een vergelijking gemaakt van hun voor- en nadelen.

Wanneer buisleidingen niet voldoen aan de eisen voor het transport van nieuwe energiedragers, kunnen andere transportmethoden worden ingezet. De drie belangrijkste alternatieve modaliteiten zijn transport over de weg, per spoor en over water.

- *Weg.* Wegtransport biedt flexibiliteit en kan worden ingezet om kleinere hoeveelheden energiedragers, zoals gecomprimeerd of vloeibaar waterstof, naar specifieke locaties te vervoeren. Het is relatief eenvoudig om routes aan te passen aan de vraag. Echter, het transport van gevaarlijke stoffen over de weg brengt hoge veiligheidsrisico's met zich mee, vooral in stedelijke gebieden. Bovendien heeft wegtransport een aanzienlijk hoger energieverbruik per tonkilometer in vergelijking met buisleidingen.
- *Spoor.* Spoortransport kan een geschikt alternatief zijn voor het vervoer van grotere hoeveelheden energiedragers, vooral over middellange tot lange afstanden. Het biedt een goede balans tussen veiligheid en efficiëntie en heeft een lager energieverbruik dan wegtransport. Spoorwegen hebben echter een minder dicht netwerk. Bovendien zijn er beperkingen in capaciteit en infrastructuur, vooral in gebieden met intensief goederen- en personenverkeer.
- *Binnenvaart.* Transport over water is een andere optie die geschikt is voor het verplaatsen van grote volumes energiedragers. Het is energiezuiniger dan zowel weg- als spoortransport en biedt mogelijkheden voor bulkvervoer over lange

afstanden. De nadelen zijn echter dat watertransport afhankelijk is van geschikte vaarwegen en dat het vaak trager is dan andere modaliteiten. Bovendien zijn de kosten en complexiteit van laden en lossen hoger in vergelijking met buisleidingtransport.

Het kiezen van de juiste transportmodaliteit hangt af van verschillende factoren, waaronder kosten, veiligheid en milieueffecten:

- *Kosten.* Buisleidingen zijn op de lange termijn doorgaans kostenefficiënt voor grootschalig transport, maar de initiële investeringen zijn hoog. Wegtransport heeft lagere investeringskosten, maar is operationeel duurder, vooral bij frequente ritten over lange afstanden. Spoor- en watertransport bevinden zich qua kosten tussen deze extremen in.
- *Veiligheid.* Buisleidingen worden beschouwd als de veiligste modaliteit voor het transport van gevaarlijke stoffen, aangezien het risico op ongevallen en lekkages relatief laag is. Wegtransport is het minst veilig, vooral in dichtbevolkte gebieden, terwijl spoor- en watertransport een betere balans bieden, hoewel ze ook afhankelijk zijn van strikte veiligheidsmaatregelen.
- *Milieu-impact.* Vanuit milieuoogpunt hebben buisleidingen de laagste CO₂-uitstoot per tonkilometer, gevolgd door water- en spoortransport. Wegtransport heeft de hoogste emissies, vooral bij het gebruik van fossiele brandstoffen. Dit maakt buisleidingen en watertransport aantrekkelijker voor de energietransitie, vooral bij een groeiende focus op duurzaamheid.

Een verkennende studie naar de modal shift kansen voor buisleidingen (Panteia, 2024) laat zien dat binnenvaart de beste kansen heeft om goederen tussen buisleiding en binnenvaart uit te wisselen.

Een *multimodale aanpak* kan worden toegepast om de voordelen van verschillende transportmethoden te combineren. Via multimodaliteit kunnen meerdere transportmiddelen worden gebruikt om energiedragers van hun bron naar de eindgebruiker te verplaatsen, waarbij de modaliteit wordt gekozen die het beste past bij elk segment van de reis.

Voorbeelden van multimodale strategieën:

- Waterstof kan bijvoorbeeld worden geproduceerd in havens en per schip worden vervoerd naar een centrale hub, waar het verder wordt gedistribueerd via buisleidingen naar de eindgebruiker.
- In regio's met beperkte buisleidinginfrastructuur kan watertransport (of andere vormen van transport) worden gebruikt om te voorzien in de energievraag.

De energietransitie biedt kansen voor innovatieve oplossingen die alternatieve modaliteiten kunnen versterken. Door middel van digitale platforms en real-time monitoring kan de efficiëntie van multimodale transportnetwerken worden vergroot. Dit helpt om routes te optimaliseren, wachttijden te minimaliseren en de veiligheid van het transport te waarborgen (Netbeheer Nederland, 2021).

3.7 Gevolgen van het tempo van de energietransitie

Het tempo van de energietransitie heeft gevolgen voor de planning en investeringsbeslissingen met betrekking tot buisleidingen. Of de transitie sneller of juist langzamer verloopt dan verwacht, beïnvloedt hoe effectief de bestaande infrastructuur kan worden ingezet en aangepast. Deze paragraaf bespreekt verschillende scenario's en hun implicaties.

Een *versnelde energietransitie* kan worden gedreven door klimaatakkoorden, technologische doorbraken, of een plotselinge stijging van de prijs van fossiele brandstoffen. In zo'n scenario moeten aanpassingen aan de buisleidinginfrastructuur veel sneller worden doorgevoerd dan oorspronkelijk gepland.

De impact op de bestaande infrastructuur is enerzijds dat een snelle groei in de vraag naar duurzame energiedragers zoals waterstof en ammoniak betekent dat bestaande buisleidingen sneller moeten worden aangepast of vervangen. Dit kan leiden tot capaciteitsproblemen als de investeringen en vergunningstrajecten de groeiende vraag niet kunnen bijhouden. Anderzijds kan de beschikbaarheid van materialen en gekwalificeerde arbeidskrachten voor het aanpassen van buisleidingen kan een knelpunt worden, wat de kosten verder opdrijft en de realisatie vertraagt.

Overheden en netbeheerders zullen hun planningshorizon moeten verkorten en sneller beslissingen moeten nemen over investeringen. Dit vraagt om een hoge mate van flexibiliteit in beleidskaders en een versnelde goedkeuringsprocedure voor nieuwe infrastructuurprojecten. Verder kan het noodzakelijk zijn om tijdelijke oplossingen te implementeren, zoals het bijmengen, multimodale oplossingen of het gebruik van mobiele waterstoftankstations of modulaire buisleidingen.

Een *vertraagde energietransitie* kan ontstaan door politieke onzekerheden, economische crises, of vertragingen in de ontwikkeling van duurzame technologieën. In dit geval blijft de vraag naar traditionele fossiele brandstoffen langer bestaan, wat gevolgen heeft voor de planning van de buisleidinginfrastructuur.

Voor het gebruik van bestaande buisleidingen betekent een langzamer tempo enerzijds dat de bestaande buisleidingen langer gebruikt worden voor het transport van aardgas en olieproducten, wat de noodzaak voor aanpassing of vervanging op de korte termijn vermindert. Dit geeft meer tijd om zorgvuldig te plannen en investeringen beter af te stemmen op toekomstige behoeften.

Anderzijds kan de lagere urgentie kan leiden tot uitstel van investeringen in nieuwe technologieën of infrastructuur. Dit biedt de mogelijkheid om kosten te spreiden, maar vergroot ook het risico dat Nederland achterblijft bij andere landen in de energietransitie. Het uitstel van aanpassingen kan bovendien leiden tot hogere kosten op de lange termijn, omdat de noodzakelijke infrastructuur op een gegeven moment alsnog in een kortere periode moet worden gerealiseerd.

Om *robuuste infrastructuur voor buisleidingen* te maken die bestand zijn tegen de onzekerheden in het tempo van de energietransitie, is flexibiliteit belangrijk. Dit kan worden bereikt door te investeren in aanpasbare infrastructuur die zowel bestaande als toekomstige energiedragers kan ondersteunen:

- Nieuwe buisleidingen kunnen zo worden ontworpen dat ze eenvoudig kunnen worden omgebouwd voor andere toepassingen. Bijvoorbeeld, het gebruik van materialen die bestand zijn tegen zowel aardgas als waterstof kan helpen om de infrastructuur toekomstbestendig te maken.
- Door middel van real-time monitoring kan de staat van de buisleidingen continu worden beoordeeld, wat helpt om proactief in te spelen op veranderende omstandigheden. Het gebruik van sensoren en data-analyse maakt het mogelijk om de infrastructuur dynamisch aan te passen en veilig te blijven opereren, ongeacht het tempo van de transitie.
- Overheden en bedrijven moeten adaptieve strategieën ontwikkelen die rekening houden met verschillende scenario's. Dit betekent dat plannen regelmatig moeten worden herzien en dat er ruimte moet zijn voor aanpassingen op basis van nieuwe ontwikkelingen in technologie of beleid (Netbeheer Nederland, 2021).

De *economische impact* van het tempo van de energietransitie is groot. Bij een versnelde transitie kunnen investeringen in duurzame infrastructuur leiden tot economische groei en werkgelegenheid in de sectoren van hernieuwbare energie. Echter, de bijbehorende kosten zijn hoog en er is een risico op financiële verliezen als infrastructuur voortijdig moet worden afgeschreven.

De industrie en met name de (petro-)chemische sector, zal zich moeten aanpassen aan het veranderende aanbod en de vraag naar energiedragers. Dit kan leiden tot disrupties en onzekerheden, maar ook tot kansen voor bedrijven die in staat zijn om zich snel aan te passen en te investeren in nieuwe technologieën.

De overheid kan een belangrijke rol spelen door het bieden van investeringszekerheid en het ondersteunen van innovatieve projecten met subsidies of garanties. Het creëren van een stabiel beleidsklimaat kan bedrijven stimuleren om te investeren, zelfs bij een onvoorspelbaar tempo van de energietransitie.

3.8 Slotopmerkingen

De transitie naar duurzame energiedragers brengt een verandering met zich mee voor de rol van buisleidingen. In dit hoofdstuk is beschreven hoe deze infrastructuur moet worden aangepast en uitgebreid om aan de toekomstige energiebehoeften te voldoen. Buisleidingen blijven een belangrijke transportmodaliteit voor vloeibare en gasvormige energiedragers, met voordelen op het gebied van veiligheid, efficiëntie en lage milieueffecten.

Echter, als andere energievormen zoals elektriciteit uit hernieuwbare bronnen een grotere rol krijgen, kan de behoefte aan buisleidinginfrastructuur juist afnemen, behalve voor specifieke toepassingen in de chemische industrie en voor de opslag van CO₂. Biobrandstoffen kunnen eveneens invloed hebben op de planning van infrastructuur, vooral in niches waar vloeibare energiedragers nodig blijven. Het is mogelijk dat een 'winnende' energiedrager zich nog moet aftekenen, afhankelijk van ontwikkelingen in technologie, marktacceptatie en beleidskeuzes.



De aanpassingen die nodig zijn om waterstof, ammoniak en andere duurzame energiedragers te vervoeren, vereisen grote investeringen. Hoewel sommige aanpassingen technisch haalbaar zijn, is nieuwe infrastructuur onvermijdelijk. Het bijmengen van waterstof in het aardgasnetwerk lijkt een haalbare overgangsmaatregel die de CO₂-uitstoot vermindert en tegelijkertijd gebruik maakt van bestaande infrastructuur. Toch blijft dit een tijdelijke oplossing die verdere innovatie en investeringen zou kunnen vertragen, wat onwenselijk is.

Een multimodale oplossing kan bijdragen aan de overgang van aardgas naar waterstof en ammoniak indien huidige buisleidingen nog niet beschikbaar zijn of nog niet zijn aangelegd. Hiermee kan over langere afstand vervoer van nieuwe energiedragers plaats vinden. Uiteraard wel met inachtneming van de veiligheidsrisico's.

Het tempo van de energietransitie beïnvloedt direct de investeringsstrategie. Een versnelde transitie vraagt om flexibele en snelle aanpassingen, terwijl een vertraagde transitie de tijd geeft voor een meer gespreide aanpak. De toekomstbestendigheid van de infrastructuur is echter in beide scenario's van essentieel belang.

Op basis van het voorgaande zien we een aantal belangrijke aandachtspunten:

- Toekomstige buisleidingen moeten flexibel ontworpen worden, zodat ze aangepast kunnen worden aan veranderende energiedragers. Dit betekent het gebruik van materialen die bestand zijn tegen zowel aardgas als waterstof en het toepassen van technologieën die snelle omschakelingen mogelijk maken.
- Real-time monitoring van buisleidingen met behulp van sensortechnologie moet een prioriteit zijn. Dit verhoogt niet alleen de veiligheid, maar maakt het ook mogelijk om de efficiëntie van het netwerk te optimaliseren en om vroegtijdig in te spelen op lekken of andere problemen.
- Om de energietransitie te versnellen, moeten overheden en bedrijven nauwer samenwerken. De overheid kan bijvoorbeeld het investeringsrisico verminderen door subsidies, belastingvoordelen en andere financieringsmodellen aan te bieden. Dit bevordert investeringen in nieuwe technologieën en infrastructuur. Samenwerking houdt niet op bij de grens, ook op internationaal (Europees) niveau dient te worden samengewerkt om de transitie te bewerkstelligen en om buisleidingen hierin een belangrijke rol te geven.
- De ruimtelijke inpassing van buisleidingen moet worden afgestemd met andere infrastructuurprojecten, zoals wegen, spoorwegen en stedelijke ontwikkeling. Dit vereist een geïntegreerde aanpak waarbij zowel nationale als regionale overheden samenwerken om een efficiënte en toekomstbestendige infrastructuur te realiseren.
- Er is behoefte aan verder onderzoek naar de langetermijneffecten van waterstof en ammoniak op buisleidingen en naar nieuwe technologieën die de aanpassing van de infrastructuur eenvoudiger maken. Het ondersteunen van onderzoeksprojecten kan leiden tot doorbraken die de energietransitie versnellen.

De energietransitie is een complex proces dat voortdurende aanpassing en innovatie vereist. Buisleidingen blijven een belangrijke schakel voor het vervoer van duurzame energie. Het is belangrijk om plannen te maken die flexibel zijn, zodat ze kunnen worden aangepast aan nieuwe technologieën, veranderende marktomstandigheden, andere 'winnende' energiedragers en beleidsontwikkelingen.





4

4 Afbouw aardgas

4.1 Inleiding

De afbouw van aardgas is onderdeel van de energietransitie in Nederland en heeft gevolgen voor zowel de economie als het goederenvervoer. Aardgas wordt steeds verder uit gefaseerd om de CO₂-uitstoot te verminderen en te voldoen aan nationale en internationale klimaatdoelstellingen. Deze verandering brengt uitdagingen met zich mee voor het modelleren van goederenstromen en de impact van de energietransitie op verschillende sectoren.

In dit hoofdstuk bekijken we hoe de afbouw van aardgas wordt gemodelleerd in BasGoed. We bespreken eerst de afbouw van het aardgas in het algemeen. Daarna gaan we in op de huidige modelaanpak, de mate waarin specifieke kenmerken van de afbouw zijn meegenomen, en de beperkingen die nog in het model bestaan. Ook besteden we aandacht aan regionale verschillen en de gebruikte methoden, zoals het toepassen van handels-, technische en preferentiecoëfficiënten. Tot slot gaan we in op de mogelijkheden voor verbeteringen en de aanpassingen die nodig zijn om de afbouw van aardgas nauwkeuriger te modelleren in toekomstige scenario's.

4.2 De afbouw van aardgas

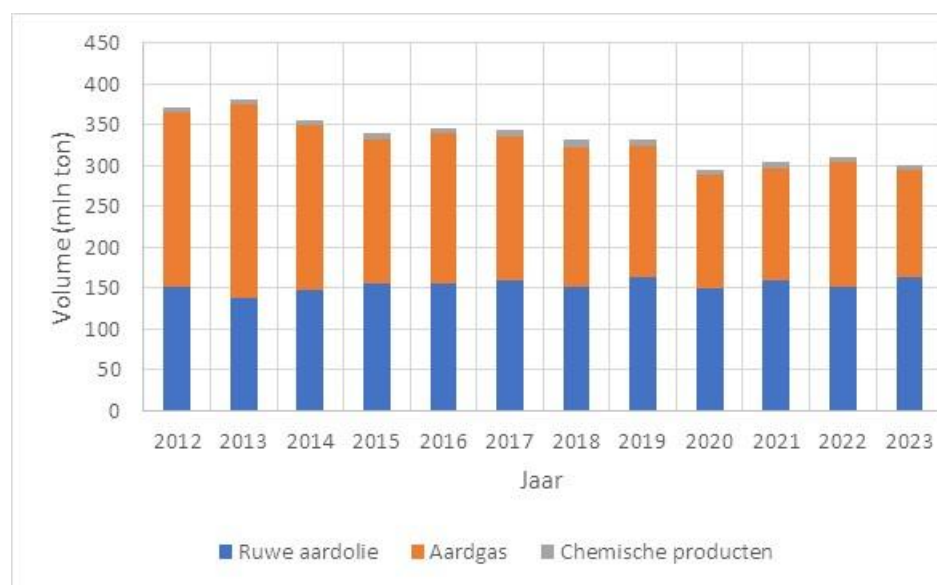
De afbouw van aardgas speelt een belangrijke rol in de energietransitie van Nederland. Door de klimaatdoelstellingen en de noodzaak om de CO₂-uitstoot te verminderen, wordt het gebruik van aardgas in zowel de industriële sector als in huishoudens systematisch afgebouwd. Deze afbouw is verder versneld door de sluiting van de Groningse gasvelden, die naast de milieuoverwegingen ook is ingegeven door veiligheidsrisico's vanwege aardbevingen. Het nationale beleid is erop gericht om alternatieve, duurzame energiebronnen te stimuleren, zoals elektriciteit uit hernieuwbare bronnen, waterstof en biogas, om de energievoorziening van Nederland op een meer duurzame en veilige basis voort te zetten.

De transitie weg van aardgas heeft verstrekende gevolgen voor de Nederlandse economie en het transport van energie. Sectoren die traditioneel sterk afhankelijk zijn van aardgas, zoals de chemische industrie en energieopwekking, moeten hun productieprocessen aanpassen, wat een domino-effect heeft op de gehele logistieke keten en de goederenstromen die met BasGoed worden gemodelleerd. Daarnaast zijn er regionale verschillen: in sommige gebieden, zoals Noord-Nederland, is de impact van de afbouw van aardgas groter door de historische afhankelijkheid van gaswinning.

De afbouw van aardgas is al een tijd bezig. Figuur 10 laat zien dat het vervoer van aardgas via buisleidingen afneemt. In 2012 bedroeg het volume aardgas via buisleiding 214 mln ton, in 2023 was dat 131 mln ton. Een afname van meer dan 80 mln ton (bijna -40%). Dat is al een substantiële daling. Als deze daling zich lineair blijft voortzetten, dan is de afbouw van het vervoer van aardgas via buisleidingen tussen 2035 en 2040 een feit. Realistischer is echter om 2050 aan te houden als beleidslijn.

Merk op dat het vervoer van aardolie en olieproducten via buisleidingen sinds 2012 met 8% is toegenomen van 152 mln ton naar 164 mln ton. Chemische producten hebben met een volume van circa 7 mln ton een klein aandeel in het buisleiding vervoer. Sinds 2018 is dat iets afgenomen, maar de energietransitie kan daar weer verandering in brengen.

Figuur 10 Volume (mln ton) per goederensoort via buisleidingen



Bron: CBVS/Statline

Deze maatschappelijke en economische verandering maakt het noodzakelijk om de afbouw van aardgas en de energietransitie goed te modelleren. BasGoed heeft echter nog enkele beperkingen, zoals de samenvoeging van aardgas en aardolie in dezelfde goederengroep, wat het lastig maakt om de specifieke effecten van de afbouw van aardgas goed in kaart te brengen. Figuur 10 laat die uitdaging goed zien, het vervoer van ruwe aardolie groeit sinds 2012 iets (+8%) en aardgas daalt (-40%).

4.3 De afbouw van aardgas in BasGoed

4.3.1 Afbouw van aardgas in BasGoed

De afbouw van aardgas is een belangrijke factor in de energietransitie en heeft grote gevolgen voor het goederenvervoer in Nederland. Aardgas wordt traditioneel gebruikt in verschillende sectoren, zoals energieopwekking, industrie en huishoudens. BasGoed bepaalt de impact van deze veranderingen door economische scenario's door te rekenen waarin verschillende aannames over de energietransitie zijn opgenomen.

In de gebruikte scenario's³ wordt de energietransitie in algemene zin verwerkt. Hierbij zijn de bredere economische gevolgen van de transitie, zoals de vermindering van de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen, meegenomen. De economische groei en BBP-aannames zijn aangepast om rekening te houden met de verschuivingen naar duurzame energiebronnen en de impact op productieprocessen. Echter, een specifieke en gedetailleerde modellering van de afbouw van aardgas is beperkt gebleven.

Zoals eerder opgemerkt, worden aardgas en aardolie in de MRIO-tabellen gemodelleerd in dezelfde productgroep. Dit betekent dat de afbouw van aardgas niet apart wordt verwerkt, wat leidt tot een beperkt onderscheid tussen de impact op aardgas en die op olie. Voor het modelleren van de afbouw van aardgas zijn wel correcties toegepast, maar deze zijn voornamelijk gebaseerd op aannames die gelijkelijk op alle fossiele brandstoffen worden toegepast, zonder een specifieke focus op aardgas.

In de scenario's is geprobeerd om via technische coëfficiënten een daling van de vraag naar fossiele brandstoffen te simuleren, maar deze aanpassingen waren niet altijd specifiek gericht op aardgas. De verwachting was dat de energietransitie tot een algemene daling van fossiele energie zou leiden, maar zonder een fijnmazige modellering van de afbouw van aardgas.

4.3.2 Regionale splitsing en impact op prognoses

Voor de afbouw van aardgas zijn regionale verschillen niet expliciet zijn gemodelleerd⁴. Dit vormt een tekortkoming, vooral omdat bepaalde regio's, zoals Groningen en delen van Noord-Nederland, disproportioneel worden beïnvloed door de afbouw van aardgas vanwege hun historische afhankelijkheid van de gaswinning.

De regionale splitsing in BasGoed geeft dus geen specifieke aanpassingen voor de aardgasafbouw. Dit betekent dat de impact van de energietransitie in regio's waar aardgas een grotere rol speelt, niet volledig wordt weergegeven. De MRIO-module houdt wel rekening met regionale verschillen in productie en consumptie, maar een gedetailleerd onderscheid tussen regio's met een hoge en lage afhankelijkheid van aardgas ontbreekt.

4.3.3 Behandeling van handels-, technische en preferentievoëfficiënten

Gebruikers kunnen aanpassingen doorvoeren op de technische, handels-, en preferentievoëfficiënten van de productgroep 'Delfstoffen' of hun gesplitste productgroepen. Dit houdt in dat een reductie in het gebruik van aardgas wordt gemodelleerd door een evenredige aanpassing van de coëfficiënten voor de gehele productgroep waarin ook aardolie zit. Dit benadert de werkelijkheid, maar het blijft een ruwe schatting die niet volledig recht doet aan de specifieke afbouw van aardgas.

Deze methode is dus beperkt, omdat de impact op aardolie dan ook wordt aangepast, wat in sommige scenario's mogelijk niet gewenst is.

³ Zie Significance (2023) – Het economische scenario uit WLO II verwerken in BasGoed 6.

⁴ Zie Significance (2023) – Uitkomsten WLO II.

De **handelscoëfficiënten**, die de afhankelijkheid van regio's van internationale handel aangeven, zijn grotendeels constant gehouden in de eerdere scenario's. Dit betekent dat veranderingen in de handelsstromen van aardgas, bijvoorbeeld door afnemende import of verschuivingen naar alternatieve energiedragers, niet expliciet zijn gemodelleerd. De handelscoëfficiënten zijn dus niet significant aangepast om de specifieke afbouw van aardgas weer te geven, wat een beperking vormt bij het modelleren van de impact van de energietransitie op de internationale handel.

Technische coëfficiënten beschrijven hoeveel input van fossiele brandstoffen nodig is voor de productie in verschillende sectoren. In de eerdere scenario's zijn deze coëfficiënten aangepast om een daling van het gebruik van fossiele energie te simuleren. De aanpassingen waren echter voornamelijk gericht op een generieke reductie, zonder specifieke details over de vermindering van aardgas. De technische coëfficiënten voor sectoren die zwaar afhankelijk zijn van aardgas, zoals de chemische industrie en energieproductie, zijn mogelijk onvoldoende aangepast om de werkelijke impact van de afbouw van aardgas te weerspiegelen.

Preferentiecoëfficiënten, die de vraag naar verschillende energiedragers beschrijven, zijn in beperkte mate aangepast om de voorkeur voor duurzame energie te simuleren. De voorkeur voor aardgas is verminderd, maar zonder een gedetailleerd onderscheid tussen verschillende fossiele brandstoffen. Dit betekent dat de preferentiecoëfficiënten niet volledig de transitie naar alternatieve energiebronnen weerspiegelen. Het effect van beleidsmaatregelen die specifiek gericht zijn op het verminderen van het aardgasgebruik is daardoor niet expliciet gemodelleerd.

4.3.4 Tussen- of nabewerkingen en correcties

Gezien de beperkingen van de huidige EM zijn voor de korte termijn tussen- of nabewerkingen noodzakelijk om de impact van de afbouw van aardgas beter te simuleren. Dit houdt in dat de modeluitvoer van de EM *of* van BasGoed wordt gecorrigeerd op basis van aanvullende aannames en externe gegevens.

Na het genereren van de prognoses met BasGoed kan bijvoorbeeld een specifieke correctie worden toegepast op de output om de afbouw van aardgas realistischer te maken. Dit kan door eenvoudige rekenregels toe te passen die het aandeel van aardgas binnen de goederengroep 'Aardolie en aardgas' aanpast. Dit kan desgewenst ook regionaal verder gedetailleerd worden omdat herkomst-bestemmingsinformatie aanwezig is

Bijvoorbeeld, als verwacht wordt dat aardgasgebruik met 50% daalt tegen een bepaald jaar, kan deze reductie worden verwerkt in de uitvoerdata, terwijl de volumes voor aardolie minder of niet worden aangepast.

Een ander belangrijk aspect van de energietransitie is de opkomst van alternatieve energiedragers, zoals waterstof en ammoniak. Deze energiedragers passen momenteel niet goed binnen de bestaande goederengroepen van BasGoed. Als tijdelijke oplossing kunnen nabewerkingen worden gebruikt om een deel van de voorspelde goederenstromen te herverdelen naar de categorie 'Chemische producten' of een andere relevante goederengroep.

Dit vereist het gebruik van aanvullende data, zoals energiestatistieken van Eurostat of beleidsscenario's van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), om de toewijzing zo realistisch mogelijk te maken.

Voor goede nabewerkingen kunnen externe gegevens en prognoses worden gebruikt om de output van BasGoed te verfijnen. Dit kan bestaan uit informatie over verwachte investeringen in nieuwe energie-infrastructuur, beleidsdoelstellingen voor CO₂-reductie, en de technische mogelijkheden voor het ombouwen van aardgasleidingen voor het transport van waterstof.

Door deze externe gegevens te combineren met de BasGoed-output kunnen gebruikers een realistischer beeld krijgen van de impact van de energietransitie op goederenvervoer.

4.3.5

Conclusie

BasGoed is een vervoersvraag model voor de modaliteiten weg, spoor, binnenvaart en zeevaart (deep sea en short sea) en voor 13 goederengroepen, waaronder de combinatie aardolie en aardgas. De prognoses die met BasGoed worden gemaakt zijn herkomst-bestemmingsmatrices voor de dimensies modaliteit, goederengroep en containerisatie. Per herkomst-bestemmingsrelatie worden de volumes in tonnen en TEU's berekend. Zoals is te zien ontbreekt buisleiding als modaliteit, wat belangrijk is voor natte bulk stromen. Hierop komen we later nog terug.

De afbouw van aardgas is BasGoed beperkt en impliciet verwerkt. De belangrijkste tekortkomingen zijn het ontbreken van een specifieke modellering van aardgas als afzonderlijke energiedrager en een beperkte regionale differentiatie. Handels-, technische en preferentiecoëfficiënten zijn over het algemeen constant gehouden of hier en daar generiek aangepast. Hierdoor is de impact van de energietransitie, en specifiek de afbouw van aardgas, niet volledig en nauwkeurig weergegeven in de modeluitkomsten. Dit vormt een uitdaging als een meer gedetailleerde en fijnmazige aanpak nodig is om de transitie realistisch te simuleren.

Hoewel de huidige versie van BasGoed enkele opties biedt om de afbouw van aardgas te modelleren, zijn er aanzienlijke beperkingen. De samenvoeging van aardgas en aardolie in één productgroep in de MRIO-tabel en het ontbreken van specifieke categorieën voor nieuwe energiedragers maken het wellicht nodig om nabewerkingen uit te voeren. Het aanpassen van coëfficiënten en het gebruik van nabewerkingen zijn op dit moment de beste manieren om de impact van de energietransitie te simuleren.

Het blijft echter belangrijk om te erkennen dat deze methoden niet perfect zijn en de onzekerheden rond de energietransitie nog steeds invloed hebben op de prognoses. Verdere verbeteringen in het model, zoals het ontwikkelen van nieuwe goederengroepen en het implementeren van gedetailleerdere data, zijn noodzakelijk voor meer robuuste en betrouwbare prognoses.

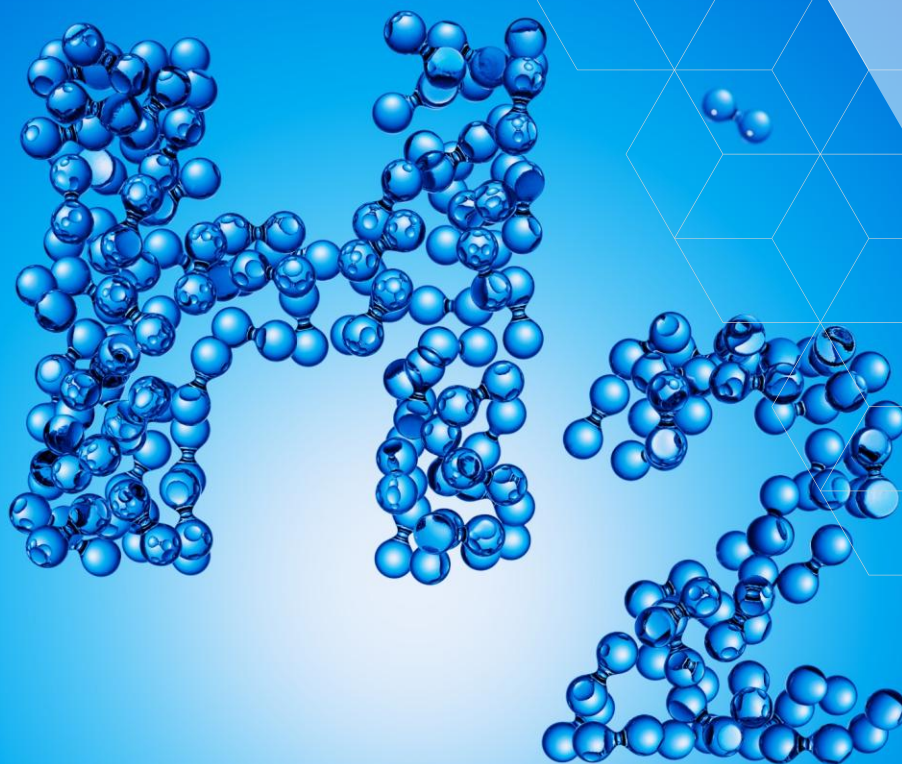


4.4 Slotopmerkingen

Hoe beïnvloedt de afbouw van aardgas de delfstoffensector en de prognoses in BasGoed en welke onzekerheden spelen hierin mee?

De afbouw van aardgas heeft een flinke impact op de delfstoffensector en de prognoses in BasGoed, doordat aardgas een belangrijke energiedrager is voor industrie, huishoudens en energieopwekking. In BasGoed worden aardgas en aardolie echter gecombineerd in één productgroep, wat het lastig maakt om de specifieke effecten van de afbouw van aardgas afzonderlijk te modelleren. Hierdoor is de daling van aardgasvolumes niet volledig zichtbaar in de prognoses. Regionale verschillen, zoals de disproportionele impact op Noord-Nederland vanwege de afhankelijkheid van gaswinning, worden eveneens niet expliciet verwerkt. Dit maakt het lastig om de werkelijke impact van de energietransitie op goederenstromen goed te kwantificeren. Daarnaast blijft er onzekerheid over het tempo van de energietransitie en de opkomst van alternatieve energiedragers, wat invloed heeft op de betrouwbaarheid van prognoses in BasGoed.

Het model biedt enkele mogelijkheden om de afbouw van aardgas te simuleren, zoals aanpassingen in handels-, technische en preferentiecoëfficiënten in het Economie model, maar deze blijven grotendeels generiek en missen de fijnmazigheid om specifieke effecten te vangen. Nabewerkingen, zoals het aanpassen van modeluitvoer op basis van externe data en aannames, kunnen helpen om de impact realistischer te maken. Echter, de samenvoeging van aardolie en aardgas, evenals het ontbreken van categorieën voor nieuwe energiedragers zoals waterstof en ammoniak, beperkt de nauwkeurigheid van de modelresultaten. Toekomstige verbeteringen in BasGoed, zoals het opsplitsen van de delfstoffenproductgroep en het toevoegen van nieuwe energiedragers, zijn essentieel om robuuste prognoses te kunnen maken voor de energietransitie.



5 Nieuwe energiedragers

5.1 Inleiding

Dit hoofdstuk gaat in op de impact van het niet (goed) meenemen van nieuwe energiedragers in BasGoed en de impact van nieuwe energiedragers op andere modaliteiten.

De hoofdvragen die in dit hoofdstuk centraal staan zijn:

Hoe groot is de structurele fout van het niet opnemen van buisleidingen in BasGoed op de prognoses voor het goederenvervoer en kan dit door post-processing worden gecorrigeerd?

BasGoed modelleert momenteel buisleidingen nog niet volwaardig als modaliteit, terwijl dit wel belangrijk is voor het vervoer van fossiele brandstoffen zoals aardgas en aardolie en nieuwe energiedragers als waterstof en ammoniak. De vraag is hoe groot de fout is die wordt gemaakt door buisleidingen te negeren en in hoeverre dit kan worden gecorrigeerd in postprocessing of aanvullende modellen.

Zal de energietransitie leiden tot een verschuiving naar andere modaliteiten of is nieuwe buisinfrastructuur nodig?

Deze vraag hangt sterk samen met de vorige vraag wat de rol van buisleidingen is. De energietransitie leidt tot andere energiedragers, waarvan het nog maar de vraag is welke dat zijn. Dat kunnen energiedragers zijn als waterstof en ammoniak, maar even goed elektriciteit gewonnen uit wind-, zonne- en waterenergie. En uiteraard de vraag in hoeverre modaliteiten als weg, spoor en binnenvaart nieuwe energiedragers kunnen vervoeren. Dit leidt vervolgens tot de vraag of nieuwe buisleidingen nodig zijn.

We gaan hier in de paragrafen 5.2 en 5.3 dieper op in.

5.2 Structurele onzekerheid in de BasGoed prognoses

Buisleidingen spelen een belangrijke rol in het Nederlandse goederenvervoer, maar in BasGoed is deze modaliteit nog niet volledig geïntegreerd. Hoewel een conceptuele module is ontwikkeld, blijft het gebruik hiervan beperkt. Dit roept vragen op over de impact van het ontbreken van buisleidingen in prognoses en de mogelijkheden om deze omissie te corrigeren. In BasGoed worden goederenstromen gemodelleerd vanuit de economische module op basis van handelstonnen tussen productie- en consumptielocaties. Deze handelstonnen worden vervolgens omgezet naar transport-tonnen en verdeeld over modaliteiten. Dit proces leidt echter tot dubbeltellingen, omdat goederenstromen over meerdere modaliteiten worden verdeeld en afzonderlijk worden geteld.

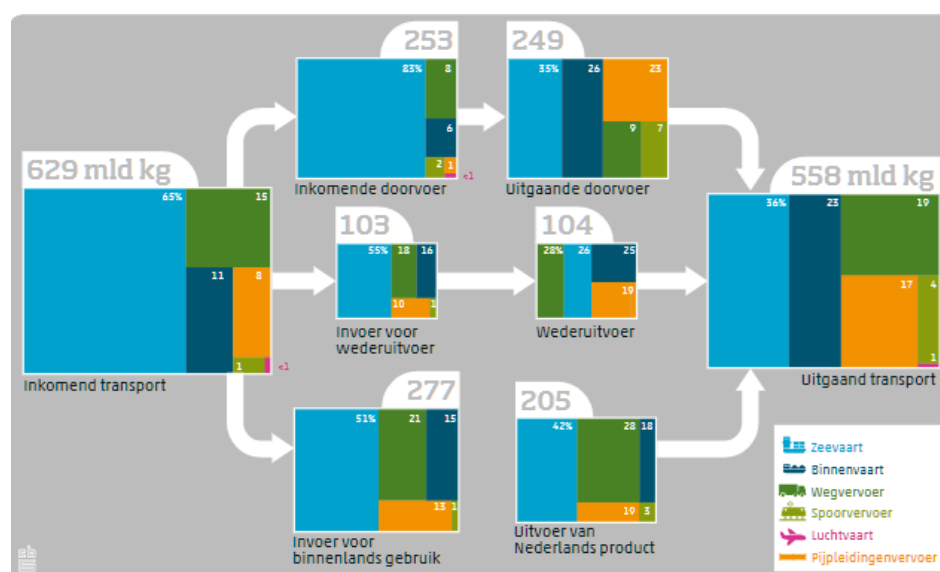


Een voorbeeld van dubbeltellingen is een stroom van 10.000 ton die over zee aan- komt en vervolgens via de binnenvaart verder wordt vervoerd. Hoewel het totale volume 10.000 ton bedraagt tussen productie en consumptielocatie, wordt dit in BasGoed geteld als 10.000 ton voor zeevaart en 10.000 ton voor binnenvaart, wat resulteert in een schijnbaar totaal van 20.000 ton. Een oplossing om dubbeltellingen te vermijden is het gebruik van tonkilometers in plaats van tonnen, omdat ton- kilometers een realistischer beeld geven van de werkelijke bijdrage van modaliteiten. Helaas zijn statistieken over tonkilometers niet *volledig* beschikbaar, wat het lastig maakt om hierover uitspraken te doen.

Onderstaand figuur illustreert de dubbeltelling voor de aan- en afvoer van goederen van en naar Nederland. Wat over zee aankomt, zal voor een deel weer afgevoerd worden met andere modaliteiten zoals binnenvaart of spoor. Dit betekent dat een deel van de 629 mln ton aanvoer ook terug te vinden is in de 558 mln ton afvoer, in totaal 63%.

Het ontbreken van buisleidingen in de transportstromen betekent dat circa 16% van het totale vervoersvolume niet wordt meegenomen. Dit aandeel is substantieel, maar heeft geen directe invloed op andere modaliteiten, aangezien de economische module consistent werkt met alle handelsstromen. Veranderingen tussen productie en consumptielocatie worden in principe correct meegenomen. Als de eerder genoemde 10.000 ton groeit naar 11.000 ton dan wordt zowel zeevaart als binnen- vaart met 10% opgehoogd (even andere aannames buiten beschouwing gelaten). Als binnenvaart zou ontbreken, dan wordt zeevaart nog steeds met 10% opgehoogd. Het niet meenemen van de buisleiding stromen betekent dus niet dat de prognoses van de andere modaliteiten onjuist zijn.

Figuur 11 Aan- en afvoer van goederen (in mld kg) in Nederland in 2019, uitgesplitst naar modaliteit



Bron: [CBS, 2021](#)

De impact van het ontbreken van buisleidingen op prognoses is beperkt. De overige modaliteiten worden nauwkeurig verwerkt dankzij gedetailleerde data met dimensies zoals herkomst, bestemming, goederensoorten, richting, en containerisatie, en variabelen als tonnen, TEU's, tonkilometers en TEU-kilometers. Het weglaten van buisleidingen beïnvloedt dan ook niet de betrouwbaarheid van prognoses voor de andere modaliteiten zoals zee, weg, spoor en binnenvaart.

De energietransitie introduceert wel nieuwe complexiteit in BasGoed. Enerzijds vraagt dit om het modelleren van nieuwe vervoersstromen zoals waterstof en ammoniak. Anderzijds roept het vragen op over modal shift, zoals verschuivingen van binnenvaart naar buisleidingen of omgekeerd.

Nieuwe energiedragers zoals waterstof en ammoniak worden momenteel impliciet verwerkt in bredere categorieën zoals 'Chemische Producten'. Dit kan leiden tot onderschatting van specifieke trends, als in de economische module van BasGoed geen rekening wordt gehouden met een groei van de 'Chemische Producten', waarvan waterstof of ammoniak onderdeel uitmaakt. Mocht het wel zijn meegenomen, dan is het alsnog lastig om iets concreets over waterstof en ammoniak te zeggen, omdat deze goederen niet expliciet als aparte stroom wordt gemodelleerd. Het hoofdstuk over de afbouw van aardgas gaat hier dieper op in, wat voor de modellering van de afbouw van aardgas geldt, geldt omgekeerd ook voor waterstof en ammoniak.

De nieuwe buisleidingmodule biedt de mogelijkheid om stromen zoals waterstof en ammoniak te modelleren. Dit vraagt om aanvullende input, zoals specifieke herkomst, bestemming en minimale vervoersomvang. Zonder deze gegevens blijft het lastig om betrouwbare prognoses te maken. Desalniettemin is de nieuwe module al bij wijze van pilot al gebruikt voor nieuwe stromen.

De module houdt ook rekening met modal shift wanneer de capaciteit van buisleidingen wordt bereikt. Overtollig volume kan dan verschuiven naar andere modaliteiten zoals spoor en binnenvaart. Omgekeerd is een verschuiving naar buisleidingen mogelijk, maar deze optie is beperkt volgens onderzoek (zie Panteia, 2024). Over het algemeen wordt binnenvaart als kandidaat gezien voor een shift van gevaarlijke stoffen naar buisleidingen. Onder andere door veiligheidsrisico's en beperkte volumes wordt het wegvervoer over het algemeen niet gezien als een kandidaat voor een shift.

De energietransitie zelf vereist een hybride vervoersaanpak waarbij meerdere modaliteiten tegelijkertijd worden ingezet. Buisleidingen zijn geschikt voor grote volumes tussen industriële clusters, terwijl andere modaliteiten de komende jaren nodig blijven voor kleinere volumes en tijdelijke oplossingen. Daarbij geldt dat de 'winnaars' en 'verliezers' wat betreft energiedrager de komende tijd niet bekend zullen zijn, waardoor we alle opties open moeten houden.

Wat betreft het modelleren van nieuwe energiedragers kan de conceptuele buisleidingmodule van BasGoed worden gebruikt. Deze is geschikt gemaakt om gevaarlijke stoffen als waterstof en ammoniak door te rekenen. Echter, er zijn ook nabewerkingen nodig om buisleidingen te integreren in de vervoersprognoses. Met behulp van 'expert judgement' en scenario's moeten voorts aannames worden gedaan over zaken als inzet van andere modaliteiten, de snelheid van de energietransitie en de vraag



naar specifieke energiedragers. Bij de berekeningen in BasGoed en de nabewerkingen spelen factoren zoals het tempo van de energietransitie en de vraag naar energiedragers een belangrijk rol.

Prognoses voor buisleidingen blijven wel op een hoog aggregatieniveau. Gedetailleerde data, zoals die beschikbaar zijn voor andere modaliteiten (zoals netwerken), ontbreken vooralsnog voor buisleidingen. Dit maakt het lastig om met voldoende precisie de toekomstige vervoersstromen te modelleren.

Hoewel het buisleidingmodel momenteel nog een concept is in BasGoed, blijft de impact van deze modaliteit op andere modaliteiten beperkt. Voor de energietransitie is het belangrijk om buisleidingen te modelleren, zodat de afbouw van de huidige energiedragers, de opkomst van nieuwe energiedragers en eventuele modal shifts adequaat kunnen worden meegenomen. Met aanvullende data, randvoorwaarden en nabewerkingen kan een basis worden gelegd voor de prognoses. Op de lange termijn is een volledig geïntegreerde buisleidingmodule onmisbaar om de rol van deze modaliteit in een veranderende goederenvervoer goed te begrijpen en te benutten. Voor de korte termijn is de aanbeveling om met behulp van het conceptuele model, spreadsheets en expert input ramingen (inclusief gevoeligheidsanalyses) op te stellen voor de energietransitie in relatie tot buisleidingen.

5.3 Impact op modaliteiten en buisleidinginfrastructuur

De energietransitie kan veranderingen met zich mee brengen in het transport van energiedragers. De verschuiving van fossiele brandstoffen naar duurzamere alternatieven zoals waterstof, ammoniak en elektriciteit stelt nieuwe eisen aan de bestaande modaliteiten. Dit is verweven met de rol van buisleidingen, die op dit moment belangrijk zijn voor het transport van fossiele brandstoffen zoals aardgas en olie, maar mogelijk een andere rol krijgen in een duurzamere economie.

Buisleidingen worden gezien als een logische keuze voor het transport van waterstof en ammoniak vanwege hun geschiktheid voor grootschalig en veilig vervoer over lange afstanden. Vooral tussen industriële clusters, zoals havengebieden en productiecentra, kunnen buisleidingen een efficiënte oplossing bieden. Echter, de aanleg van nieuwe buisleidingen brengt aanzienlijke kosten met zich mee en vereist langetermijninvesteringen. De vraag is of deze investeringen opwegen tegen het aanpassen van bestaande infrastructuur of het benutten van alternatieve modaliteiten.

Alternatieve modaliteiten zoals wegvervoer, spoor en binnenvaart bieden een mate van flexibiliteit die buisleidingen niet hebben. Wegvervoer kan bijvoorbeeld een oplossing zijn voor het vervoer van kleinere volumes waterstof of ammoniak, maar brengt veiligheidsrisico's en hogere CO₂-uitstoot met zich mee. Spoorvervoer biedt een duurzamer alternatief en kan net als binnenvaart worden ingezet voor bulkvervoer over langere afstanden. Beide modaliteiten hebben echter beperkingen qua bereik, capaciteit en infrastructuur, vooral als de volumes aanzienlijk toenemen door de energietransitie.



Elektriciteit, een andere belangrijke energiedrager in de transitie, wordt voornamelijk gedistribueerd via elektriciteitsnetwerken en speelt een minder directe rol in het traditionele goederenvervoer. Toch is de ontwikkeling van het elektriciteitsnet ook belangrijk voor het ondersteunen van de productie en opslag van groene waterstof, wat indirect invloed heeft op de behoefte aan buisleidingen. Te veel nadruk op buisleidingen kan ook weer risico's met zich meebrengen (zie ook [Volkskrant, 27-11-2024](#)).

De energietransitie brengt ook onzekerheden met zich mee, bijvoorbeeld over welke energiedragers dominant zullen worden. Als waterstof en ammoniak de voorkeur krijgen, zal de vraag naar buisleidingen toenemen. Maar als elektriciteit de belangrijkste energiedrager wordt, kunnen buisleidingen een minder prominente rol spelen. Daarnaast is het van belang te bedenken dat bij de productie van waterstof en ammoniak ook elektriciteit nodig. Dit alles benadrukt de noodzaak van flexibel beleid en infrastructuurplanning.

Ook speelt het tempo van de energietransitie een belangrijke rol. Bij een snelle transitie kan de behoefte aan nieuwe buisleidingen urgent worden, vooral om tijdig te voldoen aan de vraag naar grootschalig transport van waterstof en ammoniak. Bij een tragere transitie is er meer tijd om de bestaande infrastructuur aan te passen of vernieuwen en alternatieve modaliteiten te benutten. Dit vraagt om een geïntegreerde aanpak waarbij beleid, technologie en financiering hand in hand gaan.

De energietransitie kan ook leiden tot verschuivingen tussen modaliteiten. Bij beperkte buisleidingcapaciteit kunnen spoor en binnenvaart een deel van het transport (tijdelijk) overnemen. Omgekeerd kan de aanleg van nieuwe buisleidingen leiden tot een modal shift van binnenvaart naar buisleidingen, vooral in gebieden met een hoge concentratie van industriële activiteiten. Onderzoek suggereert echter dat deze shifts meestal beperkt blijven tot specifieke regio's en volumes (zie Panteia, 2024).

Om de energietransitie te ondersteunen, is het belangrijk om de aanleg van nieuwe buisleidingen te combineren met investeringen in andere modaliteiten, inclusief elektriciteitsinfrastructuur. Dit vraagt om een hybride aanpak, waarbij buisleidingen worden ingezet voor grootschalige transportbehoeften en spoor, binnenvaart of wegvervoer worden gebruikt voor kleinere volumes of meer flexibele toepassingen. Tegelijkertijd moet het elektriciteitsnet niet worden veronachtzaamd omdat dit eveneens een belangrijke energiedrager is.

De energietransitie zal leiden tot zowel verschuivingen naar andere modaliteiten als de noodzaak van nieuwe buisinfrastructuur. Andere modaliteiten kunnen tijdelijk het vervoersvolume opvangen indien buisleidingen nog niet gereed zijn. Een combinatie van deze oplossingen, afgestemd op de specifieke kenmerken van de energiedragers en regio's, is noodzakelijk om de transitie succesvol te maken. Flexibiliteit, samenwerking en gerichte investeringen vormen hierbij de sleutel tot een duurzaam en efficiënt transportsysteem.



5.4 Impact van nieuwe energiedragers op goederenvervoer

Bij wijze van experiment is deze paragraaf opgesteld om een indruk te krijgen van het effect van de energietransitie op de benodigde transport capaciteit voor de nieuwe energiedragers. Het betreft een hypothetische invulling. We kijken naar de impact van het *volledig* vervangen van aardgas door waterstof en van aardolie door ammoniak op het totale vervoerde volume en de benodigde vervoerscapaciteit per modaliteit.

Eerder hebben we overzichten gepresenteerd van het totale vervoerde volume (zie Figuur 3) en het vervoer van gevaarlijke stoffen (zie Figuur 7). In 2021 werd het totale vervoerde volume en het vervoer van gevaarlijke stoffen verdeeld over verschillende modaliteiten. Onderstaande tabel geeft een overzicht van het totale volume en het aandeel gevaarlijke stoffen per modaliteit:

Tabel 1 Vervoerde volume (mln ton) en aandeel gevaarlijke stoffen (%) naar modaliteit in 2021 in Nederland

Modaliteit	Totaal volume (mln ton)	Volume gevaarlijke stoffen (mln ton)	Aandeel gevaarlijke stoffen (%)
Binnenvaart	310	100	32%
Spoor	39	6	15%
Weg	785	15	2%
Zeevaart	580	218	38%
Buisleiding	305	305	100%
Totaal	2019	644	32%

Bron: CBS Statline en berekeningen Panteia

Van de 305 miljoen ton gevaarlijke stoffen via buisleiding werd 45% gevormd door aardgas (137 miljoen ton), 52% door aardolie (160 miljoen ton) en 3% door overige chemische producten (8 miljoen ton). Voor de andere vervoerwijzen nemen we voor het gemak aan dat dezelfde verdeling kan worden aangehouden voor gevaarlijke stoffen.

Wanneer we aardgas geheel vervangen door waterstof en aardolie geheel door ammoniak, leidt dit tot aanzienlijke verschillen in het vervoerde volume en de benodigde vervoerscapaciteit. Dit wordt veroorzaakt door het verschil in de energiedichtheid van waterstof en ammoniak. Onderstaande tabel geeft een overzicht.

Tabel 2 Dichtheden (MJ/kg, MJ/L en Kg/m³) per type stof

Type stof	Gravimetrische energiedichtheid (MJ/kg)	Volumetrische energiedichtheid (MJ/L)	Massadichtheid Kg/m ³
Waterstof (1 bar)	120	0,01	0,09
Waterstof (100 bar)	120	1,00	8,30
Waterstof (vloeibaar)	120	8,50	70,83
Ammoniak	17	11,50	680,47
Aardgas (1 bar)	50	0,04	0,80
Aardgas (100 bar)	50	4,71	94,10
Diesel	46	38,00	826,09

Bron: [Demaco](#) en aanvullende berekeningen

Zoals in de tabel is te zien, maakt het voor de volumetrische dichtheid en massadichtheid uit of stoffen onder druk (of vloeibaar) worden vervoerd of niet. De gravimetrische en volumetrische dichtheid hebben beide effect op de benodigde capaciteit. Bij waterstof zien we dat de gravimetrische energiedichtheid veel efficiënter is dan die van aardgas (factor 2,4). Qua volume vergt waterstof meer capaciteit. Bij een druk van 100 bar is het verschil een factor 4,71 in het voordeel van aardgas.

De gevolgen van het geheel vervangen van aardgas door waterstof en aardolie(-producten) door ammoniak zijn voor het goederenvervoer per modaliteit is bij wijze van hypothetisch experiment in onderstaand overzicht kort samengevat. De vervanging van aardgas door waterstof en aardolie door ammoniak leidt tot een aanzienlijke toename in vervoerd volume en daarmee de benodigde capaciteit voor alle modaliteiten. De toename van het vervoerde volume aan gevaarlijke stoffen bedraagt 64% als aardgas en aardolie(-producten) volledig naar waterstof en ammoniak overgaan. De toename van het totaal vervoerde volume per modaliteit varieert van 1% bij het wegvervoer tot 64% bij buisleiding.

Tabel 3 Vervoerde volume (mln ton) en modal split (%) naar modaliteit in 2021 in Nederland bij geheel vervangen van aardgas door waterstof en aardolie door ammoniak

Modaliteit	Totaal volume (mln ton)	Volume gevaarlijke stoffen (mln ton)	Aandeel gevaarlijke stoffen (%)
Binnenvaart	374	165	44%
Spoor	43	10	23%
Weg	795	25	3%
Zeevaart	719	357	50%
Buisleiding	499	499	100%
Totaal	2430	1056	43%

Bron: CBS Statline en berekeningen Panteia

Bij bovenstaande hypothetische berekening moeten we een aantal kanttekeningen plaatsen:

- Het betreft een hypothetische berekening om een indruk te krijgen van het effect op de benodigde capaciteiten van de uiteenlopende vervoerwijzen.
- Het ontbreken van buisleidingen leidt er toe dat de verschil van 16% in het vervoersvolume (in mln ton) kan oplopen tot 20-25%.
- Het is niet gezegd dat waterstof of ammoniak aardgas en aardolie volledig zullen vervangen. Er zijn ook andere energiedragers zoals elektriciteit, biobrandstoffen en synthetische brandstoffen die dominant kunnen worden. In dat geval zal de benodigde transportcapaciteit mogelijk lager zijn. Bovenstaande berekening geeft een globale indruk wat waterstof en ammoniak doen met de capaciteit als zij aardgas en aardolie(-producten) vervangen.
- De overgang van fossiele naar nieuwe energiedragers vereist tijdelijke capaciteit bij de verschillende modaliteiten, aangezien er in de overgangsfase zowel fossiele als nieuwe energiedragers vervoerd moeten worden.
- De verschillen in energiedichtheid (uitgedrukt in MJ/kg en MJ/L) tussen waterstof, ammoniak, aardolie en aardgas betekenen dat er extra buisleidinginfrastructuur nodig lijkt te zijn.
- Tijdens de overgangsperiode is ook extra capaciteit nodig bij andere modaliteiten nodig.

De conclusie uit deze hypothetische berekening is dat de vervanging van aardgas door waterstof en aardolie door ammoniak leidt tot een toename van het vervoerde volume en dus de benodigde vervoerscapaciteit. Deze veranderingen vragen om grote investeringen in transportinfrastructuur, zoals scheepsruijme, spoorwagens, vrachtwagens, buisleidingen en opslagfaciliteiten, om de energietransitie effectief te ondersteunen.

5.5 Slotopmerkingen

Hoe groot is de structurele fout van het niet opnemen van buisleidingen in BasGoed op de prognoses voor het goederenvervoer en kan dit door post-processing worden gecorrigeerd?

Het ontbreken van buisleidingen in BasGoed introduceert een verschil van circa 16% van het totale vervoersvolume (stand van 2023). Dit aandeel omvat belangrijke stromen zoals aardgas, aardolie- en olieproducten, chemische producten en nieuwe energiedragers zoals waterstof en ammoniak. Hoewel dit verschil significant lijkt, heeft het *op dit moment* geen directe invloed op de consistentie van prognoses voor andere modaliteiten zoals weg, spoor, binnenvaart en zeevaart. Dit komt doordat de economische module de handelsstromen tussen productie- en consumptielocaties correct verwerkt.

Gebruik maken van de nieuwe buisleiding module in BasGoed in combinatie met post-processing biedt een praktische oplossing om de omissie van buisleidingen te corrigeren, bijvoorbeeld door het schatten van volumes op basis van scenario's, 'expert judgement' en aannames over nieuwe energiedragers. Deze aanpak levert echter prognoses op een hoog aggregatieniveau, aangezien gedetailleerde data, zoals netwerken en vervoerscapaciteiten, voor buisleidingen ontbreken. Voor de korte termijn

biedt dit een bruikbare oplossing, maar een volledige integratie van buisleidingen in BasGoed is noodzakelijk voor nauwkeurigere prognoses op de langere termijn.

Zal de energietransitie leiden tot een verschuiving naar andere modaliteiten of is nieuwe buisinfrastructuur nodig?

De energietransitie zal zowel leiden tot een verschuiving naar andere modaliteiten als tot de noodzaak van nieuwe buisinfrastructuur. Nieuwe energiedragers zoals waterstof en ammoniak stellen specifieke eisen aan het transport, waarbij buisleidingen een logische keuze zijn voor grootschalig en efficiënt vervoer tussen industriële clusters. Tegelijkertijd blijven alternatieve modaliteiten zoals spoor, binnenvaart en wegvervoer nodig, vooral voor kleinere volumes en locaties zonder buisleidingtoegang. De aanleg van nieuwe buisleidingen brengt hoge kosten en lange doorlooptijden met zich mee, waardoor een hybride aanpak noodzakelijk is op middellange termijn. Dit betekent een combinatie van investeringen in buisleidingen voor grote volumes en de inzet van andere modaliteiten om flexibiliteit en regionale bereikbaarheid te waarborgen. De onzekerheid over welke energiedragers dominant zullen worden, benadrukt de noodzaak van een flexibel transportbeleid en infrastructuurplanning. Samenwerking op nationaal en Europees niveau is belangrijk.

In het hypothetische geval waarbij aardgas geheel wordt vervangen door waterstof en aardolie door ammoniak laat zien dat het vervoerde volume aan gevaarlijke stoffen in tonnen toeneemt van 644 mln ton naar 1056 mln ton, een toename van 64% in totaal maar ook per modaliteit. Dit experiment laat zien dat goed moet worden nagedacht over hoe de transitie moet plaatsvinden en welke energiedragers dominant zullen worden. Het is bij voorbaat geen uitgemaakte zaak dat waterstof of ammoniak als 'winnaars' boven komen drijven.





6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Hoofdvragen en antwoorden

Hoe groot is de structurele fout van het niet opnemen van buisleidingen in BasGoed op de prognoses voor het goederenvervoer en kan dit door post-processing worden gecorrigeerd?

Het ontbreken van buisleidingen als modaliteit in BasGoed leidt tot een verschil in de *totale* goederenvervoerprognoses van ongeveer 16% (het aandeel van buisleiding in 2023). In toekomstige scenario's voor de periode 2040-2060 kan dit verschil oplopen tot 20-25% naarmate buisleidingen een grotere rol gaan spelen in de energietransitie. Het verschil wordt veroorzaakt doordat het vervoersvolume van nieuwe energiedragers zoals waterstof en ammoniak hoger is door hun energiedichtheid. Het verschil in de *totale* goederenvervoerprognoses kan worden gecorrigeerd in BasGoed door middel van post-processing of inzet van het concept buisleidingmodel, waarbij het aandeel van buisleidingen ter grootte van 16-25% wordt meegenomen voor de toekomstjaren. Dit vereist echter wel aanvullende analyses en 'expert judgement' om de verwachte vervoersvolumes goed vast te stellen.

Of we moeten spreken van een *structurele fout* is maar de vraag. In BasGoed wordt in de economiemodule alle goederenvervoer meegenomen. Bij de verdere verwerking zijn buisleidingen echter (nog) niet zichtbaar. Voor de goederenvervoerprognoses is dat op dit moment geen probleem. Dat wordt het mogelijke wel als het hele transportsysteem ingrijpende wijzigingen ondergaat als gevolg van de energietransitie.

Wat is de rol van buisleidingen in de energietransitie en zijn ze geschikt voor het vervoer van energiedragers zoals waterstof en ammoniak?

Buisleidingen spelen een belangrijke rol in de energietransitie door het transport van nieuwe energiedragers zoals waterstof en ammoniak mogelijk te maken. Bestaande buisleidingen kunnen in sommige gevallen worden aangepast voor het vervoer van deze nieuwe energiedragers, maar technische en veiligheidsbeperkingen moeten hierbij in acht worden genomen. Nieuwbouw van buisleidingen is waarschijnlijk noodzakelijk. De geschiktheid van buisleidingen hangt af van factoren zoals de eigenschappen van de energiedragers, de benodigde investeringen, beschikbare ruimte en de veiligheidseisen. Het is mogelijk dat andere modaliteiten tijdelijk of aanvullend nodig zijn, afhankelijk van de snelheid en omvang van de energietransitie.

Zal de energietransitie leiden tot een verschuiving naar andere modaliteiten of is nieuwe buisinfrastructuur nodig?

De energietransitie zal leiden tot een (tijdelijke) verschuiving naar andere modaliteiten zoals weg-, spoor- en binnenvaart, vooral wanneer buisleidingen (nog) niet beschikbaar of aangepast zijn voor nieuwe energiedragers zoals waterstof en ammoniak. Daarnaast moet rekening worden gehouden met andere energiedichtheden waardoor we mogelijk met meer goederenvervoervolumes te maken krijgen. Deze verschuiving en autonome ontwikkeling kan de vervoersprognoses voor deze modaliteiten verhogen. Op de lange termijn is nieuwe buisinfrastructuur of

aanpassing van bestaande buisleidingen noodzakelijk om efficiënt te kunnen voldoen aan de vervoersvraag van nieuwe energiedragers zoals waterstof en ammoniak. De mate waarin nieuwe buisinfrastructuur nodig is, hangt af van de ontwikkeling van verschillende energiedragers (welke worden dominant) en de snelheid van de transitie naar duurzame energiebronnen.

Hoe beïnvloedt de afbouw van aardgas de delfstoffensector en de prognoses in BasGoed en welke onzekerheden spelen hierin mee?

In BasGoed rekent de Economiemodule met een multiregionale input-output tabel. In deze tabel zit een productgroep Delfstoffen. Deze bevat naast steenkool, ijzer, zand en grind ook delfstoffen als aardolie. Voor gebruik worden Delfstoffen gesplitst naar de goederensoorten van BasGoed. Momenteel worden aardgas en aardolie in BasGoed samengevoegd in één goederensoort, wat leidt tot minder goede prognoses. Omdat aardgas sneller wordt afgebouwd dan aardolie, is het beter om deze twee energiedragers apart te modelleren eventueel via post-processing. Er zijn wel onzekerheden over de snelheid van de afbouw van aardgas, die afhangen van technologische ontwikkelingen, beleidskeuzes en marktomstandigheden. Deze onzekerheden maken het noodzakelijk om flexibele modellen en scenario's te ontwikkelen, ondersteund door 'expert judgement'.

6.2 Conclusies

Niet opnemen van buisleidingen in BasGoed introduceert een structurele fout

Buisleidingen worden momenteel niet expliciet als modaliteit gemodelleerd in BasGoed. Dit leidt tot een structurele fout in de *totale goederenvervoerprognoses* van ongeveer 16% (aandeel in 2023). In toekomstige scenario's (2040-2060) kan deze fout oplopen tot naar schatting 20-25% als de energietransitie vordert en buisleidingen een grotere rol spelen. Het extra volume wordt veroorzaakt door het verschil in energiedichtheid van waterstof en ammoniak, waardoor meer volume moet worden vervoerd. De verwachte extra volumes moeten nader worden vastgesteld, bijvoorbeeld via 'expert judgement'.

De afbouw van aardgas beïnvloedt de goederenvervoerprognoses

Aardgas en aardolie zitten in BasGoed in één goederengroep, terwijl aardgas sneller wordt afgebouwd dan aardolie. Deze samenvoeging zorgt voor minder nauwkeurige prognoses en vertekent mogelijk de impact van de energietransitie op goederenstromen. De minder nauwkeurige prognoses, omdat aardgas en aardolie(-producten) als één goederensoort wordt gezien, geldt in principe voor alle modaliteiten.

Nieuwe energiedragers creëren extra vervoersbehoeften

De vervanging van aardgas en aardolie(-producten) door nieuwe energiedragers zoals waterstof en ammoniak leidt tot veranderingen in de vervoersstromen. Door verschillen in energiedichtheid wordt *tot* 63% extra vervoersvolume verwacht om dezelfde energievraag te dekken, wat een impact heeft op de capaciteit van de vervoersmiddelen. De 63% is gebaseerd op een hypothetisch geval waarbij is gekeken naar het volledig vervangen van aardgas door waterstof en aardolie door ammoniak. Door het verschil in energiedichtheid neemt het vervoerde volume toe. De verwachting is echter dat in realiteit het extra volume lager zal zijn dan 63% omdat we rekening moeten houden met onder andere: a) aardgas en aardolie die nog lange tijd in gebruik

blijven, b) met alternatieve energiedragers zoals elektriciteit die kunnen worden ingezet en c) technologische ontwikkelingen als brandstofcellen en supergeleiding die zuiniger zijn dan brandstofmotoren.

Impact op andere modaliteiten

Wanneer buisleidingen niet of minder beschikbaar zijn voor het transport van waterstof en ammoniak, dan zullen mogelijk andere modaliteiten (weg, spoor, binnenvaart) de groei van deze goederenstromen (tijdelijk) moeten opvangen. Dit kan leiden tot een toename van de vervoersprognoses voor deze modaliteiten, afhankelijk van de omvang van waterstof en ammoniak binnen de goederensoort 'Chemische producten' van BasGoed.

Onzekerheden compliceren prognoses

De snelheid en richting van de energietransitie zijn onzeker en hangen af van technologische ontwikkelingen, beleidskeuzes en marktomstandigheden. Deze onzekerheden vragen om aanpassing van de modellen (eventueel via post-processing) en het toepassen van 'expert judgement' voor onderbouwde aannames. Voor de aanpassing van BasGoed zijn enkele suggesties gedaan. Het gaat om het structureel inzetten van de concept buisleidingmodule en het goed splitsen van de productgroep Delfstoffen in de Economie module en het splitsen van de goederengroep Aardgas en Aardolie(producten).

Bestaande buisleidingen bieden potentieel voor hergebruik

Bestaande buisleidingen kunnen in sommige gevallen worden aangepast voor waterstof en ammoniak, maar technische en veiligheidsbeperkingen vereisen verdere beoordeling en investeringen. Alternatieven, zoals nieuwbouw, blijven waarschijnlijk noodzakelijk.

6.3 Aanbevelingen

Pas het concept buisleiding model toe of voer post-processing correcties uit

Voeg het aandeel buisleiding (16-25%) toe aan de *totale vervoersprognoses* om rekening te houden met het huidige en toekomstige aandeel van buisleidingen in het volume aan goederenvervoer. Deze betreffen vooral de natte bulk. Aardgas en aardolie(-producten) worden afgebouwd, tegelijkertijd worden waterstof en ammoniak opgebouwd. De hoeveelheid volume en de snelheid waarmee dat moet gebeuren moet nader worden onderzocht.

Breid dit ook uit naar andere modaliteiten. Analyseer hoeveel waterstof en ammoniak tijdelijk en/of permanent via weg, spoor of binnenvaart worden vervoerd wanneer buisleidingen nog niet beschikbaar zijn of als aanvulling op buisleidingen. Deze toename moet worden meegenomen in de prognoses voor deze modaliteiten.

Splits Delfstoffen en Aardgas en Aardolie(-producten) in BasGoed

Maak met behulp van post-processing voor de korte termijn onderscheid tussen aardgas en aardolie(-producten), aangezien aardgas sneller wordt afgebouwd. Gebruik beschikbare data om de impact op de prognoses nauwkeuriger te modelleren. Neem alle modaliteiten mee, dus niet alleen buisleidingen.

Voor de lange termijn kan worden overwogen om zowel Delfstoffen goed op te splitsen in de Economiemodule, als het opnemen twee aparte goederengroepen, één voor Aardgas en één voor Aardolie(-producten) in BasGoed op te nemen. Dit helpt om betere prognoses te maken en BasGoed in te kunnen zetten voor de impact van de energietransitie op de vervoerde volumes.

Gebruik 'expert judgement' voor nieuwe energiedragers

Betrek experts bij het inschatten van de verwachte volumes van waterstof en ammoniak binnen de goederenstroom voor chemische producten. Deze inschattingen kunnen helpen bij het invullen van de inzet van buisleiding, zeevaart, weg, spoor en binnenvaart voor het vervoer.

Houd rekening met volumes van nieuwe energiedragers

Integreer een toename van volume (tot maximaal 63%) in de prognoses bij vervanging van aardgas door waterstof en aardolie door ammoniak. Bekijk ook wat dit bij andere energiedragers doet zoals biobrandstoffen of methanol. Deze toename moet over alle modaliteiten inclusief buisleiding worden verdeeld. Zoals hiervoor aangegeven is daar 'expert judgement' voor nodig.

Ontwikkel scenario's om gevoeligheden te bepalen

Werk met scenario's die variëren in de snelheid en richting van de energietransitie om de gevoeligheid op het vervoerde volume te bepalen. Denk hierbij aan:

- **Snelle transitie** – Hoge volumes van waterstof en ammoniak via de (tijdelijke) modaliteiten.
- **Langzame transitie** – Langere afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en lagere volumes nieuwe energiedragers en de impact op het gebruik van de modaliteiten.

Maak gebruik van gevoeligheidsanalyses om de impact van deze variaties op goederenstromen te kwantificeren.

Onderzoek multimodale oplossingen

Gebruik in BasGoed alternatieve landmodaliteiten (weg, spoor en binnenvaart) als tijdelijke oplossingen totdat de buisleidinginfrastructuur volledig beschikbaar of aangepast is. Combineer de transportmodaliteiten waar mogelijk om flexibiliteit te vergroten in BasGoed. Dit betekent dat goed moet worden nagedacht over de invulling van de scenario's voor 2040, 2050 en 2060.

Monitor de ontwikkeling van energiedragers

De groei van waterstof en ammoniak is sterk verbonden met de ontwikkeling van chemische producten. Integreer aannames over deze ontwikkelingen in BasGoed (en invoer scenario's), in samenwerking met experts en actuele marktdata. Hou ook een oog op de ontwikkeling van andere energiedragers zoals biobrandstoffen, methanol of elektriciteit. Ook deze kunnen een alternatief vormen voor de huidige fossiele brandstoffen.





Referenties

Literatuur

Antea Group (2016). *Handboek buisleiding in bestemmingsplannen. Handreiking voor opstellers van bestemmingsplannen*. Oosterhout: Antea Group.

AT Osborne, Panteia (2020). *Ontwikkelingen buisleidingen. Achtergronddocument*. Baarn/Zoetermeer: AT Osborne / Panteia.

Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) (2020). *De economische rol van aardgas na de productiebeperkingen*. Den Haag: CBS.

Kiel J, Bok M de, Muller J, Kraan M, Beek J van der & Berg M van den (2024). *Integration Of Pipeline Transport In The Dutch National Freight Transport Model: A Comprehensive Analysis*. Antwerp: European Transport Conference 2024.

Kiwa (2020). *De impact van het bijmengen van waterstof op het gasdistributienet en de gebruiksaanpassingen*. Nieuwegein: Kiwa.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu en Ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie (2012). *Structuurvisie Buisleiding 2012-2035*. Den Haag: Rijksoverheid.

Netbeheer Nederland (2021). *Het Energiesysteem van de Toekomst. Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050*. Den Haag: Netbeheer Nederland.

Panteia (2024). *Kansen voor modal shift naar buisleidingen*. Zoetermeer: Panteia.

Rijkswaterstaat (2024). *BasGoed - Basismodel Goederenvervoer*. Den Haag: Rijkswaterstaat.

Significance (2023). *Het economische scenario uit WLO II verwerken in BasGoed 6*. Den Haag: Significance.

Significance (2023). *M10 Uitkomsten WLO runs*. Den Haag: Significance.

Vannieuwenhuysen B & Breedam A van (2023). *Verkenning modaliteit buisleiding: digitalisering en ketenbesturing*. TSI52.00.094 . Mechelen: TRI-VIZOR.

Websites

Atlas voor de Leefomgeving (2024)
<https://www.atlasleefomgeving.nl/referenties-buisleiding>

Demaco

<https://demaco-cryogenics.com/nl/blog/de-energiedichtheid-van-waterstof-een-unieke-eigenschap/>

Inspectie Leefomgeving en Transport (2024)

<https://www.ilent.nl/onderwerpen/buisleidingen/ontwikkelingen>

Rijksoverheid (2024)

<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/goederenvervoer/transport-van-gevaarlijke-stoffen-via-buisleidingen>

Volkskrant (2024)

<https://www.volkskrant.nl/economie/waterstofpijplijn-dreigt-belangrijke-elektriciteits-verbinding-weg-te-drukken-vrees-voor-stroomtekort~b797bc65/>

Colofon

Titel

Modellering buisleiding voor de energietransitie. Verkenning van uitdagingen en onzekerheden - Achtergronddocument bij WLO 2025 Goederenvervoer

Opdrachtgever

Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)
Bezuidenhoutseweg 30
2594 AV Den Haag
www.pbl.nl

Uitvoering en rapportage

Panteia
Bredewater 26
2715 CA Zoetermeer
www.panteia.nl

Auteur

Jan Kiel

Versie

Definitieve versie, d.d. 16 juni 2025

Projectnummer

10945

Verantwoordelijkheid

De verantwoordelijkheid voor de inhoud van dit rapport berust bij Panteia. Het gebruik van gegevens uit dit rapport is toegestaan, mits met bronvermelding. Overname of verspreiding in welke vorm dan ook is slechts toegestaan met schriftelijke toestemming van Panteia.

Fotografie

De in dit rapport opgenomen foto's zijn afkomstig van Getty Images en worden gebruikt met inachtneming van de bijbehorende licentievoorwaarden.

Aanbevolen referentie

Kiel, J. (2025). *Modellering buisleiding voor de energietransitie. Verkenning van uitdagingen en onzekerheden – Achtergronddocument bij WLO 2025 Goederenvervoer*. Zoetermeer: Panteia.