



Afspraken maken: Van data tot informatie

Informatiebehoeften, datastandaarden en
protocollen voor provinciale
studies - Deel II technische
rapportage



Afspraken maken: Van data tot informatie

Informatiebehoeften, datastandaarden en protocollen voor provinciale systeemstudies - Deel II technische rapportage

Dit rapport is geschreven door:

Nina Voulis, Joeri Vendrik, Reinier van der Veen, Alexander Wirtz, Michiel Haan, Charlotte von Meijnenfeldt, Edwin Matthijssen, Sebastiaan Hers, Ewoud Werkman

Delft, CE Delft, april 2021

Publicatienummer: 21.200227.052

Energievoorziening / Beleid / Informatie / Data / Besluitvorming
VT: Informatiemodellen

Oprachtgever: Rijksdienst voor ondernemend Nederland (RVO)
Uw kenmerk: TSE7200001

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider: Nina Voulis (CE Delft)

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
2	Uitwerking informatieproducten	8
	2.1 Informatieproduct 1: Energievraag en -aanbod	11
	2.2 Informatieproduct 2: Knelpunten infrastructuur	21
	2.3 Informatieproduct 4: Ruimtebeslag	29
	2.4 Informatieproduct 5: Kosten	31
3	Informatiemodellen, standaarden en protocollen	35
	3.1 Wat is een informatiemodel, standaard en protocol?	35
	3.2 Informatiemodellen voor de provinciale systeemstudies	36
	3.3 Uitwisselingsformaten en bestandsformaten voor ruimtelijke data	40
	3.4 Aansturen van apparaten en installaties	42
	3.5 Metadatastandaarden	46
4	ESDL als informatiemodel voor data-uitwisseling systeemstudies	52
	4.1 ESDL-structuur van het informatiemodel	52
	4.2 Belangrijkste informatie-elementen uit de provinciale systeemstudies	54
	4.3 Beschikbaarheid van ESDL-software en rekenmodellen	57
5	Conclusies en aanbevelingen	61
	5.1 Conclusies	61
	5.2 Ontwikkeling gedeelde semantiek	63
	5.3 Afspraken over standaardindelingen	63
	5.4 Afspraken over te hanteren methodes	64
	5.5 Technische randvoorwaarden	64
	5.6 Vooruitblik	65
	Literatuurlijst	66
A	Detailuitwerking Informatieproduct 1	68
	A.1 Gebruikte gegevens deelmodellen Informatieproduct 1 (provincie Limburg)	68
B	Energy System Description Language (ESDL)	80
	B.1 Energy System Description Language (ESDL) - Scope beschrijving	80
	B.2 Mate van detail	80
	B.3 Focus op fase	80
	B.4 Energie assets	80
	B.5 Energiedragers/commodities	81
	B.6 Materialen	81

B.7	Gebouwen	81
B.8	Locatie en ruimtebeslag	81
B.9	3D-aspecten	82
B.10	Gebieden	82
B.11	Energie potentieel	82
B.12	Topologie	82
B.13	Profielen	82
B.14	Grootheden en eenheden	83
B.15	KPIs	83
B.16	Partijen en eigenaarschap	83
B.17	Sectoren	83
B.18	Distributies/procentuele verdelingen	83
B.19	Mobiliteit en Transport	83
B.20	Maatregelen	84
B.21	Energiemarkten	84
B.22	Aansturing van assets, regelingen en dynamisch gedrag	84
B.23	Referentie naar brondata	84
B.24	Beperkingen	84

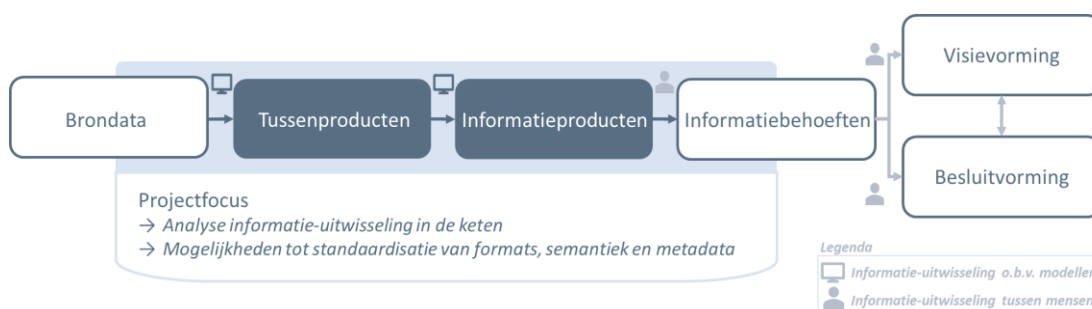
Samenvatting

Dit rapport illustreert hoe modelstudies beter invulling kunnen geven aan informatie-behoefte van stakeholders in de energietransitie. Het toont de potentie van een systematische analyse van de informatieketen en van standaardisatie van de informatie-uitwisseling in die keten. We gebruiken hiervoor provinciale energiesysteemstudies als praktijkvoorbeelden.

Provinciale energiesysteemstudies – of kortweg systeemstudies – brengen prognoses in beeld voor de ontwikkeling van energievraag en -aanbod in de komende decennia. Ze hebben als doel visievorming en uiteindelijke besluitvorming te ondersteunen. Hiervoor moeten ze antwoord bieden op veel verschillende, samenhangende informatiebehoefte van stakeholders. Daarmee zijn systeemstudies geschikte praktijkvoorbeelden om de systematische analyse van de informatieketen en standaardisatie van informatie-uitwisseling te illustreren. In dit rapport gebruiken we de systeemstudies van Noord-Holland en Limburg als casestudies.

De analyse in dit rapport behelst drie aspecten. Eerst analyseren we de informatie-behoefte van de stakeholders betrokken bij de systeemstudies. Vervolgens tonen we hoe informatieproducten aan deze informatiebehoefte kunnen voldoen. Een informatieproduct is een afgebakend pakket van samenhangende informatie op maat van de informatie-behoefte. Ten slotte geven we inzicht in hoe een informatiemodel, de Energy System Description Language (ESDL), gebruikt kan worden om informatie-uitwisseling tussen modellen te standaardiseren. Figuur 1 vat deze informatieketen samen.

Figuur 1 - De informatieketen: overzicht van de stappen van brondata naar invulling van informatiebehoefte ter ondersteuning van visie- en besluitvorming



De volgende vijf informatiebehoefte zijn geïdentificeerd op basis van gesprekken met stakeholders die gebruikmaken van de systeemstudies:

- inzichten in de ontwikkelingen van **energievraag en -aanbod**;
- inzichten in de toekomstige **infrastructuurknelpunten**;
- inzichten in de **oplossingsrichtingen** voor infrastructuurknelpunten;
- inzichten in het **ruimtebeslag** van energiesysteemaanpassingen;
- inzichten in de **kosten** die de energiesysteemaanpassingen met zich meebrengen.

Voor elk van deze informatiebehoefte is een informatieproduct opgesteld. Daarvoor hebben we de informatieketen geanalyseerd: wat zijn concreet en precies de stappen van brondata naar invulling van informatiebehoefte. Voor de modelmatige stappen tussen

brondata, tussenproducten en de uiteindelijke informatieproducten tonen we hoe ESDL gebruikt kan worden voor standaardisatie van informatie-uitwisseling. De grote uitdaging in deze keten is de complexiteit ervan. De systemische vraagstukken in de energietransitie zijn zo complex dat één model niet het volledige antwoord kan bieden. Om inzichten te krijgen in de afhankelijkheden tussen de verschillende sectoren, netwerken, energiedragers en domeinen, worden in de systeemstudies meerdere modellen na elkaar gebruikt. Individuele modellen bieden inzichten in de energiehuishouding van bijvoorbeeld een sector, of in de energiestromen op het elektriciteitsnet. De ‘trein’ van modellen geeft een vollediger plaatje.

Momenteel vraagt het koppelen van modellen veel handwerk. Dit is inefficiënt, tijdrovend en kan leiden tot fouten en inconsistenties. Informatie-uitwisseling tussen modellen kan gestroomlijnd – of gestandaardiseerd – worden. Dit vergt afspraken tussen verschillende stakeholders, waaronder modelontwikkelaars, netbeheerders en overheden die belang hebben bij de integrale blik op het energiesysteem. Vervolgens moeten de ontwikkelaars van modellen deze afspraken in een technische, formele vorm gieten. Standaardisatie van informatie-uitwisseling tussen modellen is daarom arbeidsintensief, kent een lange doorlooptijd en vraagt grote investeringen. Eenmaal voltooid, leidt het tot verbeterde efficiëntie, snelheid, en traceerbaarheid, alsook tot minder fouten en een grotere consistentie.

Met dit rapport illustreren we de voordelen en de uitdagingen van een systematische analyse van de informatieketen en gestandaardiseerde informatie-uitwisseling. Deze resulteert in informatieproducten die beter afgestemd zijn op informatiebehoeften. Standaardisatie van informatie-uitwisseling kan daarnaast belangrijke voordelen met zich meebrengen, zoals uitwisselbaarheid, efficiëntie, snelheid en consistentie. Om dit in de praktijk te bereiken is de inzet nodig van de gemeenschap van energiemodellereurs in samenspraak met eindgebruikers van de modelresultaten in energiesysteemanalyse en de energietransitie in brede zin.

Data en modellen - koken als analogie

Modelstudies kunnen we vergelijken met koken volgens een recept. De data zijn de ingrediënten en het model is het recept zelf. Om een goed resultaat te krijgen, moeten zowel de data als het model van hoge kwaliteit zijn.

Er zijn trajecten, zoals Verbetering van de Informatievoorziening voor de Energietransitie (VIVET), die inzetten op verbetering van data. Zij zorgen ervoor dat er betere, versere, geschiktere ingrediënten beschikbaar zijn.

Deze studie richt zich op de verbetering van de koppeling tussen modellen. Dit kunnen we vergelijken met de bereiding van een lasagneshotel waarbij verschillende mensen verschillende onderdelen vanaf nul maken. Iemand heeft een recept voor het deeg, een ander voor de rode saus, een derde voor de witte saus, een vierde voor de vulling. Om het geheel te laten slagen, moeten het deeg, de rode saus, de witte saus en de vulling op het juiste moment, in de juiste hoeveelheden, en op hetzelfde aanrecht terechtkomen. Hiervoor zijn duidelijke afspraken nodig. Deze studie beschrijft dergelijke afspraken voor energiemodellen.

1 Inleiding

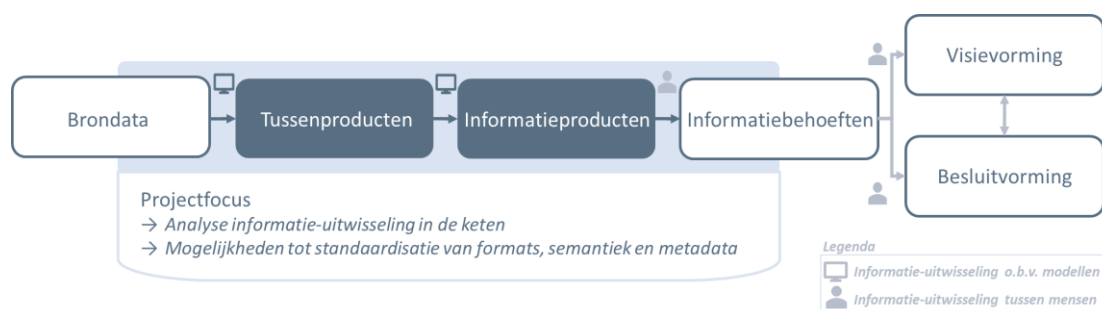
Dit rapport illustreert hoe modelstudies beter invulling kunnen geven aan informatie-behoefden van eindgebruikers van modelresultaten in de energietransitie. Het toont de potentie van een systematische analyse van de informatieketen en van standaardisatie van de informatie-uitwisseling in die keten. We gebruiken hiervoor provinciale energiesysteemstudies als praktijkvoorbeelden.

Deze technische rapportage is Deel II van het rapport ‘Afspraken maken: Van data tot informatie - Informatiebehoeften, datastandaarden en protocollen voor provinciale systeemstudies’. Deel I is geschreven voor beleidsmakers en deze technische rapportage, Deel II is geschreven voor modellers en andere betrokkenen bij energiemodellen en geeft verdere verdieping op Deel I. Beide onderdelen zijn afzonderlijk van elkaar te lezen.

Deel I geeft een overzicht van de uitgevoerde provinciale energiesysteemstudies. Provinciale energiesysteemstudies – of kortweg systeemstudies – brengen prognoses in beeld voor de ontwikkeling van energievraag en -aanbod in de komende decennia. Ze hebben als doel visievorming en uiteindelijke besluitvorming te ondersteunen. Hiervoor moeten ze antwoord bieden op veel verschillende, samenhangende informatie-behoefden van stakeholders. Daarmee zijn systeemstudies geschikte praktijkvoorbeelden om de systematische analyse van de informatieketen en standaardisatie van informatie-uitwisseling te illustreren. In dit rapport gebruiken we de systeemstudies van Noord-Holland en Limburg als casestudies.

De analyse in dit project behelst drie aspecten. Eerst analyseren we de informatiebehoefden van de stakeholders betrokken bij de systeemstudies. Vervolgens tonen we hoe informatieproducten aan deze informatiebehoefden kunnen voldoen. Een informatieproduct is een afgebakend pakket van samenhangende informatie op maat van de informatiebehoefte. Ten slotte geven we inzicht in hoe een informatiemodel, de Energy System Description Language (ESDL), gebruikt kan worden om informatie-uitwisseling tussen modellen te standaardiseren. Figuur 2 vat deze informatieketen samen.

Figuur 2 - De informatieketen: overzicht van de stappen van brondata naar invulling van informatiebehoeften ter ondersteuning van visie- en besluitvorming.



Deel I geeft een overzicht van het voorgaande. Deel II bevat verdere verdieping op de informatieproducten en de rol van datamodellen, speciaal gericht op modellers van en andere betrokkenen bij energiemodellen.

Deel II begint met een detailuitwerking van de vijf belangrijkste informatieproducten bij provinciale energiesysteemstudies (**Hoofdstuk 1**). Voor elk informatieproduct is een ‘Fiche’ uitgewerkt. Deze bevat een omschrijving van het informatieproduct, datastromen, een overzicht van de gebruikte data, tussenproducten, betrokken stakeholders, verbeterpunten en potentie voor automatisering. Het hoofdstuk bevat ook een verdere detailuitwerking van deze aspecten, specifiek bedoeld voor modellers en andere technische betrokkenen.

Hierna volgt een introductie in informatiemodellen, standaarden en protocollen (**Hoofdstuk 2**). Het hoofdstuk bevat een uitleg van informatiemodellen, standaarden en protocollen. Vervolgens worden mogelijke informatiemodellen en/of standaarden voor het beschrijven van de informatie die uitgewisseld moet worden tussen modellen in het kader van de provinciale systeemstudies beschreven. Uit de vergelijking blijkt dat de Energy System Description Language (ESDL) een goede basis biedt voor toepassing in de context van de systeemstudies.

In **Hoofdstuk 3** gaan we specifiek in op de toepassing van de ESDL als informatiemodel voor data-uitwisseling tussen rekenmodellen die in de provinciale systeemstudies gebruikt worden. We gaan kort in op de structuur van het ESDL-informatiemodel en bespreken de toepassing van ESDL voor de informatieproducten uit Hoofdstuk 1. In het laatste deel van het hoofdstuk geven we een inkijk in de software die ontwikkeld is met betrekking tot ESDL en wat de rol binnen de context van provinciale systeemstudies zou kunnen zijn.

Tot slot volgen in **Hoofdstuk 4** conclusies en aanbevelingen voor modellers en software-ontwikkelaars omtrent gestandaardiseerde informatie-uitwisseling. We geven een overzicht van kansen voor gestandaardiseerde informatie-uitwisseling, met name bij de zeer data intensieve trajecten ingezet voor de verkenning van de toekomstige energietransport-infrastructuurbehoefte (I13050, provinciale systeemstudies, CES, RES, etc.). Daarnaast schetsen we wat er nodig is om tot meer gestandaardiseerde informatie-uitwisseling te komen. Deze conclusies en aanbevelingen zijn complementair aan die in Deel I van het rapport.

2 Uitwerking informatieproducten

Dit hoofdstuk beschrijft in detail de inhoud en de totstandkoming van de informatieproducten die invulling kunnen geven aan informatiebehoeften van stakeholders. De volgende vijf informatiebehoeften zijn geïdentificeerd op basis van gesprekken met stakeholders die gebruikmaken van de systeemstudies:

1. Inzichten in de ontwikkelingen van **energievraag en -aanbod**.
2. Inzichten in de toekomstige **infrastructuurknelpunten**.
3. Inzichten in de **oplossingsrichtingen** voor infrastructuurknelpunten.
4. Inzichten in het **ruimtebeslag** van energiesysteemaanpassingen.
5. Inzichten in de **kosten** die de energiesysteemaanpassingen met zich meebrengen.

Voor elk van deze informatiebehoeften is een informatieproduct opgesteld. Daarvoor hebben we de informatieketen geanalyseerd: wat zijn concreet en precies de stappen van brondata naar invulling van informatiebehoeften.

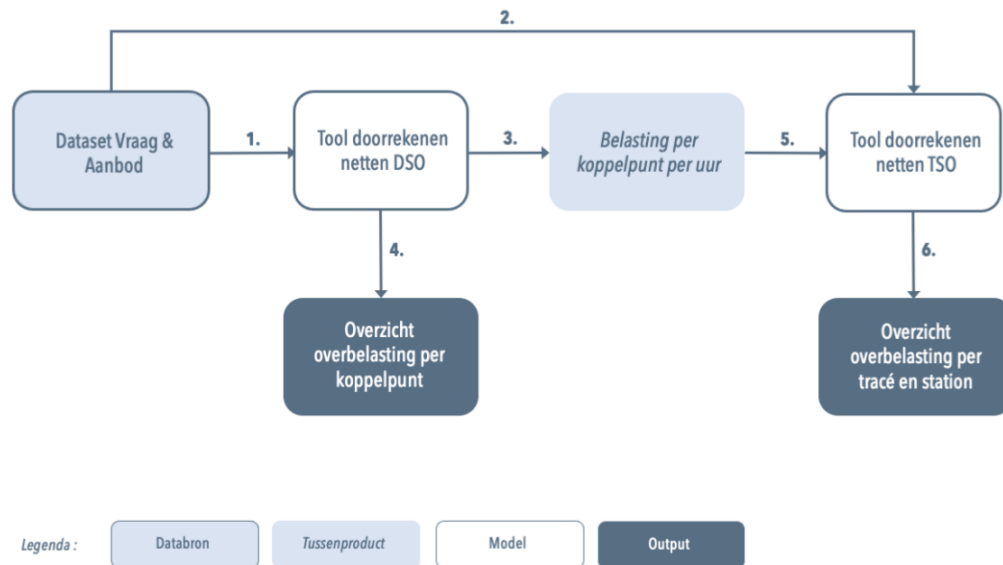
We hebben de vijf genoemde informatieproducten uitgewerkt in de vorm van 'Fiches'. De Fiches zijn uitgewerkt op drie verschillende detailniveaus:

1. Visueel.
2. Tekstuele toelichting op visueel.
3. Inhoudelijke en technische details voor standaardisatie.

Hierdoor zijn de Fiches toegankelijk voor geïnteresseerden met een meer of minder inhoudelijke en technische interesse. Iedere Fiche begint met een pagina met een visueel overzicht van de opbouw van het informatieproduct uit de brondata en tussenproducten, de samenhang met andere informatieproducten, de belanghebbenden voor wie het relevant is, eventuele toekomstige verbeterpunten en de potentie voor automatisering en standaardisatie.

In het tweede detailniveau wordt de visuele informatie verder toegelicht en uitgewerkt voor de inhoudelijke geïnteresseerde lezer. Het bevat een compleet overzicht en beschrijving van de gebruikte gegevens, de verwerking hiervan met verschillende modellen en de aannames die hierbij zijn gedaan om tot resultaten te komen. Iets verderop in deze rapportage komen deze verdere uitwerkingen terug. Een voorbeeld van een weergave van een dergelijke uitwerking staat in Figuur 3.

Figuur 3 - Voorbeeld van schematische weergave van gebruikte modellen voor dataverwerking in systeemstudies



Informatieproduct 2

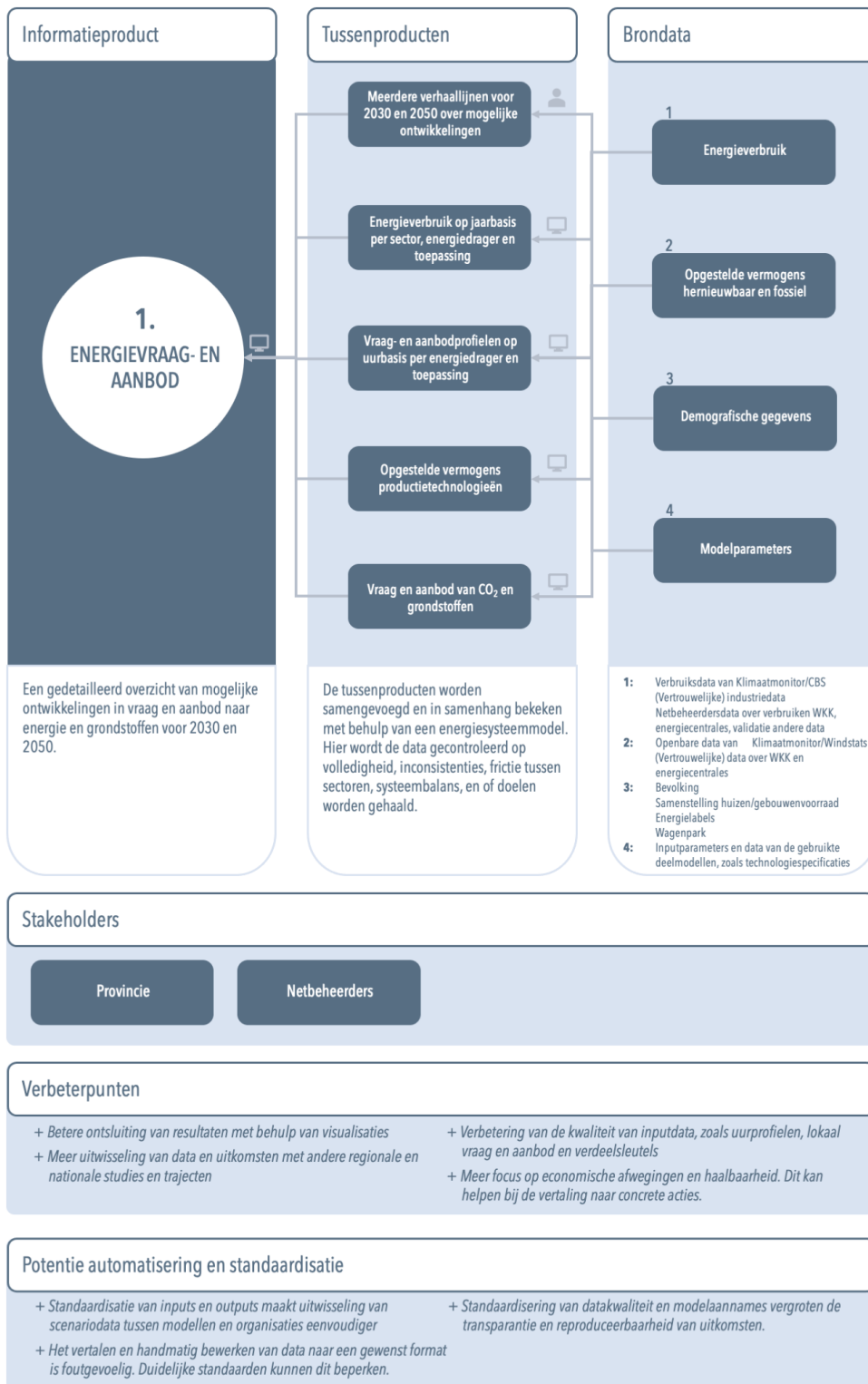
Het derde detailniveau van de Fiches bevat vervolgens een zeer gedetailleerde en uitvoerige toelichting van alle gegevens die worden uitgewisseld tussen de verschillende bronnen, tussenproducten en modellen. Dit derde detailniveau is vooral van belang voor modelleers en technisch geïnteresseerden en als naslagwerk. Ze zijn opgenomen in Appendix A, om de leesbaarheid te bevorderen.

De uitwerking van de informatieproducten dient tevens als basis voor de uitwerking van de mogelijkheid om data-uitwisseling te standaardiseren en de eisen die dit stelt aan het informatiemodel. Dit is beschreven in de Hoofdstukken 2 en 3. Daarom bevatten de Fiches her en der ook al verwijzingen naar de Energy System Description Language (ESDL) die in die hoofdstukken wordt toegelicht.

De informatieproducten zijn niet allemaal in gelijke mate uitgewerkt omdat de systeemstudies zelf niet in gelijke mate op de informatieproducten focussen. Het informatieproduct 1, energievraag en -aanbod, is het meest uitgewerkte. Daarvan zijn alle details van de informatie-uitwisseling in beeld gebracht in deze studie. Dit informatieproduct vervult in zijn eigen recht een informatiebehoefte, en is ook de basis voor andere informatieproducten (en is daarmee tegelijk een eindproduct en een tussenproduct). Ook Informatieproducten 2 en 3 behoren tot de kern van de systeemstudies en hebben in de voorbije systeemstudies een uitgebreide informatie-uitwisseling gekend. Dit is in deze studie in beeld gebracht. Informatieproducten 4 en 5 zijn minder ver uitgewerkt dan de eerste drie, omdat ze ook maar beperkt aan de orde zijn gekomen in de voorbije systeemstudies. De exacte uitwerking van de informatie-uitwisseling die nodig is om deze informatieproducten tot volwassenheid te brengen, moet blijken uit verdere studies. In dit rapport hebben wij ons voor deze informatieproducten beperkt tot een uitwerking op basis van de informatiebehoefte die is opgehaald in de interviews en werksessies. Verdere uitwerking zal eventueel moeten plaatsvinden in toekomstige systeemstudies of voor vergelijkbare scenario studies.

Hierna volgen voor de vijf informatieproducten de uitwerkingen Niveau 1 en 2.

2.1 Informatieproduct 1: Energievraag en -aanbod



2.1.1 Inhoud van informatieproduct

Dit informatieproduct bevat informatie over de toekomstige vraag en productie van energie in hoog detailniveau.

Het informatieproduct heeft de volgende dimensies:

- **Scenario's:** Omdat de toekomst inherent onzeker is, zijn meerdere scenario's uitgewerkt over hoe het energiesysteem zich kan ontwikkelen.
- **Zichtjaar:** De scenario's beschrijven het energiesysteem in 2030 en 2050.
- **Energiedragers:** De scenario's beschrijven vraag en aanbod van elektriciteit, gas, warmte en waterstof. Andere energiedragers zoals biomassa en olie kunnen op een lager detailniveau meegenomen worden.
- **Grondstoffen:** Naast energie wordt er ook gekeken naar grondstoffen voor de industrie en tuinbouw, zoals CO₂.
- **Sectoren en toepassingen:** De energiestromen worden uitgesplitst naar de sectoren Gebouwde omgeving, Mobiliteit, Landbouw, Industrie en Energie (productie). Binnen een sector wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende toepassingen van energie en technologieën. Bijvoorbeeld: Welk deel van de elektriciteitsvraag van de Gebouwde omgeving is in de toekomst bestemd voor verwarming? En hoeveel daarvan gaat naar luchtwarmtepompen, hybride warmtepompen en e-boilers?
- **Tijdsschaal:** De data is beschikbaar op jaarbasis en uurbasis.
- **Geografie:** De data is zowel beschikbaar op hoog geografisch detailniveau (bijvoorbeeld CBS-buurt) als geaggregeerd niveau (bijvoorbeeld provincie of RES). Het eerste wordt gebruikt voor analyses met een grote geografische component (bijvoorbeeld netbelasting), het tweede voor analyses op systeemniveau.

2.1.2 Verbeterpunten

Het informatieproduct bevat enorm veel waardevolle informatie en data. Deze informatie op een toegankelijke manier beschikbaar maken, bijvoorbeeld met behulp van visualisaties, verhoogt de waarde van het informatieproduct.

Er is veel overlap tussen het informatieproduct en andere trajecten, zoals Transitievisies Warmte, RES'en, gemeentelijke plannen en landelijke studies. Er is behoefte aan betere aansluiting op deze trajecten en uitwisseling van resultaten.

De kwaliteit van de inputdata kan beter. Met name data over (regionale) uurprofielen en verbruiken bieden ruimte voor verbetering, maar ook potentie voor geothermie of restwarmte bijvoorbeeld. Betere toegang tot vertrouwelijke data in de industrie- en energiesector helpt hierbij. Ook data voor 'verdeelsleutels' (om data op een hoger geografisch niveau te vertalen naar buurtniveau) is beperkt beschikbaar.

De scenario's zijn nu opgesteld met een grotendeels 'energetische blik'. Meer ruimte voor economische overwegingen, optimalisatie en focus op realistische uitkomsten kan voor nieuwe inzichten zorgen. Dit kan ook helpen om de systeemstudie als input te laten dienen voor concrete uitwerking van plannen.

2.1.3 Potentie voor automatisering en standaardisering

Standaardisatie van inputs en outputs maakt uitwisseling van scenariodata tussen modellen en organisaties eenvoudiger. Hierdoor wordt het makkelijk om resultaten uit verschillende studies over te nemen.

Het vertalen en handmatig bewerken van data naar een gewenst format is foutgevoelig. Duidelijke standaarden kunnen dit beperken.

Standaardisering van datakwaliteit en modelaannames vergroten de transparantie en reproduceerbaarheid van uitkomsten.

2.1.4 Samenhang met andere informatieproducten

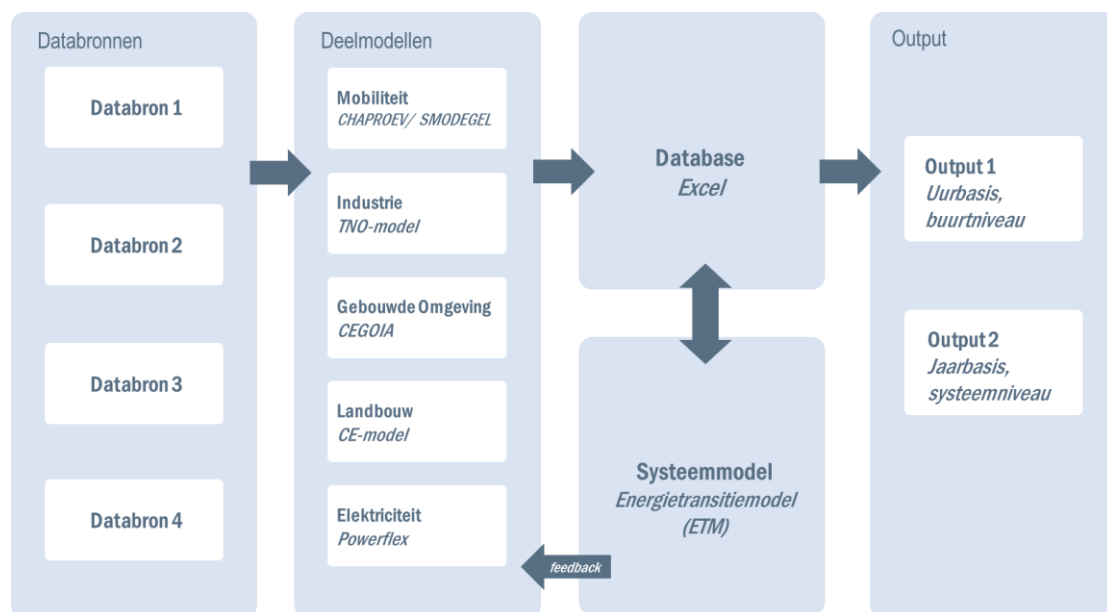
Dit informatieproduct vormt de basis voor Informatieproducten 2-5. Dit informatieproduct geeft de 'hoeken' van het speelveld aan waar de andere producten op voortbouwen.

Tussenproducten

Met sectormodellen worden scenario's doorgerekend. Dit levert per sector de volgende 'halffabricaten' op:

- Energieverbruik per energiedrager en toepassing.
- Opgestelde vermogens per productietechnologie.
- Bijbehorende vraag- en aanbodprofielen op uurbasis, uitgesplitst naar energiedrager en toepassing.
- Per categorie is aangegeven voor welk netvlak dit relevant is. Sommige grootverbruikers of producten zitten direct aan het net van TenneT en zijn dus niet relevant voor de RNB's.
- Vraag en aanbod van CO₂ en grondstoffen.

2.1.5 Gebruikte inputgegevens en rekenproces



De deelmodellen worden gevoed met brondata. De uitkomsten (tussenproducten) worden verzameld in een database en ingeladen in een energiesysteemmodel. Voor de deelmodellen die niet op uurbasis rekenen, vult het systeemmodel de database met bijpassende uurprofielen. Vervolgens worden de scenario's gecontroleerd op volledigheid, inconsistenties, frictie tussen sectoren, systeembalans, en of doelen worden gehaald. Op basis van deze inzichten worden de deelmodellen bijgesteld en de tussenproducten opnieuw doorgerekend en uiteindelijk omgezet in het definitieve informatieproduct.

Voorbeelden van gebruikte (deel)modellen zijn: CEGOIA (Gebouwde omgeving; CE Delft), CHAPROEV/SMODEGEL (mobiliteit; TNO), Energietransitiemodel (o.a. mobiliteit, industrie, landbouw; Quintel), Powerflex (elektriciteit; CE Delft).

Voorbeeld van een energiesysteemmodel: Energietransitiemodel.

Brondata huidige situatie

Om te kunnen rekenen aan een toekomstig energiesysteem, is het belangrijk om de huidige situatie zo scherp mogelijk in beeld te hebben. Hiervoor wordt de volgende informatie gebruikt:

- Energieverbruik per drager en sector:
 - a Openbare data van Klimaatmonitor/CBS.
 - b (Vertrouwelijke) industriedata.
 - c Aanvullende data netbeheerders, zoals data over verbruiken wkk, energiecentrales, validatie openbare/vertrouwelijke data.
- Opgestelde vermogens hernieuwbaar en fossiel:
 - d Openbare data van Klimaatmonitor/Windstats.
 - e (Vertrouwelijke) data over wkk en energiecentrales.
- Ondersteunende demografische gegevens en overige energierelevante gegevens:
 - f Bevolking.
 - g Samenstelling huizen/gebouwenvoorraad.
 - h Energielabels.
 - i Wagenpark.

Modelaannames en inputparameters

Om toekomstprojecties te maken worden ontwikkelingen binnen de verschillende sectoren doorgerekend met deelmodellen. Deze modellen maken gebruik van de brondata over de huidige situatie. Daarnaast worden tal van modelaannames en inputparameters vastgelegd, zoals efficiënties en kosten van technologieën, verwachte prijsontwikkelingen, ruimtebeslag, etc.

Plannen en studies

Lokale plannen en studies worden meegenomen om de ontwikkelingen en voorkeuren in de regio scherp te krijgen. Denk hierbij aan huidig beleid en speerpunten, potentiegebieden voor zon en wind, politieke, sociale of geografische restricties, etc. Ook de DOL-lijst (duurzame energieopwek op land) speelt een belangrijke rol. Dit is een inventarisatie van netbeheerders met lokale partijen. Met dergelijke plannen en studies wordt zoveel mogelijk rekening gehouden in systeemstudies.

Randvoorwaarden

Lang niet alle toekomstige ontwikkelingen worden lokaal vormgegeven. Ook de nationale en internationale context speelt een grote rol. De scenario's maken gebruik van:

1. Landelijke 'verhaallijnen' zoals de I13050-scenario's.
2. Trends, ontwikkelingen en beleid. Bijvoorbeeld het Klimaatakkoord.
3. Verwachtingen over energieprijzen en beschikbaarheid van energiedragers.

2.1.6 Uitwerking details van Informatieproduct 1

Databronnen

Startsituatie in beeld

Per sector wordt het huidige energiegebruik (jaarverbruik) nauwgezet in kaart gebracht op CBS-buurniveau. Het gaat om eindgebruik van:

Drager	Opmerking	Bron
Elektriciteit		Klimaatmonitor.
Gas	Voor industrie is hier het onderscheid tussen energetische verbruik en feedstock gebruik relevant.	Klimaatmonitor. Data-uitvraag industrie voor onderscheid energetisch/feedstock.
Warmte	Residentiële warmtenetten, geleverde industriële warmte.	Klimaatmonitor voor huishoudens. Data-uitvraag provincie/warmtebedrijven voor utiliteit en industrie.
Biomassa		Klimaatmonitor.
Olie	En olieproducten, zoals benzine, diesel, LPG. Voor industrie is wederom het onderscheid energetisch/feedstock van belang.	Klimaatmonitor voor transport. Data-uitvraag industrie/provincie voor overige sectoren.

Daarnaast wordt de volgende informatie over energieproductie gebruikt:

Technologie	Opmerking	Bron
Zon op dak		Klimaatmonitor.
Zon op veld		Klimaatmonitor.
Wind op land		Klimaatmonitor.
Waterkracht		Klimaatmonitor.
Wkk	Zowel inputs (gas, olie) als outputs (warmte, elektriciteit).	Uitvraag bij netbeheerders, industrie.
Elektriciteits-centrales	Zowel inputs (gas, kolen, olie) als output (elektriciteit).	Uitvraag bij netbeheerders, industrie.
Groengas		Uitvraag bij netbeheerders.

Ook worden ondersteunende demografische gegevens gebruikt om een beeld te krijgen waar en hoe het energiegebruik wordt toegepast:

Onderwerp	Opmerking	Bron
Inwoners		Klimaatmonitor.
Huizenvoorraad	Verschillend per model. Aantal woningen, soms bouwjaar en woningtype (hoekhuis, tussenwoning, 2-onder-1-kap, vrijstaande woning, appartement).	BAG/Vesta.
Isolatie-niveau	EPI of label	EP-online.
Wagenpark	Verschillend per model. Aantal auto's, aantal elektrische/waterstofauto's, -bussen, -vrachtwagens.	Klimaatmonitor.

Bovenstaande data is beperkt beschikbaar op buurtniveau. Voor data die niet beschikbaar is op buurtniveau wordt gemeente-, RES-, provincie- of nationale data gebruikt. Deze data wordt in de deelmodellen verdeeld naar buurtniveau met behulp van ‘verdeelsleutels’. Daarnaast kan de data van Klimaatmonitor gevalideerd worden met andere databronnen, zoals vertrouwelijke informatie uit de industrie.

Randvoorwaarden/context

Naast data over het huidige verbruik, worden enkele randvoorwaarden vastgelegd die in alle modellen worden meegenomen. Dit zorgt ervoor dat de resultaten van de deelmodellen samengevoegd kunnen worden tot consistente toekomstbeelden. Denk hierbij aan:

1. Landelijke ‘verhaallijnen’ zoals de IJ3050-scenario’s. Deze scenario’s schetsen de context waarbinnen ontwikkelingen plaatsvinden. Bijvoorbeeld: scenario X focust op zelfvoorzienendheid; zet fors in op isolatie; vult tekorten aan met waterstof. Deze input is grotendeels kwalitatief en wordt per deelmodel vertaald naar bijpassende randvoorwaarden voor de modelberekeningen.
2. Trends, ontwikkelingen en beleid. Bijvoorbeeld het Klimaatakkoord, lokale studies en beleidsplannen. Ook hier gaat het om grotendeels kwalitatieve informatie.
3. Een kwantitatief voorbeeld van het bovenstaande punt is de DoL-lijst (duurzame energie-opwek op land). Een lijst van plannen en projecten voor grootschalige energie-opwekking (zonneparken, wind). De lijst wordt bijgehouden door de netbeheerder en bevat informatie over de voorgenomen capaciteiten, locaties van projecten en hun status (in aanbouw, vergunningsfase, SDE-verstrekt, verkennend, etc.).
4. Verwachtingen over energieprijzen en beschikbaarheid van energiedragers. Bijvoorbeeld: de waterstofprijs in 2050, de beschikbaarheid van groengas in 2030, etc. Hier worden over het algemeen aannames uit IJ3050 overgenomen.

Output

Het informatieproduct heeft de volgende output.

Output #1 - vraag en aanbod op uurbasis/buurtniveau/E-M-H²:

1. Energievraag- en aanbod op uurbasis.
2. Dragere: Elektriciteit, methaan, waterstof. Eventueel ook CO₂ en warmte.
3. Geografische scope: CBS-buurt.
4. Unit: MW (per uur).
5. Meerdere sectoren en binnen sectoren toepassingen/subsectoren.
6. Meerdere scenario’s. Tot nu toe meestal 1 of 2 2030 en 4 2050. Daarnaast een overzicht van de huidige situatie.

De volgende combinaties van sectoren, toepassingen en dragers worden onderscheiden:

Sector Gebouwde omgeving	Hoofdcategorie	Subcategorie	Energiedrager
	Huishoudens	Regulier	Elektriciteit
	Huishoudens_warmtevraag	Warmtepompen	Elektriciteit
	Huishoudens_warmtevraag	Hybride_warmtepompen	Elektriciteit
	Huishoudens_warmtevraag	Tapwater	Elektriciteit
	Utiliteit	Regulier	Elektriciteit
	Utiliteit_warmtevraag	Warmtepompen	Elektriciteit
	Utiliteit_warmtevraag	Hybride_warmtepompen	Elektriciteit
	Utiliteit_warmtevraag	Tapwater	Elektriciteit
	Datacenters	Datacenters	Elektriciteit

Sector Gebouwde omgeving	Hoofdcategorie	Subcategorie	Energiedrager
	Huishoudens	Regulier	Methaan
	Huishoudens_warmtevraag	Cv_ketels	Methaan
	Huishoudens_warmtevraag	Hybride_warmtepompen	Methaan
	Huishoudens_warmtevraag	Tapwater	Methaan
	Huishoudens_warmtevraag	Ketels_warmtenet	Methaan
	Utiliteit	Regulier	Methaan
	Utiliteit_warmtevraag	Cv_ketels	Methaan
	Utiliteit_warmtevraag	Hybride_warmtepompen	Methaan
	Utiliteit_warmtevraag	Tapwater	Methaan
	Utiliteit_warmtevraag	Ketels_warmtenet	Methaan
	Huishoudens_warmtevraag	Cv_ketels	Waterstof
	Huishoudens_warmtevraag	Hybride_warmtepompen	Waterstof
	Huishoudens_warmtevraag	Tapwater	Waterstof
	Huishoudens_warmtevraag	Ketels_warmtenet	Waterstof
	Utiliteit_warmtevraag	Cv_ketels	Waterstof
	Utiliteit_warmtevraag	Hybride_warmtepompen	Waterstof
	Utiliteit_warmtevraag	Tapwater	Waterstof
	Utiliteit_warmtevraag	Ketels_warmtenet	Waterstof

Sector Industrie	Hoofdcategorie	Subcategorie	Energiedrager
	Dagbedrijf	-	Elektriciteit
	Continubedrijf	-	Elektriciteit
	Dagbedrijf	-	Methaan
	Continubedrijf	-	Methaan
	feedstock	-	Methaan
	Wkk	-	Methaan
	Dagbedrijf	-	Waterstof
	Continubedrijf	-	Waterstof
	Feedstock	-	Waterstof
	Wkk	-	Waterstof
	Wkk	-	Elektriciteit

Sector Mobiliteit	Hoofdcategorie	Subcategorie	Energiedrager
	Private_laders	Personenautos	Elektriciteit
	Private_laders	Bedrijfswagens	Elektriciteit
	Private_laders	Vrachtverkeer	Elektriciteit
	Publieke_laders	Personenautos	Elektriciteit
	Publieke_laders	Bedrijfswagens	Elektriciteit
	Publieke_laders	Vrachtverkeer	Elektriciteit
	Publieke_laders	Bussen	Elektriciteit
	Snelladers	Personenautos	Elektriciteit
	Snelladers	Bedrijfswagens	Elektriciteit
	Snelladers	Vrachtverkeer	Elektriciteit
	Snelladers	Bussen	Elektriciteit
	Mobiliteit	Personenautos	Methaan
	Mobiliteit	Bedrijfswagens	Methaan
	Mobiliteit	Vrachtverkeer	Methaan
	Mobiliteit	Bussen	Methaan
	Mobiliteit	Personenautos	Waterstof
	Mobiliteit	Bedrijfswagens	Waterstof

	Mobiliteit	Vrachtverkeer	Waterstof
	Mobiliteit	Bussen	Waterstof
Sector Landbouw	Hoofdcategorie	Subcategorie	Energiedrager
	Finaal	-	Elektriciteit
	Finaal	-	Methaan
	Wkk	-	Methaan
	Finaal	-	Waterstof
	Wkk	-	Waterstof
	Wkk	-	Elektriciteit

Sector Energie	Hoofdcategorie	Subcategorie	Energiedrager
Energie	Wind_offshore	-	Elektriciteit
	Wind_onshore	-	Elektriciteit
	Zon_pv	Zon_op_dak_klein_ < 15 kwp	Elektriciteit
	Zon_pv	Zon_op_dak_groot_ > 15 kwp	Elektriciteit
	Zon_pv	Zonneparken	Elektriciteit
	Waterkracht	-	Elektriciteit
	Elektriciteitscentrale	Gascentrale	Elektriciteit
	Elektriciteitscentrale	Afvalverbranding	Elektriciteit
	Elektriciteitscentrale	Biomassacentrale	Elektriciteit
	Elektriciteitscentrale	Waterstofcentrale	Elektriciteit
	Import	-	Elektriciteit
	Aardgas	-	Methaan
	Groengas	-	Methaan
	Import	-	Methaan
	Waterstof_uit_biomassa	-	Waterstof
	Grijze_waterstof	-	Waterstof
	Blauwe_waterstof	-	Waterstof
	Dedicated_h2_uit_onshore_wind	-	Waterstof

Voor bovenstaande categorieën wordt de vraag of productie van de gespecificeerd drager opgegeven voor elke CBS-buurt, elk scenario en het relevante netvlak. Meestal wordt een jaarvraag + profiel opgeleverd per rij in bovenstaande tabel. Door deze met elkaar te vermenigvuldigen krijg je de vraag per uur.

In theorie kan per buurt/drager/sector/toepassing een custom profiel gebruikt worden. In de praktijk gebeurt dit (nog) niet omdat er weinig data is over regio-afhankelijke profielen en vanwege technische redenen bij de gebruikte modellen.

Een voorbeeld van de gebruikte scenario's:

- 2020_startsituatie;
- 2030_klimaatakkoord;
- 2030_klimaatakkoord_plus;
- 2050_regionale_sturing;
- 2050_nationale_sturing;
- 2050_europese_sturing;
- 2050_internationale_sturing.

De gehanteerde netvlakken (voor elektriciteit):

- LS/MS;
- HS.

Criterium is hier: Is een bepaalde energiestroom relevant voor het netwerk van de RNB (LS/MS) of voor de LNB (HS).

Output #2 - vraag en aanbod op jaarbasis/RES- of provincieniveau/alle dragers

In deze component zit een grotere variëteit. De informatie wordt hoofdzakelijk gebruikt voor de 'systeemcheck'. Dit houdt in dat de informatie op buurniveau wordt gevalideerd (tellen buurten op tot RES/provincie?), aannames expliciet worden gemaakt en gekeken wordt of de aannames/output van de deelmodellen per scenario een consistent beeld oplevert.

Het volgende overzicht geeft de input die gebruikt is in het Energietransitiemodel om deze 'systeemcheck' te doen. In andere studies is een systeemcheck soms niet gebeurd (of minder gedetailleerd) of zijn er andere modellen gebruikt:

1. Energievraag- en aanbod op jaarbasis.
2. Dragere: Elektriciteit, Methaan (uitsplitsing groengas/aardgas), Waterstof, Biomassa, Olie(producten) (in ETM: benzine, diesel, LPG, heavy fuel oil, ruwe olie, olie feedstock), Kolen, Warmte. Eventueel ook CO₂, grondstoffen voor industrie.
3. Geografische scope: RES- en/of provincieniveau.
4. Unit: TJ.
5. Meerdere sectoren en binnen sectoren toepassingen/subsectoren (zelfde als output #1).
6. Meerdere scenario's. Tot nu toe meestal 1 of 2 2030 en 4 2050. Daarnaast een overzicht van de huidige situatie (zelfde als output #1).

Daarnaast nog de volgende aanvullende informatie:

Gebouwde omgeving:

- Bronnen warmtenetten: per bron (geothermie, restwarmte industrie, restwarmte datacenters, piekketels, etc.) de geleverde warmte (TJ).
- Aantal inwoners, woningen en samenstelling woningvoorraad (appartement, hoekhuis, vrijstaand, 2-onder-1-kap, tussenwoning).
- M² utiliteit.
- Aangenomen efficiencyverbetering datacenters (% of %/jaar). Welke aannames zijn er gedaan met betrekking tot de efficiëntie van datacenters ten opzichte van de huidige generatie?

Transport:

- Aantal passagierskilometers en ladingtonkilometers per scenario.
- Modal split personenvervoer (auto, trein, bus, motor/bromfiets, fiets) en vrachtvervoer (vrachtwagen/bedrijfswagen, trein, schip) (%).
- Uitsplitsing van voertuigtype naar brandstoftype (benzineauto's, elektrische auto's, dieselauto's, etc.).
- Aangenomen efficiencyverbeteringen elektrische voertuigen, waterstofvoertuigen, verbrandingsmotoren (% of %/jaar). Hoeveel efficiënter zijn voertuigen in de toekomst ten opzichte van de huidige techniek?

Landbouw:

- Opgestelde vermogens wkk (gas, biogas, hout).

Industrie:

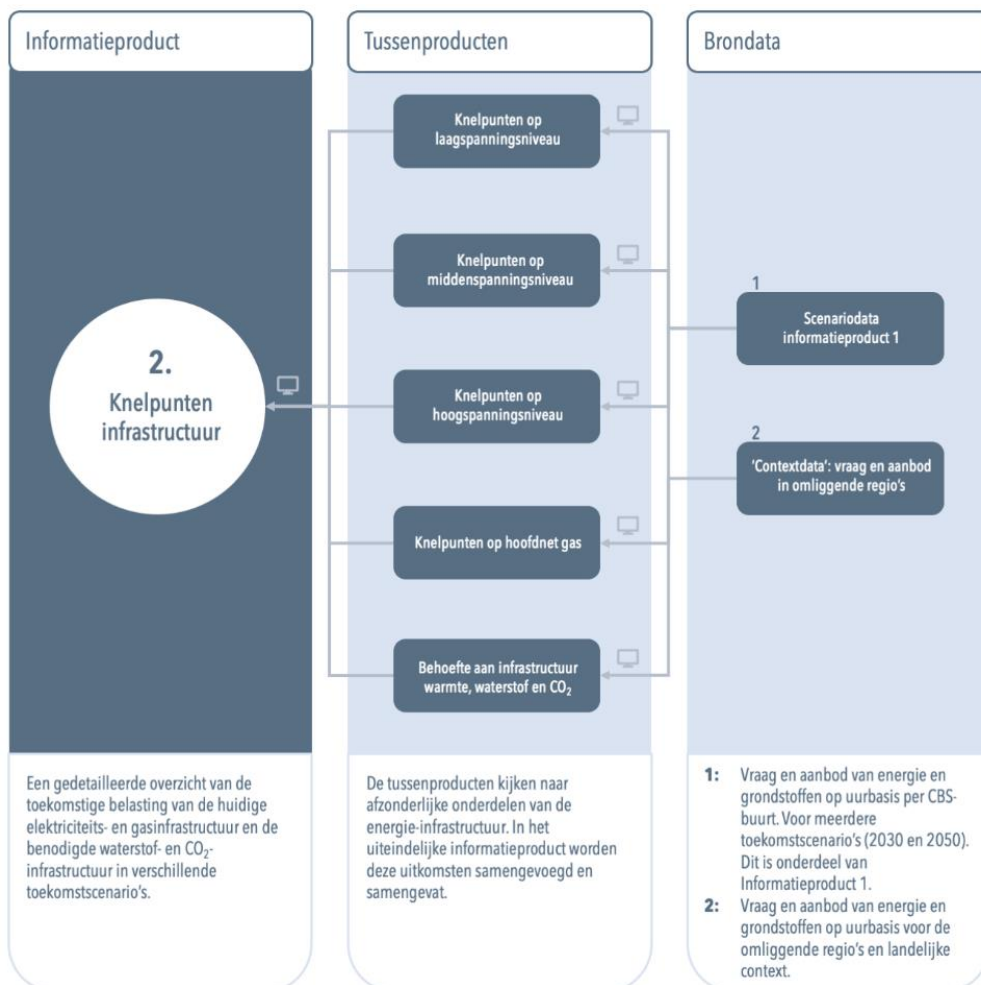
- Groei per subsector (metaal, kunstmest, chemie, voedsel, papier, overig) (% of %/jaar). Hoeveel neemt het energieverbruik toe door toedoen van economische/autonome groei?
- Efficiencyverbetering per subsector (% of %/jaar). Hoeveel efficiënter wordt een sector in de toekomst door procesoptimalisatie?
- Eindverbruik per subsector (TJ).
- Opgestelde vermogens wkk (MW), inputs en output van energiedragers (TJ):
 - inputs: aardgas, biogas, groengas, olie, waterstof;
 - outputs: elektriciteit en warmte.
- Jaarlijkse afvang van CO₂ (Mton).

Energiesector:

- opgestelde vermogens zonneparken, zon op dak (huishoudens), zon op dak (utiliteit), wind, waterkracht, gascentrale, waterstofcentrale (MW);
- aangenomen vollasturen per technologie.

De gebruikte gegevens van de deelmodellen van Informatieproduct 1 bij de systeemstudie Limburg zijn gegeven in Appendix A.

2.2 Informatieproduct 2: Knelpunten infrastructuur



LEGENDA: → Mogelijk om proces te automatiseren. → Proces verloopt middels besluitvorming.

2.2.1 Inhoud van informatieproduct

Dit informatieproduct bevat informatie over de toekomstige belasting van de huidige elektriciteits- en gasinfrastructuur en de benodigde warmte-, waterstof- en CO₂-infrastructuur in verschillende toekomstscenario's. Het identificeert waar knelpunten ontstaan, wanneer deze knelpunten optreden en hoe groot de knelpunten zijn.

2.2.2 Verbeterpunten

De focus ligt nu grotendeels op elektriciteitsinfrastructuur. Gassen krijgen minder aandacht en warmte-infrastructuur is in sommige studies vrijwel geheel buiten beeld gebleven. Voor een goed overzicht van de infrastructuuropgave is het belangrijk dat alle energiedragers worden meegenomen.

Elke systeemstudie visualiseert de uitkomsten op een eigen manier. Dit maakt vergelijking tussen studies lastig.

De resultaten leunen sterk op aannames over toekomstige ontwikkelingen en aangenomen uurprofielen. De kwaliteit hiervan kan omhoog, met grotere focus op regionale verschillen.

2.2.3 Potentie voor automatisering en standaardisering

Standaardisatie van scenariodata (inputdata) helpt bij het inladen van de uurlijkse data op buurtniveau in de infrastructuurmodellen van netbeheerders. Bij voorkeur gebruiken andere trajecten, zoals de RES, dezelfde formats.

Ook voor de data-uitwisseling tussen netbeheerders helpen gestandaardiseerde data-templates.

Om de impact op de hoofdinfrastructuur uit te rekenen, moeten de resultaten ingebed kunnen worden in aannames en resultaten over de landelijke context. Dit vereist dat methodieken en data-uitwisseling op elkaar wordt afgestemd. Dat betekent ook dat niet alles te automatiseren is, omdat afspraken (processen) nodig blijven om ervoor te zorgen dat de data die wordt uitgewisseld vergelijkbaar is, doordat methodieken en scenario's op elkaar aansluiten. In de systeemstudies is deze eis vrij duidelijk, maar in de RES'en of CES'en is dit nog niet zo duidelijk neergelegd.

2.2.4 Samenhang met andere informatieproducten

Dit informatieproduct bouwt voort op Informatieproduct 1, de toekomstscenario's met energievraag en -aanbod op buurtniveau. Het vormt de basis voor Informatieproduct 3, de mogelijke oplossingsrichtingen voor de knelpunten.

Tussenproducten

De knelpunten worden berekend voor het elektriciteits- en gasnet. Ook wordt gekeken naar de benodigde infrastructuur voor waterstof, warmte en CO₂. Dit levert de volgende tussenproducten op:

1. Knelpunten laagspanningsnet.
2. Knelpunten middenspanningsnet.
3. Knelpunten hoogspanningsnet.
4. Knelpunten hoofdnet aardgas.
5. Behoeft infrastructuur warmte, waterstof en CO₂.

Voor elektriciteit rekent de regionale netbeheerder (RNB) aan de belasting van hun hoofdstations (middenspanning). Ook worden er indicatieve berekeningen of *casestudies* gedaan voor de belasting op laagspanningsniveau. TenneT, de hoogspanningsnetbeheerder, rekent de belasting op de hoogspanningsstations en hoogspanningskabels door. De uitkomsten van de RNB dienen hiervoor als input.

Dit levert de volgende uitkomsten op, voor elk van de scenario's uit Informatieproduct 1 (2030 en 2050):

1. De toekomstige piekbelasting op de transformatorstations, inclusief vergelijking met de huidige capaciteit.
2. De toekomstige piekbelasting op de hoogspanningskabels, inclusief vergelijking met de huidige capaciteit.
3. Indicatie van de impact op laagspanningsniveau, zoals een inschatting van de benodigde verzwaring van laagspanningsstations en -kabels.
4. Duiding van de pieken: Wanneer treden pieken op? Hoe lang duren de pieken? Worden pieken veroorzaakt door vraag of aanbod?

Voor het gasnet is capaciteit minder een aandachtspunt, omdat de huidige overcapaciteit vaak groot is en de vraag in de toekomst naar verwachting daalt. Tegelijkertijd neemt de vraag naar 'nieuwe gassen' (waterstof, CO₂) toe. Gasunie rekent door of de huidige infrastructuur voldoende is en of hergebruik van bestaande gasleidingen mogelijk is. In veel gevallen blijkt de huidige infrastructuur een goed startpunt om in 2050 de benodigde waterstof en CO₂ te kunnen transporteren. De focus ligt daarom meer op 2030, omdat er dan naar verwachtingen drie gassen naast elkaar gebruikt gaan worden: zowel een nog vrij grote aardgasvraag, plus een opkomende vraag naar waterstof en CO₂.

Voor warmte is er op dit moment beperkte infrastructuur. De focus ligt daarom op verkenning van waar behoefte is aan een warmtenet. De infrastructuurberekeningen zijn op dit moment vaak indicatief.

2.2.5 Gebruikte inputgegevens

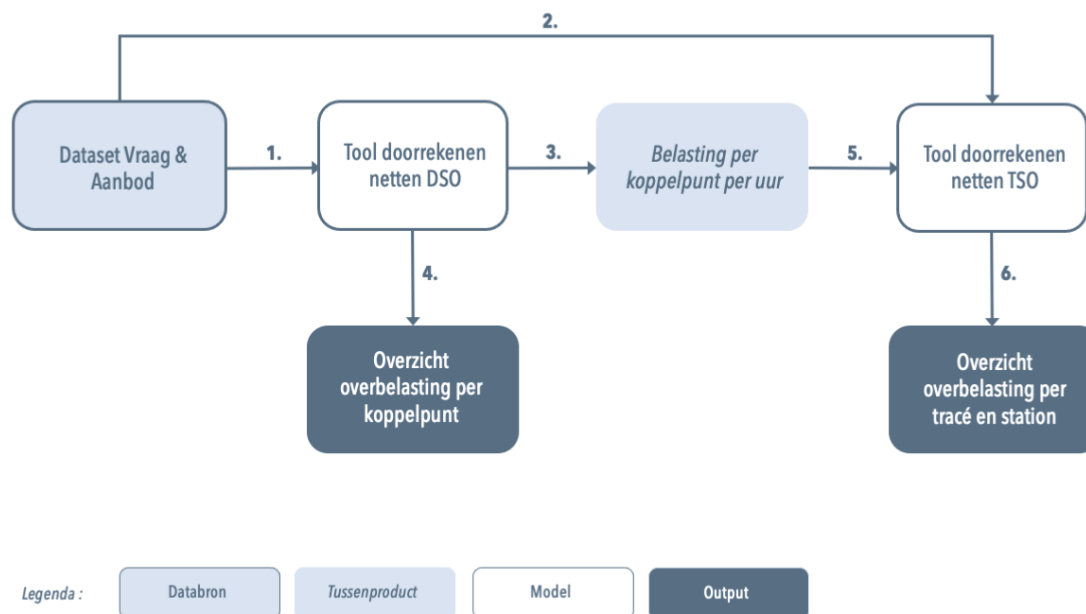
De scenario-uitkomsten uit Informatieproduct 1 zijn de voornaamste input voor de knelpuntenanalyse. De uurlijkse data op buurtniveau wordt geprojecteerd op de huidige infrastructuur in rekenmodellen van de netbeheerders.

Voor de berekeningen op hoofdspanningsniveau worden de uitkomsten op hoofdstation-niveau van de regionale netbeheerder gebruikt. Dit zijn de koppelpunten tussen het middenspannings- en hoofdspanningsnet.

Daarnaast zijn voor de analyse op hoofdspanningsniveau en de doorrekening van gassen ook gegevens over de toekomstige belasting in- en uitwisseling met omliggende regio's relevant. Hiervoor wordt data gebruikt uit landelijke studies, zoals de Integrale infrastructuurverkenning 2030-2050 (II3050).

2.2.6 Uitwerking details van Informatieproduct 2

Het volgende schema geeft een overzicht van de informatiestromen van de doorrekening van knelpunten op de infrastructuur.



- Vraag en aanbod op buurniveau relevant voor LS/MS-net. Dit is output van Informatieproduct 1 ‘vraag en aanbod’ en input voor de modellen van de DSO’s.
- Vraag en aanbod op buurniveau relevant voor het HS-net. Dit is output van Informatieproduct 1 ‘vraag en aanbod’.
- Belasting per koppelpunt per uur per scenario. Dit is output van de modellen van de DSO’s.
- Samenvatting/interpretatie van ruwe data uit (3). Piekbelasting in het jaar per DSO-koppelpunt en scenario (als % van capaciteit en inclusief indicatie of het vraag of aanbod piek is).
- Is (3), samen met (2) dient dit als input voor de modellen van de TSO’s.
- Piekbelasting (en overige outputs zoals aantal uren overbelast) in het jaar per tracé/station en per netconfiguratie (n-0, n-1) voor het HS-net.

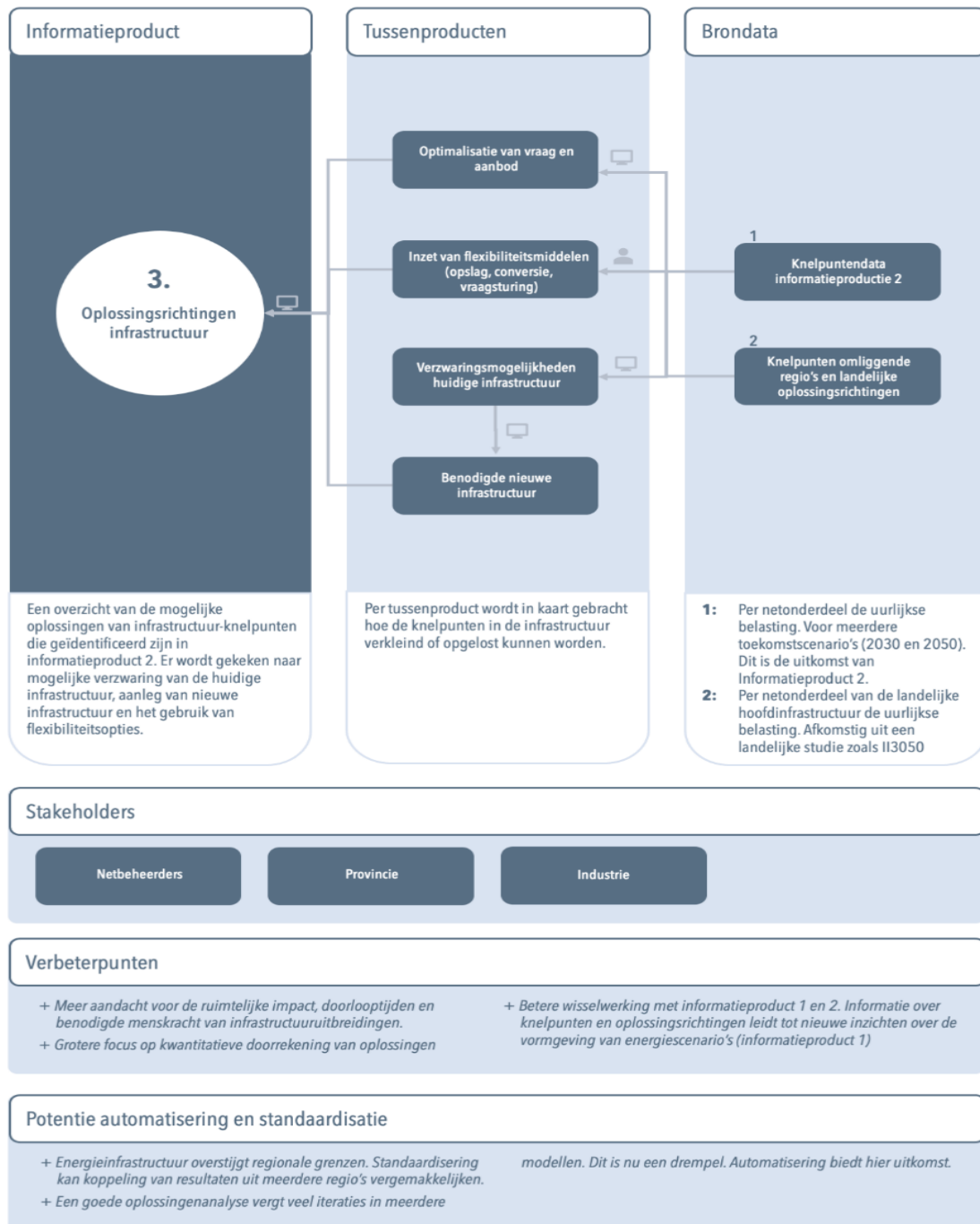
Databronnen

Databron	Inhoud	Oorsprong	Formaat	Bron
Dataset vraag en aanbod	Vraag/aanbod per: <ul style="list-style-type: none"> – Buurt – Scenario/jaar – Energiedrager – Sector – Subcategorie (in dit geval vraag finaal) 	Output informatieproduct vraag en aanbod (omgezet naar ander format)	Excel	‘landbouw_vraag_e lektriciteit_finaal’
Belasting per koppelpunt per uur	Voor elk uur in het jaar de vraagbelasting en aanbodbelasting op elk koppelpunt tussen de DSO en TSO	Komt uit doorrekening DSO	Excel	‘Aanbod’ en ‘Vraag’

Outputs

Output	Inhoud	Oorsprong	Formaat	Bron
Overzicht overbelasting per koppelpunt (RNB's)	Piekbelasting in het jaar per koppelpunt en scenario (als % van capaciteit en inclusief indicatie of het vraag of aanbod piek is)	Output doorrekening DSO	Excel	'20200616 - Gedeelde oplossingen' (t/m rij 32 en t/m kolom H)
Overzicht overbelasting per tracé en station	Piekbelasting (en overige outputs zoals aantal uren overbelast) in het jaar per tracé/station en per netconfiguratie (n-0,n-1)	Output doorrekening TSO	Excel	'Analyse_Systeemstudie_2020_2030_L' 'Knelpuntenbeschrijving Limburg 20200625'

2.2.7 Informatieproduct 3: Oplossingsrichtingen infrastructuur



2.2.8 Inhoud van informatieproduct

Dit informatieproduct bevat informatie over mogelijke oplossingen van de knelpunten die geïdentificeerd zijn in Informatieproduct 2 (Knelpunten infrastructuur). Er wordt gekeken naar mogelijke verzwaring van de huidige infrastructuur, de aanleg van nieuwe infrastructuur en het gebruik van flexibiliteitsopties (batterijen, hybride technologieën, conversie van de ene energiedrager naar de andere, curtailment).

2.2.9 Verbeterpunten

Meer aandacht voor de ruimtelijke impact, doorlooptijden en benodigde menskracht van infrastructuuruitbreidingen.

Door de complexiteit en doorlooptijd van de berekeningen heeft de verkenning van oplossingsrichtingen grotendeels een kwalitatief karakter. Om beter zicht te krijgen op de oplossingen kan dit meer kwantitatief worden gemaakt.

Betere feedbackloop met Informatieproduct 1 (Vraag en Aanbod). Inzichten over knelpunten infrastructuur (Informatieproduct 2) en oplossingen daarvan (Informatieproduct 3) kunnen tot nieuwe inzichten leiden over de vormgeving van de energiescenario's (Informatieproduct 1).

Beter rekening houden met de geplande vervanging van huidige infrastructuur. Door zoveel mogelijk gebruik te maken van 'natuurlijke vervangingsmomenten' kan kapitaalvernietiging worden beperkt.

2.2.10 Potentie voor automatisering en standaardisering

Energie-infrastructuur overstijgt regionale grenzen. Standaardisering kan koppeling van resultaten uit meerdere regio's vergemakkelijken.

Een goede oplossingsanalyse vergt veel iteraties in meerdere modellen. Dit is nu een drempel. Standaardisering en automatisering bieden hier uitkomst.

Dit proces zal nooit volledig te automatiseren zijn. Het uitdenken van mogelijke oplossingsrichtingen en het ontwerpen van nieuwe netwerkstructuren is een menselijk proces en dat zal zo blijven.

2.2.11 Samenhang met andere informatieproducten

Dit informatieproduct bouwt voort op Informatieproduct 2, de knelpunten die ontstaan met de huidige infrastructuur. Het is input voor Informatieproducten 4 (ruimtebeslag) en 5 (kosten).

Tussenproducten

Dit informatieproduct bestaat uit de volgende tussenproducten:

1. Optimalisatie van vraag en aanbod.
2. Inzet van flexibiliteitsmiddelen (opslag, conversie, vraagsturing).
3. Verzwaringmogelijkheden huidige infrastructuur.
4. Benodigde nieuwe infrastructuur.

1. Optimalisatie van vraag en aanbod:

In dit tussenproduct wordt verkend hoe een slimmere inrichting van vraag en aanbod kan helpen om de infrastructuur te ontzien. Hiermee kan de inzet van flexibiliteitsmiddelen (2), verzwaring van huidige infrastructuur (3) en aanleg van nieuwe infrastructuur (4) worden beperkt. Zo kan bijvoorbeeld de vraag naar waterstof en (groen)gas in sommige gevallen geografisch gescheiden worden (clusters van buurten op waterstof en clusters van buurten op gas vs. een lappendeken van warmtetechnologieën) waardoor de aanleg van een dubbele infrastructuur voorkomen kan worden. Aan de aanbodzijde kan bepaalde piekproductie ‘gecurtailed’ worden als er op dat moment geen vraag is, om transportbelasting te voorkomen. De output van dit tussenproduct is een overzicht van de toegepaste optimalisaties en hun impact op de knelpunten in de infrastructuur.

Hier zit een koppeling met de uitkomst van Informatieproduct 1 (vraag en aanbod). Optimalisatie-inzichten kunnen leiden tot andere aannames over vraag en aanbod.

2. Inzet van flexibiliteitsmiddelen:

Naast optimalisatie kan verzwaring van infrastructuur ook beperkt worden met inzet van flexibiliteitsmiddelen. Hieronder vallen opslag (bijvoorbeeld batterijen, gasbergingen, warmte-opslag), conversie (bijvoorbeeld power-to-gas, gas-to-power en power-to-heat) en vraagsturing (hybride warmtepompen, op- en afschakelen van bepaalde vraag). De output van dit tussenproduct is de hoeveelheid ingezette flexmiddelen, hun locatie en de impact op de knelpunten in de infrastructuur.

3. Verzwaringmogelijkheden huidige infrastructuur:

Waar optimalisatie en flexibiliteit onvoldoende uitkomst bieden, wordt gekeken naar de verzwaringmogelijkheden binnen de huidige infrastructuur. Zo wordt bijvoorbeeld gekeken hoeveel ruimte er is op het terrein van de huidige hoofdstations voor het bijplaatsen van een subblok of het aanleggen van een extra TenneT-veld. De output van dit product is tweeledig:

- een overzicht van de toegepaste verzwaringen per netwerkpunt;
- een overzicht van de overgebleven knelpunten na maximale toepassing van de verzwaringmogelijkheden binnen de huidige infrastructuur.

4. Benodigde nieuwe infrastructuur:

Wat overblijft na de eerste drie tussenproducten zijn de ‘hardnekkige’ knelpunten die niet binnen de huidige infrastructuur kunnen worden opgelost. In dit laatste tussenproduct wordt gekeken of de aanleg van nieuwe infrastructuur hier uitkomst kan bieden. De output van dit product is een overzicht van de mogelijke nieuwe tracés en stations en eventuele knelpunten waarbij nieuwe infrastructuur geen uitkomst biedt.

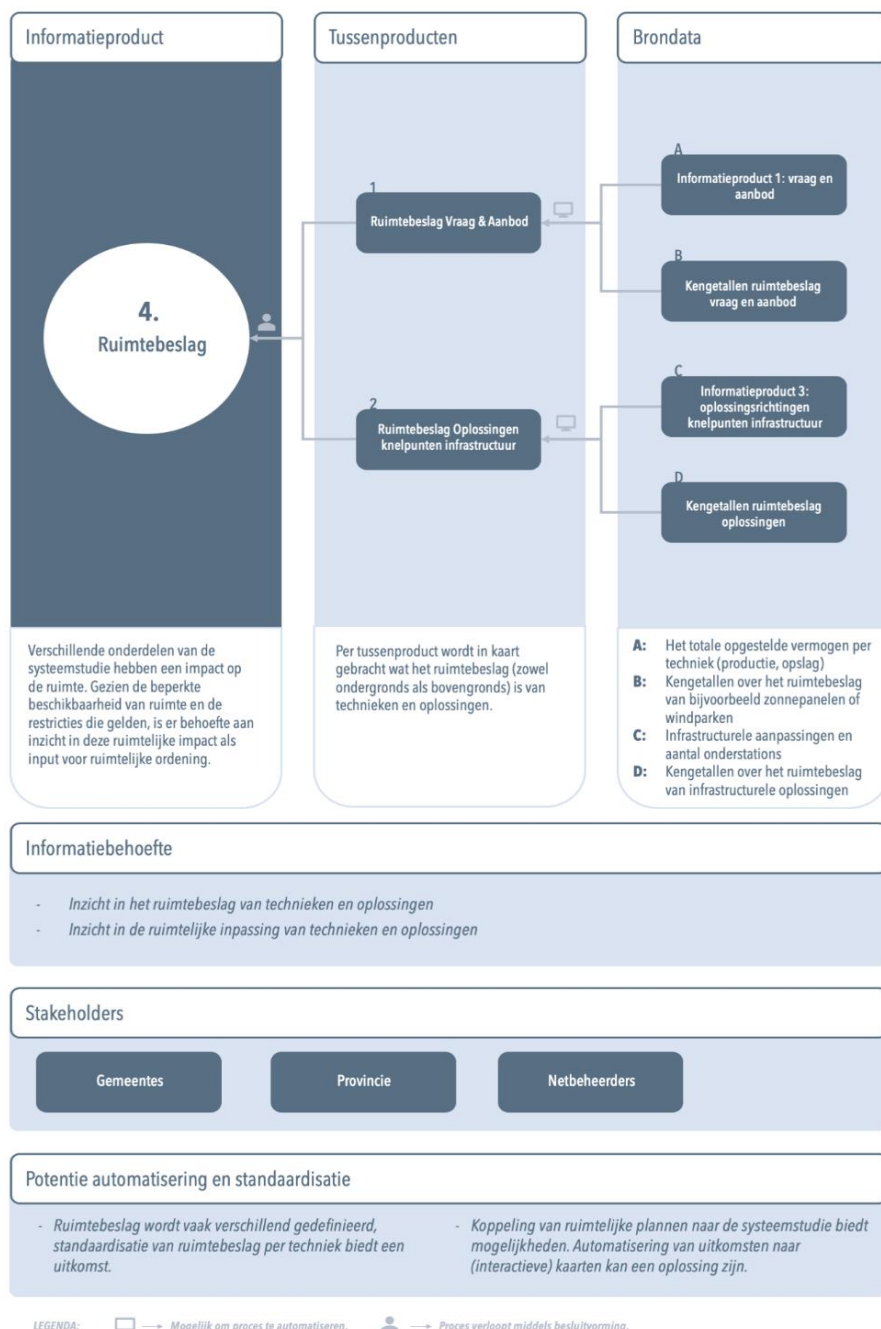
De eerste twee tussenproducten hebben een grote kwalitatieve component en een kleinere kwantitatieve component. Dit komt omdat in deze producten vraag en aanbod op een zeer gedetailleerd geografisch niveau aan elkaar geknoopt worden. In de praktijk blijkt het lastig om daar op een consistente en integrale manier aan te rekenen.

Voor de hoofdinfrastructuur geldt dat de oplossingsrichtingen bekeken worden in een landelijke context. Tekorten in de ene regio kunnen worden opgevangen met overschotten uit een andere regio. De gewenste oplossingen kijken naar de optimale uitkomst voor Nederland als geheel en niet naar individuele regio's.

Gebruikte inputgegevens

De knelpuntenanalyse uit Informatieproduct 2 zijn de voornaamste input voor de oplossingsrichtingen. Daarnaast wordt data over belasting en knelpunten in omliggende regio's meegenomen. Hiervoor wordt data gebruikt uit landelijke studies, zoals de Integrale infrastructuurverkenning 2030-2050 (II3050). Ook is in sommige studies Informatieproduct 1 (vraag en aanbod) opnieuw doorgerekend met toevoeging van optimalisatie van vraag en aanbod en flexibiliteitstechnologieën.

2.3 Informatieproduct 4: Ruimtebeslag



2.3.1 Inhoud van informatieproduct

Aanbod van duurzame energie, nieuwe vraag (bijvoorbeeld laadpleinen), opslag, conversie, en infrastructuur hebben ruimte nodig. Gezien de beperkte beschikbaarheid van ruimte is er behoefte aan inzicht in het ruimtebeslag van verschillende systeemopties. Dit informatieproduct brengt daarom in kaart wat het ruimtelijk beslag is van de volgende onderdelen:

- ruimtebeslag van vraag en aanbod energie (op basis van Informatieproduct 1);
- ruimtebeslag knelpunten oplossingen voor de infrastructuur (op basis van Informatieproduct 2).

2.3.2 Informatiebehoefte

Energietransitie vraagt ruimte. Verschillende systeemkeuzes leiden tot verschillende mate van ruimtebeslag, boven en onder de grond. Om die keuzes te kunnen maken is in de eerste plaats behoefte aan inzicht in het ruimtebeslag van nieuwe vraag, aanbod en oplossingen voor knelpunten. Ruimtebeslag is de totale hoeveelheid ruimte (in vierkante meters) die in gebruik wordt genomen door de nieuwe technieken. Denk hierbij aan de totale oppervlakte van een windpark of het ruimtebeslag van waterstofopslag.

2.3.3 Samenhang met andere informatieproducten

Dit informatieproduct bouwt voort op Informatieproduct 1 (vraag en aanbod) en 3 (oplossingsrichtingen, knelpunten en infrastructuur).

Tussenproducten

Dit informatieproduct bestaat uit de volgende tussenproducten:

1. Ruimtebeslag vraag en aanbod.
 2. Ruimtebeslag oplossingen knelpunten infrastructuur.
1. Ruimtebeslag vraag en aanbod:
In dit tussenproduct wordt gekeken naar het ruimtebeslag van de verschillende technieken en oplossingen die zijn aangedragen om de vraag naar energie in de toekomst te voorzien (Informatieproduct 1). Zo wordt bijvoorbeeld gekeken naar de totale oppervlakte van windparken, zonneparken of waterstof opslag. De output van dit product is een tabel met een overzicht van het ruimtebeslag per techniek voor zowel de ondergrondse als bovengrondse ruimte.
 2. Ruimtebeslag oplossingen, knelpunten en infrastructuur:
De aanleg van (extra) infrastructuur en onderstations die is bepaald in Informatieproduct 3 heeft een ruimtebeslag. In dit tussenproduct wordt dit ruimtebeslag bepaald voor zowel de ondergrond als bovengrond. De output is een kaart met een overzicht van ondergrondse infrastructurele aanpassing en het bijbehorende ruimtebeslag en een inschatting van het bovengrondse ruimtebeslag (bijvoorbeeld door onderstations).

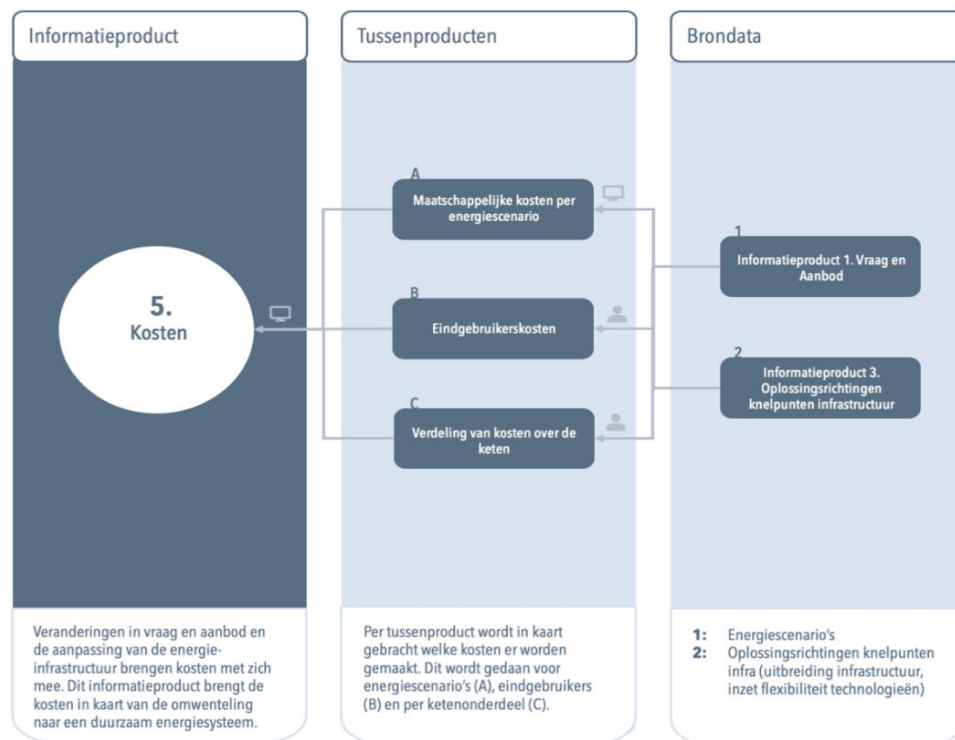
Gebruikte inputgegevens

Het opgestelde vermogen, energieopslag en de infrastructurele veranderingen die in Informatieproducten 1 en 3 zijn bepaald zijn de voornaamste input voor dit informatieproduct. Samen met de kengetallen die het ruimtebeslag van zowel vraag en aanbod als de oplossingsrichtingen in de infrastructuur beschrijven deze het totale ruimtebeslag.

Potentie voor automatisering en standaardisering

Er wordt met verschillende maten gerekend als het aankomt op het ruimtebeslag van technieken en oplossingen. Standaardisatie van de inputdata, denk aan de grote van een onderstation of windpark, kan hier uitkomst bieden. Dit zorgt voor transparantie van het proces, biedt de mogelijkheid om plannen te vergelijken en kan zorgen voor terugkoppeling richting systeemscenario's wanneer oplossingen een te groot ruimtebeslag innemen.

2.4 Informatieproduct 5: Kosten



Informatiebehoefte

- Inzicht in de maatschappelijke kosten van het energiesysteem om tot verstandige en integrale verduurzamingskeuzes te komen.
- Inzicht in kosten voor de eindgebruiker voor het creëren van draagvlak.
- Inzicht in de dynamiek achter kosten om bijvoorbeeld te begrijpen welke factoren een rol spelen of hoe besluitvorming de kosten beïnvloed.

Stakeholders

Netbeheerders

Provincie

Industrie

Potentie automatisering en standaardisatie

- Een database met kentallen van kosten uit gevalideerde bronnen zorgt voor een helder overzicht en voorkomt dat aannames sterk uiteen lopen.
- Studies en modellen gebruiken vaak een eigen scope.
- Richtlijnen welke kosten wel en niet worden meegenomen kan helpen.
- Het vastleggen van best practices voor het communiceren over kosten.

LEGENDA: → Mogelijk om proces te automatiseren. → Proces verloopt middels besluitvorming.

2.4.1 Inhoud van informatieproduct

Veranderingen in vraag en aanbod en de aanpassing van de energie-infrastructuur brengen kosten en baten met zich mee. Zowel voor de maatschappij als geheel, als voor verschillende stakeholders zoals netbeheerders, bedrijven en huishoudens. Dit informatieproduct brengt de kosten en baten in kaart van de omwenteling naar een duurzaam energiesysteem. Het bestaat uit de volgende onderdelen:¹

- maatschappelijke kosten van de energiescenario's en bijbehorende infrastructuur;
- eindgebruikerskosten;
- verdeling van kosten over de keten (van opwek naar eindgebruiker).

2.4.2 Informatiebehoefte

Er bestaat een brede informatiebehoefte aan inzicht in de kosten en baten van verschillende scenario's voor de energietransitie.

Er is behoefte aan inzicht in de maatschappelijke kosten en baten van het energiesysteem. In Informatieproduct 1 (vraag en aanbod) zijn meerdere toekomstscenario's ontwikkeld voor het energiesysteem. Een overzicht van de maatschappelijke kosten en baten van deze verschillende scenario's kan houvast bieden om de scenario's beter te begrijpen en beter te kunnen vergelijken. Bovendien helpt inzicht in de kosten om tot integrale verduurzamingskeuzes te komen.

Behalve kosten voor de maatschappij, zijn ook de kosten voor de eindgebruiker relevant. Hoeveel gaan huishoudens en bedrijven in de toekomst betalen en hoe verhoudt zich dat tot de huidige kosten? Zijn er winnaars en verliezers? Dit is belangrijk voor het draagvlak van de energietransitie en voor de vormgeving van beleid. Een aandachtspunt is hier dat er veel diversiteit is binnen de verschillende groepen eindgebruikers. Kosten voor een 'gemiddeld' huishouden kunnen heel anders uitpakken dan de kosten voor lagere en hogere inkomens.

Tot slot is er behalve een behoefte aan concrete getallen ook behoefte aan inzicht in de dynamiek achter de kosten. Wat gebeurt er met de kosten als we voor X gaan in plaats van Y? Welke factoren spelen een grote rol in het totale kostenplaatje en welke een kleinere?

2.4.3 Samenhang met andere informatieproducten

Dit informatieproduct bouwt voort op Informatieproduct 1 (vraag en aanbod) en drie (oplossingsrichtingen knelpunten infrastructuur). Ook kosten voor ruimtebeslag (Informatieproduct 4) kunnen worden meegenomen.

Tussenproducten

Dit informatieproduct bestaat uit de volgende tussenproducten:

1. Maatschappelijke kosten per energiescenario.
2. Eindgebruikerskosten per energiescenario.
3. Inzicht in kostenketen.

¹ In de huidige systeemstudies is er relatief weinig aandacht geweest voor kostenberekeningen. Dit fiche bevat een brede inventarisatie en eerste uitwerking van de informatiebehoefte rondom kosten. Welke van de geschetste tussenproducten/onderdelen in de toekomst in systeemstudies uitgewerkt gaan worden en welke mate van detail hier wenselijk en haalbaar is, is iets dat in de praktijk verder vorm moet krijgen.

Deze producten staan hieronder verder uitgewerkt. Voor alle producten geldt dat de focus ligt op een geaggregeerd geografisch niveau, zoals op dat van de provincie of RES-regio. De reden is dat vanaf dit niveau de kosten voor het hele energiesysteem relevant zijn. Op lagere niveaus kan wel op deelaspecten gefocust worden, zoals de kosten voor de warmtevoorziening, maar dit komt grotendeels al aan bod in andere studies en trajecten.

1. Maatschappelijke kosten en baten per energiewaarscenario:

De waarscenario's voor het energiesysteem ontwikkeld in Informatieproduct 1 kunnen met een kostenoverzicht verder onderbouwd worden. Dit overzicht maakt de investeringskosten (CAPEX) en terugkerende kosten (OPEX) inzichtelijk van de verschillende componenten van het energiesysteem. Denk hierbij aan een onderscheid in kosten per sector of een opdeling in categorieën zoals energie-infrastructuur, productiemiddelen, energiebronnen, installatie en flexibiliteit. Daarnaast worden de baten in kaart gebracht, denk hierbij aan de positieve impact op milieu en leefomgeving en een grotere mate van energieonafhankelijkheid.

De kosten van de verschillende onderdelen van het energiesysteem hangen met elkaar samen waardoor bepaalde keuzes of maatregelen niet in isolatie bekeken kunnen worden. De kosteneffectiviteit van elektrificatie hangt bijvoorbeeld sterk af van hoe CO₂-intensief het elektriciteitssysteem is. Overstap van fossiele dragers naar elektriciteit levert meer milieuwinst op als de elektriciteit duurzaam wordt opgewekt. Om tot een integraal kostenplaatje te komen wordt dit tussenproduct doorgerekend met een energiesysteemmodel zoals het Energietransitiemodel of OPERA.

2. Eindgebruikerskosten per energiewaarscenario:

Dit tussenproduct laat de eindgebruikerskosten zien voor verschillende stakeholders in de verschillende energiewaarscenario's. Ook hier is een onderscheid tussen benodigde investeringen en terugkerende kosten relevant. Daarnaast kan een opdeling naar categorieën extra inzicht verschaffen, bijvoorbeeld voor huishoudens een onderscheid tussen huisaanpassingen, netbeheerderskosten, energiegebruik, mobiliteit, etc.

De focus van de waarscenario's uit Informatieproduct 1 liggen op 2050. De eindgebruikerskosten zijn hierdoor lastiger in kaart te brengen dan de maatschappelijke kosten omdat deze sterk beïnvloed worden door belastingen en subsidies. Hoe hoog die in 2050 zullen zijn is op dit moment moeilijk te bepalen.

3. Inzicht in kostenketen:

Dit tussenproduct biedt inzicht in de totstandkoming van het kostenoverzicht van Tussenproducten 1 en 2. Per kostenoverzicht wordt duidelijk gemaakt welke (orde-grootte) impact de verschillende onderdelen en onderliggende keuzes hebben. Ook kunnen er een aantal varianten doorgerekend worden om meer inzicht te krijgen in hoe de kosten veranderen als er andere keuzes gemaakt worden.

Zoals bij het eerste tussenproduct opgemerkt is, is het belangrijk om keuzes als onderdeel van een pakket van maatregelen te zien. Het isoleren van de impact van specifieke onderdelen of maatregelen is alleen mogelijk met de nodige aannames en kanttekeningen. De uitkomsten van dit tussenproduct is met grote bandbreedtes omgeven, maar kan wel nuttig zijn om ordegroottes aan te geven.

Gebruikte inputgegevens

Dit informatieproduct maakt met name gebruik van de energiescenario's uit Informatieproduct 1 en de oplossingsrichtingen (uitbreiding infrastructuur, inzet flexibiliteitstechnologieën) uit Informatieproduct 3. Daarnaast kunnen enkele varianten van Informatieproduct 1 doorgerekend worden om meer inzicht te krijgen in de bijdrage van verschillende onderdelen aan het totale kostenplaatje. Denk hier bijvoorbeeld aan verschillende varianten van een elektrificatiescenario waarin gevarieerd wordt met de verhouding tussen opwek uit wind en zon. Hierdoor ontstaat inzicht in de (kosten)optimale verhouding tussen wind- en zonnevermogen.

Potentie voor automatisering en standaardisering

Er is grote behoefte aan een database met kentallen voor de belangrijkste onderdelen van het energiesysteem, zoals de infrastructuur voor elektriciteit, gas, warmte, waterstof en CO₂, energieproductie, warmtevoorziening, etc. Heldere overzichten met gevalideerde bronnen zorgen voor meer uniformiteit tussen verschillende studies.

Een terugkerend probleem is dat veel studies en modellen hun eigen scope hebben bij het doorrekenen van kosten. Dit maakt het erg lastig om verschillende uitkomsten met elkaar te vergelijken. Een richtlijn voor welke kosten wel en niet meegenomen worden kan hier uitkomst bieden. Daarbij kan per model expliciet in kaart gebracht worden wat de scope van de kostenberekening is. Vooral voor integrale systeemmodellen lijkt dit een belangrijke *quick win* om vergelijkingen te vereenvoudigen. Bovendien kan dit de politieke discussie over de kosten van de energietransitie ondersteunen, omdat het duidelijk maakt welke kostenaspecten nog niet gekwantificeerd zijn of nog te onduidelijk zijn. Bijvoorbeeld: de kosten van het ombouwen van bestaande *assets* naar nieuwe.

Tot slot helpt het om een aantal best practices vast te leggen over hoe kostenplaatjes het beste gecommuniceerd kunnen worden. Denk hierbij aan gebruikte eenheden (kosten per huishouden, kosten in euro per ton CO₂ bespaard, of kosten per kWh), duidelijke definities van wat onder welke categorie of sector valt en afstemming over de scope en aannames die gebruikt worden bij het berekenen van kosten.

3 Informatiemodellen, standaarden en protocollen

Dit hoofdstuk beschrijft informatiemodellen en standaarden die relevant zouden kunnen zijn voor het beschrijven van informatie die tussen modellen uitgewisseld wordt, om te komen tot de inzichten van de provinciale systeemstudies.

Standaardisering is in ieder geval noodzakelijk bij het verder automatiseren van de Informatie-uitwisseling tussen deelmodellen, bijvoorbeeld bij de deelmodellen van Informatieproduct 1 Energievraag en -aanbod. In de context van de systeemstudies lijkt dat noodzakelijk op die plekken waar informatie veelvuldig herhaald wordt en handwerk veel tijd kost of foutgevoelig is. Dit hoofdstuk is dan ook voornamelijk bedoeld voor de IT-technisch onderlegde modelleers die een software-implementatie van hun model willen maken, waarbij informatie tussen de verschillende softwarecomponenten uitgewisseld moet worden. Ook als er met modellen in Excel, Access of AIMMS gewerkt wordt, kan standaardisatie helpen bij het maken van afspraken over de te gebruiken terminologie, maar hier zal dan meestal nog geen sprake zijn van geautomatiseerde koppelingen.

3.1 Wat is een informatiemodel, standaard en protocol?

Een **informatiemodel** beschrijft de structuur, de semantiek en de eigenschappen van allerlei concepten in een bepaald domein. Het legt vast hoe dingen heten, wat de betekenis is, welke eigenschappen ze hebben en welke relaties er binnen het domein bestaan. ESDL is een informatiemodel dat ontwikkeld is voor het energiedomein, met de energietransitie modelleers (modelontwikkelaars, adviesbureaus, netbeheerders) als specifieke doelgroep. Zie onder andere de website van Geonovum (Geonovum, 2020) voor een beschrijving van wat een informatiemodel precies is en welke soorten er zijn.

Standaarden bevatten een set aan afspraken over een bepaald onderwerp en met een bepaald doel. Ze worden over het algemeen beheerd door een standaardisatieorgaan. Vaak is er een heel proces ingericht om te komen tot een standaard, met allerlei fases van draft versies, reviews en uiteindelijke acceptatie van de standaard. In sommige domeinen worden standaarden voorgeschreven en is men verplicht zich hieraan te houden. Er bestaan ook 'de facto standaarden' die niet beheerd worden. Deze ontstaan zodra er voldoende partijen zich aan een bepaalde set aan afspraken gaan houden.

Een **protocol** in de informaticawereld is een set aan afspraken waarmee twee computersystemen met elkaar kunnen communiceren. Het is in die zin veel technischer. Via een protocol kan informatie tussen twee systemen uitgewisseld worden. Het informatiemodel kan weer helpen bij het interpreteren van de uitgewisselde informatie. Protocollen zijn meestal gestandaardiseerd.

3.2 Informatiemodellen voor de provinciale systeemstudies

Deze sectie beschrijft mogelijke informatiemodellen en/of standaarden voor het beschrijven van de informatie die uitgewisseld moet worden tussen modellen in het kader van de provinciale systeemstudies. We zijn daarbij in principe op zoek naar één standaard waarmee zo veel mogelijk informatie beschreven kan worden. Het is in principe mogelijk om een aantal informatiemodellen tegelijk te gebruiken maar dan ontstaat op sommige plekken weer de uitdaging om de informatiemodellen onderling te koppelen (ook weer een heel vak apart, met allerlei specifieke uitdagingen).

De eerste kandidaat voor zo'n informatiemodel met een brede scope is de Energy System Description Language (ESDL), die precies voor dit doel ontwikkeld is. Dit informatiemodel wordt als eerste hieronder in het kort beschreven en hierna volgen mogelijke andere kandidaat informatiemodellen die in het energiedomein beschikbaar zijn. Elk van deze modellen wordt ook kort toegelicht waarna vervolgens een vergelijking gemaakt wordt.

3.2.1 ESDL - Energy System Description Language

De Energy System Description Language (ESDL) is een taal om energiesysteem en energietransitie gerelateerde informatie op een uniforme en gestructureerde manier te kunnen beschrijven. Het probeert het energiesysteem in de volle breedte af te dekken en is veel minder gedetailleerd dan standaarden voor bijvoorbeeld alleen het elektriciteitsnetwerkdomein.

ESDL brengt onder andere informatie over energieassets en de infrastructuur voor alle energiedragers samen, gecombineerd met informatie over ruimtelijke aspecten, kostenaspecten, energiepotentieel en energieprofielen.

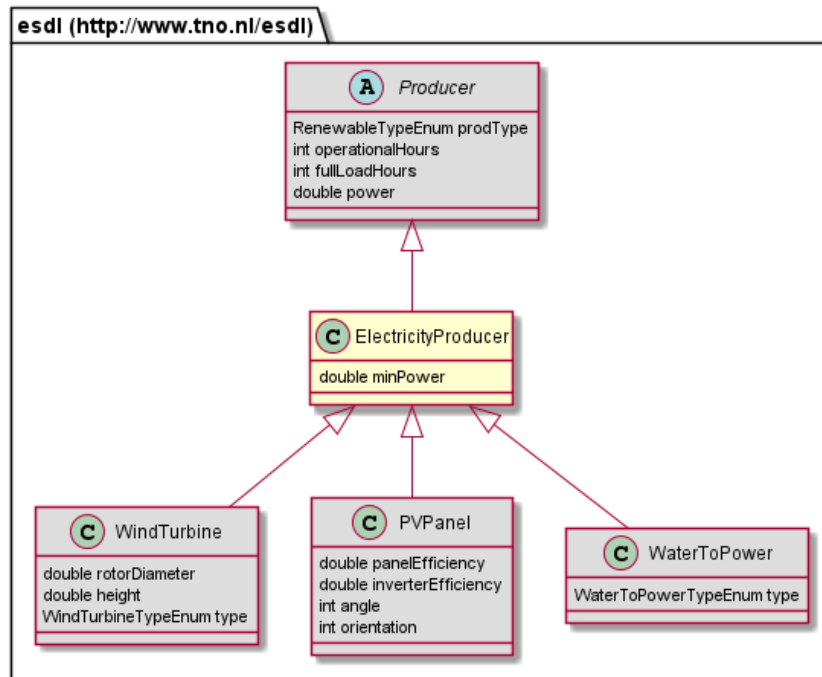
ESDL is primair bedoeld voor de ontwikkelaars van energiemodellen, voor het uitwisselen van informatie tussen verschillende modellen. ESDL zorgt voor een gedeeld vocabulaire zodat modelleers en modellen elkaar begrijpen. ESDL kan ook gebruikt worden voor het publiceren van standaard datasets (zoals standaardprofielen, definities van sectoren, definities van energiedragers, factsheets met specificaties van technologieën en aannames over verwachte ontwikkelingen in bijvoorbeeld de efficiëntie en de kosten). Specifiek voor dit doel is de Energy Data Repository ontwikkeld (zie verder, Paragraaf 4.3.2).

Om een energiesysteem op een gestructureerde manier te beschrijven, wordt bij ESDL gebruikgemaakt een objectgeoriënteerde aanpak: alle onderdelen uit een energiesysteem worden als een object beschouwd waarbij gekeken wordt welke attributen dat object heeft en welke relaties met zijn omgeving. Zo heeft bijvoorbeeld een windmolen een rotor-diameter (attribuut), een hoogte (attribuut), geografische locatie (attribuut), vermogen (attribuut), een eigenaar (relatie), staat in een bepaald gebied (relatie) en is verbonden met een elektriciteitsnetwerk (relatie). Door nu windmolens te classificeren en te abstraheren van specifieke details zijn alle windmolens in te delen in één windmolen klasse, in ESDL is dit de 'WindTurbine' klasse. Door nu een definitie aan deze klasse te hangen, is nu het woord 'WindTurbine' voor ESDL gedefinieerd². Al deze klassen en relaties tussen deze klassen bij elkaar definiëren het ESDL-informatiemodel.

² Zie [WindTurbine : Describes an individual wind turbine. A wind turbine is a producer capability](#) voor de definitie van de WindTurbine en alle andere klassen in ESDL.

Deze aanpak is gebaseerd op UML (Unified Modeling Language) (Wikipedia, 2021). UML is een generieke object-georiënteerde modelleringstaal uit de softwareontwikkeling en biedt een gestandaardiseerde manier om dit soort klasse-diagrammen te visualiseren. In Figuur 4 staat een voorbeeld van het UML-klassediagram van de WindTurbine klasse in ESDL.

Figuur 4 - Voorbeeld UML-klassediagram van de WindTurbine. Vijf klassen zijn zichtbaar (aangeduid met een © en met een (A)): Producer, ElectricityProducer, WindTurbine en PVPanel en WaterToPower. De overervingsrelatie tussen de klassen wordt aangegeven met een open pijl



In dit diagram komt een belangrijk aspect van objectgeoriënteerde modellen naar voren: ‘overerving’. Overerving wordt door een open pijl aangegeven, waarbij de klasse waar de pijl naar wijst een generalisatie is (een abstractere versie, ook wel superklasse) van de klasse waar de pijl vandaan komt. Een ElectricityProducer is een generalisatie van een WindTurbine, en andersom is een WindTurbine een specialisatie (ook wel subklasse) van een ElectricityProducer. Dit betekent dat een WindTurbine alle eigenschappen van de ElectricityProducer en Producer erft. Dit geldt ook voor het PVPanel, al heeft deze zelf weer andere eigenschappen (zoals een oriëntatie en panel efficiency) vergeleken met de WindTurbine (zoals hoogte en rotordiameter).

Tegelijkertijd hebben ze allemaal de eigenschap ‘power’ overgeërfd, waardoor de som van alle vermogens van alle Producers in een energiesysteem, de simpele optelsom van de eigenschap ‘power’ is. Dit krachtige principe maakt het overzichtelijk en eenvoudiger om een domein zoals het energiedomein te modelleren, waarbij gedeelde eigenschappen en relaties niet steeds gedupliceerd worden, maar alleen de verschillen gemodelleerd worden. Daarom zijn andere eigenschappen, zoals geometrie en relaties met andere onderdelen uit een energiesysteem niet zichtbaar in dit diagram: De Producer klasse erft dit allemaal over van andere superklassen, zoals EnergyAsset en Asset. Een online navigeerbaar UML-diagram van ESDL is online beschikbaar³.

³ Online naslagwerk van de ESDL-klassenstructuur is te vinden op: [ESDL Model Reference documentation](http://www.tno.nl/esdl)

Daarnaast biedt UML de mogelijkheid om op basis van alle klasse beschrijvingen softwarecode te genereren⁴, zodat softwareprogramma's, zoals rekenmodellen, gebruik kunnen maken van deze klassen en daarmee ESDL kunnen begrijpen.

Een heel groot voordeel is dat het gemakkelijk is om softwarecode te genereren op basis van het ESDL-informatiemodel. Dit maakt het voor de ontwikkelaars van modellen eenvoudig om ESDL te gebruiken.

Deze laatste mogelijkheid is één van de ontwerpprincipes achter ESDL: het laagdrempelig maken van de toepassing van ESDL. Op basis van het ESDL-informatiemodel kan er programmeercode in bijvoorbeeld Java of Python gegenereerd worden, die het voor de modelmakers en softwareontwikkelaars heel gemakkelijk maakt om een energiesysteem-beschrijving in ESDL in te lezen, te interpreteren, aan te passen, erover te redeneren en/of het weer weg te schrijven. Hierdoor wordt het makkelijker input data en output data van deze rekenmodellen te standaardiseren.

3.2.2 Alternatieve datamodellen en informatiestandaarden

Naast ESDL kunnen ook alternatieve standaarden gebruikt worden voor informatie-uitwisseling zoals deze nu plaatsgevonden heeft in de provinciale systeemstudies. Een overzicht van deze inventarisatie is in deze paragraaf beschreven. Dit overzicht is verre van uitputtend binnen de genoemde categorieën, maar bevatten standaarden die vaak genoemd worden in relatie tot ESDL of die interessante raakvlakken lijken te hebben. Deze datamodellen en standaarden zijn ingedeeld in de volgende categorieën:

1. Bouw en gebouwen.
2. GIS- en geostandaarden.
3. Energienetwerkstandaarden.
4. Aansturen van apparaten en installaties.
5. Ontologieën.
6. Metadatastandaarden.

Bouw en gebouwen

Eén van de deelmodellen die voor de provinciale systeemstudies gebruikt is, rekent aan de gebouwde omgeving. Het is hier belangrijk om informatie over energieverbruik in de gebouwde omgeving te kunnen communiceren. Een veel gebruikte standaard in de gebouwenwereld is BIM. BIM (Building Information Modeling) is een manier van werken waarbij in een 3D-gebouwmodel integraal samengewerkt wordt door diverse disciplines in de bouwsector (BIM, lopend). De Industry Foundation Classes (IFC, ISO 16739-1:2018) is een bestandsformaat specificatie bedoeld voor informatie-uitwisseling in de architectuur-, bouw- en constructiesector. Het is mogelijk om in zeer groot detail niveau gebouwen te modelleren en er zijn mogelijkheden om daar de gebouwinstallaties (inclusief pijpen, kabels, e.d.) in mee te modelleren.

⁴ ESDL gebruikt het Eclipse Modeling Framework (EMF) als modelleeromgeving en voor o.a. codegeneratie. EMF is weer gebaseerd op UML.

GIS- en geostandaarden

Binnen de provinciale systeemstudies is ruimtelijke informatie heel belangrijk. Er vindt veel standaardisatie plaats op het gebied van ruimtelijke data. Zie [Overzicht geo-standaarden](#) voor een heel uitgebreid overzicht van dit soort standaarden. Het betreft hier het standaardiseren van het ruimtelijke aspect van de informatie, dus hoe beschrijf je een vorm op de kaart (een punt, een lijn, een vlak) of hoe beschrijf je een plaatje. De meeste standaarden die hier relevant zijn, zijn niet specifiek voor het energiedomein bedoeld, maar kunnen daar wel voor gebruikt worden. Een aantal begrippen die veel gebruikt worden als het over ruimtelijke data gaat, wordt hieronder in iets meer detail toegelicht.

INSPIRE

INSPIRE is een Europese standaard voor ruimtelijke datasets en ruimtelijke services. Overheden zijn verplicht bij het publiceren van ruimtelijke datasets om zich te houden aan de INSPIRE-richtlijn. De INSPIRE-richtlijn is onderverdeeld in 34 thema's (EC, lopend). De meeste relevante thema's voor energietoepassingen lijken:

	Naam van het thema	Link naar beschrijving
	Energy Resources	Inspire Knowledge Base : Energy Resources
	Production and Industrial Facilities	Inspire Knowledge Base : Production and industrial facilities
	Utility and Governmental Services	Inspire Knowledge base : Utility and governmental services

Deze drie thema's worden kort toegelicht:

1. Het Energy Resources thema richt zich specifiek op de ruimtelijke beschikbaarheid van bronnen. Voorbeelden zijn koolwaterstoffen, waterkracht, bio-energie, zon, wind. (Gerelateerd ESDL-begrip: *Potential* en alle subklassen).
2. Het Production and Industrial Facilities thema richt zich op alle productie en industriële faciliteiten en niet perse op de energetische aspecten ervan. Focus ligt vooral op vervuiling, afval en risico's (Bij nader inzien dus maar een beperkte relatie met energie).
3. Het Utility and Governmental Services thema bevat onder andere informatie over netwerken (inclusief topologie gebruikmakend van de *node-arc-node* structuur), het getransporteerde *materiaal* en capaciteiten. Toepassing betreft zowel energienetwerken als ook telecommunicatienetwerken, waterleidingsystemen en rioolssystemen. (Gerelateerde EDSL-begrippen: *Transport* (inclusief subklassen) en *EnergyCarrier/Commodity*).

OGC-standaarden: WMS, WFS, CityGML

Het Open Geospatial Consortium (OGC) is een internationaal standaardisatieorgaan waar wereldwijd meer dan 500 organisaties samenwerken om te komen tot standaarden voor ruimtelijke datasets en diensten (WMS⁵/WFS⁶/...), Sensor-data, IoT, GIS-dataprocessing. In veel web-gebaseerde kaartapplicaties (Warmteatlas, PICO/Energietransitie Viewer, Transitie Visie Warmte Viewer) wordt veelvuldig gebruikgemaakt van kaartlagen in formaten die door het OGC gestandaardiseerd worden. Deels bestaan die standaarden uit

⁵ WMS - Web Map Service: standaard voor het versturen van kaartinformatie als plaatje.

⁶ WFS - Web Feature Service: standaard voor het versturen van ruimtelijke vector-data.

‘plaatjes’ (WMS, WMTS⁷, ...) die makkelijk door mensen te interpreteren zijn, maar lastiger door algoritmes. Er zijn ook standaarden (WFS) die ruimtelijke *features* (in de vorm van bijvoorbeeld punten, lijnen, polygonen) beschrijven met een willekeurig aantal attributen. Dit kan zeker gebruikt worden voor energie gerelateerde informatie, maar de standaard formaliseert geen enkel concept uit het energiedomein (de naamgeving van de attributen is een vrije keuze van de opsteller van de kaartlaag). Een laatste interessante OGC-standaard is CityGML, voor het ruimtelijk (3D) beschrijven van steden, landschappen, gebouwen, straten, bruggen, straatmeubilair. CityGML is vooral interessant omdat er een energie-specifieke extensie gemaakt is.

CityGML Energy ADE

Een hele interessante extensie op de CityGML-standaard is de CityGML Energy ADE (Application Domain Extension). Deze vertoont zeker een aantal gelijkenissen met ESDL in de manier waarop bepaalde zaken gemodelleerd worden (en natuurlijk ook een aantal verschillen). De extensie is specifiek ontwikkeld om allerlei energiegerelateerde aspecten van gebouwen te beschrijven, variërend van allerlei bouwfysische aspecten (isolatiewaarden, warmtecapaciteit), gedrag van bewoners of bezoekers, materialen en constructie en energie gerelateerde apparatuur in het gebouw (voor conversie, distributie, opslag en afgifte van energie). Het biedt de mogelijkheid om alle gevels, ramen, daken en vloer van een gebouw apart te modelleren en is daarmee op dat vlak gedetailleerder dan ESDL.

Referentie	Link
Specificatie	CityGML Energy ADE V. 1.0 : specification, 2018
Catalogus van concepten	CityGML: Feature catalogue energy:Energy-ADE index
UML-diagrammen	CityGML: Class Model Diagrams

3.3 Uitwisselingsformaten en bestandsformaten voor ruimtelijke data

Heel veel ruimtelijke data die gebruikt wordt binnen de provinciale systeemstudies is beschikbaar in een standaard uitwisselingsformaat. De volgende uitwisselingsformaten (vaak ook als bestanden te vinden met die specifieke extensie of een afkorting daarvan) bieden een standaard manier om ruimtelijke data te beschrijven. Aan de ruimtelijke objecten kunnen attributen gehangen worden, maar de namen van deze attributen zijn verder niet vastgelegd (de gebruiker is vrij ze te kiezen). De volgende lijst is niet uitputtend:

- Shapefile: ESRI⁸-bestandsformaat voor ruimtelijke data (punten, lijnen, polygonen).
- GML: XML⁹ gebaseerd bestandsformaat voor het uitwisselen van ruimtelijke data.
- Geopackage: Bestandsformaat gebaseerd op SQLite¹⁰ voor uitwisselen ruimtelijk data.
- GeoJSON: IETF¹¹-standaard voor het beschrijven van punten, lijnen, polygonen e.d.

Deze informatie zal altijd in dit soort bestandsformaten beschikbaar blijven. Maar voor de semantiek van de energie specifieke informatie zijn extra afspraken nodig.

⁷ Web Map Tile Service - standaard voor het versturen van tevoren gerenderde kaarttiles.

⁸ ESRI is dé leverancier in de wereld van GIS-applicaties (o.a. ARCGIS). Bepaalde ruimtelijke standaarden komen ook bij ESRI vandaan.

⁹ [eXtensible Markup Language \(XML\)](#)

¹⁰ SQLite is een databaseoplossing.

¹¹ De Internet Engineering Task Force (IETF) is het wereldwijde standaardisatieorgaan voor verschillende internet protocollen.

GIS-applicaties

ESRI ARCGIS en QGIS zijn GIS-applicaties voor het bekijken en analyseren van ruimtelijke data. ESRI is de maker van het ARCGIS-pakket en QGIS is de open source variant met een hele actieve community van gebruikers. Alle hierboven genoemde formaten en diensten kunnen met deze pakketten ingeladen worden en bekeken/geanalyseerd worden. Er is inmiddels ook een eerste versie van een ESDL-plugin voor QGIS ontwikkeld door Geodan.

Ruimtelijke visualisaties vormen belangrijk onderdeel van systeemstudies om informatie over energiesysteem, energiesysteem-scenario's, knelpuntenanalyse en het informatieproduct ruimtelijke footprint intuïtief toegankelijk te maken.

Energienetwerkstandaarden

CIM - Common Information Model

Het Common Information Model (CIM) is ontwikkeld door partijen uit de energiesector en geadopteerd als IEC¹²-standaard (IEC 61970). Het is bedoeld om informatie over het elektriciteitsnetwerk (transportnetwerk) uit te wisselen tussen verschillende applicaties van de netbeheerder. Er zijn verschillende extensies op de CIM-standaard; voor distributienetwerken specifiek bestaat een de IEC 91968, voor energiemarkt communicatie de IEC 62325. Daarnaast bestaat er een zeer groot aantal gerelateerde standaarden voor allerlei specifieke toepassingen, zoals bijvoorbeeld voor de aansturing van onderstations in elektriciteitsnetwerken (IEC 61850).

De vraag hoe CIM zich verhoudt tot ESDL komt (logischerwijs) vooral vanuit de hoek van de netbeheerders. De essentiële verschillen worden in de tabel weergegeven:

Aspect	CIM	ESDL
Scope	Elektriciteitsnetten	Energiesysteem in de breedte
Detailniveau	Zeer hoog detailniveau	Hoog-over beschrijving, abstracter
Toepassing	Operationeel beheer van het netwerk, planning, metering, aansturing, assetmanagement	Beschrijven van verschillende scenario's, documenteren van aannames, informatie-uitwisseling tussen modellen

ESRI DHC 2020 - District Heating and Cooling Data Model (DHC2020)

Datamodel, ontwikkeld door ESRI, specifiek bedoeld voor het beschrijven van de topologie van warmte-, koude- en stoomnetwerken. Het is zeer gedetailleerd maar focust op één deel van het totale energiesysteem, de warmte- en koudenetwerken.

Referentie	Link
Specificatie	esri Community : District Heating and Cooling Data Model 2020 Release
Artikelen	esri Community : District Heating and Cooling Data Model 2020 Release Linkedin : District Heating and Cooling Data Model - 2020 Release

¹² De International Electrotechnical Commission (IEC).

De verschillen tussen ESDL en DHC2020 worden in de tabel weergegeven:

Aspect	DHC2020	ESDL
Scope	Warmte- en koudenetwerken	Energiesysteem in de breedte
Detailniveau	Zeer hoog detailniveau	Hoog-over beschrijving, abstracter
Toepassing	GIS, bedoeld voor operators van pijpnetwerken	Beschrijven van verschillende scenario's, documenteren van aannames, informatie-uitwisseling tussen modellen

3.4 Aansturen van apparaten en installaties

Er vindt ook veel standaardisatie plaats in de hoek van apparaten (of installaties), de energieflexibiliteit die ze hebben en de rol die ze in een energiemarktmodel kunnen hebben. Er zijn her en der wel raakvlakken of overlap met de ESDL-ontwikkelingen, maar ze dienen veelal een compleet ander doel. In de volgende tabel staat een overzicht van veel voorkomende standaarden met een korte beschrijving en een link naar meer informatie hierover.

Standaard/Initiatief	Uitleg	Link
Energy@home	Faciliteert ontwikkeling van technologie en diensten ten behoeve van energie-efficiëntie in huis.	Energy@home : Energy@home Data Model
SAREF	Smart Appliance Reference Ontology. Focus op (slimme) apparaten in huis, kantoor of andere gebouwen (wasmachines, warmtepompen, ...) Definieert onder andere functies, taken, commando's en diensten van/voor deze apparaten. Niet perse energie-specifiek, maar energie-aspecten worden wel meegenomen.	Navigation : Ontology https://w3id.org/saref
OpenADR	Smart grid standaard voor automatiseren en simplificeren van benutten van Demand Response (DR) en Distributed Energy Resources (DER) door energiebedrijven en aggregators.	Open ADR Alliance : Connecting Smart Energy to the Grid
EFI	Energy Flexibility Interface, standaard specifiek gericht op communiceren over aanwezige flexibiliteit en het kunnen benutten ervan (middels aansturen van apparaten).	EFI - Energy Flexibility Interface
USEF	Standaard op vlak van informatie-uitwisseling tussen verschillende rollen in de energiemarkt, ten behoeve van handel in energie flexibiliteit. USEF voorziet ook in een framework met architectuur, tools en regels.	USEF : Universal Smart Energy Framework

Ontologieën

Een (domein)ontologie is een datastructuur die alle relevante entiteiten en hun onderlinge relaties en regels binnen dat domein bevat (Wikipedia, 2013). ESDL zou je in die zin dus ook een ontologie kunnen noemen.

De term ontologie wordt veel gebruikt in combinatie met 'linked data' en het 'semantisch web'. Protocollen en standaarden die hier onder andere veel genoemd worden zijn OWL (Web Ontology Language) en RDF (Resource Description Framework). Veelgehoorde namen van de hierbij behorende tooling zijn RDF tripple stores (de database) en semantic reasoners (nieuwe feiten afleiden op basis van de structuur die door de ontologie geboden

wordt). Dit zijn allemaal onderwerpen die veel onderzocht worden bij universiteiten en onderzoeksinstituten en steeds meer toepassingen vinden in de praktijk.

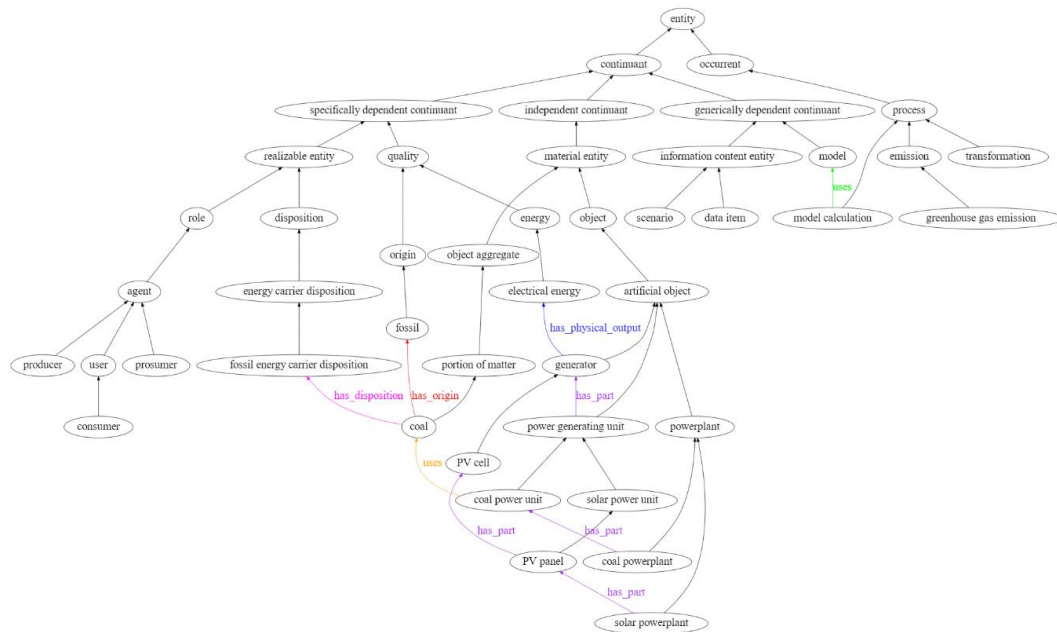
Een groot verschil tussen een UML-gebaseerd informatiemodel, zoals ESDL, en een OWL-gebaseerde ontologie is dat UML restrictiever is in hoe je je ontologie of domein modelleert. Een UML-klassestructuur is een boomstructuur, terwijl OWL-gebaseerde ontologieën een graafstructuur hebben. Hierdoor kan je in die laatste expressievere en complexere informatiemodellen maken. Dit maakt het onder andere mogelijk kennismodellen te maken om vervolgens over die kennis te redeneren. Een voorbeeld van redeneren over die kennis kan zijn: ‘als een elektriciteitsgenerator CO₂-uitstoot, dan is deze niet duurzaam.’ Dit betekent dat je niet elke elektriciteitsgenerator hoeft te labelen met ‘duurzaam’, maar dat dit op basis van het kennismodel af te leiden is. Deze meer complexere toepassingen hebben wel tot gevolg dat dit soort informatiemodellen lastiger om te zetten zijn naar softwarecode, aangezien de meest gebruikte programmeertalen object-georiënteerd zijn en daarmee aan dezelfde restricties onderhevig zijn als UML-modellen.

In de volgende tabel staat een overzicht van een aantal ontwikkelingen op het vlak van energie ontologieën.

Ontologie	Uitleg	Link
Open Energy Ontology (en bijbehorend Open Energy Platform)	Initiatief van een aantal Duitse universiteiten en onderzoeksinstituten om een energiedomein ontologie te ontwerpen en tooling en data voor het doen van scenariostudies open of in ieder geval transparanter te maken. Qua uitgangspunten redelijk (of zeer) vergelijkbaar met ESDL. De eerste release van de ontologie was in de zomer van 2020 en het is nog zeer in ontwikkeling.	OpenEnergyPlatform : Ontology Ontologie overzichtsplaatje: OpenEnergyPlatform: Ontology figures, oeo-overview5 Platform: OpenEnergyPlatform (Emele et al., 2020)
OntPowSys	Ontologie specifiek voor elektriciteitsnetwerken, waarover in augustus 2020 een academisch paper gepubliceerd is in een Elsevier uitgave getiteld ‘Energy and AI’.	(Devanand et al., 2020)
Urban Energy Systems ontology	IEEE paper uit 2010 waarin beschreven wordt hoe de UES (Urban Energy Systems) en de STS (Socio-Technical Systems) ontologieën gecombineerd kunnen worden. De UES ontologie is (of was) in ontwikkeling bij het Imperial College Londen.	(Dam & Keirstead, 2010)
Urban Energy Ontology	Overkoepelende ontologie met focus op gebouwdata en gebouwenergie-efficiëntie, gebaseerd op allerlei definities uit bestaande ISO-standaarden. Publicaties zijn uit 2013.	Semanco tools : Urban Energy Ontology

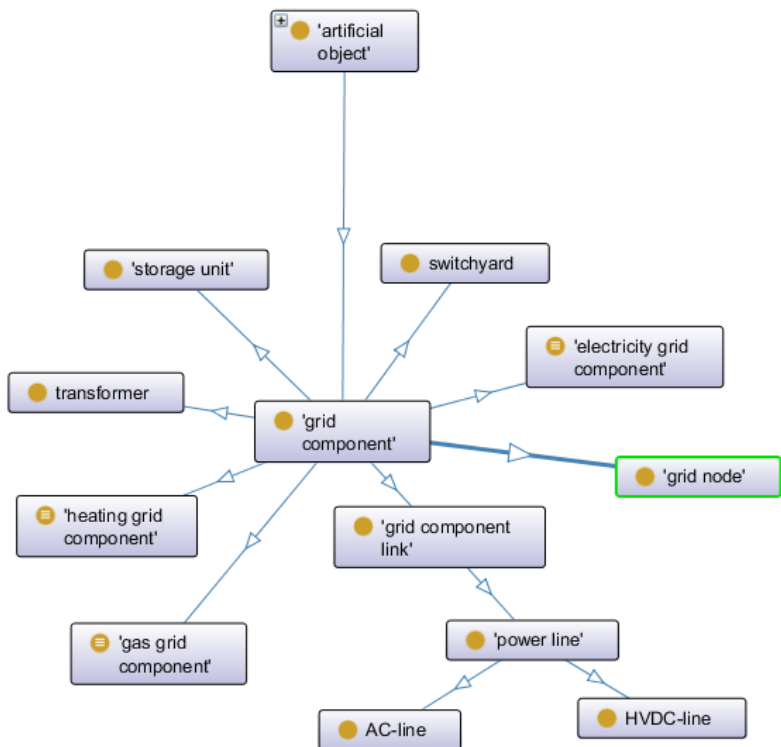
Van deze vier initiatieven lijkt de bovenste het meest relevant en actueel. Op het moment van schrijven ziet de overzichtsplaat van de ontologie er zo uit:

Figuur 5 - Overzicht van bovenste deel van de OEO-ontologie



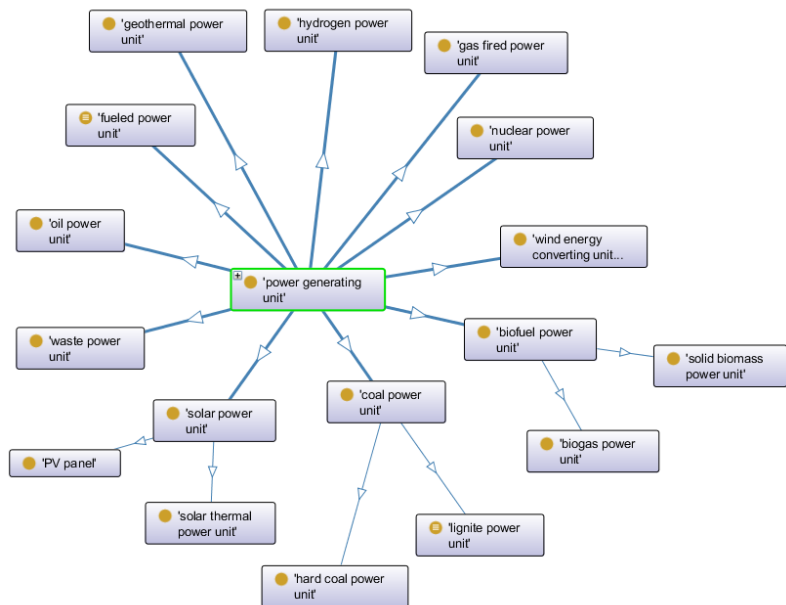
De Open Energy Ontology is duidelijk nog in ontwikkeling. Zo zijn er flink wat klassen gedefinieerd (906 op het moment van schrijven) met relaties onderling, maar zijn ze nog niet in detail uitgewerkt. Dataproducties (getypeerde attributen in UML) zijn in de huidige versie nog nauwelijks aanwezig, waardoor het voor het maken van instanties (individuals) nog niet echt bruikbaar lijkt. Dit verdient nader onderzoek om hier meer duidelijkheid te krijgen.

Figuur 6 - Netwerk elementen in OEO



Bron: openenergy-platform.org.

Figuur 7 - Verschillende power generating units in OEO



Bron: openenergy-platform.org.

Het lijkt erop dat er een soortgelijke aanpak als voor ESDL gekozen is: uitbreiding op basis van aangedragen usecases. Deze usecases lijken vooral gericht op het elektriciteitssysteem (dit heeft het meeste detail) en op nationale of continentale studies. Het is abstracter opgezet dan ESDL en heeft daardoor een bredere scope. Zo zijn bijvoorbeeld de individuele IPCC-sectoren opgenomen als onderdeel van de ontologie en wordt er onderscheid gemaakt tussen verschillende typen energiesysteem rekenmodellen (ESDL beschrijft helemaal niets over de rekenmodellen).

De scope van de Open Energy Ontology is heel erg breed; er worden heel veel concepten gedefinieerd (gebruikte term met definitie). De focus ligt op het standaardiseren van terminologie in het energiedomein en het annoteren van data (zie ook het kopje metadata-standaarden). Deels komt dit ook terug in de uitgangspunten van ESDL. Daar waar Open Energy Ontology stopt, gaat ESDL verder door de concepten praktisch toepasbaar te maken in en tussen rekenmodellen (onder andere met open source-software als de ESDL MapEditor en de Energy Data Repository).

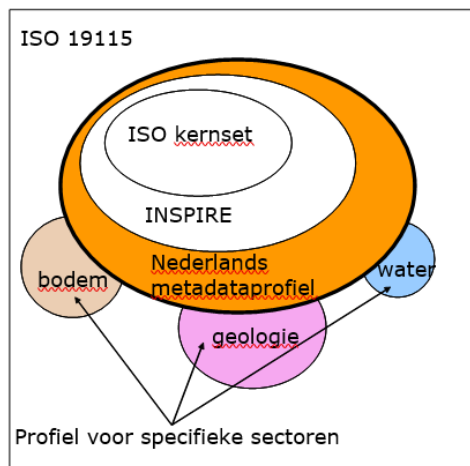
3.5 Metadatastandaarden

Metadata is data over data. Door metadata toe te voegen aan data, wordt het makkelijker deze data te vinden en te begrijpen wat deze data beschrijft waardoor deze data makkelijker herbruikbaar is. Metadata beschrijft eigenschappen zoals eigenaarschap, publicatie datum, beschrijving, keywords, versie, enzovoorts van de data.

Ook voor metadata zijn standaarden. Een metadatastandaard heeft als doel een gemeenschappelijk beeld te creëren over de betekenis van de data en dit in een specifieke structuur te gieten. Voor allerlei domeinen bestaan al metadatastandaarden (Wikipedia, 2020), zoals voor audiovisuele content (EBUCore, televisieuitzendingen), biologie (Darwin Core), Onderwijs (LOM), en bibliotheken (MARC, METS, MODS). De meest herkenbare metadatastandaard is waarschijnlijk de DOI-standaard: Digital Object Identifier (ISO 26324). Deze wordt vaak gebruikt om documenten (bijvoorbeeld een wetenschappelijk paper) uniek te identificeren op internet.

Metadatastandaarden die gerelateerd zijn aan energiesystemen zijn dun gezaaid. De meest relevante is metadata over ruimtelijke data. Dit betreft metadata over kaarten en kaartlagen en diensten die deze kaarten aanbieden, zoals WMS en WSF. Binnen Nederland beheert Geonovum, (lopend) deze metadatastandaarden. Deze standaarden zijn gebaseerd op ISO 19115 en 19119 en komen terug in de Europese INSPIRE-richtlijn, waarbij Geonovum ze aangepast heeft aan de Nederlandse situatie, zie Figuur 8.

Figuur 8 - Nederlandse metadatastandaarden voor ruimtelijke data



Bron: Geostandaarden.nl.

[Het Nationaal Georegister](#) is een voorbeeld waarin van deze metadatastandaarden gebruik gemaakt wordt om naar allerlei datasets en kaarten te kunnen zoeken, ze te bekijken of zelf publiceren.

Aangezien INSPIRE maar beperkt het modelleren van een energiesysteem ondersteunt (zie vorige sectie) en er geen Nederlandse uitbreiding is voor het energiedomein, zijn deze standaarden alleen bruikbaar voor het beschrijven van bijvoorbeeld geografische kaarten uit systeemstudies.

Metadatastandaarden voor datasets (zoals profieldata) wordt toch vaak een zelfgemaakte beschrijving gebruikt en is helaas niet gestandaardiseerd.

Een voorbeeld hiervan is het Open Energy Platform in Duitsland die ook metadata gebruikt om zijn datasets te beschrijven. Zij heeft dit gepubliceerd op [OpenEnergyPlatform ; oemetadata](#) en beschreven op [OpenEnergyPlatform : organisation metadata](#). Hierbij wordt een json-schema specificatie gebruikt om de metadata te definiëren.

Een voorbeeld van hoe het Open Energy Platform zijn metadata definieert voor hun datasets, is hieronder weergegeven. Dit lijkt een goed startpunt voor verdere beschrijving van datasets binnen systeemstudies.

Name	A name or a short description of this dataset
ID	A globally unique identifier, e.g. Universal Unique Identifiers (UUID) and Digital Object Identifiers (DOI).
Homepage	A URL for the home on the web that is related to this dataset ('landing page'). The URL should be permanent.
Licenses	The license(s) under which the dataset is provided as name, URL and SPDX identifier, such as: Creative Commons Zero, CC0-1.0 : Public Domain Dedication
Description	A description of the dataset. Depending on type and size this can be anything from one paragraph to several pages.
Documentation	A link to the further documentation of the dataset.
Geographic scope	Specify the geographical area this dataset represents, e.g. '50 hertz control zone'.
Temporal scope	Specify the beginning and end of the total period covered by this dataset, e.g. '2008-01-01T00:00:00 to 2018-05-04T:23:59:59'.

Name	A name or a short description of this dataset
Unit	The unit of measurement, e.g. 'MW'.
Publication date	The publishing date of the data package, such as 2018-04-05.
Sources	The raw sources for this dataset. Where the publisher of this dataset is not the original creator of the data, proper reference should be given to the original source. For example, in the case of the ENTSO-E Transparency Platform, the contact details of the Primary Data Owner(s) as well as the Data Provider(s) should be provided.
Contact	A point of contact, such as a forum, or ideally a person available to contact for questions and feedback regarding the data.
Technical specifications	Information required to parse the data file(s) in the processing software, i.e. for CSV-files the character encoding (i.e. 'UTF-8'), the columns separator (i.e. ',') and decimal character (i.e. '.'). For time series data the format of datetime values (i.e. 'YYYY-MM-DDThh:mm:ssZ').
Time-resolution	For time series data, indicate the duration between time steps as well as whether data is associated with the beginning or end of a reported period.
Metadata for each variable (e.g., one column in a table of time series data or one attribute in a list of power plants)	
Name	This property should correspond to the name of the column in the data file. As such it should be unique.
Description	A description for this column.
Unit	The unit of measurement, e.g. MW.
Type	Indicate data type (e.g. 'string', 'number', 'datetime') and format of this column, e.g. for a datetime 'YYYY-MM-DDThh:mm:ssZ'.
Geographical scope	For time series data, specify the geographical area this column represents, e.g. '50Hertz control area'.
Temporal scope	For time series data, specify the beginning and end of the total period covered by this column, e.g. 2008-01-01T00:00:00 to 2018-05-04T:23:59:59.

Vergelijking van standaarden

De Tabel 1 op de volgende pagina vergelijkt de meest voor de hand liggende standaarden met elkaar op een aantal aspecten.

Deze aspecten zijn:

- Scope: Welke deel van het energiedomein beschrijft de standaard?
- Detailniveau: Op welk detailniveau wordt het energiedomein en de betrokken andere domeinen gemodelleerd?
- Ruimtelijk: Kan de standaard ruimtelijke aspecten beschrijven?
- Open standaard: Kan de standaard gebruikt en geïmplementeerd worden zonder licentiekosten?
- Connectiviteit: Zijn netwerken te modelleren zodanig dat losse onderdelen met elkaar verbonden kunnen worden.
- Toepassing: Wat is de belangrijkste toepassing van de standaard?

Tekstbox 1 - Connectiviteit

Connectiviteit is voor een aantal rekenmodellen een belangrijk begrip om te kunnen rekenen aan energiestromen. In welke mate is het mogelijk om een topologie (wat is met wat verbonden?) te beschrijven. In een energiesysteem zijn energieproductie en -consumptie met elkaar verbonden door infrastructures. Het modelleren van deze infrastructures en hun verbindingen kan op verschillende manieren:

- Expliciet, hierbij worden de relaties tussen netwerkdelen expliciet gemaakt:
 - via een graaf, waarbij de netwerkelementen (knopen of vertices) en verbindingen (edges) gebruikt worden om de verbondenheid tussen elementen te definiëren;
 - via een connectiviteitsmatrix, een matrix waar per netwerkelement aangegeven is of deze met een ander netwerk element verbonden is.
- Impliciet, door af te leiden dat netwerkdelen aan elkaar verbonden zijn:
 - In veel GIS-dataformaten (bijvoorbeeld in WFS-kaartlagen en Shapefiles) zijn lijnen en punten aan elkaar verbonden indien de GIS-coördinaten met elkaar overeenkomen binnen een bepaalde foutmarge.
 - Alternatief is het gebruik van attributen van shapes (punt, lijn, polygon) in een shapefile, waarbij het ene shape gelinkt wordt aan een andere shape op basis van bijvoorbeeld een unieke identificatie ID. Helaas is dit vaak geen onderdeel van de standaard.

Impliciete connectiviteit heeft dus een extra bewerkingstap met bijbehorende regels nodig om tot expliciete connectiviteit te komen en te kunnen afleiden of onderdelen met elkaar verbonden zijn.

Er zijn heel veel datasets die openbaar beschikbaar zijn (als GIS-kaartlaag) waarbij er geen informatie over de connectiviteit aanwezig is en waarbij deze regels niet beschikbaar zijn of het zelfs niet eens mogelijk is om op basis van regels de connectiviteit te bepalen.

Tabel 1 - Vergelijking van standaarden

Standaard	Scope	Detailniveau	Ruimtelijk	Open standaard	Connectiviteit	Toepassing
Open Energy Ontology	Energiesysteem in de volle breedte	Middel	Nee	Ja	Ja Expliciet	Standaardiseren terminologie in energiedomein en metadata van datasets.
ESDL	Energiesysteem in de breedte	Middel	Ja	Ja (Apache 2.0)	Ja Expliciet	Beschrijven van verschillende scenario's, documenteren van aannames, informatie-uitwisseling tussen modellen.
INSPIRE	Ruimtelijke (energie) data	Laag	Ja	Ja	Ja Expliciet	Beschrijven en publiceren ruimtelijke data.
CIM	Elektriciteitsnetwerk	Zeer hoog	Ja	Nee (IEC-standaard)	Ja Expliciet	Operationeel beheer van het netwerk, planning, metering, aansturing, assetmanagement.
BIM	Gebouw	Zeer hoog	Ja	Ja (IFC-standaard)	Ja Expliciet	3D beschrijven van gebouwen inclusief installaties.
CityGML + EnergyADE	Virtuele 3D-modellen van gebouwen in een stad	Hoog	Ja	Ja (OGC-software)	Nee	Modelleren (smart) cities en energieaspecten van gebouwen in de stad.
DHC2020	Warmte- en koudenetwerken	Zeer hoog	Ja	Ja (CC 4.0)	Ja Expliciet	GIS, bedoeld voor operators van pijpnetwerken.

Als we kijken naar de integratie van rekenmodellen voor systeemstudies, blijven er op basis van bovenstaande vergelijkingstabel twee opties over. De Open Energy Ontology en ESDL dekken het energiesysteem in de breedte af, waar de andere vijf modellen slechts een deel afdekken.

Dit betekent niet dat deze informatiemodellen niet bruikbaar zijn voor systeemstudies. Integendeel, ze dekken een specifiek deel af waarbij het prima mogelijk is dat bepaalde brondata voor een systeemstudie in een dergelijk formaat (of informatiemodel) beschikbaar is. Zo kunnen kaartlagen met informatie over de geothermiepotentie prima volgens de INSPIRE-richtlijnen aangeleverd worden, en zal de (elektriciteits)netbeheerder bij het doorrekenen van zijn netwerk en het bepalen van de knelpunten waarschijnlijk wel gebruikmaken van de CIM-standaarden.

Daar waar bij systeemstudies modelintegratie en herbruikbaarheid van (tussen)resultaten belangrijk is, is een standaard nodig die een brede scope heeft en de deeldomeinen kan integreren. Zowel Open Energy Ontology en ESDL passen qua scope hierin. Zoals eerder benoemd ligt de focus van OEO op dit moment voornamelijk op het standaardiseren van de terminologie in het energiedomein, zodat definities van termen vastgelegd zijn. Dit zorgt ervoor dat modellers onderling dezelfde definities hanteren bij hun werkzaamheden.

ESDL gaat hierin nog een stap verder door ook modellers en softwareontwikkelaars de ESDL-terminologie makkelijk te laten gebruiken, omdat het ook een dataformaat is waarin systeemstudiedata kan worden opgeslagen en softwareontwikkelaars applicaties mee kunnen ontwikkelen.

4 ESDL als informatiemodel voor data-uitwisseling systeemstudies

In het voorgaande hoofdstuk concludeerden we dat ESDL een goede basis biedt voor toepassing in de context van de provinciale systeemstudies. Dit hoofdstuk gaat in op de toepassing van de Energy System Description Language (ESDL) als informatiemodel voor data-uitwisseling tussen rekenmodellen die in de provinciale systeemstudies gebruikt worden.

Als eerste stap gaan we in dit hoofdstuk kort in op de structuur van het ESDL-informatiemodel. Een goed inzicht in deze structuur is nodig om vervolgens in te kunnen gaan op de wijze waarop de informatie-elementen uit de systeemstudies die nodig zijn voor de informatieproducten in de systeemstudies (zie ook Hoofdstuk 1) een plek kan worden gegeven. Dit lichten we toe in Paragraaf 4.2. We sluiten af met Paragraaf 4.3, waarin we een eerste inkijk geven in de software die vanuit andere projecten (grotendeels open source) ontwikkeld is, waarbij per stuk software aangegeven wordt wat de rol binnen de context van provinciale systeemstudies zou kunnen zijn.

4.1 ESDL-structuur van het informatiemodel

In deze paragraaf lichten we eerst de structuur van het ESDL-informatiemodel toe. De structuur is overzichtelijk in beeld te brengen aan de hand van een boomstructuur die de hoofdstructuur van het ESDL-informatiemodel weergeeft, zie Figuur 9.

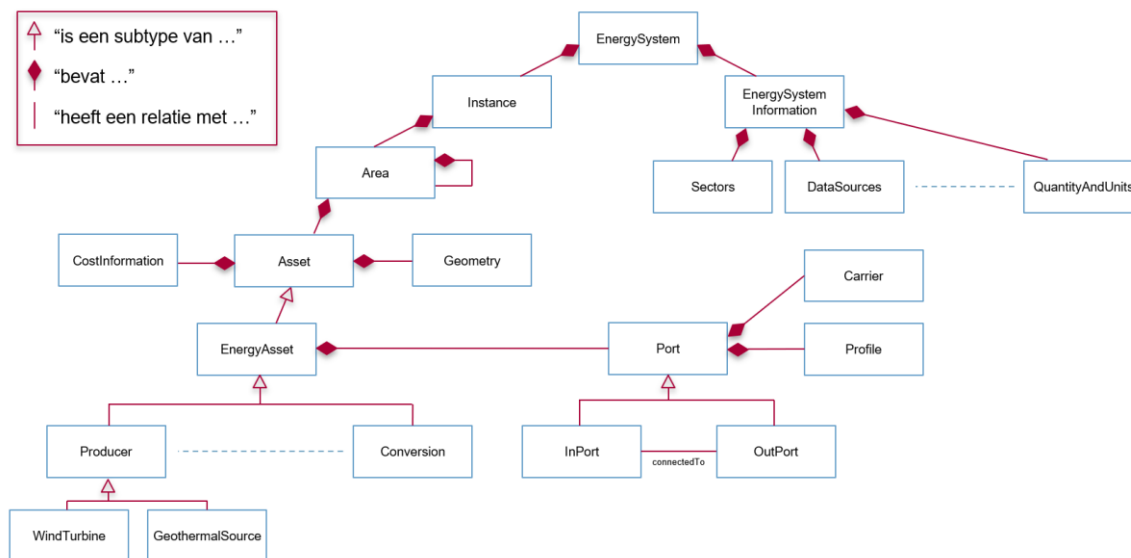
Zoals geschetst in voorgaande hoofdstuk is ESDL gestructureerd op basis van een object-georiënteerde aanpak, waarin alle onderdelen uit een energiesysteem worden als een object beschouwd, waarbij deze objecten met attributen (kenmerken) en relaties met zijn omgeving worden gekarakteriseerd. Dit kunnen we ook terugzien in de boomstructuur.

Er komen in deze weergave drie soorten relaties voor:

1. Het open pijltje geeft de superklasse-subklasserelatie weer. Een subklasse erft alle eigenschappen van zijn 'parent', de superklasse. Voorbeeld: de *EnergyAsset* erft alle eigenschappen van *Asset* en heeft daardoor zelf ook een *Geometry* en *CostInformation*.
2. Het dichte wiebertje geeft de zogenaamde 'containment'-relatie weer: Een instantie van de ene klasse kan 0, 1 of meer instanties van de andere klasse bevatten. Voorbeeld: Een *Area* kan 10 *WindTurbines* bevatten
3. De enkele lijn geeft een relatie of referentie weer: via de *connectedTo* relatie kunnen de *OutPort* van de ene *Asset* met de *InPort* van de andere *Asset* verbonden worden.



Figuur 9 - Boomstructuur van ESDL



Hierna wordt de elementen van boomstructuur verder toegelicht:

- Als je een scenario voor een bepaald gebied wilt beschrijven, begin je met een instantie van *EnergySystem*.
- Een *EnergySystem* bevat meestal één, soms meer *Instances*. Verschillende *Instances* in hetzelfde ESDL-bestand kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden voor verschillende scenario's, of verschillende zichtjaren. Vaak worden hier echter aparte ESDL-bestanden voor gemaakt.
- Een *Instance* bevat één *Area*. Deze *Area* is het grootste gebied dat relevant is voor dat wat je wilt beschrijven. Voor een provinciale systeemstudie zou het logisch zijn om hier de provincie te kiezen; echter als je de relaties met de omgeving (buiten de provincie) ook wilt beschrijven, is het verstandig dit breder te kiezen.
- Een *Area* kan zelf ook weer *Areas* bevatten en dit kan in principe zo vaak of diep als nodig is. Een provincie kan opgedeeld worden in gemeentes, de gemeentes in wijken, de wijken in buurten en de buurten in percelen.
- Een *Area* kan ook *Assets* bevatten.
- Een *Asset* is een fysiek ding met een *Geometry* (een vorm of een locatie) en *CostInformation*. Dit laatste beschrijft informatie als aanschafkosten, installatiekosten, onderhoudskosten, e.d.
- Een subtype van *Asset* is de *EnergyAsset* (een ander subtype van *Asset* in een *Building*).
- Een *EnergyAsset* heeft één of meerdere poorten (*Ports*), waarmee de connectiviteit tussen *EnergyAssets* beschreven kan worden.
- Poorten zijn er in twee typen *InPort* en *OutPort*. Aan poorten is de informatie over de energiedrager (*Carrier*) gekoppeld en profielinformatie (*Profile*).
- *EnergyAssets* zijn er in vijf typen (ook weer subklassen): *Producer*, *Consumer*, *Storage*, *Transport* en *Conversion*. Elk van deze klassen heeft een groot aantal subklassen; voor *Producer* zijn twee voorbeelden gegeven: *WindTurbine* en *GeothermalSource*.
- Tenslotte kan een *EnergySystem* nog generieke *EnergySystemInformation* bevatten. Dit kunnen bijvoorbeeld sectoren (*Sectors*) zijn waarnaar vanuit *Assets* verwezen kan worden, referenties naar databronnen (*DataSources*) waar de gebruikte informatie in de ESDL vandaan komt of de grootheden en eenheden (*QuantityAndUnits*) die bijvoorbeeld in de profielen gebruikt kunnen worden.

Een uitgebreide omschrijving van ESDL is gegeven in Appendix B.

4.2 Belangrijkste informatie-elementen uit de provinciale systeemstudies

Gegeven de analyse van de informatieproducten uit Hoofdstuk 1, die laat zien uit welke tussenproducten en brondata de vijf informatieproducten bestaan, kan gesteld worden dat de meeste tussenproducten al wel op een manier in ESDL beschreven kunnen worden.

We zullen dit aan de hand van het volgende lijstje met informatie-elementen toelichten, waarbij elk element vervolgens uitgelegd wordt:

Informatie-element	Informatieproduct				
	Vraag en Aanbod	Knelpunten	Oplossings-richtingen	Ruimtelijke impact	Kosten
Scenario's en zichtjaren	X	X	X	X	X
Schaalniveau (buurt, provincie, ...)	X	X	X	X	X
Vraag- en aanbodprofielen en energietotalen	X	X			
Energiedragers en grondstoffen	X				
Sectoren	X				
Categorieën en toepassingen ¹³	X	X		X	X
Connectiviteit		X	X	X	
Knelpuntenoverzicht		X	X	X	
Ruimtelijke aspecten			X	X	
Kostenaspecten			X		X
CO ₂ -uitstoot	X				

4.2.1 Scenario's en zichtjaren

Verschillende scenario's en zichtjaren kunnen als aparte ESDL-bestanden beschreven worden of indien gewenst als meerdere *Instances* in één ESDL opgenomen worden. Aan een *Instance* kan een *InstanceDate* of *InstancePeriod* gekoppeld worden om aan te geven dat het de situatie op een specifiek moment of tijdens een specifieke periode betreft.

4.2.2 Schaalniveau

ESDL is in principe toepasbaar voor de beschrijving van een energiesysteem op verschillende schaalniveaus. Het biedt de mogelijkheid om een redelijk abstract nationaal energiesysteem te beschrijven, maar een beschrijving op buurt niveau waar individuele gebouwen bestaan, met een beschrijving van de installaties in het gebouw is ook mogelijk. Indien gewenst kan een energiesysteem opgedeeld worden in deelgebieden op een specifieke schaal, zoals een RES-regio opdelen in buurten of een provincie in voorzieningsgebieden van de hoogspanningsstations. Van elk gebied kan dan met een attribuut aangegeven worden over welke ruimtelijke schaal het gaat. Dit biedt heel veel flexibiliteit in het modelleren van geneste gebieden met verschillende schaalniveaus in ESDL, maar dit vereist wel meer effort van de rekenmodellen om dit te interpreteren.

¹³ De categorieën en toepassingen te vinden in de tabellen in de paragraaf Uitwerking details van Informatieproduct 1 van Hoofdstuk 1.

4.2.3 Vraag- en aanbodprofielen en energietotalen

ESDL biedt de mogelijkheid om aan de poorten van Assets profielen te koppelen. Profielen zijn er in een aantal subtypen. Als eerste is er een profiel met de naam *SingleValue*. Dit profieltype wordt bijvoorbeeld gebruikt als er een energietotaal gecommuniceerd moet worden: de energievraag van de gebouwde omgeving in de provincie Zuid-Holland in het jaar 2019 is 127 PJ. Als er een profiel gecommuniceerd moet worden dat varieert over de tijd, bestaat er een *DateTimeProfile*. Hiermee kun je een lijst van datums/tijden met de profielwaarde op dat moment communiceren. Soms lijkt het logischer om deze data in een database op te slaan en er vanuit de ESDL naar te refereren: hiervoor is de klasse *DatabaseProfile* met nu als enige type *InfluxDBProfile* (InfluxDB is een internationaal veel gebruikte open source timeseries databaseoplossing. Indien gewenst is de toevoeging van ondersteuning van andere timeseries database vormen gemakkelijk mogelijk).

4.2.4 Energiedragers en grondstoffen

In ESDL kunnen commodities, energiedragers en materialen beschreven worden (zie voor een uitgebreide toelichting Appendix B). Dit zijn door de modelleur te definiëren elementen en is noodzakelijk om hier met de betrokken partijen tot een aantal standaard indelingen te komen (zie hiervoor Paragraaf 5.3).

4.2.5 Sectoren

Sectoren (Gebouwde omgeving, Industrie, Mobiliteit, ...) kunnen in ESDL vrij door de gebruiker gedefinieerd worden. Vervolgens kunnen Assets, Areas en Parties aan een sector gekoppeld worden. Dit kan vervolgens door rekenmodellen gebruikt worden om bepaalde uitkomsten per sector te berekenen.

4.2.6 Categorieën en toepassingen

In de huidige indeling van de Exceldatabase van Informatieproduct 1¹⁴ zoals die in verschillende systeemstudies is ingericht wordt de energievraag geannoteerd met 'subcategorie' en toepassing (zie ook Tabel 2).

Tabel 2 - Illustratie subcategorieën binnen de sector Gebouwde omgeving zoals gebruikt in voorbij systeemstudies

Sector	Subcategorie	Toepassing/ technologie	Energiedrager	Scenario	Netvlak
Gebouwde omgeving	Huishoudens	Regulier	Elektriciteit	2020_startsituatie	LS
	Huishoudens_warm tevraag	Warmtepompen	Elektriciteit	2020_startsituatie	LS
	Huishoudens_warm tevraag	Hybride_warmte- pompen	Elektriciteit	2020_startsituatie	LS

Als men deze informatie in ESDL wil modelleren wordt de structuur anders. De eerste regel gaat over een elektriciteitsvraag en de tweede en derde regel over een (finale) warmtevraag. Voor de tweede en derde regel is er sprake van conversie van elektriciteit naar warmte (door de (hybride) warmtepomp).

¹⁴ Dit is het overzicht in Excel waarbij de uitkomsten van alle deelmodellen van Informatieproduct 1 samenkomen. Deze Excel, met het totaaloverzicht van vraag en aanbod, wordt gebruikt door netbeheerders voor de knelpuntenanalyse (Informatieproduct 2).



Verder is er sprake van de subcategorie huishoudens (van de sector Gebouwde omgeving). Er zijn twee manieren op het concept 'huishoudens' te modelleren:

1. De eerste is om 'huishoudens' onderdeel te maken van de sector. Dus dan zou de sectornaam bijvoorbeeld 'Gebouwde omgeving - huishoudens' worden.
2. De tweede mogelijkheid (en die is explicieter) is om de huishoudens als een (geaggregeerd) gebouw te modelleren met als *type* attribuut de waarde *RESIDENTIAL* en daar de *ElectricityDemand*, *HeatingDemand* en *HeatPump* assets in op te nemen.

De informatie over het netvlak zou typisch gerepresenteerd worden via een verbinding (zie volgende onderwerp) met een *ElectricityNetwork* met een *ElectricityCommodity* met bijvoorbeeld de naam 'LS'.

4.2.7 Connectiviteit

EnergyAssets kunnen in ESDL verbonden worden via z'n poorten. Een poort kan meerdere verbindingen hebben met andere poorten. Zo kan een hele topologie van een kabel- of pijpnetwerk expliciet beschreven worden en aangegeven worden hoe een asset met de infrastructuur verbonden is. In ESDL is heel bewust gekozen om poorten toe te staan in twee typen, de *InPort* en de *OutPort*, waarbij met 'In' en 'Out' hier de richting van de positieve energiestroom bedoeld wordt. Er kan dus prima energie of een flow uit een *InPort* komen, alleen is de waarde in het rekenmodel dan negatief.

4.2.8 Knelpuntenoverzicht

Het communiceren van knelpunten in een ESDL beschreven netwerk is eigenlijk een resultaat van modeldoorrekening. Er zijn verschillende manieren om resultaten van simulaties of modeldoorrekeningen in de ESDL op te nemen. Eén van de mogelijkheden is het opnemen van KPIs. KPIs kunnen in ESDL aan *Assets* en aan *Areas* gekoppeld worden. In dit geval zouden de KPIs aan de onderstations gekoppeld kunnen worden. Op dit moment zijn de KPI-namen vrij te kiezen voor de gebruikers. Op termijn zou, indien er consensus is onder alle partijen over naamgeving en definities, er een standaard lijst KPIs opgenomen kunnen worden als onderdeel van de ESDL-taal.

4.2.9 Ruimtelijke aspecten

Voor het beschrijven van ruimtelijke aspecten (waaronder ruimtebeslag) zijn er in ESDL een aantal mogelijkheden. Allereerst is er de mogelijkheid om voor een *Asset* de *Geometry* te beschrijven. Een *Geometry* heeft onder andere als subtypen: *Point* (als alleen de locatie van een *Asset* relevant is), *Line* (als het tracé relevant is; voor pijpen en kabels) en *Polygon* (hiermee kan het oppervlak op de kaart beschreven worden dat ingenomen wordt door de betreffende asset). Daarnaast heeft iedere *Asset* een attribuut *surfaceArea*, waarmee de ingenomen ruimte in vierkante meters beschreven worden zonder dat expliciet gemaakt hoeft te worden hoe die ruimte eruit ziet (de vorm van de *Polygon*).

4.2.10 Kostenaspecten

Kostenaspecten heeft zowel een input aspect als een output aspect. Voor *Assets* (en *Measures*) kunnen een aantal verschillende kostensoorten gespecificeerd worden (bijvoorbeeld *InvestmentCosts*, *InstallationCosts*, *FixedOperationalCosts*, *VariableOperationalCosts*). Deze kosten kunnen als profiel opgenomen worden (en dus als *SingleValue* of als een tijd serie gespecificeerd worden). Verder hebben kosteneenheden (via *QuantityAndUnits*) en afhankelijk van het type kosten, kan het nodig zijn om bijvoorbeeld EUR, EUR/MW, EUR/MWh of EUR/MW/year te kiezen.



Kosten die berekend worden door een bepaald model (zoals totale maatschappelijke kosten of eindgebruiker kosten) kunnen wederom als KPI gekoppeld worden aan een gebied waarvoor de kosten berekend zijn.

4.2.11 CO₂-uitstoot

Voor CO₂-uitstoot geldt hetzelfde als het knelpuntenoverzicht. Het betreft een uitkomst van een modeldoorrekening en resultaten kunnen als KPI aan een *Area of Asset* gekoppeld worden. Voor de input aangaande emissiekentallen kan er informatie gekoppeld worden aan de *Carriers*. Voor elke Carrier kunnen emissiekentallen inclusief hun eenheid geconfigureerd worden (bijvoorbeeld in kg/GJ)

4.3 Beschikbaarheid van ESDL-software en rekenmodellen

De acceptatie van een nieuwe standaard voor het beschrijven van energiesysteemscenario's staat of valt met de beschikbaarheid van software om hier mee om te gaan. Zonder het softwareprogramma Excel zou het bewerken en bekijken van CSV-bestanden en XLS-bestanden zeer problematisch worden en zouden dat soort bestanden minder gebruikt worden. Hetzelfde geldt voor ESDL: softwaretools zijn nodig om ze te bekijken en te bewerken. In verschillende projecten wordt er de afgelopen jaren al gewerkt aan diverse softwareapplicaties die ESDL-compatible zijn. We noemen er hieronder een aantal.

4.3.1 De ESDL MapEditor

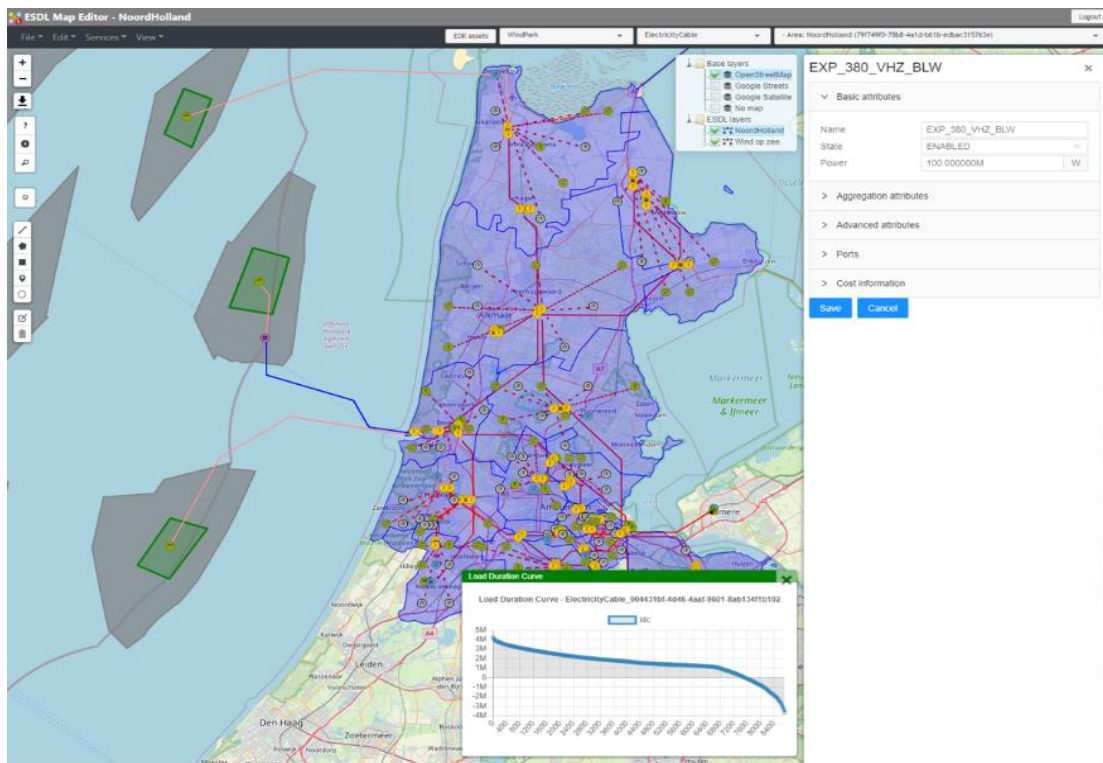
De ESDL MapEditor is een kaart-gebaseerde applicatie waarmee energiesysteemscenario's ontworpen kunnen worden. Tevens kan allerlei GIS-gebaseerde informatie getoond worden die nodig kan zijn voor het ontwerp. De ESDL MapEditor is gedurende de afgelopen twee jaar steeds meer de rol gaan spelen als frontend voor verschillende rekenmodellen. Het biedt ruimtelijk inzicht in het energiesysteem. Tenslotte zijn er ook steeds meer mogelijkheden voor het visualiseren van resultaten van rekenmodellen:

- Zo kunnen systeem-KPIs als grafieken (barcharts/piecharts) weergegeven worden in een apart venster. Meerdere ingeladen scenario's kunnen zo vergeleken worden.
- KPIs die aan Areas toegekend zijn, worden als kleur van de area weergegeven of als bar- of piechart op de kaart.
- Infrastructuurbelasting (als tijdseries) kan geanimeerd op de kaart getoond worden waarbij lijndiktes en kleuren veranderen in de tijd als gevolg van een veranderende belasting.
- Belastingduurkrommes van delen in de infrastructuur kunnen met een druk op de knop opgevraagd worden.

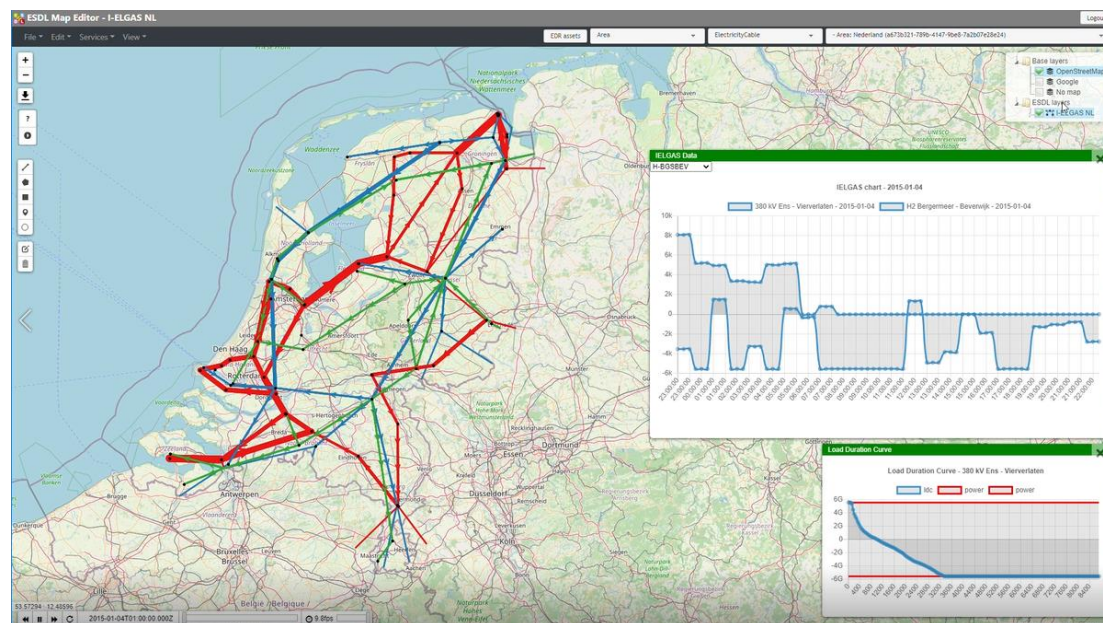
De ESDL MapEditor is open source beschikbaar.

Zie voor een indruk van een ESDL-beschrijving van de provincie Noord-Holland en een screenshot van een animatie van de belasting van een nationaal infrastructuurmodel in Figuur 10 en Figuur 11.

Figuur 10 - Voorbeeld van een scenariobeschrijving van de provincie Noord-Holland in ESDL



Figuur 11 - Schermafdruk van een animatie van de belasting van het net in een nationaal infrastructuurmodel



De ESDL MapEditor zou in de toekomstige provinciale studies (maar ook voor studies op andere schaalniveaus) gebruikt kunnen worden voor het inladen en visualiseren van de verschillende scenario's, die gecreëerd zijn door het combineren van de resultaten uit de verschillende deelmodellen (het eerste plaatje hierboven is op basis van de Excel-database voor de provinciale systeemstudie Noord-Holland gemaakt). Vanuit de ESDL MapEditor zou het ETM aangeroepen kunnen worden voor de validatie van de resultaten.

4.3.2 De Energy Data Repository

De Energy Data Repository is een applicatie die ontwikkeld is voor het opslaan, tonen en ontsluiten van allerlei brondata en aannames in ESDL. Het wordt in verschillende projecten gebruikt vanuit de MapEditor om bepaalde standaard assets op de kaart te tekenen. Zo is als voorbeeld een WindTurbine aan de kust met alle parameters zoals deze in het energietransitiemodel van Quintel gebruikt worden opgeslagen. Een andere mooie toepassing is de Logstore pijpdatabank voor warmte- en koudnetwerken met standaard pijpdiameters en isolatiewaarden. De Energy Data Repository heeft een interface (een API) waarmee rekenmodellen informatie uit kunnen ophalen.

Figuur 12 - Schermafdruk van de ETM WindTurbine aan de kust uit de Energy Data Repository

The screenshot shows the Energy Data Repository interface. On the left, there is a sidebar with a search bar and a list of assets under the 'ETM' category. The main content area displays the details for 'ETM WindTurbine aan de Kust', including a small image of wind turbines and a table of properties.

Property	Value
Surface area	200000
Technical lifetime	25.0
Installation duration	12.0
Full load hours	2550
Power	3000000.0
Rotor diameter	1000
Height	150.0

Bron: edr.hesi.energy.

Bij het uitvoeren van de provinciale systeemstudies wordt er voor de aannames van de deelmodellen gebruikgemaakt van allerlei brondata en er worden standaardprofielen gebruikt. Dit gebeurt veelal binnen de modellen zelf en deze aannames zijn daardoor meestal niet transparant. Vanwege de groeiende vraag naar transparantie lijkt het zinvol om dit soort informatie bijvoorbeeld in iets als een Energy Data Repository te publiceren. Hierdoor kan ernaar verwezen worden en hopelijk ontstaat er op termijn een door de community bestaande uit modelleers en netbeheerders een geaccepteerde set aan modelaannames, die hergebruikt kunnen worden indien gewenst. Tevens zou het in de toekomst makkelijker mogelijk moeten worden, om oude doorrekeningen te herhalen met vernieuwde aannames.

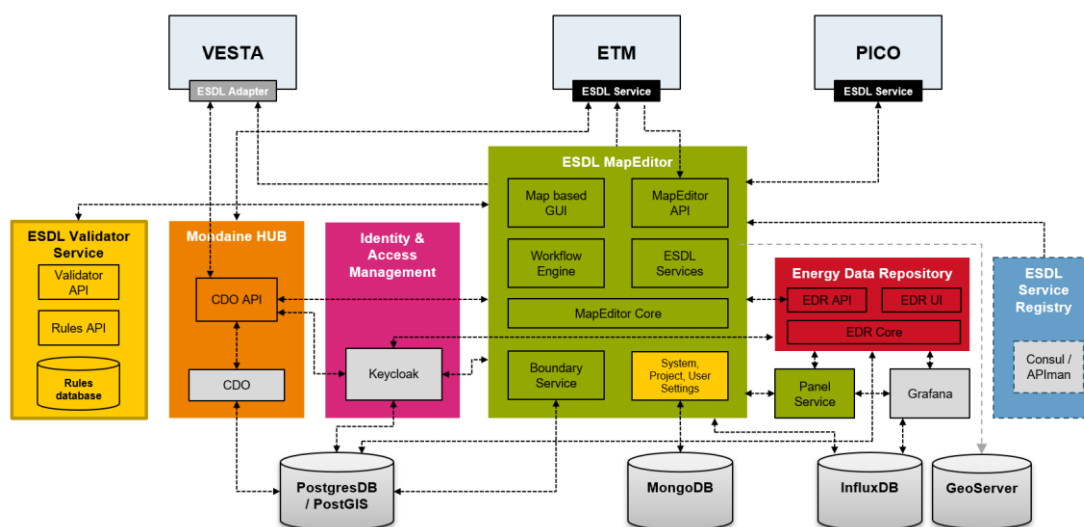
4.3.3 De Mondaine-suite

Binnen het TKI Mondaine-project is gewerkt aan een multi-modelomgeving bestaande uit het VESTA-model, het energietransitiemodel (ETM), PICO die via ESDL-informatie uit kunnen wisselen. Hierin spelen ook de ESDL MapEditor en de Energy Data Repository een rol. Een indruk van de Mondaine-architectuur staat in Figuur 13.

In de oorspronkelijke uitvraag van RVO was er sprake van een Fase E, waarbij een ontwerp van een architectuur voor informatie-uitwisseling in de context van de provinciale systeemstudies ontwikkeld zou moeten worden. De in het TKI Mondaine-project ontwikkelde architectuur heeft heel veel weg van een dergelijke architectuur. In dit project zijn de eerste stappen gemaakt om verschillende modellen te koppelen, om scenario's met verschillende zichtjaren in te laden en met elkaar te vergelijken, en om een doorrekening te doen met het ETM gebruikmakend van deels model-input en deels handmatige input (uit bijvoorbeeld kaarten vanuit de RES).

Aspecten waar in het TKI Mondaine-project aandacht aan zijn besteed, zijn onder andere het opslaan en ontsluiten van verschillende scenario's, het kunnen valideren van ESDLs (voldoen ze aan de eisen die een bepaald model verwacht als input), het vergelijken van verschillende scenario's, het ontsluiten van brondata via de Energy Data Repository. Dit zijn allemaal aspecten die voor het doen van de analyses in de provinciale systeemstudies ook relevant zijn. Voor meer informatie wordt verwezen naar de website¹⁵ van het Mondaine-project.

Figuur 13 - Illustratie van samenhang tussen modellen in het Mondaine-project

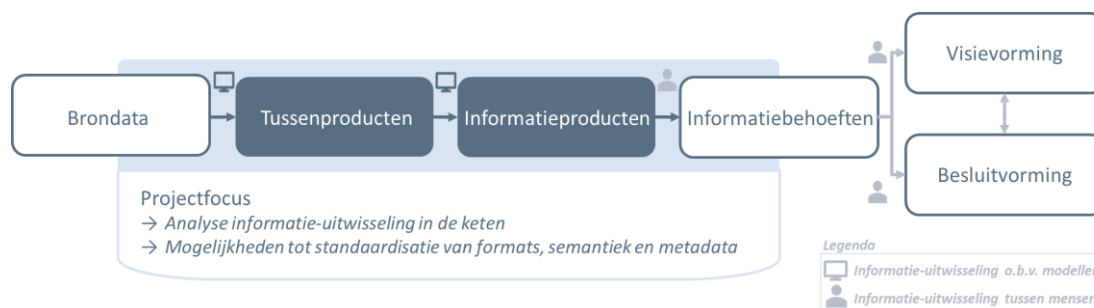


¹⁵ [MONDAINE Suite : de slimme energietransitie, van data naar handelen met MONDAINE](#)

5 Conclusies en aanbevelingen

In dit rapport is de informatie-uitwisseling van voorbije systeemstudies systematisch geanalyseerd en in kaart gebracht. Op deze manier zijn de informatiebehoeften van eindgebruikers van de modelresultaten systematisch gelinkt aan informatieproducten die eraan kunnen voldoen. Voor de informatieproducten zelf hebben we in beeld gebracht hoe ze opgebouwd kunnen worden op basis van brondata. Ten slotte illustreert deze studie ook welke rol informatiemodellen kunnen spelen en hoe standaardisatie van de informatie-uitwisseling kan bijdragen tot betere uitwisselbaarheid, efficiëntie, snelheid en consistentie. Figuur 14 vat de informatieketen samen.

Figuur 14 - Overzicht informatieketen



Op basis van de gesprekken met verschillende stakeholders en eigen ervaringen in uiteenlopende trajecten vatten we de conclusies en aanbevelingen voor modellers en softwareontwikkelaars hieronder samen.

5.1 Conclusies

5.1.1 Analyse informatiebehoeften

De informatiebehoeften van eindgebruikers van modelresultaten van systeemstudies zijn geïventariseerd op basis van interviews, en vervolgens geverifieerd in een workshop. De inventarisatie van informatiebehoeften op basis van de systeemstudies Limburg en Noord-Holland bleken herkenbaar in andere systeemstudies, en in die zin ook representatief voor de systeemstudies in het algemeen.

De eerste drie informatiebehoeften die ingevuld worden in de systeemstudies zijn inzichten in energievraag en -aanbod, ontstaan van knelpunten en hun mogelijke oplossingen. Met verloop van tijd, zijn de informatiebehoeften verbreed. Uit de gesprekken stellen we vast dat stakeholders ook behoefte hebben aan inzichten in het ruimtebeslag van opwek, nieuwe vraag en oplossingsrichtingen, en aan inzichten in de kosten en emissies in de uitstoot die de energietransitie met zich meebrengt.

De laatste informatiebehoeften zijn nog amper tot niet ingevuld in de systeemstudies. De meest recente systeemstudie, die van Zuid-Holland, gaat in beperkte mate in op het ruimtebeslag, maar de invulling van die informatiebehoefte heeft nog niet de detaillering van die van andere informatiebehoeften. Andere informatiebehoeften, met name kosten en

uitstoot zijn nog niet ingevuld. Van deze twee informatiebehoeften hebben we daarom slechts één (kosten) ter illustratie geanalyseerd in deze rapportage.

5.1.2 Opstellen informatieproducten

Voor vijf geïdentificeerde informatiebehoeften van systeemstudies is in dit rapport een informatieproduct opgesteld. Daarvoor hebben we de informatieketen geanalyseerd: wat zijn concreet en precies de stappen van brondata naar invulling van informatiebehoeften. Voor deze gedetailleerde analyse zijn twee systeemstudies, van Noord-Holland en van Limburg, als casestudies gebruikt.

Het detailniveau van uitwerking is volledig afhankelijk van de mate van informatie-uitwisseling tijdens een systeemstudie. Informatieproduct 1, energievraag en -aanbod, is het meest uitgewerkte. Dit informatieproduct is een hoeksteen van elke systeemstudie en kent daarom de meeste informatie-uitwisseling. Informatieproducten 2 en 3, knelpunten en hun oplossingen, zijn ook in grote mate van detail uitgewerkt. Informatieproducten 4 en 5, ruimtebeslag en kosten, zijn het minst uitgewerkt omdat ze tot nog toe maar beperkt aan bod gekomen zijn in systeemstudies. We hebben een aanzet gegeven voor de uitwerking van deze informatieproducten, verdere uitwerking zal eventueel moeten plaatsvinden in toekomstige systeemstudies of voor vergelijkbare scenariostudies.

5.1.3 Gebruik van informatiemodellen

Het gebruik van informatiemodellen kan zorgen voor automatisatie, gemakkelijker hergebruik van resultaten en betere afspraken tussen de betrokken partijen. In de voorbije systeemstudies gebeurde de uitwisseling van gegevens tussen de verschillende deelmodellen van de adviseurs en netbeheerders grotendeels handmatig, deels geholpen door scriptjes die handmatig opgestart worden.

Om een geschikt informatiemodel voor energiesystemen in de volle breedte te vinden, is een analyse uitgevoerd van de beschikbare informatiemodellen en standaarden. Op basis hiervan is ESDL, Energy System Description Language, geselecteerd als het informatiemodel dat als beste het volledige energiesysteem beschrijft, open source is en goed gedocumenteerd is. De inventarisatie van informatie die nu tussen de deelmodellen uitgewisseld wordt en waar automatisering wenselijk kan al grotendeels in ESDL beschreven kan worden. Daar waar dat nog niet helemaal goed lukt, zijn eerst afspraken nodig tussen de verschillende partijen over hoe iets gemodelleerd kan worden en betreft het daarna een kleine aanpassing van ESDL.

5.1.4 Aanbevelingen voor modellers en softwareontwikkelaars

De analyse van informatiebehoeften, invulling ervan met informatieproducten en gebruik van een informatiemodel kan toegepast worden op andere trajecten. In het bijzonder trajecten waarbij uitgebreide data- en informatie-uitwisseling tussen verschillende partijen plaatsvindt kunnen hierdoor versneld en verbeterd worden. In Paragraaf 5.2 doen we aanbevelingen voor modellers en softwareontwikkelaars. Aanbevelingen voor beleids-makers staan in Deel I van dit rapport.

5.2 Ontwikkeling gedeelde semantiek

Een gedeelte semantiek heeft meerwaarde voor (geautomatiseerde) gegevensuitwisseling tussen modellen. Ook bij het publiceren van datasets en ook rapporten heeft een gedeelte semantiek heel veel meerwaarde. Het goed kunnen interpreteren van uitkomsten (en rapporten) staat of valt bij goed begrip van wat er met een term bedoeld wordt. ESDL gaat geautomatiseerde gegevensuitwisseling een heel stuk makkelijker maken. Maar het is niet de oplossing voor alle uitdagingen.

Het verdient aanbeveling om op de korte termijn een scan uit te voeren van welke definities gebruikt worden in de I13050-studie, hoe deze zich relateren tot de definities in de provinciale systeemstudies en tot de semantiek van ESDL. Daarnaast dienen afspraken gemaakt worden over een aantal standaardlijstjes van de in de verschillende studies gehanteerde indelingen (zie hiervoor Paragraaf 5.5). Deze lijstjes kunnen wel weer als ESDL-informatie beschreven en ontsloten worden. Een andere uitdaging die op verschillende momenten in deze studie naar boven kwam, betreft meer het onderwerp van afspraken maken over gedeelde methodieken, hoe doe je iets op een bepaalde manier (zie hiervoor Paragraaf 5.6). Tenslotte lijkt het zinvol om de hier ontwikkelde semantiek naast de definities te leggen zoals deze in het KEV-proces gehanteerd worden en naast de definities die CBS hanteert in haar rapportages.

5.3 Afspraken over standaardindelingen

In lopende studies, zoals de systeemstudies, maar ook andere, wordt veel informatie gebruikt die op een bepaalde manier ingedeeld is. Voorbeelden zijn:

- **Overzicht van gehanteerde sectoren, inclusief definities**
Een veel voorkomende indeling is ‘Gebouwde omgeving, Industrie, Landbouw, Mobiliteit’, maar soms wordt gebouwde omgeving weer opgesplitst in ‘woningen en utiliteit’. In andere gevallen wordt bijvoorbeeld de standaardbedrijfsindeling (SBI) van de Kamer van Koophandel gehanteerd.
- **Overzicht van energiedragers, inclusief definities**
Afhankelijk van de scope van de studie worden andere indelingen in energiedragers gekozen die meer of minder gedetailleerd zijn. Ook de definities zijn vaak niet eenduidig: er wordt vaak gesproken over methaan, maar dit is slechts één van de componenten van aardgas of Russisch gas. En als men aardgas¹⁶ bedoelt, betreft het dan hoogcalorisch of laagcalorisch gas.

Soms ontstaat zo'n indeling door keuzes in het proces waarin de resultaten van een studie gemaakt worden en soms wordt de indeling bepaald door gebruik te maken van brondata die een bepaalde indeling hanteert. Soms zijn deze verschillende indelingen makkelijk aan elkaar te relateren, in andere gevallen is het onmogelijk (datasets waarin bij energie-verbruik onderscheid gemaakt wordt in kleinverbruikers en grootverbruikers zijn niet om te zetten naar huishoudens en bedrijven, aangezien in de categorie kleinverbruikers zowel huishoudens als kleine bedrijven voorkomen).

Het verdient aanbeveling om afspraken te maken over deze standaardindelingen en goed te definiëren wat er bedoeld wordt met elke categorie. Tevens zou vastgelegd moeten worden hoe de relatie is tussen twee verschillende indelingen op hetzelfde gebied (zie hiervoor ook de volgende paragraaf).

¹⁶ Zie voor meer informatie bijvoorbeeld: [Gas kwaliteit | NAM](#)



5.4 Afspraken over te hanteren methodes

Een aantal uitdagingen is niet op te lossen met alleen een gedeelde semantiek. Er moeten dan naast de gemeenschappelijke taal afspraken gemaakt worden over de te hanteren methodiek. Dit is vooral relevant bij het de-aggregeren van informatie.

Voorbeelden:

- Informatie die alleen beschikbaar is op een hogere ruimtelijke schaal (bijvoorbeeld provincieniveau), maar nodig is op een lagere ruimtelijke schaal (bijvoorbeeld buurt-niveau), wordt over het algemeen met een bepaalde verdeelsleutel toch beschikbaar gemaakt op deze lagere schaal. Iedereen hanteert daar z'n eigen aannames (en deze zijn voor de gebruiker niet altijd inzichtelijk).
- Energieverbruik voor de gebouwde omgeving opdelen in het aandeel dat door woningen gebruikt wordt en het aantal dat door utiliteiten gebruikt wordt. Een opdeling zou bijvoorbeeld plaats kunnen vinden op basis van oppervlak van panden met een bepaald gebruiksdoel uit de BAG.

Het verdient aanbeveling om afspraken te maken over dit soort standaardmethodes, zodat hier meer uniformiteit ontstaat. Deze afspraken dienen vastgelegd en gepubliceerd te worden, zodat ook verwezen kan worden naar de gezamenlijk vastgestelde standaardmethode voor het de-aggregeren van bepaalde datasets.

5.5 Technische randvoorwaarden

Naast de gedeelde semantiek, zijn er ook technische randvoorwaarden die ingevuld moeten worden om modellen aan elkaar te kunnen koppelen. En zeker indien die modellen in een geautomatiseerd proces gaan samenwerken, waarbij de modelkoppeling tientallen of honderden keren gebruikt moeten worden om informatie door te geven, moeten handmatige processtappen vermeden worden.

Modellen kunnen hiervoor uitgevoerd worden met een Application Programming Interface (API) zodat andere modellen, deze modellen kunnen 'aanroepen' om zo informatie uit te wisselen. Het model kan eventueel via het internet benaderbaar gemaakt worden, maar dit is afhankelijk van de situatie of dit nodig is.

Een aantal partijen heeft in het Mondaine-project laten zien dat met behulp van ESDL-modellen gekoppeld kunnen worden via API's en dat de combinatie van deze modellen meer inzicht oplevert dan de losse modellen.

Als de mens-in-de-loop moet of kan blijven, is het alleen noodzakelijk om de resultaten uit een model in een machine-readable-formaat (zoals ESDL) op te kunnen slaan. Zo is dat in het Mondaine-project met de startanalyseresultaten (uit VESTA) gebeurt. Aangezien VESTA ontwikkeld is als een Windows desktopapplicatie is het vrij lastig om deze een API te geven en via het internet benaderbaar te maken. Als alternatief is er gekozen voor de optie om de gebruiker de resultaten als ESDL-bestand op te laten slaan, die dan later in het proces in een ander model ingelezen kunnen worden.

Het verdient aanbeveling om dus per model dat gekoppeld moet worden de keuze te maken tussen het aanbieden van een API via welke met de ESDL-taal informatie uitgewisseld kan worden, of de mogelijkheid te bieden de resultaten als ESDL-bestand op te slaan.



5.6 Vooruitblik

De systeemstudies zijn een voorbeeld van de vele intensieve trajecten die door het Klimaatakkoord ingezet voor de verkenning van de toekomstige energie-infrastructuur. Al deze trajecten zijn met elkaar verweven aangezien het energiesysteem in essentie één samenhangend systeem is. Consistente coördinatie en besluitvorming van verschillende stakeholders op verschillende schaalniveaus wordt daarom een cruciale uitdaging voor de energietransitie. Modellen kunnen coördinatie en besluitvorming ondersteunen. Om de kracht van modellen beter te kunnen benutten moeten de informatie-uitwisseling, interpreteerbaarheid, overdraagbaarheid en vergelijkbaarheid verder verbeterd worden. Daarvoor zijn in onze ogen afspraken en standaardisatie nodig. Deze studie illustreert dit. Een integrale gemeenschap van modelleurs en stakeholders in de energiesysteemanalyse kan dit, mits voldoende ondersteuning, waarmaken en daarmee de energietransitie aanzienlijk bevorderen.

Literatuurlijst

Berenschot, CE Delft, Industrial Energy Experts & Energy Matter, 2017. Electrification in the Dutch process industry, Utrecht: Berenschot. Utrecht, Berenschot.

Berenschot & Quintel, 2020. Stroomstudie Overijssel. Utrecht, Berenschot B.V.

BIM. lepend. *BIM Kenniscentrum* [Online]. BIM. Available: <https://hetnationaalbimplatform.nl/wat-is-bim.php> [Accessed 2021].

CE Delft, 2018. Ontwikkelstrategie Energietransitie NZKG, Kansen en acties, nu en later. Delft, CE Delft.

CE Delft & Quintel, 2019. Stroomstudie energie-infrastructuur Groningen & Drenthe 2020-205. Delft, CE Delft.

CE Delft, Quintel & TNO, 2020a. Stroomstudie energie-infrastructuur Limburg : Stroomstudie energie-infrastructuur Limburg. Delft, CE Delft.

CE Delft, Quintel & TNO, 2020b. Stroomstudie energie-infrastructuur Zuid-Holland : Integrale stroomstudie gas, elektriciteit, CO2 en warmte; 2020-2030-2050. Delft: CE Delft.

Dam & Keirstead. 2010. *Re-use of an ontology for modelling urban energy systems* [Online]. Available: <https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/19638/2/2010NGInfra-VanDamKeirstead-IEEE-PDF-Xpress-checked.pdf> [Accessed 2021].

Davidse Consultancy, 2012. Warmte-energie, de motor van de industrie, Ontwikkelingen in het gebruik en de opwekking van industriële warmte. Bennekom, Davidse Consultancy.

Devanand, Karmakar, Krdzavac, Rigo-Mariani, Foo Eddy, Karimi & Kraft, 2020. OntoPowSys: A power system ontology for cross domain interactions in an eco industrial park. *Energy and AI*, 1, 100008.

EC. lepend. *Inspire Knowledge Database infrastructure for spatial information in Europe : Sata sSpecification, Themes* [Online]. European Commission. Available: <https://inspire.ec.europa.eu/Themes/Data-Specifications/2892> [Accessed 2021].

ECN, 2011. Restwarmtebenutting : Potentiëlen, besparing en alternatieven. Petten, ECN.

ECN, 2017a. A Bottom-Up Approach for Determining the European Heat Pump Potential. Petten, ECN.

ECN, 2017b. Dutch program for the acceleration of sustainable heat management in industry Petten, ECN.

Ecofys & Berenschot, 2018. Chemistry for Climate: Acting on the need for speed Roadmap for the Dutch Chemical Industry towards 2050. Utrecht, Ecofys.

Emele, Förster, Frey, Frey, MartinGlauer, Hastings, Hofman, Hoyer-Klick, Hülk, Kleinau, et al. 2020. *The Open Energy Ontology* [Online]. Agile Knowledge Engineering and Semantic Web (AKSW). Available: https://svn.aksw/2020/EKAW_OEO/public.pdf.org/papers [Accessed].

Geonovum. 2020. *MIM - Metamodel Informatie Modelling : Geonovum Standaard, Werkversie 23 oktober 2020* [Online]. Available: <https://geonovum.github.io/MIM-Werkomgeving/#wat-is-een-informatiemodel> [Accessed 2021].



Geonovem. lopend. *Geo-standaarden : Metadata* [Online]. Geonovem. Available: <https://www.geonovum.nl/geo-standaarden/metadata> [Accessed].

Krmelj, 2011. Selected industrial processes which require low temperature heat , presentation. Podavje, Energy Agency of Podavje.

Lieshout, 2017. *Visie op de toekomst van de Nederlandse procesindustrie : en de rol van het lectoraat Procesoptimalisatie en -intensificatie bij de realisatie daarvan*, Rotterdam, Hogeschool Rotterdam Uitgeverij.

Pardo, Vatopoulos, Krook-Riekkola, Moya & Perez, 2012. Heat and cooling demand and market perspective. Luxembourg, Publications Office of the European Union.

PBL, 2019. Conceptadvies SDE++ 2020 Geothermie. Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

PBL. 2020. *VIVET Verbetering Informatievoorziening : Werkplan april 2020 - maart 2021 en resultaten eerste jaar* [Online]. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Available: <https://www.pbl.nl/publicaties/vivet-verbetering-informatievoorziening-energietransitie> [Accessed 2021].

Wikipedia. 2013. *Ontologie (informatica)* [Online]. [Accessed 2021].

Wikipedia. 2020. *Metadata standard* [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Metadata_standard [Accessed 2021].

Wikipedia. 2021. *Unified Modeling Language* [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Unified_Modeling_Language [Accessed 2021].

A Detailuitwerking

Informatieproduct 1

A.1 Gebruikte gegevens deelmodellen Informatieproduct 1 (provincie Limburg)

A.1.1 Deelmodel CEGOIA

Databronnen

Bron	Inhoud	Oorsprong	Formaat
CBS-buurtkaart	CBS-buurtindeling.	Openbare bron	Geodata (GIS)
CBS-kerncijfers wijken en buurten	Gegevens op buurtniveau waaronder: het gemiddelde elektriciteitsverbruik per woning en het aandeel stadverwarming.	Openbare bron	Excel
BAG	Gebouwgegevens op pandniveau (gebruiksoppervlak, bouwjaar).	Openbare bron	Geodata (GIS)
EP-online	Energielabels van woningen	Openbare bron	Excel
Warmteatlas	Kaartlagen met beschikbare warmtebronnen: <ul style="list-style-type: none">– MT-warmtebronnen startanalyse ECW;– LT-Warmtebronnen startanalyse ECW;– aquathermie open water.	Openbare bron	Geodata (GIS)
ArcGis	Verbodsgebieden wko.	Openbare bron	Geodata (GIS)
Thermogis (TNO)	Potentie geothermie.	Openbare bron	Geodata (GIS)
Lokale gegevens gemeente of provincie	Optionele aanvullende lokale gegevens: <ul style="list-style-type: none">– lokale warmtebronnen;– nieuwbouw- en renovatieplannen;– gegevens over ruimte in de ondergrond.	Ontvangen van gemeentes of provincie	Excel, Geodata (GIS)

Outputs

Naam bestand: 'Template Gebouwde omgeving'

Output	Categorieën	Mogelijke invulwaardes	Eenheden
Vraag en aanbod energie	<ul style="list-style-type: none"> – huishoudens en utiliteiten; – per energiedrager (elektriciteit, methaan en waterstof); – verschillende subcategorieën; – regulier (niet warmte); – tapwater; – ruimteverwarming (per techniek): <ul style="list-style-type: none"> • per buurt; • per scenario. 	Geen restricties	GJ
Profielnaam		Lijst met beschikbare profielen van ETM	
Netvlak		LS/MS of HS (alleen relevant of het onder DSO of TSO valt, niet of het op LS of MS zit)	

A.1.2 Deelmodel CE landbouw

Databronnen

Bron	Inhoud	Oorsprong	Formaat
CE Delft	Huidig gasverbruik en elektriciteitsverbruik landbouw per buurt	Eerdere studie CE Delft (niet openbaar)	Excel
KEV 2019 tabellenbijlage	Energiegebruik landbouw NL - prognose 2030	Openbare bron	Excel
Klimaatmonitor	Gebruik geothermie warmte (per gemeente)	Openbare bron	Export naar csv vanaf website
Wageningen Economic Research- Prognoses CO ₂ -emissies glastuinbouw 2030 (2018)	<ul style="list-style-type: none"> – areaal gtb per subsector; – prognoses aandeel areaal gtb met belichting. 	Openbare bron	Tabellen in rapport
CBS	<ul style="list-style-type: none"> – landbouwtelling CBS (2018) per gemeente; – elektriciteitsproductie en opgesteld vermogen wkk (nationaal). 	Openbare bron	Export naar csv vanaf website
I13050	Nationale totale energieverbruik 2050 scenario's per energiedrager.	Openbare bron	Data uit grafieken in rapport
Enexis	Opgesteld vermogen wkk's inclusief adresgegevens.	Ontvangen van netbeheerder (niet openbaar)	Excel
Warmteatlas	Restwarmtebronnen.	Openbare bron	Geodata (GIS)
Nationaal georegister	CBS-gebiedsindeling.	Openbare bron	Geodata (GIS)

Bron	Inhoud	Oorsprong	Formaat
Thermogis (TNO)	Potentie geothermie.	Openbare bron	Geodata (GIS)

Outputs

Naam bestand: 'Template Landbouw'

Output	Categorieën	Mogelijke invulwaardes	Eenheden
Vraag en aanbod energie	<ul style="list-style-type: none"> – finaal en alleen wkk's; – per energiedrager (elektriciteit en methaan); – per buurt; – per scenario. 	Geen restricties	GJ
Profielnaam		Lijst met beschikbare profielen van ETM	
Netvlak		LS/MS of HS (alleen relevant of het onder DSO of TSO valt, niet of het op LS of MS zit)	

A.1.3 Deelmodel CE elektriciteit

Databronnen

Bron	Inhoud	Oorsprong	Formaat
Klimaatmonitor	Hernieuwbare Elektriciteit in TJ (allocatie, top-down) 2018 - Gemeenten	Openbare data	Export naar csv vanaf website
Enexis	Opgesteld vermogen zon/wind op land natuurlijke personen	Ontvangen van netbeheerder (niet openbaar)	Excel
Enexis	Opgesteld vermogen zon/wind op land rechtspersonen	Ontvangen van netbeheerder (niet openbaar)	Excel
Voorzieningsgebieden	Koppeling tussen buurten en koppelstations HS/MS net	Ontvangen van netbeheerder (niet openbaar)	Excel
RES-regio's	Concept-bod RES-regio's grootschalige zon en wind	Ontvangen van RES (niet openbaar)	Excel
I13050	Nationale totale energieproductie	Openbare bron	Data uit grafieken in rapport
Nationaal georegister	CBS gebiedsindeling	Openbare bron	Geodata (GIS)
CE Delft	Overzichtskaart potentie zon op daken, zon op veld en wind op land	Eerdere studie CE Delft (niet openbaar)	Geodata (GIS)
CE Delft	Prognose groen gas productie per postcode-4 gebied	Eerdere studie CE Delft (niet openbaar)	Excel

Outputs

Naam bestand: 'Datatemplate energiesector'

Output	Categorieën	Mogelijke invulwaardes	Eenheden
Aanbod energie en import/export	<ul style="list-style-type: none"> – per energiedrager (elektriciteit en methaan); – verdeeld per hoofdcategorie (type bron) en subcategorie (verdere specificatie); – per buurt; – per scenario. 	Geen restricties	GJ
Profielnaam		Lijst met beschikbare profielen van ETM (genormaliseerde jaarprofielen)	
Netvlak		LS/MS of HS (alleen relevant of het onder DSO of TSO valt, niet of het op LS of MS zit)	

A.1.4 Deelmodel industrie TNO

Databronnen

Bron	Inhoud	Oorsprong	Formaat
Klimaatmonitor	Huidig gasverbruik (m ³ /jaar) en elektriciteitsverbruik (kWh/jaar) industrie per gemeente, in de bedrijfstakken B (Delfstoffenwinning), C (Industrie), en E (Waterbedrijven en afvalbeheer)	Openbare bron	Excel
	RES indeling NL	Openbare bron	Excel
NEA	CO ₂ -emissies (ton/jaar) per inrichting	Openbare bron	Export naar csv vanaf website
CBS	Aantal bedrijven per gemeente in de bedrijfstakken B (Delfstoffenwinning), C (Industrie), en E (Waterbedrijven en afvalbeheer)	Openbare bron	CSV
Enexis, Stedin, Alliander	Opgesteld vermogen wkk's (MW) inclusief adresgegevens	Ontvangen van netbeheerder (niet openbaar)	Excel
TNO op basis van literatuur	Overzicht van temperatuurbereik (T<200, 200<T<400, T>400) en efficiëntie (%) decarbonisatie-technologieën	Openbare bron	Excel
TNO op basis van literatuur	Sectorale jaarlijkse warmtevraag (PJ/jaar) naar temperatuurrange (T<200, 200<T<400, T>400)	Openbare bron	Excel

Bron	Inhoud	Oorsprong	Formaat
CBS	energiebalans per sector	Openbare bron	CSV
Omgevingsdienst	Vertrouwelijke data over jaarlijks energiegebruik per drager (gas, elektriciteit, en soms meer) per bedrijf voor bedrijven waar de provincie bevoegd gezag is	Ontvangen van omgevingsdiensten (niet openbaar)	Excel

Tabel 3 - Overzicht van temperatuurbereik en efficiëntie decarbonisatie-technologieën

Technologie	Temperatuur	Relevant voor temperatuur range; bron	Efficiëntie elektriciteit (GJ;warmte/GJel);bron
Warmtepomp	< 200 deg C	A bottom-up approach for determining the European heat pump potential [Report] / (ECN, 2017a)	(ECN, 2017b) Dutch program for the acceleration of sustainable heat management in industry.
Elektrische boiler	< 200 deg C en 200-400 deg C	(Berenschot et al., 2017) Electrification in the Dutch process industry. De bron vermeldt 350 deg C maar volgens experts is 400 graden ook mogelijk	(Berenschot et al., 2017) Electrification in the Dutch process industry. Range is 0,9 to 0,99. Waarde tussenin genomen.
Elektrisch fornuis	> 400 deg C	(Ecofys & Berenschot, 2018) Chemistry for climate - acting on the need for speed	Grootschalige fornuizen zijn nog in een lage TRL, maar aanname is dat er weinig verliezen zijn.
Biogas ter vervanging aardgas	Alle temperatuur ranges	Factsheet Vergisting_Alles_GreenGas. Kan aardgas 1 op 1 vervangen	
Waterstof ter vervanging aardgas	Alle temperatuur ranges		
Geothermie	< 200 deg C	(CE Delft, 2018)) Ontwikkelstrategie Energietransitie NZKG	Bron: (PBL, 2019) Conceptadvies SDE++ 2020 Geothermie.
Biomassa			

Tabel 4 - Overzicht van ingeschatte warmtevrage per procestemperatuurrange per industriële sector

Sector	Unit	Source	Remarks
Voedings- en genotmiddelen	PJ	ECN DASH overview of temperature levels	
Basismetalaal	PJ	JRC	Sum of 'ijzer en staal' and 'non-ferro'.
Basismetalaal ijzer en staal	PJ	JRC	The 100-200 level does not correlate well with JRC's own categorisation. The allocation of 4 PJ to 100-200 is an assumption and could very well be wrong.
Basismetalaal non-ferro	PJ	JRC	
Chemie	PJ	(Davidse Consultancy, 2012)	
Papier	PJ	(Davidse Consultancy, 2012)	
Overige metaal	PJ	Assumption based on internal ECN source	Unknown.



Sector	Unit	Source	Remarks
Bouwmaterialen	PJ	JRC	The 100-200 level does not correlate well with JRC's own categorisation. The allocation of 1 PJ to 100-200 is an assumption and could very well be wrong.
Textiel	PJ	JRC	The 100-200 level does not correlate well with JRC's own categorisation. The allocation of 1 PJ to 100-200 is an assumption and could very well be wrong.
Overige industrie	PJ	ECN	Note that the > 400 deg C is in this case very high temperatures (>1,000 deg C).
Raffinaderijen	PJ	(Davidse Consultancy, 2012)	

Outputs

Naam bestand: 'Template Industrie'

Output	Categorieën	Mogelijke invulwaarden	Eenheden
Vraag en aanbod energie	<ul style="list-style-type: none"> – finaal en alleen wkk's; – per energiedrager (elektriciteit en methaan); – per buurt; – per scenario. 	Geen restricties	GJ
Profielnaam		Lijst met beschikbare profielen van ETM	
Netvlak		LS/MS of HS (alleen relevant of het onder DSO of TSO valt, niet of het op LS of MS zit)	

A.1.5 Deelmodel mobiliteit TNO - CHAPROEV

Databronnen

CHAPROEV

Opmerking: De oorspronkelijke versie (gebruikt in werk voor de provincies) was in Excel. De huidige versie is in Python. De Python-versie geeft de resultaten uit in een aantal .csv-bestanden. De Excelversie gaf deze in Excel. De huidige versie in Python heeft een paar extra elementen. Aangezien dat dit voor de toekomst is en niet voor rapportage, focussen we op de nieuwe versie in Python. Let wel op dat de Python-versie alleen voor personen-auto's is. De elementen voor andere voertuigen zijn op dit moment alleen in Excel. Let wel ook op dat CHAPROEV verdere elementen heeft (zoals vergelijking met de netcapaciteit)

die ook bronnen en output hebben, maar dit is hier niet volledig gegeven, aangezien dat het hier puur om de mobiliteitsdeel gaat. Let ook op dat de bronnen in de Python-versie in .csv-bestanden komen. Sommige invoerelementen (wel of niet een extra dag bij schrikkeljaren, laadgedrag, jaar, laadpercentage aan het begin van het jaar) zijn meer definities en worden hier niet gegeven.

Inhoud	Eenheid	Formaat	Bron
Batterij-capaciteit personenauto	kWh	Pdf en html	Nissan Leaf specificaties (bepaald model gekozen)
Consumptie personenauto's	kWh/km	Pdf en html	Nissan Leaf specificaties (bepaald model gekozen)
Minimaal batterijlaadniveau voor gebruikers van snellaadstations	%	Getal	Expert-aanname
Woon-werk afstand	km	Html of .csv	CBS Open data/Statline
Woon-overig afstand	km	Getal	Expert-aanname
Woon-weekend bestemming afstand	km	Getal	Expert-aanname
Woon-vakantieplek afstand	km	Getal	Expert-aanname
Woon-werk reistijd	uren	Getal	Expert-aanname
Woon-weekend bestemming reistijd	uren	Getal	Expert-aanname
Woon-vakantieplek reistijd	uren	Getal	Expert-aanname
Percentage snellaadgebruikers voor dagelijkse ritten	%	Getal	Expert-aanname
Percentage snellaadgebruikers voor weekendritten	%	Getal	Expert-aanname
Percentage snellaadgebruikers voor vakantieritten	%	Getal	Expert-aanname
Werkuren per werkdag	Uren	Getal	Expert-aanname
Tijd op werk	Uren	Getal	Expert-aanname
Tijd op overig op een werkdag	Uren	Getal	Expert-aanname
Tijd op overig op een niet werkdag	Uren	Getal	Expert-aanname
Tijd op weekendbestemming	Uren	Getal	Expert-aanname
Tijd op vakantiebestemming	Uren	Getal	Expert-aanname
Aantal vakantieritten per jaar	--	Getal	Expert-aanname
Aantal weekendritten per jaar	--	Getal	Expert-aanname
Aantal overige ritten per week buiten weekend	--	Getal	Expert-aanname
Aantal overige ritten per week in weekend	--	Getal	Expert-aanname
Maximale vulpercentage overige ritten op niet werkdagen	--	Getal	Expert-aanname
Standaard laadvermogen personenauto's	kW	Pdf en html	Nissan Leaf specificaties (bepaald model gekozen)
Snellaadvermogen personenauto's	kW	Pdf en html	Nissan Leaf specificaties (bepaald model gekozen)
Connectiviteit op werk	%	Getal	Expert-aanname
Connectiviteit op overig	%	Getal	Expert-aanname
Connectiviteit op weekend bestemming	%	Getal	Expert-aanname



Inhoud	Eenheid	Formaat	Bron
Connectiviteit op vakantiebestemming	%	Getal	Expert-aanname
Gewerkte uren per week	Uren	Html of .csv	CBS Statline/Open data
Werkuren in een standard werkweek	Uren	Getal	Expert-aanname
Percentage mensen die in een werkweek werken	%	Getal	Expert-aanname
Gewerkte uren per jaar	Uren	Pdf	Arbeidsmarkt cijfers CBS
Kans om vertrek voor ritten op een bepaald uur voor personenauto's	%	.csv bestand	Expert-aanname. In de toekomst te calibreren met open data van elaad
Verbruik bestelwagens	kWh/km	Html en berekeningen	Personenautoverbruik opgeschaald aan de hand van de EC-doelstellingen voor personenauto's en bestelwagens
Verbruik vrachtwagens	kWh/km	Pdf	1.824 model gekozen
Verbruik bussen	kWh/km	Pdf	Brochure Proterra
Afstand door alle Nederlandse bestelwagens	Miljoen kilometers	Html of .csv	CBS Statline/Open data
Afstand door alle Nederlandse vrachtwagens	Miljoen kilometers	Html of .csv	CBS Statline/Open data
Afstand door alle Nederlandse bussen	Miljoen kilometers	Html of .csv	CBS Statline/Open data
Aantal bestelwagens	--	Html of .csv	CBS Statline/Open data
Aantal vrachtwagens	--	Html of .csv	CBS Statline/Open data
Aantal bussen	--	Html of .csv	CBS Statline/Open data
Vertrekkans bestelwagens	%	Excel-tabel	Expert-aanname
Vertrekkans vrachtwagens	%	Excel-tabel	Expert-aanname
Vertrekkans bussen	%	Html	Vertrektijden van een representatieve lijn

Outputs - CHAPROEV

Naam bestand: 'Template Mobiliteit'

Inhoud	Categorieën	Eenheden	Opmerkingen
Laadprofiel	Kan gedaan worden voor een nieuwe set aan invoerparameters. Voor SMODEGEL worden de verschillende elementen gehanteerd: <ul style="list-style-type: none"> – personenauto's: Voor verschillende jaren (2020, 2030, 2050), en scenario's (voor 2050). – bestelwagens; – vrachtwagens; – bussen. (voor deze drie wordt maar een scenario gebruikt) Is ook gesplitst per type locatie (en dus type lader)	kW (voor elke uur)	Die is de enige die in SMODEGEL wordt gebruikt
Percentage verbonden	Per type locatie (en dus type lader)	% voor elke uur in het jaar	Niet gebruikt in SMODEGEL
Verbonden uren voor de rest van de dag	Per type locatie (en dus type lader)	Uren (voor elke uur in het jaar)	Niet gebruikt in SMODEGEL
Rijdend percentage		% voor elke uur in het jaar	Niet gebruikt in SMODEGEL
Vraag voor volgend rijsegment		kWh (voor elke uur in het jaar)	Niet gebruikt in SMODEGEL
Jaarlijkse kilometrage	Per type reis	km	Niet gebruikt in SMODEGEL
Jaarlijkse vraag	Per type reis	kWh	Niet gebruikt in SMODEGEL
Vraag voor de rest van de dag		kWh (voor elke uur in het jaar)	Niet gebruikt in SMODEGEL
Batterij laadniveau		% (voor elke uur in het jaar)	Niet gebruikt in SMODEGEL
Locatiesplit		% (voor elke uur in het jaar)	Niet gebruikt in SMODEGEL
Uren boven buurtcapaciteit		Uren	Niet gebruikt in SMODEGEL, vraagt om extra invoer (over transformator, overige vraag, zonnepanelen productie)
Vraag boven buurtcapaciteit		kWh	Niet gebruikt in SMODEGEL, vraagt om extra invoer (over transformator, overige vraag, zonnepanelen productie)

A.1.6 Deelmodel mobiliteit TNO - SMODEGEL

Databronnen

Inhoud	Eenheid	Formaat	Bron
Laadprofielen	kW (voor elke uur)	Oorspronkelijk in Excel. Is nu naar een .csv-output uit Python omgezet	CHAPROEV: Kan gedaan worden voor een nieuwe set aan invoerparameters. Voor SMODEGEL worden de verschillende elementen gehanteerd: <ul style="list-style-type: none"> – Personenauto's Voor verschillende jaren (2020, 2030, 2050), en scenario's (voor 2050) <ul style="list-style-type: none"> – Bestelwagens – Vrachtwagens – Bussen (voor deze drie wordt maar een scenario gebruikt)
Leaseproportie bij personenauto's	Aantal voertuigen (landelijk, per provincie, en voor Flevoland, aangezien dat veel lease er zit)	Html en .csv	CBS open data/Statline
Aantal personenauto's per buurt	Aantal	Html en .csv	CBS open data/Statline
Splitsing van vulpunten per type locatie (op basis van energie): waterstof, methaan en vloeibaar	%	Excel-tabellen	Expert-aanname
Percentage diesel in vloeibaar	%	Html en .csv	Op basis van kilometrages voor personenauto's Expert-aanname voor ander voertuigen
Diesel en benzine consumptie auto	l/100 km	Html	Op basis van VW Polo
Energiedichtheid benzine en diesel	MJ/l	Html	Lijst van factoren
Consumptie personenauto's (elektrisch)	kWh/km	Pdf en html	Nissan Leaf specificaties (bepaald model gekozen)
Verbruik bestelwagens (elektrisch)	kWh/km	Html en berekeningen	Personenautoverbruik opgeschaald aan de hand van de EC-doelstellingen voor personenauto's en bestelwagens
Verbruik vrachtwagens (elektrisch)	kWh/km	Pdf	1824 model gekozen
Verbruik bussen (elektrisch)	kWh/km	Pdf	Brochure Proterra
Woon-werkafstand	km	Html en .csv	CBS Statline/Open data
Werk-Woon	km	Html en .csv	CBS Statline/Open data

Inhoud	Eenheid	Formaat	Bron
Woon-werk banen van werknemers	x1.000	Html en .csv	CBS Statline/Open data
Werk-Woon banen van werknemers	x1.000	Html en .csv	CBS Statline/Open data
Postcodes en buurtcodes	---	.csv (zip)	CBS Statline/Open data
Locaties van busdepots (per postcode)	---	Html	Website
Tankstations (per postcode)	---	Html	Website (stations kunnen op NL-niveau, of op Provincie, maar verdeling van gemeenten is niet altijd consistent met CBS). Is handmatig geplaatst in Excel. Sommige issues met data (dubbel invoer, fouten, etc.)
BAG-data: aantal typen gebouwen per buurt	----	Oorsprong: BAG verwerkt naar csv	BAG
Aantal voertuigen per provincie (anders dan personenauto's)	---	Html en .csv	CBS Open data/Statline
Extra elektriciteit verbruik bij KA+	%	Getal	Expert-aanname
Aantal voertuigen in Nederland per soort voertuig	--	Html en .csv	CBS Open data/Statline
Aantal BEV- en PHEV-voertuigen in NL per soort voertuig	---	Pdf	RVO
Percentage methaan in energieverbruik per soort voertuig voor de startsituatie	%	Excel	PBL
Percentage bio in methaan in start-situatie	%	Excel (ods)	PBL
Vraag per type voertuig en scenario (bestelwagens = vrachtwagens)	PJ	Html	Energy Transition Model by Quintel Intelligence
Jaarlijkse groei personenkilometers personenauto's ¹⁷	%	Html	
Verandering in energie per persoonkilometer personenauto's	%	Html	
Jaarlijkse groei tonkilometers bestelwagens	%	Html	

¹⁷ Voor efficiëntie, gewogen naar type motor (indien ze verschillen). Bestelwagens=vrachtwagens voor de vraag, maar = personenauto's voor verbetering in efficiëntie.

Inhoud	Eenheid	Formaat	Bron
Verandering in energie per tonkilometer bestelwagens	%	Html	
Jaarlijkse groei personenkilometers bussen	%	Html	
Verandering in energie per persoonkilometer bussen	%	Html	
Jaarlijkse groei tonkilometers vrachtwagens	%	Html	
Verandering in energie per tonkilometer vrachtwagens	%	Html	
Percentage BEV per type voertuig en scenario	%	Html	
Percentage FCEV per type voertuig en scenario	%	Html	
Percentage fossiel methaan per type voertuig en scenario	%	Html	
Percentage biomethaan per type voertuig en scenario	%	Html	
Percentage hernieuwbaar vloeibaar per type voertuig en scenario	%	Html	

Outputs - SMODEGEL

Naam bestand: 'Template Mobiliteit'

Inhoud	Categorieën	Eenheden
Energievraag	<ul style="list-style-type: none"> – buurt (of gemeente, of RES-regio); – scenario; – netvlak; – type lader; – energiedrager (BEV, FCEV, fossiel methaan, biomethaan, fossiel en bio-benzine en diesel). 	GJ per jaar
Aantal laders	<ul style="list-style-type: none"> – buurt (of gemeente, of regio); – scenario; – netvlak; – type lader; – Energiedrager. 	Aantal

B Energy System Description Language (ESDL)

B.1 Energy System Description Language (ESDL) - Scope beschrijving

In deze appendix wordt de scope van de ESDL-taal beschreven aan de hand van een aantal onderwerpen. Het probeert zoveel mogelijk aan de hand van voorbeelden te illustreren welk type informatie er beschreven kan worden en laat zien waarvoor de ESDL-taal gebruikt kan worden. Het laatste kopje somt de ‘beperkingen’ op. Dat zijn onderwerpen waarover wel al gesproken is, maar waarvoor nog geen echt concrete toepassing is, waarvan we nog niet weten hoe we dit op de juiste manier in het informatiemodel op moeten nemen of wat voorlopig (of permanent) buiten scope is van de huidige opzet van de ESDL-taal.

B.2 Mate van detail

ESDL is bedoeld om informatie over het energiesysteem in de volle breedte, maar op een redelijk hoog abstractieniveau, te kunnen beschrijven.

B.3 Focus op fase

ESDL richt zich primair op de modelleergemeenschap (waar per definitie met vereenvoudingen van de werkelijkheid gewerkt wordt). Het zal eerder van toepassing zijn in de ‘plan-fase’ (modeldoorrekeningen, scenariostudies) dan de ‘operationele fase’ (voor aansturen van fysieke assets in energiesystemen).

B.4 Energie assets

Energie assets zijn in ESDL onderverdeeld in vijf categorieën, de zogenaamde capabilities:

1. **Consumptie:** In deze categorie zitten alle assets die energie vragen (de meesten daarvan zijn geen échte assets, maar iets abstracter zoals *‘ElectricityDemand’*).
2. **Productie:** In deze categorie zitten alle assets die energie produceren, zoals windturbines, zonneparken, geothermiebronnen en restwarmtebronnen.
3. **Opslag:** In deze categorie zitten alle assets die energie kunnen opslaan, zoals batterijen, warmtebuffers, gastanks en wko’s.
4. **Transport:** In deze categorie zitten alle assets die te maken hebben met het transporteren (of distribueren) van energie, zoals pijpen, kabels, pompen, kleppen.
5. **Conversie:** In deze categorie zitten alle assets die energie om kunnen zetten, zoals gasketels, warmtepompen, energiecentrales. Er is hier altijd sprake van verandering van energiedrager of commodity.

Energie assets kunnen één of meerdere poorten hebben, waarmee ze met andere energie assets verbonden kunnen worden.

B.5 Energiedragers/commodities

ESDL kent het begrip commodities (van de types elektriciteit, gas, warmte en energie algemeen) en energiedragers. Commodities biedt een iets hogere mate van abstractie en minder detail dan energiedragers (waar bijv. ook CO₂-uitstootgegevens aan gekoppeld kunnen worden. Zowel commodities als energiedragers kunnen door de gebruiker gedefinieerd worden.

Voorbeelden van commodities zijn dan:

- HS/MS/LS Elektriciteit (type *ElectricityCommodity*);
- LT/HT warmte (type *HeatCommodity*);
- aardgas, CO₂, waterstof (type *GasCommodity*).

Voorbeelden van energiedragers zijn kolen, gas, olie, hout, kerosine, biomassa, biodiesel en afval. Informatie over energiedragers en/of commodities zijn in ESDL aan poorten van energie assets gekoppeld.

B.6 Materialen

Naast energiedragers kunnen ook materialen gespecificeerd worden. Materialen kunnen enkelvoudig zijn maar ook samengesteld (mengsels of gelaagde materialen). Bij mengsels worden de verschillende aandelen van de componenten in het mengsel beschreven, bij gelaagde materialen de laagdiktes van elk van de componenten (een pijp van een warmtewet bestaande uit een stalenpijp, met een laag isolatie eromheen en een kunststof buitenmantel).

Materialen kunnen gebruikt worden voor assets, maar ook energiedragers kunnen bestaan uit één of meerdere materialen.

B.7 Gebouwen

In ESDL kun je individuele gebouwen of geaggregeerde gebouwen beschrijven. Ook verblijfsobjecten binnen een gebouw kunnen beschreven worden (het is deels gebaseerd op het informatie model van de BAG). Van gebouwen kunnen allerlei eigenschappen beschreven worden (isolatiewaarden, glastypen, ventilatiesysteem, energielabels, e.d.).

Ook over het gebouwgebruik kan informatie beschreven worden. Op dit moment betreft dat de openingstijden van een gebouw en informatie over de ingestelde thermostaatprofielen voor verwarming en koeling.

Van geaggregeerde gebouwen (een groep gebouw als één item beschreven) kunnen allerlei distributies beschreven worden: bouwjaren, energielabel, eigenaarschap (% huur, % koop, % sociale huur), woningtypes (vrijstaand, hoekwoning, 2-onder-1-kap, ...), gebruiksdoel (woning, kantoor, zorg, winkel, sport, ...).

B.8 Locatie en ruimtebeslag

Alle assets (en energie potentiëlen) kunnen een locatie of geometrie hebben. Ze kunnen als punt, als lijn of als polygoon gerepresenteerd worden. Pijpen en kabels hebben meestal de lijn geometrie. Andere assets worden als punt gerepresenteerd als alleen de locatie van belang is of als polygoon als ook de hoeveelheid ruimte die ingenomen wordt relevant is.



B.9 3D-aspecten

In principe kunnen alle coördinaten in driedimensies gespecificeerd worden. Dit biedt de mogelijkheid om bijvoorbeeld de diepte onder de grond van de pijpen van een warmtenet te specificeren. Er is echter op dit moment nog geen enkele toepassing die daar gebruik van maakt. 3D-vormen worden niet ondersteund (je kunt geen gebouw in 3D-modelleren).

B.10 Gebieden

ESDL biedt de mogelijkheid om ruimtelijke gebieden te definiëren (en de afbakening op de kaart op te nemen als onderdeel van de ESDL). Je kunt hier denken aan de grenzen van een provincie, RES-regio, gemeente, wijk of buurt, maar ook aan een verzorgingsgebied van een onderstation van een netbeheerder of een perceel van een huis of bedrijf. Voor elk gebied kun je indien gewenst ook aangeven of het een buurt, wijk, gemeente, regio, e.d. is. Ook het beschrijven van de hiërarchie is mogelijk: deze provincie bestaat uit deze en deze gemeenten. Aan gebieden kunnen vervolgens economische en sociale eigenschappen gekoppeld worden

B.11 Energie potentieel

Ook (gebieden met) energie potentieel kan beschreven worden. Het gaat hier dan om zonpotentie, windpotentie, wko-potentie, geothermiepotentie en dergelijke. Ook abstractere dingen als zoekgebieden en gebieden met een bepaalde wettelijke status (waterwingebieden, natuurgebieden) kunnen beschreven worden.

B.12 Topologie

ESDL biedt indien gewenst de mogelijkheid om typologieën van energienetwerken te beschrijven. Dit betreft de ligging van bijvoorbeeld elektriciteitskabels, gaspijpen, warmtenetwerken. Middels poorten en verbindingen kan beschreven worden of pijpen en/of kabels écht verbonden zijn en kan dus de volledige topologie vastgelegd worden. In heel veel GIS-kaartlagen ontbreekt deze informatie.

B.13 Profielen

Op een groot aantal plaatsen kan in ESDL-informatie als profiel uitgedrukt worden. Allereerst kunnen er profielen aan poorten gehangen worden. Dit kan bijvoorbeeld een warmtevraagprofiel of elektriciteitsproductieprofiel zijn, maar in principe kan bijna elke grootheid over de tijd uitgedrukt worden (spanning, druk, temperatuur, ...). Daarnaast kan er aan energie assets en aan energiedragers informatie over verschillende soorten kosten gehangen worden. Tenslotte kan er indien gewenst ook weer gerelateerde informatie opgenomen worden, zoals de buitentemperatuur, zoninstraling, windsnelheid en -richting, de grondtemperatuur en relatieve luchtvochtigheid.



B.14 Grootheden en eenheden

Voor alle profielen én op een aantal andere plaatsen, kan expliciet gemaakt worden om welke grootheid en welke eenheid het gaat. De gebruiker heeft hier geen vrije keuze maar er zijn lijstjes waaruit gekozen moet worden. De eenheden zijn opgedeeld in verschillende componenten. Zo kan er bijvoorbeeld gespecificeerd worden dat het om onderhoudskosten gaat in 'EUR/MW/jaar'.

Attributen van een bepaalde ESDL-klasse hebben vaak een in de documentatie vastgestelde eenheid. Zo zijn alle vermogens die je tegenkomt in het model altijd in Watt.

B.15 KPIs

Aan gebieden en aan assets kan een lijst met KPIs gehangen worden. Vaak betreft het hier resultaten van modeldoorrekeningen. Op dit moment is er nog geen vastgestelde lijst van standaard KPIs en heeft de gebruiker zelf de keuze in de formulering van de KPI. Voorbeelden van informatie die als KPI aan een gebied gehangen kunnen worden zijn percentage energieneutraal, CO₂-uitstoot (reductie), totale maatschappelijke kosten, hoeveelheid benodigde jaarlijkse import van energie en percentage lokaal duurzaam opgewekte energie.

B.16 Partijen en eigenaarschap

Energie assets en gebieden kunnen eigenaren hebben. Hiermee kan vastgelegd worden wie verantwoordelijk is voor elk deel van het energiesysteem, wie de gebouweigenaren zijn en ook grondbezit vastleggen behoort tot de mogelijkheden

B.17 Sectoren

In ESDL kunnen sectoren beschreven worden. Een mogelijke eenvoudige sector indeling zou kunnen zijn: Gebouwde omgeving, Landbouw, Mobiliteit en Industrie. Maar ook de standaard bedrijfsindeling (SBI) van de kamer van koophandel is op deze manier vast te leggen en te gebruiken (zie de [Energy Data Repository](#) voor een voorbeeld). Een sector kan aan een asset, een gebied of een partij gekoppeld worden. Zo kan bijvoorbeeld voor alle consumptie assets beschreven worden tot welke sector hun energieverbruik toebedeeld moet worden.

B.18 Distributies/procentuele verdelingen

Naast de mogelijkheid om voor geaggregeerde gebouwen bepaalde procentuele verdelingen te specificeren (bouwjaren, energielabel, eigenaarschap, woningtypes, gebruiksdoel) kunnen ook KPIs als verdeling opgegeven worden. Dit wordt op dit moment gebruikt om de energiemix voor een bepaald gebied te specificeren (Percentage elektriciteit opgewekt met kolen, aardgas, biomassa, zon, wind, ...).

B.19 Mobiliteit en Transport

Voor het rekenen aan mobiliteit is het mogelijk om per voertuigtype per brandstoftype de efficiency te beschrijven. Ook voertuigbezit in een gebied kan beschreven worden. Tenslotte kan de energievraag per gebied per voertuigtype per brandstoftype (inclusief de gereden kilometers en efficiency) beschreven worden.



B.20 Maatregelen

Voor modellen die doorrekenen welke maatregelen (economisch) zinvol zijn om door te voeren, is het concept ‘maatregelen’ geïntroduceerd. Een maatregelen bevat een lijst assets met een bijbehorend kostenplaatje. Ook kunnen er restricties aan een maatregel gekoppeld zijn; bijvoorbeeld een minimum energielabel (een warmtepomp installeren kan alleen voor woningen met minimaal label B), een bepaald gebouwtype (deze maatregel inclusief de aangegeven kosten is alleen van toepassing op woningen) of een gebiedstype (deze windturbine kan alleen op land geïnstalleerd worden).

B.21 Energiemarkten

Van elke asset kan aangegeven worden op welke energiemarkt deze asset een rol speelt. Voor simulatiemodellen die aan energiemarkten rekenen, kan deze informatie, inclusief de informatie over de biedingen van de energieproducenten, gebruikt worden om de merit order op te stellen.

B.22 Aansturing van assets, regelingen en dynamisch gedrag

Voor het doorrekenen van allerlei soorten energie netwerk simulaties zijn er mogelijkheden om het gedrag van een asset te specificeren of een regeling te definiëren die bepaald hoe de asset moet reageren. Zo zijn er zogenaamde ‘control strategies’ (*CurtailmentStrategy*, *DrivenByProfile*, *StorageStrategy*, ...) en is bijvoorbeeld de mogelijkheid tot het definiëren van een PID-regelaar (incl. sensoren).

Voor bepaalde modellen is het nodig het dynamische gedrag van een asset te kunnen beschrijven. Ook hiervoor is een eerste stap in ESDL gezet door het toevoegen van het concept ‘*TransferFunction*’. Hiermee kan de relatie tussen de inputs en de outputs van een asset beschreven worden.

B.23 Referentie naar brondata

Op een groot aantal plaatsen in het ESDL-informatiemodel kan naast de informatie zelf ook opgegeven worden waar de informatie vandaan komt middels een referentie naar de brondata. Voor iedere referentie kan onder andere de eigenaar van de data, de versie van de data, de publicatiedatum van de data en een link naar de website waar de data of een beschrijving van de data te vinden is beschreven worden.

B.24 Beperkingen

Er zijn natuurlijk ook een aantal zaken die bewust niet in ESDL beschreven kunnen worden, waarvan we nog niet goed weten hoe we dat goed zouden kunnen beschrijven of waarvoor er nog geen toepassing is die erom gevraagd heeft. Enkele voorbeelden:

1. Aanwezigheid personen in gebouwen over de tijd.
2. Beleidsaspecten (subsidiereregelingen, belastingen).
3. In de tijd veranderende mengsels (gassamenstellingen).

Projecten en plannen kunnen niet écht beschreven worden, maar de te bereiken eindsituatie weer wel. Hetgeen het meest in de buurt komt van projecten zijn de ‘maatregelen’ die toegepast kunnen worden binnen het energiesysteem.

