

Maatschappelijke kosten en baten van Intelligente Netten

Rapport

Delft, januari 2012

Opgesteld door:

CE Delft

M.J. (Martijn) Blom

M. (Mart) Bles

C. (Cor) Leguijt

F.J. (Frans) Rooijers

KEMA

R. (Rob) van Gerwen

D. (Daan) van Hameren

F. (Frits) Verheij

Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

CE Delft: M.J. (Martijn) Blom, M. (Mart) Bles, C. (Cor) Leguijt, F.J. (Frans) Rooijers
KEMA: R. (Rob) van Gerwen, D. (Daan) van Hameren, F. (Frits) Verheij
Maatschappelijke kosten en baten van Intelligente Netten
Delft, CE Delft, januari 2012

Maatschappelijke factoren / Kosten / Rendement / Netwerken / Elektriciteit / Distributie /
Energievoorziening
VT: ICT

Publicatienummer: 12.3435.10

Opdrachtgever: Agentschap NL.

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Martijn Blom.

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft
Committed to the Environment

CE Delft is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.

KEMA
Experience you can trust

KEMA is een zelfstandig kennisbedrijf dat wereldwijd actief is in de energiewaardeketen, gespecialiseerd in hoogwaardige dienstverlening op het gebied van business & technische consultancy, operationele ondersteuning, metingen & inspecties, en testen & certificatie.

Voorwoord

De ontwikkelingen in de energievoorziening laten een groeiende inzet van hernieuwbare energiebronnen, een toenemende vraag naar elektriciteit en een grotere betrokkenheid van energieconsumenten zien. Intelligente netten - ook wel smart grids of slimme energiesystemen genoemd - lijken een oplossing te bieden voor een betrouwbare en betaalbare energievoorziening in de komende decennia. Maar is investeren in intelligente netten verstandig? En gaat het de maatschappij wat opleveren? Moet de overheid hierbij een rol spelen?

De methodiek van een Maatschappelijke Kosten-BatenAnalyse (MKBA) is ontstaan voor het beoordelen van het maatschappelijk nut van weginfrastructuur, maar is gaandeweg breder toegepast. Voor het bepalen van de waarde van intelligente netten is gebruik gemaakt van de MKBA-methodiek, waarbij over de gehele keten kosten en baten, ongeacht bij wie ze plaatsvinden, in beeld zijn gebracht. Daarmee wordt helder welke kosten en baten er bij intelligente netten zijn. Bovendien maakt het duidelijk of er actie van de overheid nodig is om partijen te bewegen kosten te maken zodat andere partijen baten kunnen creëren. Die actie is alleen gerechtvaardigd als er een positieve balans is van kosten en baten en er marktimperfecties zijn die alleen door de inzet van de overheid zijn op te lossen. Voor de exercitie van deze studie zijn vele uitgangspunten en waarden gehanteerd die zo goed mogelijk zijn onderbouwd en verantwoord. De ervaringen van de proefprojecten van het IPIN-programma, die recent zijn gestart, zullen over enkele jaren worden gebruikt om die uitgangspunten en waarden te evalueren.

CE Delft heeft samen met KEMA de MKBA-methodiek toegepast waarmee voor enkele energiescenario's de grootschalige implementatie van intelligente netten is doorgerekend. De onderzoekers zijn daarbij ondersteund door een begeleidingscommissie die kritisch de uitgangspunten en resultaten heeft beoordeeld.

Deze commissie bestond uit:

J.A. Stremler - Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie

H. Koning - Ministerie van Financiën

R. de Bruijne - Agentschap NL

R.F.T. Aalbers - Centraal Planbureau

B. Postema - Nederlandse Mededingingsautoriteit

J. Hoogstraaten - Netbeheer Nederland

J. Bremmer - Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie

P. Boot - Planbureau voor de Leefomgeving

Daarbij hebben enkele netbeheerders via Netbeheer Nederland nuttig commentaar geleverd.

Bij deze wil ik namens het projectteam van CE Delft en KEMA de begeleidingscommissie hartelijk danken voor hun meedenken en kritisch toetsen.

F.J. Rooijers (directeur CE Delft), januari 2012

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	17
1.1 Aanleiding	17
1.2 Doel en afbakening	17
1.3 Wat zijn 'Smart Grids'?	19
1.4 Relatie met de proeftuinen	22
1.5 Projecteffecten	24
1.6 Aanpak in vogelvlucht	25
1.7 Leeswijzer	28
2 Opzet van de MKBA	29
2.1 Inleiding	29
2.2 Nulalternatief	30
2.3 Projectalternatief	33
2.4 Scenario's	34
2.5 Relevante markten	36
2.6 Analyse kader en onderscheiden effecten	37
2.7 Inschatting van de effecten	45
2.8 Waardering van effecten	50
3 De scenario's in vogelvlucht	53
3.1 Inleiding	53
3.2 Overzicht scenario's	53
3.3 Het Business As Usual-scenario	55
3.4 Het Hernieuwbaar & Gas-scenario	57
3.5 Het Kolen CCS & Kernenergie-scenario	59
3.6 Import en export van elektriciteit	62
4 Kosten en baten	65
4.1 Inleiding	65
4.2 Belangrijkste uitgangspunten	65
4.3 Meerwaarde netbeheer en systeemkant	66
4.4 Overzicht maatschappelijke kosten en baten	68
4.5 Beeld per scenario	70
4.6 Gevoeligheidsanalyse	75
4.7 Verdelingseffecten	77
5 Conclusies	79
5.1 Vraagstelling	79
5.2 Kosten en baten	80
5.3 Meerwaarde van Intelligente Netten	82
5.4 Wie, de wijze waarop, en het tempo waarin?	83
5.5 Inzicht in benodigde afstemming	84
Literatuur	87

Bijlage A	Nadere invulling van energiescenario	91
A.1	Drie scenario's	91
A.2	Energievraag	92
A.3	Decentrale energieproductie	93
A.4	Centrale energiebronnen	94
A.5	Totale vraag energiebronnen	96
A.6	Netconsequenties scenario's	98
Bijlage B	Toelichting op kosten en baten	101
B.1	Inleiding	101
B.2	Kosten	101
B.3	Vermeden netinvesteringen en -kosten	103
B.4	Vermeden investeringen in grootschalige opslag	105
B.5	Vermeden investeringen in productiecapaciteit	105
B.6	Vermeden investeringen grootschalige opslag	105
B.7	Efficiënter gebruik productiepark	106
B.8	Energiebesparing	106
B.9	Effecten op onbalansmarkt	107
B.10	Indirecte en externe effecten	108
Bijlage C	Uitkomsten literatuurstudie	111
C.1	Inleiding	111
C.2	Literatuuroverzicht gedragsverandering	111
C.3	Besparing door meer gerichte gebruiksinformatie	111
C.4	Besparing door prijsprikkels	116
C.5	Prijssturing door contracten	120
C.6	Prijselasticiteit	120
C.7	Absolute besparing	120
C.8	Conclusie literatuuroverzicht	121
Bijlage D	Beschrijving profielmodel	123
D.1	Modelhiërarchie en invoerparameters	123
D.2	Profielen voor duurzame opwekking	125
D.3	Vaste belasting- en opwekprofielen	126
D.4	Energieopslag en waterstofproductie	128
D.5	Implementatie demand respons	133
D.6	Verbruikersgroepen	134
D.7	Netmodel voor netverliezen	136
D.8	Centrale productie	138
D.9	Toepassing van het model	141
Bijlage E	Wat is een MKBA?	143

Samenvatting

Inleiding en vraag

Er is momenteel geen betrouwbare maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) van grootschalige introductie van Intelligente Netten beschikbaar. Wel bestaat uit zeer ruwe schattingen de indruk dat deze positief zal zijn. In de tweede helft van 2011 en begin 2012 is in Nederland een aantal grootschalige experimenten voor Intelligente Netten van start gegaan, de zogenaamde proeftuinen. Om de maatschappelijke kosten en baten in kaart te brengen en om te bepalen of een grootschalige introductie van Intelligente Netten gewenst is, dient een MKBA te worden uitgevoerd. Tevens is het de vraag welke aandachtspunten er zijn bij de uitrol van de grootschalige experimenten teneinde de economische impact van Intelligente Netten in Nederland te verbeteren.

De vraag van de opdrachtgever, het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie was de kosten en baten, direct en indirect, van de invoering van intelligente netten in beeld te brengen.

Dit rapport betreft Fase 1 van de MKBA. In Fase 2 zullen de resultaten uit de proeftuinen worden verwerkt, waarmee onzekerheden worden verkleind en een meer nauwkeurig beeld ontstaat van de maatschappelijke voor en nadelen.

Afbakening

Het begrip Intelligente Energienetwerken omvat in principe alle vormen van energie en energiedragers. Intelligente Netten zijn in deze studie beperkt tot het netwerk voor transport en distributie van elektriciteit (Smart Thermal Grids vallen erbuiten). In lijn met de Taksforce Intelligente Netten definiëren we een Intelligent Net als een 'enabler'. Een Intelligent Net maakt het mogelijk om effectief en efficiënt in te spelen op toekomstige veranderingen in de energiemarkt. De inpassing van elektrisch vervoer, decentrale (vaak duurzame) energieopwekking, domotica maar ook grootschalige windparken en de inzet van nieuwe diensten zoals 'demand response' en 'real time pricing' zijn voorbeelden van dergelijke veranderingen die aansluiten bij bovengenoemde definitie van de Taskforce. Binnen deze studie is ervoor gekozen het begrip te beperken tot de communicatie-infrastructuur die ervoor zorgt dat aansluitingen en netonderdelen slimmer en beter beveiligd kunnen voorzien in de behoefte aan transport en distributie.

Hele speelveld onderzocht

Deze studie bekijkt de gevolgen van invoering van Intelligente Netten over de periode 2011-2050. Over deze lange periode zijn kerngegevens zoals het type energievoorziening, de energievraag en energieprijzen moeilijk te voorspellen. We weten namelijk nu niet of de elektriciteitsvoorziening in de komende decennia echt naar klimaatneutraal gaat, of het aandeel hernieuwbare elektriciteit fors zal toenemen en zo ja, in welke mate dat centraal of vooral decentraal geschiedt.






















Voor de mogelijke toekomstige ontwikkelingen van deze kernvariabelen (klimaatneutraliteit, flexibiliteit en mate van decentrale opwekking) gebruiken we drie scenario's. De scenario's vormen geen blauwdruk van de toekomst, maar schetsen een toekomstbeeld van de energievoorziening en het elektriciteitsnetwerk aan de hand van een verzameling veronderstellingen. De set van de veronderstellingen moet er voor zorgen dat het beeld van de energievoorziening en het net dat daarbij hoort consistent samenhangt. Via bandbreedtes in de onzekerheid ontstaat een beeld van de toekomst dat op




grond van de huidige informatie plausibel is. De relevantie van deze drie scenario's is dat daarmee meer inzicht ontstaat in de effecten van Intelligente Netten, voor meerdere situaties die in de komende tijd kunnen optreden.

De volgende drie scenario's zijn het uitgangspunt van deze MKBA:

1. **Business As Usual** (beperkte CO₂-reductie).
2. **KLIMAAT - Hernieuwbaar & Gas** (80-95% CO₂-reductie).
3. **KLIMAAT - Kolen CCS & Kernenergie** (80-95% CO₂-reductie).

De drie scenario's worden door de volgende punten gekenmerkt:

Scenario's	Business as usual (BAU)	Hernieuwbaar + gas (H&G)	Kolen CCS + Kern (K&K)
CO ₂ -emissie E-sector	Hoog	Nihil	Nihil
Elektriciteitsvraag (excl. EV, WP)	Hoog	Laag	Midden
- elektrische vervoer (EV)	Nihil	Hoog	Hoog
- elektrische warmtepompen (WP)	Laag	Midden	Hoog
Decentraal vermogen	Laag	Hoog	Laag
Centraal vermogen			
- gascentrales			
- kolencentrales			
- hernieuwbaar (biomassa)			
- hernieuwbaar (wind op zee)			
Flexibiliteit			
Centrale opslagcapaciteit			
Waterstofproductie voor vervoer			

 = ja
 = (zeer) beperkt
 = nee

Nulalternatief

Voor elk scenario is een nulalternatief doorgerekend waarin er geen Intelligente Netten zijn uitgerold. Dit nulalternatief gaat uit van:

- **invoering van slimme meters** conform bestaand beleid. In het nulalternatief worden slimme meters voor 2020 geplaatst bij alle kleinverbruikers omdat hiertoe reeds is beslist.
- **actief netbeheer**: een efficiëntere benutting van het net is een proces dat zich autonoom afspeelt en daarmee tot bestaand beleid van netbeheerders kan worden gerekend, vanwege de directe financiële voordelen voor netbeheer. Op grond hiervan is het automatiseren van belangrijke netcomponenten, zoals wijkkasten en distributiestations, in het nulalternatief opgenomen. Deze netcomponenten zijn echter wel noodzakelijk voor het functioneren van een Intelligent Net als systeemconcept. Met andere woorden: ze zijn noodzakelijk om in een Intelligent Net tot betere coördinatie van vraag en aanbodpatronen te komen.
- **vereenvoudigde regelstrategieën** gericht op betere spreiding van de stuurbare belastingprofielen. Vanwege het directe financieel belang worden in het nulalternatief al eenvoudige maatregelen genomen worden om piekbelastingen af te vlakken. Dit komt overeen met een vaste

(niet-slimme) regelstrategie voor spreiding zonder rekening te houden met specifieke dagelijkse patronen of weersomstandigheden.

- **tuinders en zware industrie** zijn al compleet uitgerust voor intelligente netten zodat voor deze groep in het projectalternatief geen extra kosten en baten zijn opgenomen.

Zowel de kosten en baten van deze vier aspecten worden dus niet meegenomen in het projectalternatief.

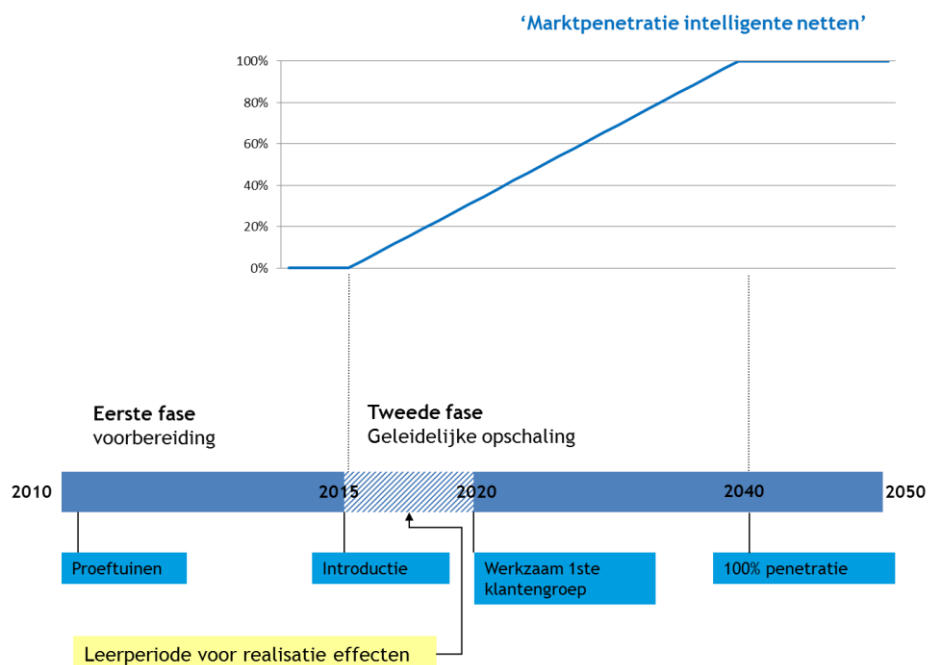
Het projectalternatief

Het projectalternatief wordt als volgt omschreven:

- In **2015** wordt gestart met de invoering van Intelligente Netten. Vanaf dit moment zullen investeringskosten gemaakt moeten worden. Deze investeringskosten zullen lineair toenemen met de opschaling van Intelligente Netten. In **2040** heeft 100 van de aansluitingen toegang tot een Intelligent Net.
- Intelligente Netten zullen vanaf **2020**, na een leerperiode van vijf jaar, operationeel zijn. Vanaf 2020 zal opschaling geleidelijk plaatsvinden (lineair). Per saldo zal dit een geleidelijke uitbreiding betekenen van het aantal aansluitingen dat toegang heeft tot nieuwe dienstverlening vanuit Intelligente Netten. De effecten lopen dus vijf jaar achter op de investeringen.
- We hebben voorts aangenomen dat investeringen in zowel de aansluiting (woningen, kantoren en bedrijfspanden) als de daarbij behorende netonderdelen (wijkkasten en distributiestations) gecoördineerd plaatsvinden.

In Figuur 1 vatten we dit samen.

Figuur 1 Tijdslijn investeren in Intelligente Netten (projectalternatief)



Vervolgens zijn de kosten en baten bepaald voor elk scenario als Intelligente Netten worden aangelegd (projectalternatief).

De volgende kosten en baten van Intelligente Netten zijn onderzocht in de drie scenario's:

	Kosten	Baten
Direct effecten	Investerings slimme netten	1. Vermijden netinvesteringen
	Onderhouds- en beheerskosten slimme netten (O&M)	2. Vermijden netverliezen
	Kosten voor ruimtes apparatuur	3. Vermijden investeringen centraal productiepark
		4. Vermijden investeringen grootschalige opslag
		5. Efficiënter gebruik centraal productiepark
		6. Additionele energiebesparing
		7. Vermindering onbalans
Indirecte en externe effecten	Welvaartsverlies verschuiving van functionele energiebehoefte (PM)	8. Externe effecten
		9. Welvaartswinst door nieuwe dienstverlening (PM)

Aanpak inschatting effecten

Door middel van een literatuurstudie hebben we in beeld gebracht wat de mogelijke gedragsveranderingen van consumenten zijn met betrekking tot hun gebruikspatroon in een situatie met en zonder ondersteuning van een Intelligentie Net. Hierbij gaat het om verschuivingen in de loop van de tijd van elektriciteitsgebruik en de absolute besparing die mogelijk is. Deze gedragsverandering zijn vervolgens per scenario doorgerekend met een eenvoudig profielmodel waarbij het effect op netbelasting en het effect op de inzetvolgorde (biedladder of merit order) van centraal vermogen is bepaald. In Figuur 2 vatten we dit samen.

Figuur 2 Overzicht van aanpak kwantificering van effecten



Gedragsveranderingen (demand response) kunnen ontstaan door verbeterde gebruiksinformatie (feed-back door homedisplays), tariefsdifferentiatie en vermogenssturing op afstand door bijvoorbeeld de netbeheerder. Uit de literatuurstudie hebben we geconcludeerd dat verbeterde gebruiksinformatie een essentiële voorwaarde (enabler) voor een intelligent net is; zonder informatie geen sturing. De slimme meters behoren echter tot het nulalternatief, en gedragsverandering als gevolg hiervan kan derhalve niet aan een slim net worden toegerekend. Wij verwachten in Nederland geen harde sturing door de netbeheerder (afschakelen van gebruikers) zonder dat daar een financiële compensatie tegenover staat. Altijd zal er sprake zijn van een 'ingeprijsde' verschuiving via een contract. Uiteindelijk is dit ook een vorm

van gedragsverandering die ontstaat door een financiële prikkel (een vorm van demand response).

Als gevolg van tariefprikkel, kunnen drie soorten gedragsveranderingen ontstaan: *Absolute besparing* (niet alle piekbesparingen worden verschoven worden naar andere tijdstippen), *dagelijkse piekreductie* en *Incidentele piekreductie*. Het verschil tussen de *dagelijkse* en *incidentele* piekreductie is dat de laatste optreedt op kritische schaarstemomenten wanneer sprake is van sterke prijsprikkel. Dit treedt gedurende een beperkt aantal momenten in het jaar op wanneer de elektriciteitsvraag exceptioneel hoog is. In Tabel 1 geven we een overzicht van de gevonden omvang van de gedragseffecten in de literatuur. Deze gedragsveranderingen kunnen als conservatieve schattingen worden gezien¹.

Tabel 1 Uitgangspunten voor besparing en verschuiving van verbruik % zijn uitgedrukt in piekvermogen bij TOU en CPP

Gebruiksgroep	Absolute besparing	Dagelijkse	Incidentele
	(TOU)	piekreductie (TOU)	piekreductie (CPP)
Huishoudens	4%	4%	16%
Utiliteit	4%	15%	30%
Industrie	4%	15%	30%

Noot: Alleen middenwaarden zijn hierbij gepresenteerd.

Deze effecten zijn gekwantificeerd in een profielmodel. Dit model berekent de netbelastingen en het benodigde centrale vermogen op basis van gestileerde belastingprofielen. Deze belastingpatronen zijn opgesteld voor verschillende gebruikersgroepen (huishoudens, utiliteit, industrie, e.d.) en installaties/apparatuur (warmtepompen, elektrisch vervoer, zonnepanelen, e.d.). Dit model geeft beter inzicht in netbelastingen en benodigd centraal vermogen dan een statisch piekmodel. Het blijft echter een benadering die vooral inzicht geeft in effecten en in de gevoeligheid voor uitgangspunten en aannames.

Onzekerheden gedragsverandering

Wij benadrukken dat er een grote onzekerheid bestaat in de mate waarin consumenten en bedrijven zullen reageren op tariefprikkel en nieuwe diensten gekoppeld aan Intelligente Netten. De literatuur laat niet voor alle vormen van gedragsveranderingen eenduidige resultaten zien. Het is ook de vraag of buitenlandse praktijkexperimenten één-op-één vertaald kunnen worden naar de ‘gemiddelde consument in Nederland’ en met name naar de context van het Nederlandse energiesysteem (denk aan stuurbare vermogens die in sommige landen van meer substantiële omvang zijn dankzij bijv. aandeel elektrische verwarming).

Ook is onduidelijk hoe de voordelen in het systeem precies doorgegeven zullen worden aan de consument, en welke tariefprikkel noodzakelijk zijn om de beoogde gedragsverandering ook daadwerkelijk gestalte te geven (kip-ei probleem). Het is niet ondenkbaar in sommige scenario's dat tariefprikkel voor levering en transport tegen elkaar inwerken en daarmee de effectiviteit van de beoogde gedragsverandering verminderen (hoge windproductie geeft lage tarieven). Aangezien de netbeheerder geacht wordt altijd voldoende netcapaciteit beschikbaar te hebben, hoeven deze tegenstrijdige prikkels maar

¹ Vergelijk bijvoorbeeld met de Roadmap 2050 van de European Climate Foundation waar scenario's zijn gemaakt waarbij is gekeken naar het effect op deze investeringen als de flexibiliteit aan de vraagkant (demand response) 20% bedraagt.

enkele keren per jaar voor te komen tijdens een piekmoment om voor een probleem te zorgen.

Wij hebben met deze onzekerheid rekening gehouden door enerzijds een gevoeligheidsanalyse uit te voeren voor de omvang van de mogelijke gedragsverandering en anderzijds aangenomen dat een leerperiode van 5 jaar nodig zal zijn voordat eerste gedragsveranderingen überhaupt verwacht mogen worden dankzij de investering in Intelligente Netten. Deze leerperiode kan worden benut om ervaring op te doen met een effectieve tariefstelling. Hiermee is de kous niet af: gebruiksgedrag in relatie tot financiële prikkels en nieuwe diensten blijft, hoe dan ook, een essentieel aandachtspunt voor de proeftuinen. Met de uitkomsten uit de proeftuinen kan meer grip gekregen worden op de precieze omvang van kosten en batenposten.

Uitkomsten kosten-batenanalyse

Het saldo van kosten en baten (netto contante waarde) blijkt voor de drie scenario's van de toekomstige energievoorziening positief te zijn. Dit betekent dat dit positieve saldo robuust is voor de invulling van de energievoorziening: ook in een energievoorziening zonder forse CO₂-reductie (BAU 2050) en veel hernieuwbare energie (H&G 2050) ontstaat een positief saldo. Voor de klimaatscenario's is het saldo wel aanzienlijk positiever dan voor het scenario BAU 2050.

Dit betekent dat de invoering van Intelligente Netten ongeacht de verdere ontwikkeling van de energievoorziening tot een voordeel voor de maatschappij leidt en het aantrekkelijk is te investeren in de uitrol ervan.

De volgende kosten en baten ontstaan per scenario:

NCW in miljarden Euro's	BAU 2050	K&K 2050	H&G 2050
Baten	€ 7,1	€ 14,1	€ 12,5
Kosten	(€ 4,6)	(€ 4,6)	(€ 4,6)
Saldo (baten-kosten)	€ 2,5	€ 9,5	€ 7,9
Interne rentevoet	13%	28%	31%

- Intelligente Netten leveren in alle scenario's een maatschappelijk voordeel op. Opvallend in deze studie is dat Intelligente Netten in de scenario's met decentrale inpassing van een groot aandeel intermitterende elektriciteit uit zon en wind (H&G 2050), als in een centrale energievoorziening met beperkte flexibiliteit rendabel is (K&K 2050). Het eerste (H&G 2050) ligt in de lijn van verwachting en was bijvoorbeeld voorzien door de Taskforce Intelligente Netten, het laatste (K&K 2050) kan gezien worden als een nieuw inzicht. Een belangrijke constatering is dat in een scenario met veel centraal vermogen (K&K 2050) een bescheiden spreiding van vermogensbelastingen (in dit geval op middenspanning) al snel aantrekkelijk is in het bijzonder uit oogpunt van vermeden investeringen in centrale productiecapaciteit.
- Het voordeel van Intelligente Netten komt door verschillende batenposten tot stand waarbij de lagere kosten voor netaanleg en lagere kosten voor centraal productievermogen de twee belangrijkste zijn. Bij het scenario H&G liggen de voordelen minder bij het centrale productievermogen, maar juist bij het voorkomen van onbalans.
- De grootste besparingen op de netten vinden in belangrijke mate plaats in het middenspanningsnet.

- De baten ontstaan vooral door directe effecten en in zeer beperkte mate door indirecte effecten, zoals welvaartseffecten, minder emissies, etc.

Uit de gevoeligheidsberekeningen valt te concluderen dat:

- De besparingen op netkosten ontstaan door verschuiving van de vraag naar andere tijdstippen zodat een vlakker patroon ontstaat en absolute energiebesparing. Hierdoor wordt de verhouding tussen energievolume en maximaal vermogen gunstiger. Dit laatste betreft het definitief afzien van functionele energiebehoefte op het moment van hoge prijzen, en niet de besparing die ontstaat door een betere feed-back van gebruikersinformatie dankzij de slimme meter.
- Consumentengedrag een aanzienlijk effect heeft op de baten van Intelligente Netten. Consumentengedrag is daarmee de sleutel tot financiële winst die in het gehele systeem (zowel productie, transport als onbalans) kan optreden. Tegelijkertijd kunnen de tariefvoordelen alleen aan consumenten worden ‘doorgegeven’ als er ook sprake is van een efficiëntere levering en transport van elektriciteit, kortom als er substantiële systeembaten zijn. Dat is een klassiek kip-ei probleem.
- De baten zijn ongeveer gelijk verdeeld tussen MKB en huishoudens, maar de kosten bij het MKB zijn veel lager dan bij huishoudens. Dit betekent dat het aantrekkelijker is te starten met het MKB, en daarna huishoudens.
- De in deze studie gehanteerde salderingsparameter weerspiegelt de mate waarin balanceren op lokaal niveau plaatsvindt tussen lokale productie en vraag, en is daarmee een indicatie voor de resterende belasting welke naar een hoger netvlak wordt ‘doorgespeeld’. Alhoewel de netto contante waarde van intelligente netten positief blijft bij aanpassing van deze parameter, geeft de gevoeligheidsanalyse aan dat de hoogte ervan een aanzienlijke invloed heeft op de baten. Het is dus belangrijk in de proeftuinen praktijkervaring op te doen met de hoogte van deze parameter.

Conclusie

In alle scenario's leveren Intelligente Netten een positieve bijdrage aan het tot stand komen van de toekomstige energievoorziening. Uit deze studie volgt de verwachting dat Intelligente Netten economische voordelen voor de consument opleveren die zich uiteindelijk vertalen in lagere leveringsprijzen en lagere nettarieven voor consumenten en bedrijfsleven. Tot op zekere hoogte is daarmee de uitkomst robuust voor verschillende ontwikkelingen in de energievoorziening, zoals wel of geen klimaatbeleid, het aandeel decentrale productie, wel of geen centrale opslag van elektriciteit, en de mate van flexibiliteit van de centrale elektriciteitsproductie.

De belangrijkste bouwsteen hiervoor is de gedragsverandering van gebruikers door flexibele leverings- en transport tarieven. Hieruit volgen besparingen in kosten voor netaanleg en elektriciteitsproductie. De analyse in de MKBA bevat aanzienlijk onzekerheden, o.a. onzekerheid over de hoogte van diverse kostenposten en over de gedragsverandering die bereikt wordt met flexibele tarieven. Of en in welke mate deze gedragsverandering op gaat treden is een belangrijk onderwerp voor onderzoek in de proeftuinen. In Fase 2 van deze MKBA wordt deze onzekerheid verkleind door de inbreng van uitkomsten uit de proeftuinen.

Aanbevelingen

Uit deze MKBA kunnen de volgende aanbevelingen voor beleid voor de grootschalige uitrol van IN worden afgeleid.

Tijd/locatie-afhankelijke tarieven essentiële voorwaarde

Economische baten zullen pas ontstaan als er prijsprikkels zijn die ervoor zorgen dat verschuiving en/of besparing van het elektriciteitsgebruik daadwerkelijk plaatsvindt. En dat de netbeheerder zijn netwerk met de wettelijk vereiste mate van betrouwbaarheid hierop kan ontwerpen.

Aanpassing van de nettarieven, maar ook leveringstarieven, met een tijdsafhankelijke en mogelijk zelfs lokale component (niet elk deelnet zal tegelijkertijd zwaar belast worden) is essentieel voor het creëren van de baten, maar ook voor het doorberekenen van de kosten.

Een deel van de baten zal bij de energiegebruikers terecht komen via deze aangepaste tarieven en een deel zal terecht komen bij derden die met diensten en producten de energiegebruiker helpen om het elektriciteitsverbruik te verschuiven en/of te verminderen.

Uit de analyse blijkt dat Intelligente Netten een goede rol kunnen spelen bij de inpassing van decentraal vermogen. De conclusie kan echter niet worden getrokken dat Intelligente Netten decentrale elektriciteitsproductie stimuleren, dat was geen onderdeel van de studie.

Netbeheerders zullen voor de toenemende vraag naar elektriciteit in alle mogelijke toekomstontwikkelingen het elektriciteitsnet in alle spanningslagen moeten uitbreiden, maar met toevoeging van intelligentie kan dat in een andere verhouding tussen vraag en maximaal vermogen dan tot nu toe gebruikelijk. Maar de netbeheerders zullen dit pas gaan doen als de energiegebruiker met grote zekerheid zijn gebruikersgedrag zal aanpassen. Daarom is het aan te bevelen hoge prioriteit te geven aan de ontwikkeling van de regelgeving en ontwikkeling van tijd/locatieafhankelijke beprijzing ten behoeve van de (economische) effectiviteit van Intelligente Netten. In de proeftuinen is het van belang invulling te geven aan prijsprikkels voor de verschillende gebruikerscategorieën en inzicht te verkrijgen over het effect ervan. Dit geldt ook voor nieuwe dienstverlening die geboden kan worden aan afnemers. Tenslotte zal breder gekeken moeten worden naar de werking van Intelligente Netten, o.a. de interactie tussen tariefprikkels voor transport en levering.

Wie investeert?

Om te kunnen spreken van een Intelligent Net, moeten enerzijds de aansluitingen en anderzijds de verschillende netcomponenten 'slim' zijn. Diverse partijen zijn hierbij betrokken zoals consumenten, netbeheerders en marktpartijen die diensten en sturingsconcepten willen gaan aanbieden aan de consument. Coördinatie van netinvesteringen (netbeheerders) en investeringen in sturing 'achter de meter' (consumenten en nieuwe dienstverleners) is hiervoor noodzakelijk. Coördinatie is bijvoorbeeld mogelijk in een wijksgewijze of regionale aanpak bij renovatie van bestaande woningen.

Tempo waarin?

Tegelijkertijd is er een timingsvraagstuk: wanneer moet de (gecoördineerde) investering ter hand worden genomen? Een groot deel van het huidige elektriciteitsnet is in de jaren '60 en '70 van de vorige eeuw aangelegd. Naast de noodzakelijke capaciteitsuitbreiding, zijn de netten in de periode tot 2020 dus ook toe aan vervanging. Als een 'dikkere' kabel er eenmaal ligt, dan is de besparing niet meer mogelijk en zal deze opnieuw voor de volgende 50 jaar zijn werk doen en achteraf overgedimensioneerd blijken te zijn. Een besparing door middel van een 'lichtere' kabel is alleen mogelijk indien de

gedragsverandering tijdig is geëffectueerd voordat de nieuwe kabel gelegd moet worden. Dit laat zien dat de urgentie van het tijdig investeren in Intelligente Netten (ruim voor 2020) groter moet worden ingeschat dan de Taskforce aanbeveelt, met name omdat effectieve tariefdifferentiatie met het oogmerk consumenten actief te laten participeren niet van de een op de andere dag vorm kan worden gegeven.

Wijze waarop?

Ook in de aansluitvolgorde is ruimte tot verdere verbetering van de economische effecten door met name het MKB, kantoorgebouwen, kleinschalige industrie en glastuinbouw als eerste slim uit te rusten. Met name in de aansluiting op middenspanningsvlak zijn in potentie grote verschuifbare vermogens beschikbaar. De literatuurstudie laat duidelijk zien dat de financiële bereidheid (elasticiteit) om de vraag te verschuiven bij bedrijven substantieel groter is dan bij huishoudens. Dit resulteert ook in een aantrekkelijker NCW bij bedrijven ten opzichte van huishoudens.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het Innovatieprogramma Intelligente Netten (IPIN) streeft ernaar de introductie van Intelligente Netten te versnellen door de samenwerking op nationaal niveau te versterken, kennis te verspreiden en randvoorwaarden te scheppen. Daarnaast biedt IPIN ondersteuning aan de Taskforce Intelligente Netten voor het realiseren van een gedragen visie en actieplan. De Taskforce noemt in haar discussiedocument 'Op weg naar Intelligente Netten in Nederland' (juni 2010) een aantal belemmeringen. Eén daarvan is het inzichtelijk maken van de maatschappelijke kosten en baten van Intelligente Netten.

Er is momenteel geen betrouwbare maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) over grootschalige introductie van Intelligente Netten beschikbaar. Deze grootschalige uitrol is voorzien voor de periode vanaf 2015. Wel bestaat uit zeer ruwe schattingen de indruk dat deze positief zal zijn. In de tweede helft van 2011 en begin 2012 gaat in Nederland een aantal grootschalige experimenten van start voor Intelligente Netten, de zogenaamde proeftuinen. Om de maatschappelijke kosten en baten in kaart te brengen en om te bepalen of een grootschalige introductie van Intelligente Netten gewenst is, dient een MKBA uitgevoerd te worden.

De opzet van de proeftuinen en de MKBA is een wisselwerking, waarin tot uitdrukking komt dat een MKBA geen proces is dat uitmondt in een 'ja' of 'nee' inzake grootschalige introductie van Intelligente Netten, maar informatie verschaft over de wijze waarop deze introductie het beste kan plaatsvinden: vlugger of sneller en op welke personen, bedrijven of regio's gericht. De MKBA is dus onderdeel van een proces om tot de best mogelijke invoering van Intelligente Netten te komen, dan wel te bepalen dat deze (nog) niet moet plaatsvinden.

Deze rapportage omvat Fase 1 van het project, de uitvoering van een MKBA en het identificeren van indicatoren om de resultaten uit de proeftuinen te kunnen verwerken in een update van deze MKBA. Fase 2 gaat in op verzamelen en verwerken van gegevens uit de proeftuinen om daarmee tot een betere onderbouwing van de resultaten te komen en meer grip te krijgen op een optimale strategie voor uitrol van Intelligente Netten. De resultaten van Fase 2 worden verwerkt in een aparte rapportage.

1.2 Doel en afbakening

Smart Grids zijn geen doel op zich. Uiteindelijk faciliteren de netten netgebruikers bij de energielevering en -afname. Investerings in Smart Grids zijn alleen gerechtvaardigd als uiteindelijk de meerwaarde voor de netgebruikers opweegt tegen de meerkosten. Deze MKBA beoogt vast te stellen of dit inderdaad het geval is.

Het doel van de MKBA is:

- Als basis te dienen voor een beslissing over grootschalige introductie van Intelligente Netten (als MKBA positieve uitkomst heeft).
- Inzichten te verkrijgen in de wijze waarop die introductie moet plaatsvinden (tempo, omvang, specificaties).

Wat is een MKBA?

Een MKBA geeft in de eerste plaats inzicht in de maatschappelijke efficiëntie van een project. In een MKBA wordt dat wat de maatschappij verwacht in welvaart erop vooruit te zullen gaan bij de uitvoering van het project afgezet tegen de kosten. Een MKBA drukt alle aspecten waaraan mensen waarde hechten (voor zover mogelijk) in geld uit en telt deze op. Een positief saldo duidt op een project dat de welvaart verhoogt. Een negatief saldo duidt op een project dat de welvaart verlaagt. Op deze manier krijgen we zich op de vraag of grootschalige uitrol van IN bijdraagt aan de Nederlandse welvaart.

Een MKBA is ook bij uitstek geschikt om de verdelingseffecten voor verschillende gebruikers te laten zien, waarbij de groep die kosten draagt (zo ook bij investeringen in Intelligente Netten) niet noodzakelijkerwijs de groep hoeft te zijn die de baten ontvangt. Winnaars en verliezers worden zo geïdentificeerd, hetgeen relevant is bij de wijze waarop de investering gefinancierd c.q. geïnstrumenteerd dient te worden (publiek of privaat, en door welke specifieke partijen).

Tenslotte is een MKBA geschikt om verschillende projectalternatieven systematisch naast elkaar te zetten en informatie te verschaffen ten behoeve van de afweging tussen verschillende alternatieven en deze in economisch opzicht verder te optimaliseren in termen van tempo, accenten bij specifieke gebruikersgroepen, en/of ontwerpmodificaties (bijvoorbeeld op grond van nieuwe inzichten uit de proeftuinen).

Een MKBA vergelijkt twee toekomstbeelden, alternatieven genoemd: een toekomstbeeld met het overheidsbeleid (beleidsalternatief of projectalternatief) en een toekomstbeeld zonder het overheidsbeleid (nulalternatief). De verschillen tussen deze beelden leiden tot kosten en baten.

Afbakening

Het onderzoek omvat een traditionele MKBA met daarin alle kosten en baten. Hierop geldt één belangrijke uitzondering: de kosten van een eventueel overheidsbeleid om tot Intelligente Netten te komen worden niet in ogenschouw genomen. Dat is op zich niet zo vreemd, omdat het overheidsbeleid om tot Intelligente Netten te komen vooral regulerend zal zijn en niet financieel. Door in de MKBA een onderscheid te maken tussen private en publieke kosten/baten kan er op basis van de MKBA tevens worden gekeken of er al dan niet een rol van de overheid is bij de transitie naar een systeem van Intelligente Netten vanuit economische overwegingen. Indien de kosten vooral privaat zouden zijn, maar de baten maatschappelijk, is er een goede grond voor overheidsingrijpen om Intelligente Netten te bespoedigen.

In deze studie gaan we ervan uit dat de slimme meter vanaf 2020 voor alle aansluitingen een feit is. De kosten en baten van de slimme meter worden hoe dan ook gerealiseerd en zijn niet afhankelijk van de vraag of elektriciteitsnetten intelligent zullen worden gemaakt. Anders gezegd: deze studie beschouwt de additionele kosten en baten van Intelligente Netten ten opzichte van de situatie waarin de slimme meter ingevoerd is. Ook hebben we in deze studie aangenomen dat netonderdelen worden geautomatiseerd met het oog op actiever en meer kosteneffectief netbeheer.

De potentiële effecten die hierbij worden gerealiseerd zijn sterk afhankelijk van de context van het energiesysteem. Om een goed overzicht te krijgen van de toegevoegde waarde van 'Smart Grids' in de verschillende toekomstbeelden van het energiesysteem, hebben we in deze studie drie scenario's gehanteerd. In twee scenario's is sprake van klimaatbeleid dat leidt tot vergaande CO₂-reductie, ingevuld met Kolen CCS & Kernenergie en Hernieuwbaar & Groen gas. Het derde scenario, BAU 2050 gaat uit van een stabilisatie van hernieuwbare energie na 2020 en geen draagvlak voor internationaal klimaatbeleid na 2020. Dit laatste scenario is consistent met Business as Usual (BAU) uit de World Energy Outlook van de IEA (2009).

Het onderzoek richt zich primair op de elektriciteitsnetten. Andere vormen van energie-infrastructuur, zoals gasleidingen en warmtenetten, worden slechts indirect betrokken. Denk daarbij aan de gasvoorziening voor lokale productie van elektriciteit: van micro-WKK (HRe-ketel) en mini-WKK tot de inzet van warmtekrachtcentrales bij glastuinders of industrie. Zo worden er nu al zogenaamde 'all electric' of 'vlamloze' wijken aangelegd, maar zal de inzet van gestuurde micro-WKK's op huishoudelijk niveau leiden tot een configuratie van het intelligente net waarin ook de aanleg of instandhouding van een gasnet noodzakelijk is.

1.3 Wat zijn 'Smart Grids'?

1.3.1 Het concept 'Smart Grids'

De huidige elektrische energie-infrastructuur is niet ontworpen om te voldoen aan de veranderende behoeften van afnemers, de stijgende vraag, de toenemende eisen van een digitale samenleving, en toenemende productie van hernieuwbare energieproductie. De bestaande infrastructuur kan daarbij ook kwetsbaarder worden voor bedreigingen van veiligheid en betrouwbaarheid van buitenaf. Het huidige transport- en distributiesysteem wordt gekenmerkt door een centralistische benadering ('waterval'-karakter). Grote centrales voeden op hoogspanningsniveau stroomproductie in, dat wordt getransporteerd naar lokale distributienetten waar het uiteindelijk zijn weg vindt naar bedrijven en woningen. In dit systeem stroomt elektriciteit één richting op. In een centralistisch netwerk is slechts in beperkte mate toegestaan dat ook (kleine) gebruikers elektriciteit leveren aan het netwerk.

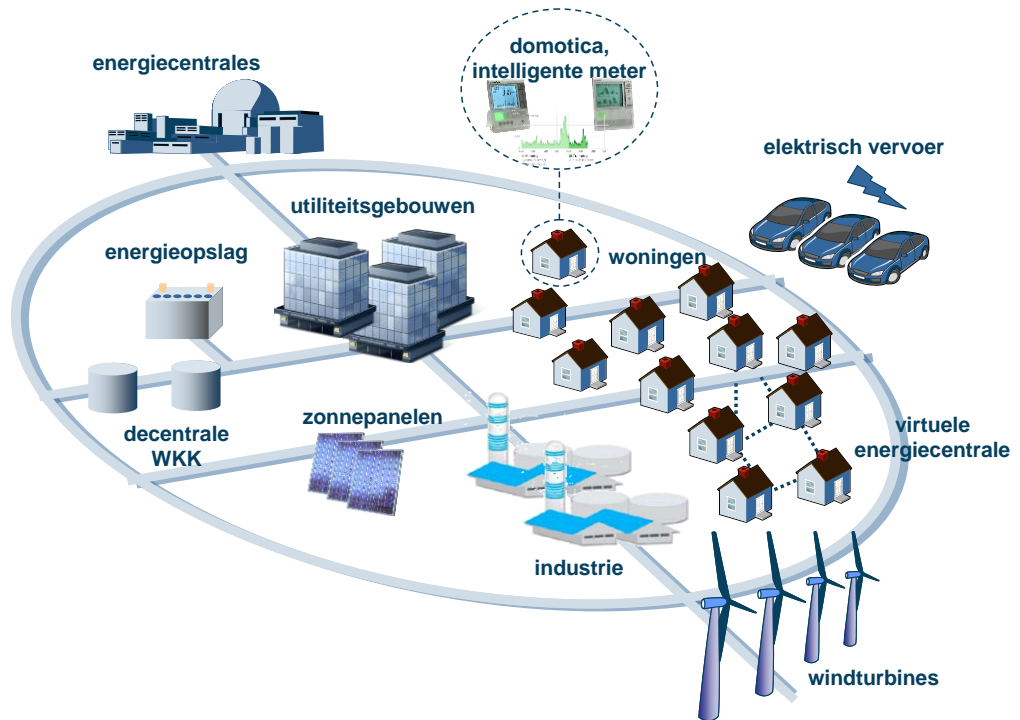
Essentieel in het begrip Smart Grids - ofwel 'Intelligent Net' - is het ontstaan van tweerichtingsverkeer tussen energiegebruikers onderling en met producenten. Dit heeft betrekking op stroom en op informatieoverdracht. Dankzij de toevoeging van (ICT-) technologie is het mogelijk om energiestromen beter te controleren, te sturen en te beheren. Intelligente Netten zijn volgens de definitie van de Taskforce Intelligente Netten innovaties rond energienetten die tot doel hebben ook in de toekomst de energievoorziening betaalbaar en betrouwbaar te houden en daarnaast te verduurzamen. Hierdoor ontstaan er mogelijkheden om:

- vraagrespons bij gebruikers te activeren;
- decentrale opwekking en opslag van energie beter in te passen;
- nieuwe producten, diensten en markten te ontwikkelen;
- de flexibiliteit van het energiesysteem (met name elektriciteit) te verhogen;
- investeringen in infrastructuur te beperken of uit te stellen;
- de betrouwbaarheid van de elektriciteitsvoorziening te waarborgen.

Binnen deze studie volgen we afbakening van de Taskforce Intelligente Netten. We definiëren een Intelligent Net als een ‘enabler’. Een Intelligent Net maakt het mogelijk om effectief en efficiënt in te spelen op toekomstige veranderingen in de energiemarkt. De inpassing van elektrisch vervoer, decentrale (vaak duurzame) energieopwekking, domotica maar ook grootschalige windparken en de inzet van nieuwe diensten zoals ‘demand response’ en ‘real time pricing’ zijn voorbeelden van dergelijke veranderingen die aansluiten bij bovengenoemde definitie van de Taskforce Intelligente Netten.

In Paragraaf 2.1 gaan we nader in op de afbakening van Intelligente Netten.

Figuur 3 Een Intelligent Net als enabler van ontwikkelingen op het gebied van energieopwekking en -verbruik



1.3.2 Definitie Intelligente Netten in deze studie

In grote lijnen bestaan Intelligente Netten uit een hardwaredeel (communicatie-infrastructuur, aansturingssystemen, monitoringsystemen en ICT-systemen) en een softwaredeel (regelstrategie, optimalisatie, markt-facilitering, voorspelling). Grofweg kan gesteld worden dat in een *Intelligent Net* ten opzichte van een *traditioneel net* koper vervuld voor slimheid om efficiënt te voorzien in behoefte van transport, distributie en opslag van elektriciteit.

Soms is het makkelijker om in een afbakeningsproces te starten met wat er **niet** tot het beschouwde onderwerp behoort. Voor *Intelligente Netten* zijn dat:

- bestaande netten (elektriciteit, gas en warmte) en de nieuwe netten exclusief ‘de toegevoegde intelligentie’;
- productiemiddelen (duurzaam en niet-duurzaam);
- opslagsystemen en openbare laadinfrastructuur voor elektrisch vervoer;
- verbruiksapparaten en installaties;
- standaard telemetrie en bijbehorende communicatie-infrastructuur;

- huidige ICT- en informatiesystemen voor de energiemarkten (allocatie, reconciliatie, onbalans methodiek, e.d.);
- autonome ontwikkelingen op het gebied van ICT en communicatie (snellere computers, goedkopere digitale opslagmedia, smart phones, smart tablets, goedkopere en energiezuinigere beeldschermen, snellere internetverbindingen voor consumenten, snellere draadloze netwerken, communicatieprotocollen, e.d.);
- standaard conditiemonitoring en asset managementsystemen voor energienetten.

Binnen deze studie is ervoor gekozen om het begrip Intelligentie Netten dus scherp af te bakenen en te beperken tot een communicatie-infrastructuur die ervoor zorgt dat netten slimmer en beter beveiligd² kunnen voorzien in de behoefte aan transport en distributie³. In deze afbakening is de functie van het netwerk en de opslagsystemen altijd een directe afgeleide van de toekomstige energievoorziening: netinvesteringen zijn immers in de eerste plaats noodzakelijk om in toekomstige elektriciteitsvraag te voorzien en opwek in te passen. Een opslagsysteem kan een alternatief zijn voor netverzwaring. In het achtergrondscenario is opslag, waar nodig, al een kostenefficiënt alternatief voor het verzwaren van netten. Een effect van het toevoegen van intelligentie aan de netten is dan dat beter gebruik kan worden gemaakt van deze opslagsystemen. Denk bijv. aan laad- en ontlaadschema's die ervoor kunnen zorgen dat accu's op een gunstig moment worden geladen en eventueel ontladen in geval van een kritische onbalans in het net. Op deze manier ontstaat er dus een trade-off tussen enerzijds meer 'koper' en anderzijds investeringen in communicatie-infrastructuur rond de netten teneinde aan de eisen van toekomstige inpassing van (decentrale) productie te voldoen. Het is deze uitruil die we zichtbaar willen maken in de MKBA tussen het project- en nulalternatief.

Nu er een goed beeld is van onderdelen die niet tot een Intelligent Net behoren, is het eenvoudiger te bepalen wat **wel** tot het begrip behoort. De volgende functies behoren wel tot een Intelligent Net:

- snellere of hogere capaciteit communicatie-infrastructuur specifiek voor Intelligente Net-toepassingen (inclusief glasvezel, modems, gateways en dergelijke);
- aansturingsmodules voor verbruiksapparaten en installaties, bijvoorbeeld in slimme wasmachines of voor interactie met elektrische auto's aan een laadpunt;
- ICT-systemen voor het faciliteren van andere (nieuwe) marktsystemen (bijvoorbeeld allocatie en reconciliatie van kleinverbruikers op kwartierbasis);
- ICT-systemen voor informatie, optimalisatie, aansturing en dergelijke;
- aansturingsoftware voor optimale afstemming van verbruik en productie (binnen woningen, op wijkniveau, regionaal, landelijk);

² Tweerichtingsverkeer is in principe technisch nu al mogelijk. Op woningniveau gebeurt het bijvoorbeeld al bij netto teruglevering van een zoncelinstallatie. Belangrijke aanpassingen voor de netbeheerder bij (intensief) tweerichtingsverkeer zijn beveiligingssysteem (tweerichtingsverkeer in het net vraagt een andere selectiviteit van de beveiligingen en misschien ook andere beveiligingsconcepten) en zijn onderhoudsprocedures (bijvoorbeeld meer of andere maatregelen nodig om spanningsloosheid tijdens onderhoud te garanderen).

³ Het is onmogelijk een hard onderscheid te maken tussen de netten zelf en de intelligentie die eraan toe wordt gevoegd. Er zal altijd sprake zijn van interactie tussen beide: als men investeert in slimheid heeft dat gevolgen voor de netten (bijv. minder koper) en vice versa. Hier moet echter een onderzoeksmatige afbakening gemaakt worden ten behoeve van een MKBA. Daarin stellen we voor dat **geen** extra capaciteit nodig is in transport- en distributienetten om te kunnen spreken van een Intelligent Net.

- additionele monitoringsystemen voor netkwaliteit en asset management, gebaseerd op onder andere slimme meter informatie;
- specifieke voorspellingssoftware voor duurzame energieproductie en belastingpatronen.

Tabel 2 geeft een overzicht van deze afbakening naar gebruiker.

Tabel 2 Afbakening naar gebruiker van investeringscomponenten IN

	Communicatie- infrastructuur	Aansturings- modules	ICT voor markt- systemen	ICT voor opti- malisatie en aansturing	Software voor optimalisatie en aansturing	Monitoring- systemen	Voorspellings- software
Verbruikers	✓	✓		✓	✓		✓
Producenten		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Leveranciers			✓	✓	✓	✓	✓
Netbeheerder	✓		✓			✓	✓

1.4 Relatie met de proeftuinen

Het project wordt uitgevoerd in twee fases:

1. Het opzetten en uitvoeren van de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) op basis van beschikbare gegevens, en het identificeren van indicatoren om de impact en resultaten uit de proeftuinen te kunnen verwerken in een update van deze MKBA.
2. Het verzamelen en verwerken van de resultaten van de proeftuinen (op basis van de indicatoren) in de MKBA.

Dit rapport presenteert de resultaten van Fase 1. De wisselwerking tussen deze MKBA en de proeftuinen wordt in Figuur 4 toegelicht.

Figuur 4 Wisselwerking tussen MKBA en proeftuinen



Een proeftuin zal uit de toepassing van een samengestelde set aan (nieuwe) diensten, technieken, tools en infrastructures (energie en ICT) bestaan. Deze zullen worden gedemonstreerd in verschillende type omgevingen (met elk een te onderscheiden type eindgebruiker), zoals bebouwde omgeving (nieuwbouw versus bestaande bouw), glastuinbouw, (grote) kantoren/kantoorcomplexen en utiliteitsgebouwen, kleinschalige industrie/(kleine) industrieterreinen, en een mengvorm van deze omgevingen. Er zal dus niet sprake zijn van 'één Smart Grid', maar van verschillende concepten.

Op de eerste plaats kunnen de uitkomsten van deze MKBA aanleiding vormen een nadere focus aan te brengen bij het vormgeven van de proeftuinen (gebruikersgroepen, regio's, specifieke diensten gekoppeld aan Intelligente Netten). Ten tweede vormen de eerste resultaten in proeftuinen een prima gedragsexperiment om de MKBA-resultaten aan te scherpen.

Dit wordt gedaan aan de hand van een datastramien dat vanuit deze proeftuinen moet worden ingevuld zodat deze in Fase 2 kunnen worden meegenomen in een geactualiseerde MKBA. In dit iteratieve proces worden de kosten en baten aangepast op die punten waar dat nodig is. Vervolgens worden de uitkomsten opnieuw geanalyseerd met de vraag of de nieuwe MKBA leidt tot aanpassingen in het introductieschema van Intelligente Netten.

1.5 Projecteffecten

In een kosten-batenanalyse worden conform de OEI-richtlijnen primair drie soorten effecten beschouwd:

1. Directe effecten;
2. Indirecte effecten;
3. Externe effecten.

Directe effecten

Directe effecten zijn in maatschappelijke kosten-batenanalyses de effecten op de markt waarop de maatregelen aangrijpen. Deze markt betreft de productie, de levering, het transport en uiteindelijk het gebruik van elektriciteit. Slimme netten bevorderen de goede werking van het netwerk en kunnen door piekverschuivingen ook leiden tot een efficiëntere levering van stroom door minder onbalanskosten en door goedkopere centrales in de productiemix beter te benutten. Deze effecten komen tot uitdrukking in een lagere elektriciteitsprijs voor de eindgebruiker.

Indirecte effecten

De indirecte effecten zijn de effecten die voortvloeien uit de directe effecten van Intelligente Netten, preciezer gesteld: de doorwerking van directe effecten via transacties en anderszins naar andere markten in de economie, zoals de arbeids-, producten- en kapitaalmarkt. Indirecte effecten ontstaan op andere markten dan de energie- en transportmarkt.

Lagere energiekosten kunnen doorgegeven worden aan afnemers in de vorm van lagere prijzen of hogere winsten. Kern is dat de effecten op een andere markt plaatsvinden (productmarkt respectievelijk kapitaalmarkt), maar wel een gevolg zijn van de directe effecten. Een efficiënter netwerk en energiegebruik leiden tot lagere productprijzen (op de productmarkt) en hogere winsten (op de kapitaalmarkt). Als onderdeel van de indirecte effecten kunnen er positieve effecten zijn op het Nederlandse (of regionale) vestigingsklimaat.

Externe effecten

Dit betreft de onbedoelde effecten op derden. Deze effecten zijn meestal moeilijk in geld uit te drukken omdat markten - en dus prijzen - ontbreken⁴. De waarde van deze effecten kan worden geschat met enquêtes onder betrokken personen, of door de vermijdingskosten in te schatten die in bestaand overheidsbeleid gangbaar zijn. Voor deze laatste categorie is het mogelijk een economische waarde te bepalen via zogenaamde schaduw prijzen (zie CE, 2010).

Het directe effect op energiebesparing vertaalt zich daarnaast ook in beperking van de externaliteiten die samenhangen met de energievoorziening in de vorm van lagere CO₂-emissies, vervuilende emissies en ruimtelijke inpassing van productietechnieken.

Daarnaast kunnen Intelligente Netten de inpassing van decentrale duurzame technieken eenvoudiger maken waardoor de CO₂-emissies en andere vervuilende emissies afnemen. Daarbij dient een scherp onderscheid te worden gemaakt tussen de verwachte daling van emissies in het achtergrond-

⁴ Bij de waardering van milieueffecten moet onderscheid gemaakt worden tussen fysieke effecten met en zonder marktprijs. Aangezien de externe effecten hier effecten betreffen waarvoor markten ontbreken, zullen we gebruik maken van de schaduw prijzenmethode om tot een waardering te komen.

scenario en het effect van Intelligente Netten zelf⁵. De verwachte afname in emissies mag niet worden toegerekend aan het projectalternatief, het is immers geen verdienste van een Intelligent Net.

1.6 Aanpak in vogelvlucht

Om tot een goede inschatting van de verschillende onderscheiden effecten te komen hanteren we het volgende conceptuele kader (Figuur 5). Als eerste stap wordt het concept van de Intelligente Netten beschreven in termen van faciliteiten en technische mogelijkheden (zie Paragraaf 2.1). Deze stap resulteert in een omschrijving van nul- en projectalternatief. Bepaald wordt hoe het projectalternatief doorwerkt in het elektriciteitsstelsel en de verschillende spelers. Op grond hiervan worden de fysieke effecten van Intelligente Netten bepaald.

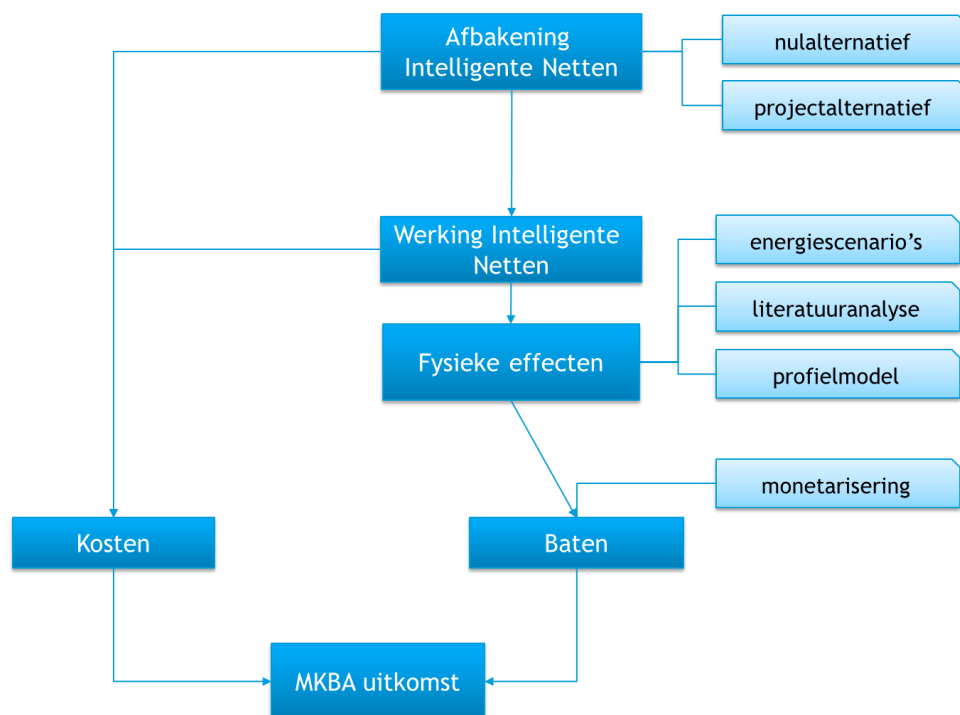
Door middel van een literatuurstudie hebben we in beeld gebracht wat de mogelijke gedragsveranderingen van consumenten zijn met betrekking tot hun gebruikspatroon in een situatie met en zonder Intelligente Netten. Hierbij gaat het om verschuivingen in de loop van de tijd van elektriciteitsgebruik en de absolute energiebesparing die mogelijk is. Deze gedragsverandering zijn vervolgens per scenario doorgerekend met een vereenvoudigd profielmodel op de gevolgen voor de belasting van het elektriciteitsnet, de energiemarkt en de onbalansmarkt. Het betreft een vereenvoudigd netmodel met een beperkt aantal gebruikersgroepen (huishoudens, kantoren, industrie, glastuinbouw en bedrijven) en een vereenvoudigde biedladder voor (centraal) basislast-vermogen. Deze gevolgen zijn ingeschat voor drie energiescenario's. De scenario's omvatten een breed speelveld van mogelijke ontwikkelingen van de energievoorziening. Op deze manier ontstaat een robuust beeld van mogelijke gevolgen van Intelligente Netten in de context van een veranderend energiesysteem.

Op grond van de fysieke effecten kunnen de welvaartseffecten worden bepaald. Dit doen we door de fysieke effecten te voorzien van een economische waardering op basis van marktprijzen voor directe effecten en schaduwprizen voor externe effecten.

Tenslotte worden kosten en baten in de tijd verdisconteerd en geconsolideerd tot een MKBA-saldo. Dit saldo wordt uitgedrukt in netto-contante waarde (NCW): dit is de huidige waarde van een toekomstige geldstroom, verdisconteerd tegen een maatschappelijke discontovoet van 5,5% (risicovrije voet van 2,5 en risico-opslag van 3%).

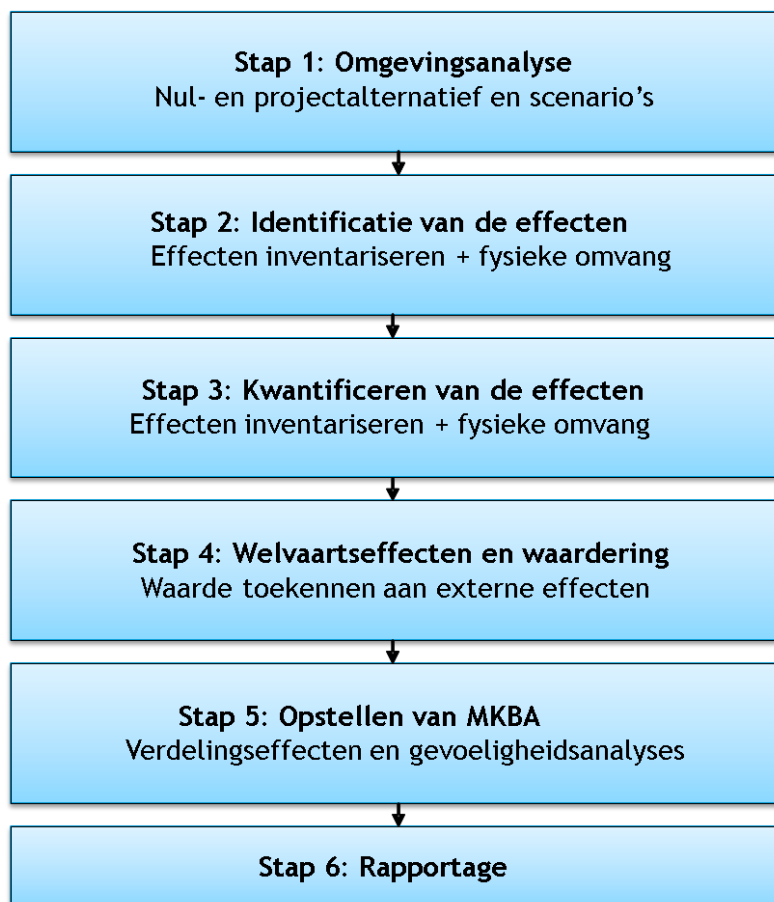
⁵ Het inpassen van decentraal hernieuwbaar wordt ook niet als een baat gezien in deze studie aangezien deze al onderdeel zijn van het achtergrondscenario. Dit past in de definitie dat netten een volgend karakter hebben en geen doel op zich zijn. Zie verder Paragraaf 2.6.

Figuur 5 Conceptuele kader MKBA Intelligente Netten



Conform de OEI-leidraad zijn voor het in kaart brengen van de kosten en de baten de volgende stappen uitgevoerd (zie Figuur 6).

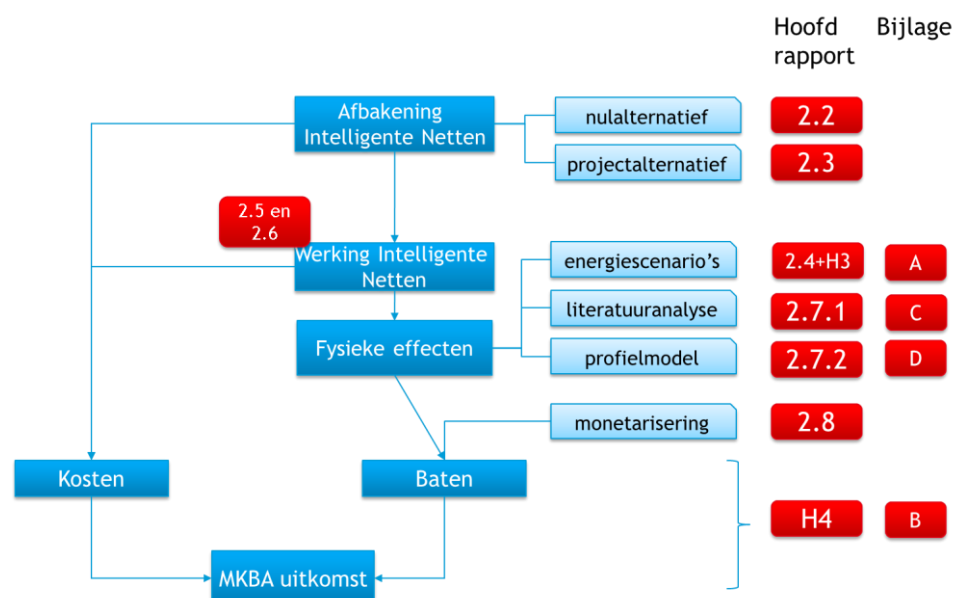
Figuur 6 Stappenplan uitwerking MKBA



1.7 Leeswijzer

De leeswijzer (rode blokjes) hebben we grafisch samengevat in Figuur 7.

Figuur 7 Leeswijzer

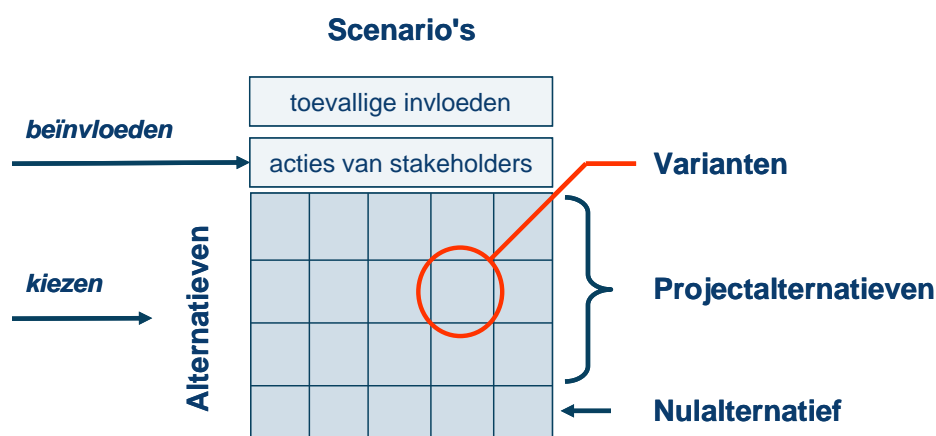


2 Opzet van de MKBA

2.1 Inleiding

Voordat we een beschrijving geven van het nul- en het projectalternatief, maken we eerst het onderscheid tussen alternatieven en scenario's duidelijk (Figuur 8).

Figuur 8 Alternatieven in relatie tot scenario's



Essentieel is dat alternatieven samenhangen met een keuzemogelijkheid voor het onderliggende vraagstuk, namelijk simpel gezegd wel of geen Intelligente Netten. Scenario's beschrijven de externe factoren die van invloed zijn op de kosten en effecten van Intelligente Netten, maar die niet door het al dan niet uitrollen van Slimme Netten kunnen worden beïnvloed. De keuzemogelijkheden met betrekking tot intelligentie komen tot uitdrukking in het zogenaamde nul- en projectalternatief.

Om de kosten en baten van deze beleidskeuzen in beeld te brengen wordt de situatie van investeren in Intelligente Netten vergeleken met een situatie zonder. De keuzeroutes heten in de terminologie van een maatschappelijke kosten-batenanalyse het nul- en het projectalternatief. Het projectalternatief geeft de keuzemogelijkheden aan die voor beleidsmakers van belang zijn, de beleidsknop waar aan gedraaid kan worden.

De alternatieven worden in deze studie gedefinieerd onafhankelijk van de scenario's; dus in elk scenario geldt eenzelfde investeringspad (projectalternatief) en eenzelfde nulalternatief.

2.2 Nulalternatief

Het nulalternatief is iets anders dan niets doen en ook wat anders dan bestaand beleid uitvoeren. Het geeft de beste oplossing weer om aanbod- en vraagpatronen van stroom op elkaar af te stemmen als het projectalternatief ('toevoegen van intelligentie') niet wordt uitgevoerd. Tot het nulalternatief wordt gerekend:

- eenvoudige maatregelen om pieken te spreiden;
- actief netbeheer;
- slimme meter bij kleinverbruikers;
- Intelligent Net bij tuinders en zware industrie.

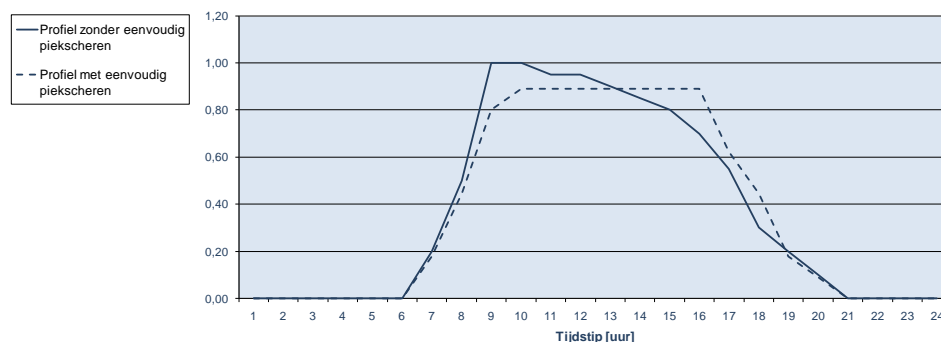
Deze worden hieronder toegelicht.

Eenvoudige maatregelen om pieken te spreiden

Verondersteld mag worden dat ook in het nulalternatief al maatregelen genomen worden om piekbelastingen af te vlakken. De mate waarin is erg moeilijk te voorspellen, maar we gaan uit van eenvoudige maatregelen in het nulalternatief gericht op aanpassing van de profielen. Dit komt overeen met een vaste regelstrategie voor spreiding zonder rekening te houden met specifieke dagelijkse patronen of weersomstandigheden, en zonder oog voor de momentane situatie.

Als voorbeeld is in Figuur 9 aangegeven hoe in het nulalternatief al rekening wordt gehouden met het afvlakken van een belastingprofiel als gevolg van eenvoudige piekbeheersingsmaatregelen in het nulalternatief. Dit is een voorbeeld voor het belastingprofiel voor het elektrisch laden van auto's bij een utiliteitsgebouw.

Figuur 9 Voorbeeld van een eenvoudige regelstrategie voor het laadpatroon van elektrisch vervoer



Normaliter wordt een patroon verwacht met een piek in de ochtend, als iedere werknemer inpluigt, en een aflopend vermogen in de loop van de tijd omdat accu's van auto's vol raken. Met een eenvoudige regelstrategie, waarbij bijvoorbeeld werknemers aangeven wanneer ze de auto weer nodig hebben, kan dit patroon afgevlakt worden. Hierbij wordt geen rekening gehouden met invloeden van buitenaf, zoals de beschikbaarheid van (lokaal opgewekte) duurzame energie uit zon en wind.

Voor warmtepompen en micro-WKK is het oorspronkelijke profiel ook afgevlakt. In het nulalternatief zijn ook hier eenvoudige maatregelen opgenomen om exceptionele pieken op voorhand al af te vlakken. Wij benadrukken dat het hier grove aannames betreft bij gebrek aan inzichten uit de literatuur.

Actief netbeheer

Een tweede aspect is het efficiënt benutten van de bestaande netwerken door de netbeheerders. Een efficiëntere benutting van het net is een proces dat zich autonoom afspeelt en daarmee tot bestaand beleid van netbeheerders kan worden gerekend, vanwege de directe financiële voordelen voor netbeheer⁶. Actief netbeheer is naar verwachting in belangrijke mate kosteneffectief in die zin dat directe investeringen in de betreffende netcomponenten opwegen tegen de verwachte directe baten ervan. Deze baten bestaan uit het beter benutten van bestaande capaciteit, het verminderen van de storingsgevoeligheid en verminderen van onderhouds- en monitoringkosten. Daartoe dient de toegevoegde intelligentie, in de vorm van sensoren, actuatoren en verwerkende logica, die voornamelijk in onderstations wordt geplaatst. Daarnaast is het noodzakelijk dat wijkkasten dienen te worden geautomatiseerd⁷.

Actief netbeheer betreft activiteiten als conditiemonitoring van netcomponenten aan de hand van meetgegevens. Netten kunnen daardoor zwaarder worden belast. Condiitiemonitoring van kabels en transformatoren geeft aan tot hoe ver dat kan. Kritieke belastingsituaties in het net kunnen beter voorspeld worden, waardoor de netbeheerder meer mogelijkheden heeft om in te grijpen. Bij storingen worden netonderdelen tijdig automatisch omgeschakeld, zodat aangeslotenen zo min mogelijk uitval ervaren. Door een betere monitoring kunnen onderhouds- en vervangingsschema's verfijnd worden. Netinvesteringsplannen kunnen eveneens worden verfijnd, gebaseerd op conditiemonitoring en de dynamische belastbaarheid van componenten. Met meer sensoren in het net en actieve componenten in de wijkkasten en distributiestations kan ook actief gestuurd worden op de spanningshuishouding.

Slimme meter bij kleinverbruikers

De slimme meter is een essentiële schakel in een slim net. Mede door het gebruik van open standaarden en de mogelijkheid lokaal gegevens uit te wisselen met een applicatie bij de afnemer kan de slimme elektriciteitsmeter een belangrijke rol spelen in een intelligent net. Het stelt immers het actueel verbruik, de gebruikshistorie en de huidige energietarieven beschikbaar.

In het nulalternatief moet ervan uit worden gegaan dat slimme meters worden geïmplementeerd bij de kleinverbruikers. Hiertoe heeft de Eerste Kamer ingestemd met een wetaanpassing. Wettelijk wordt feedback van de meterstanden (via een tweemaandelijks indicatief kosten- en verbruiks-overzicht) verplicht. Daarnaast stellen slimme meters consumenten in staat om (met bijbehorende kosten) een display in de woning aan te schaffen waarmee zij directe feedback kunnen ontvangen over hun energiegebruik. Ook deze vorm van feedback wordt tot het nulalternatief gerekend. Dit betekent

⁶ Daarbij gaat de netwerkbeheerder over op het sturen van de stromen door het netwerk via schakelen en regelen van distributiecomponenten en sturing van vermogens. Toepassing van dit actieve netwerkbeheer biedt, naast vermindering storingsgevoeligheid en verlaging onderhoudskosten, mogelijkheden om op investering in extra netcapaciteit te besparen.

⁷ Aangenomen wordt grofweg dat circa 20% van de 96.000 distributiestations en 20% van de 120.000 wijkkasten in Nederland geautomatiseerd zal moeten worden. Benadrukt wordt dat het om een globale inschatting gaat op basis van expertise.

dat besparingen die ontstaan als gevolg van invoering van een slimme meter niet nog eens aan het projectalternatief mogen worden toegerekend.

Vrijwel zeker zal begin 2012 begonnen worden met een kleinschalige uitrol van de slimme meter. De benodigde wettelijke aanpassingen zijn door de Eerste en de Tweede Kamer goedgekeurd. In de kleinschalige uitrolperiode van twee jaar zullen naar schatting een half miljoen slimme elektriciteitsmeter (en een half miljoen slimme gasmeters) worden uitgerold. Daarna start de grootschalige uitrol die moet leiden tot een penetratie van minimaal 80% slimme meters in 2020. In de praktijk wordt een hoger percentage verwacht, waarbij het nulalternatief een penetratiegraad van 100% veronderstelt.

Energiebesparing in het nulalternatief

In het nulalternatief wordt de slimme meter uitgerold. In het nulalternatief kunnen de slimme meters op een passieve (uitlezen van meterstanden op afstand, faciliteren van switchen) en actieve manier (via home displays directe feedback op gedrag en inzicht in financiële afrekening) worden gebruikt. Voor zowel actief en passief gebruik van meter geldt dat deze in principe niet afhankelijk zijn van de functionaliteiten van een Intelligent Net. De energiebesparing door directe en indirecte feedback die aan het nulalternatief wordt toegerekend is 4%. Dit percentage is van vergelijkbare grootte als de 3,2% besparing die KEMA in een eerdere studie identificeerde (KEMA, 2010). Daarin is aangenomen dat slechts een beperkt deel van de consumenten (20%) de slimme meters ook echt slim gaat gebruiken. Hiermee bedoelen we actief gaat gebruiken door aan de slimme meter ook bijvoorbeeld homedisplays te koppelen die directe inzicht geven in energiegebruik en -kosten. Hoewel het gebruik van homedisplays dus in principe ook zonder een Intelligent Net kan, is het goed mogelijk dat door het toegenomen bewustzijn van de consument in combinatie met tariefdifferentiatie een extra impuls gegeven wordt voor een actief gebruik van de bestaande slimme meters. Dit kan zich vertalen in een hogere penetratie- en gebruikersgraad van de homedisplays ten opzichte van de 20% die aangenomen is in het nulalternatief en daarmee ook een hoger besparingspercentage dat als gevolg van gebruiksinformatie in het projectalternatief. Aangezien we hier geen rekening houden met synergie effecten, kan deze MKBA in dat opzicht als behoeftzaam worden gezien.

Intelligente Netten bij Tuinders en zware industrie

Tuinders en zware industrie zijn al compleet uitgerust voor Intelligente Netten zodat daar in het projectalternatief geen extra kosten (en baten) zijn opgenomen.

Aangenomen wordt dat in het nulalternatief geen verdere investeringen in Intelligente Netten zullen plaatsvinden na afronding van de lopende demonstratieprojecten. De kosten van de proeftuinen worden in deze studie gezien als 'sunk costs'; ongeacht het wel of niet doorgaan van Intelligente Netten zullen deze hoe dan ook gemaakt worden.

2.3 Projectalternatief

Door het toevoegen van meer intelligentie kan ook verder gebruik worden gemaakt van de slimme meter en ontstaan nieuwe diensten. Met behulp van de slimme meter en eventuele prijsprikkels kan energie worden bespaard of kan het energieverbruik worden gespreid over de dag. Marktmechanismen en prijsprikkels vormen de basis voor respons. Van flexibele prijzen voor de levering en transport van elektriciteit is, afgezien van het dag- en nachttarief, op dit moment geen sprake. Dit zou een ander tariefsysteem vergen. Slimme netten kunnen de uitvoering van een flexibel tariefsysteem ondersteunen.

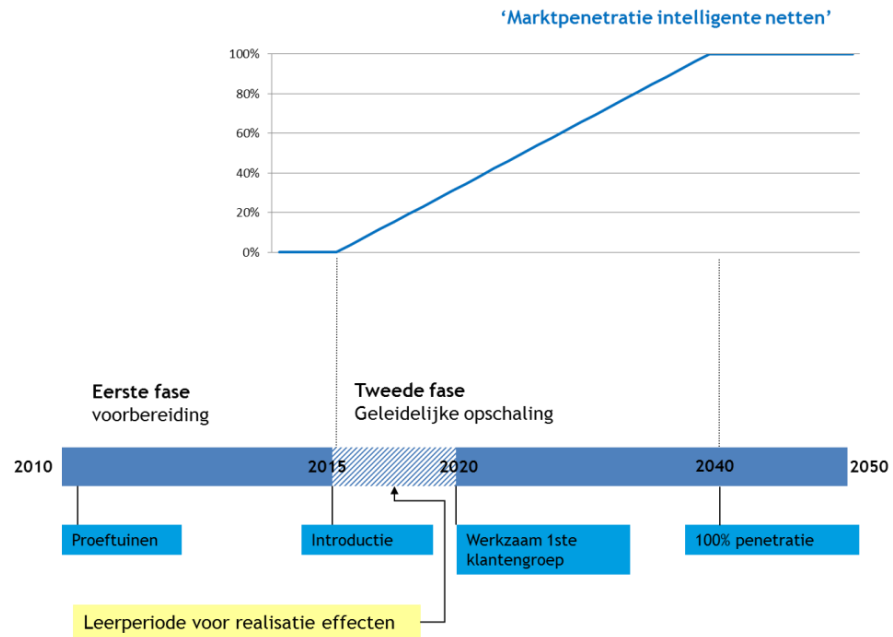
Invoering van het projectalternatief conform de afbakening van Intelligente Netten in Paragraaf 1.3. Het projectalternatief wordt als volgt omschreven:

- In **2015** wordt gestart met de invoering van Intelligente Netten. Vanaf dit moment zullen investeringskosten gemaakt moeten worden. Deze investeringskosten zullen lineair toenemen met de opschaling van Intelligente Netten. In **2040**: heeft 100% gebruikers toegang tot een Intelligent Net.
- Intelligente Netten zullen vanaf **2020**, na een leerperiode van vijf jaar, operationeel zijn. Per saldo zal dit een geleidelijke uitbreiding betekenen van het aantal aansluitingen dat toegang heeft tot nieuwe dienstverlening die ondersteund wordt door Intelligente Netten.
- We hebben voorts aangenomen dat investeringen in zowel de aansluiting (woningen, kantoren en bedrijfspanden) als de daarbij behorende netonderdelen (wijkkasten en distributiestations) gecoördineerd plaatsvinden. Een gecoördineerde aanpak is mogelijk via een wijkwijze renovatie van oude woonwijken, stadscentra, herinrichting kantoorcomplexen en nieuwbouw, waarbij zowel de infrastructuur als de aansluitingen slim worden gemaakt.
- Echter niet eerder dan **vanaf 2020** is er voldoende ervaring om de eerste effecten (en daarmee baten) van het projectalternatief te kunnen verwachten. Dit is dus vijf jaar nadat de eerste investeringen in Intelligente Netten ter hand genomen zullen worden. In Figuur 10 geven we een overzicht van het resulterende investeringsschema.
- Om tijdsgebonden tariefdifferentiatie mogelijk te maken in het projectalternatief, dient het huidige reguleringskader voor de tariefstructuur voor elektriciteit en netwerkkosten aangepast te worden⁸. Door het voorgeschreven gebruik van standaardgebruiksprofielen voor huishoudelijke verbruikers is voor deze groep afnemers op dit moment geen ‘real time pricing’ van elektriciteit mogelijk⁹.

⁸ De huidige capaciteits- en transporttarieven geven nauwelijks prikkels voor een efficiënt netgebruik. Kostenvoordelen kunnen niet worden doorgegeven aan de gebruiker.

⁹ Daarnaast krijgt de netbeheerder, buiten de financiële prikkels om, meer mogelijkheden tot sturing van vermogens om de netbalans te handhaven bijvoorbeeld door gericht gebruikers af te schakelen. De potentiële effecten van directe balanssturing door de netbeheerder in Nederland zijn naar verwachting beperkt (zie Bijlage C).

Figuur 10 Tijdslijn investeren in Intelligente Netten (projectalternatief)



2.4 Scenario's

Deze studie bekijkt de gevolgen van invoering van Intelligente Netten over de periode 2011-2050. Over deze lange periode zijn kerngegevens zoals het type energievoorziening, de energievraag en energieprijzen niet met zekerheid te voorspellen. We weten namelijk nu niet of de elektriciteitsvoorziening in de komende decennia echt naar klimaatneutraal gaat, of het aandeel hernieuwbare elektriciteit fors zal toenemen en zo ja, in welke mate dat centraal of vooral decentraal geschiedt.

Voor de mogelijke toekomstige ontwikkelingen van deze kernvariabelen (klimaatneutraliteit, aandeel duurzaam en mate van decentrale opwekking) gebruiken we drie scenario's. De scenario's vormen geen blauwdruk van de toekomst, maar schetsen een toekomstbeeld van de energievoorziening en elektriciteitsnetwerk aan de hand van een verzameling consistente veronderstellingen. De set van de veronderstellingen moet er voor zorgen dat het beeld van de energievoorziening en het elektriciteitsnet dat daarbij hoort logisch samenhangt. Via bandbreedtes in de onzekerheid ontstaat een beeld van de toekomst dat op grond van de huidige informatie plausibel is. De relevantie van deze drie scenario's is dat daarmee meer inzicht ontstaat in de effecten van Intelligente Netten, voor meerdere situaties die in de komende tijd kunnen optreden.

Potentiële baten van Intelligente Netten zitten in een betere inpassing van decentrale bronnen (met als gevolg minder koper nodig), van energiebesparing, van energiekostenbesparing door centrale productiemiddelen en eventuele opslagcapaciteit optimaal te benutten zodat minder (opslag)vermogen nodig is. Deze effecten worden in meer of mindere mate worden beïnvloed door de volgende kernfactoren:

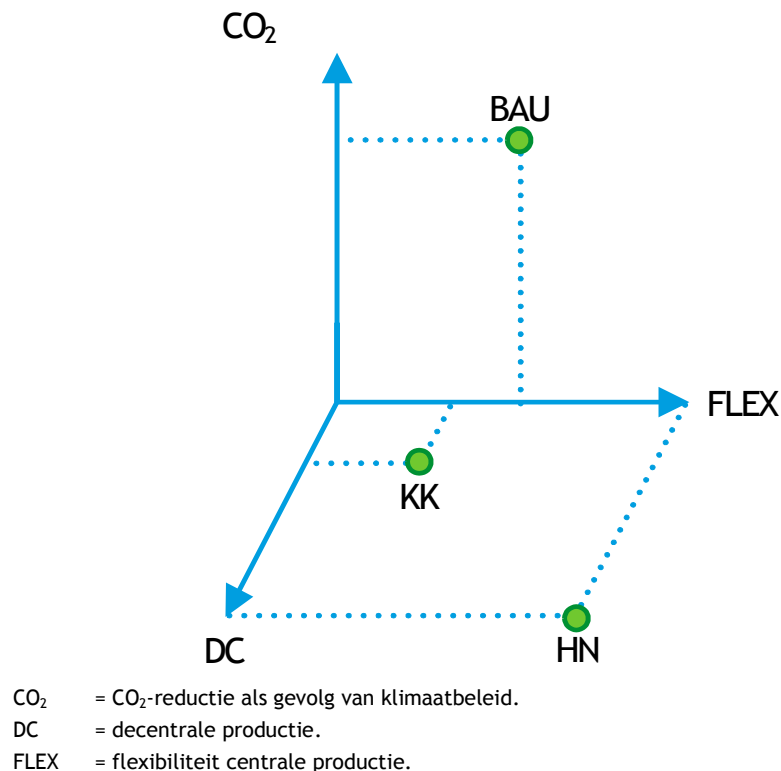
- **Flexibiliteit:** de flexibiliteit van centraal vermogen is afhankelijk van de te gebruiken brandstoffen/technieken waarbij bekend is dat kolencentrales minder flexibel zijn dan gascentrales, dat nieuwe kolencentrales alweer

flexibeler zijn, maar dat CCS beide type centrales minder flexibel zal maken¹⁰.

- **Mate van decentrale productie:** is naast de aanwezigheid van interconnectiecapaciteit, bepalend voor mogelijkheden om lokale productie te balanceren en met lokale vraag.
- **Klimaatneutraliteit:** CO₂-reductie of het gevoerde klimaatbeleid is op zichzelf niet relevant voor de meerwaarde van Intelligente Netten, maar wel de toegepaste klimaatneutrale technieken (hernieuwbaar, CO₂-afvang) en het type vraag. Deze zijn bepalend door hun onvoorspelbaarheid, stuurbaarheid en/of gelijktijdigheid. Denk bij het soort vraag in het bijzonder aan elektrische warmtepompen, koelvraag en elektrische auto's (relevant qua volume als qua stuurbaarheid).

Figuur 11 geeft aan hoe de drie scenario's het speelveld omspannen van de drie belangrijke factoren die van invloed zijn op de baten van Intelligente Netten.

Figuur 11 Overzicht van de drie scenario's



¹⁰ Centrales met CCS zijn minder makkelijk te regelen dan de huidige kolen- en gascentrales.

Binnen de drie scenario's geven twee klimaatscenario's een route naar een CO₂-arme energievoorziening. Deze scenario's zijn gebaseerd op scenario B en C van 'Net voor de Toekomst' (CE, 2011), welke zijn voortgekomen uit de maatschappelijke wens om in 2050 de CO₂-emissie van de energievoorziening met 80 tot 95% te hebben gereduceerd t.o.v. het niveau in 1990¹¹. Het derde scenario betreft voortzetten van de huidige ontwikkeling in de energievoorziening. Dit BAU-scenario beschrijft een ontwikkeling waarin de economie in de periode tot 2050 een hoge groei kent en waarin de wereld geen actief klimaatbeleid voert gericht op het terugdringen van CO₂-emissies. Dit scenario is ontleend aan het BAU-scenario van het IEA. Als gevolg van de economische groei ontstaat er ook een forse groei van de elektriciteitsvraag.

Samengevat worden de volgende drie scenario's gebruikt:

1. **Business As Usual** (beperkte CO₂-reductie in 2050).
2. **Hernieuwbaar & Gas** (80-95% CO₂-reductie in 2050).
3. **Kolen CCS & Kernenergie** (80-95% CO₂-reductie in 2050).

In Hoofdstuk 3 gaan we nader in op de belangrijke kenmerken van de scenario's en de wijze waarop deze van invloed zijn op de kosten en baten.

2.5 Relevante markten

In deze paragraaf wordt toegelicht welke verschillende markten relevant zijn bij het bepalen van de effecten van Intelligente Netten.

Intelligente Netten zijn 'enablers'. Net als de slimme meter is een intelligent net pas effectief als het technologische concept daadwerkelijk gebruikt wordt. Economisch gezien is een belangrijke functie van een intelligent net het bieden van ondersteuning in het optimaliseren van de Nederlandse elektriciteitsmarkt. Dat betekent dat alle verbruikers tegen minimale kosten energie geleverd krijgen op het tijdstip en kwaliteitsniveau dat zij wensen. Daarin kunnen drie markten worden onderscheiden:

- de leveringsmarkt;
- de transportmarkt;
- de onbalansmarkt.

Leveringsmarkt

De leveringsmarkt is in Nederland een vrije markt met diverse deelmarkten. Het optimaliseren van de leveringsmarkt wordt bereikt doordat vraag- en aanbodpatronen ten opzichte van elkaar en onderling beter op elkaar afgestemd worden. Gefaciliteerd door Smart Grids kan een tijdsgebonden tariefdifferentiatie leiden tot een betere spreiding en balancerend van vraag en aanbod en een absolute afname van het gebruik van energie. Door een betere afstemming kan er optimaal geïnvesteerd worden in nieuwe (duurzame) productiemiddelen en kan daarnaast de bedrijfstijd van bestaand (centraal) productievermogen worden uitgebreid. Beide effecten resulteren in vermeden en/of uitgestelde investeringen in nieuwe centrales. Een belangrijke randvoorwaarde hierbij is de verduurzaming van de energievoorziening en realiseren van klimaatdoelen.

¹¹ In de sectoren luchtvaart en zeescheepvaart is het op dit moment technisch niet mogelijk om met andere brandstoffen in de energievraag te voorzien dan met de huidige CO₂-emitterende energiedragers (diesel, kerosine, stookolie). Hierdoor zullen de netgebonden energiegebruikers naar 100% CO₂-reductie in 2050 moeten gaan om gemiddeld op 80-95% uit te komen.

Transportmarkt

De transport- en distributiemarkt is een gereguleerde markt. Voor kleinverbruikers zijn er vaste capaciteitstarieven, onafhankelijk van het verbruik. Transport en distributie van elektriciteit zal de komende tijd intensiever worden vanwege de groeiende vraag naar en opwekking van elektriciteit. Daar komt bij dat het gaat om afnemers met een grote gelijktijdigheid (bijvoorbeeld warmtepompen en elektrisch vervoer). Ook het aandeel duurzaam, beperkt stuurbaar vermogen zal toenemen.

Als veel installaties tegelijk elektriciteit opwekken, wordt het netwerk zwaar belast. Dat geldt ook aan de vraagkant: het elektrificeren de verwarming en vervoer kunnen leiden tot kortstondige en soms extreme pieken in de vraag. Dit soort fluctuaties stelt eisen aan het net.

Dure verzware van het transport- en distributienet kan een oplossing bieden. Slimme netten kunnen door vraag- en aanbodafstemming een kosteneffectief alternatief vormen voor deze netverzwaring. Hiermee samenhangend kunnen Intelligente Netten via een betere beprijzing van schaarse capaciteit en betere informatie bijdragen aan een efficiënter gebruik van bestaande netten en zorgen op die manier dat uitbreidingsinvesteringen worden uitgesteld en/of worden vermeden. Dit vraagt wel een wijziging in de regulering.

Onbalansmarkt

De onbalansmarkten zijn markten waarin TenneT als landelijke netbeheer als enige koper optreedt. Regel- en reservevermogen staan altijd paraat en noodvermogen wordt aangeroepen als reservevermogen mogelijk tekort schiet¹². Binnen het huidige wettelijke stelsel van programma-verantwoordelijkheid gaat een financiële prikkel uit om flexibel om te gaan met vraag en aanbod van elektriciteit op nationaal niveau. Dit geldt echter nog niet voor de balanshandhaving op lokaal niveau, het distributienet. Voor kleinverbruikers gelden geen prijsprikkels, aangezien deze geen programma-verantwoordelijkheid hebben. Regionale netbeheerders maken op dit moment nog geen gebruik van onbalansmarkten voor lokale balanceren van de netten.

Dergelijke prijsprikkels kunnen bijdragen aan balanshandhaving op het distributienet, bij toenemende aantallen elektrische auto's, warmtepompen en zonnepanelen. De verwachting is dat door de toename van duurzaam vermogen, het volume op de onbalansmarkt zal toenemen. Intelligente netten kunnen deze stijging tegengaan door lokale balanceren.

2.6 Analyse kader en onderscheiden effecten

In deze paragraaf gaan we in op de effecten zoals die op hoofdlijnen zullen ontstaan als gevolg van het toevoegen van intelligentie aan netten. Hieronder zullen we iets specifiekier deze kosten, directe, indirecte en externe effecten uitwerken.

Door Intelligente Netten krijgt de consument meer keuzemogelijkheden, wordt actuele gebruiks- en prijsinformatie belangrijker en wordt hij of zij door middel van tariefdifferentiatie financieel geprikkeld tot gedragsaanpassing. Dit kan zowel absolute besparing als verschuiving naar een ander moment tot gevolg hebben. De consument is daarmee de sleutel tot veel van de veranderingen die mogelijk worden gemaakt door Intelligente Netten.

¹² Dit kan ook andersom werken door gebruikers te compenseren voor de afname van extra stroom ter compensatie van wat een ander teveel aan elektriciteit invoedt op het net.

Directe financiële effecten als gevolg van Intelligente Netten zijn lagere energierekeningen voor consumenten en (in het verlengde daarvan) vermeden investeringen in het energiesysteem. Voor een deel zijn deze financiële effecten ontstaan als gevolg van energiebesparing, voor een ander deel als gevolg van een verschuiving naar periodes waarop belasting van het net goedkoper is. Het eerste effect (energiebesparing) vertaalt zich daarnaast ook in beperking van de externaliteiten die samenhangen met de energievoorziening in de vorm van lagere CO₂-emissies, vervuilende emissies en ruimtelijke inpassing van productietechnieken.

Het tweede effect, verschuiving van piekbelasting van het net, vertaalt zich in de vorm van het beperken van investeringen in transport- en distributienetten en back-up capaciteit (gascentrales). Een belangrijk en vaak genoemd effect van Intelligente Netten is een hoge betrouwbaarheid van het net en de levering van energie. Nederland beschikt op dit moment over een relatief zeer betrouwbare energie-infrastructuur. Dit huidige niveau van betrouwbaarheid kan door intelligentie toe te voegen tegen lagere netbeheerkosten worden gehandhaafd waardoor zo investeringen in netverzwaring kunnen worden uitgesteld of vermeden. Deze post kan derhalve benaderd worden door - uitgaande van eenzelfde prestatie op het gebied van netbetrouwbaarheid - te bepalen wat de vermeden c.q. uitgestelde investeringen zijn in netverzwaring. Het beperken van investeringen in netten kan op zijn beurt ook gepaard met beperking van externe effecten van netinpassing in de woon- en leefomgeving.

Een belangrijke randvoorwaarde hierbij is de verduurzaming van de energievoorziening. Afhankelijk van het scenario kan de implementatie van duurzame energie en micro-WKK in een decentrale omgeving worden ondersteund door toevoeging van meer intelligentie op laagspanningsniveau. Hierdoor kan decentraal vermogen beter worden ingepast. Ook hier geldt dat we de inpassing van decentraal productievermogen niet op zichzelf als een baat meenemen, maar zullen vaststellen met hoeveel minder kosten dezelfde netprestatie (ten aanzien van betrouwbaarheid) kan worden geleverd als met de huidige netten. Ook hier geldt dat deze baat zich laat uitdrukken in vermeden netuitbreidingen die afhankelijk van het scenario zijn beslag krijgen.

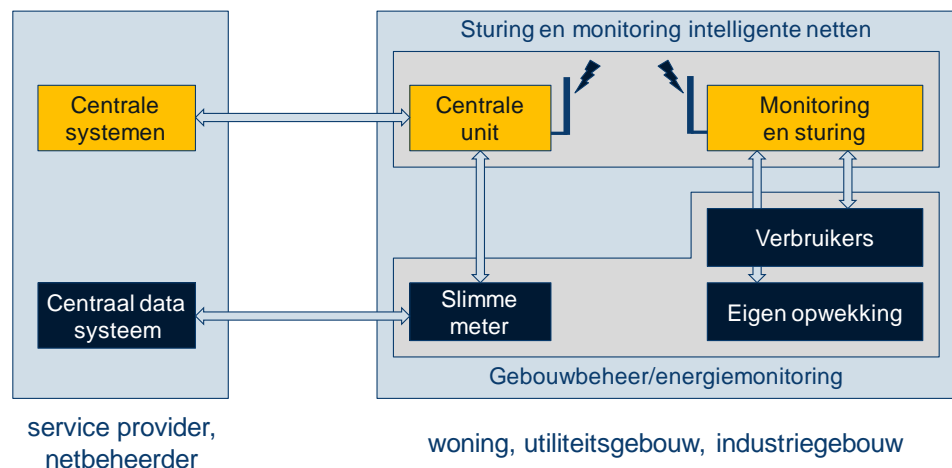
Tenslotte kan met de slimme meter voor elektriciteit als 'stepping stone' naar Smart Grids ook een platform ontstaan waarop tal van nieuwe diensten en producten ontwikkeld kunnen worden die het energiebeheer in woningen voor consumenten gemakkelijker en goedkoper maken. Rondom deze intelligente lokale energieconcepten kunnen nieuwe toepassingen (bijvoorbeeld klimaatbeheersing, smart houses, etc.) en diensten ontstaan die welvaart voor consumenten oplevert door het leven makkelijker te maken en tijd te besparen in de dagelijkse huishoudelijke taken. Daarbij dient de vraag zich wel aan in hoeverre dit soort diensten ook zonder een Intelligent Net mogelijk zijn.

Merk op: we kiezen de aanpak om effecten te kwantificeren in termen van vermeden investeringen en niet door het consumentensurplus van lagere tarieven en leveringsprijzen. Dit laatste zou een gedetailleerd inzicht vereisen in tarieven en leveringsprijzen voor en na toevoegen van intelligentie.

2.6.1 Directe kosten

Om de kosten van Intelligente Netten te bepalen, wordt een architectuur verondersteld als in Figuur 12. Ontwikkeling van monitoringsystemen voor energiegebruik en van energiebeheersystemen in woningen en gebouwen wordt los gezien van de ontwikkeling van Intelligente Netten. De kosten van monitoring- en energiebeheersystemen zitten al in het nulalternatief. In het projectalternatief zitten enkel de additionele kosten voor sturing via Intelligente Netten. Deze bestaat uit een centrale unit die draadloos communiceert met monitoring/stuurunits voor een aantal relevante apparaten of installaties, met de slimme meter en met het aanwezig veronderstelde internet en uit centrale systemen.

Figuur 12 Vereenvoudigde architectuur als uitgangspunt voor de kostenbepaling voor Intelligente Netten



Noot: Alleen de bovenste laag wordt tot Intelligente Netten gerekend.

De kosten bestaan uit investeringskosten en jaarlijks terugkerende kosten van operationele aard. Deze kosten van de intelligentie kunnen worden teruggebracht tot zes kostenposten:

1. **Monitoringsystemen:** dit zijn de sensoren in het intelligente net, deze monitoren bijvoorbeeld het energieverbruik op detailniveau bij afnemers of leveranciers of het capaciteitsbeslag in (delen van) het net. Zij vormen de oren en ogen van het intelligente net.
2. **Aansturingsmodules:** dit zijn de actuatoren in het intelligente net. Van hieruit vindt sturing plaats. Dit kan harde sturing zijn (aan- of uitschakelen van apparatuur) of zachte sturing (geven van prijsinformatie aan consumenten). Zij vormen de handen en voeten van het intelligente net.
3. **Communicatie-infrastructuur:** hiermee worden monitoringsystemen uitgelezen en aansturingsmodules aangestuurd. De communicatie-infrastructuur zorgt voor de data-uitwisseling in Intelligente Netten met voldoende snelheid en voldoende capaciteit. Deze kan gezien worden als het zenuwstelsel van het intelligente net.
4. **ICT-systemen:** dit is de denkkracht van het intelligente net. Hier moet voldoende capaciteit en snelheid aanwezig zijn om bijvoorbeeld belastingvoorspellingen te kunnen doen of marktmechanismen te kunnen faciliteren.
5. **Software:** hierin zit de echte intelligentie van slimme net. Voor specifieke applicaties zal specifieke software ontwikkeld moeten worden om deze applicatie mogelijk te maken. Een onderdeel van deze intelligentie is bijvoorbeeld de manier waarop feedback aansluit bij de wensen van de consument.

6. **Installatiekosten.** Dit zijn eenmalige kosten voor het installeren en testen van stuur- en monitoringsystemen voor Intelligente Netten.

2.6.2 Directe effecten

Hieronder schetsen we de belangrijkste directe effecten van Intelligente Netten.

Vermeden netinvesteringen

Op de elektriciteitsmarkt dienen vraag en aanbod op elk moment van de dag en met de grootst mogelijke betrouwbaarheid in evenwicht te zijn. De capaciteit van netwerken is ingericht om aan de hoogste instantane vraag te voldoen, ook als dit zich maar een paar uur per jaar zou voordoen.

Afhankelijk van het scenario dat wordt aangehouden, dient de netcapaciteit uitgebreid te worden, waarbij het accent ligt op het hoogspanningsnet, het middenspanningsnet of het laagspanningsnet. Gegeven de toekomstige energievoorziening kan de piekbelasting sterk toenemen bijvoorbeeld met een groeiende penetratie van warmtepompen, elektrische voertuigen en andere nieuwe technologieën die in de komende jaren hun intrede zullen doen. De komende jaren zal behoorlijk in de netwerken moeten worden geïnvesteerd om gedurende de piekvraag in de LS- en MS-netten aan de transportbehoefte te kunnen voldoen. Daarbij zal er een aanzienlijke vervangingsgolf plaatsvinden omdat het huidige netwerk aan het verouderen is.

Intelligentie in het net kan er voor zorgen dat een deel van deze investeringen om capaciteit te waarborgen, kan worden uitgesteld of zelfs vermeden. Dit zijn bespaarde kosten die aan een projectalternatief kunnen worden toegewezen. Een punt van aandacht is de wijze waarop slimme netten besparen in netkosten. Dit is van belang bij LS-netten waar graafkosten een relatief groot deel van de totale kosten uitmaken. Om dit te verduidelijken worden twee scenario's voor besparing op netcapaciteit geschetst:

1. Het 'dunne-kabel' scenario
2. Het 'minder-kabel' scenario

Bij het dunne-kabel scenario is de aanname dat de besparing op netcapaciteit in het LS-net door slimme netten wordt gerealiseerd door overal dunnere kabels neer te leggen. Er wordt dus niet bespaard op graafkosten, maar alleen op de kosten voor een dunnere kabel. Opgemerkt wordt dat het vanwege de spanningshuishouding in LS-netten soms nodig is om toch dikkere kabels aan te leggen. Bij het minder-kabel scenario is de aanname dat deze besparing wordt gerealiseerd door minder kabels aan te leggen. Er kunnen bijvoorbeeld meer woningen op een LS-ring worden aangesloten en dus zijn er minder kabels nodig. In deze situatie wordt bespaard op graafkosten én kabelkosten. In de analyse is ervan uitgegaan dat besparing volgens beide scenario's in 50%-50% verhouding plaatsvindt (zie ook Paragraaf 2.8).

De vermindering in netbelasting wordt veroorzaakt door drie effecten:

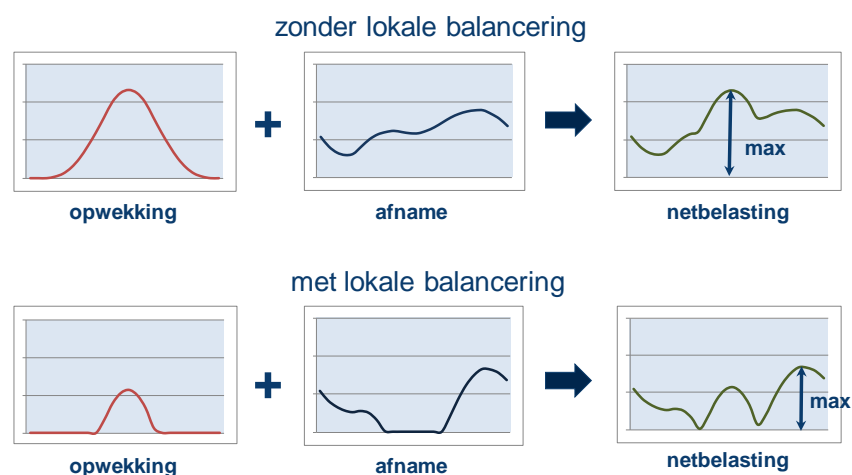
1. Aangenomen wordt dat energiebesparing gelijkmatig over het gebruiksprofiel plaatsvindt, dus ook op het moment van een piekbelasting.
2. Door vraagverschuiving wordt de piekvraag verminderd.
3. Door lokale balancerings van opwekking en belasting hoeft het net minder elektriciteit te distribueren.

Deze lokale balancering is van belang op het moment dat er lokaal energie wordt opgewekt (bijvoorbeeld door zon-PV of micro-WKK). Opwekking en belasting die lokaal (bijvoorbeeld op wijkniveau) worden gebalanceerd leiden tot minder netbelasting dan in de situatie dat het volledige opgewekte vermogen én de volledige vermogensvraag moeten worden getransporteerd.

Om het effect van lokale balancering in te schatten wordt in de kwantificering uitgegaan van een variabele mate van lokale balancering binnen iedere gebruikersgroep. Volledige lokale balancering betekent dat binnen een gebruikersgroep alle opgewekte vermogen en gevraagde vermogen zoveel mogelijk wordt gebalanceerd. Geen balancering betekent dat het volledige opgewekte vermogen en het volledige gevraagde vermogen via het net gedistribueerd moet worden.

Figuur 13 geeft dit grafisch weer. Linksboven het opwekpatroon door bijvoorbeeld zon-PV en middenboven het belastingpatroon (afname) zonder balancering. Als deze volledig via het net moeten worden gedistribueerd, bepaalt de piek van het opwekvermogen de maximale netbelasting. Als de opwekking en de belasting volledig worden gebalanceerd, bepaalt de piek in de belasting de maximale netbelasting.

Figuur 13 Effect van lokale balancering van opwekking en belasting op de benodigde netcapaciteit (boven: geen balancering, onder: volledige balancering)



De salderingsfactor weerspiegelt de mate waarin balancering op lokaal niveau plaatsvindt. In deze analyse is deze op 50% verondersteld voor het projectalternatief. Voor het nulalternatief is deze op 20% gesteld. Concreet betekent dit dat opwek- en belastingprofielen binnen een gebruikersgroep voor 20% worden gesaldeerd vóór deze als belasting op het netvlak worden meegerekend. Er wordt een gevoeligheidsanalyse doorgerekend met de bandbreedte 20-80%¹³. De waarden voor de salderingsfactor zijn gebaseerd op *expert judgement*.

¹³ Voor een individueel huishouden lijkt dat - bijvoorbeeld gedurende een vakantieperiode als zonnepanelen leveren - beperkt maar bedacht moet worden dat een salderingsfactor voor de groep huishoudens geldt gedurende een langere tijdsperiode.

Dit is een vereenvoudigde benadering van de werkelijkheid. Het balanceren van opwekking en belasting zal in de praktijk op een veel diverser niveau plaatsvinden dan nu in de kwantificering is aangenomen, bijvoorbeeld balancering tussen verschillende gebruikersgroepen. In de gevoeligheidsanalyse wordt nagegaan wat de invloed is van de mate van lokale balancering in deze benadering. Dit geeft een indicatie van het belang om dit effect in bijvoorbeeld de proeftuinen helderder te krijgen.

Vermeden investeringen in productiecapaciteit

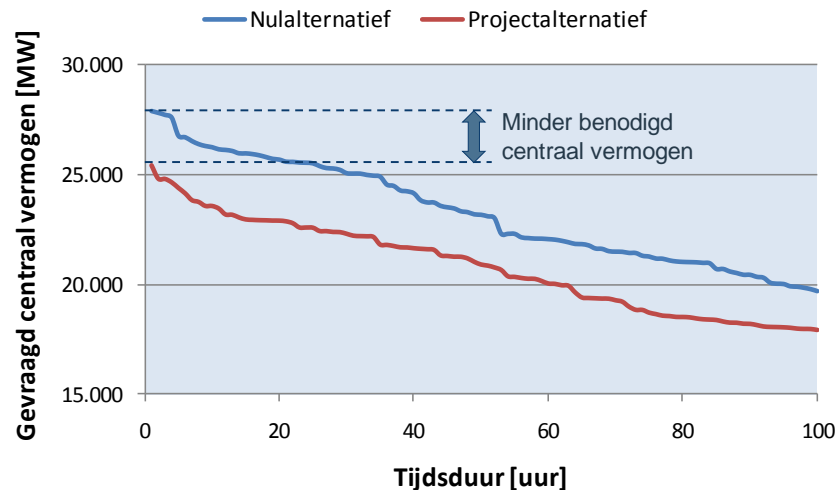
Indien met behulp van Intelligente Netten de groei in de vraag naar centrale productie afgevlakt kan worden (bijvoorbeeld doordat effectiever gebruik wordt gemaakt van decentrale duurzame bronnen) of het belastingpatroon afgevlakt kan worden, kan dit leiden tot opbrengsten in de vorm van vermeden investeringen in centrale opwekcapaciteit.

De totale vraag naar vermogen (dat dus niet lokaal wordt opgewekt) wordt geleverd door centraal vermogen op basis van een meritorder (of biedladder). De marginale kosten van technieken worden opgebouwd uit brandstofkosten, transportkosten voor brandstof, omzetrendementen en dergelijke. Warmtelevering wordt meegenomen in de bepaling van de marginale elektriciteitsprijs. Ook worden investeringskosten meegenomen om zicht te hebben op de gemiddelde investeringskosten en investeringskosten in de marginale opwekeenheid. Ook wordt rekening gehouden met de regelreserve van centrale opslagsystemen¹⁴.

Door verschuiving en reductie van de piekbelasting wordt naar verwachting ook de piekbelasting van de centrale opwekcapaciteit minder. Er hoeft dus minder geïnvesteerd te worden in centrale opwekcapaciteit. De maat hiervoor is de maximale belasting voor het centrale park in een scenario. Het verschil tussen het nulalternatief en het projectalternatief geeft de besparing weer. Dit effect wordt gewaardeerd tegen de investering voor de gemiddelde centrale opwekunit omdat niet zeker is welke centrale uitgespaard wordt en het in de regel een combinatie van pieklast- en basislastunits zal zijn. Figuur 14 geeft dit effect weer aan de hand van de duerkromme voor het gevraagd centraal vermogen in het Hernieuwbaar & Gas-scenario.

¹⁴ Dit betekent dat centrale opwekunits niet op vol vermogen draaien maar een bepaalde reserve aanhouden (bijvoorbeeld 3%). Dit gaat ten koste van het rendement.

Figuur 14 Duurkromme voor het benodigd centraal vermogen voor het Hernieuwbaar & Gas-scenario voor het nul- en projectalternatief



Efficiënter gebruik centrale productiepark

De efficiëntie van de inzet van het landelijk productiepark hangt af van het belastingpatroon. Doorgaans worden duurdere piekcentrales ingeschakeld op het moment dat er vraagpieken optreden.

Wanneer de bedrijfstijd van efficiënte en goedkope basislast centrales kan worden uitgebreid ten koste van duurdere piekcentrale door het afvlakken van pieken, dan neemt de efficiency van de productie toe. Uiteindelijk zal dit zich uiteten in een lagere leveringsprijs van elektriciteit. De elektriciteitsprijs is resultante van de biedladder en de resterende (centrale) vraag naar vermogen. Het verschil in elektriciteitsprijs dankzij Intelligente Netten is een maat voor lagere marginale kosten voor het opwekken van de totale vraag naar elektriciteit en daarmee het efficiency-effect. In de analyse is geen rekening gehouden met de optredende reboundeffecten door een verlaging van de prijs per kWh.

Vermeden investeringen in (grootschalige) opslag

Afhankelijk van het scenario kunnen de vereiste netinvesteringen een dusdanige omvang aannemen dat (centrale) opslagsystemen voor elektriciteit een goedkoper of even duur alternatief vormen dan verdere netverzwaring. De kosten van (centrale) opslag zijn dan de referentie voor de vermeden investeringen die een intelligent net met zich mee kan brengen¹⁵. Omdat wordt uitgegaan van een kosteneffectieve toepassing van opslagsystemen, zouden de kosten voor opslag in de marge gelijk moeten zijn aan de kosten van uitbreiding van netcapaciteit. We gaan ervan uit Intelligente Netten hierop primair besparen. Het is daarom voldoende om af maatstaf alleen naar de netcapaciteit te kijken.

¹⁵ Centrale opslag komt voor in het hernieuwbaar gasscenario. Om dubbelstellingen te vermijden kan vermindering van kosten niet tegelijkertijd bij opslagvermogen en netcapaciteit optreden.

Energiebesparing

Voor zover niet meegerekend onder efficiënter gebruik centrale productiepark, kan de absolute besparing leiden tot vermindering van kosten van gebruik van energie door huishoudens en bedrijven. Bij dit effect gaat het dus om vraaguitval van de functionele energiebehoefte, bijv. omdat een consument besluit het licht niet langer aan te doen gedurende piekuren als gevolg van een sterke prijsprikkel. Hier staat derhalve een negatief welvaarseffect tegenover.

Welvaartseffecten nieuwe dienstverlening

Deze meerwaarde van nieuwe dienstverlening en netinnovaties uit zich in minder hoge kosten voor gebruikers en welvaartswinsten als gevolg van tijdsbesparing, bijv. door nieuwe functies om apparaten via de mobiele telefoon te besturen. Wij maken een aantal belangrijke kanttekeningen:

1. De vraag is in hoeverre de welvaartsvoordelen van nieuwe dienstverlening additoneel is: de besparingen in het gehele energiesysteem zullen eerder in belangrijke mate bepalend zijn voor de nieuwe tarief- en serviceprijken die aan klanten geboden kunnen worden.
2. Voor de welvaartswinst zijn innovaties noodzakelijk waarvan de kosten ook thuis horen in het projectalternatief. Uiteindelijk is het surplus voor de consument (consumentensurplus) de reële welvaartswinst.
3. Op dit gebied is er nog veel onduidelijkheid welke dienstverlening aangeboden kan worden en hoe consumenten dit zullen beoordelen. Op dit moment valt dit effect niet te kwantificeren, laat staan te monetariseren.

2.6.3 Indirecte effecten

De indirecte effecten zijn de effecten die voortvloeien uit de directe effecten van Intelligente Netten, preciezer gesteld: de doorwerking van directe effecten via transacties en anderszins naar andere markten in de economie, zoals de productenmarkt en kapitaalmarkt. Indirecte effecten ontstaan op andere markten dan de energie- en transportmarkt. Hierbij kan gedacht worden aan de arbeidsmarkt, de kapitaalmarkt of de markt voor innovaties.

2.6.4 Externe effecten

Bij externe effecten gaat het om de onbedoelde gevolgen van handelen op derden. De belangrijkste externe effecten betreffen de vermindering van externaliteiten die verbonden zijn aan energiegebruik en het gebruik van het netwerk.

Externe effecten verminderd energiegebruik

De besparing op energie zelf is in principe een interne, directe baat, maar als gevolg van minder energiegebruik nemen effecten op milieu (en daarmee andere individuen) gezondheid, natuur en leefomgeving ook af. Er zijn twee belangrijke trends die de externe effecten zullen beïnvloeden. De eerste is dat de CO₂-emissies (en voor een deel ook vervuilende emissies) van energievoorziening in de klimaatscenario's zullen afnemen. De tweede is dat naarmate het inkomen toeneemt, er meer waarde wordt gehecht aan een schoner milieu. Met beide aspecten zullen we rekening houden door het gebruik van emissiefactoren en door schaduw prijzen waarin deze trends tot uitdrukking komen.

Externe effecten verminderd gebruik van netten

Ook het gebruik van netcapaciteit, transport en distributie van stroom, levert externe effecten op. Op de eerste plaats vanwege congestie op het MS- en LS-net. Congestie is een vorm van niet-geprijsde effecten aangezien de consument niet betaalt voor het veroorzaken van congestie op het net gedurende piekmomenten en niet op de hoogte is van de congestiesituatie. We zullen echter in deze analyse dit onderscheid tussen directe en externe effecten niet kunnen maken en zullen de effecten in zijn geheel in termen van *directe* vermeden netinvesteringen meenemen.

Daarnaast zijn er ongeprijsde effecten in termen van zichthinder van masten en transformatorstations in het landschap. Deze effecten komen thans niet tot uitdrukking in de transporttarieven. Aangezien er vrij weinig bekend is over deze effecten, worden deze op 'pm' gezet.

2.7 Inschatting van de effecten

In Figuur 15 presenteren we de opzet voor de kwantificering van de effecten. Startpunt zijn de drie toekomstige scenario's van de Nederlandse energievoorziening in 2050.

Door middel van een literatuurstudie hebben we in beeld gebracht wat de mogelijke gedragsveranderingen van consumenten zijn met betrekking tot hun gebruikspatroon in een situatie met en zonder intelligentie. Hierbij gaat het om verschuivingen in de loop van de tijd van elektriciteitsgebruik en de absolute besparing die mogelijk is. Deze gedragsverandering zijn vervolgens per scenario doorgerekend met een eenvoudig profielmodel waarbij het effect op netbelasting en het effect op de inzetvolgorde (biedladder of merit order) van centraal vermogen is bepaald. In Figuur 15 vatten we dit bondig samen.

Figuur 15 Overzicht van aanpak kwantificering van effecten



2.7.1 Uitkomsten literatuurstudie

Door Intelligente Netten krijgt de consument meer keuzemogelijkheden, wordt actuele gebruiks- en prijsinformatie belangrijker en wordt hij of zij door middel van bijvoorbeeld tarief- en prijsdifferentiatie financieel geprikkeld tot gedragsaanpassing. Dit kan zowel absolute besparing als verschuiving van energiegebruik naar een ander moment tot gevolg hebben. De meerwaarde aan de gebruikerskant kan niet worden afgedwongen. Gebruikers zullen hier vrijwillig voor kiezen op basis van voor hen aantrekkelijke en haalbare financiële afwegingen. De mogelijkheden om de elektriciteitsvraag te verschuiven zonder op comfort in te leveren zijn niet oneindig. Als innovaties aan gebruikerskant niet tot stand komen, wordt de extra flexibiliteit in het energiesysteem maar zeer ten dele gerealiseerd.

Gedragsveranderingen (demand response) kunnen ontstaan door verbeterde gebruiksinformatie (feed-back door homedisplays), tariefsdifferentiatie en vermogenssturing op afstand door bijvoorbeeld de netbeheerder. Uit de literatuurstudie hebben we geconcludeerd dat verbeterde gebruiksinformatie een essentiële voorwaarde (enabler) voor een intelligent net is; zonder informatie geen sturing. De slimme meters behoren echter tot het nulalternatief en gedragsverandering als gevolg hiervan kunnen derhalve niet aan een slim net worden toegerekend. Wij verwachten in Nederland nauwelijks effect van ‘sturing op afstand’ door de netbeheerder. Altijd zal er sprake zijn van een ‘ingeprijsde’ verschuiving via een contract. Uiteindelijk is dit ook een financiële prikkel (een vorm van demand response).

Er wordt onderscheid gemaakt in drie soorten gedragsveranderingen:

1. *Absolute besparing*: prijsdifferentiatie zal ook tot absolute besparingen leiden, doordat niet alle piekbesparingen verschoven worden naar andere tijdstippen.
2. *Dagelijkse piekreductie*: prijsdifferentiatie kan tot verschuiving leiden. Deze effecten (Time of Use, TOU) kunnen dagelijks optreden op piekmomenten door verschuiving van belasting van piek- naar dalmomenten.
3. *Incidentele piekreductie*: op kritische schaarstemomenten zijn prijsprikkels het groots en ook potentiële verschuiving die daardoor optreedt (Critical Peak Pricing of CPP). CPP-effecten treden alleen op gedurende enkele kritieke dagen of momenten per jaar waarop de elektriciteitsvraag extreem hoog is.

In Tabel 3 is een overzicht gegeven van de gevonden bandbreedte voor de gedragseffecten. Wij benadrukken dat er een grote onzekerheid bestaat in de mate waarin consumenten en bedrijven zullen reageren op tariefprikkels en nieuwe diensten gekoppeld aan Intelligente Netten. De veelal buitenlandse literatuur op dit gebied laat niet voor alle vormen van gedragsveranderingen eenduidige resultaten zien. Het is ook de vraag of buitenlandse praktijk-experimenten één-op-één vertaald kunnen worden naar de ‘gemiddelde consument in Nederland’ en met name naar de context van het Nederlandse energiesysteem (denk aan stuurbare vermogens die in sommige landen van meer substantiële omvang zijn dankzij bijv. aandeel elektrische verwarming).

Deze effecten zijn vervolgens gebruikt voor de dimensionering van de effecten in het profielmodel (zie Paragraaf 2.7.2).

Zie Bijlage Bijlage C voor een volledig overzicht en onderbouwing.

Tabel 3 Uitgangspunten voor besparing en verschuiving van verbruik. De gegeven middenwaarde in de range voor TOU is gebruikt voor de berekeningen

Gebruiksgroep	Absolute besparing (TOU)	Dagelijkse piekreductie (TOU)	Incidentele piekreductie (CPP)
Huishoudens	0% - 4% - 5%	0% - 4% - 5%	13% - 16% - 20%
Utiliteit	0% - 4% - 5%	3% - 15% - 25%	23% - 30% - 45%
Industrie	0% - 4% - 5%	3% - 15% - 25%	23% - 30% - 45%

2.7.2 Opzet profielmodel

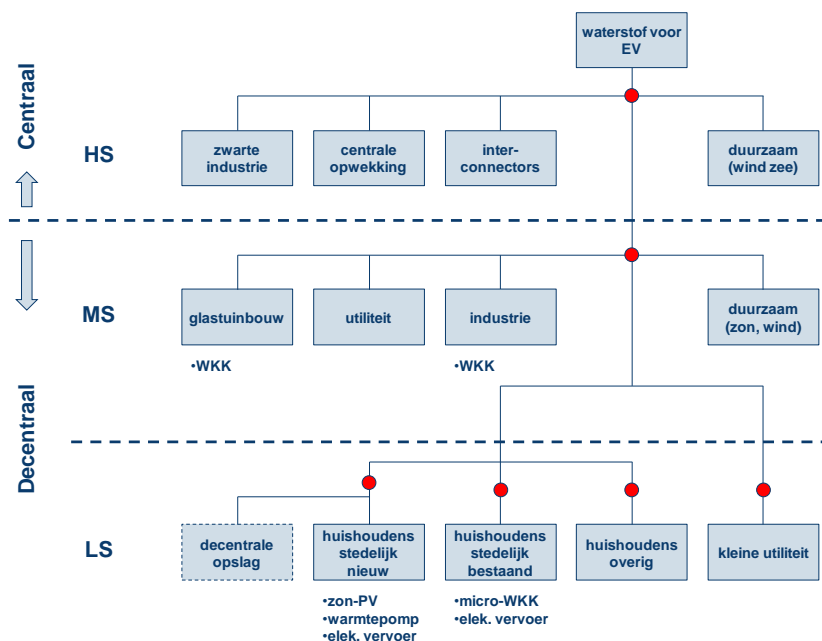
Centraal in het model voor het kwantificeren van (directe) effecten staat een aanpak op basis van profielen voor verschillende gebruikersgroepen. Een aantal profielen (bijvoorbeeld opwekking door zon en wind) wordt gegenereerd op basis van representatieve weerdata. Een aantal profielen bestaat uit een herhaling van een vast dagprofiel voor doordeweekse en weekenddagen (bijvoorbeeld belastingpatronen voor huishoudens, utiliteit en industrie) en een aantal profielen (bijvoorbeeld voor opslag) worden op basis van een regelstrategie bepaald. Profielen worden waar nodig geschaald op basis van penetratiegraad (voor elektrisch vervoer, warmtepompen, zonnepanelen en dergelijke), op basis van een gemiddelde warmtevraag of worden alleen in bepaalde seizoenen ingezet.

Een tweede pijler voor het model is een vereenvoudigd netmodel met een beperkt aantal gebruikersgroepen. Iedere gebruikersgroep wordt gekarakteriseerd door een beperkt aantal profielen. Gebruikersgroepen worden toegewezen aan het laagspanningsnet (LS), middenspanningsnet (MS) of hoogspanningsnet (HS). Het netmodel is niet meer dan een sommatie van alle profielen over deze drie netvlakken waarbij ook de connectie tussen LS-net en MS-net en de connectie tussen MS-net en HS-net wordt meegenomen. Het netmodel richt zich alleen op belastingen en niet op spanningskwaliteit. In Figuur 17 is weergegeven hoe de verschillende gebruikersgroepen zijn gepositioneerd ten opzicht van elkaar binnen de netvlakken.

Representatieve belastingpunten voor de benodigde netinvesteringen zijn weergegeven als rode punten in Figuur 16. De piekbelasting zoals die uit het model volgt in dit punt is een maat voor de belasting voor (dit deel van) het net.

Qua terminologie wordt alles wat op het HS-net is aangesloten gezien als centraal. Ook WKK van zware industrie wordt gezien als centraal vermogen. Alles op het MS- en LS-net wordt gezien als decentraal.

Figuur 16 Positionering van gebruikersgroepen in netvlakken



De laatste pijler van het model is een vereenvoudigde biedladder. Gegeven alle belastingprofielen, decentrale opwekking, interconnecties met het buitenland en eventueel opslagsystemen en gegeven het netmodel, blijft er een restvraag over die door centraal vermogen wordt ingevuld. Dit centraal vermogen wordt ingezet op basis van een biedladder (units met de laagste marginale kosten eerst). Op basis van brandstofkosten, onderhoudskosten, kosten voor transport van brandstof, investeringkosten en dergelijke kunnen zowel de marginale als de integrale elektriciteitsprijzen bepaald worden. Het vereenvoudigd netmodel geeft dus aan wat de maximale vraag is naar centrale capaciteit en de biedladder geeft een indicatie van de elektriciteitsprijzen. Deze prijzen kunnen gebruikt worden voor regelstrategieën voor bijvoorbeeld opslag. De benadering in dit model is dat decentraal vermogen grotendeels gestuurd wordt door externe factoren (weerparameters voor zon-PV en windvermogen, WKK door de warmtevraag) en dat de bijdrage daarvan aan de biedladder vooralsnog verwaarloosd kan worden.

Deze keuze maakt het model aanzienlijk gecompliceerder dan bijvoorbeeld een model op basis van maximale belastingen en productie/opwekking op basis van een aantal extreme situaties. Een belangrijk voordeel van deze aanpak is dat door het aanbrengen van een tijdelement inzicht kan worden verkregen hoe vaak een bepaalde extreme situatie zich voordoet en onder welke omstandigheden. In plaats van de extreme situatie als input voor de analyse wordt inzicht in hoe vaak en wanneer extreme situaties optreden een resultaat van de analyse. Daarnaast kunnen effecten van opslag veel beter ingeschat worden. Een dergelijke benadering geeft ook inzicht in de energieprijzen.

In Figuur 17 zijn de drie pijlers van het model voor het kwantificeren van directe effecten nog eens weergegeven. Zie Bijlage D voor een gedetailleerde toelichting op dit model.

Figuur 17 Drie pijlers van het profielmodel



Profielen

In Tabel 4 is een overzicht gegeven van de gebruikte profielen in het profielmodel. Input per profiel is:

- De profielvorm zonder Intelligent Net.
- De profielvorm met Intelligent Net (gewijzigd als gevolg van vraagrespons of prijsprikkels en voor zover niet in het model zelf bepaald).
- De piekbelasting voor de situatie zonder en met Intelligent Net. In de hoogte van de piekbelasting worden ook besparingseffecten meegenomen.

- Een volumeparameter (bijvoorbeeld het aantal huishoudens of industrieaansluitingen).
- Een penetratiegraad (bijvoorbeeld aantal huishoudens met een actief laadpunt voor elektrisch vervoer).

Tabel 4 Gebruikte profielen in het profielmodel

Netvlak	Gebruikersgroep	Profielen	
		Opwekking	Verbruik
LS	Stedelijk bestaand	<ul style="list-style-type: none"> • Micro-WKK • Zon-PV op daken 	<ul style="list-style-type: none"> • Wassen, drogen, vaatwasser • Restpatroon • Elektrisch vervoer • Warmtepomp
	Stedelijk nieuw	<ul style="list-style-type: none"> • Zon-PV op daken 	<ul style="list-style-type: none"> • Warmtepomp • Elektrisch vervoer • Wassen, drogen, vaatwasser • Restpatroon
	Huishoudens overig	<ul style="list-style-type: none"> • Zon-PV op daken 	<ul style="list-style-type: none"> • Wassen, drogen, vaatwasser • Restpatroon
	Kleine utiliteit	<ul style="list-style-type: none"> • Zon-PV op daken 	<ul style="list-style-type: none"> • Koeling (producten) • Gemiddeld patroon • Elektrisch vervoer • Warmtepompen
	Elektriciteitsopslag	<ul style="list-style-type: none"> • Voor aantal individuele gebruikersgroepen 	<ul style="list-style-type: none"> • Voor aantal individuele gebruikersgroepen
	Netverliezen		<ul style="list-style-type: none"> • Op basis totale invoeding LS
MS	Glastuinbouw	<ul style="list-style-type: none"> • WKK opwekking • Windturbines 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemiddeld patroon (voornamelijk belichting)
	Utiliteit (kantoren, ziekenhuizen e.d.)	<ul style="list-style-type: none"> • WKK opwekking • Zon-PV op daken • Windturbines 	<ul style="list-style-type: none"> • Belasting WKO (warmtepomp) • Belasting ruimtekoeling • Elektrisch vervoer • Gemiddeld restpatroon
	Industrie	<ul style="list-style-type: none"> • WKK opwekking 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemiddeld patroon
	Duurzaam	<ul style="list-style-type: none"> • Windparken op land 	
	Netverliezen		<ul style="list-style-type: none"> • Op basis totale invoeding MS
HS	Zware industrie		<ul style="list-style-type: none"> • Gemiddeld patroon
	Duurzaam	<ul style="list-style-type: none"> • Windparken op zee 	
	Centrale opwekking (fossiel, bio, nucleair)	<ul style="list-style-type: none"> • Conform biedladder 	
	Interconnectors	<ul style="list-style-type: none"> • Importprofiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Exportprofiel
	Waterstofproductie EV		<ul style="list-style-type: none"> • Conform regelstrategie
	Netverliezen		<ul style="list-style-type: none"> • Op basis totale invoeding HS

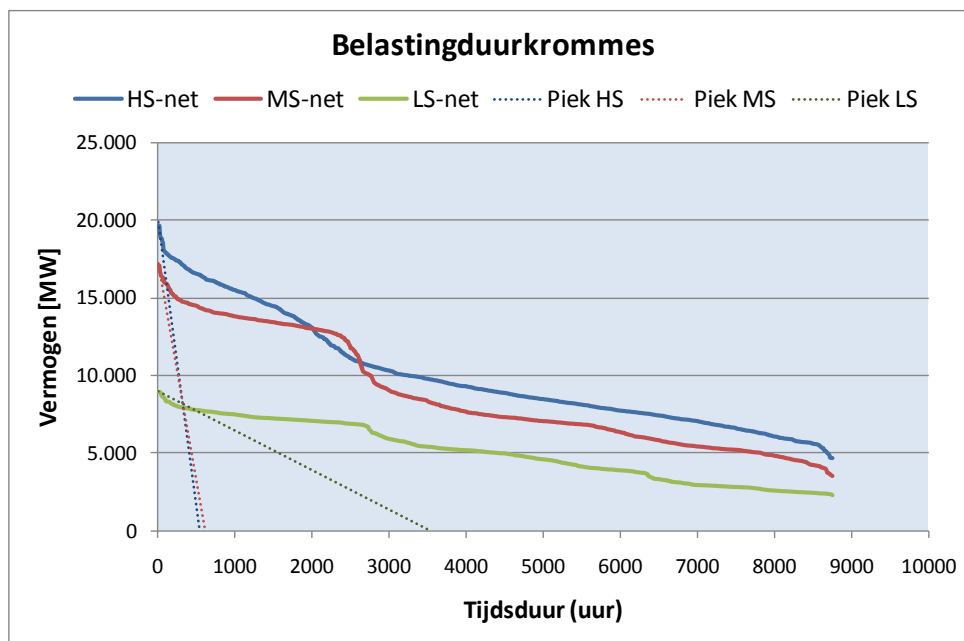
Noot: Het profiel voor de interconnectors volgt uit het tekort aan centraal vermogen respectievelijk het overschot aan opgewekte (duurzame) energie.

Resultaten

De resultaten van het model zijn onder andere een belastingduurkromme voor de drie netvlakken (LS, MS en HS) en de inzet van de diverse productie-eenheden in de biedladder. De belastingduurkromme geeft aan gedurende welke tijdsduur de netbelasting boven een bepaalde waarde ligt. Figuur 18 geeft een voorbeeld van een belastingduurkromme voor de drie netvlakken. De startwaarde geeft de maximale netbelasting voor het netvlak weer. Andere

resultaten van de modellering zijn de inzet van de opslagsystemen en de in- en exportcapaciteit.

Figuur 18 Voorbeeld van een berekende belastingduurkromme voor de drie netvlakken (referentie 2009). De stippellijnen geven een maat voor het kwantificeren van effecten van TOU



2.8 Waardering van effecten

In Paragraaf 2.6 zijn we ingegaan op de inschatting van de volume-effecten. In een MKBA worden deze de volume-effecten (bespaarde kW_p, kWh, ton CO₂, etc.) gewaardeerd tegen de relevante prijzen. De marktprijzen zijn hiervoor uitgangspunt wanneer deze op een markt verhandeld worden. Echter, wanneer marktprijzen ontbreken, bijvoorbeeld voor de externe effecten, kan gebruik worden gemaakt van schaduw prijzen. In deze paragraaf geven we aan welke waarderingsgetallen we voor de volume-effecten hebben gehanteerd.

Vermeden netinvesteringen en operationele kosten

Voor de investeringen in netten worden kostenkenticallen per kW maximale capaciteit van het net gebruikt. Deze zijn gebaseerd op gegevens van CE Delft (CE, 2011). Voor bestaande netten worden bij verzwaring extra kosten gemaakt, bijvoorbeeld voor herbestrating. Op basis van een expertinschatting is een kostenopslag bepaald voor deze extra kosten.

Deze kostenkenticallen zijn toebedeeld naar de drie netvlakken hoogspanning (HS), middenspanning (MS) en laagspanning (LS)¹⁶. De kosten per kW capaciteit in een netvlak bestaan in deze benadering voor een groot deel (70-85%) uit kosten voor het leggen van ondergrondse kabels en bovengrondse lijnen en voor het overige deel uit kosten voor onderstations (15-30%).

¹⁶ Kosten van onderstations tussen beide netvlakken zijn voor de helft toegedeeld aan het hogere netvlak en voor de helft aan het lagere netvlak.

Tabel 5 geeft een overzicht van de gebruikte kostenkentalen uit het 'Netdocument' (tweede kolom). In Tabel 5 zijn vervolgens twee correcties doorgevoerd (derde en vierde kolom).

In het laagspanningsnet doet zich de specifieke situatie voor dat een deel van de kabels aansluitkabels voor individuele gebruikers betreft. De praktijk is dat deze kabels met een standaard dikte worden aangelegd. Dit zal zowel in het nulalternatief (zonder slim net) als in het projectalternatief (met slim net) gebeuren. Op dit deel van de kabels zal de introductie van slimme netten geen invloed hebben. Dit deel is dan ook buiten de kostenkentalen gehouden.

Een tweede correctie is de wijze waarop slimme netten besparen in netkosten. Dit is van belang bij LS-netten waar graafkosten een relatief groot deel van de totale kosten uitmaken. Om dit te verduidelijken worden twee scenario's voor besparing op netcapaciteit geschetst:

1. Het 'dunne-kabel' scenario.
2. Het 'minder-kabel' scenario.

Bij het *dunne-kabel scenario* is de aanname dat de besparing op netcapaciteit in het LS-net door slimme netten wordt gerealiseerd door overal dunnere kabels neer te leggen. Er wordt dus niet bespaard op graafkosten, maar alleen op de kosten voor een dunnere kabel. Opgemerkt wordt dat het vanwege de spanningshuishouding in LS-netten in het nulalternatief soms nodig is om toch dikkere kabels aan te leggen.

Bij het *minder-kabel scenario* is de aanname dat deze besparing wordt gerealiseerd door minder kabels aan te leggen. Er kunnen bijvoorbeeld meer woningen op een LS-ring worden aangesloten en dus zijn er minder kabels nodig. In deze situatie wordt bespaard op graafkosten én kabelkosten.

Aangenomen wordt dat de besparing op netkosten in LS-netten voor de helft wordt gerealiseerd door dunnere kabels en voor de helft door minder kabels. Dit is in onze ogen een conservatieve inschatting. In aanmerking nemende dat een deel van de specifieke netkosten geen kabels betreft (en dus lineair meeschalen met vermogen) en er van uitgaande dat de kabelkosten 40% van het totale kosten bedragen, worden de kostenkentalen voor LS-netten bepaald. Voor MS-netten en HS-netten is deze correctie niet significant.

Tabel 5 Gebruikte waardering voor netinvesteringen

Gebruiksgroep	Netvlak	Kostenkental investeringen	Correctie aansluitkabels	Plus correctie 50% dun, 50% minder	Jaarlijkse kosten
		(Eur ₂₀₁₁ /kW _{piek})	(Eur ₂₀₁₁ /kW _{piek})	(Eur ₂₀₁₁ /kW _{piek})	(Eur ₂₀₁₁ /kW _{piek})
Stedelijk bestaand	LS	2.050	1820	1220	
Stedelijk nieuw	LS	1.300	1070	820	
Huishoudens overig	LS	1.300	1070	820	
Kleine utiliteit	LS	1.300	1070	820	
Utiliteit, industrie en glastuinbouw en duurzaam	MS	950	950	950	
Zware industrie, centrale opwekking en duurzaam	HS	550	950	950	

Bron: CE, 2011 met expert inschatting voor bestaande netten.

Overige batenposten

Tabel 6 Overzicht van waarderingsgetallen

Batenpost	Volume-effect	Waardering
Vermeden investering in productiecapaciteit	Vermogen ingezette centrales in MW	Gemiddelde investeringskosten per unit BAU: € 1.129/kW H&G: € 1.178/kW K&K: € 2.464/MW
Efficiëntere inzet centrales	Centraal geproduceerde stroom in kWh	Verschil tussen marginale elektriciteitskosten project en nulalternatief BAU: € 1,38/MWh H&G: € 5,07/MWh K&K: € 1,00/MWh
Vermeden investering in grootschalige opslag	Benodigde opslagcapaciteit voor opslagsystemen	Marginale investeringskosten voor opslagcapaciteit: € 200/kWh
Onbalansbaten	Onbalans volume in kWh	Onbalansprijs
Energiebesparing	Bespaarde kWh	Prijzen scenario's BAU dal: € 42/MWh BAU piek: € 65/MWh H&G dal: € 72/MWh H&G piek: € 94/MWh K&K dal: € 41/MWh K&K piek: € 51/MWh
Externe effecten CO ₂	ton CO ₂	25,5-87 €/ton ¹⁷
Externe effecten	Kg emissies	NH ₃ 9.500-37.800 €/ton NMVOC 2.680-2.780 €/ton NO _x 9.200-19.360 €/ton PPM ₁₀ 20.140-35.950 €/ton PPM _{2,5} 31.820-56.800 €/ton SO ₂ 13.200-25.960 €/ton

Bron: Ondere andere gebaseerd op Abrell and Herald, 2011; ETSAP, 2009 en Lazard, 2008 en op modelberekeningen.

¹⁷ Laagste prijs in 2010, hoogste in 2050.

3 De scenario's in vogelvlucht

3.1 Inleiding

De drie in deze studie gebruikte scenario's zijn al geïntroduceerd in Paragraaf 2.4 en worden verder uitgediept in Bijlage A. Dit hoofdstuk richt zich vooral op de belangrijkste karakteristieken van deze scenario's voor de onderscheiden kosten en baten van Intelligente Netten. De rol van scenariospecifieke elementen als lokale opslag, waterstofproductie en lokale opwekking van hernieuwbare elektriciteit, en hun relatie met kosten en baten van Intelligente Netten wordt in dit hoofdstuk toegelicht. Dit hoofdstuk gaat tenslotte in op de rol van import en export van elektriciteit in de scenario's.

3.2 Overzicht scenario's

Binnen de drie scenario's geven twee klimaatscenario's een route naar een CO₂-arme energievoorziening. Deze scenario's zijn gebaseerd op scenario B en C van 'Net voor de Toekomst' (CE, 2011), welke zijn voortgekomen uit de maatschappelijke wens om in 2050 de CO₂-emissie van de energievoorziening met 80 tot 95% te hebben gereduceerd t.o.v. het niveau in 1990¹⁸. Emissiereductie is op zichzelf niet relevant voor Intelligente Netten, maar de daardoor gebruikte technieken (hernieuwbaar, CO₂-afvang) hebben hun effect op de flexibiliteit en benodigde opslagcapaciteit en daarmee dus eveneens op de potentiële meerwaarde van Intelligente Netten.






















Het derde scenario betreft een Business As Usual (BAU). Het BAU-scenario beschrijft een Business As Usual-ontwikkeling waarin de economie in de periode tot 2050 een hoge groei kent en waarin de wereld *geen* actief klimaatbeleid voert gericht op het terugdringen van CO₂-emissies. Dit scenario is ontleend aan het BAU-scenario van het IEA. Als gevolg van de economische groei ontstaat er ook een forse groei van de elektriciteitsvraag.




Samengevat worden de volgende drie scenario's gebruikt:

- **Business As Usual - 2050** (beperkte CO₂-reductie);
- **KLIMAAT - Hernieuwbaar & Gas** (80-95% CO₂-reductie);
- **KLIMAAT - Kolen CCS + Kernenergie** (80-95% CO₂-reductie).

¹⁸ In de sectoren luchtvaart en zeescheepvaart is het op dit moment technisch niet mogelijk om met andere brandstoffen in de energievraag te voorzien dan met de huidige CO₂-emitterende energiedragers (diesel, kerosine, stookolie). Hierdoor zullen de netgebonden energiegebruikers naar 100% CO₂-reductie in 2050 moeten gaan om gemiddeld op 80-95% uit te komen.

Tabel 7 Kenmerken van de scenario's

Scenario's	Business as usual (BAU)	Hernieuwbaar + gas (H&G)	Kolen CCS + Kern (K&K)
CO ₂ -emissie E-sector	Hoog	Nihil	Nihil
Elektriciteitsvraag (excl. EV, WP)	Hoog	Laag	Midden
- elektrische vervoer (EV)	Nihil	Hoog	Hoog
- elektrische warmtepompen (WP)	Laag	Midden	Hoog
Decentraal vermogen	Laag	Hoog	Laag
Centraal vermogen			
- gascentrales			
- kolencentrales			
- hernieuwbaar (biomassa)			
- hernieuwbaar (wind op zee)			
Flexibiliteit			
Centrale opslagcapaciteit			
Waterstofproductie voor vervoer			

 = ja
 = (zeer) beperkt
 = nee

Hieronder geven we een korte typering van de drie scenario's:

- **BAU 2050.** In dit scenario wordt geen aanvullend klimaatbeleid gevoerd na 2020. Daarin wordt dus de benodigde 80-95% CO₂-emissiereductie in 2050 niet gerealiseerd. Dit vertaalt zich in een CO₂-prijs die na 2020 afneemt naar € 0/ton CO₂. De productie van hernieuwbare elektriciteit zal stabiliseren op het (absolute) niveau van 2020; 35% van de Nederlandse vraag in 2020. Om dit te kunnen bereiken, is er zonder een prikkel vanuit EU ETS aanvullend Nederlands of Europees beleid nodig om de productie van hernieuwbare energie op pijl te houden. Er is echter nauwelijks sprake van afvang en ondergrondse opslag van CO₂ (CCS). Een belangrijk deel van de centrale vermogensvraag wordt ingevuld met gasgestookt vermogen, en daarmee is het centraal vermogen relatief flexibel schakelbaar.
- **Hernieuwbaar & Gas 2050 (H&G):** het scenario waarbij zoveel mogelijk hernieuwbare bronnen worden gebruikt aangevuld met gascentrales voor de noodzakelijke flexibiliteit. De CO₂-emissie is met 80-95% gereduceerd, hetgeen betekent dat ook de gascentrales voorzien zullen zijn van groengas en/of CCS. De energieprijs is hoog waardoor de efficiency sterk is toegenomen en de vraag is afgenomen. Er is zowel veel lokale hernieuwbare energie (zon-PV, wind, biogas) als centrale windparken en grootschalige biomassa. Het scenario kan gezien worden als een uitwerking van het scenario Energie-flexwerker uit het Energierapport 2008 van het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.

- **Kolen CCS & Kernenergie 2050 (K&K):** Het beeld dat past bij dit scenario is die van een centrale energievoorziening. Na 2020 zullen nauwelijks extra hernieuwbare energiebronnen worden toegevoegd. CO₂-emissiereductie van 80-95% zal worden bereikt door biomassa-bijstook in kolencentrales en daarnaast opwekking van kernstroom. De kolencentrales zijn voorzien van CCS en er zijn meerdere kerncentrales. De energieprij is relatief laag (maar wel hoger dan de huidige energieprij, vooral door de hoge CO₂-prijs). De (beperkte) hernieuwbare energiebronnen zijn vooral lokaal aanwezig. Dit scenario kan gezien worden als een verdere uitwerking van het scenario Power House uit het Energierapport 2008 van het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie. Voor het verduurzamen van de vraag naar transport wordt gebruik gemaakt van waterstof en elektriciteit welke dus CO₂-neutraal worden opgewerkt¹⁹.

Netconsequenties scenario's

De investeringen in netuitbreiding worden niet zozeer bepaald door de jaarlijkse volumevraag, maar vooral door de momentane piekvraag waarin moet worden voorzien. Deze piekvraag wordt, afhankelijk van het scenario, bepaald door de toenemende inzet van:

- zon-PV;
- elektrisch personenvervoer;
- elektrische warmtepompen;
- airconditioning;
- toename van de elektriciteitsvraag van allerlei apparaten (meer apparaten en meer gebruik ervan);
- inpassing windenergie;
- HRe-ketels.

De scenario's zijn met het profielmodel doorgerekend naar de benodigde capaciteitsvraag voor elk netniveau en de bijbehorende investeringen, zowel voor nieuwe netten als voor bestaande netten. In de scenario's is geen voorschot is genomen op een bepaalde mate van intelligente sturing in de distributienetten, zodat ze goed kunnen dienen als achtergrondscenario voor het nulalternatief in deze MKBA.

Bij al deze technieken zijn aannames gedaan over de penetratiegraad in elk peiljaar, maar ook over zaken als de laadinfrastructuur van elektrisch vervoer (centraal of bij elke woning, langzaamladen of snelladen), het vermogen aan zon-PV op een dak, of het aandeel elektrische piekverwarming in een elektrische warmtepomp. De onzekerheden die daar inherent mee verbonden zijn leveren 'ranges' op in de ontwikkeling van de capaciteitsvraag.

In Bijlage A wordt een nadere cijfermatige uitwerking gegeven van de energiescenario's in het nulalternatief.

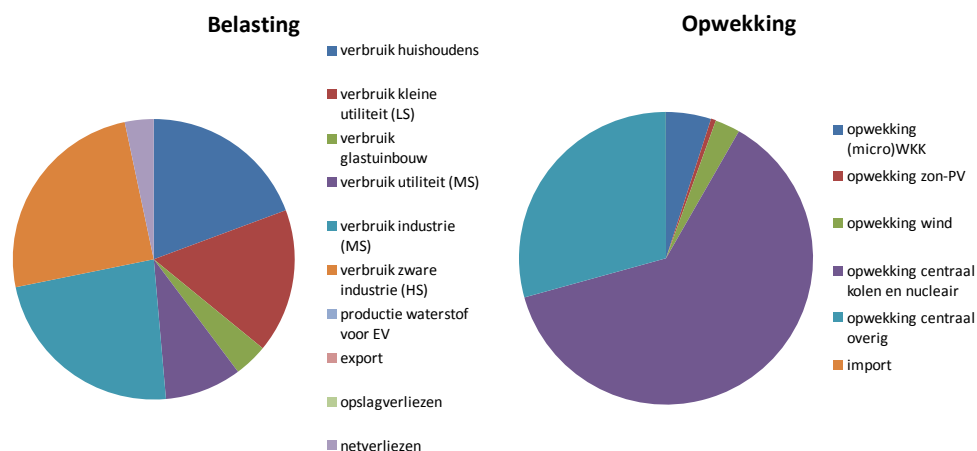
3.3 Het Business As Usual-scenario

Het BAU 2050-scenario is een extrapolatie van het huidige ontwikkelingen. Er is geen sprake van introductie van warmtepompen en elektrisch vervoer. Het overgrote deel van de opwekking vindt plaats door middel van basislast-centrales (kolen en nucleair). Gascentrales vullen de pieken aan en nog geen

¹⁹ In dit scenario is in 2050 50% van het transport geëlektrificeerd en 50% waterstof. Deze waterstof wordt geproduceerd met kolen(vergassing) en is vooral bedoeld voor het goederenvervoer.

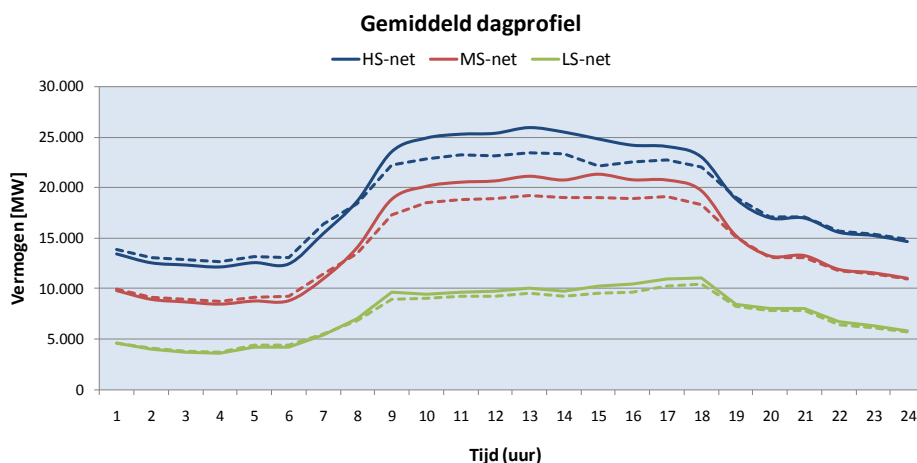
10% van de totale opwekking komt voor rekening van WKK (glastuinbouw, utiliteit en industrie), zie Figuur 19. De gemiddelde dalprijs ligt in dit scenario op 42 Euro per MWh, de gemiddelde piekprijs op 65 Euro per MWh.

Figuur 19 Verdeling van de belasting en opwekking in het BAU-scenario (totaal 181 TWh per jaar)



De pieken die optreden en afgevlakt worden zijn conventionele pieken en het belastingpatroon van de netten vertoont een conventioneel dag-nachtpatroon. Door toepassing van tijdafhankelijke tarieven door de netbeheerders treedt afvlakking van pieken op en energiebesparing. Dit resulteert in minder benodigd centraal vermogen en een betere benutting van de netten. Dit resulteert bijvoorbeeld in een hogere gemiddelde bedrijfstijd van de netten (zie Tabel 8).

Figuur 20 Gemiddeld dagbelastingpatroon voor de drie netvlakken in het BAU-scenario, het project-alternatief is gestippeld weergegeven



Uit Tabel 8 blijkt dat er een beperkte uitbreiding van de bedrijfstijden wordt gerealiseerd welke zich vooral voordoet bij het MS- en HS-net. Op beide netvlakken is sprake van de meest sterke mate van afvlakking.

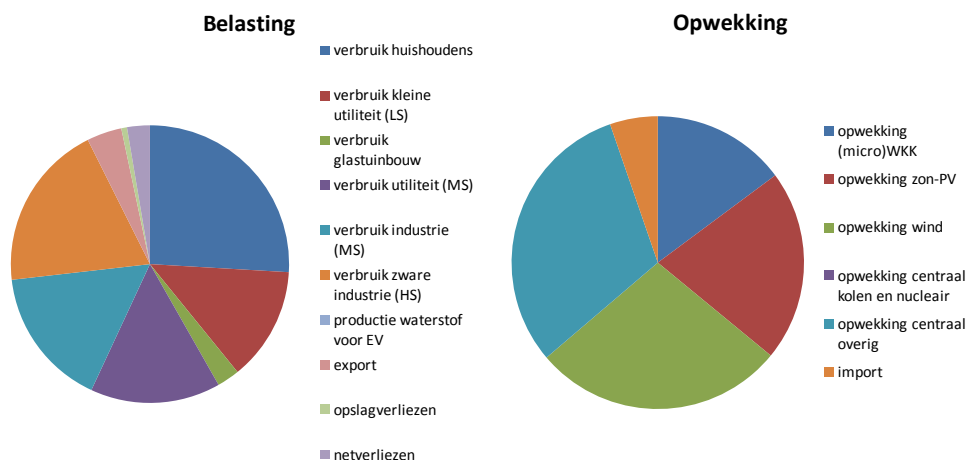
Tabel 8 Gemiddelde bedrijfstijd van de netten in het BAU-scenario (zonder het effect van critical peak pricing)

Netvlak	Nulalternatief	Projectalternatief
HS-net	5.002	5.357
MS-net	4.686	4.894
LS-net	4.918	5.004

3.4 Het Hernieuwbaar & Gas-scenario

Het Hernieuwbaar & Gas scenario kenmerkt zich vooral door een zeer groot aandeel aan duurzame opwekking (zon-PV en wind) en dit voor een aanzienlijk deel decentraal (op midden- en laagspanningsniveau). Meer dan 50% van de totale opwekking komt voor rekening van deze duurzame bronnen. In dit scenario wordt de piekbelasting in het net niet veroorzaakt door een afnamepiek maar door een opwekkingspiek. Omdat het aantal equivalente vollasturen van duurzame bronnen lager ligt dan van conventionele, fossiele opwekking, is de bijdrage van duurzame bronnen aan de piekbelasting relatief nog groter. Warmtepompen nemen een bescheiden plaats in in dit scenario (2% van het totale verbruik), elektrisch vervoer neemt met 23% van het totale verbruik een prominente plek in. Het verbruik voor elektrisch vervoer is verdeeld over huishoudens en utiliteit, zie Figuur 21. De gemiddelde dalprijs ligt in dit scenario op 72 Euro per MWh, de gemiddelde piekprijs op 94 Euro per MWh.

Figuur 21 Verdeling van de belasting en opwekking in het H&G-scenario (totaal 190 TWh per jaar)



Een andere karakteristiek van dit scenario is de toepassing van elektriciteitsopslag op laagspanningsniveau om lokaal de pieken van decentrale opwekking door zon-PV op te vangen. Zowel in het nulalternatief als in het projectalternatief wordt voor opslag een optimale dagstrategie verondersteld. Op het punt waar het opslagsysteem is aangesloten worden pieken en dalen dus op dagbasis optimaal afgevlakt²⁰. Grootschalig opslagvermogen is onderdeel van het nulalternatief, aangezien grootschalige opslag een kenmerk is van dit

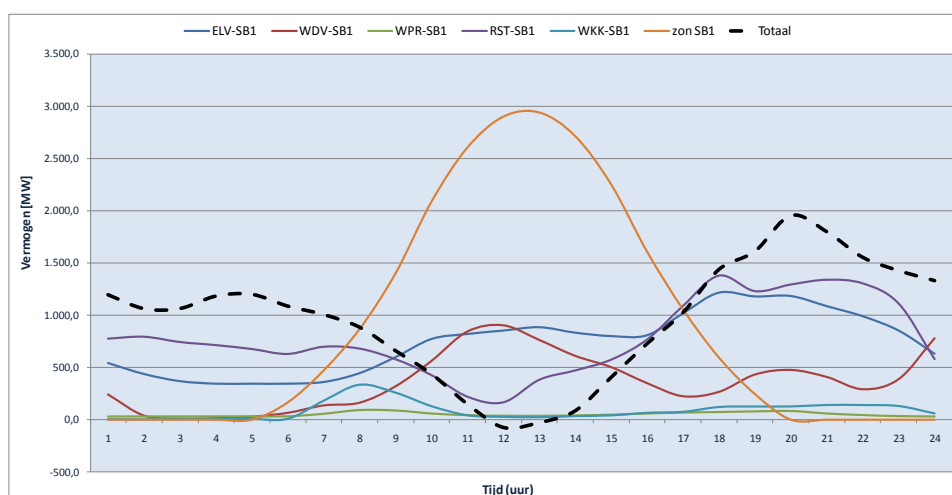
²⁰ Bij hoge belasting van het netwerk zal het opslagsysteem gaan ontladen, bij een lage belasting gaan laden.

scenario. Het is dus geen verdienste van een intelligent net. Hiermee wordt voorkomen dat opslag oneigenlijke kosten of baten toevoegt aan het projectalternatief²¹.

Het toepassen van tijdafhankelijke transporttarieven (TOU) en de daaruit voortvloeiende besparing en piekverschuiving hebben wel invloed op de dimensionering van de opslagsystemen. Door toepassing van tijafhankelijke tarieven kan de opslagcapaciteit (in MWh) van deze systemen verminderd worden bij eenzelfde vermogen (in MW). Een deel van de piek wordt immers al gereduceerd door de gevolgen van het tijdafhankelijk tarief. Deze baat wordt wel meegenomen in het projectalternatief.

Figuur 22 geeft een voorbeeld van een aantal voor dit scenario typische verbruiksprofielen. Het betreft hier gemiddelde profielen voor de bestaande woningen. Het 'normale' woningprofiel bestaat uit het profiel voor wassen, drogen en vaatwassen (WDV) en een restpatroon (RST). De bijdrage van warmtepompen (WPR) en micro-WKK (WKK) aan de totale belasting is klein en deze heffen elkaar bovendien enigszins op. Elektrisch vervoer draagt significant bij aan de middag- en avondbelasting. Duidelijk is dat in dit scenario geen middagpiek optreedt maar een middagdalen door een overschot aan zonelektriciteit op lokaal niveau. Hierbij wordt opgemerkt dat deze figuur een jaargemiddeld patroon betreft. Op een zonnige zomerdag is de invloed van zon-PV nog groter.

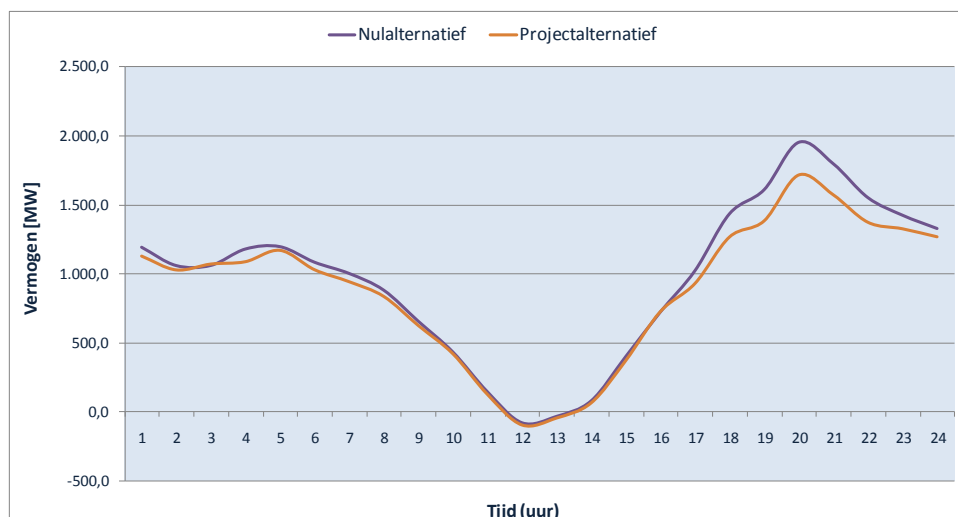
Figuur 22 Gemiddeld verbruik en opwekking voor de gebruikersgroep stedelijk bestaand



De invloed van Intelligente Netten op energiebesparing en piekverschuiving is weergegeven in Figuur 23. Dit gecombineerde effect zorg er voor dat in de piek een reductie van 12% wordt bereikt. In het dal heffen de effecten van piekverschuiving en besparing elkaar kennelijk op, waardoor de oude situatie met nieuwe situatie samenvalt.

²¹ Het is wel zo dat verwacht mag worden dat met Intelligente Netten, opslagsystemen efficiënter kunnen worden aangestuurd dan zonder Intelligente Netten. Dit zou een extra baat zijn van Intelligente Netten. Het valt echter buiten het bestek van deze studie om deze baten te kwantificeren.

Figuur 23 Gemiddeld profiel voor de gebruikersgroep stedelijk bestaand in nul- en projectalternatief



De afvlakking van pieken en energiebesparing resulteren in minder benodigd centraal vermogen en een betere benutting van de netten. Dit resulteert bijvoorbeeld in een hogere gemiddelde bedrijfstijd van de netten (zie Tabel 9). De toename van de bedrijfstijd spits zich toe op het MS-net. Opvallend is dat de bedrijfstijd van het LS-net als geheel afneemt. Dit komt deels door het toepassen van opslag. De regelstrategie van opslag heeft invloed op de mate waarin het piekverbruik daalt. Een eventueel voordeel komt dan niet tot uiting in minder piekcapaciteit maar in een vermindering van de benodigde opslagcapaciteit. Deels wordt de verlaging van de bedrijfstijd veroorzaakt omdat geoptimaliseerd is binnen deelnetvlakken van het LS-net (woningen landelijk, stedelijk bestaand, stedelijk nieuw en kleine utiliteit). Voor het totale LS-net hoeft dit niet optimaal te zijn.

De baten van reductie van het volume op de onbalansmarkt door Intelligente Netten zijn in dit scenario eveneens significant. Aanname is dat door de grote hoeveelheid zon en wind, de behoefte aan onbalansvermogen evenredig toeneemt. Aangenomen wordt dat dit er een besparing van 20% plaatsvindt op het totale onbalansvolume. Een vaste reductie van 20% levert in dit scenario dus grotere baten op.

Tabel 9 Gemiddelde bedrijfstijd van de netten in het H&G-scenario (zonder CPP-effect)

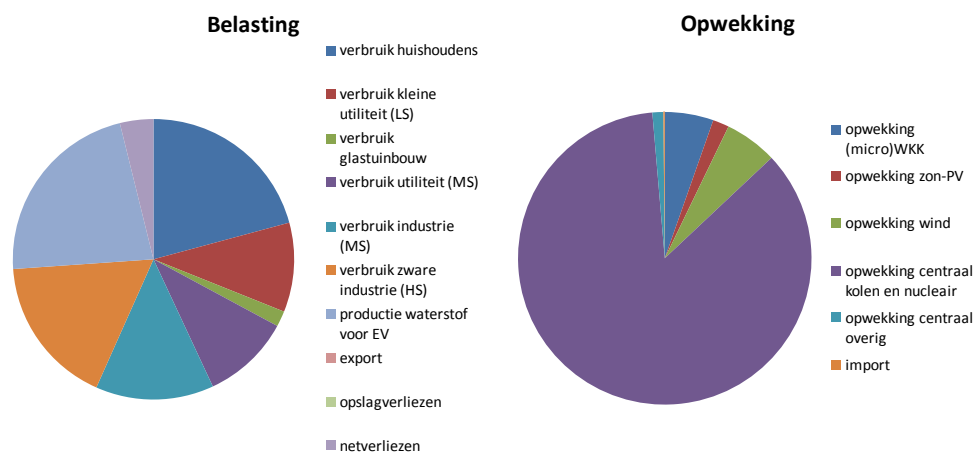
Netvlak	Nulalternatief	Projectalternatief
HS-net	3.616	3.757
MS-net	3.775	4.033
LS-net	2.810	2.621

3.5 Het Kolen CCS & Kernenergie-scenario

Figuur 24 geeft een overzicht van belasting en opwekking voor het nulalternatief in het K&K-scenario. Kenmerkend voor dit scenario is de productie van waterstof voor elektrisch vervoer (met 22% van de totale belasting de grootste post) en de productie van elektriciteit door kolen en kernenergie (meer dan 85% van het totaal). Warmtepompen en elektrisch vervoer (19% van het totale verbruik) nemen een prominente plek in. Het

verbruik hiervan is verdeeld over huishoudens, utiliteit en industrie, zie Figuur 24. De gemiddelde dalprijs ligt in dit scenario op 41 Euro per MWh, de gemiddelde piekprijs op 51 Euro per MWh. Dit is lager dan voor het H&G-scenario vanwege de lage kolenprijs ten opzichte van de gasprijs.

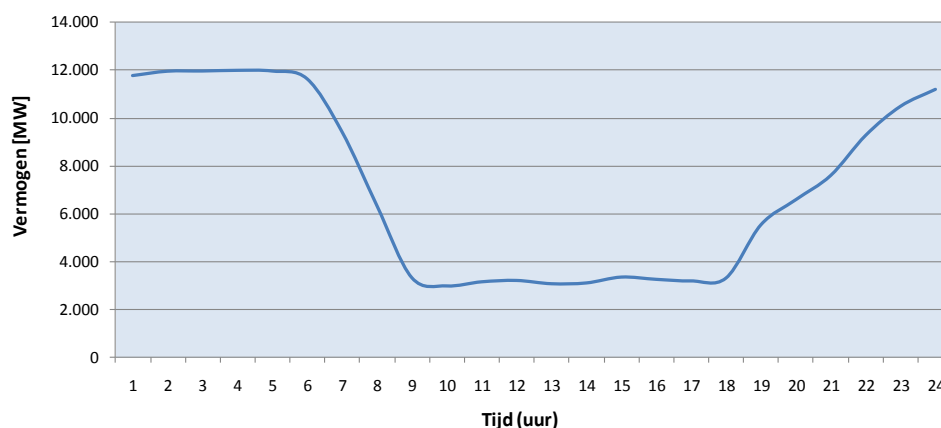
Figuur 24 Verdeling van de belasting en opwekking in het K&K-scenario (totaal 279 TWh per jaar)



In dit scenario is een belangrijke rol weggelegd voor de waterstofproductie, aangesloten op het HS-net. Voor de productie van waterstof is een aanzienlijke hoeveelheid stroom nodig, ca. één derde van de totale vraag. Het gaat om een flexibel proces dat gebruikt wordt om daluren te vullen. De laadstrategie is gebaseerd op één grenswaarde voor totale belasting van het HS-net. Beneden deze waarde gaat het waterstofsysteem produceren en vult zo het nachtdal. De grenswaarde wordt zodanig gekozen dat precies de benodigde hoeveelheid waterstof voor elektrisch vervoer wordt opgewekt. In zowel het nul- als het projectalternatief wordt eenzelfde productiestrategie toegepast. In dit scenario geldt dat het afvlakken van netbelasting door toedoen van de waterstofproductie dus geen verdienste is van een intelligent net. In die zin brengt waterstof geen oneigenlijke kosten of baten mee het projectalternatief, al kan net als bij opslagsystemen beargumenteerd worden dat met Intelligente Netten een efficiëntere productiestrategie kan worden aangehouden.

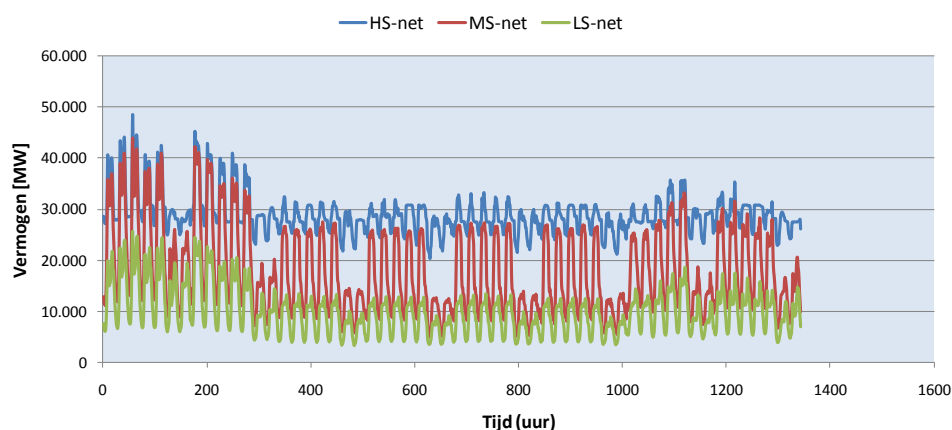
Figuur 25 geeft aan hoe het waterstofsysteem in het nulalternatief gemiddeld over het hele jaar het net belast. Het totale vermogen van het systeem is 12.000 MW en in de nachturen (2 uur tot 6 uur) staat het systeem vrijwel continue aan. Overdag wordt minder geladen, gemiddeld circa 3.200 MW. Dat is 27% van de maximale belasting. Het waterstofsysteem kan wel het nachtdal vullen (en zorgt daarmee voor een effectief gebruik van de basislastcentrales) maar vangt geen pieken op (anders dan door het systeem uit te zetten). Het is dus geen volwaardig opslagsysteem maar heeft door het afvlakken van de netbelasting wel invloed op de wijze waarop andere pieken (met name die van warmtepompen en elektrisch vervoer) doorwerken in het gehele systeem.

Figuur 25 Gemiddelde productie door het waterstofsysteem in het K&K-scenario



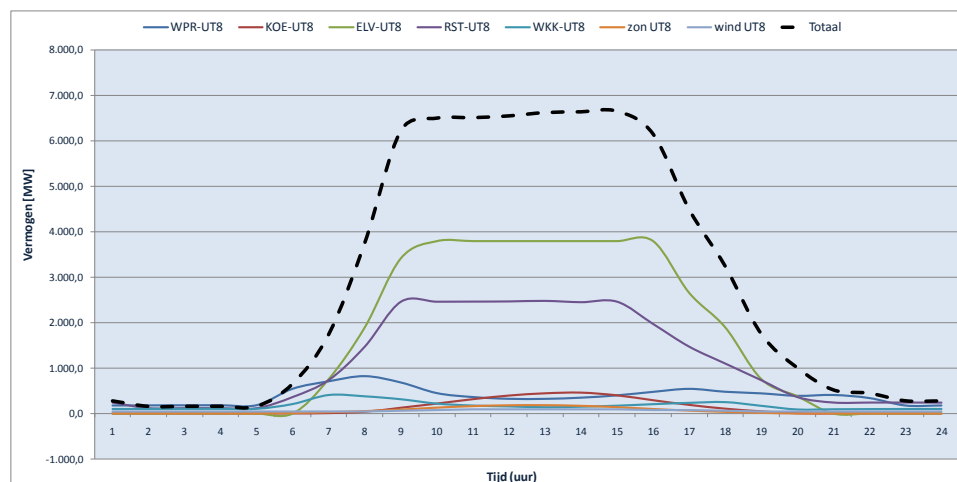
In Figuur 26 is het verloop van de netbelastingen weergegeven voor de nulsituatie. Het betreft acht weken die representatief zijn voor een heel jaar. De belastingpieken op het net worden voornamelijk veroorzaakt door pieken vanuit het middenspanningsnet en dan met name in de winter. Deze pieken in het MS-vlak worden grotendeels veroorzaakt door de inzet van warmtepompen, ruimtekoeling (zomer) en elektrisch vervoer. Voor warmtepompen is een afhankelijkheid van weerparameters (temperatuur, zoninstraling, wind) aangenomen, voor elektrisch vervoer niet (al kan beargumenteerd worden dat in de winter meer werknemers de auto nemen en dat de piek in de winter dus nog hoger zou kunnen zijn).

Figuur 26 Netbelasting in het K&K-scenario voor het nulalternatief



Als voorbeeld geeft Figuur 27 het profiel voor de gemiddelde belasting van de utiliteitsbouw weer. Gemiddeld gezien domineert de bijdrage van elektrisch vervoer (ELV). Dit patroon loopt ook nog min of meer synchroon met het restpatroon voor deze gebruiksgroep (RST). Warmtepompen (WPR), ruimtekoeling (KOE), warmtekrachtopwekking (WKK) en duurzame opwekking hebben gemiddeld relatief weinig invloed. Op een specifiek warme of koude dag is de bijdrage aan de piek van warmtepompen, ruimtekoeling of WKK groter (40-95% van de piek voor elektrisch vervoer).

Figuur 27 Profiel van de belasting voor de gebruikersgroep utiliteit aangesloten op het MS-net



Elektrisch vervoer zorg voor een ‘continue’ piek, maar het is de piek van de warmtepompen en/of ruimtekoeling die uiteindelijk verantwoordelijk is voor het optreden van een kortstondige hoge piekbelasting in het HS-net. Het is deze piekbelasting die moet worden gefaciliteerd door het net en de centrale opwekking. Deze piek treedt maar kortstondig op en besparingen op centrale opwekking en netcapaciteit door middel van energiebesparing en prijsmechanismen is dan ook groot. Tabel 10 geeft als voorbeeld aan hoe de gemiddelde bedrijfstijd van de netten toeneemt tussen het nulalternatief en het projectalternatief. Te zien is dat het afvlakken van pieken met name op MS-niveau zichtbaar is in de vorm van een toename van de bedrijfstijd. Dit werkt vervolgens door in een toename van de bedrijfstijd op het HS-net.

Tabel 10 Gemiddelde bedrijfstijd van de netten in het K&K-scenario (zonder CPP-effect)

Netvlak	Nulalternatief	Projectalternatief
HS-net	5.229	5.850
MS-net	3.557	3.910
LS-net	3.417	3.537

3.6 Import en export van elektriciteit

Om inzicht te krijgen in de bijdrage van import en export van elektriciteit is in Tabel 11 een overzicht gegeven van bestaande ontwikkelingen en gebruik van interconnectors. Dit op basis van gegevens van het NMa (Monitoring groothandelsmarkten gas en elektriciteit, energiekamer, 2011) en EnergieNed (Study on flexibility in the Dutch and NW-European power market in 2020, Frontier Economics, 2010). Uit Tabel 11 blijkt dat interconnectors in de toekomst intensiever gebruikt gaan worden en dat Nederland van netto importeur opschuift naar netto exporteur.

Tabel 11 Overzicht van de ontwikkeling in im- en export van elektriciteit in Nederland

Interconnector	Vermogen (MW)		Import (TWh)		Export (TWh)	
	2009	2020	2009	2020	2009	2020
België	1.400	2.400	4,4	4,0	4,1	12,4
Duitsland	2.500	3.600	10,2	6,0	7,1	26,3
Noorwegen	700	700	2,9	1,4	1,3	4,3
Groot-Brittannië	-	1.000	-	0,5	-	7,5
Totaal	4.600	7.700	17,2 (3.800 uur)	11,9 (1.550 uur)	12,5 (2.700 uur)	50,5 (6.550 uur)

Bron: Frontier Economics, 2010.

Interconnectie heeft twee onderscheidende effecten: een capaciteitseffect en een prijseffect. Wat betreft het capaciteitseffect wordt in de scenario's uitgegaan van voldoende import- en exportcapaciteit om tekorten of overschotten op de biedladder op te vangen. Dat betekent dat bijvoorbeeld in het H&G-scenario geen windturbines (virtueel) worden stilgezet maar dat deze kunnen blijven produceren. Bij tekort aan (centrale) productiecapaciteit is er altijd voldoende capaciteit vanuit het buitenland. Verschillen in benodigde capaciteit tussen het nul- en het projectalternatief worden verrekend tegen de gemiddelde investering voor het Nederlandse productiepark.

Het effect op de prijsvorming is moeilijk te voorspellen omdat ook de marktprijzen in de ons omliggende landen zullen fluctueren. Een aantal effecten zal gelijktijdig optreden. Als het bijvoorbeeld hard waait in Nederland, is de kans redelijk groot dat dit ook in Duitsland het geval is. Daarom is er voor gekozen om uit te gaan van een eenvoudig, geïsoleerd prijsmodel. Bij tekorten op de biedladder wordt geïmporteerd tegen de hoogste prijs op de biedladder en bij overschotten op de biedladder wordt geëxporteerd tegen de laagste prijs op de biedladder. Gezien de relatief geringe (berekende) import en export in de scenario's is de verwachting dat de invloed op de gemiddelde elektriciteitsprijs (en daarmee op een aantal baten van dit scenario), klein is. De elektriciteitsprijs is bepalend voor de waardering van energiebesparing en de efficiëntie van het centrale productiepark.

4 Kosten en baten

4.1 Inleiding

In Paragraaf 4.2 van dit hoofdstuk gaan we in op de rekenkundige uitgangspunten van de MKBA. Het onderscheid tussen systeemkant en de netbeheerkant komt aan bod in Paragraaf 4.3. Vervolgens behandelen we in Paragraaf 4.4 de kosten, baten en saldi van het projectalternatief ten opzichte van het nulalternatief. Paragraaf 4.5 gaat in meer detail in op het beeld per scenario. Paragraaf 4.6 gaat in op de uitkomsten van de gevoeligheidsanalyse. Hierbij is een aantal gevoeligheidsvarianten doorgerekend. Wij hebben gekozen voor die uitgangspunten die op grond van het MKBA-rekenmodel een doorslaggevend effect hebben op de uitkomsten. Gedetailleerde analyses van de kosten en baten per onderscheiden post vindt u terug in Bijlage B.

4.2 Belangrijkste uitgangspunten

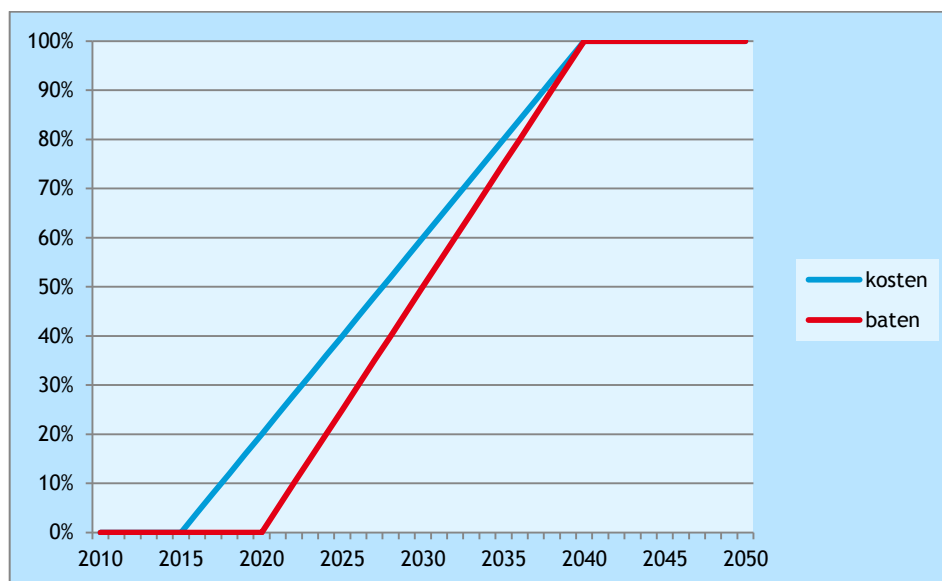
Bij de berekeningen van de kosten en baten van het projectalternatief ten opzichte van het nulalternatief worden de volgende basisaannames gehanteerd:

- De kosten en baten worden met een discontovoet van 5,5% verdisconteerd. Deze bestaat uit een risicovrije, reële discontovoet van 2,5% en een opslag voor het macro-economisch risico van 3%. Voor niet-omkeerbare externe effecten (klimaat- en gezondheidsscade) hanteren we een risico-opslag van 1,5% (waarmee de discontovoet op 4% komt) conform aanbevelingen van het ministerie van Financiën. De MKBA is dus uitgevoerd voor de voorgeschreven discontovoet van 5,5% voor gewone effecten en 4% voor onomkeerbare effecten zoals effecten op klimaatverandering.
- De kosten en baten worden in de periode vanaf 2011 tot en met 2050 beschouwd om zo goed mogelijk aan te sluiten bij de verwachte effecten op langere termijn²². We gaan uit van geleidelijke invoering van Intelligente Netten vanaf 2015.
- De 16 miljoen Euro in de subsidieregeling proeftuinen worden beschouwd als sunk costs, ongeacht het wel of niet doorgaan van het projectalternatief
- Het basisjaar, het jaar waarin de kosten en baten worden vergeleken, is 2011.
- De kosten en baten worden uitgedrukt in het prijspeil van 2011.
- Er wordt ervan uitgegaan dat de het aantal gebruikers dat aangesloten is op Intelligente Netten geleidelijk aan groeit van 0% in 2015 tot 100% in 2040.
- Om te kunnen spreken van een slim net moeten er voldoende aansluitingen en netcomponenten worden voorzien van monitorings- en sturingmodules (technische kant). Ten tweede moet er effectieve gedragsveranderingen (vraagrespons) bij consumenten en bedrijven optreden, hetgeen af zal hangen van de vraagelasticiteit. We nemen aan dat niet eerder dan vanaf 2020 het systeem operationeel kan zijn en vraagrespons bij eindgebruikers kan optreden. Deze vijf jaar kan eveneens gebruikt worden om ervaring op te doen met een effectieve systematiek van tariefdifferentiatie gericht op

²² Aangezien vrijwel alle energiescenario's lopen tot 2050, is het zeer lastig om de periode op een betrouwbare wijze uit te breiden na 2050.

- de beoogde gedragsverandering en mogelijk gemaakt door toekomstige tijdsgedifferentieerde kostenvoordelen. In Figuur 28 is dit afgebeeld.
- Tussen 2020 en 2040 zijn ook de baten lineair verondersteld.

Figuur 28 Verdeling van investeringskosten en baten



4.3 Meerwaarde netbeheer en systeemkant

Analoog aan het eindrapport van *Taskforce Intelligente netten* is bij deze MKBA een onderscheid aangebracht tussen:

- netbeheerders, specifiek door een betere benutting van het netwerk;
- energiesysteem, door het (nog te) organiseren van een betere afstemming tussen energievraag en -aanbod.

Netbeheerders

Een efficiëntere benutting van het net is een proces dat zich autonoom afspeelt en daarmee tot bestaand beleid van netbeheerders kan worden gerekend, vanwege de directe financiële voordelen voor netbeheer²³. Een belangrijke randvoorwaarde hiervoor is echter wel dat wijkkasten en distributiestations voor worden geautomatiseerd. Dit betekent een investering van grofweg 650 miljoen Euro in netautomatisering van wijkkasten en stations²⁴. Zowel de kosten als de meerwaarde zijn in deze MKBA niet aan het projectalternatief toegerekend. De meerwaarde aan de kant van het netbeheer is afhankelijk van de verwachte groei in investeringen (en beheer) die bij Intelligente Netten worden vermeden. De komende twintig jaar zal door veroudering de hoeveelheid vervangingsinvesteringen aanzienlijk oplopen.

²³ Daarbij gaat de netwerkbeheerder over op het sturen van de stromen door het netwerk via schakelen en regelen van distributiecomponenten en sturing van vermogens. Toepassing van dit actieve netwerkbeheer biedt, naast vermindering storingsgevoeligheid en verlaging onderhoudskosten, mogelijkheden om op investering in extra netcapaciteit te besparen.

²⁴ De aanname hierin is dat 22.000 distributiestations (20% van het totale aantal in Nederland) geautomatiseerd zal moeten worden met kosten van € 22.500 per station en 25.000 (ook ca. 20% van totaal) van de wijkkasten met kosten van € 7.500 per wijkkast.

De toerekening aan het nulalternatief hangt samen met de vraag of deze investering, vanuit het perspectief van netbeheer gezien, al rendabel is of dat deze investering wordt gedaan met het oog op de verwachte toenemende penetratie van warmtepompen, elektrisch vervoer, zonnepanelen en dergelijke. In het BAU-scenario zijn de jaarlijks terugkerende netbeheerbaten van Intelligente Netten op circa 95 miljoen Euro ingeschat. Dit komt overeen met een terugverdientijd van circa zeven jaar, gemeten aan de eerder genoemde investering van 0,65 miljard Euro. Dit geeft aan dat het realistisch lijkt om invoeren van netintelligentie in distributienetten toe te rekenen aan het nulalternatief.

Energiesysteem

De meerwaarde aan de systeemkant, door een verbeterde afstemming van vraag en aanbod, is in potentie het grootst. Door de lokale vraag voor zover mogelijk aan te passen aan het lokale aanbod, worden belastingpieken verlaagd, en kan de capaciteitsuitbreiding van de toekomstige netten worden beperkt. Hierbij gaat het niet alleen om vermeden investeringen in netten, maar ook om vermeden investeringen in benodigde piekcapaciteit, en vermeden investeringen in balanshandhaving. In deze MKBA is er vanuit gegaan dat de flexibiliteit aan de vraagkant 4% bedraagt (huishoudens), hetgeen kan worden gezien als een conservatieve aanname²⁵. Intelligente netcomponenten en intelligente aansluitingen zijn beide een noodzakelijke voorwaarde voor het realiseren van optimale flexibiliteit aan de vraagkant. Deze dienen bovendien gecoördineerd plaats te vinden. Hieronder gaan we nader in op de kosten en baten aan de systeemkant.

Interactie tussen netbeheer en energiesysteem

Deze studie gaat er van uit dat kosten en baten voor netbeheer en het gehele energiesysteem in belangrijke mate gelijk lopen. Als er bijvoorbeeld lokaal veel windenergie wordt geproduceerd, wordt dit zoveel mogelijk lokaal gebruikt. Dit betekent dat deze elektriciteit niet via een hoger netniveau getransporteerd hoeft te worden en dit reduceert de benodigde netcapaciteit. Ook is minder centrale opwekcapaciteit nodig.

Het voordeel van een efficiënter netbeheer en productie wordt in de regel via levering- en transporttarieven doorgegeven aan de afnemers. Op deze manier hebben afnemers een prijsprikkel om gewenst gedrag (in dit geval lokaal energie consumeren) te vertonen.

Het kan echter voorkomen dat tariefstructuren voor levering en transport elkaar tegenwerken. Een leverancier met windenergie in zijn portfolio zal bijvoorbeeld op een stormachtige dag productie zijn klanten stimuleren deze windenergie af te nemen. Dit ongeacht of deze klanten nu wel of niet dicht bij deze windturbines zijn aangesloten. Op hetzelfde moment kan door sterke gelijktijdigheid van vraag sprake zijn schaarste aan capaciteit in dezelfde regionale netwerken met hoge nettarieven tot gevolg. Net- en leveringstarief werken tegengesteld en heffen elkaar op. In het laatste geval leidt dit tot suboptimalisatie.

Dit effect is in deze studie niet meegenomen, maar is wel een belangrijk aandachtspunt voor beleidsvorming ten aanzien van tariefstructuren. Ook verdient het aanbeveling om te bezien of dit effect in de proeftuinen beter inzichtelijk kan worden gemaakt.

²⁵ Vergelijk bijvoorbeeld met de Roadmap 2050 van de European Climate Foundation waar scenario's zijn gemaakt waarbij is gekeken naar het effect op deze investeringen als de flexibiliteit aan de vraagkant (demand response) 20% bedraagt.

4.4 Overzicht maatschappelijke kosten en baten

In deze paragraaf presenteren we het totaaloverzicht van de kosten en baten van Intelligente Netten. Deze paragraaf bevat de belangrijkste uitkomsten van de kosten-batenanalyse. Allereerst geven we inzicht in de kosten en baten voor de maatschappij als geheel (overheid, bedrijven en burgers). Alle gerapporteerde effecten (directe, indirecte en indirecte effecten) betreffen het *verschil* tussen het nulalternatief (geen Intelligente Netten) en het projectalternatief (grootschalige uitrol Intelligente Netten).

De maatschappelijke kosten-batenanalyse raamt de gevolgen van de invoering van Intelligente Netten voor de maatschappij als geheel. Vanwege de verschillen in de energievoorziening en de rol van de (fysieke netten) hierin, is de maatschappelijke meerwaarde verschillend per scenario. In de Tabel 12 staan de belangrijkste uitkomsten per scenario.

Het gaat om 'what-if'-scenario's die zowel voor wat betreft de invulling van de energievoorziening als de netgevolgen een extreem karakter hebben. Daarmee geven ze een goed overzicht van het speelveld van mogelijke rendementen van Intelligente Netten. De waarheid zal hier naar alle waarschijnlijkheid ergens in het midden liggen.

Tabel 12 Totaaloverzicht van berekende kosten en baten per scenario, NCW in miljarden Euro's (2011)

	BAU 2050	K&K 2050	H&G 2050
Baten	€ 7,1	€ 14,1	€ 12,5
Kosten	(€ 4,6)	(€ 4,6)	(€ 4,6)
Saldo (baten-kosten)	€ 2,5	€ 9,5	€ 7,9
Interne rentevoet (IR) ²⁶	13%	28%	31%

Een positief saldo van kosten en baten resulteert voor alle drie de scenario's voor de toekomstige energievoorziening. Dit betekent dat dit positieve saldo robuust is voor de invulling van de energievoorziening en dat ook zonder een serieuze Nederlandse beleidsinspanning op klimaatgebied (BAU 2050) een positief saldo resulteert. Voor de klimaatscenario's is het saldo aanzienlijk positiever, waarbij een positief saldo resulteert voor zowel K&K 2050 en H&G 2050 van ca. 9,5 (NCW) respectievelijk 8 miljard Euro (NCW) over een periode van 40 jaar.

Dit betekent dat de invoering van Intelligente Netten ongeacht de verdere ontwikkeling van de energievoorziening tot een voordeel voor de maatschappij leidt en het aantrekkelijk is te investeren in de uitrol ervan. De interne rentevoet varieert daarbij van 13% tot ruim 31%.

Het voordeel van Intelligente Netten komt door verschillende batenposten tot stand (zie Paragraaf 4.5) waarbij de lagere kosten door minder zwaardere netten en lagere kosten voor centraal productievermogen de twee belangrijkste zijn. Bij het scenario H&G zitten de voordelen minder bij het centrale productievermogen, maar juist bij het voorkomen van onbalans. De belangrijkste besparingen op de netten vinden plaats in het middenspannings-net (met name in H&G, in iets mindere mate bij K&K). De baten ontstaan

²⁶ Deze methode is een soort 'omgekeerde' van de NCW-methode. De methode van de Interne Rentabiliteit berekent niet de contante waarde van de kasstromen, maar de rentabiliteit van het investeringsproject, waarbij de som van de contante waarde van de kasstromen gelijk is aan nul.

vooral door directe effecten en in zeer beperkte mate door indirecte en externe effecten (bijv. verontreinigende emissies). Deze effecten zijn te verklaren uit een betere *spreiding* van het energiegebruik en uit de *absolute vraagvermindering*.

Dit laatste effect is een gevolg het afzien van energiefuncties tijdens piekmomenten. Bijvoorbeeld door het na de piek (later) inschakelen van timerklokken en automatische energiefuncties, zodat per saldo minder elektriciteit wordt gebruikt. Dat levert een aanzienlijke besparing van de energiekosten kosten die tegen marktprijzen gewaardeerd wordt. Echter tegenover deze welvaartswinst staat een welvaartsafname als gevolg de welvaart die deze energiefuncties (denk aan binnen- en buitenverlichting) vertegenwoordigen. Het resulterende welvaartseffect als gevolg van *absolute vraagreductie* is dan ook beperkter, maar wel positief.

Daarbij is het nog van belang om op te merken, dat er naast de door ons gekwantificeerde baten ook nog andere effecten optreden die wij niet in geld hebben kunnen uitdrukken. Deze effecten kunnen positief of negatief uitpakken. Voorbeelden hiervan zijn:

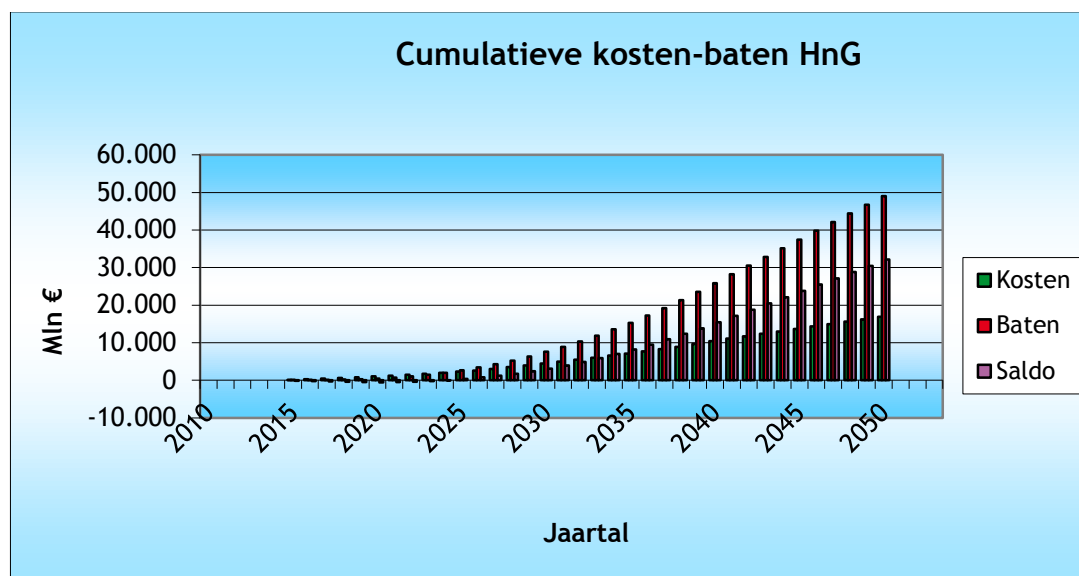
- welvaartswinst van nieuwe producten en dienstverlening die gekoppeld is aan Intelligente Netten en de tijdswinst die hiermee gerealiseerd kan worden;
- verbetering van de beveiliging van de netten;
- verminderde negatieve externaliteiten van inpassing van netinvesteringen;
- werkgelegenheidseffecten.

4.4.1 Kosten en baten in de tijd

In Figuur 33 is de fasering weergegeven, waarin de kosten en baten cumulatief in de tijd zijn weergegeven voor het scenario H&G 2050. Tevens is het resulterende cumulatieve saldo van de kosten en de baten toegevoegd. Figuur 30 laat zien dat de investeringen vanaf 2015 worden gepleegd en geleidelijk met de opschaling van het aantal aangesloten woningen, utiliteit en industriële aansluitingen toeneemt. De figuur laat tevens zien dat de eenmalige investering in centrale datasystemen een relatief beperkte component is van de totale investeringskosten. Substantiële bedragen zitten met name zitten aan de kant van het slim maken van de aansluitingen, welke redelijk meeschalen met gerealiseerde baten. In die zin is bij investeringen in Slimme Netten minder sprake van een klassieke situatie waarin de (eenmalige) kost voor de baat uitgaat. Gecoördineerde investering kunnen zich in die zin binnen een redelijke termijn terugverdienen, mist er voldoende kritische massa van gebruikers geprikkeld dan wel verplicht kan worden tot aanschaf van stuur-en monitoringsapparatuur.

Hierbij zijn wij ervan uitgegaan dat voor de communicatiestructuur ten behoeve van slimheid gebruik kan worden gemaakt van bestaande internetverbindingen die in een beperkt aantal gevallen zal moeten worden geüpgraded. Vanwege de beperkte benodigde bandbreedte voor data-uitwisseling voor een Intelligente Netten (ca. 2 GB per jaar) zijn de kosten deze verwaarloosbaar ten opzichte van het datavolume voor multimedia. Voor een aantal installaties zijn gedurende de looptijd van het project herinvesteringen nodig. Zo mag verwacht worden dat de levensduur van componenten voor sensoren en actuatoren korter is dan de projectduur van 40 jaar. Hiervoor is een herinvestering opgenomen: de afschrijftermijn van slimme hardwarecomponenten is op 12 jaar gesteld. Iedere investering in een dergelijke component wordt iedere 12 jaar gevolgd door een nieuwe, vergelijkbare investering.

Figuur 29 Overzicht van cumulatieve kosten en baten in de loop van de tijd (bedragen in mln. Euro)



4.5 Beeld per scenario

In deze paragraaf in gaan we wat dieper in op de verschillende achtergronden per scenario en belangrijke kosten en baten posten.

Kosten

De invoering van Intelligente Netten kost de maatschappij in totaal 4,6 miljard Euro (CW). Hiervan bedragen de investeringskosten 2,1 miljard Euro (CW) en de operationele kosten 2,5 miljard euro (CW). De investeringen zijn gelijk in elk scenario. Echter, bij een hoge penetratie van decentrale opwekking kan beargumenteerd worden dat iedere wijk een slim distributiestation nodig heeft. Dat zou er op kunnen wijzen dat bijvoorbeeld in het H&G-scenario de penetratie van 'slimheid' hoger moet zijn dan de nu aangehouden 20% van alle distributiestations. Aangenomen is in H&G dat een aanzienlijk deel van de netproblemen al wordt ondervangen door de decentrale opslag, waardoor de 'meerinvestering' in slimheid beperkt kan blijven. Dit geeft temeer het belang aan van de rol van opslag in relatie tot het net bij het H&G 2050-scenario.

Een belangrijk deel van de investering bestaat uit het slim maken van de aansluitingen van de woningen als gevolg van de aanzienlijke volumes (8 miljoen aansluitingen). Deze bestaan uit gecombineerde meet/stuur eenheden om vraagsturing 'achter de aansluiting' mogelijk te maken. Metingen ten behoeve van verbruikers kunnen in feite al worden uitgevoerd in het nulalternatief door de netbeheerder dankzij de slimme meter. De opbouw van de kosten is te vinden in Tabel 13 (een meer uitgebreide uitwerking van de kosten is te vinden in Bijlage B).

Tabel 13 Totaaloverzicht van kosten per scenario, CW in miljarden Euro's (2011)

	BAU	K&K	H&G
Direct			
Investerings Intelligenten Netten	€ -2,1	€ -2,1	€ -2,1
O&M Intelligenten Netten	€ -2,5	€ -2,5	€ -2,5
Kosten voor ruimtes nieuwe apparatuur	PM	PM	PM
Indirect			
Welvaartsverlies verschuiving activiteiten door prijsprikkels	PM	PM	PM
Totaal kosten	€ -4,6	€ -4,6	€ -4,6

Baten

De baten van de grootschalige uitrol van Intelligenten Netten bedragen tussen de 7,1 miljard Euro en 14,1 miljard Euro (CW) afhankelijk van het specifieke scenario voor de energievoorziening. De belangrijkste gekwantificeerde voordelen van de invoering van Intelligenten Netten hebben betrekking op vermeden netinvesteringen. De baten zijn weergegeven in de onderstaande tabel, een meer uitgebreide toelichting op de baten is te vinden in Bijlage B. Hieronder volgt een beeld per scenario.

De baten zijn op twee verschillende manier weergegeven, eerst opgedeeld naar de acht batenposten, vervolgens opgedeeld naar de drie markten waarop die baten tot stand worden gebracht.

Tabel 14 Totaaloverzicht baten per scenario, NCW in miljarden Euro's (2011)

Baten	BAU 2050	K&K 2050	H&G 2050
1. Vermeden netinvesteringen	€ 2,5	€ 5,8	€ 4,1
2. Vermeden netverliezen	€ 0,3	€ 0,5	€ 0,9
3. Vermeden investeringen centraal productiepark	€ 1,2	€ 5,1	€ 1,0
4. Vermeden investeringen grootschalige opslag	€ 0,0	€ 0,0	€ 0,1
5. Efficiënter gebruik centraal productiepark	€ 1,3	€ 1,4	€ 1,6
6. Energiebesparing	€ 0,7	€ 0,7	€ 1,5
7. Vermindering onbalans	€ 0,4	€ 0,5	€ 3,2
8. Externe effecten	€ 0,6	€ 0,1	€ 0,1
9. Welvaartswinst door comfort en tijdswinst	PM	PM	PM
Totaal baten	€ 7,1	€ 14,1	€ 12,5

Directe baten	BAU	K&K	H&G
Transportmarkt	€ 3,5	€ 7,0	€ 6,6
Leveringsmarkt	€ 2,5	€ 6,4	€ 2,6
Onbalansmarkt	€ 0,4	€ 0,5	€ 3,2
Totaal baten	€ 6,5	€ 13,9	€ 12,4

BAU 2050

Binnen het BAU 2050-scenario is sprake van een positief saldo (NCW). Vanaf 2020 wordt beperkt klimaatbeleid gevoerd, gericht op stabilisatie van de huidige productie van hernieuwbare elektriciteit vanaf 2020. Binnen BAU 2050 worden met name conventionele pieken in de netbelasting over de dag afgevlakt door toepassing van tariefdifferentiatie. Dit resulteert in minder benodigd centraal vermogen (1,2 mld Euro CW) en een betere benutting van de netten (2,5 mld. Euro CW), waardoor gemiddelde bedrijfstijd van de netten substantieel verbeterd kan worden. Door het scherpen van de conventionele piek kan bovendien de bedrijfstijd van goedkope basislast centrales worden uitgebreid en de inzet van duur piekvermogen worden teruggebracht. Een

verklaring voor de opvallend positieve uitkomst is bovendien dat de absolute vraag naar elektriciteit in BAU 2050 aanzienlijk is, zodat ook als gevolg van tijdafhankelijke nettarieven (in relatieve zin) sterk kunnen doorwerken. De baten in termen van vermeden netinvesteringen doen zich voornamelijk voor op het middenspanningsnet. Het BAU 2050-scenario laat zien dat bij een conservatief ingeschatte gedragsverandering in het conventionele gebruikspatroon - in dit scenario is het aandeel lokaal opgewekte duurzame energie, warmtepompen, micro-WKK en elektrisch vervoer klein ten opzichte van de andere scenario's - ruim voldoende moet worden geacht om een investering in slimheid gunstig te doen uitvallen voor Nederland.

K&K 2050

Binnen het scenario K&K is sprake van een aanzienlijk positief rendement ten aanzien van de uitrol van Intelligente Netten. Het K&K-scenario is een sterk centraal gericht scenario, waarbij de netten vooral een rol hebben om de centraal opgewekte stroom te transporteren naar de eindgebruikers.

Uit het oogpunt van stuurbaarheid, gelijktijdigheid en daarmee piekbelasting, zijn warmtepompen, micro-WKK en elektrisch vervoer bepalende 'installaties'. In het scenario K&K is juist hier sprake van een sterke penetratie en gelijktijdigheid in het laag- en middenspanningsnet (denk met name aan de gelijktijdigheid van het laden van elektrische auto's na de ochtendspits (zie tekstbox voor nadere toelichting). De belastingpieken op het net worden voornamelijk veroorzaakt door pieken vanuit het middenspanningsnet. Deze pieken in het MS-vlak worden grotendeels veroorzaakt door de inzet van warmtepompen (winter), ruimtekoeling (zomer) en elektrisch vervoer. De piekbelasting van gelijktijdige inzet van de warmtepompen is het sterkst in de winter. De rol van waterstofproductie is dat het traditionele nachtdal wordt gevuld door de inzet van dit systeem en dat daarmee een relatief grote rol wordt weggelegd voor kortstondige fluctuaties in de belasting van warmtepompen en elektrisch vervoer.

Demand response heeft door de hoge penetratie en gelijktijdigheid een sterk spreidende werking op de optredende belastingpieken in het scenario K&K. Dit resulteert in belangrijke baten in termen van vermeden netinvesteringen (5,8 mld. Euro CW) en vermeden investering in centrale productiecapaciteit (5,1 mld. Euro CW). De vermindering van piekbelastingen vindt voornamelijk plaats in het middenspanningsnet. Deze vertalen sterk door naar een lagere behoefte aan centrale productie en aanzienlijke verminderde behoefte aan transportcapaciteit.

De rol van elektrisch vervoer in K&K

In K&K worden elektrische voertuigen in de ochtend massaal op het werk opgeladen met een hoge belasting van het net tot gevolg. In de middag wordt de piek door het aanbod van windelektriciteit (met een aansluiting op MS-vlak) enigszins verminderd en in de avond is er weer een kleine piek. Door demand response bij elektrisch vervoer en de andere gebruikers op middenspanning kan een betere aansluiting van vraag en aanbod (pieken) worden gerealiseerd. Door de vraagzijde in dit scenario te beïnvloeden, kan bevorderd worden dat er tegenover van extra aanbod van windenergie op middenspanningsniveau voldoende vraag staat bij de industrie, utiliteit en glastuinbouw. Overigens wordt ook al in het nulalternatief rekening gehouden met enige vorm van vraagsturing.

De rol van waterstof K&K

Een bepalende factor in dit scenario is de productie van waterstof (nodig voor duurzame mobiliteit) door elektrolyse. Deze productiefaciliteiten zijn aangesloten op het HS-net. Waterstofproductie kent een grote flexibiliteit en de aanname in zowel het nulalternatief als het projectalternatief is dat dit systeem tegen de laagste prijs waterstof produceert. Het traditionele nachtdal wordt gevuld met de belasting van waterstofproductie. Het is dus geen volwaardig opslagsysteem. De waterstofproductie kan wel een productiedal 'vullen' maar op het moment van een piekvraag niet bijspringen. De flexibiliteit van de waterstofproductie betekent wel dat op het moment een piek optreedt, dit systeem kan worden uitgezet. Waterstofproductie reduceert dus geen piek, maar verergert deze ook niet. Pieken (met name die van warmtepompen en elektrisch vervoer) worden niet verergerd door waterstofproductie, maar ook niet afgevlakt. De grote aangenomen gelijktijdigheid van het laden van elektrisch vervoer en de piekvraag van warmtepompen zorgt voor pieken die doorwerken in het gehele systeem tot en met in de hogere netvlakken.

Het aanzienlijke effect op vermeden investeringen in centrale productiecapaciteit is te verklaren vanuit de hoogte en de scherpte van de belastingpieken. Verder is in dit scenario sprake van relatief dure pieklastcentrales. Deze pieklastcentrales worden op duur aardgas gestookt terwijl de kolen-centrales en kerncentrales op relatief goedkope brandstof draaien. Een piekkreductie heeft daarmee een relatief groot effect.

H&G 2050

H&G 2050 laat eveneens een positief resultaat zien van invoering van Intelligente Netten. Binnen dit scenario is sprake van een aanzienlijke opwek van decentrale hernieuwbare elektriciteit door middel van grote aantallen lokale installaties. Als veel installaties tegelijk elektriciteit opwekken en invoeden op het net (en dus niet alle productie lokaal wordt geconsumeerd), wordt het netwerk zwaar belast. Bovendien stellen de fluctuaties extra eisen aan de balanshandhaving. In een normale situatie is sprake van een dagpiek of avondpiek en een nachtdal. In bijvoorbeeld het H&G-scenario is sprake van zoveel duurzame opwekking (zon, wind) overdag, dat er geen sprake is van een dagpiek maar dat overdag juist gestuurd moet worden op meer afname van elektriciteit. Het effect van een lokaal productieoverschot op laagspanningsniveau wordt tevens gedempt door de aanwezigheid van opslag in het LS-net. Op het punt waar het opslagsysteem is aangesloten worden pieken en dalen dus op dagbasis optimaal afgevlakt. Naast lokale opwek is ook sprake van een aanzienlijk ontwikkeling richting elektrificatie van vervoer en inzet van warmtepompen.

Het afvlakken van pieken en het toepassen van energiebesparing resulteert in minder benodigde netcapaciteit (4,1 mld. Euro CW) en vermeden investeringen in het centrale productiepark (1,0 mld. Euro CW). Betere benutting van de bestaande netcapaciteit resulteert bijvoorbeeld in een hogere gemiddelde bedrijfstijd van het gehele elektriciteitsnet. De toename van de bedrijfstijd spits zich toe op het MS-net. De baten in H&G op de leveringsmarkt zijn minder dan in K&K omdat er veel duurzame opwekcapaciteit is opgesteld met een aanzienlijk aanbodoverschot overdag (zon en wind), waardoor veel minder een beroep hoeft te worden gedaan op centrale opwekcapaciteit. Het aanbodoverschot wordt in het nulalternatief afgezet in omliggende landen. Een tekort aan productie wordt geïmporteerd uit het buitenland tegen de hoogste biedladderprijs. Een overschot aan (duurzame) productie wordt geëxporteerd tegen de laagste prijs op de biedladder. Dit is een conservatievere aanname dan bijvoorbeeld een gemiddelde im- en exportprijs en voorkomt een te rooskleurig beeld.

De baten van reductie van het volume op de onbalansmarkt door Intelligente Netten zijn in dit scenario eveneens significant (ruim 3 mld. Euro CW). Aanname is dat door de grote hoeveelheid zon en wind, de behoefte aan onbalansvermogen evenredig toeneemt. Aangenomen wordt dat dit er een besparing van 20% plaatsvindt op het totale onbalansvolume.

De besparingen op opslagcapaciteit zijn beperkt (minder dan 0,1 mld). Grootschalig opslagvermogen is onderdeel van het nulalternatief, aangezien grootschalige opslag een kenmerk is van dit scenario. Uit berekeningen in in Bijlage D.4 op bladzijde 128 blijkt dat kostenopslag een kosteneffectief alternatief vormt voor netverzwaring.

Het is dus geen verdienste van een intelligent net. Hiermee wordt voorkomen dat opslag oneigenlijke kosten of baten toevoegt aan het projectalternatief²⁷. De baten ontstaan als gevolg van een efficiëntere dimensionering van de opslagsystemen. Door toepassing van tijdafhankelijke tarieven kan de opslagcapaciteit (in MWh) van deze systemen verminderd worden bij eenzelfde vermogen (in MW).

Vermeden netkosten in meer detail

Tabel 15 laat zien dat Intelligente Netten een besparing van 5 tot 20% van de netkosten opleveren ten opzichte van de benodigde netcapaciteit zonder Intelligente Netten. Deze besparing is afhankelijk van het betreffende scenario. Binnen het K&K-scenario is de besparing in absolute en relatieve zin het meest aanzienlijk. De totale relatieve besparing ligt in BAU en H&G bij elkaar in de buurt. Enerzijds is er in BAU sprake van een aanzienlijk volume aan elektriciteitsvraag en daarmee een forse claim op de benodigde netcapaciteit, anderzijds is de gelijktijdigheid van opwek- en belastingpieken een stuk minder ten opzichte van H&G. Het effect op de netkosten is tegengesteld.

Tabel 15 Totale netinvesteringen (niet verdisconteerd) per netvlak in 2050 in nulalternatief en procentuele afname projectalternatief

	Totale investeringen nulalternatief (Mld €)	Percentuele afname project-alternatief	Totale investeringen nulalternatief (Mld €)	Percentuele afname project-alternatief	Totale investeringen nulalternatief (Mld €)	Percentuele afname project-alternatief
Netvlak/ scenario	BAU	BAU	K&K	K&K	H&G	H&G
HS	21,9	9,5%	32,1	12,6%	18,5	8,9%
MS	31,9	8,3%	50,1	14,3%	32,7	18,2%
LS	18,4	7,6%	30,7	12,1%	28,0	4,2%
Totaal	72,3	8,5%	112,8	13,2%	79,1	11,1%

²⁷ Het is wel zo dat verwacht mag worden dat met Intelligente Netten, opslagsystemen efficiënter kunnen worden aangestuurd dan zonder Intelligente Netten. Dit zou een extra baat zijn van Intelligente Netten. Het valt echter buiten het bestek van deze studie om deze baten te kwantificeren.

4.6 Gevoeligheidsanalyse

De resultaten van een MKBA zijn sterk afhankelijk van de uitgangspunten en aannames. Om inzicht te krijgen in de mate waarin bepaalde aannames van invloed zijn op de resultaten, kan een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd. In een dergelijke analyse wordt systematisch steeds één aanname gewijzigd, en gekeken wat het effect daarvan is op de resultaten. Concreet is hier gekeken hoe de netto contante waarde van Intelligente Netten verandert indien deze alleen bij huishoudens of alleen bij het MKB wordt uitgerold, en wat de effecten zijn van grotere (of kleinere) besparingseffecten en piekschering. De gevoeligheidsanalyse is alleen uitgevoerd voor het H&G-scenario. De resultaten van deze analyse zijn weergegeven in Tabel 16.

Tabel 16 Resultaten gevoeligheidsanalyse H&G-scenario

Gevoeligheidsscenario's H&G	Kosten	Baten	Netto contante waarde
Basisvariant H&G-scenario	(€ 4,6)	€ 12,5	€ 7,9
Beperkte uitrol			
- Alleen huishoudens LS	(€ 2,8)	€ 3,6	€ 0,8
- Alleen MKB LS	(€ 0,2)	€ 4,6	€ 4,3
Verandering besparing/verschuiving			
- Besparing 0%	(€ 4,6)	€ 8,4	€ 3,8
- Besparing 8%	(€ 4,6)	€ 16,4	€ 11,7
- TOU 0-10% CPP 6%	(€ 4,6)	€ 11,7	€ 7,0
- TOU 8-20% CPP 18%	(€ 4,6)	€ 12,9	€ 8,3
- Salderingsfactor 20%	(€ 4,6)	€ 10,5	€ 5,9
- Salderingsfactor 80%	(€ 4,6)	€ 14,0	€ 9,4

Alleen huishoudens/MKB

In deze analyses is gekeken naar de waarde van Intelligente Netten indien deze alleen uitgerold worden bij huishoudens, respectievelijk midden- en kleinbedrijf (MKB). Dit heeft zowel invloed op de kosten (aansluitingen in de overige sectoren hoeven niet meer intelligent gemaakt te worden) als op de baten (alleen nog maar bij de betreffende sector). Uit Tabel 16 blijkt dat indien alleen huishoudens aangesloten worden op Intelligente Netten, de baten met ruim 8,9 miljard Euro afnemen. Indien alleen MKB wordt aangesloten, is de afname iets kleiner, met ongeveer 7,9 miljard Euro.

De kostenkant laat een heel ander beeld zien: bij aansluiting van alleen huishoudens halveren de investerings- en onderhoudskosten bijna²⁸. Indien alleen het MKB wordt aangesloten, dalen de kosten tot ongeveer 5% van het totaal. Met andere woorden: de baten zijn ongeveer gelijk verdeeld tussen huishoudens en MKB, maar de kosten om huishoudens op Intelligente Netten aan te sluiten zijn veel hoger dan de aansluitingskosten voor MKB. Dat is logisch: huishoudens zijn in aantallen een veel grotere groep met een relatief klein verbruik, waardoor er veel meer aansluitingen voorzien moeten worden van slimheid. Het saldo in het H&G 2050-scenario valt overigens voor beide groepen positief uit. De 4,6 miljard Euro aan totale kosten zijn overigens

²⁸ Merk op dat investeringen in wijk- en distributiestations als autonoom beschouwd zijn, en dus geen deel uitmaken van het projectalternatief maar het nulalternatief.

verder opgebouwd uit 0,3 miljard Euro voor de grote utiliteit en 1,4 miljard Euro voor de industrie.

Verschuiving versus besparing

In deze analyses is gekeken wat de gevolgen zijn indien de besparings- of verschuivingseffecten hoger of lager uitvallen dan uit de literatuurstudie is gebleken. In het H&G-scenario werd uitgegaan van een besparingspercentage van 4%, een verlaging (verschuiving) van de dagelijkse piek van 4% (huishoudens) tot 15% (utiliteit en industrie), en maximaal 12 uur reductie van kritische pieken. De volgende scenario's zijn doorgerekend voor de gevoeligheidsanalyses:

- geen absoluut besparingseffect (0%);
- verdubbeling absoluut besparingseffect (8%);
- verlaging piekverschuiving (0% TOU bij huishoudens, 10% TOU bij commercie/industrie, max. 6 uur CPP);
- verhoging piekverschuiving (8% TOU bij huishoudens, 20% TOU bij commercie/industrie, max. 18 uur CPP).

Merk op dat de besparings- en verschuivingseffecten onafhankelijk van elkaar zijn aangepast. Dus óf wel besparingen zijn verhoogd of verlaagd, óf wel de piekverschuivingen. Geen van deze veranderingen heeft effect op de kosten, die dus gelijk zijn over de scenario's.

De veranderingen hebben wel invloed op de baten. Een verandering van de TOU- en CPP-percentages heeft echter een veel kleiner effect op de totale baten (± 1 miljard Euro) dan verandering van de absolute besparingen (± 4 miljard Euro). Dit komt doordat besparingen niet alleen leiden tot lagere energiekosten, maar ook tot lagere piekbelasting. Een verandering in absolute besparing leidt daardoor ook tot een verandering in benodigde netinvesteringen. Andersom geldt dat de relatieve toe- of afname in baten door verandering van TOU-effecten niet even hoog is als de totale TOU-baten in het uitgangsscenario. Dit komt omdat ook wanneer er geen piekschering plaatsvindt, pieken toch lager liggen door energiebesparingseffecten.

Salderingsparameter

De salderingsparameter weerspiegelt de mate waarin balanceren op lokaal niveau plaatsvindt. In deze standaardscenario's is uitgegaan van een lokale balanceren van 50% op basis van *expert judgement*. Er is weinig ervaring met deze parameter in praktijk, maar de hoogte van deze waarde in het profielmodel beïnvloedt wel de resultaten van de MKBA. Om deze invloed te kwantificeren, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met een lage (20%) en een hoge (80%) salderingsparameter. Deze verandering heeft geen invloed op de kosten, wel op de baten. Zoals blijkt uit Tabel 16, nemen de baten af met ongeveer 2 miljard Euro als de salderingsparameter daalt tot 20%. Bij een toename van de parameter tot 80%, stijgen de baten met ongeveer 1,5 miljard Euro. Beide effecten zijn grotendeels terug te voeren op een af- respectievelijk toename van de vermeden netinvesteringen, en in mindere mate netverliezen. Alhoewel de netto contante waarde van intelligente netten robuust positief blijft bij wijzigen van deze parameter, geeft deze gevoeligheidsanalyse wel aan de hoogte ervan een aanzienlijke invloed heeft op de baten. Het is dus belangrijk in bijv. de proeftuinen praktijkervaring op te doen met de hoogte van deze parameter.

4.7 Verdelingseffecten

In een analyse van de verdelingseffecten wordt geïdentificeerd bij welke partijen de kosten en baten van Intelligente Netten zullen neerslaan. In een goed werkende markt worden de efficiencyvoordelen in de gehele elektriciteitsketen uiteindelijk doorgegeven aan de consument. Dit geldt eveneens voor kosten die hetzij in de vorm van tariefsverhoging hetzij in de vorm van een belastingverhoging op de schouders terecht komen van de eindgebruiker. In een dergelijke constructie is de opdeling naar netbeheerder, energiebedrijven en consument weinig relevant.

Uitgaande van Tabel 17 kunnen de volgende verdelingseffecten worden gesignaleerd als in Tabel 18.

Tabel 17 Toerekening aan groepen

Sector/scenario	Kosten	Baten
Eindgebruiker	Slimme aansluiting	Energiebesparing Welvaartseffecten comfort/tijds winst Niet: lagere energierekening door piekschering
Netbeheerders	Netautomatisering Centrale opslag	Vermeden netinvesteringen
Energiebedrijven	Geen	Vermeden investeringen in productiecapaciteit Efficiëntere inzet centrales Vermeden onbalanskosten
Maatschappij	Geen	Externe effecten
Totaal		

Tabel 18 Verdelingseffecten, CW in mld. Euro

Sector/scenario	BAU		K&K		H&G	
	Kosten	Baten	Kosten	Baten	Kosten	Baten
Huishoudens	(€ 2,7)	€ 0,2	(€ 2,7)	€ 0,2	(€ 2,7)	€ 0,5
Utiliteit (klein)	(€ 0,1)	€ 0,2	(€ 0,1)	€ 0,1	(€ 0,1)	€ 0,3
Utiliteit (groot)	(€ 0,3)	€ 0,1	(€ 0,3)	€ 0,1	(€ 0,3)	€ 0,2
Industrie	(€ 1,4)	€ 0,3	(€ 1,4)	€ 0,3	(€ 1,4)	€ 0,6
Netbeheerders	(€ 0,1)	€ 2,8	(€ 0,1)	€ 6,3	(€ 0,1)	€ 5,0
Energiebedrijven	€ 0,0	€ 2,9	€ 0,0	€ 6,9	€ 0,0	€ 5,8
Maatschappij	€ 0,0	€ 0,6	€ 0,0	€ 0,1	€ 0,0	€ 0,1
Totaal	(€ 4,6)	€ 7,1	(€ 4,6)	€ 14,1	(€ 4,6)	€ 12,4

Dat Intelligente Netten een positief saldo opleveren voor de samenleving is een belangrijke constatering. Vervolgens is de vraag of de kosten en baten ook bij dezelfde partij liggen. Tabel 18 laat zien dat - zonder doorbelasting van kosten en kostenvoordelen aan de consument van investeringen - de consument in feite nadelige financiële effecten ondervindt. De investering in sensoren en actuatoren 'achter de aansluiting' kan in feite niet uit, de eindgebruiker heeft er geen direct belang bij zonder financiële incentive. De investering is van belang voor het systeem, niet voor de individuele consument. Daarentegen komen de financiële baten bij energiebedrijven en netbeheerders (inclusief andere dienstverleners die zich op deze

netbeheermarkt begeven). De eerste profiteert van verminderde investeringen op productiecapaciteit en een efficiëntere productie; de tweede profiteert van de verminderde netkosten (investeringen en optionele kosten).

5 Conclusies

5.1 Vraagstelling

De maatschappelijke kosten-batenanalyse voor de introductie van Intelligente Netten in Nederland heeft als doel om te evalueren of - en onder welke voorwaarden - er een positieve case voor de introductie van Intelligente Netten voor de Nederlandse samenleving te realiseren is. De overheid kan dit gebruiken in beleidsontwikkeling voor intelligente netten en bepalen op welke wijze er beleidsinterventie nodig is. Meer specifiek:

- als basis voor een beslissing over grootschalige uitrol en toepassing van intelligente netten in Nederland;
- om inzicht te krijgen in de wijze waarop en het tempo waarin de introductie hiervan moet plaatsvinden;
- om inzicht te krijgen in de benodigde afstemming met marktpartijen om investeringen in intelligente netten maximaal te laten renderen.

De ontwikkeling van de energievraag, en vooral de te verwachten stijging van het gebruik van elektriciteit, in combinatie met de ontwikkeling van meer duurzame en decentrale energieopwekking met een meer variërend energieaanbod, vragen om investeringen in en aanpassingen van de energie-infrastructuur. Een deel van deze investeringen kan mogelijk worden voorkomen door (andere) investeringen in intelligente netten. Andere baten van intelligente netten zijn afkomstig van slimmer gebruik van energie, bijvoorbeeld op momenten dat energie ruim voorradig is (zon schijnt en er is een stevige wind) of een minder beroep op de onbalansmarkt. Energie kan op die momenten dus goedkoop worden aangeboden. Dit prijsvoordeel moet dan wel doorgegeven kunnen worden aan de energiegebruiker. Met de huidige regelgeving en tariefstructuur is dit niet mogelijk voor de kleinverbruikers (huishoudens en kleine bedrijven).

Het terugkoppelen van informatie over het energiegebruik leidt tot meer bewustwording over het eigen gebruik, en daarmee vaak tot energiebesparing. Dit is echter geen verdienste van een intelligent net omdat deze terugkoppeling ook met de slimme meter en het huidige energiesysteem kan worden verzorgd. Eveneens is ervan uitgegaan dat het automatiseren van vitale onderdelen (onderstations en de wijkkasten) in het net een proces is dat zich grotendeels autonoom voltrekt (is voor netbeheerders nu al usance), vanwege de directe kostenreducties en vermindering van de uitvalduur van netten. Dit impliceert dat deze kosten en baten niet toegerekend zijn aan het projectalternatief. Slimme netcomponenten zijn echter wel noodzakelijk voor het kunnen realiseren van de systeembaten van een Intelligent Net.

5.2 Kosten en baten

Voor elk scenario is een nulalternatief doorerekend waarin er geen Intelligente Netten zijn aangelegd. Vervolgens zijn de kosten en baten bepaald voor elk scenario als Intelligente Netten worden aangelegd (project-alternatief). In de nulalternatieven worden wel slimme meters geplaatst omdat hiertoe reeds is beslist. De kosten hiervan worden dus niet meegenomen in het projectalternatief.

Voor woningen, kleine bedrijven, grote bedrijven is berekend welke extra kosten gemaakt moeten worden achter de meter en in de netten. Tuinders en zware industrie zijn al compleet uitgerust voor intelligente netten zodat daar in het projectalternatief geen extra kosten zijn opgenomen.

Kostenschattingen, met name van ICT-voorzieningen voor een toekomstig, globaal gespecificeerd intelligent net, zijn inherent onzeker. Naarmate de functionaliteit van slimme netten beter in beeld komt en de in te zetten technieken zich uitkristalliseren, kunnen deze kostenschattingen verder aangescherpt worden.

De totale kosten voor intelligente netten hangen af van de aantallen gebouwen, wijkstations en distributiestations in 2050. Aanname is dat dit aantal groeit met de toename van de bevolking.

Op basis van deze gegevens en er van uitgaande dat tuinders en zware industrie al in het nulalternatief volledig gereed zijn voor intelligente netten, komen de investeringen voor slimme netten met volledige automatisering van distributiestations en wijkstations uit op 4,6 miljard Euro (Contante Waarde).

De baten van de Intelligente Netten ontstaan door verschuiving van het gebruik van elektriciteit en door besparing op het verbruik. De verschuiving van het gebruik wordt extra relevant als er fluctuerende bronnen (zon en wind) worden ingevoed. Dit werkt door op negen onderdelen die zijn onderzocht en doorerekend.

- Vermeden netinvesteringen:
 - Dit is in alle scenario's de belangrijkste batenpost.
 - Door verschuiving van het verbruik naar momenten dat het net minder belast is en energiebesparing worden de netten beter benut en is dus de verhouding tussen volume van de vraag en maximaal vermogen gunstiger. Hierdoor is minder verzwaring van de netten nodig. Dit geldt voor alle scenario's. Als het elektriciteitsverbruik hoog is, zijn de uitgespaarde kosten in absolute zin ook het hoogst (scenario K&K 2050).
- Omdat lokale opslag van energie bij veel lokale productie (zon-PV) een kosteneffectieve oplossing is voor netverzwaring, hebben intelligente netten slechts een beperkt voordeel op dit punt.
- Vermeden netverliezen:
 - Door een betere benutting van de netten nemen de verliezen per geleverde kWh af. Het grootste voordeel zit in scenario H&G 2050 met veel decentrale productie.
- Vermeden investeringen centraal productiepark:
 - Door verschuiving en reductie van de piekbelasting wordt naar verwachting ook de piekbelasting van de centrale opwekcapaciteit minder. Er hoeft dus minder geïnvesteerd te worden in centrale opwekcapaciteit. De maat hiervoor is de maximale belasting voor het centrale park in een scenario.
 - De besparingen in het scenario K&K zijn het hoogst doordat hier veel piekcentrales staan met een zeer lage bedrijfstijd die door Intelligente Netten kunnen worden voorkomen.

- Efficiënter gebruik centraal productiepark:
 - In elk projectalternatief zal niet alleen de piekbelasting dalen, maar zullen ook centrales met lagere marginale kosten, vaker gebruikt worden. Het productiepark in zijn geheel wordt daarmee efficiënter.
- Additionele energiebesparing:
 - Slimme netten stellen consumenten in staat om stroomproductie en vraag af te laten hangen van actuele elektriciteits- en onbalansprijzen en de eigen behoefte. Door hoge prijzen kan ook permanent afgezien worden van een functionele energiebehoefte; er treden ook besparingseffecten op zonder dat de functionele energiebehoefte op een ander moment wordt ingehaald.
 - Besparingseffecten zullen zich uiteindelijk vertalen in een verminderde productie van het centrale productiepark. Het effect van de netverliezen op de benodigde netcapaciteit is reeds verdisconteerd in de vermeden netinvesteringen. Het netto effect wordt verdisconteerd tegen de gemiddelde energieprijis (exclusief belastingen en BTW).
- Vermindering onbalans:
 - Door de toename van hernieuwbaar vermogen zal het volume op de onbalansmarkt toenemen. Intelligente netten kunnen deze stijging tegengaan door lokale balancerings. Schatting is dat de volumes op de onbalansmarkt bij hogere penetratie van intermitterende energie zullen toenemen met 10% van het opgestelde intermitterende vermogen. Een voorzichtige inschatting is dat intelligente netten dit volume van de onbalansmarkt met 20% kunnen reduceren.
 - De waarde hiervan wordt afgemeten aan het onbalansvolume maal de onbalansprijs. De onbalansprijs is weer gerelateerd aan de scenario-prijs voor elektriciteit. Door het grote aandeel zon en wind in het H&G-scenario, is in dit scenario het volume van de onbalansmarkt ook groter. Daarbij komt dat door de hogere CO₂-prijs en gasprijs, ook de gemiddelde onbalansprijs per kWh gebalanceerd vermogen hoger ligt.
- Externe effecten:
 - De externe effecten zijn relatief gering omdat de voordelen van intelligente netten naar verwachting door middel van leverings- en transporttransacties worden doorgegeven aan de consument, dus al in de directe baten zijn opgenomen. De energiebesparing is slechts een gering aspect van de voordelen van intelligente netten, zodat de externe voordelen (minder schadelijke emissies) hiervan ook beperkt zijn. Bovendien gaan met name de scenario's K&K en H&G al uit van zeer lage emissies in het nulalternatief.
- Comfortverbetering:
 - Huishoudelijke apparaten kunnen door de gebruiker op afstand worden in- en uitgeschakeld waardoor tijdswinst mogelijk wordt gemaakt. Nieuwe huishoudelijke apparatuur wordt via een plug-and-play concept eenvoudig op het huissysteem aangesloten en hiermee automatisch in het energiesysteem opgenomen.

In Tabel 19 zijn de baten van deze componenten ontstaan in de drie scenario's weergegeven.

Tabel 19 Totaaloverzicht baten per scenario, NCW in miljarden Euro's (2011)

Baten	BAU 2050	K&K 2050	H&G 2050
1. Vermeden netinvesteringen	€ 2,5	€ 5,8	€ 4,1
2. Vermeden netverliezen	€ 0,3	€ 0,5	€ 0,9
3. Vermeden investeringen centraal productiepark	€ 1,2	€ 5,1	€ 1,0
4. Vermeden investeringen grootschalige opslag	€ 0,0	€ 0,0	€ 0,1
5. Efficiënter gebruik centraal productiepark	€ 1,3	€ 1,4	€ 1,6
6. Additionele energiebesparing	€ 0,7	€ 0,7	€ 1,5
7. Vermindering onbalans	€ 0,4	€ 0,5	€ 3,2
8. Externe effecten	€ 0,6	€ 0,1	€ 0,1
9. Comfortverbetering	PM	PM	PM
Totaal baten	€ 7,1	€ 14,1	€ 12,5

5.3 Meerwaarde van Intelligente Netten

De analyse in de MKBA bevat aanzienlijk onzekerheden, o.a. onzekerheid over de hoogte van diverse kostenposten en over de gedragsverandering die bereikt wordt met flexibele tarieven. In alle scenario's leveren Intelligente Netten een positieve bijdrage aan het tot stand komen van de toekomstige energievoorziening. Uit deze studie volgt de verwachting dat Intelligente Netten economische voordelen voor de consument opleveren.

Het voordeel van intelligente netten komt door verschillende batenposten tot stand waarin de lagere kosten door minder zware netten een belangrijke component vormt. In de scenario's BAU 2050 en K&K zijn lagere kosten voor centraal productievermogen een tweede belangrijke batenpost. Bij het scenario Hernieuwbaar & Gas zitten de voordelen minder bij het centrale productievermogen, maar juist bij het voorkomen van onbalans en netuitbreiding.

Een belangrijke conclusie is dus dat het aantrekkelijk is te investeren in slimme aansturingconcepten, zelfs wanneer er geen klimaatbeleid (BAU 2050) wordt gevoerd of wanneer er sprake is van een aanzienlijk centraal karakter van de energievoorziening (K&K 2050). Deze investeringen zijn vanwege de huidige uitleg van netten op piekbelasting al snel rendabel en leveren financiële voordelen in het gehele systeem. Dit vertaalt zich uiteindelijk in lagere leverings- en transporttarieven voor de eindgebruiker. Één van cruciale randvoorwaarden om tot een dergelijk resultaat te komen is de gedragsverandering bij de doelgroep eindgebruikers, en specifiek bij de grote groep kleinverbruikers (huishoudens en MKB). Eindgebruikers kunnen aanzienlijke financiële besparingen realiseren door pieken in het elektriciteitsgebruik af te vlakken en over te gaan tot besparing. In deze MKBA is uitgegaan van een vrij conservatieve schatting van het gedragseffect op basis van een literatuurstudie²⁹. De mate waarin deze gedragsverandering zal optreden is sterk afhankelijk van financiële prikkels op het niveau van de eindgebruiker. Zonder deze gedragsverandering zal de meerwaarde aan de systeemkant, zoals in deze MKBA tot uitdrukking komt, zich niet voordoen. Dit betekent dat adequate incentives en beloningsmechanismen moeten worden ontwikkeld. Binnen het huidige reguleringskader ontbreekt het aan deze prijsmechanismen.

²⁹ Vergelijk bijvoorbeeld met de Roadmap 2050 van de European Climate Foundation waar scenario's zijn gemaakt waarbij is gekeken naar het effect op deze investeringen als de flexibiliteit aan de vraagkant (demand response) 20% bedraagt

Deze baten gaan uit van een bepaalde gedragsverandering bij de consument (verschuiving en besparing van elektriciteit) die onder andere door prijsprikkels op basis van tariefstelling worden bereikt. Tariefstructuren voor levering en transport hoeven niet perse synchroon te lopen. Omdat het echter de verwachting is dat op termijn met name de leveranciers gebruik zullen maken van prijsdifferentiatie (hoge windproductie geeft lage energieprijzen) is het niet ondenkbaar dat deze prikkels juist tegengesteld werken aan hetgeen de netbeheerders voor ogen hebben. Het is dan mogelijk dat de ongelijktijdigheid zelfs minder gunstig wordt dan op dit moment, en dat het huidige netontwerp al niet meer voldoet om de huidige belastingen aan te kunnen. Aangezien de netbeheerder geacht wordt altijd voldoende netcapaciteit beschikbaar te hebben, hoeven deze tegenstrijdige prikkels maar enkele keren per jaar voor te komen tijdens een piekmoment om voor een probleem te zorgen. Asynchrone prikkels kunnen leiden tot suboptimalisatie en aanzienlijke vermindering van het batige NCW-saldo. Het effect van tegen elkaar inwerkende net- en leveringstarieven is in deze studie niet meegenomen, maar is wel een belangrijk aandachtspunt voor het reguleringsbeleid ten aanzien van tariefstructuren. Ook verdient het aanbeveling om te bezien of dit effect in de proeftuinen beter inzichtelijk kan worden gemaakt.

5.4 Wie, de wijze waarop, en het tempo waarin?

Wie investeert?

In alle scenario's is sprake van een toename van het elektriciteitsgebruik en mede door de toename van elektrisch vervoer een toename van de behoefte aan transportcapaciteit. Netverzwaring is dan een optie, maar slimme netten kunnen er voor zorgen dat een deel van de toename van bijvoorbeeld het aantal warmtepompen en elektrische auto's door het net kunnen worden opgevangen zonder dat daarvoor direct grote netverzwaringen nodig zijn. Om te kunnen spreken van een Intelligent Net, moeten enerzijds de aansluitingen en anderzijds de verschillende netcomponenten 'slim' zijn. Diverse partijen zijn hierbij betrokken zoals consumenten, netbeheerders en marktpartijen die diensten en sturingsconcepten willen gaan aanbieden aan de consument. Coördinatie van netinvesteringen (netbeheerders) en investeringen in sturing 'achter de meter' (consumenten en nieuwe dienstverleners) is hiervoor noodzakelijk. Coördinatie is bijvoorbeeld mogelijk in een wijksgewijze of regionale aanpak bij renovatie van bestaande woningen.

Tempo waarin?

Tegelijkertijd is er een timingsvraagstuk: wanneer moet de (gecoördineerde) investering ter hand worden genomen? Een groot deel van het huidige elektriciteitsnet is in de jaren '60 en '70 van de vorige eeuw aangelegd. Naast de noodzakelijke capaciteitsuitbreiding, zijn de netten in de periode tot 2020 dus ook toe aan vervanging. Als een 'dikkere' kabel er eenmaal ligt, dan is de besparing niet meer mogelijk en zal deze opnieuw voor de volgende 50 jaar zijn werk doen en mogelijk overgedimensioneerd blijken te zijn. In dit geval wordt de besparing niet gerealiseerd door een te late timing. Een besparing door middel van een 'lichtere' kabel is alleen mogelijk indien de gedragsverandering tijdig is geëffectueerd voordat de nieuwe ('dikkere') kabel gelegd zou worden. Het lijkt verstandig deze vervangingsgolf goed voor te bereiden met het oog op het toerusten van de distributienetten op de langetermijnbehoefte (integratie van slimme net componenten) en op de toenemende elektriciteitsvraag (elektrische auto's, warmtepompen, e.d.) zodat in de noodzakelijke behoefte capaciteit kan worden voorzien. Ter illustratie: wanneer de netten tot 2020 op de 'oude wijze' worden aangelegd

(vertraging van vijf jaar ten opzichte van de huidige aanvang), leidt dit tot een aanzienlijke daling van de NCW van ca. 1 tot 2 mld Euro afhankelijk van het betreffende scenario's. Daarmee vermindert de NCW dus aanzienlijk, maar blijft het resultaat positief.

Netbeheerders moeten aan de andere kant hard kunnen rekenen op in te boeken besparingen door een tijdige effectuering van vraagresponse. Dit laat zien dat de urgentie van het tijdig investeren in Intelligente Netten groter moet worden ingeschat dan de Task Force aanbeveelt, met name omdat effectieve tariefdifferentiatie gericht op het gehele systeem niet van de een op de andere dag vorm kan worden gegeven.

Wijze waarop?

Ook in de aansluitvolgorde lijkt ruimte tot verdere verbetering van de economische effecten door met name het MKB, kantoorgebouwen, kleinschalige industrie en glastuinbouw als eerste slim uit te rusten. Met name in de aansluiting op middenspanningsvlak zijn in potentie grote verschuifbare vermogens beschikbaar. De literatuurstudie laat duidelijk zien dat de financiële bereidheid (elasticiteit) om de vraag te verschuiven bij bedrijven substantieel groter is dan bij huishoudens. Dit resulteert ook in een aantrekkelijker NCW bij bedrijven ten opzichte van huishoudens.

5.5 Inzicht in benodigde afstemming

Dat Intelligente Netten een positief saldo opleveren voor de samenleving is een belangrijke constatering. Vervolgens is de vraag of de kosten en baten ook bij dezelfde partij liggen. Daarmee kan de rol van de overheid zich beperken tot niet zo zeer zelf te investeren of externe effecten te internaliseren, maar ervoor te zorgen dat diverse beleidsinstrumenten en regulering zo worden ingezet dat coördinatie en afstemming plaatsvindt.

De vraag is in hoeverre partijen bijvoorbeeld in een intelligent net voor een woonwijk moeten investeren als er naar verwachting maar een beperkt percentage van de bewoners de eerste jaren gebruik maakt van de aangeboden technologieën en diensten. Alternatief is dat partijen eerst wachten op voldoende vraag en dan pas gaan investeren. Dat lijkt sterk op een kip-ei situatie.

In deze MKBA is ervan uitgegaan dat de voorzieningen en componenten die noodzakelijk zijn om tot actief en slim netbeheer over te gaan, worden gerealiseerd door de netbeheerder. De belangrijkste reden hiervoor is dat netbeheerders vanuit hun bedrijfsvoering een stevig belang hebben om de netten zo efficiënt mogelijk in te zetten. De directe financiële effecten lijken zich binnen afzienbare termijn te kunnen terugverdienen.

Het belangrijkste punt bij de vraag waar kosten neerslaan en baten ontstaan, is dat enerzijds de baten pas ontstaan als er prijsprikkels zijn die de consument daadwerkelijk belang geeft bij verschuiving of besparing van het elektriciteitsgebruik. Aanpassing van de nettarieven, maar ook leverings-tarieven, met een tijdsafhankelijke component is essentieel voor het creëren van de baten, maar ook voor het kunnen doorbelasten van kosten van de slimme netcomponenten.

Een deel van de baten zal bij de energiegebruikers terecht komen via deze aangepaste tarieven en een deel zal terecht komen bij derden die met diensten en producten de energiegebruiker helpen om het elektriciteitsverbruik te verschuiven en/of te verminderen.

Uit de analyse blijkt dat Intelligente Netten een goede rol kunnen spelen bij de inpassing van decentraal vermogen. De conclusie kan echter niet worden getrokken dat Intelligente Netten decentrale elektriciteitsproductie stimuleren, dat was geen onderdeel van de studie.

Netbeheerders zullen voor de toenemende vraag naar elektriciteit in alle mogelijke toekomstontwikkelingen het elektriciteitsnet in alle spanningslagen moeten uitbreiden, maar met toevoeging van intelligentie kan dat in een andere verhouding tussen vraag en maximaal vermogen dan tot nu toe gebruikelijk. Maar de netbeheerders zullen dit pas gaan doen als de energiegebruiker met grote zekerheid zijn gebruikersgedrag zal aanpassen. Daarom is het aan te bevelen hoge prioriteit te geven aan de ontwikkeling van de regelgeving en ontwikkeling van tijd/locatieafhankelijke beprijzing ten behoeve van de (financiële) effectiviteit van Intelligente Netten.

Literatuur

Abrell and Herold, 2011

J. Abrell and J. Herold

Carbon Capture and Storage, Wind and Nuclear Power, and Technology Learning

Online beschikbaar: http://www.wip.tu-berlin.de/typo3/fileadmin/documents/wip-de/forschung/publikationen/2011/ccs_v026_jh_ann_stewart_09052011.pdf

Albadi and El-Sadaany, 2007

M.H. Albadi and E.F. El-Sadaany

Demand response in electricity markets: an overview

Paper: IEEE, Power Engineering Society General Meeting, Tampa, 24-28 June 2007

Benders et al., 2006

René M.J. Benders, Rixt Kok, Henri C. Moll, Gerwin Wiersma, Klaas Jan Noorman

New approaches for household energy conservation - in search of personal household energy budgets and energy reduction options

In: Energy Policy, vol.34 (2006); p. 3612-3622

Borenstein et al., 2002

S. Borenstein, M. Jaske and A. Rosenfeld

Dynamic pricing, advanced metering, and demand response in electricity markets

Berkeley : Center for the Study of Energy Markets, University of California Energy Institute, UC Berkeley, 2002

Boyd, 2008

Jenny Boyd

Presentation: Keypad meters. The Northern Ireland experience

S.l. : NIE Energy, 2008

CBS

Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS)

<http://statline.cbs.nl>

CE, 2011

Fans Rooijers en Cor Leguijt

Achtergrondrapportage bij NET-document Netbeheer Nederland

Delft : CE Delft, 2011

CE, 2011

Sander de Bruyn, Marisa Korteland, Agnieszka Markowska, Marc Davidson, Femke de Jong, Mart Bles en Maartje Sevenster

Handboek Schaduwprizen : Waardering en weging van emissies en milieueffecten

Delft : CE Delft, 2010

Dam et al., 2010

S. S. van Dam, C.A.Bakker and J.D.M. van Hal

Home energy monitors : impact over the medium-term

In: Building Research & Information, vol. 38, no. 5 (2010); p. 458-469

Darby, 2006

Sarah Darby

The effectiveness of feedback on energy consumption. A review for DEFRA of the literature on metering, billing and direct displays

Oxford : Environmental Change Institute, University of Oxford, 2006

Darby, 2010

Sarah Darby

Literature review for the Energy Demand Research Project

Oxford : Environmental Change Institute, University of Oxford, 2006

ECF, 2010

McKinsey & Company; KEMA; The Energy Futures Lab at Imperial College

London; Oxford Economics and the ECF

Roadmap 2050 : Volume 1- policy report, Technical and Economic Analysis

S.l. : European Climate Foundation (ECF), 2010

EPRI, 2009

Residential electricity use feedback: a research synthesis and economic framework

Palo Alto : Electrical Power Research Institute (EPRI), 2009

ESMA, 2009

Josco C.P. Kester (ECN) María José González Burgos (ENDESA INGENIERÍA) John Parsons (BEAMA)

Smart metering guide : Energy saving and the customer. Edition 2010

Petten : ECN, European Smart Metering Alliance (EMSA), 2009

ETSAP, 2009

Gas Fired Power, IEA-OECD Energy Technology System Analysis Program (ETSAP), Technology Brief E02

Paris : IEA-ETSAP, 2009

Faruqui et al., 2009

Ahmad Faruqui, Sanem Sergici and Ahmed Sharif

The impact of informational feedback on energy consumption. A survey of the experimental evidence

S.l. : The Brattle Group inc., 2009

Faruqui and Sergic, 2010

Ahmad Faruqui, Sanem Sergici

Households response to dynamic pricing of electricity: a survey of 15 experiments

In: Journal of Regulatory Economics, vol. 38, no.2 (2010); p. 193-225

Frontier Economics, 2010

Study on flexibility in the Dutch and NW European power market in 2020

London : Frontier Economics, 2010

Heffner, 2002

Graycon C.Heffner

Configuring load as a resource for competitive electricity markets - review of demand response programs in the U.S. and around the world

Berkely : Environmental Energy Technologies Division, Ernest Orlando

Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, 2002

IEA, 2009

World Energy Outlook 2009

Paris : OECD, International Energy Agency (IEA), 2009

KEMA, 2010

Intelligente meters in Nederland : herziene financiële analyse en adviezen voor beleid

Arhem : KEMA, 2010

King and Delurey, 2005

Chris King and Dan Delury

Twins, siblings or cousins? Analyzing the conservation effects of demand response programs

In: Public Utilities Fortnightly, March (2005); p. 54-61

Lazard, 2008

Presentation: Levelized cost of energy analysis

Online beschikbaar: <http://efile.mpsec.state.mi.us/efile/docs/15996/0145.pdf>

Newsham and Bowker, 2010

G.R. Newsham and B.G. Bowker

The effect of utility time-varying pricing and load control strategies on residential summer peak electricity use: a review

In: Energy policy, vol. 38, no.7 (2010); p. 3289-3296

Owen and Ward, 2010

Gill Owen and Judith Ward

Smart tariffs and household demand response for Great Britain

London : Sustainability First, 2010

RESCON, 2010

Energieadvies op maat via gebruik van slimme meters : Determinanten- en effectonderzoek Oxxio

Amsterdam : Rescon Research & Consultancy, 2010

SEO, 2006

B. Baarsma, M. de Nooij

Calculus van het publiek belang op de elektriciteitsmarkt

Amsterdam : SEO, 2006

Taskforce Intelligente Netten, 2011

E. ten Heuvelhof, G. Bosveld, M.A. Esseboom, A.C. van Huffelen e.a.

Op weg naar intelligente netten in Nederland

Den Haag : Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I), 2011

Torriti et al., 2010

Jacopo Torriti, Mohamed G. Hassan and, Matthew Leach

Demand response experience in Europe : policies, programmes and implementation

In: Energy, Vol. 35, No. 4. (2010); p. 1575-1583

UC Partners et al., 2009

Nuon, Home Automation Europe, UC Partners en de Technische Universiteit Eindhoven

PowerPlayer pilot 2008-2009, finaal rapport

S.l. : Agentschap NL (voorheen SenterNovem), 2009

Uitzinger en Sprengers, 2010

M.J. Uitzinger en M. Sprengers

Factsheet van onderzoek: 'Telemeting en Monitoring', deel Monitoring, 1995

Utrecht : Utrecht : Agentschap NL, NL Energie en Klimaat, 2010

Online beschikbaar:

<http://www.agentschapnl.nl/sites/default/files/bijlagen/Factsheet%20%27Telemeting%20en%20Monitoring%27%20bij%20huishoudens.pdf>

Van Elburg, 2009

Henk van Elburg

Smart metering and in-home energy feedback : enabling a low carbon life style

Paper: ECEEE 2009 summer study : Act! Innovate! Deliver! : Reducing energy demand sustainably

Völlink en Meertens, 2010

Trijntje Völlink en Ree Meertens

De effectiviteit van elektronische feedback op het energie- en waterverbruik

Factsheet van onderzoek : 'De effectiviteit van elektronische feedback op het energie- en waterverbruik' 2007

Utrecht : Agentschap NL, NL Energie en Klimaat, 2010

Online beschikbaar:

<http://www.agentschapnl.nl/sites/default/files/bijlagen/Factsheet%20De%20effectiviteit%20van%20elektronische%20feedback%20op%20energie-%20en%20waterverbruik.pdf>

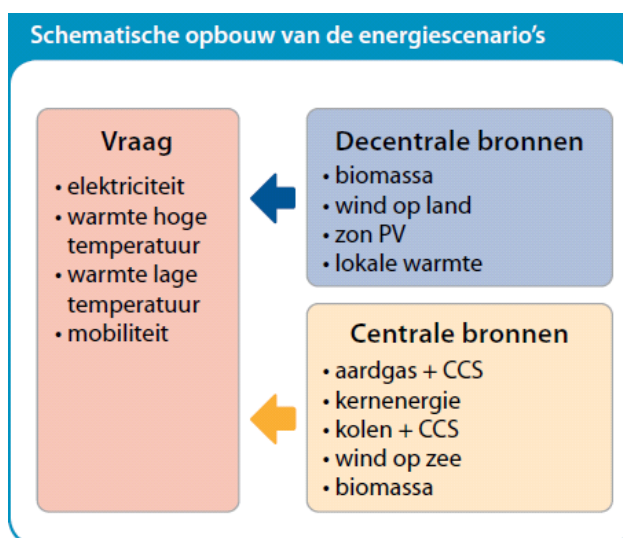
Bijlage A Nadere invulling van energiescenario

A.1 Drie scenario's

De belangrijkste parameters waarmee de drie scenario's zijn ingevuld, zijn:

1. De energievraag.
2. De mate waarin decentrale bronnen worden gebruikt. En
3. De keuze voor de centrale energiebronnen en conversiemethoden.

Figuur 30 Schematische weergave van de onderzochte energiescenario's



Uitgaande van de energievraagontwikkeling (vooral afhankelijk van de groei van de welvaart en de inzet van het beleidsinstrumentarium) en de besparingsmaatregelen zijn verschillende scenario's denkbaar. De beide klimaatscenario's realiseren 80-95% CO₂-emissiereductie in 2050, waarbij centrale en decentrale inzet van hernieuwbare energiebronnen wordt toegepast; daarbij zijn ver verschillen tussen de scenario's. In het BAU 2050-scenario zijn die randvoorwaarden losgelaten, en is geanalyseerd wat de ontwikkeling is wanneer er na 2020 geen aanvullend klimaatbeleid wordt gevoerd.

Hieronder geven we een korte typering van de drie scenario's:

BAU: In dit scenario wordt geen aanvullend klimaatbeleid gevoerd na 2020, en waarin dus ook de 80-95% CO₂-emissiereductie in 2050 niet wordt gerealiseerd. Dit vertaalt zich in een CO₂-prijs die na 2020 afneemt naar € 0/ton CO₂. De productie van hernieuwbare elektriciteit zal stabiliseren op het (absolute) niveau van 2020; 35% van de Nederlandse vraag in 2020. Om dit te kunnen bereiken, is er zonder een prikkel vanuit EU ETS aanvullend Nederlands of Europees beleid nodig om de productie van hernieuwbare energie op pijl te houden. Er is geen sprake van afvang en ondergrondse opslag van CO₂ (CCS). Een belangrijk deel van de centrale vermogensvraag wordt ingevuld met

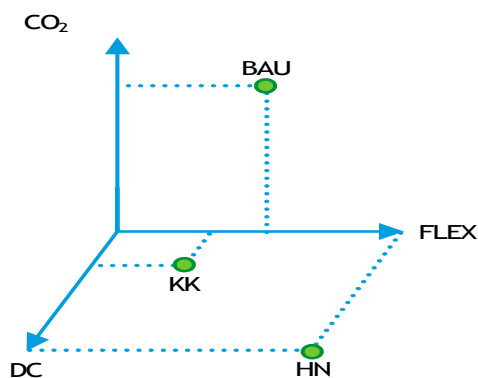
gasgestookt vermogen, en daarmee is het centraal vermogen relatief flexibel schakelbaar.

Hernieuwbaar & Gas: het scenario waarbij zoveel mogelijk hernieuwbare bronnen worden gebruikt aangevuld met gascentrales voor de noodzakelijke flexibiliteit. De CO₂-emissie is met 80-95% gereduceerd, hetgeen betekent dat ook de gascentrales voorzien zullen zijn van groengas en/of CCS. De energieprij is hoog waardoor de efficiency sterk is toegenomen en de vraag is afgenomen. Er is zowel veel lokale hernieuwbare energie (zon-PV, wind, biogas) als centrale windparken. Het scenario kan gezien worden als een uitwerking van het scenario Flex uit het Energierapport 2008 van het ministerie van Economische Zaken.

Kolen CCS & Kernenergie: Het beeld dat past bij dit scenario is er van een centrale energievoorziening. Na 2020 zullen nauwelijks extra hernieuwbare energiebronnen worden toegevoegd. De kolencentrales zijn voorzien van CCS en er zijn meerdere kerncentrales. De energieprij is relatief laag (maar wel hoger dan de huidige energieprij door de hoge CO₂-prijs). De (beperkte) hernieuwbare energiebronnen zijn vooral lokaal. Dit scenario kan gezien worden als een verdere uitwerking van het scenario Power House uit het Energierapport 2008 van het ministerie van Economische Zaken.

Figuur 31 geeft aan hoe de drie scenario's het speelveld omspannen van relevante factoren van invloed op de baten van Smart Grid.

Figuur 31 Overzicht van de drie scenario's



Uiteraard zijn combinaties van de drie scenario's mogelijk en zelfs realistischer. Onderdelen van de drie scenario's zijn minder waarschijnlijk, ook al is het zeer moeilijk om 40 jaar vooruit te kijken.

A.2 Energievraag

De vraagontwikkeling hangt nauw samen met de welvaartsontwikkeling, de prijs van energie, de prijs van CO₂ en het gekozen beleidsinstrumentarium voor emissiereductie en/of hernieuwbare energie. De vraag naar elektriciteit zal daar bovenop groeien door substitutie (bijvoorbeeld nu verwarmen met aardgas, later met groengas of elektrische warmtepomp).

In de twee klimaatscenario's is sprake van een lage en zeer lage energievraag. In BAU is juist sprake van relatief hoge energievraag, en dito CO₂-emissies. In Tabel 20 is de basisvraag naar elektriciteit voor de drie scenario's

weergegeven³⁰. Dit is exclusief substituties vanuit mobiliteit, lage temperatuur warmtevraag en industrie.

Tabel 20 Basiselektriciteitsvraag (excl. substituties) in de scenario's en huidig, in TWh/jr

Scenario	Basiselektriciteitsvraag (TWh/jr)
Huidig	115
BAU 2050	175
Hernieuwbaar & Gas 2050	125
Kolen CCS & Kernenergie 2050	150

Voor substituties wordt in de drie scenario's uitgegaan van verschillende intensiteiten:

Elektriciteit voor mobiliteit: variërend van 0 TWh in BAU tot 96 TWh in Kolen CCS & Kernenergie.

Warmtepompen: variërend van 0 TWh in BAU tot 17 TWh in Kolen CCS & Kernenergie.

Tabel 21 Substitutie naar elektriciteit (in TWh/jaar en GWe), zichtjaar 2050

	BAU		Hernieuwbaar & Gas		Kolen CCS & Kernenergie	
	TWh/j	GWe	TWh/j	GWe	TWh/j	GWe
Elektrische warmtepompen	0	0	3	7	17	
Elektrisch vervoer	0	0	43	x	35	X
Waterstof t.b.v. mobiliteit	0	0	0	0	61	x

Verder is het van belang dat niet de energievraag maar de capaciteitsvraag bepalend is voor de benodigde infrastructuur. Netwerken worden niet gedimensioneerd op volumes, maar op capaciteit. Inpassing van grillige bronnen zoals wind en zon zal effect hebben op het volume van fossiele energiedragers, maar in veel grotere mate op de benodigde capaciteit van de netwerken. Dat geldt ook voor ongestuurde energievraag via warmtepompen en opladen van elektrische voertuigen.

A.3 Decentrale energieproductie

Decentrale productie van warmte en elektriciteit is in beide klimaatscenario's aan de orde en zal veel omvangrijker zijn dan nu het geval is. Op dit moment is de decentrale elektriciteitsproductie circa 40 TWh (warmtekracht bij industrie, gebouwde omgeving en tuinders, windenergie). Decentrale productie is met de huidige inzichten niet genoeg om in de gehele vraag te voorzien. Centrale productie vanuit verschillende energiebronnen blijft noodzakelijk. Autarkie, waarbij regio's in de eigen energievraag kunnen voorzien en alle centrale netten zouden kunnen verdwijnen, is met het te verwachten energiegebruik en de beperkte mogelijkheden van zon en wind in ons dichtbevolkte land niet mogelijk. Zowel voor de ongelijktijdigheid van

³⁰ Bedacht moet worden dat het niet de vraag naar primaire energie (brandstoffen) is, daarvoor moet nog worden gerekend met de conversieverliezen (van gas, kolen, biomassa, etc. naar elektriciteit).

vraag en aanbod, als voor het voorzien in de energievraag van bedrijven en transport is centrale elektriciteitsproductie noodzakelijk. Zonne-energie zal groeien als de kostprijs op het niveau van de consumenten-prijs van elektriciteit komt door kostprijsverlagingen en verhoging van de rendementen (maximaal 40TWh/j oftewel bijna twee maal het huidige elektriciteitsverbruik van de huishoudens); de mate van groei is scenario-afhankelijk. Micro-WKK met groen gas, bodemwarmte, zonnewarmte en aardwarmte zorgen voor dekking van de laagwaardige warmtevraag in de beide klimaatscenario's, in combinatie met gebruik van restwarmte. In het BAU-scenario blijft aardgas de dominante energiedrager voor de laagwaardige warmtevraag.

Er zijn drie decentrale deelscenario's opgesteld die bestaan uit een mix van zon-PV, wind, WKK met groengas. In Tabel 22 zijn die drie deelscenario's weergegeven. De totale decentrale elektriciteitsproductie varieert van 15 TWh (BAU) tot 114 TWh per jaar (Hernieuwbaar & Gas) in het zichtjaar 2050.

Tabel 22 Deelscenario's decentrale energiebronnen; absolute productie (in TWh/jaar en GWe), zichtjaar 2050

2050	BAU		Hernieuwbaar & Gas		Kolen & Kernenergie	
Deelscenario	TWh/j	GWe	TWh/j	GWe	TWh/j	GWe
Wind op land	5	2	15	7	5	2
Zon-PV	1	1	40	30	5	4
Kleine-WK (met groengas in de klimaatscenario's)	5	1	15	3	5	1
Industrieel-WK (met CCS in de klimaatscenario's)	11	3	33	10	26	6
Totaal	22	7	103	65	41	15

A.4 Centrale energiebronnen

In de analyse wordt er van uit gegaan dat alle elektriciteitsvraag in Nederland wordt geproduceerd met lokale bronnen/installaties en met centrale bronnen/installaties. De interconnectiecapaciteit zal zorgen voor balans en stabiliteit en tijdelijke uitwisseling van vermogen. Over de tijdspanne van 40 jaar is geen zinnig woord te zeggen over netto import naar of netto export van elektriciteit uit Nederland naar onze buurlanden.

Zoals al aangegeven zijn de decentrale bronnen nooit genoeg om in de vraag naar elektriciteit te voorzien, zeker niet als er substitutie plaatsvindt door bijvoorbeeld elektrisch vervoer. Daarom is nog in grote mate centrale productie nodig. Deze zal moeten worden geproduceerd uit energiebronnen die geïmporteerd worden; ook het aardgas dat in 2050 nodig is omdat de Nederlandse voorraden uitgeput raken. Alleen wind op zee kan een substantiële centrale energiebron worden van eigen bodem.

Tabel 23 Deelscenario's centrale energiebronnen; procentuele dekking energievraag naar energiebronnen, zichtjaar 2050

	Huidig	BAU	Hernieuwbaar & Gas	Kolen CCS & Kernenergie	Bedrijfstijd
Elektriciteit (%van volume, niet capaciteit)					
Kernenergie	3	5		40	85%
Aardgas	57	50			50%
Aardgas & CCS			50		50%
Kolen	31	45			65%
Kolen & CCS				50	65%
Biomassa	7			5	65%
Wind op land	2				30%
Wind op zee			50	5	40%
Mobiliteit (%)					
Fossiele olie	95	100			
Elektriciteit			70	50	
Biobrandstoffen	5		30		
Waterstof				50	
Hoogwaardige warmtevraag (%)					
Aardgas	100	100			
Aardgas & CCS			100	100	
Laagwaardige warmtevraag (%)					
Aardgas	90	70			
Biomassa			60	5	
Restwarmte	9	15	10	35	
Elektriciteit	1		15	50	
Lokale warmte		15	15	10	

De bedrijfstijd in 2050 van de verschillende centrale productie-eenheden is gebaseerd op WEO (2009).

In Tabel 23 is voor de vier soorten energievraag een procentuele dekking aangegeven van de mogelijke energiebronnen voor de scenario's. Bij mobiliteit worden twee energiedragers geproduceerd uit andere energiebronnen:

- elektrisch vervoer leidt tot een stijging van de elektriciteitsvraag (waarop vervolgens de procentuele dekking van de genoemde bronnen van toepassing is);
- waterstof kan worden geproduceerd uit elektriciteit of uit kolen (met kolenvergassing en CCS) of aardgas (met CCS). In het scenario Kolen CCS & Kernenergie is gekozen voor waterstofproductie uit elektriciteit.

In de cijfermatige uitwerking is geen rekening gehouden met productie (en dus ook transport) van elektriciteit ten behoeve van de Duitse markt. Het is denkbaar dat in scenario Kolen CCS & Kernenergie extra elektriciteitsproductievermogen wordt gebouwd in de Rijnmond en IJmond. Omdat dit vooral via het hoogspanningsnet getransporteerd zal worden, en dat buiten het zichtveld van de Intelligente Netten valt, nemen we dat niet mee in deze studie.

De energievraag voor mobiliteit zal deels elektrisch zijn (en leiden tot verhoging van de elektriciteitsvraag) en deels bestaan uit biobrandstoffen en/of waterstof. Als de huidige vraag naar motorbrandstoffen voor *personen*vervoer wordt gesubstitueerd in een vraag naar elektriciteit zal dat

circa 25 TWh³¹ bedragen. Bij 100% van de *totale* mobiliteitsvraag wordt dat circa 95 TWh. Dat is met de huidige technieken (opslag, actieradius EV, waterstof distributie) nog niet mogelijk, maar ligt voor 2050 wel in het verschiet.

In de scenario's is op twee plaatsen gerekend met opslag van energie, centraal en decentraal. Centrale opslag is bij grootschalige wind op zeelocaties aan de orde (scenario Hernieuwbare energie & Gas). De totale energieproductie (11 GW) zal niet altijd samenvallen met de energievraag, zodat opslag noodzakelijk is. Bij voorkeur zal opslag plaatsvinden bij de windparken om daarmee de transportcapaciteit te beperken.

Bij een groot aandeel zon-PV (in het scenario hernieuwbare energie + gas) zal ook op decentraal niveau een behoefte ontstaan aan opslag om de lokale netten minder te hoeven verzwaken. Als op woningen 30 m² zonnepanelen liggen kan de piekbelasting per woning oplopen tot 3 kW, hetgeen voor de woningaansluiting geen probleem is, maar als een hele wijk van dergelijke woningen is voorzien, dan is het lokale net door de grote gelijktijdigheid daar (nu) niet op berekend.

In het BAU-scenario is geen decentrale of centrale opslag verondersteld.

A.5 Totale vraag energiebronnen

De technieken die in het vorige hoofdstuk zijn genoemd op lokaal en wijkniveau dragen bij aan de invulling van de lokale warmtevraag (groen gas met micro-WKK, zon, aardwarmte, bodemwarmte), waarbij de extra elektriciteitsvraag is verdisconteerd in de totale elektriciteitsvraag.

In Tabel 24 is voor de drie scenario's per energiebron aangegeven hoeveel PJ wordt gebruikt. Hierbij zijn ook al de decentrale energiebronnen (zon-PV, wind op land en groen gas-WK) opgenomen.

Voor de MKBA In is alleen de elektriciteitsvraag en -productie relevant. Wanneer we dit uitzetten voor de drie scenario's dan ontstaat Tabel 24. De cijfers in de tabel zijn uitgedrukt in TWh/jr (eventuele optelverschillen in de tabel komen voort uit afrondingen).

Tabel 24 Elektriciteitsvraag 2050

TWh/jaar	BAU	H&G	K&K
Basisvraag	175	125	150
Elektrisch vervoer	0	43	96
Warmtepompen	0	3	17
T.b.v. industrie	0	4	4
Totale vraag	175	174	268
Decentrale productie	22	103	41
- Kleine WK	5	15	5
- Wind	5	15	5
- Zon-PV	1	40	5
- Grote WK	11	33	26
Centrale productie	153	75	215

³¹ Ca. 3.600 kWh per jaar per huishouden (* 7 miljoen huishoudens). Corresponderend met ca. 20.000 km/jr.

De verdeling over de gebruikssectoren is in 2005 (CBS):

Industrie	22%
Kleine industrie	26%
Glastuinbouw	4%
Grote utiliteit	9%
Kleine utiliteit	17%
Huishoudens	22%

Bij de berekeningen wordt rekening gehouden met het feit dat verschillende vraagsectoren op verschillende netvlakken afnemen/invoeden:

- grote industrie HS;
- kleine industrie MS;
- glastuinbouw MS;
- grote utiliteit MS;
- kleine utiliteit LS;
- huishoudens LS;
 - stedelijk bestaand;
 - nieuw;
 - overig.

In Tabel 25 is de vraag verder toegedeeld naar de vraagsectoren en de drie netvlakken.

Tabel 25 Verdeling van de elektriciteitsvraag en decentrale productie over de netvlakken voor elk van de drie scenario's; zichtjaar 2050

TWh/j	Huidig	BAU 2050	H&G	K&K
Totaal centraal	71	153	71	227
HS Vraag				
Industrie	35	45	33	44
Substitutie	-	-	4	62
Vanuit MS	58	115	54	132
Grote WK	-/-22	-/-11	-/-20	-/-16
Opslagverlies	-		3	-
MS Vraag	36	65	65	71
Kleine industrie	20	42	31	38
Grote utiliteit	11	16	11	11
Glastuinbouw	5	7	5	5
Warmtepompen	-	-	1	3
Elektrisch vervoer	-	-	17	14
Vanuit LS	44	64	36	82
Decentrale productie	-/-22	-/-14	-/-46	-/-21
LS Vraag	44	64	73	87
Huishoudens	24	35	25	32
Kleine utiliteit	20	30	20	20
Warmtepompen	-	-	3	14
Elektrisch vervoer	-	-	25	21
Decentrale productie	-	-/-1	-/-37	-/-5
Totaal decentraal	44	22	103	41
Totale productie	115	175	174	268

Voor de jaren tussen 2010 en 2050 wordt een exponentiële schaal genomen van 2010 naar de nieuwe waarde in 2050.

A.6 Netconsequenties scenario's

De investeringen in netuitbreiding worden niet zozeer bepaald door de jaarlijkse volumevraag, maar vooral door de momentane piekvraag waarin moet worden voorzien. In 'Net voor de Toekomst' is juist op dat aspect de nadruk gelegd. Bij de regionale netten speelt dit vooral bij elektriciteitsnetten, aangezien door voortgaande energiebesparing de huidige gasdistributienetten geen capaciteitstekorten zullen gaan kennen.

Bij elektriciteitsnetten is dat juist wel het geval, door toenemende inzet van:

- zon-PV;
- elektrisch personenvervoer;
- elektrische warmtepompen;
- airconditioning;
- toename van de elektriciteitsvraag van allerlei apparaten (meer apparaten en meer gebruik ervan);
- inpassing windenergie;
- HRe-ketels.

Bij al deze technieken zijn niet alleen aannames nodig over de penetratiegraad in elk peiljaar, maar ook over zaken als de laadinfrastructuur van elektrisch vervoer (centraal of bij elke woning, langzaamladen of snelladen), het vermogen aan zon-PV op een dak, of het aandeel elektrische piekverwarming in een elektrische warmtepomp. De onzekerheden die daar inherent mee verbonden zijn leveren 'ranges' op in de ontwikkeling van de capaciteitsvraag.

De scenario's zijn door CE Delft en door DCision doorgerekend naar de benodigde elektrische capaciteitsvraag voor elk netniveau en de bijbehorende investeringen, zowel voor nieuwe netten als voor bestaande netten. Daarbij is gewerkt met verschillende soorten piekmomenten, zoals bijvoorbeeld een zonnige zomermiddag met veel wind of een koude windstille winteravond. Belangrijk voor de netten is het patroon van het capaciteitsbeslag van elke techniek en de gelijktijdigheid van die patronen op de verschillende schaalniveaus.

Geen voorschot op Intelligentie

Relevant voor de MKBA Intelligente Netten is dat geen voorschot is genomen op een bepaalde mate van intelligente sturing in de distributienetten, zodat ze goed kunnen dienen als achtergrondscenario voor het nulalternatief in deze MKBA.

Deze aanpak is gevolgd om inzicht te krijgen in de uiterste impact die energieweb-scenario's op de netten en netuitbreidingen potentieel kunnen hebben³². Het zijn daarmee geen blauwdrukken, maar meer extreme 'wat-als'-scenario's.

In Tabel 26 is het daaraan verbonden totale elektrische vermogen in de drie scenario's weergegeven.

³² Dit wordt als volgt geformuleerd in de rapportage: 'Van belang voor een goed begrip van deze analyses is verder dat daar waar gesproken over netverzwaringen er geen rekening is gehouden met belastingsturingen in 'Smart Grids'. Toepassing van dit soort technieken verlaagt de gelijktijdigheid van belastingen en daarmee ook de omvang van netverzwaringen. Hoe groot die verlaging is, is nog niet bekend, en hangt ook sterk af van de mate van maatschappelijke acceptatie van belastingsturing, van de toepassing van ICT-technieken in de energienetwerken, en van de rol van de netbeheerder bij belastingsturing.'

Tabel 26 Elektrisch vermogen (in MWe) per energiebron, voor elk van de drie scenario's; zichtjaar 2050

	BAU	H&G	K&K
Elektriciteit (MWe)			
Kernenergie	1.000	-	12.200
Aardgas	17.500	-	-
Aardgas CCS	-	8.600	2.600
Kolen	12.100	-	-
Kolen CCS	-	-	19.900
Biomassa/groen gas	-	-	-
WK decentraal, groen gas	-	2.900	1.000
WK decentraal, aardgas	1.000	-	-
Industrie WK aardgas CCS	0	7.500	6.000
Industrie WK aardgas	2.700	0	0
Wind op land	2.300	6.800	2.300
Wind op zee	0	10.700	3.200
Zon-PV	800	30.400	3.800
Centrale opslag	-	-	-
Decentrale opslag	-	4.300	-

Bijlage B Toelichting op kosten en baten

B.1 Inleiding

B.2 Kosten

Kosten per unit

Tabel 27 geeft een overzicht van kosten voor de diverse onderdelen van Intelligente Netten. De kostenschatting is gebaseerd op vergelijkbare systemen die nu worden toegepast waarbij ook rekening is gehouden met kostendalingen van ICT in de toekomst. De prijzen van vergelijkbare systemen zijn gebaseerd op eerder uitgevoerde projecten en een review van marktprijzen voor vergelijkbare systemen.

Alle kostenschattingen zijn inclusief 19% BTW.

Tabel 27 Overzicht van kostenschatting voor Intelligente Netten

Gebouw/unit		Sensoren (€)	Actuatoren (€)	Communicatie (€)	ICT hardware (€)	Software (€)	Installatie (€)	Aantallen	CW
Woningen	CAPEX	50	50	70	Inbegrepen	Inbegrepen	Zelf- installatie	8.145.568	(€ 1,2)
	OPEX	8	8	11	Inbegrepen	Inbegrepen	Zelf- installatie	8.145.568	(€ 1,5)
Utiliteit (klein)	CAPEX	40	40	60	Inbegrepen	Inbegrepen	110	395.328	(€ 0,1)
	OPEX	6	6	9	Inbegrepen	Inbegrepen	-	395.328	(€ 0,1)
Utiliteit (groot)	CAPEX	120	3.000	100	1.000	1.000	440	27.597	(€ 0,1)
	OPEX	18	450	15	150	300	-	27.597	(€ 0,2)
Industrie	CAPEX	5.000	5.000	1.000	2.000	5.000	880	40.790	(€ 0,7)
	OPEX	200	200	150	300	1.500	-	40.790	(€ 0,7)
Netauto- matisering (distributie- stations)	CAPEX	15.000	7.500	-	-	-	Inbegrepen	101.236	€ 0,0
	OPEX	600	300	-	-	-	-	101.236	€ 0,0
Netauto- matisering (wijkkasten)	CAPEX	4.500	3.000	-	-	-	Inbegrepen	126.545	€ 0,0
	OPEX	180	120	-	-	-	-	126.545	€ 0,0
Centrale systemen	CAPEX	-	-	-	13.500.000	25.000.000	Inbegrepen	1	(€ 0,0)
	OPEX	-	-	-	2.025.000	7.500.000	-	1	(€ 0,1)
Totaal									(€ 4,6)

CAPEX staat voor kapitaalskosten (investeringen).

OPEX staat voor operationele kosten per jaar (onderhoud en deels vervanging, zie tekst).

Voor woningen is uitgegaan van vijf gecombineerde meet/stuurunits van 20 Euro per stuk (bijvoorbeeld een plug-in unit voor het stopcontact). Het is echter niet uitgesloten dat in de toekomst (zware) huishoudelijke apparatuur met ingebouwde meet/stuurunit wordt geleverd. Een data access point voor communicatie via internet kost circa 60 Euro. Aangenomen wordt dat 80% van de woningen al een internetaansluiting heeft en dat in 20% van de gevallen een extra modem nodig is à 50 Euro. Installatiekosten worden verwaarloosd. De bewoners worden geacht dit zelf te doen. Onderhoud en vervanging wordt geschat op 15% van de investering. Voor communicatiekosten (in een situatie waar nog geen internetaansluiting aanwezig was) wordt 2 Euro per jaar voor datatransport gerekend.

De kleine utiliteit (winkels, kantoren, e.d.) lijkt veel op woningen. Het aantal apparaten en/of installaties geschikt voor sturing (bijvoorbeeld koeling) is beperkt en uitgangspunt is vier gecombineerde meet/stuurunits per kleine utiliteit. Ook voor de centrale communicatie-unit, het modem en de datakosten wordt hetzelfde prijsniveau als voor woningen gehanteerd. Uitgegaan wordt van 90% penetratie van internet (dus in 10% van de gevallen extra kosten voor een modem en datatransport). Wel wordt aangenomen dat deze systemen door een externe installateur worden geplaatst (2 uur à 55 Euro per uur).

Voor grote utiliteit worden naar inschatting hogere eisen gesteld aan de meet- en stuurunits, dus hogere kosten. Het aantal meet- en stuurunits zal verschillen per type utiliteitsgebouw. Uitgangspunt is gemiddeld zes meet- en stuurunits respectievelijk van 20 Euro en 500 Euro. Naast de centrale unit voor communicatie is een apart systeem voor het verwerken van interne en externe data (energieprijzen, belastingvoorspellingen, weerinvloeden, e.d.) en het aansturen van de stuurunits nodig. Kosten voor onderhoud en vervanging van hardware worden geschat op 15% van de investering, voor software worden deze geschat op 30% van de investering. Installatie kost circa één dag.

Voor industrie wordt uitgegaan van duurdere systemen omdat hogere eisen worden gesteld aan betrouwbaarheid, robuustheid en dergelijke. Op basis van een vergelijkbaar project zijn de kosten in Tabel 27 tot stand gekomen. Installatietijd (inclusief testen) wordt geschat op twee dagen. Voor ICT-systemen worden onderhoud en vervanging ingeschat op 15% van de investering (hardware, software en communicatie). Beheer en onderhoud (zonder vervanging) van de sensoren en actuatoren wordt ingeschat op 4%.

Netautomatisering richt zich op het midden- en laagspanningsnet. Het hoogspanningsnet is in het nulalternatief al 'intelligent'. Het betreft de automatisering van distributiestations en wijkkasten. Op basis van expert judgement en kennis uit de markt is een over-all inschatting gemaakt per station of wijkkast (inclusief installatiekosten) waarbij een globale verdeling van kosten naar meetsystemen en stuursystemen is gemaakt. Beheer en onderhoud (zonder vervanging) zijn ingeschat op 4% van de investering, net als voor industriële actuatoren en sensoren.

Bij centrale systemen zijn de kosten voor een conventioneel centraal databeheersysteem als uitgangspunt genomen. Deze zijn ingeschat op circa een half miljoen Euro per systeem. Uitgangspunt zijn twee centrale systemen, waarvan één back-up, en 25 systemen bij diverse marktpartijen (netbeheerders, leveranciers van energiediensten, traders). De softwarekosten liggen beduidend hoger: 5 miljoen Euro voor het centrale systeem en de systemen bij netbeheerders (5 netbeheerders) en één miljoen voor ieder systeem bij de overige partijen. Beheer en onderhoud (inclusief vervanging)

van hardware is op 15% van de investering ingeschat, voor software is dit 30% van de investering.

Tuinders en zware industrie zijn niet meegenomen in de kostenschatting. De glastuinbouw heeft nu al een hoge graad van automatiseringen en centrale (intelligente) aansturing. Kosten behoren tot het nulalternatief. Dit geldt ook voor de zware industrie aangesloten op het hoogspanningsnet.

Totale kosten

De totale kosten voor Intelligente Netten hangen af van de aantallen gebouwen, wijkstations en distributiestations in 2050. Aantallen gebouwen zijn in Tabel 28 weergegeven, het aantal distributiestation en wijkstations in 2009 is bepaald op basis van gegevens van netbeheerders. Aanname is dat dit aantal groeit met de toename van de bevolking.

Op basis van deze gegevens en er van uitgaande dat tuinders en zware industrie al in het nulalternatief volledig gereed zijn voor Intelligente Netten, komen de investeringen voor Intelligente Netten met volledige automatisering van distributiestations en wijkstations uit op circa 4,6 miljard Euro (CW). Tabel 28 geeft een overzicht van investeringen en kosten voor onderhoud en vervanging.

Tabel 28 Overzicht van de totale kosten voor Intelligente Netten bij 100% automatisering van wijkstations en distributiestations

Gebouw/unit	Aantallen		Kosten 2050 (€)		NCW 2050	
	2009	2050	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX
Woningen	7.030.000	8.145.568	1.663	253	(€ 1,2)	(€ 1,5)
Utiliteit (klein)	374.880	395.328	119	10	(€ 0,1)	(€ 0,1)
Utiliteit (groot)	26.170	27.597	188	31	(€ 0,1)	(€ 0,2)
Industrie	38.680	40.790	925	115	(€ 0,7)	(€ 0,7)
Net automatisering (distributiestations)	96.000	101.236	547	22	€ 0,0	€ 0,0
Net automatisering (wijkkosten)	120.000	126.545	228	9	€ 0,0	€ 0,0
Centrale systemen	1	1	46	11	(€ 0,0)	(€ 0,1)
Totaal			3.716	452	(€ 2,1)	(€ 2,5)

CAPEX staat voor kapitaalskosten (investeringen).

OPEX staat voor operationele kosten per jaar (onderhoud en deels vervanging, zie tekst).

B.3 Vermeden netinvesteringen en -kosten

Door de vraagzijde met tariefdifferentiatie te beïnvloeden kan worden bereikt dat er op het moment van extra aanbod lokaal extra vraag tegenover staat. Te denken valt aan verschuivingen van het moment waarop 'normale vraag' naar elektriciteit wordt uitgeoefend: airco's, witgoed zoals koelkasten en vriezers, elektronica, gebouwen worden verwarmd. Daarnaast gaat het - afhankelijk van het scenario - ook om het moment waarop in de toekomst elektriciteit gevraagd wordt: warmtepompen die nodig zijn voor de verwarming van gebouwen, het opladen van elektrische auto's en de mogelijkheid om elektriciteit meer af te stemmen op het moment dat het waait of de zon schijnt.

Vermeden netinvesteringen worden afgemeten aan de maximale belasting in een bepaald netvlak voor een bepaalde gebruikersgroep. De maximale belasting is de maat voor de netinvesteringen en aan de hand van investeringskenticallen per kW wordt de totale investering bepaald. Het verschil tussen het nulalternatief en het projectalternatief geeft aan welke besparing in netcapaciteit (en netinvesteringen) bereikt wordt. Dit effect bestaat uit een *time of use* (time of use) effect en CPP-effect (critical peak pricing). Het *time of use*-effect vindt dagelijks plaats en ontstaat doordat consumenten en zekere bereidheid en flexibiliteit vertonen consumptiemomenten te vervroegen of uit te stellen. Daarbij treedt ook een absolute besparing op omdat niet alle verbruik wordt ingehaald. Het resulterende effect in een gegeven tijdvenster is dus een combinatie van verschuiving van belasting en vermindering van belasting.

Critical peak pricing is een meer substantiële verschuiving van het consumptiemoment die slechts enkele malen per jaar plaatsvindt gedurende extreme belastingpieken. In de regel vindt critical peak pricing maar een aantal uren per jaar plaats. In alle scenario's is aangenomen dat gedurende twaalf uur in het jaar de piek op basis van CPP kan worden gereduceerd.

Tabel 29 Totale netinvesteringen (niet verdisconteerd) per netvlak in 2050 in nulalternatief en procentuele afname projectalternatief

	Totale investeringen nulalternatief (Mld €)	Percentuele afname project- alternatief	Totale investeringen nulalternatief (Mld €)	Percentuele afname project- alternatief	Totale investeringen nulalternatief (Mld €)	Percentuele afname project- alternatief
Netvlak/ scenario	BAU	BAU	K&K	K&K	H&G	H&G
HS	21,9	9,5%	32,1	12,6%	18,5	8,9%
MS	31,9	8,3%	50,1	14,3%	32,7	18,2%
LS	18,4	7,6%	30,7	12,1%	28,0	4,2%
Totaal	72,3	8,5%	112,8	13,2%	79,1	11,1%

Tabel 29 laat zien dat Intelligente Netten een besparing van 5 tot 20% van de netkosten opleveren ten opzichte van de benodigde netcapaciteit zonder Intelligente Netten. Deze besparing is afhankelijk van het betreffende scenario. Binnen het K&K-scenario is de besparing in absolute en relatieve zin het meest aanzienlijk. De totale relatieve besparing ligt in BAU en H&G bij elkaar in de buurt. Enerzijds is er in BAU sprake van een aanzienlijke volume aan elektriciteitsvraag en daarmee een fors claim op benodigd netcapaciteit, anderzijds is de gelijktijdigheid van opwek- en belastingpieken een stuk minder ten opzichte van H&G. Beide effecten werken tegen elkaar.

B.4 Vermeden investeringen in grootschalige opslag

In het scenario H&G 2050 is sprake van grootschalig gebruik van opslag in het laagspanningsnet als kosteneffectief alternatief voor netverzwaring. Deze opslag dient met name om pieken in duurzaam opgewekte energie (zon-PV) op te vangen. Omdat opslag in het H&G scenario een kosteneffectief alternatief voor netverzwaring (zie ook Bijlage D.4) zullen de kosten op basis van vermeden netinvesteringen een redelijke grens vormen. Voor H&G zijn deze effecten derhalve verdisconteerd in de vermeden netkosten. Verder wordt berekend of ten gevolge van piekverschuiving het opslagsysteem wat betreft capaciteit (MWh) minder zwaar gedimensioneerd kan worden. Dit levert een zeer beperkte minderinvestering in het scenario H&G 2050.

B.5 Vermeden investeringen in productiecapaciteit

Door verschuiving en reductie van de piekbelasting wordt naar verwachting ook de piekbelasting van de centrale opwekcapaciteit minder. Er hoeft dus minder geïnvesteerd te worden in centrale opwekcapaciteit. De maat hiervoor is de maximale belasting voor het centrale park in een scenario. Het verschil tussen het nulalternatief en het projectalternatief geeft de besparing weer. Deze wordt gewaardeerd tegen de investering voor de gemiddelde centrale opwekunit omdat niet zeker is welke centrale uitgespaard wordt en het in de regel een combinatie van pieklast- en basislastunits zal zijn.

Tabel 30 Baten als gevolg van investeringen in productiecapaciteit, CW in mld. Euro's 2011

	BAU	K&K	H&G
Vermeden investeringen productiecapaciteit	€ 1,2	€ 5,1	€ 1,0

Tabel 30 laat zien dat de vermeden investeringen in productiecapaciteit bij het K&K 2050-scenario het hoogst zijn gevolgd door respectievelijk BAU 2050 en H&G 2050.

Binnen K&K 2050 bedraagt de waterstofproductie circa een derde van de totale centrale opwekcapaciteit en vertegenwoordigt een groot regelvermogen dat zowel in het nulalternatief als in het projectalternatief wordt ingezet om op basis van een perfecte voorspelling van de belasting, met minimale kosten te produceren. Dit heeft tot gevolg dat de belasting op het hoogspanningsnet relatief vlak is en dat pieken, onder andere van elektrisch vervoer, hard doorvertalen naar additionele vraag om centrale productie. In dit scenario wordt het vermogen aan piekcentrales kortstondig gebruikt en wordt er in het projectalternatief veel bespaard op investeringen in centraal vermogen.

B.6 Vermeden investeringen grootschalige opslag

Enkel in het H&G-scenario vindt grootschalige opslag plaats om de inpassing van decentrale, hernieuwbare energie te bevorderen. Wat betreft het vermogen van de opslagfaciliteiten is aangenomen dat dit gelijk is in het project- en het nulalternatief. Door efficiëntere vraagsturing is in het projectalternatief echter gedurende minder tijd behoefte aan opslag, waardoor in totaal iets minder opslagcapaciteit (in kWh) nodig is. Dit brengt een lichte batenpost van 0,1 mld Euro met zich mee in het H&G-scenario.

Tabel 31 Baten als gevolg van investeringen in opslagcapaciteit, CW in mld. Euro's 2011

	BAU	K&K	H&G
Vermeden investeringen opslagcapaciteit	€ 0	€ 0	€ 0,1

B.7 Efficiënter gebruik productiepark

Naar verwachting zal in een projectalternatief niet alleen de piekbelasting dalen maar zullen ook centrales met lagere marginale kosten, vaker gebruikt worden. Het *productiepark* in zijn geheel wordt daarmee *efficiënter*. Deze efficiëntie komt in de biedladder tot uiting door de uitbreiding van de bedrijfstijd van centrales die als eerste op de merit order worden ingezet. Dit gaat 'ten koste' van centrales later in de merit order. Dit vertaalt zich in lagere gemiddelde kosten voor het produceren van elektriciteit.

Tabel 32 laat zien dat de effecten beperkt als gevolg van een efficiëntere inzet van centrales ruim boven de 1 mld. Euro (CW) liggen. De verschillen per scenario zijn relatief gering. Door de relatieve steile biedladder bij K&K, waarbij eenheden met hoge marginale kosten worden voorafgegaan door eenheden met lagere marginale kosten, is de besparing hier wat hoger dan in de andere twee scenario's. Een verschuiving van productie van piekcentrales naar dalcentrales heeft, bij een steile biedladder, relatief veel effect.

Tabel 32 Baten als gevolg van efficiëntie van het centrale productiepark, NCW in mld. Euro's 2011

	BAU	K&K	H&G
Efficiënter gebruik centraal productiepark	€ 1,3	€ 1,4	€ 1,6

B.8 Energiebesparing

Slimme netten stellen consumenten in staat om stroomproductie en vraag af te laten hangen van actuele elektriciteits- en onbalansprijzen en de eigen behoefte. Door hoge prijzen kan ook permanent afgezien worden van een functionele energiebehoefte; er treden ook besparingseffecten op zonder dat de functionele energiebehoefte op een ander moment wordt ingehaald. Zeker in een economie waarin (energie)behoefte steeds vluchtiger van aard worden

Besparingseffecten zullen zich uiteindelijk vertalen in een verminderde productie van het centrale productiepark. Het effect van de netverliezen op de benodigde netcapaciteit is reeds verdisconteerd in de vermeden netinvesteringen. Het netto effect wordt verdisconteerd tegen de gemiddelde energieprijis (exclusief belastingen en BTW).

Energiebesparing door af te zien van een functionele energiebehoefte kan voor de consument per saldo geen welvaartsverlies opleveren, simpel gezegd omdat hij vrijwillig (en rationeel) zijn gedrag verandert en het welvaartsverlies blijkbaar niet opweegt tegen de kostenbesparing die hij daarmee wint. Kortom in de marge is de kostenbesparing gelijk aan het welvaartsverlies. Gemiddeld genomen kan met de 'rule of half' een inschatting gemaakt worden van de verandering van het consumentensurplus (= welvaartseffect) gekoppeld aan de vermindering van het energiegebruik.

Tabel 33 laat zien dat het energiebesparingeffect in de MKBA weliswaar substantieel is, maar een stuk geringer dan de economische baten als gevolg van verschuiving van piekvraag. De extreme schaarste gedurende deze momenten op de leverings-, transport- en onbalansmarkten zorgen ervoor dat verschuivingen al snel rendabel zijn. De baten van energiebesparing liggen tussen 0,7 miljard (contante waarde) en 1,5 miljard Euro (contante waarde).

Het H&G 2050-scenario laat de meest omvangrijke besparingsbaten zien met name als gevolg van de verdere elektrificeren van de energievraag en de hogere stroom prijs in de dit scenario. Deze ligt hoog doordat voornamelijk gebruik wordt gemaakt van duur aardgas voor centrale opwekking (met een efficiency penalty voor centrales vanwege het toepassen van CCS).

Tabel 33 Baten als gevolg van energiebesparing, CW in mld. Euro's 2011

	BAU	K&K	H&G
Energiebesparing	€ 0,7	€ 0,7	€ 1,5

B.9 Effecten op onbalansmarkt

De verwachting is dat door de toename van duurzaam vermogen, het volume op de onbalansmarkt wel zal toenemen. Intelligente netten kunnen deze stijging tegengaan door lokale balancerings. Schatting is dat de volumes op de onbalansmarkt bij hogere penetratie van intermitterende energie zullen toenemen met 10% van het opgestelde intermitterende vermogen. Een voorzichtige inschatting is dat Intelligente Netten dit volume van de onbalansmarkt met 20% kunnen reduceren. Dit is gebaseerd op expert judgement en verdient nader onderzoek, bijvoorbeeld op basis van de resultaten uit de proeftuinen.

De waarde hiervan wordt afgemeten aan het onbalansvolume maal de onbalansprijs. De onbalansprijs is weer gerelateerd aan de scenarioprijs voor elektriciteit. Door het grote aandeel zon en wind in het H&G-scenario, is in dit scenario het volume van de onbalansmarkt ook groter. Daarbij komt dat door de hogere CO₂-prijs en gasprijs, ook de gemiddelde onbalansprijs per GWh gebalanceerd vermogen hoger ligt. Dit verklaart de relatief hoge baat ten opzichte van de twee andere scenario's.

Tabel 34 Baten als gevolg van verminderde onbalans, CW in mld. Euro's 2011

	BAU	K&K	H&G
Vermindering onbalans	€ 0,4	€ 0,5	€ 3,2

B.10 Indirecte en externe effecten

Tabel 35 laat zien dat de externe effecten relatief gering zijn en dat de voordelen van een slim net naar verwachting door middel van leverings- en transporttransacties worden doorgegeven aan de consument. Dit hangt in de eerste plaats samen met de relatief beperkte mate van energiebesparing die in deze MKBA vooral al in nulalternatief optreedt als gevolg van de slimme meter. Verbeterde gebruiksinformatie zal dan ook de invoering van de slimme gebruiker al beschikbaar zijn voor de consument. Ten tweede nemen de luchtverontreinigende emissies in alle scenario's verder af, alsmede de CO₂-emissies in K&K 2050 en H&G 2050.

Tabel 35 Indirecte en externe effecten, CW in mld. Euro's 2011

Indirecte en externe baten	BAU	K&K	H&G
Emissies naar lucht	€ 0,15	€ 0,13	€ 0,05
Klimaatverandering	€ 0,4	€ 0	€ 0
Welvaartseffecten van tijdswinst en comfort	+/- PM	+/- PM	+/- PM
Welvaartseffecten van werkgelegenheid	PM	PM	PM

Tijdswinst en comfort

Smart grids zijn een platform voor het aanbieden van allerlei nieuwe energiediensten ondersteund door communicatie en metering van energiegebruikende apparaten. Smart grids bieden mogelijkheden voor nieuwe, energiegerelateerde diensten. Door middel van allerlei toepassingen (energieconsole) kunnen niet alleen de vermogensbehoefte en/of het energiegebruik worden geminimaliseerd, maar wordt ook een verhoging van het comfort mogelijk gemaakt. Denk bijvoorbeeld aan comfortverhogende energiediensten zoals in- en uitschakeling van ruimteverwarming op basis van behoefte in plaats van vaste kloktijden. Huishoudelijke apparaten kunnen door de gebruiker op afstand worden in- en uitgeschakeld waardoor tijdswinst mogelijk wordt gemaakt. Nieuwe huishoudelijke apparatuur wordt via een plug-and-play concept eenvoudig op het huissysteem aangesloten en hiermee automatisch in het energiesysteem opgenomen.

Tegenover deze positieve welvaartseffecten van nieuwe, comfortverhogende diensten staan echter ook welvaartsverliezen van - weliswaar vrijwillige - verschuivingen van functionele energiebehoeften. De consument kan (of liever wil) zijn vaatwasser of wasdroger niet meer op het meest geschikte moment aanzetten. Per saldo zullen deze welvaartsverliezen ruim opwegen tegenover de tariefprikkel die gebaseerd is op het efficiencyvoordeel van het andere gebruiksmoment.

Het saldo-effect van deze voor- en nadelen kan zowel positief als negatief uitpakken.

Werkgelegenheid

Verwacht wordt dat de ontwikkeling en implementatie van de innovatieve technologie waarop smart grids zijn gebaseerd, de werkgelegenheid zal bevorderen. Ook kan dit positief bijdragen aan de internationale economische positie van Nederland, op voorwaarde dat Nederlandse bedrijven bij de ontwikkeling hiervan het voortouw kunnen nemen. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om de ontwikkeling van nieuwe technische concepten voor de implementatie van smart grids en voor nieuwe diensten. Dit hangt derhalve nauw samen met het moment waarop gestart zal worden met grootschalige uitrol van Intelligente Netten.

Daarbij merken we op de efficiencywinst is in de keten van elektriciteitsproductie, transport en distributie en levering ook gepaard zal gaan met een afname van het aantal arbeidsplaatsen in de 'traditionele energiesector'. Denk hierbij vooral aan het aanleggen en beheren van de elektriciteitsnetten, maar ook de bouw van nieuwe basislastunits.

Een toename of verlies van banen hoeft niet automatisch te leiden tot een welvaartsverandering. In een goed werkende arbeidsmarkt kunnen deze mensen zo weer aan de slag (door aanpassingen in het loon waardoor de arbeidsvraag weer toeneemt) en er ontstaat in een nieuw arbeidsmarkt-evenwicht een situatie waarin het marginale loon van een uur extra werk precies gelijk is aan de waarde van dit vrije uur³³. In een goed werkende arbeidsmarkt zijn er dus eigenlijk alleen op macroniveau bezien 'overstapkosten' die van tijdelijke aard zijn.

³³ Uit de wetenschappelijke economische literatuur blijkt dat de waarde van vrije tijd inderdaad benaderd kan worden met het reële uurloon.

Bijlage C Uitkomsten literatuurstudie

C.1 Inleiding

De mogelijke effecten van Intelligente Netten zitten zowel in het systeem (minder investeringen in opwekking en netten) als aan de gebruikerskant. Voor een belangrijk deel hangen deze effecten met elkaar samen.

In dit hoofdstuk presenteren we:

- een literatuuroverzicht van mogelijke gedragsveranderingen aan de gebruikerskant die kunnen ontstaan als gevolg van Intelligente Netten;
- de eerste effecten van het elektriciteitsmodel om inzicht te krijgen in de fysieke effecten (vermeden netinvesteringen en piekcentrales).

Door Intelligente Netten krijgt de consument meer keuzemogelijkheden, wordt actuele gebruiks- en prijsinformatie belangrijker en wordt hij of zij door middel van tarief- en prijsdifferentiatie financieel geprikkeld tot gedragsaanpassing. Dit kan zowel absolute besparing als verschuiving naar een ander moment tot gevolg hebben. De consument drijft daarom veel van de veranderingen die mogelijk worden gemaakt door Intelligente Netten. Als innovaties aan gebruikerskant niet tot stand komen, wordt de extra flexibiliteit in het energiesysteem maar zeer ten dele gerealiseerd. Om die reden wordt uitgebreid stil gestaan bij de mogelijke gedragsaanpassingen die door Intelligente Netten worden geëntameerd.

C.2 Literatuuroverzicht gedragsverandering

Doel van deze paragraaf over mogelijke gedragsveranderingen is grip te krijgen op hoeveel energie en netbelasting gereduceerd kan worden door:

- metingen indirect terug te koppelen naar de gebruiker (passief gebruik slimme meter);
- metingen direct terug te koppelen naar de gebruiker (actief gebruik slimme meter);
- transport voor de gebruiker duurder te maken als het net zwaarder wordt belast.

Andere baten, zoals nieuwe (domotica-) diensten, of andere stakeholders, zoals netbeheerders vallen buiten de scope van de literatuurstudie.

C.3 Besparing door meer gerichte gebruiksinformatie

De huidige geplande uitrol van slimme meters (het nulalternatief) voorziet in een verspreiding van slimme meters onder 80 tot 100% van de huishoudens in 2020. Deze ‘passieve’ uitrol stelt gebruikers in staat uitgebreidere feedback te ontvangen dan nu het geval is. Consumenten hoeven immers niet meer zelf de meterkast in om hun energiegebruik uit te lezen, maar data wordt elektronisch beschikbaar en op afstand uitleesbaar. Door verschillende vormen van feedback kunnen besparingseffecten optreden bij gebruikers.

In de literatuur wordt vaak onderscheid gemaakt indirecte en directe feedback. Indirecte feedback is feedback via een externe partij die *achteraf* plaatsvindt (bijv. de jaarlijkse eindafrekening). Verbruiksdata zijn dus niet op ieder moment oproepbaar en worden vaak geleverd door een externe partij.

Bij directe feedback wordt informatie over het energieverbruik direct teruggekoppeld aan de consument. Hieronder valt bijv. feedback via displays in de woonkamer, maar ook het zelf aflezen van de meterstand door consumenten. In het algemeen wordt aangenomen dat directe feedback effectiever is dan indirecte, omdat de consument direct het resultaat van een bepaalde handeling kan zien. Een vaak genoemd besparingspercentage voor indirecte feedback is 0-10%, en voor directe feedback 10-15% (bijv. KEMA, 2010; van Elburg, 2009; RESCON, 2011; EPRI, 2009; ESMA, 2010;). Al deze studies verwijzen voor die schattingen naar Darby (2006), die een uitgebreide review van feedbackstudies heeft uitgevoerd. Belangrijk om op te merken is dat Darby in een recent paper (2010) enkele belangrijke kanttekeningen zet bij die schattingen, waardoor realistische besparingspercentages wellicht naar beneden bijgesteld moeten worden. In de volgende paragrafen wordt apart ingegaan op indirecte en directe feedback.

Indirecte feedback

De huidige manier van afrekenen van de energierekening is in feite een vorm van indirecte feedback: minimaal één keer per twee jaar wordt de energiemeter afgelezen, en de consument krijgt jaarlijks een geaggregeerde eindafrekening. Door invoering van de slimme meter kan de frequentie van deze vorm van feedback worden verhoogd: de slimme meter mag door energiemaatschappijen straks maximaal zes keer per jaar uitgelezen worden voor terugkoppeling aan de consument, tenzij deze uitdrukkelijk en ondubbelzinnig toestemming heeft gegeven vaker uit te lezen. Indien deze tweemaandelijks terugkoppeling goed wordt vormgegeven zou een besparing van 0-10% behaald kunnen worden (Darby, 2006).

Hierbij dienen enkele belangrijke kanttekeningen te worden geplaatst. Zo blijkt dat de studies waarin hogere besparingseffecten gemeten werden kortdurende studies waren met kleine groepen en meerdere feedback-momenten per week (zie Darby, 2006, tabel 2; Darby, 2010). Bij grotere studies nam het besparingseffect door indirecte feedback af, waarvoor verschillende verklaringen mogelijk zijn:

- Het aantal feedbackmomenten ligt lager. Het geven van indirecte feedback is geen binaire optie. Indirecte feedback vindt nu ook al (jaarlijks) plaats, en de frequentie kan toenemen door introductie van slimme meters.
- In kleine experimenten treedt meer persoonlijk contact op tussen de uitvoerder van het experiment en de proefpersonen, waardoor proefpersonen meer gemotiveerd zijn om energie te besparen.
- Het zogenaamde ‘Hawthorne effect’ zorgt ervoor dat deelnemers aan (met name kortdurende) studies hun gedrag vaak veranderen op het moment dat zij weten dat ze geobserveerd worden, wat tot overschatting van het effect kan leiden.
- Deelnemers wordt vaak gevraagd op vrijwillige basis hun meterstanden door te geven (bijv. Wilhite, 1995; 1997, in Darby, 2010). Zo kunnen selectie-effecten van deelnemers optreden, waardoor alleen gemotiveerde consumenten uitgebreide feedback krijgen³⁴.

³⁴ In feite is dit ook directe feedback, omdat consumenten zelf hun meters aflezen. Indien de meter op afstand wordt uitgelezen en tweemaandelijks een rekening wordt gestuurd, is het mogelijk dat deze ongelezen in de papierbak verdwijnen.

Darby (2010) merkt zelf in een later paper ook op dat de hoge schattingen van Wilhite nergens gereproduceerd zijn. Een review van Henryson et al. (2000, in Darby, 2010) van studies in Noordse landen laat bijv. besparingen zien van 0-4%. Tenslotte merkt Darby (2010) op dat in vrijwel geen enkel experiment *alleen* sprake is van meer frequente of uitvoerigere rekeningen: vrijwel altijd gaan zij gepaard met een vorm van voorlichting, wat een deel van de besparingseffecten kan verklaren.

Samenvattend lijkt het effect van indirecte feedback ('enabled' door de invoering van slimme meters) een marginaal effect te hebben op energiebesparing. Schattingen van besparingspotentieel tot 10% die vaak in de literatuur genoemd worden lijken erg hoog en alleen haalbaar met kleine groepen consumenten die wekelijks feedback ontvangen. Recentere schattingen tot 4% lijken realistischer, met de opmerking dat die besparing niet alleen komen door het installeren van de slimme meter, maar door een combinatie van frequentere rekeningen, betere informatie op die rekeningen, en voorlichting over besparingen. Worden deze laatste factoren buiten beschouwing gelaten, dan is het besparingspotentieel door indirecte feedback door invoering van slimme meters nihil. Daar staat tegenover dat door invoering van de slimme meter wel *alle* consumenten meer indirecte feedback kunnen ontvangen. Leveranciers mogen vaker gespecificeerde rekeningen sturen, zonder dat consumenten zelf hun meter uit moeten lezen. Daardoor heeft deze vorm van feedback minder last van selectie-effecten dan bijv. directe feedback, waarvoor de consument zelf nog extra stappen moet ondernemen.

Conclusie indirecte effecten

- besparingspotentieel indirecte feedback nulalternatief: 4% (0-10% bandbreedte);
- besparingspotentieel indirecte feedback projectalternatief: 0% (t.o.v. nulalternatief).

Directe feedback

De eenvoudigste vorm van directe feedback is het zelf aflezen van de energiemeter door consumenten. Deze wordt zich hierdoor bewuster van zijn energiegebruik, wat ertoe kan leiden dat extra besparingsmogelijkheden worden genomen. Voor deze vorm van directe feedback heeft de slimme meter nauwelijks toegevoegde waarde³⁵; het uitlezen kan de consument immers ook al bij een traditionele meter, al is die laatste beperkt tot uitlezen in de meterkast, en kan een slimme meter ook op afstand worden uitgelezen. Daar staat tegenover dat consumenten nu niet meer zelf de kast in *hoeven* te duiken, omdat de leverancier zelf de data uit kan lezen. Het is dus mogelijk dat dit juist een negatief effect heeft op de frequentie waarmee de consument zijn meterstanden ziet (maar zie voorgaande paragraaf over indirecte feedback, die kan toenemen). Data over het effect van slimme-meterinstallatie op uitleesfrequentie en energiebesparing is niet beschikbaar, maar wij gaan er hier vanuit dat dit effect nul is.

Interessanter wordt het wanneer de uitgelezen data via een display in de woonkamer of via een website wordt teruggekoppeld aan de consument. Vaak wordt informatie dan omgezet in huidig en cumulatief verbruik, en evt. in eenheden als CO₂-uitstoot of Euro's. De uitrol van slimme meters is een belangrijke 'enabler' voor dit soort feedbacksystemen, maar het is belangrijk op te merken dat de slimme meter op zich niet in staat is dit soort feedback te

³⁵ Installatie van de slimme meter kan wel een extra bewustwordingsmoment creëren.

geven. Daarvoor moeten consumenten zelf displays kopen of zich aanmelden voor websites waarmee realtime feedback gegeven kan worden. Volgens de vaak geciteerde studie van Darby (2006) kan zo 10-15% energie bespaard worden, maar dit geldt dus alleen voor de consumenten met toegang tot zo'n feedbackmechanisme.

Vrijwel alle studies waarbij gekeken is naar het effect van directe feedback, kijken naar besparingseffecten bij groepen gemotiveerde consumenten die vrijwillig deelnemen aan het experiment. Het effect op de totale populatie is waarschijnlijk een stuk lager, omdat veel mensen geen interesse hebben in energiebesparing³⁶. Daarnaast geldt, net als bij de studies naar indirecte feedback, dat hogere besparingsresultaten behaald worden in kleinere studies. Darby (2010) laat zien dat besparingseffecten tot 20% behaald kunnen worden in steekproeven met hooguit enkele tientallen huishoudens. Experimenten met meer dan 100 (tot maximaal 30.000) huishoudens leverden een besparing van 2-6% op. Faruqi et al. (2009) komt tot een vergelijkbare conclusie: na review van 14 recente studies met in-home displays, schat hij de besparing op gemiddeld 7%.

Eenzelfde beeld komt naar voren uit recente Nederlandse studies naar energiebesparing door directe feedback. Tabel 36 geeft een overzicht van de gevonden Nederlandse veldstudies naar energiebesparing door directe feedback. Hierbij is specifiek gekeken naar het cumulatieve effect van de display. Sommige studies lieten bijv. wel een besparingseffect zien in de experimentele groep, maar als ook de controlegroep (die geen display heeft) besparing vertoont, kan de besparing niet worden toegeschreven aan de feedback op zich. Dit is bijv. het geval bij de studies van UC Partners et al. (2009) en Völlink (2010). De hoogste geobserveerde besparing in elektriciteitsverbruik is 7,8% (Dam et al., 2010). Hierbij dient te worden opgemerkt dat dit effect na 15 maanden was gereduceerd tot 1,9% (5% voor de groep die de display nog steeds in bezit had).

³⁶ Een onderzoek door Motivaction, gebruikt door KEMA (2010) in de 'MKBA slimme meters' gaat er vanuit dat 30% van de consumenten 'moeilijk bereikbaar' is voor energiebesparingsmaatregelen, 45% 'bereikbaar' is en 25% reeds overtuigd is van het belang van besparingen. Deze laatste groep neemt echter al maatregelen, waardoor het besparingspotentieel wellicht lager ligt dan bij de gemiddelde consument.

Tabel 36 Overzicht praktijkstudies feedback

Methode	Gas/elektra/ water	Gemeten besparing	Opmerking	Referentie
Display	Elektra	7,8%	1,9% na 15 maanden	Dam et al., 2010
Website	Elektra Gas	1,5-2,8% 1,8-3%	Groepen ad hoc ingedeeld op basis van inloggedrag Leidt tot selectiebias, waardoor effect nog overschat kan zijn	Rescon, 2011
Display en informatiepakket	Elektra Gas	1% 11%	Besparing is extra besparing t.o.v. informatiepakket alleen	UC Partners et al., 2009
Website	Elektra	4,3%		Benders, 2006
Teletekst kanaal	Gas Elektra Water	0% 0% 6%	Hogere besparing gemeten i.v.m. controlegroep, maar effect valt weg bij 'wachtijdgroep' die geen feedback kreeg. Motivatie lijkt verklarende factor	Völlink, 2010
Display	Elektra	0%	Uitblijven effect werd geweten aan te weinig informatie	Agentschap NL Uitzinger

Net als bij studies naar indirecte feedback, kan ook hier sprake zijn van selectie-effecten. De studie van Rescon (2011) toont besparingen tot 2,8% aan, maar de indeling van groepen vond ad hoc plaats: mensen die na afloop van de studie nog steeds gebruik maakten van de displays, werden ingedeeld in de 'user'-groep, terwijl mensen die bij aanvang wel gebruik maakten van de display maar bij afloop niet meer in de controlegroep ('non-user') werden geplaatst. Een groot deel van de (geringe) besparing wordt daarmee toe te schrijven aan motivatie, en niet per se aan het beschikbaar stellen van de displays. Hieraan gerelateerd geldt ook voor deze studies dat vaak sprake is van overige interventies zoals het beschikbaar stellen van informatiepakketten of persoonlijke adviseurs. Dit verkleint het effect dat toegeschreven kan worden aan de feedbacksystemen verder. Anders geformuleerd zijn de in de literatuur beschreven besparingspercentages alleen haalbaar in combinatie met bredere interventiepakketten, wat extra kosten met zich meebrengt.

Tenslotte hangt de besparing af van het aantal huishoudens dat daadwerkelijk gebruik maakt van een feedback systeem. Het is moeilijk te voorspellen wat de marktpenetratie van displays gaat zijn.

In de MKBA Intelligente Meters (KEMA, 2010) wordt ook een onderscheid gemaakt tussen directe feedback en indirecte feedback. Indirecte feedback gebeurt op basis van het wettelijk verplichte verbruiks- en indicatief kostenoverzicht en op basis van de verwachting dat leveranciers ook portals gaan ontwikkelen voor consumenten om het eigen energieverbruik te kunnen monitoren. Directe feedback gebeurt op basis van een display in de woning die minimaal het momentane energieverbruik weergeeft. Op basis van een

verdeling van de Nederlandse consument in type 'bespaarders' (consumenten die hiervoor niet ontvankelijk zijn, consumenten die ontvankelijk zijn maar ook al acties ondernomen hebben en consumenten die ontvankelijk zijn maar nog geen acties hebben ondernomen) en het besparingspercentage komt de MKBA slimme meters uit op een percentage van 3,2% voor indirecte feedback en een additioneel percentage van 3,2% voor directe feedback. Bij een penetratie van displays van 10% komt dit neer op 0,3% landelijk gemiddeld. Deze waarden liggen iets onder de waarden die in deze MKBA Intelligente Netten zijn aangehouden (4% voor indirecte feedback, 0,5% voor directe feedback). Gezien de spreiding in de resultaten van proefprojecten valt dit verschil binnen de onzekerheidsmarges voor de te verwachten besparingspercentages.

Aan de grootste veldtest tot nu toe (Rossini, 2009, in Darby, 2010) namen 30.000 huishoudens deel, zo'n 20% van het klantenbestand van de betreffende energieleverancier. Na 2 jaar gebruikte 29% van die groep de display nog steeds, ongeveer 6% van het totale klantenbestand. In de studie van Benders et al. (2006) werden 5.000 huishoudens aangeschreven om deel te nemen aan een studie met feedback via een website. Hiervan begonnen er uiteindelijk 347 met de studie, ongeveer 7%³⁷.

Samenvattend lijkt het besparingspotentieel door directe feedback lager dan nu in de literatuur vaak aangenomen wordt. Als we uitgaan van een deelnamepercentage van 10% (positieve schatting) in de populatie en een besparingspercentage van 5% voor die deelnemers, is het besparingspotentieel voor het elektriciteitsgebruik van alle huishoudens 0,5%. KEMA (2010) gaat uit van een penetratiegraad van 20% en een besparingseffect in groep van 3,2%. Voor de MKBA moet vervolgens ook nog rekening gehouden worden met de aanschafkosten van de displays. Het is niet bekend in hoeverre deze besparing cumulatief is t.o.v. die door indirecte feedback.

Conclusie directe effecten

- besparingspotentieel directe feedback nulalternatief: 0,5% (bandbreedte: 0-3,2%);
- besparingspotentieel directe feedback projectalternatief: 0% (t.o.v. nulalternatief).

C.4 Besparing door prijsprikkels

Na de energiecrisis in de VS begin deze eeuw, is veel onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om de piekvraag te verlagen. Dit kan bijv. door prijsprikkels te geven om elektriciteitsverbruik naar andere tijdstippen te verschuiven, of door netbeheerders de mogelijkheid te geven apparaten uit te schakelen in geval van kritieke netbelasting. In dit hoofdstuk wordt kort ingegaan op het verschil tussen gereguleerde en niet-gereguleerde vraagsturing, waarbij in het eerste geval de netbeheerder op afstand apparaten uit kan schakelen, en in het tweede geval de gebruiker zelf bepaalt of hij reageert op prijsprikkels.

Gereguleerde vraagsturing

Gereguleerde vraagsturing is in feite sturing door de netbeheerder op afstand. In de literatuur wordt gereguleerde vraagsturing vaak genoemd onder de 'klassieke' sturingsprogramma's (zie bijv. Albadi en El-Sadaany, 2007, voor een overzicht). Hieronder vallen bijv. onderbrekingsprogramma's. Anders dan de

³⁷ Slechts 190 gezinnen (3,8%) volbrachten de studietijd van 5 maanden, maar dit was deels te wijten aan technische problemen.

naam doet vermoeden, heeft de netbeheerder in deze programma's vaak geen controle over apparatuur op afstand, maar vindt sturing plaats middels extreme prijsprikkels. De netbeheerder vraagt de klant zijn netbelasting te verminderen, op straffe van hoge prijzen voor teveel afgenomen elektriciteit (Borenstein et al., 2002; Heffner, 2002; Albadi en El-Sadaany, 2007). Vooral bedrijven die zelf ook generatievermogen hebben staan nemen vaak deel aan dit soort programma's, en schakelen op kritische momenten met hoge elektriciteitsprijzen over op eigen vermogen. Deze vorm van prijsprikkels wordt in deze review onder niet-gereguleerde vraagsturing behandeld.

Een andere vorm van gereguleerde vraagsturing, is directe sturing. Hierbij krijgt de netbeheerder de mogelijkheid om bijv. airconditioners en warmwaterboilers op afstand uit te schakelen. In de toekomst zou hier ook het opladen van elektrische voertuigen, sturing van warmtepompen, en evt. effecten van decentrale opwek onder kunnen vallen. De scheidslijn tussen gereguleerde en niet-gereguleerde vraagsturing is echter vaag, zeker in geval van sturing met technische hulpmiddelen. In de literatuur wordt bijv. soms onderscheid gemaakt tussen prijsprikkels met en zonder technische hulpmiddelen (bijv. Faruqui en Sergici, 2010). In beide gevallen reageert de klant op een veranderende elektriciteitsprijs, maar in het ene geval besluit de klant zelf om actie te ondernemen, in het andere geval doet een apparaat dat voor hem (bijv. door het uitschakelen van de airconditioning). Omdat het hier in feite ook gaat om prijsprikkels, en dit ook in de literatuur als dusdanig beschouwd wordt, wordt deze vorm van vraagsturing bij niet-gereguleerde vraagsturing behandeld.

Een grensgeval is het op- en ontladen van elektrische voertuigen, waarbij bijv. afgesproken kan worden dat een accu op een bepaald punt in de toekomst een minimum laadpercentage moet hebben, maar dat de netbeheerder mag bepalen op welk moment het laden plaatsvindt. Als gevolg hiervan kunnen laadeffecten van elektrische auto's uitgesmeerd worden over de meest gunstige tijden, waardoor de impact van elektrische auto's op het net kleiner wordt. Belangrijker is echter dat de batterijen in de auto's ook andere diensten kunnen leveren. Deze zijn onderzocht door Willett Kempton in de VS (bijv. Kempton en Tomic, 2005; Kempton et al., 2009). In deze studies worden twee diensten onderscheiden waarvoor elektrische voertuigen gebruikt kunnen worden³⁸: draaiende reserves en frequentieregulatie. Bij draaiende reserves gaat het om de stand by-dienst voor kortdurende leveringen van elektrisch vermogen, die normaal gesproken geleverd worden door het vermogen van reeds draaiende generatoren te verhogen. De duur van evt. leveringen is vaak beperkt tot een uur en worden vaak enkele minuten vooraf aangekondigd, en batterijen zijn zeer geschikt voor zulke kortdurende leveringen. Een grote vloot van elektrische auto's zou een deel van dit draaiende vermogen op zich kunnen nemen. De waarde van deze dienst wordt door Kempton et al. (2009) geschat op USD 10 per MW per uur beschikbaarheid.

Bij frequentieregulatie gaat het om het leveren van vermogen op zeer korte termijn (< 1 minuut), van korte duur (enkele minuten) om de elektriciteitsvraag te volgen. Doordat het elektriciteitsnet nauwelijks opslagcapaciteit kent, moeten vraag en aanbod elkaar nauwgezet volgen. Indien de belasting de levering overstijgt, dalen voltage en frequentie, en moeten extra generatoren worden ingeschakeld. Omgekeerd stijgen voltage en frequentie indien teveel elektriciteit op het net gevoed wordt, waardoor vermogen moet

³⁸ In de artikelen wordt ook piekvermogen genoemd als mogelijke dienst, maar batterijen zijn minder geschikt voor langdurige levering, waardoor de waarde van deze diensten op dit moment laag wordt ingeschat.

worden uitgeschakeld, of extra opnamecapaciteit in het net beschikbaar moet komen. Batterijen van elektrische voertuigen kunnen zowel voor opwaartse als neerwaartse regulatie gebruikt worden, en zijn zeer geschikt om de frequente (enkele honderden keren per dag) maar kortdurende vraag op te vangen. Kempton et al. (2009) schatten de waarde van deze diensten op USD 30-45 per MW per uur beschikbaarheid.

Niet-gereguleerde vraagsturing

Door elektriciteit duurder te maken op piekvraagmomenten en consumenten hiervan op de hoogte te stellen, zal een deel van de afnemers het elektriciteitsverbruik aanpassen. Dit kan twee typen effecten hebben. Ten eerste kan een verschuiving plaatsvinden van het elektriciteitsverbruik, wat meestal het hoofddoel is van studies waarin dit soort interventies is onderzocht. Daarnaast kan echter ook een absoluut besparingseffect optreden, doordat niet iedere aanpassing verschoven wordt in tijd (King en Durey, 2005). Het ligt bijv. voor de hand een wasmachine op een ander tijdstip te laten draaien (verschuivingseffect), maar het uitschakelen van verlichting als gevolg van een prijssignaal zal waarschijnlijk niet leiden tot een hogere vraag op een ander moment (besparingseffect). Niet alle elektriciteitsverbruik is even gevoelig voor prijsprikkels. Sommige delen hebben een hogere prijselasticiteit dan anderen, en een deel van het elektriciteitsverbruik vindt sowieso buiten piekmomenten plaats. Owen en Ward (2010) schatten in dat ongeveer een kwart van het (Britse) huishoudelijke elektriciteitsverbruik beïnvloed kan worden door prijsdifferentiatie. Het gaat dan met name om ‘natte’ apparaten als (af)wasmachines en droogtrommels. Torriti et al. (2009) geven schattingen van het potentieel aan ‘demand response’ in de Europese Unie bij industriële partijen. Deze lopen uiteen van land tot land, maar zou momenteel al ongeveer 3% zijn in UCTE-landen. In Italië is het potentieel van vraagreductie door industriële partijen ongeveer 6,5% van de piekbelasting, in Finland 9%. Let wel dat deze percentages het aandeel in vermogen betreft dat deelneemt aan een vraagsturingsprogramma, maar dat dit geen garantie is dat alle deelnemers daadwerkelijk reageren.

Piekverschuiving

Veel studies naar het effect van prijsdifferentiatie zijn gericht op piekverschuivingen, waarbij verschillende typen differentiering mogelijk zijn. Bij Time Of Use (TOU) differentiatie betalen consumenten een elektriciteitsprijs die afhankelijk is van het tijdstip. Op momenten van piekvraag stijgt de prijs, terwijl deze juist lager is in dalmomenten. Faruqui en Sergici (2010) geven een review van 15 recente studies in Noord-Amerika naar de effecten van prijsdifferentiatie bij huishoudens. Zij concluderen dat het effect van TOU-differentiatie zonder verdere technische ondersteuning leidt tot een verlaging van de piekbelasting van ongeveer 4%. Newsham en Bowker (2010) komen tot een vergelijkbare inschatting van de verlaging van de piekbelasting door TOU-tarieven: ongeveer 5%.

Conclusie piekverschuiving huishoudens

- potentieel piekverschuiving TOU nulalternatief: 0%;
- potentieel piekverschuiving TOU huishoudens projectalternatief: 4% van de piekbelasting van deelnemende klanten (zonder technische ‘enablers’) (bandbreedte: 0-5%).

Hogere piekverschuivingseffecten lijken mogelijk indien bijvoorbeeld ook technologische hulpmiddelen worden ingezet om apparaten te sturen, zoals automatische airconditioningschakelaars. De gemiddelde verlaging van de piekbelasting kan dan oplopen tot 26% (Faruqui en Sergici, 2010), maar de auteurs waarschuwen dat dit cijfer gebaseerd is op een klein aantal waarnemingen, en dat het vrijwel altijd draait om gebruikers die in het bezit zijn van airconditioning. Deze zijn in Nederland bij consumenten veel minder gebruikelijk, maar kunnen wel relevant zijn voor commerciële partijen. Andere verschuivingseffecten die bij commerciële partijen op kunnen treden, zijn bijv. het verschuiven van batchproducties van energie-intensieve producten naar tijdstippen waarop de elektriciteitsprijs lager ligt. Borenstein et al. (2002) nemen aan dat ongeveer 15% van de piekcapaciteit bij commerciële en industriële klanten verschoven kan worden.

Conclusie piekverschuiving marktpartijen

- potentieel piekverschuiving TOU commerciële en industriële partijen projectalternatief: 15% van de piekvraag van deelnemende klanten (uitgaande van installatie technische ‘enablers’) (bandbreedte: 3-25%).

Critical peak pricing

In zeldzame gevallen is de piekvraag zo hoog, dat de maximale opwekcapaciteit benut moet worden. De hoge kosten die dit met zich meebrengt zijn nu verdisconteerd in de gemiddelde tarieven, maar zouden verlaagd kunnen worden door het invoeren van ‘Critical Peak Pricing’ (CPP). Bij CPP worden consumenten in gevallen van extreme piekvraag extra beprijsd voor hun elektriciteitsvraag en worden in feite de volledige kosten afgewenteld op de klant. In feite is dit een vorm van TOU differentiatie, maar met een extra categorie prijzen die slechts een beperkt aantal keer per jaar ingezet kan worden (Borenstein et al., 2002). Deze contractvorm is volgens Faruqui en Sergici (2010) efficiënt in het terugdringen van de piekbelasting, met ongeveer 13-20% reductie, maar merk op dat dit in praktijk slechts een beperkt aantal keer per jaar plaatsvindt.

Indien ook nog technologische middelen worden ingezet om op kritieke momenten vraag te sturen (bijv. door airconditioning uit te schakelen), kan gemiddeld 27-44% van de piek afgehaald worden. Newsham en Bowker (2010) gaan uit van een piekbesparing van 30% door CPP, maar ook hier is een groot aandeel airconditioning aanwezig. Voor deze studie wordt aangenomen dat deze hoge schattingen name haalbaar zijn bij commerciële en industriële partijen.

Conclusie kritische piekverschuiving

- potentieel verlaging piekbelasting CPP nulalternatief: 0%;
- potentieel verlaging piekbelasting CPP projectalternatief zonder technische hulpmiddelen (huishoudens): 16% van de piekbelasting bij deelnemende klanten op kritische momenten (bandbreedte: 13-20%);
- potentieel piekverschuiving CPP projectalternatief met technische hulpmiddelen (commerciële en industriële partijen): 30% verlaging van de piekbelasting bij deelnemende klanten op kritische momenten (bandbreedte: 25-45%).

C.5 Prijssturing door contracten

Prijssturing van de elektriciteitsvraag kan naast tijdsgebonden tarieven eveneens plaatsvinden door contracten. Een belangrijke mogelijkheid is prepaid elektriciteitscontracten waarin de capaciteit gelimiteerd wordt op bepaalde piekmomenten. In een dergelijk systeem kopen consumenten een bepaalde hoeveelheid elektriciteit in via een kastje gekoppeld aan hun slimme meter. Als de credits op zijn, moeten nieuwe gekocht worden. Dit is een vorm van feedback die sterk afhankelijk is van de functionaliteit van de slimme meter.

Ierland is het verst met introductie van dit soort meters, daar hebben ruim 200.000 klanten een dergelijk contract. Gerapporteerde besparingen liggen in de ordegrrootte van enkele procenten. Boyd (2008) rapporteert 0,9%, Owen en Ward (2006) 3%, Darby (2006) 4%. Het is echter de vraag of dergelijke besparingseffecten met prepaidcontracten ook in Nederland haalbaar zijn. Ierland heeft een lager welvaartsniveau dan Nederland, en relatief meer mensen met betalingsproblemen. Prepaidcontracten kunnen gebruikt worden om selectief vermogen naar klanten te reguleren, waardoor zij bijv. alleen elektriciteit kunnen gebruiken voor 'noodzakelijke' energiefuncties. Zo kunnen terugbetalingsregelingen opgezet worden, die waarschijnlijk beter aan zullen slaan in Ierland dan in Nederland. Het besparingseffect van prepaidcontracten (projectalternatief) wordt hier op 'pm' gezet, met de opmerking dat de besparing waarschijnlijk marginaal zal zijn.

C.6 Prijselasticiteit

Zoals opgemerkt, is niet alle elektriciteitsvraag even gevoelig voor prijsdifferentiatie, omdat sommige activiteiten nu eenmaal makkelijker te verplaatsen (of besparen) zijn dan andere. Uit de gereviewde studies komt weinig informatie naar boven over de prijselasticiteit van de vraag. Faruqui en Sergic (2010) komt tot een gemiddelde prijselasticiteit bij huishoudens van 0,14 over het deel dat gesubstitueerd wordt (dus met name natte apparaten). Borenstein et al. (2002) schatten de prijselasticiteit voor real-time beprijzing, en merken op dat een elasticiteit van -0,1 tot -0,25 optreedt bij een klein deel³⁹ van de klanten, maar dat het overgrote deel nauwelijks of niet reageert op prijzen. Owen en Ward (2010) merken op dat niet alleen de absolute prijsprikkel van belang is, maar ook de verhouding tussen piek- en dal-tarieven. Zij merken op dat veel gebruikte piek-dal-verhoudingen 5:1 bedragen voor TOU tarieven, en 10:1 voor CPP.

C.7 Absolute besparing

Zoals eerder genoemd, kan prijsdifferentiatie ook tot absolute besparingen leiden, doordat niet alle piekbesparingen verschoven worden naar andere tijdstippen. De meeste studies naar tariefdifferentiatie rapporteren alleen piekverschuivingen, maar King en Durey (2005) geven een review van studies waarin daarnaast ook is bijgehouden wat de invloed op de absolute besparing was bij huishoudens⁴⁰. Van de 24 Amerikaanse en Europese studies die zij onderzochten, werd in 17 gevallen een absolute energiebesparing

³⁹ Niet nader gespecificeerd.

⁴⁰ NB: over absolute besparingseffecten bij industrie is geen literatuur beschikbaar. Aangenomen wordt dat een vergelijkbaar percentage haalbaar is.

geobserveerd. In 6 studies werd geen besparing gemeten, en in één geval werd juist meer energie gebruikt dan voor de prijsprikkels. De gemiddelde besparing over de 24 studies was 4%.

Conclusie absolute besparing

- absoluut besparingspotentieel TOU nulalternatief: 0%;
- absoluut besparingspotentieel TOU projectalternatief: 4% van totaal verbruik van deelnemende klanten.

C.8 Conclusie literatuuroverzicht

In literatuurstudie zijn de besparingseffecten beschreven die te verwachten zijn bij invoering van Intelligente Netten. Deze besparingen hebben niet allemaal betrekking hebben op eenzelfde deel van de energievraag, en dat niet alle effecten als additioneel beschouwd kunnen worden.

De belangrijkste conclusies uit de literatuurstudie zijn:

1. De meerwaarde aan de gebruikerskant kan niet worden afgedwongen. Gebruikers zullen hier vrijwillig voor kiezen op basis van voor hen aantrekkelijke en haalbare financiële afwegingen. De mogelijkheden om de elektriciteitsvraag te verschuiven zonder op comfort in te leveren zijn niet oneindig.
2. Directe en indirecte terugkoppeling is in principe technisch mogelijk zonder Intelligente Netten. Dit betekent dat besparingen die als gevolg hiervan worden gerealiseerd in principe aan het nulalternatief van deze studie moeten worden toegerekend. Wel kan het zo zijn dat het deelnemingspercentage van consumenten dat actief gebruik maakt van directe feedback (homedisplays) toeneemt als er ook nieuwe dienstverlening en prijsprikkels - door intelligentie toe te voegen - zullen ontstaan op de netmarkt, bijv. als gevolg van toegenomen bewustzijn. Indien een groter deel van de populatie apparatuur aanschaf die directe feedback mogelijk maakt, treden extra besparingseffecten op ten opzicht van een situatie waarin alleen slimme meters beschikbaar zijn.
3. *Demand response* is wel een direct gevolg van Intelligente Netten, waardoor een verlaging van de piekbelasting op kan treden. Aangezien tijdgebonden tariefdifferentiatie technisch en vanuit het huidige reguleringskader niet mogelijk is, dient dit effect aan het project-alternatief te worden toegerekend. Hierbij treedt niet noodzakelijkerwijs absolute energiebesparing op, maar kan een deel van de elektriciteitsvraag verschoven worden naar momenten waarop er minder schaarste is (en de marginale elektriciteitsprijs lager ligt). Dit effect wordt als substantieel in de literatuur aangemerkt.
4. Er is nauwelijks effect te verwachten als gevolg sturing op afstand door netbeheerder op afstand. Altijd zal er sprake zijn van een 'ingeprijsde' verschuiving via een contract. Uiteindelijk is dit ook een financiële prikkel (een vorm van demand response).
5. Op kritische schaarstemomenten is prijsprikkel het groots en ook potentiële verschuiving die daardoor optreedt (CPP). TOU effecten kunnen dagelijks optreden op piekmomenten, CPP effecten treden alleen op gedurende enkele kritieke dagen per jaar waarop de elektriciteitsvraag extreem hoog is.
6. Onderscheid moet worden gemaakt tussen verschillende partijen. Zo moet zowel bij TOU als bij CPP rekening gehouden worden met het onderscheid tussen effecten bij huishoudens enerzijds, en commerciële en industriële

partijen anderzijds. Bij industrie ligt aanzienlijk meer verschuifbaar potentieel, terwijl ook de respons op prijsprikkels groter is.

7. De percentages voor de verlaging van de piekbelasting die in deze paragraaf genoemd worden, zijn t.o.v. de eigen piekbelasting in die groep. Een verlaging van de piekbelasting door TOU bij commerciële partijen van 15% betreft dus niet 15% van de totale piekbelasting op dat moment, maar die van de partijen die deelnemen aan TOU-programma's. Over deelname-percentages zijn geen cijfers bekend.

Tabel 37 Samenvatting besparingseffecten (Tou = time of use; CPP = critical peak pricing)

Effect	Piramidetrede	Besparing nulalternatief (bandbreedte)	Besparing projectalternatief (bandbreedte)
Indirecte feedback (huishoudens)	Passieve slimme meter	4% (0-10%)	0%
Directe feedback (huishoudens)	Passieve slimme meter	0,5% (0-3,2%)	0%
Prepaid contracten	Actieve slimme meter	PM	-
Piekverschuiving TOU (commerciële partijen en industrie)	Niet-gereguleerd/ Gereguleerd	0%	15% (3-25%) (verlaging piekbelasting)
Piekvermindering CPP (commerciële partijen en industrie)	Niet-gereguleerd/ Gereguleerd	0%	30% (23-45%) (verlaging piekbelasting)
Piekverschuiving TOU (huishoudens)	Niet-gereguleerd	0%	4% (0-5%) (verlaging piekbelasting)
Piekvermindering CPP (huishoudens)	Niet-gereguleerd	0%	16% (13-20%) (verlaging piekbelasting)
Energiebesparing door TOU	Niet-gereguleerd	0%	4% (0-5%) Absolute besparing

Bijlage D Beschrijving profielmodel

D.1 Modelhiërarchie en invoerparameters

De basis van het model zijn profielen op uurbasis. Het betreft hier gemiddelde profielen waarin het gelijktijdigheidseffect al is meegenomen. Gebruikte profielen zijn:

- Vaste dagprofielen, bijvoorbeeld voor de belasting van elektrisch vervoer of warmtepompen of de opwekking door micro-WKK of voor de bijdrage van een interconnectie met het buitenland. Er is een profiel voor een doordeweekse dag en voor een weekenddag en afhankelijk van de toepassing van smart grids treedt er een verschuiving op in deze twee profielen. Er worden genormeerde profielen gebruikt en de piekbelasting en penetratie van dit profiel wordt separaat ingevoerd.
- Profielen voor duurzame opwekking (zon-PV en windturbines) gebaseerd op weergegevens en geïnstalleerd vermogen.
- Profielen op basis van een regelstrategie of anders. Bijvoorbeeld elektriciteitsopslag of productie van waterstof voor elektrisch vervoer worden op basis van een vermogensindicator geregeld. Netverliezen worden bepaald per netvlak op basis van het totaal doorgezet vermogen.

Op basis van één of meerdere profielen wordt de belasting (of opwekking) van een gebruikersgroep bepaald. Daarbij wordt nog rekening gehouden met netto en bruto profielen. Dit speelt bij eigen opwekking, bijvoorbeeld bij tuinders. Het uiteindelijke netto netbelastingprofiel voor het net is het resultaat van de bruto profielen voor eigen verbruik en eigen opwekking. De mate waarin bruto profielen uitmiddelen tot netto profielen hangt af van de mate van intelligentie in het net. Aanname is dat met meer intelligentie in het net, verbruik en opwekking lokaal meer worden gebalanceerd en over het gehele net gezien minder netbelasting veroorzaken.

De profielen zijn opgesteld voor bijvoorbeeld één woning, één glastuinbouw-bedrijf of één utiliteitsaansluiting. Het volume per gebruikersgroep (aantal woningen, aantal aansluitingen en dergelijk) is input voor het model. Sommige gebruikersgroepen hebben maar één profiel.

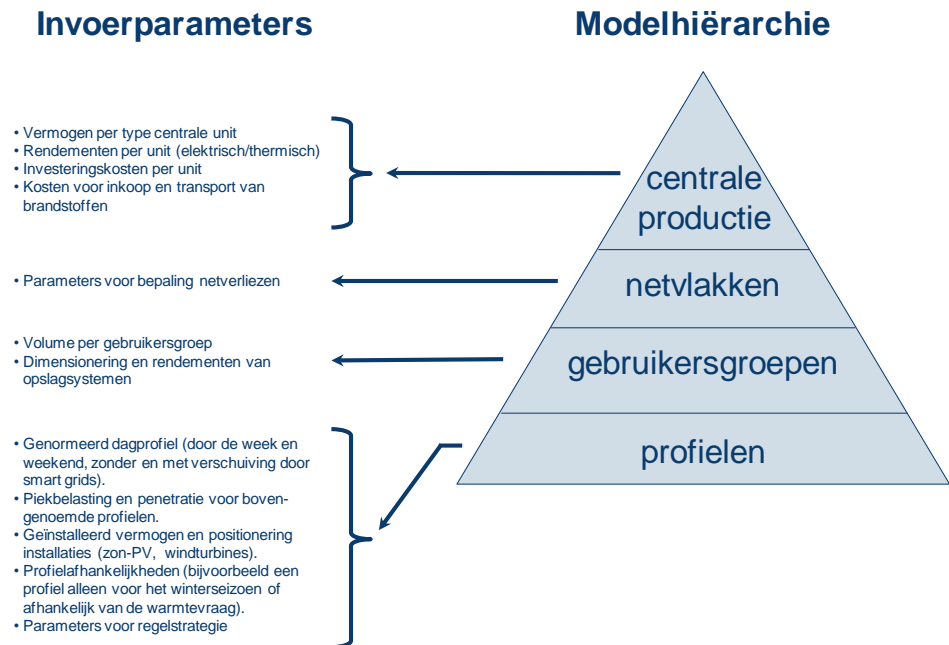
Iedere belastinggroep wordt aan een netvlak (LS, MS, HS) toebedeeld. Binnen één netvlak wordt maar heel beperkt onderscheid gemaakt in netdelen, bijvoorbeeld om de netbelasting in bestaande wijken en nieuwe wijken te onderscheiden. De onderlinge verbindingen tussen netvlakken worden meegenomen in het model. Per netvlak worden de netverliezen bepaald op basis van een karakteristieke verliesparameter per netvlak.

Sommatie van alle profielen, inclusief de netverliezen per netvlak geeft een balanspost (in de regel een tekort aan vermogen). Dit wordt geleverd door centraal vermogen op basis van een biedladder. De biedladder wordt in principe samengesteld uit brandstofkosten, transportkosten voor brandstof, omzetrendementen en dergelijke. Warmtelevering wordt meegenomen in de bepaling van de marginale elektriciteitsprijs. Ook worden investeringskosten meegenomen om zicht te hebben op de gemiddelde investeringskosten en investeringskosten in de marginale opwekeenheid. Ook is het mogelijk om rekening te houden met de regelreserve van centrale opslagsystemen. Dit betekent dat centrale opwekunits niet op vol vermogen draaien maar een

bepaalde reserve aanhouden (bijvoorbeeld 3%). Dit gaat ten koste van het rendement.

In Figuur 32 is de bovenbeschreven modelhiërarchie op hoofdlijnen weergegeven. In Tabel 38 is een overzicht gegevens van profielen, gebruikersgroep en toedeling van gebruikersgroepen aan netvlakken. Deze toedeling wordt verderop in dit document in meer detail uitgewerkt. Ook de diverse profielen/gebruikersgroepen worden verder uitgewerkt in dit document.

Figuur 32 De modelhiërarchie in hoofdlijnen



Tabel 38 Overzicht van gebruikersgroepen en profielen (exclusief opslag)

Netvlak	Gebruikersgroep	Profielen	
		Opwekking	Verbruik
LS	Stedelijk bestaand	<ul style="list-style-type: none"> – Mico-WKK – Aon-PV op daken 	<ul style="list-style-type: none"> – Wassen, drogen, vaatwasser – Restpatroon – Elektrisch vervoer – Warmtepomp
	Stedelijk nieuw	<ul style="list-style-type: none"> – Zon-PV op daken 	<ul style="list-style-type: none"> – Warmtepomp – Elektrisch vervoer – Wassen, drogen, vaatwasser – Restpatroon
	Huishoudens overig	<ul style="list-style-type: none"> – Zon-PV op daken 	<ul style="list-style-type: none"> – Wassen, drogen, vaatwasser – Restpatroon
	Kleine utiliteit	<ul style="list-style-type: none"> – Zon-PV op daken 	<ul style="list-style-type: none"> – Koeling (producten) – Gemiddeld patroon – Elektrisch vervoer – Warmtepompen
	Elektriciteitsopslag	<ul style="list-style-type: none"> – Voor aantal individuele gebruikersgroepen 	<ul style="list-style-type: none"> – Voor aantal individuele gebruikersgroepen
	Netverliezen		<ul style="list-style-type: none"> – Op basis totale invoeding LS
MS	Glastuinbouw	<ul style="list-style-type: none"> – WKK-opwekking – Windturbines 	<ul style="list-style-type: none"> – Gemiddeld patroon (voornamelijk belichting)
	Utiliteit (kantoren, ziekenhuizen e.d.)	<ul style="list-style-type: none"> – WKK-opwekking – Zon-PV op daken – Windturbines 	<ul style="list-style-type: none"> – Belasting WKO (warmtepomp) – Belasting ruimtekoeling – Elektrisch vervoer – Gemiddeld restpatroon
	Industrie	<ul style="list-style-type: none"> – WKK-opwekking 	<ul style="list-style-type: none"> – Gemiddeld patroon
	Duurzaam	<ul style="list-style-type: none"> – Windparken op land 	
	Netverliezen		<ul style="list-style-type: none"> – Op basis totale invoeding MS
	Zware industrie		<ul style="list-style-type: none"> – Gemiddeld patroon
HS	Duurzaam	<ul style="list-style-type: none"> – Windparken op zee 	
	Centrale opwekking (fossiel, bio, nucleair)	<ul style="list-style-type: none"> – Conform biedladder 	
	Interconnectors	<ul style="list-style-type: none"> – Importprofiel 	<ul style="list-style-type: none"> – Exportprofiel
	Waterstofproductie EV		<ul style="list-style-type: none"> – Conform regelstrategie
	Netverliezen		<ul style="list-style-type: none"> – Op basis totale invoeding HS

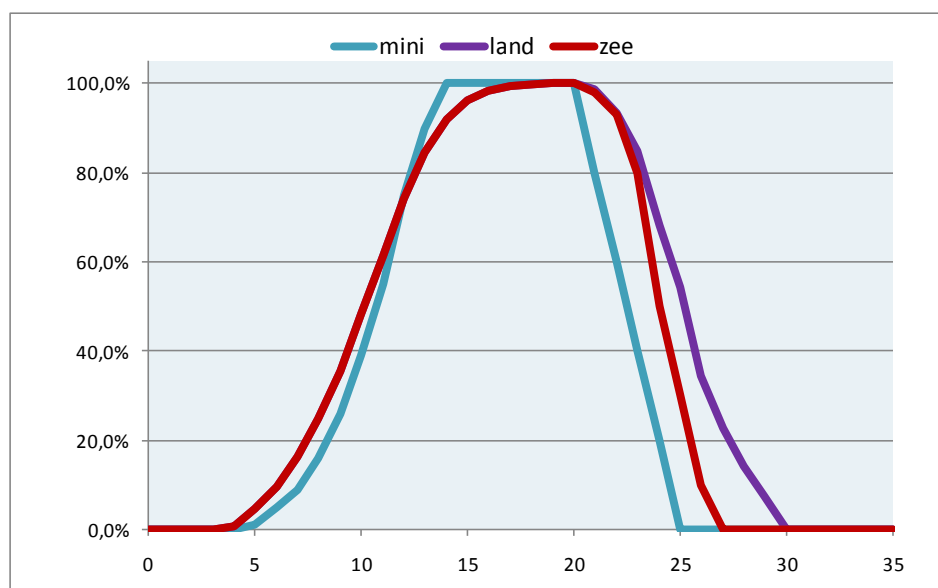
D.2 Profielen voor duurzame opwekking

Voor duurzame opwekking wordt gebruik gemaakt van weergegevens uit het verkort referentiejaar. Het verkort referentiejaar (VRJ) is een 'jaar' bestaande uit acht weken met uurdata (vier seizoenen van ieder twee weken). Berekeningen met dit verkort jaar zijn representatief voor een gemiddeld Nederlands jaar. Het VRJ geeft zoninstraling en windsnelheden om de opbrengst van duurzame opwekking te bepalen. Er is echter wel schaling

toegepast zodat het aantal equivalente vollasturen per jaar overeenkomt met praktijkwaarden.

Voor wind betekent dit dat de windsnelheid is opgeschaald naar hogere waarden. Dit is logisch omdat het VRJ geen windsnelheid in het vrije veld geeft. Aan de hand van de ashoogte van de turbines en de profielfactoren voor het windprofiel is zodanig geschaald dat windturbines op land uitkomen op circa 2.200 vollasturen en windturbines op zee op circa 3.500 vollasturen per jaar. De volumemaat is het aantal windturbines van een bepaald vermogen (20 kW voor miniturbines op land (op gebouwen), 2,5 MW voor conventionele turbines op land, 6 MW voor turbines op zee). Het momentane vermogen volgt uit de windsnelheid en het opwekprofiel van de turbines. Figuur 33 geeft de gebruikte profielen weer.

Figuur 33 Gebruikte opwekprofielen voor de windturbines



Voor zon geeft het VRJ instraling op het platte vlak (direct en diffuus). Deze is aan de hand van jaargemiddelde data voor verschillende oriëntaties van zonnepanelen geschaald naar de positie van het paneel (horizontale en verticale hoek) en naar een gemiddeld aantal equivalente vollasturen van 850 uur per jaar. De volumemaat is het aantal installaties van een gegeven aantal m² oppervlak (30 m² per woning, 125-500 m² per installatie overig). Met een rendement van respectievelijk 10% en 12% komt dit neer op 3 kWp per woning (LS) en 15-60 kWp voor (kleine) utiliteitsgebouwen.

D.3 Vaste belasting- en opwekprofielen

Beschrijving gebruik vaste profielen

Een aantal verbruikers en opwekkers worden gekarakteriseerd door vaste profielen. Vaste profielen voor de gemiddelde belasting van woningen, het gemiddelde verbruik van warmtepompen, de gemiddelde productie van micro-WKK en dergelijk blijken niet makkelijk voorhanden. In de meeste gevallen is daarom gebruik gemaakt van gestileerde profielen op basis van een expert inschatting van het verbruik.

Er zijn vier karakteristieke profielen: voor een doordeweekse dag (ddwk) en voor een weekenddag (wknd) en daarnaast een mogelijkheid voor een situatie zonder en met vraagsturing. De maximum waarde van het profiel zonder vraagsturing is genormeerd op een topwaarde van één. Van de mogelijkheid om profielen met vraagsturing toe te passen, wordt geen gebruik gemaakt. Een vaste verschuiving per profiel blijkt niet te stroken met de verschillende behoeften in de verschillende scenario's. Op profielverschuiving door demand respons wordt verderop in deze notitie ingegaan.

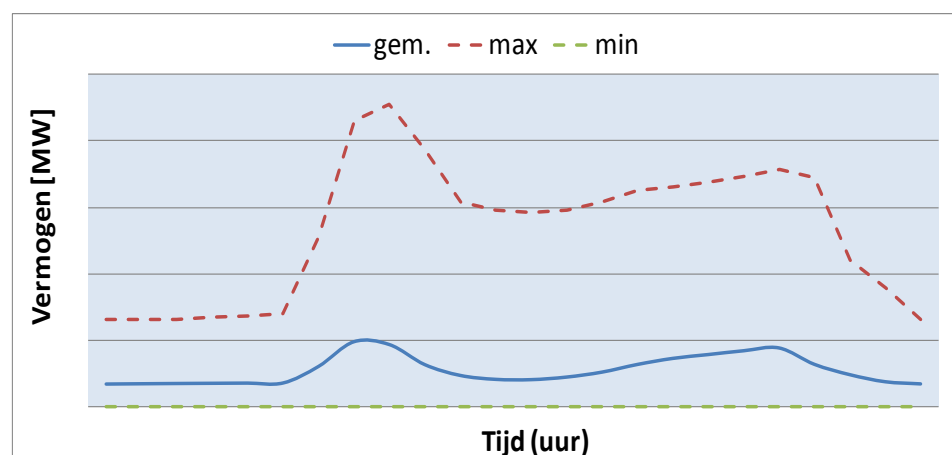
Per verbruiker/opwekker zijn er nog een aantal andere karakteristieke waarden die uiteindelijk de totale invloed van deze verbruiker/opwekker bepalen:

- de piekwaarde van het profiel (bijvoorbeeld in kW);
- de penetratie (hoeveel procent van het volume heeft dit profiel);
- de besparing (besparingspercentage voor de betreffende verbruiker/opwekker);
- het percentage vraagsturing (welk deel neemt deel aan vraagsturing).

Bijvoorbeeld: een elektrische auto wordt thuis geladen. De piekbelasting door de week in een normale situatie is 6 kW. Er zijn in totaal 7,3 miljoen huishoudens waarvan 20% een elektrische auto heeft. Als elektrische auto's nog niet zuiniger zijn geworden ten opzichte van de nulvariant is de besparing 0%. En als slechts 50% van de huishoudens toegang heeft tot Intelligente Netten zal van die 20% elektrische auto's er 10% meedoen met vraagsturing. Deze karakteristieke waarden leveren samen de belasting op het net op.

In sommige gevallen zijn profielen alleen in bepaalde seizoenen actief (ruimteverwarming alleen in de winter, koeling alleen in de zomer) en in dat geval vindt er ook schaling plaats op basis van een equivalente warmte/koudelast. Deze equivalente warmte/koudelast wordt bepaald uit een combinatie van een verlies door infiltratie (afhankelijk van de wind), door instraling (afhankelijk van de zon) en door transmissie (afhankelijk van de buitentemperatuur). In Figuur 34 is een voorbeeld gegeven van profielen die gebruikt worden voor een warmtepomp.

Figuur 34 Voorbeeld van profielen voor een warmtepomp in woningen. De mogelijkheid om profielen in geval van demand respons op een vaste manier te verschuiven, is uiteindelijk niet gebruikt



Profielen voor interconnecties

Het effect van interconnectie is zeer moeilijk te voorspellen. Interconnectie wordt gestuurd op basis van marktprijzen aan beide zijden van de verbinding en zorgen daardoor ook voor leveling van de elektriciteitsprijzen voor de verschillende markten. Eenvoudige modellering is niet toepasbaar. Om inzicht te krijgen in de bijdrage van interconnecties is in Tabel 39 een overzicht gegeven van bestaande ontwikkelingen en gebruik. Dit op basis van gegevens van het NMa (Monitoring groothandelsmarkten gas en elektriciteit, energiekamer, 2011) en EnergieNed (Study on flexibility in the Dutch and NW-European power market in 2020, Frontier Economics, 2010).

Tabel 39 Overzicht van dimensionering en (geschat) gebruik van interconnecties

Internconnector	Vermogen (MW)		Import (TWh)		Export (TWh)	
	2009	2020	2009	2020	2009	2020
België	1.400	2.400	4,1	4,0	4,1	12,4
Duitsland	2.500	3.600	10,2	6,0	7,1	26,3
Noorwegen	700	700	2,9	1,4	1,3	4,3
Groot-Brittannië	-	1.000	-	0,5	-	7,5
Totaal	4.600	7.700	17,2 (3.800 uur)	11,9 (1.550 uur)	12,5 (2.700 uur)	50,5 (6.550 uur)

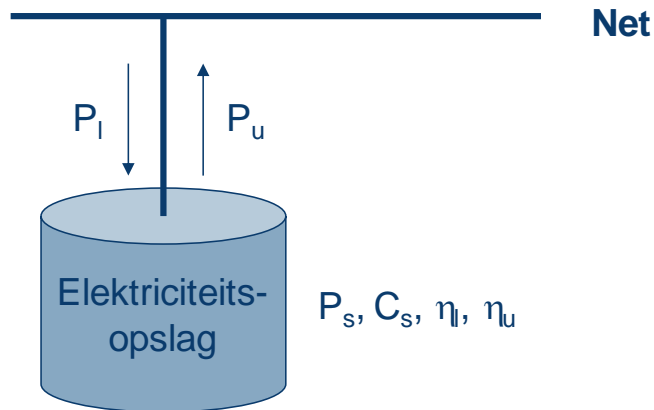
Uit Tabel 39 blijkt dat interconnectors naar de toekomst toe intensiever gebruikt gaan worden en dat Nederland van netto importeur opschuift naar netto exporteur. Vooralsnog worden interconnectors gezamenlijk als één vast vermogen (vlak profiel) meegenomen in het model voor 2009: import 1.960 MW, export 1.360 MW, voor 2015 wordt interconnectie niet meegenomen. Aanname is dat tekorten of overschotten op de biedladder (een tekort aan centraal vermogen danwel een overschot aan (duurzaam) opgewekte elektriciteit) door interconnectie worden opgelost. Voor de prijsvorming wordt er van uitgegaan dat de Nederlandse prijs representatief is voor de Europese prijs.

D.4 Energieopslag en waterstofproductie

Energieopslag algemeen

Opslagsystemen worden gemodelleerd op basis van een eenvoudige regelstrategie. Een opslagsysteem kan binnen een tijdstap (een uur in dit model) laden of ontladen. Het maximaal laad/ontlaadvermogen wordt bepaald door het vermogen van het opslagsysteem en de resterende capaciteit in het opslagsysteem. Figuur 35 geeft een opslagsysteem schematisch weer.

Figuur 35 Schematische weergave van een opslagsysteem



Het opslagsysteem heeft een maximaal vermogen P_s (bijv. in kW of MW) en een maximum capaciteit C_s (bijv. in kWh of MWh). Zowel gedurende het laden als het ontladen van het systeem treedt energieverlies op. Het laadrendement wordt aangeduid met η_l , het ontladrendement met η_u . Stilstandverliezen (bijvoorbeeld door zelfontlading) worden vooralsnog verwaarloosd. Zowel het laadvermogen als het ontladvermogen zijn positieve waarden.

Het laad- en ontladvermogen hangen af van het maximaal vermogen van het opslagsysteem zelf en de ladingstoestand van het opslagsysteem (voller dan vol of leger dan leeg gaat niet). Aangenomen wordt dat de netcapaciteit geen belemmerende factor is (hoewel een bepaalde laadstrategie wel een lager vermogen kan dicteren).

Er van uitgaande dat het opslagsysteem gevuld is tot niveau C (met $0 \leq C \leq C_s$) geldt bij laden met maximaal vermogen:

$$P_l = \min\left(P_s, \frac{C_s - C}{\Delta t \cdot \eta_l}\right) \quad \text{en} \quad P_u = 0 \quad (1)$$

en bij ontladen:

$$P_u = \min\left(P_s, \frac{C \cdot \eta_u}{\Delta t}\right) \quad \text{en} \quad P_l = 0 \quad (2)$$

waarin Δt de tijdstap van één uur is. Het energieniveau $C(t)$ op tijdstip t van het opslagsysteem verandert afhankelijk van het laad- en ontladvermogen:

$$C(t + \Delta t) = C(t) + P_l \eta_l - \frac{P_u}{\eta_u} \quad (3)$$

Regelstrategie voor opslag

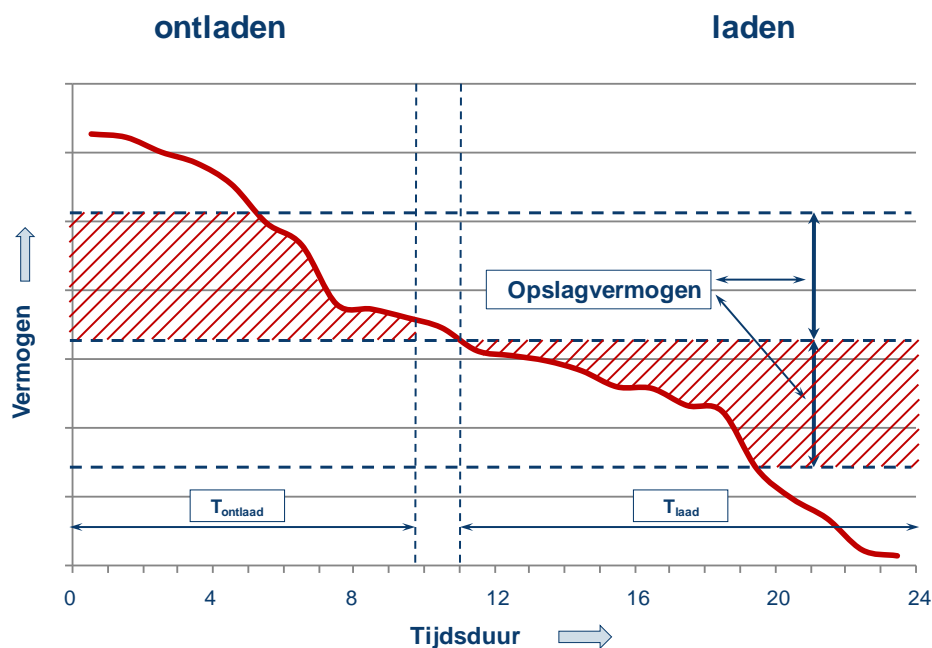
In principe is een regelstrategie op vermogen en een regelstrategie op prijs mogelijk. Een regelstrategie op prijs ligt voor de hand als het opslagsysteem in de vrije markt wordt ingezet. Een regelstrategie op vermogen (bijvoorbeeld op het maximaal vermogen in een bepaald punt van het net beneden een bepaalde waarde te houden) past meer bij toepassing door de netbeheerder die wil sturen op zijn netcapaciteit.

Uitgangspunt voor een regelstrategie op basis van vermogen is een opslagcapaciteit zonder limiet en een gelijke beladingsgraad van het opslagsysteem aan het begin en het eind van de dag (laadstrategie op dagbasis). Bij hoge belasting van het netwerk zal het opslagsysteem gaan ontladen, bij een lage belasting gaan laden. Een hoge belasting betekent hierbij een hoge vraag. Negatieve belastingen kunnen dus ook voorkomen, bijvoorbeeld als een PV-systeem op een bepaald punt in het net meer invoedt dan er gevraagd wordt.

Stel dat het opslagsysteem verbonden is met het net en dat er een indicator is van de netbelasting op dat punt. De taak van het opslagsysteem is deze netbelasting zoveel mogelijk af te vlakken. In tegenstelling tot bij een prijsstrategie zal het opslagsysteem niet altijd met vol vermogen laden of ontladen. Als de piekwaarde van de indicator (ten opzichte van het daggemiddelde) lager is dan het opslagvermogen dan is ontladen bij vol vermogen niet zinvol. Dit is verlies van ontladcapaciteit die beter gebruikt kan worden om de piek langer af te vlakken in plaats van dieper.

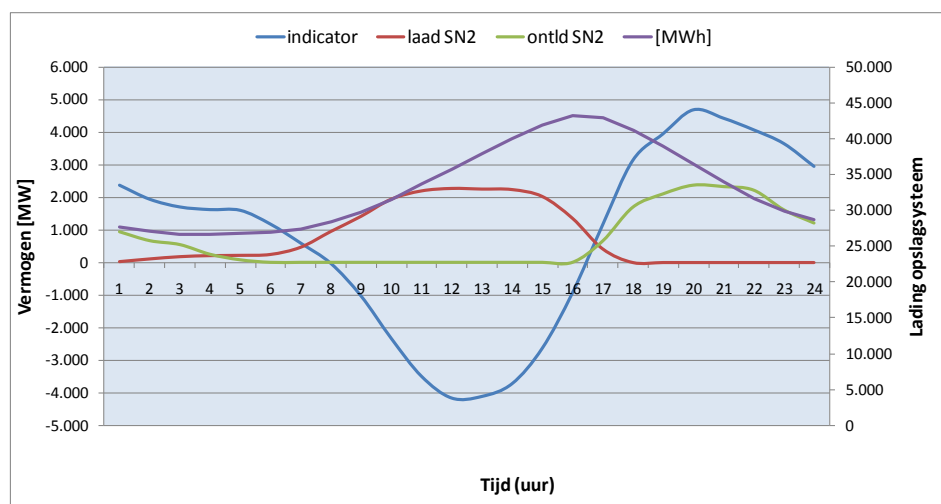
Met een vermogensstrategie kan een gesorteerde vermogenscurve gebruikt worden. Figuur 36 geeft dit weer. De horizontale stippellijnen geven het gemiddelde gevraagde vermogen weer en de grenswaarden voor het opslagvermogen. De gearceerde gedeelten geven de hoeveelheid geladen en ontladen energie weer. De verhouding tussen deze twee oppervlakken is het opslagrendement. In Figuur 36 is te zien dat maximaal wordt geladen (tot het gemiddeld niveau van de indicator) en dat daarmee nog net niet maximaal wordt ontladen. Tussen 10 en 11 uur wordt het opslagsysteem niet gebruikt. Uit de regelstrategie volgt ook de maximaal benodigde opslagcapaciteit.

Figuur 36 Bepalen van tijdstippen van laden en ontladen op basis van een gesorteerde belastingkromme voor de netbelasting



Als voorbeeld is in Figuur 37 weergegeven hoe een oplaadsysteem gemiddeld acteert in een netwerk. In dit voorbeeld betreft het een punt in het laagspanningsnet waar huishoudelijke kleinverbruikers op zijn aangesloten met een aanzienlijke hoeveelheid zon-PV op het dak. Overdag wordt de indicator daardoor negatief (er wordt vermogen geleverd in plaats van gevraagd). Het opslagsysteem laadt gedurende de dag en ontladt gedurende de avond en de nacht. Het opslagsysteem eindigt met dezelfde beladingsgraad als waar het mee begon.

Figuur 37 Voorbeeld van de werking van een opslagsysteem (jaargemiddeld patroon). De indicator is de belasting op het punt van het net waar het opslagsysteem is aangesloten



Om inzicht te krijgen in de (kosten)effectiviteit van opslag is voor het hernieuwbaar en gas scenario (H&G) een berekening gemaakt met opslag en zonder opslag. In dit scenario is op laagspanningsniveau 4.300 MW aan opslag toegepast met een benodigde opslagcapaciteit van iets meer dan 12 uur. Uitgaande van geschatte prijzen voor een opslagsysteem (inclusief vermogens-elektronica) van circa 500 Euro per kW plus 200 Euro per MWh komt dit overeen met een investering van circa 12,5 miljard Euro.

Uit berekeningen blijkt dat de inzet van opslagsystemen de benodigde netcapaciteit ook doet afnemen met 4.300 MW. Indicatieve kosten voor een laagspanningsnet bedragen circa 1.300 Euro per kW benodigd vermogen voor nieuwe netten, voor verzwaring van bestaande netten worden deze kosten op het dubbele ingeschat. Dit resulteert in een vermeden investering van 14,5 miljard Euro. Afgezien van onderhoudskosten en levensduur (die gunstiger uitpakken voor netten) en de invloed op hoger gelegen netvlakken (extra vermeden investeringen) lijkt een kosteneffectieve toepassing van opslag hiermee niet irreëel.

Opgemerkt dient nog te worden dat de laad-ontlaadstrategie uitgaat van een perfecte kennis van de belastingen voor die dag.

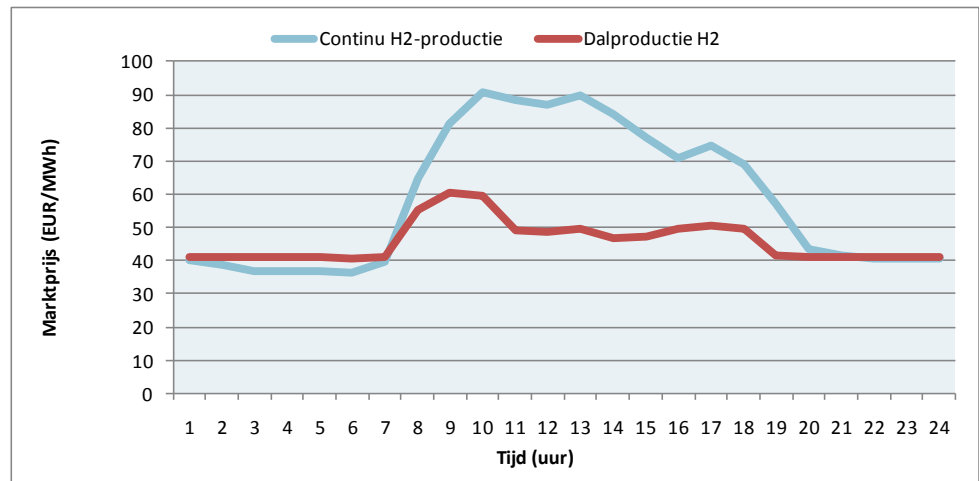
Centrale waterstofproductie

Een productiesysteem van waterstof wordt gezien als een opslagsysteem met onbeperkte capaciteit dat alleen kan laden. Het systeem heeft een bepaald vermogen en afhankelijk van een eenvoudige strategie (één vaste laadgrens) produceert het systeem met vol vermogen, of produceert het niet. De laadgrens wordt zodanig gekozen dat gedurende het jaar precies de gevraagde hoeveelheid waterstof wordt geproduceerd.

Deze waterstofcentrale is aangesloten op het hoogspanningsnet en zal, op basis van de gekozen laadstrategie, een dempende werking hebben op de belasting van het hoogspanningsnet. Als voorbeeld wordt voor het scenario Kolen CCS & Kernenergie (K&K) een berekening gemaakt met geregelde waterstofproductie en met continue waterstofproductie. In dit scenario is de waterstofproductie gedimensioneerd op 12.000 MW met een productie van 62 TWh. Dit komt overeen met 5.166 vollast draaiuren.

In Figuur 38 is het verschil aangegeven tussen de marktprijzen als de waterstof wordt geproduceerd door het systeem van 12.000 MW (dalproductie) of als dezelfde hoeveelheid waterstof wordt geproduceerd door een systeem dat continue in bedrijf is met een vermogen van circa 7.080 MW. De invloed op de prijs is aanzienlijk omdat van duurdere centrales in de biedladder gebruik wordt gemaakt. Het verschil in elektriciteitsprijs gedurende de piekuren bedraagt circa 25 Euro/MWh.

Figuur 38 Voorbeeld van het effect van waterstofproductie op de marktprijzen voor elektriciteit



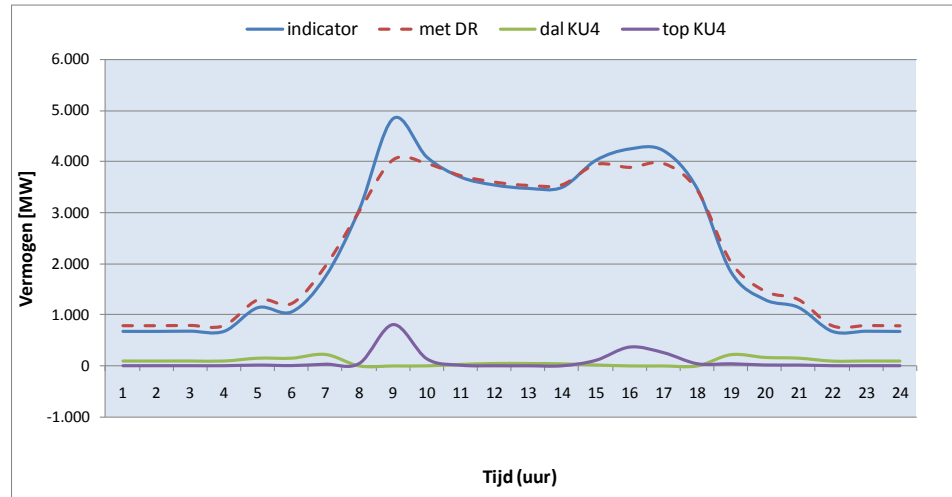
D.5 Implementatie demand respons

Oorspronkelijk is demand respons als gevolg van TOU-tarieven geïmplementeerd als een vaste verschuiving van het patroon zonder demand respons. Er bleek echter al gauw dat de mate van verschuiving en de tijdstippen van verschuiving sterk variëren per scenario. In een normale situatie is sprake van een dagpiek of avondpiek en een nachtdal. In bijvoorbeeld het H&G-scenario is sprake van zoveel duurzame opwekking (zon, wind) overdag, dat er geen sprake is van een dagpiek maar dat overdag juist gestuurd moet worden op meer afname van elektriciteit.

Daarom is demand respons gemodelleerd al een opslagsysteem zonder verlies (de besparingcomponent van TOU-tarieven wordt apart geïmplementeerd). Binnen één dag wordt aan de hand van een indicator het profiel verschoven zodat pieken en dalen optimaal gladgestreken worden. Het beschikbare, te verschuiven vermogen hangt af van het belastingprofiel en het percentage potentiële piekverschuiving. Het enige effectieve verschil met een fysiek opslagsysteem is dat het maximaal beschikbaar vermogen dus varieert in de tijd (bij een hoge belasting zijn er ook veel apparaten waarmee demand respons kan worden uitgevoerd en vice versa).

In Figuur 39 is een voorbeeld gegeven van de toepassing van demand respons voor kleine utiliteitsgebouwen in het H&G-scenario. De indicator voor de netbelasting geeft aan dat er in de ochtend en laat in de middag sprake is van een piek. 's Nachts is het verbruik sowieso laag en overdag is er sprake van duurzame opwekking door zon en wind. Gedurende de pieken wordt de vraag verschoven van de curve 'top KU4' naar de curve 'dal KU4'. Het vermogen kan niet allemaal naar de nacht verschoven worden omdat daar het potentieel voor demand respons te klein is (te weinig verschuifbaar vermogen). Het resulterende profiel 'met DR' laat zien dat de ochtendpiek en late-middagpiek worden afgevlakt. De piekreductie bedraagt circa 17%. Hiervoor is slechts 3,5% van de totale gemiddelde dagvraag aan energie verschoven.

Figuur 39 Voorbeeld van vraagverschuiving ten gevolge van demand respons (gemiddeld dagprofiel). Indicator geeft de netto netbelasting in het net aan



D.6 Verbruikersgroepen

Verbruikersgroepen in het netmodel

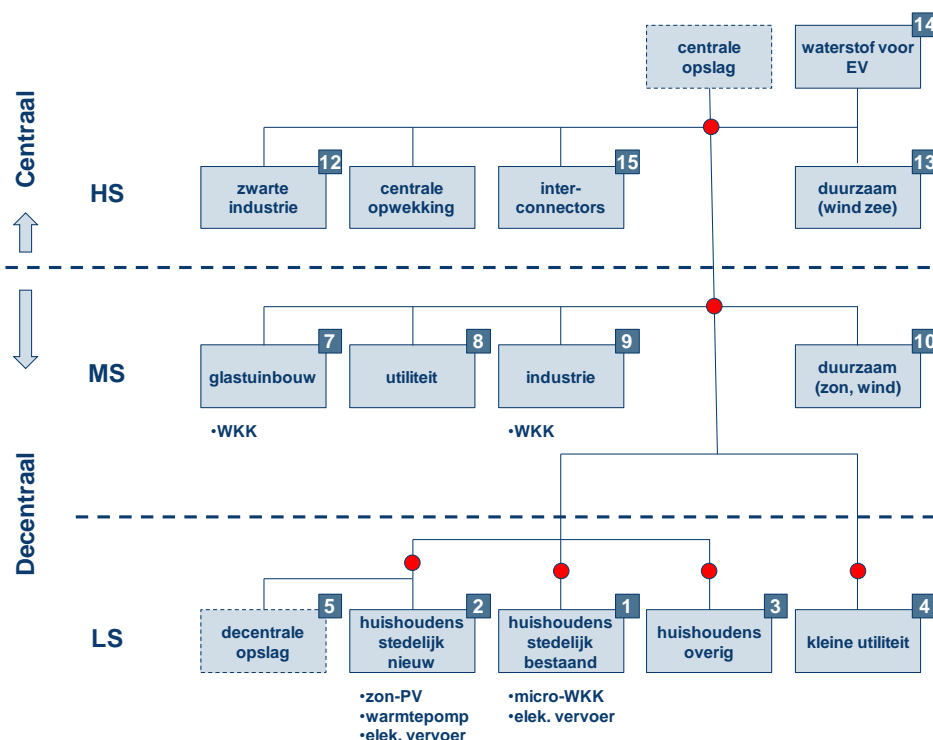
In Tabel 38 is een overzicht gegeven van profielen en gebruikersgroepen. Deze gebruikersgroepen zijn toebedeeld aan netvlakken. In Figuur 40 is weer-gegeven hoe de verschillende gebruikersgroepen zijn gepositioneerd ten opzicht van elkaar binnen de netvlakken. Bij een aantal gebruikersgroepen zijn kenmerkende profielen in verband met deze studie (micro-WKK, elektrisch vervoer, warmtepompen) nog extra weergegeven.

In het laagspanningsnet wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende gebruikersgroepen en daarmee deelnetten. Dit om het onderscheid tussen bestaande wijken en netten en nieuwe wijken en netten duidelijk te krijgen. Uitgangspunt is verder dat micro-WKK zich zal richten op bestaande woningen en dat zon-PV en warmtepompen zich juist in nieuwe woningen zullen manifesteren. Huishoudens overig vormen een restpost.

Representatieve belastingpunten voor de benodigde netinvesteringen zijn weergegeven als rode punten in Figuur 40. De piekbelasting zoals die uit het model volgt in dit punt is een maat voor de belasting voor (dit deel van) het net.

Qua terminologie wordt alles wat op het HS-net is aangesloten gezien als centraal. Ook WKK van zware industrie wordt gezien als centraal vermogen. Alles op het MS- en LS-net wordt gezien als decentraal.

Figuur 40 Positionering van gebruikersgroepen in netvlakken. De nummers worden in de modellering gebruikt. Ontbrekende nummers betreffen onder andere de groepen netverliezen en centrale productie



Volume van gebruikersgroepen

De aantallen in de verschillende gebruikersgroepen zijn bepaald op basis van verschillende bronnen. Het aantal huishoudens is bepaald op basis van cijfers en inschattingen van het CBS. Dit aantal stijgt van 7,31 miljoen in 2009 naar 8,47 miljoen. Dat is een stijging van circa 16%. Het aantal woningen ligt lager dan het aantal huishoudens (7,10 miljoen in 2009, CBS) wat aangeeft dat niet ieder huishouden een eigen woning bezit. Het aantal huishoudelijke elektriciteitsaansluitingen ligt volgens cijfers van Netbeheer Nederland op 7,03 miljoen wat aangeeft dat circa 1% van de woningen geen (actieve) aansluiting heeft (leegstand, verhuizing, e.d.). Vooralsnog wordt het aantal aansluitingen als maat gebruikt met een stijging gebaseerd op de stijging van het aantal huishoudens.

De stijging van het aantal huishoudens is hoger dan de stijging van het aantal inwoners (door de toename van het aantal eenpersoonshuishoudens). Het aantal inwoners stijgt van 16,5 miljoen in 2009 naar 17,4 miljoen in 2050 (met een piek van 17,5 miljoen in 2038). Dit is een stijging van ruim 5%. Dit percentage wordt aangenomen voor de groei van de overige aantallen (gebouwen, distributiestations, e.d.).

Wat betreft aantal verbruikers op hoogspanningsniveau wordt uitgegaan van de inschatting in het KEMA/SEO-rapport over netverliezen. Dit rapport gaat uit van circa 220 aansluitingen. Daarvan zijn er circa 60 voor opwekeenheden. Het aantal zware industriële aansluitingen wordt daarom ingeschat op 160.

Wat resteert zijn de grootverbruikers op het middenspannings- en laagspanningsnet en de niet-huishoudelijke kleinverbruikers op het laagspanningsnet. Precieze cijfers over de verdeling van utiliteitsgebouwen over groot- en kleinverbruikers en midden- en laagspanningsaansluiting zijn niet voor handen. Duidelijk is wel dat het aantal aansluitingen in deze categorie (831.000 kleinverbruikersaansluitingen en 64.740 grootverbruikersaansluitingen) veel hoger ligt dan het aantal utiliteitsgebouwen (inclusief bedrijfshallen) van circa 440.000 volgens ander onderzoek (Mobius consult, 'bepaling van het aantal utiliteitsgebouwen in Nederland'). Veel aansluitingen betreft niet-gebouwgebonden aansluitingen of meerdere aansluitingen per gebouw. Ingeschat wordt dat het aantal industriële aansluitingen op het MS-net 38.680 bedraagt en het overige aantal aansluitingen 26.170. De resterende gebouwen, 374.880 betreft overige kleinverbruikers (kleine utiliteit). Het aantal tuinders bedraagt 3.920.

Tabel 40 Overzicht van volumes van verbruikersgroepen nu en in 2050. De aanduiding LS, MS en HS duiden aansluiting op het betreffende netvlak aan

Gebouw/unit	Aantallen	
	2009	2050
Woningen (LS)	7.030.000	8.145.568
Utiliteit (klein, LS)	374.880	395.328
Utiliteit (groot, MS)	26.170	27.597
Tuinders (MS)	3.920	4.134
Industrie (MS)	38.680	40.790
Zware industrie (HS)	160	169

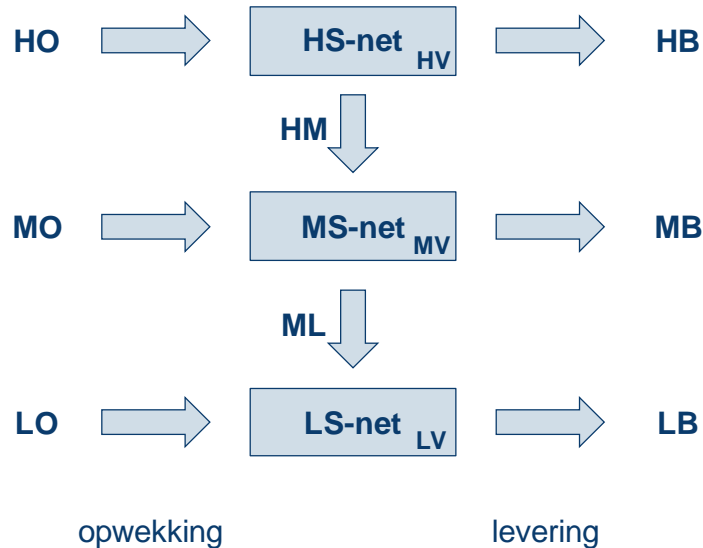
Volgens 'Energie in Nederland 2010' (cijfers over 2009 van EnergieNed/ Netbeheer Nederland) bedroeg het gemiddeld verbruik per huishoudens circa 3.400 kWh/jaar. Het aantal overige kleinverbruikers bedroeg 830.000 met een gemiddeld verbruik van 13.900 kWh. Op basis van cijfers uit de databank van Agentschap NL betreffende utiliteitsgebouwen wordt het aandeel koeling in het elektriciteitsgebruik (ruimtekoeling) geschat op circa 10%. Het aandeel productkoeling wordt ook ingeschat op 10%.

D.7 Netmodel voor netverliezen

Voor dit model wordt voor het berekenen van de netverliezen gebruik gemaakt van een zeer eenvoudige nettopologie, bestaande uit een hoogspanningsnet (HS waartoe ook EHS), een middenspanningsnet (MS) en een laagspanningsnet (LS). Deze topologie is in onderstaande figuur weergegeven. Op ieder netvlak kan sprake zijn van opwekking (O) en van levering/belasting (B). In ieder netvlakken vinden verliezen plaats (HV, MV, LV). Tussen de netvlakken vindt transport plaats, de pijlen geven de reguliere situatie weer, maar in principe kunnen deze stromen ook andersom lopen (negatieve waarde van HM en/of ML). De overige energiestromen (HO, HV, HB, MO, MV, MB, LO, LV, LB) zijn altijd niet-negatief.

In Figuur 41 is deze topologie weergegeven.

Figuur 41 Schematische weergave van de nettopologie voor het bepalen van netverliezen



Als maat voor het netverlies wordt het totaal invoedend vermogen genomen. Omdat van de transportstromen tussen de netten niet vaststaat welke richting ze ingaan, moet hier rekening mee gehouden worden. Normaliter wordt het invoedend vermogen ook aan de invoedende zijde ('van boven af') bepaald. Omdat het model echter 'van onder naar boven' wordt opgebouwd (zie de modelhiërarchie in Figuur 32), wordt het invoedend vermogen ook 'van onder af' bepaald.

Voor het invoedend vermogen (PL) als maat voor de netverliezen van het laagspanningsnet geldt:

$$PL = \max(LO, LB) \quad (4)$$

Voor het invoedend vermogen (PM) als maat voor de netverliezen van het middenspanningsnet geldt:

$$PM = \max(MO-ML, MB+ML) \quad (5)$$

Voor het invoedend vermogen (PH) als maat voor de netverliezen van het hoogspanningsnet geldt:

$$PH = \max(HB, HB+HM) \quad (6)$$

Aangenomen wordt dat de netverliezen kwadratisch afhangen van het invoedend vermogen (en daarmee van de stroom (I) door het net). Uitgaande van een vaste equivalente weerstand van het (R) gezien vanuit het voedingspunt is het momentane verlies in een netvlak evenredig met het kwadraat van het invoedend vermogen als hierboven bepaald. De evenredigheidsfactor wordt zodanig bepaald dat de netverliezen voor de huidige situatie ook overeenkomen met de gemeten waarden. Zie hiervoor Tabel 41.

Tabel 41 Gemiddelde technische verliezen in 2009

Gemiddeld verlies t.o.v. invoedend vermogen	
Hoogspanningsnet	0,72%
Middenspanningsnet	1,09%
Laagspanningsnet	1,40%
Totaal	3,31%

Bron: Kema, SEO, CBS.

D.8 Centrale productie

De biedladder

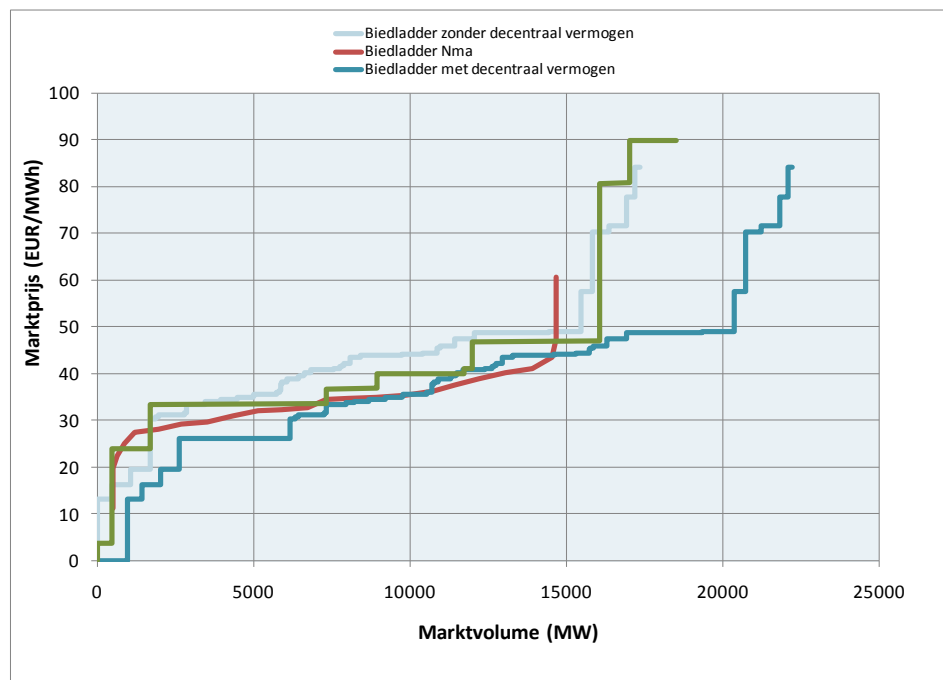
De elektriciteitsprijs wordt bepaald aan de hand van een biedladder. De kosten van centrale productie zijn in dit model de bepalende factor voor de elektriciteitsprijzen. De biedladder voor elektriciteit wordt dus uitsluitend uit centraal vermogen opgebouwd. Aanneمة is dat decentrale productie uitsluitend WKK is en grotendeels gestuurd wordt door de warmtevraag ('must run') en daarmee beperkt inzetbaar op de biedladder.

Voor 2009 is deze situatie getoetst. In Figuur 42 zijn een aantal biedladders weergegeven zoals die berekend zijn uit de gegevens van de centrale en decentrale productie en zoals die door het NMa wordt gegeven:

1. De biedladder berekend op basis van alle centrale en decentrale vermogen.
2. De biedladder berekend op alleen centraal vermogen.
3. De biedladder zoals die in het model wordt berekend (op basis van gegroepeerde centrales).
4. De biedladder zoals in het Marktmonitoringrapport 2009 van NMa gegeven. De berekeningen zijn uitgevoerd voor een kolenprijs van 3,4 Euro/GJ, een gasprijs van 6,10 Euro/GJ en een CO₂-prijs van 13 Euro/GJ.

Conclusie is dat curven in ieder geval redelijk overeenkomen. De dynamiek (prijsbereik) van de curve met en zonder decentraal vermogen is vergelijkbaar. Ook de vergelijking tussen de biedcurve voor centraal vermogen en de biedcurve van het NMa is redelijk. Verschillen kunnen verklaard worden op basis van andere prijzen of andere rendementen voor elektriciteits- en warmteproductie. Het valt buiten het bestek van deze studie om dit in detail te onderzoeken. De volgende paragraaf gaat wel globaal in op de mark-up voor warmtelevering.

Figuur 42 Vergelijking van biedladders voor de situatie in 2009. De groene curve is de biedladder conform het model

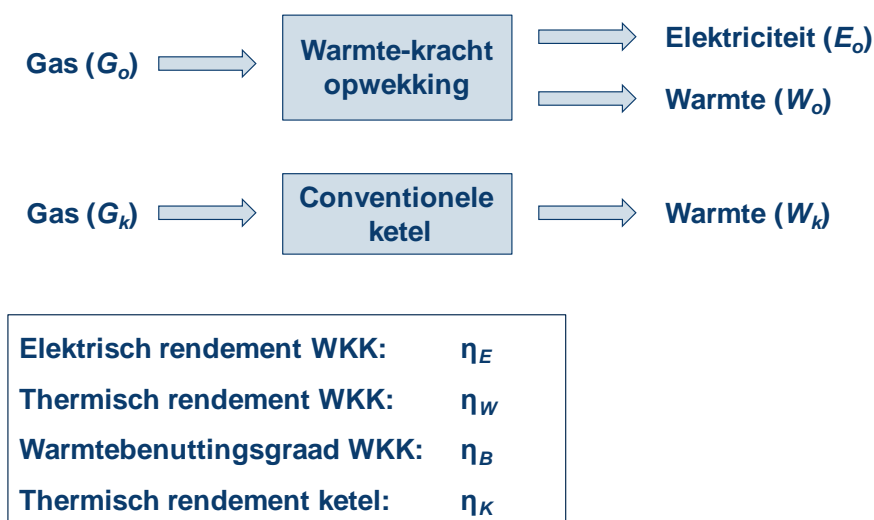


Het kan voorkomen dat er een overschot is op de biedladder of een tekort. Bij een overschot wordt er zoveel duurzame en/of decentrale ‘must-run’ elektriciteit geproduceerd dat zelfs met alle centrale units uitgeschakeld er nog netto geproduceerd wordt. Aanname is dat deze elektriciteit geëxporteerd wordt via interconnecties tegen de laagste marginale prijs op de biedladder. Evenzo wordt aangenomen dat bij een tekort op de biedladder er elektriciteit geïmporteerd wordt tegen een prijs gelijk aan de hoogste marginale prijs op de biedladder.

De waarde van warmte in de biedladder

Gelijktijdige productie van warmte en elektriciteit vertegenwoordigt meer waarde die in de biedladder tot uiting moet komen. Het is immers voordeliger om (bij gelijke elektrische rendementen) daarnaast ook warmte nuttig af te zetten. De levering van warmte wordt verdisconteerd als een mark-up in de elektriciteitsprijs. De waarde van de geleverde warmte kan in mindering gebracht worden op de elektriciteitsprijs. De waarde van warmte wordt bepaald op basis van het rendement van een conventionele ketel. Figuur 43 geeft de situatie weer.

Figuur 43 Schematische weergave van voor berekening van de mark-up warmtelevering



De elektriciteitsprijs zonder mark up voor de WKK bedraagt:

$$P_E = 3,6 \frac{P_G}{\eta_E} \quad (7)$$

met P_E de elektriciteitsprijs zonder mark up in (Eur/MWh) en P_G de gasprijs in (Eur/GJ). Naast elektriciteit wordt er warmte geproduceerd. De mark up in (Eur/MWh) bedraagt:

$$P_M = 3,6 \frac{\eta_W \eta_B}{\eta_E \eta_K} P_G \quad (8)$$

De elektriciteitsprijs met mark up bedraagt:

$$P_E - P_M = 3,6 \left(1 - \frac{\eta_W \eta_B}{\eta_K}\right) \frac{P_G}{\eta_E} \quad (9)$$

Uit vergelijking (8) volgt een effectief elektrisch rendement voor de WKK-unit van:

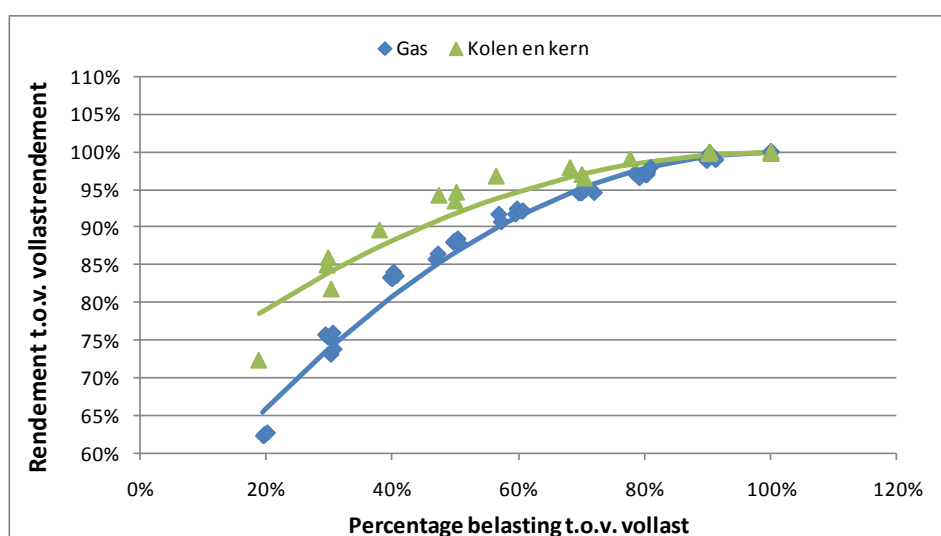
$$\eta_{E, \text{effectief}} = \frac{\eta_E}{1 - \frac{\eta_W \eta_B}{\eta_K}} \quad (10)$$

en dit is het logischerwijs ook rendement als de hoeveel gas die nodig is voor de productie van warmte via een conventionele ketel in mindering wordt gebracht op de totale hoeveelheid gas nodig voor elektriciteitsproductie. Als dit rendement in vergelijking (7) wordt ingevuld, volgt ook de elektriciteitsprijs met mark-up.

Rendementen en regelreserve

In principe dienen centrale units een bepaalde regelreserve aan te houden om het net stabiel te houden. Normaliter wordt 3% regelreserve aangehouden. Dit heeft invloed op het rendement van centrale units. Dit daalt als een unit in deellast gaat draaien. Aan de hand van gegevens van diverse centrale units is een inschatting gemaakt van de afname van het rendement als gevolg van draaien in deellast. Het resultaat is weergegeven in Figuur 44. Het blijkt dat gasunits aan de ene kant en kolen/kernunits aan de andere kant een ander variatie in rendement vertonen. Het effect wordt benaderd door de gladde krommen die in Figuur 44 zijn weergegeven. Deze worden ook gebruikt in de modellering. In alle scenario's en alternatieven wordt aangenomen dat de centrale units 3% regel- en reservevermogen aanhouden.

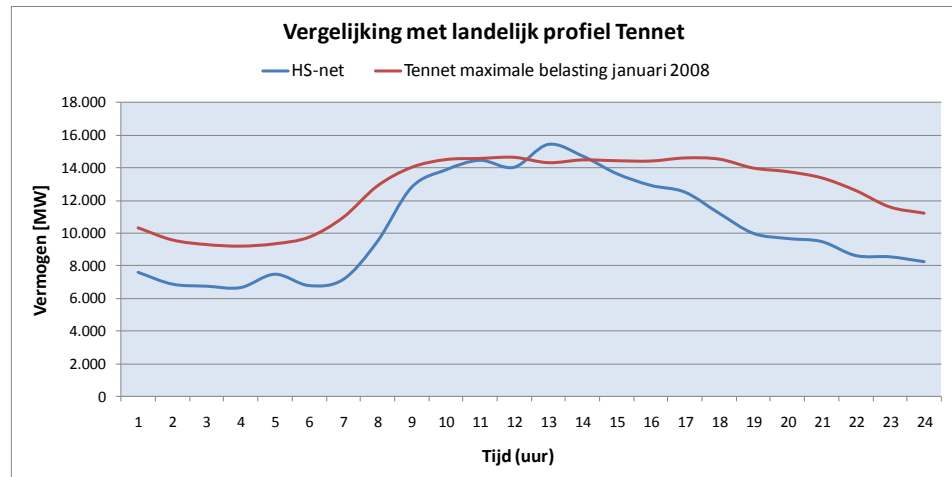
Figuur 44 Rendementsafname bij afname belastingpercentage voor centrale opwekeenheden



D.9 Toepassing van het model

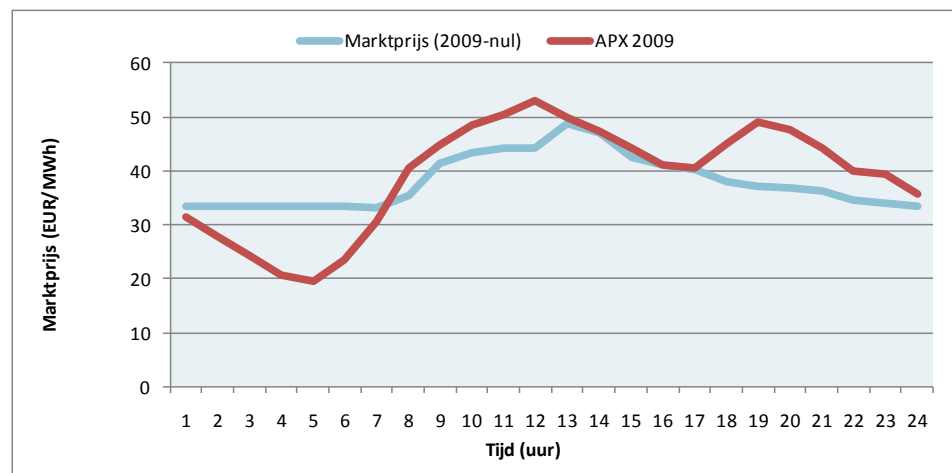
Aan de hand van de situatie in 2009 kan het model in grote lijnen gevalideerd worden. Het belastingprofiel en de elektriciteitsprijs moet bijvoorbeeld overeenkomen met de gemiddelde APX-prijs en de landelijke belasting volgens TenneT. In Figuur 45 en Figuur 46 zijn deze weergegeven.

Figuur 45 Maximale netbelasting volgens Tennet en volgens het belastingmodel



Figuur 45 geeft aan dat het model de orde grootte en het gemiddelde van de belasting goed weergeeft en het profiel benadert, maar dat dit nog niet precies overeen komt. Het is ook niet realistisch om dit te verwachten met een relatief eenvoudig model. Figuur 46 geeft hetzelfde beeld. De orde grootte van de berekende prijs is goed en ook de trend komt redelijk overeen. Gezien het feit dat bijvoorbeeld WKK's en de interconnecties niet in de marktdynamiek zijn meegenomen is dit niet onverwacht.

Figuur 46 Gemiddelde marktprijzen conform het model vergeleken met de APX-gemiddeld



Belangrijk is dat met een bottom-up benadering (profielen) op macro-niveau toch herkenbare resultaten verkregen worden. Dit geeft vertrouwen dat de koppeling tussen profielen (waar Intelligente Netten hun invloed doen gelden) en netbelastingen op macro-niveau (die de opbrengsten van Intelligente Netten bepalen) werkt. Daarbij wordt opgemerkt dat het model in relatieve zin nauwkeuriger zal zijn dan in absolute zin omdat systematische afwijkingen in een verschil tussen een nulalternatief en een projectalternatief verdwijnen. Daarnaast levert het model ook inzicht omdat mechanismen op profielniveau inzichtelijk worden gemaakt op macroniveau.

Bijlage E Wat is een MKBA?

Betekenis van deze MKBA

De MKBA is een methode die steeds vaker wordt toegepast ter ondersteuning van de besluitvorming van o.a. investeringen in infrastructuur, gebiedsontwikkeling en milieu. De OEI-methodologie vormt in Nederland de leidraad voor de uitvoering van kosten-batenanalyses. De OEI-methodologie⁴¹ is in beginsel bedoeld voor infrastructurele projecten, maar de ervaring van CE Delft en KEMA leert dat deze methodiek ook prima toepasbaar is op investeringen in de energiemarkt en -infrastructuur.

Een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) heeft tot doel de verschillende opties voor de uitvoering van een project op integrale wijze met elkaar te vergelijken. Alle effecten worden vervolgens zoveel mogelijk in een geld uitgedrukt en telt deze op, zodat een integrale afweging mogelijk is. Dat geldt ook voor zaken die meestal niet in geld worden gewaardeerd zoals CO₂-emissies of luchtverontreinigende emissies. Bij het bepalen van de kosten en baten wordt uitgegaan van het ruime welvaartsbegrip en worden de kosten en baten gekwantificeerd en gerelateerd aan specifieke partijen om daarmee de eventuele noodzaak van overheidshandelen te kunnen onderbouwen. Een positief saldo duidt op een project dat de welvaart verhoogt. Een negatief saldo duidt op een project dat de welvaart verlaagt. In een MKBA wordt een situatie met het project (projectalternatief) vergeleken met de situatie zonder het project (nulalternatief).

Grofweg onderscheiden we drie functies:

1. Inzicht in de maatschappelijke efficiëntie van een project.
2. Inzicht in de verdelingseffecten.
3. Verbeteren van projectalternatieven.

Maatschappelijke efficiëntie

Een MKBA geeft in de eerste plaats inzicht in de maatschappelijke efficiëntie van een project. In een MKBA wordt dat wat de maatschappij verwacht in welvaart erop vooruit te zullen gaan bij de uitvoering van het project afgezet tegen de kosten. Een positieve of negatieve uitkomst toont aan of grootschalige introductie van Intelligente Netten voor economisch Nederland (breed welvaartsbegrip) als geheel wel of niet wenselijk is.

Verdelingseffecten

Een MKBA is ook bij uitstek geschikt om de verdelingseffecten voor verschillende gebruikers te laten zien, waarbij de groep die kosten draagt (zo ook bij investeringen in Intelligente Netten) niet noodzakelijkerwijs de groep hoeft te zijn die de baten ontvangt. Winnaars en verliezers worden zo geïdentificeerd, hetgeen relevant is bij de wijze waarop de investering gefinancierd c.q. geïnstrumenteerd dient te worden (publiek of privaat, en door welke specifieke partijen).

⁴¹ Voor projecten van nationaal belang dient een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) gemaakt te worden. Deze dient uitgevoerd te worden conform de in het kader van OEI geschreven Evaluatie van Infrastructuurprojecten. Leidraad voor Kosten-Batenanalyse (CPB/NEI, 2000). OEI staat voor Overzicht Effecten Infrastructuur.

Verbeteren van projectalternatieven

Tenslotte is een MKBA geschikt om verschillende projectalternatieven systematisch naast elkaar te zetten en informatie te verschaffen ten behoeve van de afweging tussen verschillende alternatieven en deze in economisch opzicht verder te optimaliseren in termen van tempo, accenten bij specifieke gebruikersgroepen, en/of ontwerpmodificaties (op grond van nieuwe inzichten uit de proeftuinen).