

Decentrale opwekking in de elektriciteitsvoorziening: kans of kul?

Voorstel voor een onderzoek naar de potentie van microwarmtekrachtkoppeling in huishoudens

TU Delft
Faculteit Techniek, Bestuur & Management
Opleiding Technische Bestuurskunde

Academisch jaar 2004-2005

Spm3911 Bachelorproject Technische Bestuurskunde
Ton Monasso (1152033)

Ten geleide

Dit issue paper is geschreven in het kader van het bachelorproject van de opleiding Technische Bestuurskunde aan de TU Delft. Het maakt deel uit van Fase 1 van het project, en beschrijft een voorstel voor een onderzoek dat in Fase 2 zal worden uitgevoerd. Dit paper heeft echter ook een zelfstandige waarde, omdat het een brede verkenning van het thema decentrale opwekking omvat.

Delft, 13 maart 2005

Ton Monasso

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1. Inleiding.....	5
2. Probleemanalyse	7
2.1. Rollen binnen de waardeketen	7
2.2. Decentrale opwekking in Nederland.....	8
2.3. Decentrale opwekking in huishoudens	8
2.4. Pro's en contra's	9
2.5. Liberalisering van de markt	11
2.6. Probleemveld.....	11
2.7. Scenario's.....	12
2.8. Scenario 1: Micro-opwekking komt niet van de grond.....	12
2.9. Scenario 2: Micro-opwekking veroverd belangrijke plaats	13
2.10. Onzekerheden.....	14
2.11. Conclusie.....	15
3. Onderzoeksplan.....	16
Literatuur	18
Bijlage A Causale analyse	21
Bijlage B Toelichting systeemdiagram	26
Bijlage C Actoranalyse.....	27
Bijlage D Onzekerheid over factoren.....	28

Samenvatting

Nederland zal nog enkele tientallen jaren afhankelijk blijven van fossiele brandstoffen voor haar elektriciteitsvoorziening. De relatief lage CO₂-uitstoot, de behoefte om zo min mogelijk afhankelijk te zijn van niet-Europese landen, de efficiënte verbranding en het fijnmazige distributienetwerk maken aardgas een geschikte transitiebrandstof, die gebruikt kan worden zolang duurzame energiebronnen niet grootschalig kunnen worden ingezet.

De opwekking van elektriciteit uit aardgas kan, behalve in grote centrales, ook veel kleinschaliger plaatsvinden. Er is al veel ervaring opgedaan met warmtekrachtkoppeling, met centrales in de orde van enkele tientallen kilowatts. Er worden nu echter experimenten gedaan met microcentrales, die met een vermogen rond de 1 kilowatt geschikt zouden kunnen zijn voor huishoudens en kleine bedrijven. Deze microcentrales zouden de cv-installatie kunnen vervangen, omdat zij tegelijkertijd warmte en elektriciteit opwekken. Er blijft een aansluiting op het elektriciteitsnet, om teveel geproduceerde elektriciteit te kunnen verkopen, en bij verbruikspieken juist elektriciteit te kunnen inkopen.

Opwekking door microcentrales, die onder de noemer decentrale opwekking valt vanwege het feit dat de centrale is aangesloten op het distributie- in plaats van op het transmissienetwerk, kan een bijdrage leveren aan de realisatie van doelen rondom milieu, energie-efficiëntie en voorzieningszekerheid. Het concept past goed in de geliberaliseerde energiemarkt; het zou zelfs een aantal keerzijden van die liberalisering, zoals onzekerheid over voldoende investeringen in opwekkingscapaciteit, kunnen verzachten. Doordat elektriciteit over minder grote afstanden hoeft te worden getransporteerd treden minder transportverliezen op en nemen de kosten voor de distributie en ook de landschapsvervuiling door hoogspanningsmasten af.

Decentrale opwekking op microniveau kan grote gevolgen hebben voor de inrichting van de elektriciteitssector en de rollen die de verschillende betrokken partijen daarin vervullen, alsook voor beleidsdoelstellingen van de overheid. Op dit moment is er echter nauwelijks inzicht in de mogelijke omvang die microwarmtekrachtkoppeling op de elektriciteitsmarkt kan gaan aannemen. Die omvang is afhankelijk van het gedrag van die partijen zelf, denk bijvoorbeeld aan subsidies en belastingen. Er zijn echter ook een aantal factoren die nauwelijks te beïnvloeden zijn, maar wel van grote invloed kunnen zijn op de ontwikkeling van decentrale opwekking. Daarbij gaat het vooral om de technologische ontwikkeling en de politieke en maatschappelijke druk rondom de aanpak van het broeikas-effect en het gebruik van kernenergie.

Een modelstudie kan inzicht verschaffen in de omvang van micro-opwekking door onder verschillende condities het keuzegedrag van huishoudens te simuleren. De keuze die elk huishouden regelmatig maakt, is of de cv-installatie beter vervangen kan worden door een microcentrale, of door een nieuwe cv-installatie. Op basis van een kosten-batenberekening kan de uitkomst van deze keuze worden voorspeld. Het geheel van individuele keuzes geeft een beeld van de potentiële omvang van decentrale opwekking op sectorniveau, en geeft daarmee antwoord op een belangrijke kennisvraag waar veel partijen momenteel mee worstelen.

1. Inleiding

De energievoorziening van Nederland op de middellange termijn is omgeven door grote onzekerheden. Fossiele brandstoffen raken langzaam maar zeker uitgeput, met als voorlopige uitzondering het zeer vervuilende steenkool. Technologische doorbraken rondom duurzame energie blijven uit. Kernenergie, dat in theorie een grote bijdrage zou kunnen leveren, stuit nog steeds op grote maatschappelijke weerstand. Behalve dat de brandstoffen voor de elektriciteitsvoorziening steeds moeilijker verkrijgbaar zijn, is Nederland ook sterk afhankelijk van niet-Europese landen die soms kampen met politieke instabiliteit. Verder speelt nog mee dat Nederland zich als partner in het Kyoto-verdrag heeft gecommitteerd aan een reductie van de emissie van broeikasgassen met 6% in de periode 2008-2012 ten opzichte van 1990 (Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, 2002:3). Bij de elektriciteitsproductie komen veel van deze gassen vrij, het is dan ook logisch dat de overheid ook binnen deze sector zoekt naar mogelijkheden tot reductie.

Tenzij duurzame energie en kernenergie een majeure bijdrage kunnen leveren aan de elektriciteitsproductie, zal Nederland voorlopig een grote afhankelijkheid van fossiele brandstoffen houden. Aardgas wordt algemeen gezien als de meest kansrijke transitiebrandstof (Linde, van der, 2003:9), totdat nieuwe vormen van elektriciteitsopwekking hun intrede doen. Dat komt omdat de verbranding van aardgas relatief schoon en efficiënt is. Nederland heeft nog voor tenminste twintig jaar genoeg aardgas in eigen bodem om aan de huidige vraag te voldoen¹, wat bijdraagt aan een zekere mate van zelfvoorziening en de afhankelijkheid van derde landen beperkt.

Decentrale opwekking door middel van kleine gasgestookte centrales in huishoudens en kleine bedrijven kan bijdragen aan een elektriciteitsvoorziening die milieuvriendelijker is en de afhankelijkheid van niet-Europese landen vermindert. Het rendement van deze zogeheten microwarmtekrachtcentrales is zeer hoog, en door de plaatsing bij de eindgebruiker zelf worden verliezen bij het transport van elektriciteit tot een minimum beperkt. De verwachtingen van decentrale elektriciteitsopwekking zijn hooggespannen. Het Ministerie van Economische Zaken voorziet nog een groot potentieel voor warmtekrachtkoppeling (Ministerie van Economische Zaken, 2004a:22). In potentie zouden 3,5 miljoen huishoudens microcentrales kunnen installeren, vooral doordat in Nederland een wijdvertakt distributienet voor aardgas aanwezig is (Micro-Map, 2002:5). Uit simulaties blijkt dat de technologie vanaf 2015 zou kunnen doorbreken (Micro-Map, 2002:11).

De eventuele introductie van decentrale opwekking door middel van micro-eenheden in het elektriciteitssysteem kan grote gevolgen hebben voor alle spelers die binnen de sector actief zijn. Aan de ene kant zullen technische aanpassingen noodzakelijk zijn, bijvoorbeeld om huishoudens de mogelijkheid te geven stroom die zij niet direct zelf gebruiken terug te leveren aan het net. Aan de andere kant heeft decentrale opwekking grote economische implicaties. Het kan de bouw van nieuwe, grote elektriciteitscentrales overbodig maken en deze centrales op termijn zelfs verdringen. In dat geval zullen producenten, handelaren en netwerkbeheerders hun bedrijfsmodellen grondig moeten herzien.

Hoewel de implicaties van decentrale opwekking enorm kunnen zijn, is er nog maar heel weinig bekend over de potentie van de techniek en het concept. Meer inzicht in de gevolgen is voor alle partijen die belang hebben bij de elektriciteitsvoorziening belangrijk om te kunnen anticiperen op ontwikkelingen. Dit paper formuleert de belangrijkste kennislacunes, en de vragen om die in te vullen, met als doel dit inzicht te vergroten. Daartoe zal vanuit een helicopterview een centrale analyse worden gemaakt van relevante factoren en actoren (partijen) rondom decentrale

¹ Uitgaande van het productieniveau van 2003 (69 miljard m³), voor zowel binnenlands gebruik als de export, en de verwachte omvang van de Nederlandse gasreserves op 1 januari 2004 (1615 miljard m³) (Ministerie van Economische Zaken, 2004b:84,86).

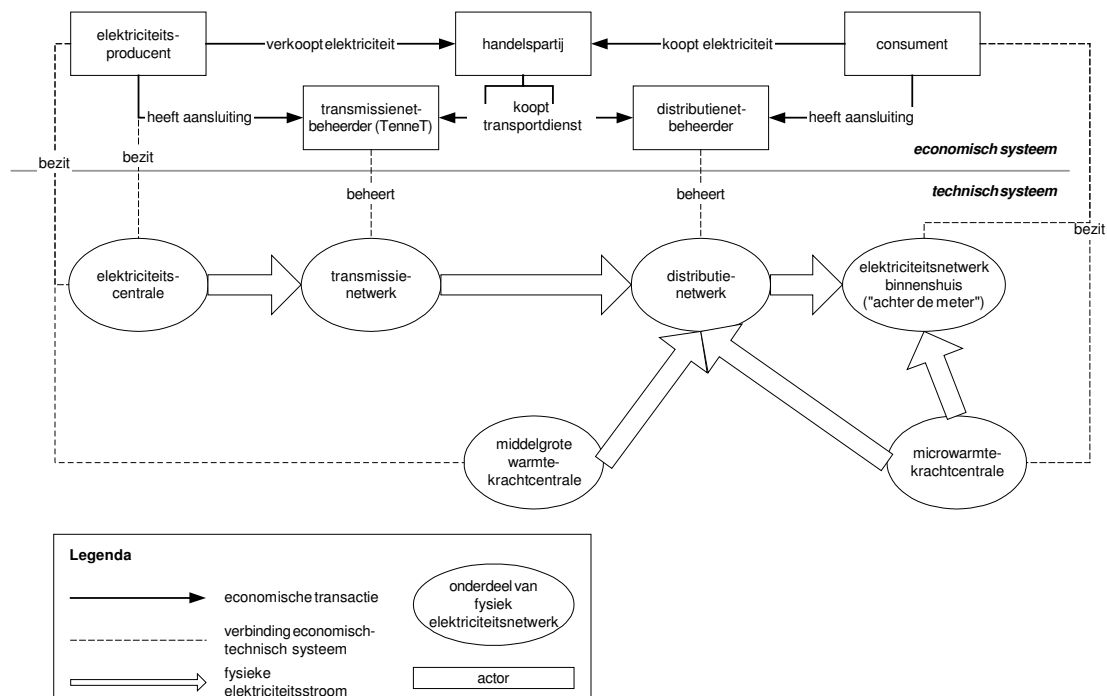
opwekking. Op basis hiervan zullen onzekerheden in de omgeving en in de sturingsinstrumenten die partijen zelf hebben, worden geïdentificeerd. Hoofdstuk 2 zal op een systematische wijze onzekerheden rondom de potentie van decentrale opwekking identificeren. In hoofdstuk 3 zal een beknopt plan voor een onderzoek dat deze onzekerheden kan reduceren worden uitgewerkt. In de bijlagen worden enkele deelanalyses in nader detail weergegeven.

2. Probleemanalyse

Dit hoofdstuk zal vanuit een verkenning van het concept decentrale opwekking, en de context waarin die zich binnen Nederland kan ontwikkelen, stapsgewijs een aantal onzekerheden benoemen die een helder zicht op de potentie van decentrale opwekking verhinderen. In de paragrafen 2.1 en 2.2 wordt de huidige stand van zaken geschetst. De paragrafen 2.3 t/m 2.5 zijn een eerste verkenning van de potentie van decentrale opwekking met microcentrales. In paragraaf 2.6 worden de interacties tussen verschillende factoren systematisch bekeken, en worden de belangrijkste factoren en partijen geïdentificeerd. De daaropvolgende paragrafen, 2.7 t/m 2.10, onderzoeken de onzekerheden die er bestaan rondom de potentie van decentrale opwekking. Tot slot zal in paragraaf 2.11 een algemene kennislacune worden geformuleerd, die inzicht in deze potentie in de weg staat.

2.1. Rollen binnen de waardeketen

Binnen de waardeketen van het product elektriciteit kunnen verschillende rollen worden onderscheiden. Verschillende partijen vervullen taken in verschillende stadia van het proces van opwekking tot aflevering bij de klant. Voor een goed begrip van de consequenties van decentrale opwekking is het van belang om de belangrijkste taken te identificeren. Daarmee worden ook de organisaties geïdentificeerd die deze taken vervullen, hetgeen een basis zal vormen voor het opsommen van betrokken actoren.



Figuur 1 De structuur van het elektriciteitssysteem (geïnspireerd door De Vries, 2004:31, Figure 3.7).

De waardeketen van elektriciteit kan op twee manieren worden benaderd. Er kan worden gekeken naar de partijen die waarde toevoegen (economische systeembenadering) of de fysieke plekken in het netwerk waar waarde wordt gecreëerd (technische systeembenadering). Beide systemen, en hun onderlinge verbindingen, zijn weergegeven in Figuur 1.

Elektriciteitsproducenten genereren elektriciteit op een veelheid van manieren. In de regel gaat het om opwekking door middel van grote verbrandingscentrales of concentraties van kleinere eenheden (bijvoorbeeld windmolens). Deze elektriciteit wordt uiteindelijk afgenomen door de gebruikers. Tussen het punt van opwekking en het afnamepunt bevinden zich een of meer elektriciteitsnetwerken. Eindgebruikers zijn meestal aangesloten op het fijnmazige distributienetwerk, dat door middel van het landelijke hoogspanningsnet (transmissienet) met andere netwerken in binnen- en buitenland, alsmede met de grote centrales is verbonden. Naast de netwerkbeheerders zijn er ook handelspartijen actief tussen producent en consument.

2.2. Decentrale opwekking in Nederland

Voor het onderscheid tussen centrale en decentrale opwekking sluiten we aan bij de definitie van Ackermann et al.: “Distributed generation is an electric power source connected directly to the distribution network or on the customer site of the meter.” (Ackermann et al., 2001:7)

Nederland loopt wereldwijd voorop als het gaat om het aandeel decentrale opwekking in de elektriciteitsvoorziening. Het gaat hier veelal om warmtekrachteenheden die op het distributienetwerk zijn aangesloten. Deze kleinschalige centrales zijn populair geworden nadat de Elektriciteitswet 1989 het licht zag. Distributiebedrijven kregen de mogelijkheid zelf elektriciteit op te wekken, waarvan zij dankbaar gebruik maakten. Door het creëren van overcapaciteit wisten zij de prijzen van de zich monopolistisch gedragende elektriciteitsproducenten te drukken, en hun eigen onderhandelingspositie te verbeteren. Vanwege de aantrekkelijke, beperkte schaal van decentrale opwekking, en het feit dat de overheid deze technologie om milieuredenen stimuleerde, is hiervoor veelal warmtekrachtkoppeling toegepast (Arentsen et al., 2001:153-154). In 2003 werd circa 32% van de elektriciteit in Nederland decentraal opgewekt; deze decentrale opwekking bestond voor 84% uit warmtekrachtcentrales (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2005)². Bij deze vormen van decentrale opwekking gaat het echter niet om eenheden op het niveau van een huishouden, omdat die techniek nog in de kinderschoenen staat. Waar voor huishoudens uitgegaan wordt van centrales met een vermogen van circa 1 kW, gaat het bij bestaande installaties meestal om enkele tientallen kilowatts. Warmtekrachtkoppeling is daarom vooral ingezet bij grotere (clusters) van bedrijven. De grote omvang van decentrale elektriciteitsopwekking heeft bijgedragen aan het feit dat de omvang van het transmissienet in Nederland relatief beperkt is. Technisch gezien lijkt de inpassing van decentrale eenheden in het distributienetwerk, in het licht van de ervaringen in het verleden, dus geen problemen op te leveren (Future CoGen project team, 2001:21), hoewel in de jaren negentig tijdelijk een moratorium heeft bestaan op de bouw van decentrale eenheden omdat de ontwikkeling zo snel ging dat de stabiliteit van het elektriciteitsnetwerk mogelijk in gevaar zou komen (Woodworth, 1996:6).

2.3. Decentrale opwekking in huishoudens

Decentrale opwekking vindt veelal plaats door middel van warmtekrachtcentrales. Hierbij wordt in één proces zowel elektriciteit als warmte gegenereerd. Bij traditionele, grote centrales is warmte vaak een restproduct van de elektriciteitsopwekking. Bij warmtekrachtkoppeling wordt deze warmte echter nuttig gebruikt, waardoor de totale efficiëntie van de opwekking toeneemt. Dergelijke centrales zijn vooral toegepast in de industrie, die behoefte had aan beide energieproducten. Omdat huishoudens – waar we vanaf nu ook kleine bedrijven onder zullen rekenen – ook aan zowel elektriciteit als warmte behoefte hebben, lijkt dit een kansrijk volgend toepassingsgebied voor warmtekrachtcentrales. De warmte- en elektriciteitsbehoeften van huishoudens fluctueren echter sterk. Warmte kan eenvoudig worden opgeslagen in een boiler, maar elektriciteit is moeilijk op te slaan. De opwekking is echter het meest efficiënt als een gelijkmatig vermogen kan worden geleverd. Daarom is teruglevering aan het net van elektriciteit

² CBS Statline, tabel Productiemiddelen elektriciteit.

die het huishouden niet zelf gebruikt, in combinatie met het afnemen van elektriciteit uit het net als de microwarmtekrachtcentrale niet genoeg vermogen levert, een noodzakelijke voorwaarde voor het slagen van dit concept op grote schaal. De inpassing in het elektriciteitsnetwerk van de verschillende formaten elektriciteitscentrales is ook weergegeven in Figuur 1. Overigens wordt bij de meeste microcentrales meer warmte dan elektriciteit geproduceerd, in termen van vermogen.

In Nederland is nog weinig ervaring opgedaan met microcentrales. Enkele jaren geleden zijn er in het kader van een Europese test in woongemeenschappen en kleine bedrijven een paar honderd centrales geplaatst met een capaciteit van ca. 5 kW (CoGen Europe, 2004:1). Begin 2004 kondigde Gasunie aan samen met Eneco een experiment te starten met de Virtuele Energiecentrale, een combinatie van duurzame energiebronnen en warmtekrachtkoppeling voor kleinschalige toepassingen, waaronder huishoudens (NRC Handelsblad, 2004; CoGen Europe, 2004:1)³.

In Engeland zijn al microwarmtekrachtcentrales op de markt, gericht op huishoudens. De kleinst verkrijgbare centrale produceert 1 kW aan elektrisch vermogen en 8 kW aan warmte. Dit grote warmtevermogen kan echter goed worden gebruikt, omdat de isolatiegraad van huizen in het Verenigd Koninkrijk tamelijk slecht is (CoGen Europe, 2004a:1). Deze centrales zijn minder geschikt voor Nederland, waar in het verleden veel steviger is ingezet op energiebesparing in woningen.

Voorlopig lijkt aardgas de meest geschikte brandstof voor de microcentrales. Dat is te danken aan het distributienet dat veel huishoudens ontsluit, de goede reservepositie van Nederland en de relatieve milieuvriendelijkheid van deze brandstof. Op termijn kan de ontwikkeling van brandstofcellen in combinatie met het gebruik van waterstof als energiedrager hier echter verandering in brengen. Dit paper concentreert zich op aardgasgestookte centrales, waarbij het dus zowel om conventionele verbranding als om omzetting in een brandstofcel kan gaan. In het vervolg van dit paper wordt geen expliciet onderscheid gemaakt tussen deze beide technieken, omdat zij voor het concept van decentrale opwekking niet veel verschillen.

2.4. Pro's en contra's

Decentrale opwekking in huishoudens is een concept waaraan grote voordelen worden toegeschreven. Tegelijkertijd zijn er nog veel barrières, met name van technische aard. Een overzicht van veelgenoemde voor- en nadelen is te vinden in Tabel 1.

Tabel 1 Voor- en nadelen van decentrale opwekking.

Voordelen (deels ontleend aan Jenkins et al., 2000:3)
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Reductie NOx-emissies</i> Door het gebruik van aardgas als brandstof wordt een relatief schone verbranding bereikt, met lage emissie van stikstofoxiden. • <i>Verhoging van de energie-efficiëntie en reductie van CO2-emissies</i> Bij de verbranding van aardgas en de daaropvolgende omzetting in elektriciteit komt ca. 225 gram per kWh elektriciteit vrij. Bij olie is dat 333 gram, en bij kolen zelfs 410 (Future CoGen project team, 2001:72). Deels komt dit door een andere scheikundige reactie en deels doordat aardgas efficiënter kan worden verbrand. • <i>Reductie van transmissiekosten</i> Bij decentrale opwekking hoeft de elektriciteit nauwelijks meer over grote afstanden te worden getransporteerd. Dit zorgt voor lagere netwerkbeheerskosten. Ook wordt bespaard doordat de transportverliezen afnemen. Bij het transport van elektriciteit gaat, door de weerstand van de leidingen, altijd energie verloren. In Nederland verdwijnt op

³ Zie voor de meest actuele informatie www.microwk.nl.

deze manier ongeveer 4,5% van de opgewekte elektriciteit in het niets (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2005)⁴.

- *Beperking noodzaak aanleg nieuwe hoogspanningslijnen*
Uitbreiding van het transmissienetwerk stuit vaak op bezwaren, vanwege de landschapsvervuiling en de zorgen die sommige burgers hebben over de mogelijke gevaren voor de gezondheid (Jong, de, 2003:22).
- *Modulaire inzet en uitbreiding van generatiecapaciteit*
Veranderingen in de vraag naar elektriciteit kunnen makkelijker worden opgevangen door het bijregelen van een groot aantal kleine centrales, dan met het in- of uitschakelen van grote centrales. Investerings in nieuwe capaciteit kunnen veel geleidelijker en dus risicolozender plaatsvinden door kleine eenheden te plaatsen.
- *Nauwelijks problemen met vinden van locaties voor centrales*
Het is moeilijk om geschikte locaties te vinden voor grote elektriciteitscentrales, omdat rekening moet worden gehouden met de aanvoer van brandstof, mogelijkheden voor koeling, milieunormen en ruimtelijke inpassing. Bij micro-eenheden spelen deze problemen nauwelijks.
- *Leveringszekerheid beter gegarandeerd*
Door de kortere constructietijd van kleine eenheden, en het feit dat meer (kleine) aanbieders op de elektriciteitsmarkt komen, is het gevaar voor een varkenscyclus en het strategisch achterhouden van opwekkingscapaciteit door elektriciteitsproducenten veel minder groot (De Vries, 2004: 271-272, 275).
- *Minder reservecapaciteit nodig*
Doordat veel kleine eenheden en aanbieders actief zijn, heeft het uitvallen van een enkele eenheid nauwelijks gevolgen voor de stabiliteit van de elektriciteitsvoorziening. Door deze uitmiddeling van risico's kan worden volstaan met een kleinere capaciteitsmarge.
- *Lichte kostenbesparing*
Huishoudens kunnen, indien microcentrales rijp zijn voor de markt, per jaar 80 tot 150 euro besparen op hun energie-uitgaven (CoGen Europe, 2004:2).

Barrières

- *Rentabiliteit kleine eenheden*
De kleine omvang van de opwekkingseenheden voor huishoudens maakt het op dit moment moeilijk om de investerings- en onderhoudskosten te kunnen terugverdienen. Doordat de technologie nog experimenteel is (Borbely & Kreider, 2001:148), is de efficiëntie van de centrales nog niet optimaal. De ontwikkelingen gaan echter snel. Zo werd er in 2001 nog vanuit gegaan dat een minimaal vermogen van 30 kW continue opwekking benodigd was (Monaco, del, 2001). Gasunie experimenteert nu echter met eenheden van circa 1 kW.
- *Nog geen beheersarrangementen ontwikkeld*
Er is nog geen ervaring opgedaan met de (grootschalige) koppeling van microwarmtekrachtcentrales aan distributienetten. Er zijn nog geen uitgewerkte arrangementen voor de teruglevering van elektriciteit, er is nog geen marktervaring opgedaan en de technologische effecten zijn deels onzeker omdat slechts theoretische voorspellingen zijn gedaan (Borbely & Kreider, 2001:148).
- *Warmtebehoefte nieuwbouwhuizen neemt af*
Doordat nieuwe woningen aan steeds strengere energienormen moeten voldoen, neemt de warmtebehoefte af (Micro-Map, 2002:6). Dit kan ertoe leiden dat er te weinig mogelijkheden zijn om de warmte uit een microcentrale nuttig te kunnen gebruiken, waardoor – bij een vaste elektriciteit-warmteverhouding – het vermogen van de centrales

⁴ CBS Statline, tabel Elektriciteitsbalans, periode 1995-2003.

nog verder moet worden verkleind. Dit versterkt de eerder genoemde problemen, die het gevolg zijn van de kleine schaal van de eenheden. Brandstofceltechnologie kan in de toekomst mogelijk een vervanging zijn voor warmtekrachttechnologie, en is beter in staat tot omzetting van brandstof in energie op kleine schaal (Micro-Map, 2002: 5).

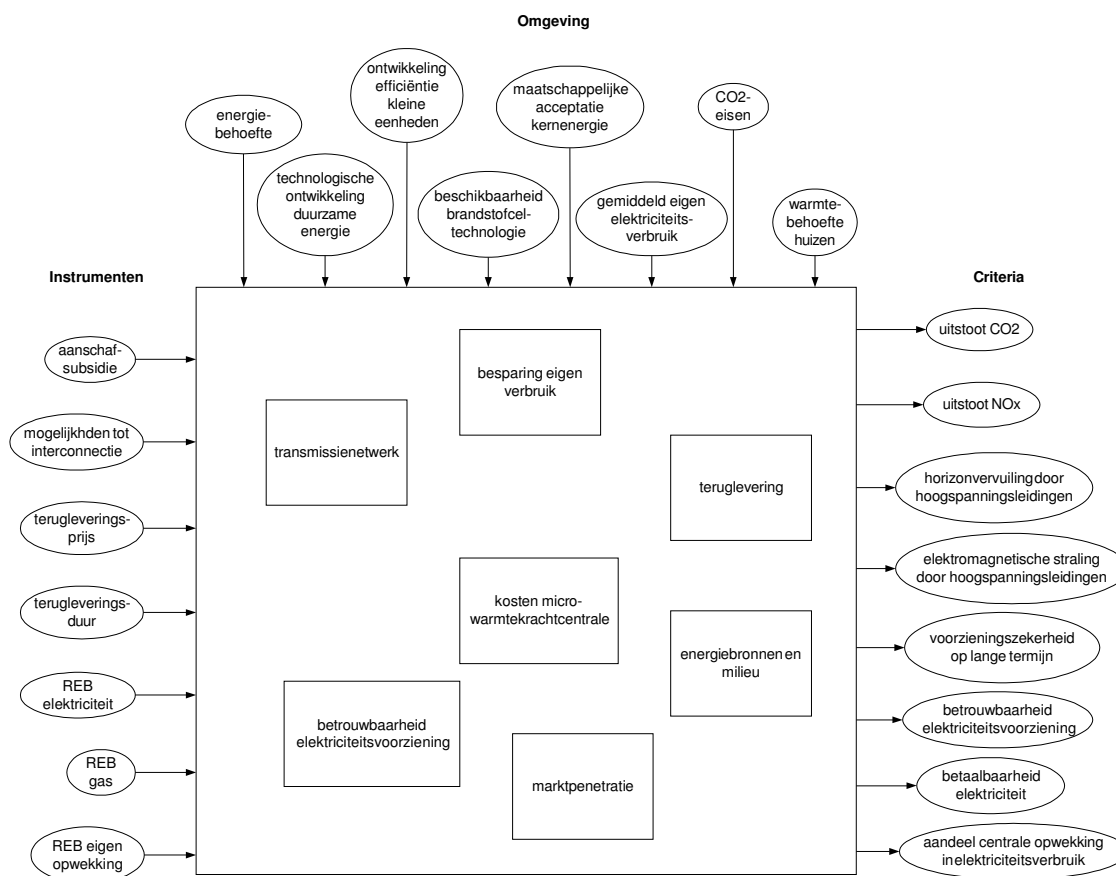
2.5. Liberalisering van de markt

De liberalisering van de elektriciteitsmarkt, die het verst is doorgevoerd in de productie en handel, heeft de positie van decentrale opwekking drastisch veranderd. Waar de overheid voor de liberaliseringsoperatie in veel gevallen directe invloed kon uitoefenen op het beleid van de elektriciteitsproducenten, voornamelijk door een mechanisme van overheidsaandeelhouderschap en specifieke regelgeving in stand te houden (Arentsen et al., 2001:152-153), moeten producenten hun keuzes over de inzet, vervanging en uitbreiding van opwekkingscapaciteit nu in een vrije markt maken. Dat betekent dat risico's en rendementen tegen elkaar worden afgewogen. Het is nog onduidelijk of de markt erin zal slagen voldoende capaciteit aan te bieden om stroomtekorten te voorkomen. Producenten ervaren onzekerheden rondom de regulering van de elektriciteitssector, informatie over vraag- en aanbodontwikkelingen en regelgeving rondom milieu en ruimtelijke ordening. Dit leidt tot risicooversie (De Vries, 2004:79).

Simulaties tonen aan dat de kans groot is dat producenten door deze onzekerheden pas gaan investeren als een tekort al nabij is. Vervolgens duurt het nog een lange tijd voordat extra centrale capaciteit gerealiseerd is, vooral vanwege lange constructietijden en vergunningprocedures. Samen met het gevaar voor een overspannen reactie op tekorten, kan dit leiden tot een varkenscyclus (De Vries, 2004:79). Decentrale opwekking kan een uitkomst zijn voor producenten, omdat de op te wekken vermogens, en daarmee de risico's, relatief klein zijn (zie ook Tabel 1). Tegelijkertijd is de positie van warmtekrachtkoppeling in de geliberaliseerde markt verslechterd, omdat de kosten iets boven die van grote centrales liggen. De overheid probeert echter via diverse regelingen te voorkomen dat warmtekrachtcapaciteit onbenut blijft, waarmee milieuvoordelen verloren zouden gaan. Tot en met 2003 bestond er een afdrachtkorting op de regulerende energiebelasting (Ministerie van Economische Zaken, 2001:3-4), vanaf 2004 geldt de regeling Milieukwaliteit Elektriciteitsproductie (MEP). Daarin is de subsidie per eenheid elektriciteit afhankelijk gesteld van de CO₂-reductie die wordt behaald door de warmtekrachteenheid. Particulieren met kleine eenheden komen ook in aanmerking, echter alleen voor de aan het net geleverde elektriciteit. Het subsidiebedrag per kilowattuur voor 2005 is vastgesteld op € 0,022 (Ministerie van Economische Zaken, 2005:art.1). Dit laat zien dat slechts een kleine prikkel nodig is om warmtekrachtkoppeling concurrerend te maken (Ministerie van Economische Zaken, 2005:Toelichting).

2.6. Probleemveld

Heel veel factoren zijn van invloed op de mogelijke inzet van decentrale opwekking op microniveau. Om het probleemveld beter te kunnen begrijpen, worden deze factoren eerst in hun onderlinge samenhang geïdentificeerd. Daartoe is een causale analyse uitgevoerd, die te vinden is in Bijlage A. In de analyse zijn de eerder besproken invloeden aangevuld met andere factoren om een zo helder mogelijk beeld te krijgen van de relevante variabelen, en de manier waarop zij elkaar beïnvloeden. Op basis van de causale analyse is een systeemdiagram samengesteld, dat de grenzen van het probleemveld aangeeft. Factoren zijn hier geïdentificeerd als instrumentvariabele (te beïnvloeden door een Nederlandse actor), als omgevingsvariabele (niet of nauwelijks beïnvloedbaar) of als criterium (indicator voor de mate waarin een bepaalde 'prestatie' wordt bereikt). Het systeemdiagram is te vinden in Figuur 2. Een toelichting op de techniek van het systeemdiagram kan worden gevonden in Bijlage B.



Figuur 2 Systeemdiagram.

Het systeemdiagram biedt de mogelijkheid om op eenvoudige wijze actoren te identificeren, die een belang hebben bij het verkrijgen van meer informatie over decentrale opwekking. Het kan gaan om actoren die beschikken over instrumenten, of wiens belang geraakt wordt door een criterium. In Bijlage C kan een overzicht van de factor-actorcombinaties worden gevonden. Vier groepen actoren hebben een bijzondere binding met het thema decentrale opwekking: commerciële partijen op de elektriciteitsmarkt (handelspartijen), netwerkbeheerders (transmissie- en distributienet), de overheid (Ministeries van Economische Zaken en VROM) en de consumenten.

2.7. Scenario's

Om een indruk te krijgen van de invloed die decentrale opwekking kan hebben op de belangen van de gevonden actoren, zullen twee scenario's worden beschreven. In de nul situatie, die het meest lijkt op een voortzetting van de huidige situatie, komt decentrale opwekking niet van de grond, en zal het hooguit een marginale bijdrage leveren aan de elektriciteitsvoorziening. In het andere scenario zal decentrale opwekking in 2020 de elektriciteit voor 10% van het Nederlandse verbruik opwekken. De scenario's beschrijven de gevolgen voor de criteria, alsmede voor de wijze waarop actoren hun rol in de waardeketen vervullen.

2.8. Scenario 1: Micro-opwekking komt niet van de grond

Mocht decentrale opwekking niet van de grond komen, dan verandert er niet zoveel ten opzichte van de huidige situatie. Gebruikers zullen vrijwel al hun elektriciteit via het distributienetwerk

moeten betrekken, en het transmissienet is nodig om de grote elektriciteitscentrales te kunnen aansluiten en im- en exporten te kunnen faciliteren. Als de verhouding van de verschillende energiebronnen in de elektriciteitsopwekking, de zogeheten brandstofmix, niet verandert, zal de sector echter weinig kunnen bijdragen aan een reductie van CO₂- en stikstofoxidenemissies. Door de toenemende internationale handel in en de groeiende vraag naar elektriciteit zal het transmissienet moeten worden uitgebreid, met nieuwe hoogspanningsleidingen tot gevolg. De voordelen van decentrale opwekking zijn voor een deel gerelateerd aan het feit dat aardgas als brandstof wordt gebruikt. Een alternatief voor decentrale opwekking, waarbij toch bepaalde milieudoelstellingen kunnen worden gerealiseerd, is het uitbreiden van het aandeel van aardgas in de grote elektriciteitscentrales. Dit is onder de huidige marktomstandigheden echter geen aantrekkelijke optie, omdat de variabele kosten van aardgascentrales relatief hoog zijn en er onzekerheid is over de gasprijs op de middellange termijn (Linde, van der, 2003:14). Het is dan ook reëler om uit te gaan van een ongewijzigde brandstofmix.

2.9. Scenario 2: Micro-opwekking veroverd belangrijke plaats

Als microwarmtekrachtcentrales op grote schaal hun weg naar huishoudens en kleine bedrijven weten te vinden, zal dit voor alle vier de actorgroepen grote gevolgen hebben. Elektriciteitsproducenten zullen concurrentie ondervinden van de decentrale eenheden. Hoewel de prijsvoordelen voor consumenten in het begin mee zullen vallen, is de verwachting dat consortia van onder andere installatiebedrijven, fabrikanten en banken door het verkopen van een compleet microwarmtekrachtpakket kunnen toetreden tot de elektriciteitssector en daarmee een financiële motivatie hebben om deze technologie flink te stimuleren (Micro-Map, 2002:8). Voor distributienetwerken is er niet direct een reden om afname van de netwerkbelasting te verwachten. Het concept van microcentrales leunt juist voor een belangrijk deel op de mogelijkheid tot interactie met het netwerk. Exploitanten van de centrales zullen enerzijds teveel geproduceerde elektriciteit aan het leveren, anderzijds zullen zij vanwege het beperkte vermogen van de centrales zeer regelmatig elektriciteit moeten bijkopen. De elektriciteitsstromen op het distributienetwerk zullen wel heel anders gaan lopen als er tweerichtingsverkeer is. Dit zal in ieder geval technische consequenties hebben, die mogelijk door middel van standaardisatie moeten worden opgelost. Waar de belasting op het distributienetwerk niet zal afnemen, of zelfs zal toenemen, zal het transmissienetwerk door de decentrale eenheden juist worden ontlast. Het is echter onaannemelijk dat deze belasting snel afneemt, omdat de grote elektriciteitscentrales nog steeds het leeuwendeel van de elektriciteitsproductie invullen. Mocht er daadwerkelijke prijsconcurrentie komen tussen de grote centrales en de micro-eenheden, dan zullen de exploitanten van de grote centrales waarschijnlijk gaan concurreren op enkel de variabele kosten, en de investeringskosten niet meer meerekenen. In dat geval zullen micro-eenheden het onderspit delven, zeker zolang de technologie nog niet uitontwikkeld is en er nog maar van weinig schaalvoordelen kan worden geprofiteerd. Een andere mogelijkheid is dat eventuele overcapaciteit binnen Nederland wordt aangewend om de elektriciteitsexporten op te voeren. In dat geval zal het transmissienetwerk juist moeten worden uitgebreid.

Het is aannemelijk dat een klant voor het kopen en verkopen van zijn stroom gebruik gemaakt van één energiebedrijf. Als dit bedrijf het beheer van haar klanten overneemt, kan het een virtuele energiecentrale opereren. Daarmee vergroot het ook haar onafhankelijkheid van elektriciteitsproducenten bij het balanceren van vraag en aanbod van haar gebruikers.

De grote winnaar in dit scenario zijn de gebruikers. Zij kunnen profiteren van licht gedaalde kosten, maar misschien nog wel belangrijker is dat de betrouwbaarheid van de elektriciteitsvoorziening op zowel de korte als de middellange termijn toeneemt. De microcentrales fungeren als een soort noodaggregaten in het geval er een stroomtekort mocht optreden op het elektriciteitsnetwerk. Dat netwerk zelf is juist minder kwetsbaar voor storingen omdat de kans op grote uitval bij een groot aantal eenheden statistisch gezien klein is. Ook zijn

distributienetwerken minder afhankelijk van het transmissienet, omdat er binnen het distributienet zelf microproducenten actief zijn.

Ook het milieu zou profiteren van een stevig aandeel van decentrale opwekking bij de elektriciteitsproductie. Met name CO₂- en NO_x-emissies zullen afnemen. Zoals al eerder is opgemerkt, heeft dit echter niet alleen te maken met het netwerkniveau waarop de productie plaatsvindt, maar ook met het feit dat een overstap naar decentrale opwekking leidt tot een toename van het gebruik van aardgas voor de opwekking van elektriciteit. Hierbij moet overigens wel worden aangetekend dat grote gascentrales vanwege hun hoge variabele kosten (afhankelijk van de gas- en daarmee de olieprijs) vaak de eerste zijn die buiten bedrijf worden gesteld als er overproductie dreigt (Linde, van der, 2003:14). Substitutie van centrale door decentrale opwekking zou dus wel eens kunnen leiden tot een afname van gasgestookte centrale opwekking, die de gunstige effecten van decentrale opwekking tenietdoet.

2.10. Onzekerheden

De scenario's tonen aan dat decentrale opwekking een grote invloed kan hebben op het elektriciteitssysteem en de elektriciteitssector in Nederland. Binnen de scenario's kan redelijk worden voorspeld hoe de sector er, andere mogelijke ontwikkelingen daargelaten, uitziet. De grootste onzekerheid zit in het kunnen voorspellen welk van de scenario's het meest waarschijnlijk is, onder verschillende condities. De scenario's hebben aangetoond dat deze vraag voor een veelheid van actoren belangrijk is, omdat decentrale opwekking voor iedereen gevolgen *kan* hebben, waarop mogelijk nu al kan worden geanticipeerd. Denk aan de beheerders van de netwerken, die bij de langetermijnplanning een inschatting moeten maken van de behoefte aan lange- en kortereafstandstransport, maar ook aan elektriciteitsproducenten die investeringsbeslissingen moeten nemen over centrale productiecapaciteit. Het pakket aan maatregelen dat moet worden genomen om milieudoelstellingen, bijvoorbeeld de toezegging die Nederland binnen het Kyoto-verdrag heeft gedaan, te realiseren is mede afhankelijk van de mogelijkheden van decentrale opwekking. En tot slot zijn handelspartijen en ondernemers die nu nog buiten de elektriciteitssector staan, geïnteresseerd in nieuwe mogelijkheden voor dienstverlening.

Met het eerder gepresenteerde systeemdiagram (zie pagina 12) is een goed inzicht verkregen in de bronnen van onzekerheid. De inzet van de sturingsinstrumenten en de ontwikkeling van de omgevingsfactoren zijn beide moeilijk in te schatten. Behalve deze onzekerheid bij de invoervariabelen, is ook niet duidelijk hoe groot de invloed van de verschillende factoren op de uiteindelijke criteria is.

Uit een nadere analyse van deze factoren, die te vinden is in Bijlage D, blijkt dat er grote onzekerheden bestaan over de uiteindelijke omvang die decentrale opwekking aan kan nemen. Als uit wordt gegaan van rationele consumenten, kan met behulp van een kosten-batenanalyse het effect van verschillende financiële sturingsinstrumenten worden voorspeld. Het is echter onduidelijk tot welke uitkomsten dit op macroniveau zal leiden, oftewel: hoeveel huishoudens een micro-eenheid zullen aanschaffen. De meeste omgevingsfactoren zijn zeer grillig van aard. Daardoor is het moeilijk om hun toekomstige waarde, en daarmee hun effect, in te schatten. De grootste onzekerheden lijken te liggen bij politieke keuzes rondom CO₂-reductie en kernenergie, en de technologische ontwikkeling van verschillende energiesystemen.

2.11. Conclusie

Om de macro-omvang van decentrale opwekking te kunnen bepalen, is nieuw onderzoek nodig. Er zijn verschillende simulatiestudies gedaan⁵, maar de link tussen een kosten-batenanalyse op huishoudenniveau en de totale omvang van micro-opwekking in de elektriciteitsproductie is nog niet gelegd. Het is belangrijk om die koppeling binnen één studie te leggen, omdat verschillende studies door hun verschillende aannames en methodes niet direct vergelijkbaar zijn. De belangrijkste voorliggende vraag is welke maximale omvang decentrale opwekking kan aannemen, en onder welke combinaties van waarden voor de sturingsinstrumenten en omgevingsvariabelen dit plaatsvindt. Hoewel de omgeving niet volledig kan worden beheerst en er dus altijd onzekerheden zullen blijven bestaan, kan meer inzicht in de marktpotentie van decentrale opwekking wel bijdragen aan een effectievere inzet van sturingsinstrumenten en aan het inschatten van beleids- en ondernemingskansen.

⁵ Het Micro-Map-onderzoek heeft gebruik gemaakt van de S-curve uit de economie om de introductie van een nieuw product te modelleren, waarbij de uiteindelijke penetratie bepaald wordt door het aantal huishoudens met een aansluiting op het gasnet (Micro-Map, 2002). Het Energieonderzoek Centrum Nederland heeft onderzoek gedaan naar de kostprijs van microcentrales en de opwekkingsstrategie van gebruikers (Ruijg & Laag, van der, 2003). Strachan et al. ontwikkelden een systeemoptimalisatiemodel waarin het evolutiepad van decentrale opwekking voor de staten New York en Florida werd gesimuleerd (Strachan et al., 2003).

3. Onderzoeksplan

Decentrale opwekking door middel van microwarmtekrachtcentrales staat sterk in de belangstelling van elektriciteitsproducenten en -handelaren, netwerkbeheerders, consumenten en de overheid. Mochten microwarmtekrachtcentrales een reëel alternatief blijken voor cv-installaties in huishoudens, dan kan dat grote gevolgen hebben voor de inrichting van het elektriciteitssysteem. Het is echter nog onduidelijk hoe groot de potentie van decentrale opwekking met microcentrales is. Onderzoek kan helderheid brengen in de effecten van omgevingsfactoren en sturingsvariabelen. In dit onderzoeksplan wordt een voorstel gedaan voor de opzet van een onderzoek dat dit inzicht kan verschaffen.

Om het onderzoek uitvoerbaar te houden, is het nodig om het onderzoeksveld af te bakenen. De afbakening van het issue paper kan worden overgenomen, wat betekent dat het onderzoek zich richt op gasgestookte microwarmtekrachtcentrales in huishoudens en kleine bedrijven. Onzekerheden spelen vooral op de middellange termijn. Op een termijn langer dan 15 jaar zijn zoveel factoren onzeker geworden, dat het ondoenlijk is om nog een onderbouwde voorspelling te kunnen opstellen. De vraagstelling van het onderzoek luidt dan ook: *Welke maximale omvang, in termen van de relatieve bijdrage aan de elektriciteitsproductie, kan decentrale opwekking door middel van gasgestookte microwarmtekrachtcentrales in huishoudens en kleine bedrijven op de middellange termijn (10-15 jaar) aannemen, en onder welke condities wordt deze omvang bereikt?*

Uit het issue paper zijn een aantal instrumenten en omgevingsfactoren naar voren gekomen waarvan de toekomstige waarde of het effect op de potentie van decentrale opwekking onduidelijk is. Het gaat om financiële sturingsinstrumenten als aanschafsubsidies, terugleveringsarrangementen en de regulerende energiebelasting. De meest onzekere omgevingsfactoren zijn de technologische ontwikkeling van duurzame energie, van kleinschalige verbrandingseenheden en van brandstofcellen. Ook de maatschappelijke acceptatie van kernenergie en CO₂-eisen zijn onzekere factoren. Dit leidt tot de volgende deelvragen:

1. Welke van de in het issue paper geïdentificeerde sturingsinstrumenten zijn effectief in het stimuleren van microwarmtekracht?
2. Welke relatieve invloed hebben de in het issue paper geïdentificeerde omgevingsfactoren op de omvang van microwarmtekracht?
3. Onder welke condities (combinatie(s) van waarden voor de omgevings- en sturingsfactoren) is de omvang het grootst?

Voor de beantwoording van deze deelvragen wordt een simulatiemodel ontwikkeld, dat uitgaat van individuele huishoudens die op verschillende momenten een beslissing nemen over het al dan niet aanschaffen van een microcentrale. Deze beslissing is gebaseerd op een rationele kosten-batenafweging, waarin de microcentrale wordt vergeleken met behoud of vervanging van de cv-installatie. Op basis van het aantal gebruikers dat een microcentrale heeft aangeschaft, en hun gebruiksprofielen, kan dan (het verloop van) het aandeel van decentrale opwekking in de elektriciteitsproductie worden bepaald. Om de individuele kosten-batenanalyses te kunnen uitvoeren, is echter eerst meer inzicht nodig in de wijze waarop deze is gestructureerd. Dit leidt tot een vierde deelvraag:

4. Hoe maken huishoudens en kleine bedrijven de afweging tot het al dan niet aanschaffen van een microwarmtekrachtcentrale?

Het model zal in ieder geval het aantal eenheden, het percentage van de huishoudens dat over een microcentrale beschikt, en het aandeel van microcentrales in de elektriciteitsproductie als uitvoervariabelen moeten leveren.

Om de individuele beslissingen van gebruikers goed te kunnen modelleren, zal het model objectgeoriënteerd moeten zijn. Objectoriëntatie staat hier recht tegenover de alternatieve mogelijkheid van stroomoriëntatie, dat generieke processen in plaats van entiteiten (in dit geval individuele beslissers) centraal stelt.

Voor de bepaling van de initiële parameterwaarden in het model, en de mogelijke fluctuatie daarvan, zal externe data over elektriciteits- en gasprijzen, belastingen, en vraagkarakteristieken van huishoudens worden gebruikt. Hiervoor zal worden geput uit eerdere studies alsmede algemeen toegankelijke statistische gegevens.

Het onderzoek beslaat 12 weken. In de tijdsplanning, die te vinden is in Tabel 2, zijn de verschillende modelleerfasen onderscheiden. Het onderzoek kan aanvangen in september 2005.

Tabel 2 Tijdsplanning modelstudie.

Modelfase	Tijdsbeslag
Uitwerken en bespreken onderzoeksplan / conceptualisatie	2 weken
Specificatie	3 weken
Verificatie en validatie	2 weken
Kiezen behandelingsopzet en experimenteren	2 weken
Interpreteren resultaten	1 week
Afmaken onderzoeksverslag	1 week
Uitloop	1 week
Totaal	12 weken

Literatuur

- Ackermann, T., Andersson, G. & Söder, L. (2001) Distributed generation: a definition, In: *Electric Power Systems Research*, 2001:57, pp. 195-204.
- Arentsen, M.J., Fabius, J.W. & Künneke, R.W. (2001) Dutch business strategies under regime transition, in: Midttun, A. (red.) *European energy industry business strategies*, Oxford: Elsevier Science, pp 151-194.
- Borbely, A.-M. & Kreider, J.F. (eds.) (2001) *Distributed Generation – The Power Paradigm for the New Millennium*, London: CRC Press.
- Centraal Bureau voor de Statistiek (2005) *CBS Statline*, <http://statline.cbs.nl>.
- CoGen Europe (2004) *Micro-CHP Fact Sheet The Netherlands*, http://www.cogen.org/Downloadables/Publications/FactSheet_MicroCHP_Netherlands.pdf
- CoGen Europe (2004a) *Micro-CHP Fact Sheet United Kingdom*, http://www.cogen.org/Downloadables/Publications/FactSheet_MicroCHP_UK.pdf
- De Vries, L.J. (2004) *Securing the public interest in electricity generation markets*, Delft: Laurens de Vries. http://www.library.tudelft.nl/delftdiss/pdf/2004/tpm_vries_20040629.pdf
- Future CoGen project team (2001) *The future of CHP in the European market – The European cogeneration study*, http://tecs.energyprojects.net/links/final_publishable_report.pdf
- Linde, C. van der (2003) *The case for gas is not self-fulfilling*, Den Haag: Clingendael Institute.
- Jenkins, N. et al. (2000) *Embedded Generation*, London: The Institution of Electrical Engineers.
- Jong, H.M. de (2003) *Decentraal vermogen: een kansrijke optie?* Arnhem: KEMA/Delft: TU Delft, Faculteit Techniek, Bestuur & Management.
- Micro-Map (2002) *Mini and Micro CHP – market assessment and development plan - Summary report*, http://www.cogen.org/Downloadables/Projects/Micromap_Publishable_Report_Summary.pdf
- Ministerie van Economische Zaken (2001) *Warmtekrachtkoppeling*, Kamerstuk TK26898, nr. 27 (2000-2001).
- Ministerie van Economische Zaken (2004) *Elektriciteitswet 1998*, Den Haag: Ministerie van Economische Zaken.
- Ministerie van Economische Zaken (2004a) *Innovation in Energy Policy*, Den Haag: Ministerie van Economische Zaken.
- Ministerie van Economische Zaken (2004b) *Olie en gas in Nederland – Jaarverslag 2003 en prognose 2004-2013*, Den Haag: Ministerie van Economische Zaken. <http://www.nitg.tno.nl/oil&gas/downloads/jb2003nl.pdf>
- Ministerie van Economische Zaken (2005) *Wijziging Regeling subsidiebedragen milieukwaliteit elektriciteitsproductie 2005*, Den Haag: Ministerie van Economische Zaken. http://www.enerq.nl/Images/subsidieregeling%20WKK%202005_tcm26-7968.pdf
- Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (2002) *Evaluatienota Klimaatbeleid*, Den Haag: Ministerie van VROM. <http://www.vrom.nl/docs/publicaties/milieu2137.pdf>
- Monaco, J.L. del (2001) *The role of distributed generation in the critical electric power infrastructure – Summary abstract*, IEEE 2001 Winter Power Meeting.
- NRC Handelsblad (2004) *Ieder huis een eigen elektriciteitscentrale*, NRC Handelsblad, 7 april 2004, PCM Uitgevers b.v.
- NRC Handelsblad (2005) *Wat is erger: klimaatverandering of kernenergie*, NRC Handelsblad, 19 februari 2005, PCM Uitgevers b.v.
- Oosterkamp, P.F. van den & Laag, P.C. van der (2003) *Operational Experience with Micro-CHP Residential Fuel Cell Systems*, Petten: Energieonderzoek Centrum Nederland.

Ruijg, G.J. & Laag, P.C. van der (2003) *Rentabiliteit van micro warmtekrachtsystemen*, Petten: Energieonderzoek Centrum Nederland.

Strachan, N., Zerriffi, H. & Dowlatabadi, H. (2003) System implications of distributed generation, in: Thissen, W.A.H. & Herder, P.M. (eds.) *Critical infrastructures – state of the art in research and application*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, hoofdstuk 3.

Woodworth, M. (1996) A Co-Generator's (CHP) Viewpoint, Abstract for Conference on *The impact of Embedded Generation on the Distribution Networks*, 15 oktober 1996.

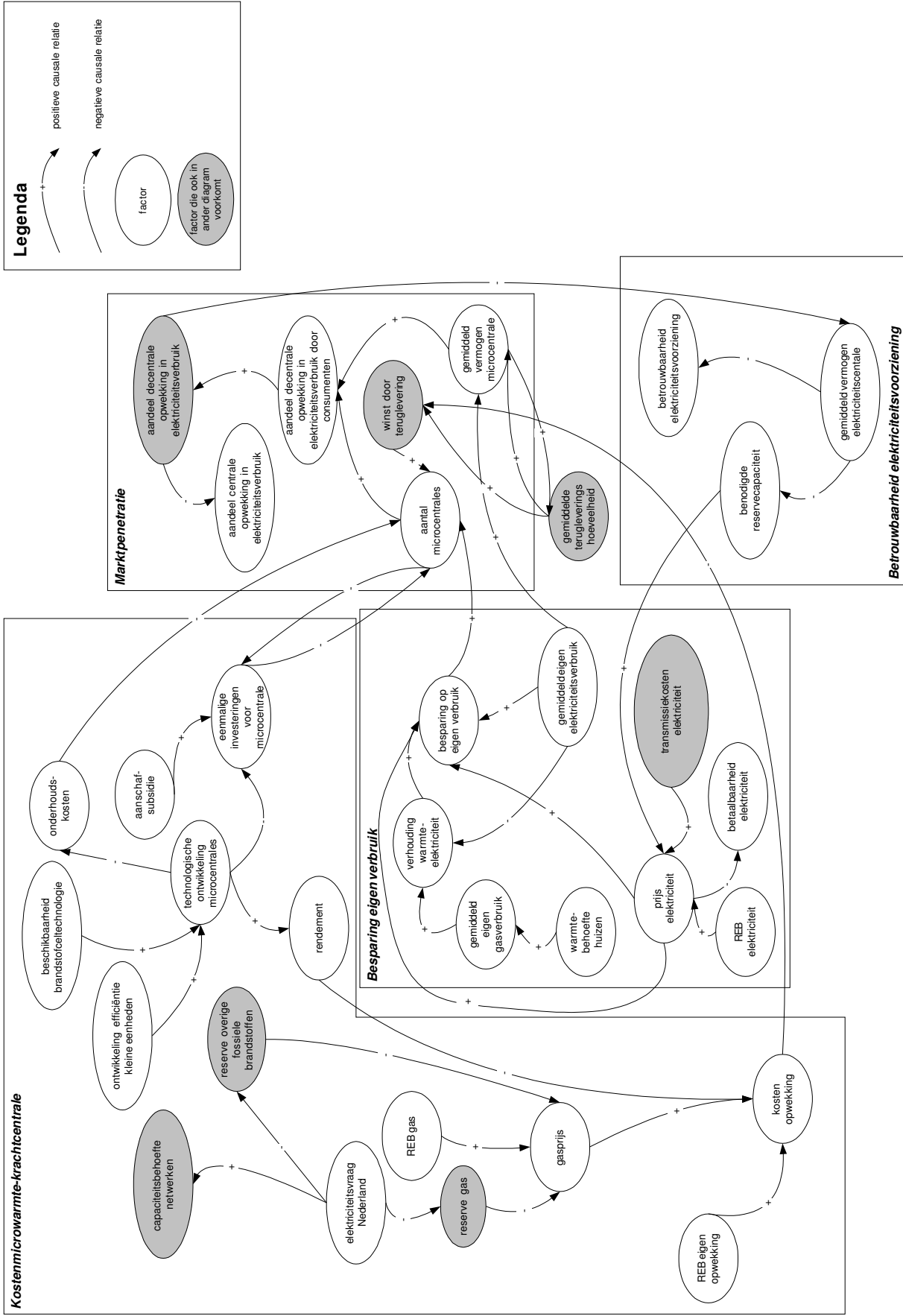
Bijlagen

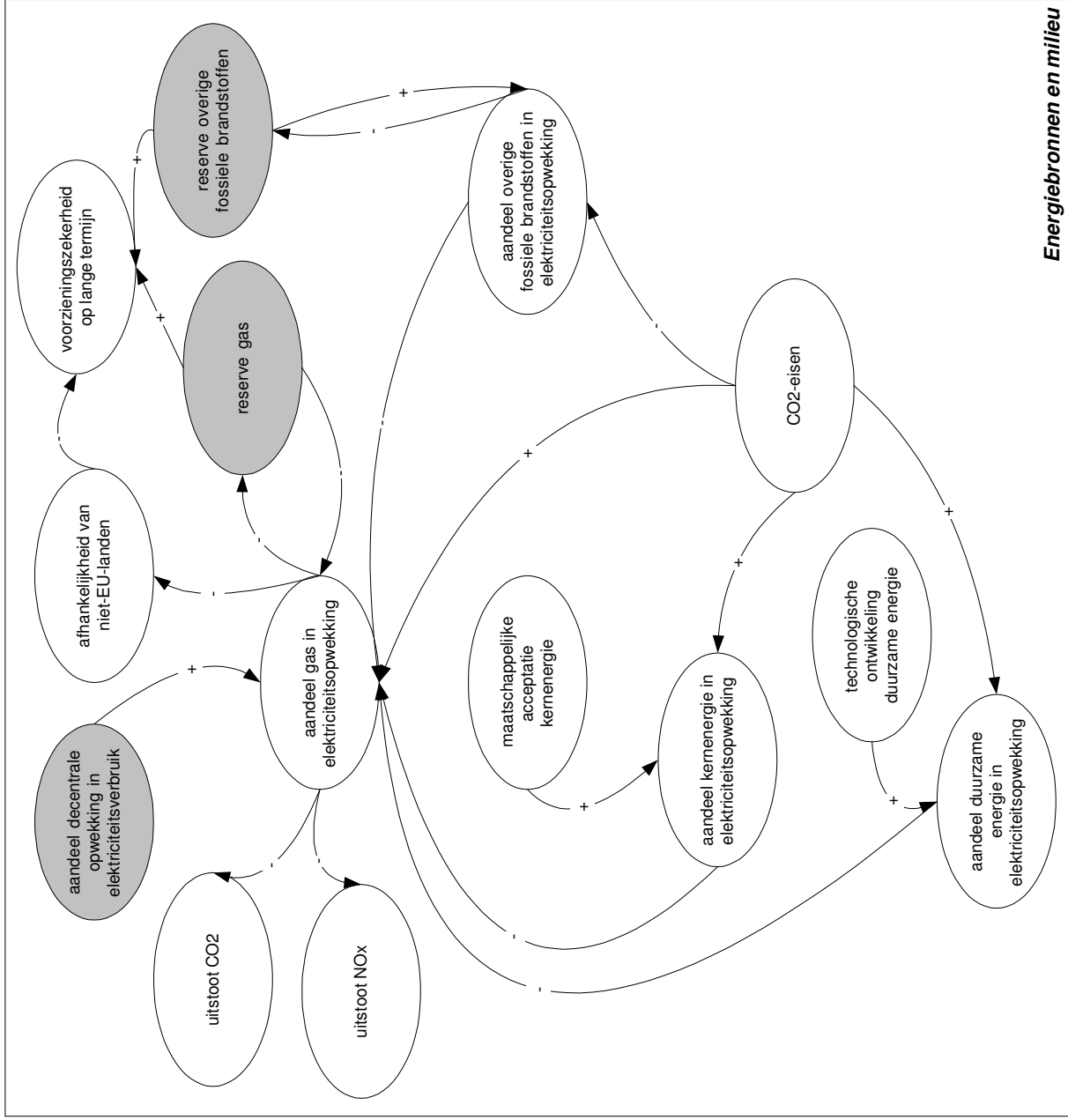
Bijlage A Causale analyse

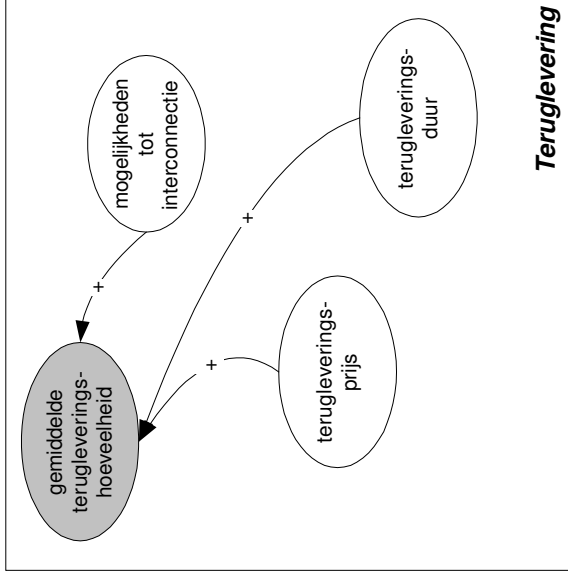
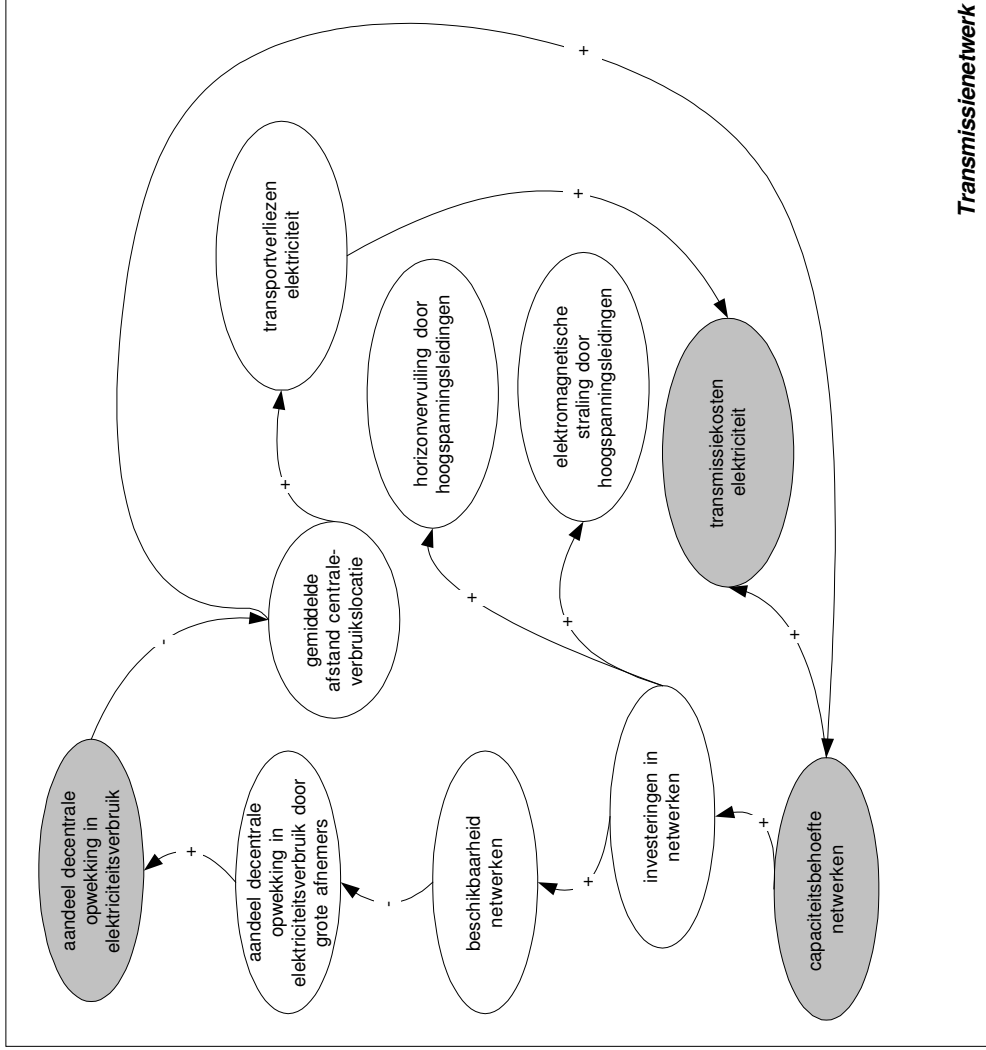
Een causale analyse is behulpzaam bij het identificeren van relevante factoren die een rol spelen rond het thema decentrale opwekking. Een causaal diagram geeft deze factoren weer, in hun onderlinge samenhang. Relaties tussen de factoren zijn aangegeven met pijlen. Een + bij een pijl betekent dat er een positief verband bestaat tussen twee factoren. Dat betekent dat een toename van de waarde van de ene factor ook een toenemende waarde bij de andere factor veroorzaakt. Een negatief verband, aangegeven met een -, duidt op een situatie waarin een toename in de ene factor een afname in de andere veroorzaakt (en een afname tot een toename leidt). De causale analyse geeft een beeld van het probleemveld zonder een specifiek actorperspectief. Het geeft in een helicopterview oorzakelijke verbanden aan die zich tussen de verschillende factoren voordoen.

De factoren kunnen worden gegroepeerd in verschillende categorieën of subsystemen. Centraal in dit paper staat de invloed van decentrale opwekking op de elektriciteitsvoorziening. De factoren die gebruikt kunnen worden als indicator van deze invloed zijn geclusterd onder de noemer *Marktpenetratie*. Het aantal microwarmtekrachtcentrales wordt met name beïnvloed door de kosten en baten die aan de aanschaf en exploitatie van een dergelijke centrale verbonden zijn. De factoren die invloed hebben op de uitgaven zijn te vinden in het vak *Kosten microwarmtekrachtcentrale*. De financiële baten zullen vooral bestaan uit opbrengsten die het gevolg zijn van het terugleveren van elektriciteit aan het net (*Teruglevering*) en de geldelijke besparing die wordt gerealiseerd op het eigen elektriciteitsverbruik (*Besparing eigen verbruik*). De gevolgen die decentrale opwekking kan hebben voor het landelijke hoogspanningsnet zijn uiteengezet in *Transmissienetwerk*. De positie van aardgas, de beoogde brandstof voor de microcentrales, is mede afhankelijk van andere energiedragers en hun milieueffecten, die zijn ondergebracht in *Energiebronnen en milieu*. Het effect van decentrale opwekking op de voorzieningszekerheid van elektriciteit is te vinden binnen het kader *Betrouwbaarheid elektriciteitsvoorziening*.

De verschillende subsystemen zijn te vinden op de hiernavolgende pagina's.







Bijlage B Toelichting systeemdiagram

Het systeemdiagram dat in deze bijlage wordt toegelicht kan worden gevonden op pagina 12.

De factoren uit het causaal diagram zijn opnieuw gegroepeerd. Ditmaal zijn de in- en uitgangsvariabelen onderscheiden van de variabelen die zich in het systeem bevinden (endogene factoren). Een ingangsvariabele is een factor die in zoverre op zichzelf staat, dat zij niet beïnvloed wordt door andere factoren die zich in de causale analyse bevinden. Een uitgangsvariabele is juist geheel afhankelijk van de factoren in het geanalyseerde systeem, en beïnvloedt zelf geen andere factoren meer. De in- en uitgangsvariabelen geven daarmee de afbakening van het probleemveld aan. De ingangsvariabelen zijn te onderscheiden in sturings- en omgevingsvariabelen. Een sturingsvariabele kan door een actor worden beïnvloed. Omdat in dit paper niet van een specifieke actor uitgegaan wordt, maar een sectorbrede benadering wordt gehanteerd, is er in dit geval voor gekozen om variabelen die door Nederlandse actoren, die in het paper worden geïdentificeerd, op de korte tot middellange termijn beïnvloed kunnen worden, tot de sturingsvariabelen te rekenen. De omgevingsvariabelen geven invloeden weer die niet of nauwelijks te beïnvloeden zijn. De uitgangsvariabelen, ook wel criteria geheten, zijn indicatoren voor de 'prestaties' van het systeem. Met behulp van deze criteria kan bepaald worden in hoeverre bepaalde systeemuitkomsten in het belang zijn van bepaalde actoren. Bij de keuze van criteria is er gekeken naar de belangrijkste discussiepunten in de literatuur. Zij vormen een goede indicatie voor de belangen van de verschillende actoren die mee kunnen spelen bij decentrale opwekking. De blokken representeren de subsystemen, zoals die ook in de causale analyse zijn onderscheiden.

Bijlage C Actoranalyse

In deze bijlage worden op basis van de instrumenten en criteria uit het systeendiagram (zie pagina 12) actoren geïdentificeerd die een belang hebben of betrokken zijn bij decentrale opwekking.

Instrumenten	
<i>Factor</i>	<i>Actor</i>
Aanschafsubsidie	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu Ministerie van Economische Zaken
Mogelijkheden tot interconnectie	Ministerie van Economische Zaken Distributienetwerkbeheerders
Terugleveringsprijs	Elektriciteitsproducenten Handelsbedrijven Distributienetwerkbeheerders
Terugleveringsduur	Elektriciteitsproducenten Handelsbedrijven Distributienetwerkbeheerders
REB elektriciteit, gas en eigen opwekking	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu Ministerie van Economische Zaken Elektriciteitsproducenten

Criteria	
<i>Factor</i>	<i>Actor</i>
Uitstoot CO2	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu
Uitstoot NOx	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu
Horizonvervuiling door hoogspanningsleidingen	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu
Elektromagnetische straling door hoogspanningsleidingen	Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport
Voorzieningszekerheid op lange termijn	Ministerie van Economische Zaken Consumenten
Betrouwbaarheid elektriciteitsvoorziening	Transmissienetbeheerder (TenneT) Consumenten
Betaalbaarheid elektriciteit	Ministerie van Economische Zaken Consumenten
Aandeel centrale opwekking in elektriciteitsverbruik	Elektriciteitsproducenten Handelsbedrijven Distributienetwerkbeheerders Transmissienetbeheerder (TenneT) ⁶

⁶ In de taakomschrijving van de transmissienetbeheerder (TenneT) is vastgelegd dat maatregelen op het gebied van decentrale opwekking in overweging moeten worden genomen bij het uitvoeren van de beheerstaak (Ministerie van Economische Zaken, 1998:art.16). Dit betekent dat handhaving van het hoogspanningsnet op de huidige omvang of zelfs uitbreiding geen primair doel is van TenneT.

Bijlage D Onzekerheid over factoren

Om onzekerheden over instrument- en omgevingsfactoren (volgend uit het systeemdiagram op pagina 12) juist te kunnen analyseren, is het van belang te erkennen dat onzekerheid in beide gevallen een iets andere betekenis heeft. Bij instrumentvariabelen kan de waarde door een of meer actoren worden beïnvloed. Het effect dat deze instrumenten op de uitkomsten (criteria) hebben, is echter niet altijd duidelijk. Bij omgevingsfactoren is dit effect ook niet altijd helder, maar daarbovenop is de waarde van de omgevingsfactor vaak een nog belangrijker bron van onzekerheid. De tabel hieronder geeft een inschatting van de omvang van de onzekerheden.

Instrumenten	
<i>Factor</i>	<i>Onzekerheid over effect</i>
Mogelijkheden tot interconnectie	Klein: indien er geen mogelijkheid tot teruglevering bestaat, zal de aanschaf van een microcentrale naar alle waarschijnlijkheid niet rendabel zijn.
Aanschafsubsidie	Groot: hoewel het effect op een enkel huishouden makkelijk is te modelleren door middel van een kosten-batenafweging, is niet duidelijk hoeveel huishoudens, onder een bepaalde combinatie van de bovenstaande maatregelen, microcentrales zullen gaan aanschaffen en gebruiken.
Terugleveringsprijs	Groot: idem
Terugleveringsduur (aantal uren dat teruglevering mogelijk is en eventueel het vermogen dat geleverd mag worden)	Groot: idem.
REB elektriciteit, gas en eigen opwekking	Groot: idem.

Omgevingsfactoren	
<i>Factor</i>	<i>Onzekerheid over waarde</i>
Energiebehoefte	Klein: energieverbruik kent een stabiele groei. In de periode 1995-2003 is het elektriciteitsverbruik jaarlijks met gemiddeld 2,9% gestegen (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2005) ⁷ .
Technologische ontwikkeling duurzame energie	Groot: technologische ontwikkelingen zijn per definitie moeilijk in te schatten, en zijn ook moeilijk te sturen. Duidelijk is wel dat decentrale opwekking in de belangstelling staat en er op diverse plaatsen onderzoek naar wordt gedaan. Het op de markt kunnen brengen van een betaalbare en efficiënte microcentrale zal hoogstwaarschijnlijk beloond worden door commercieel succes.
Ontwikkeling efficiëntie kleine eenheden	Groot: idem.
Beschikbaarheid brandstofceltechnologie	Groot: er zijn nog veel onduidelijkheden over de marktpotenties van brandstofceltechnologie.

⁷ CBS Statline, tabel Elektriciteitsbalans.

	Op dit moment heeft het Energieonderzoek Centrum Nederland wel een experimentele microwarmtekrachtcentrale op basis van brandstofceltechnologie in beheer (Oosterkamp, P.F. van den & Laag, P.C. van der, 2003:17).
Maatschappelijke acceptatie kernenergie	Groot: de publieke opinie is lange tijd gekant geweest tegen kernenergie. Op dit moment lijkt daar enige verandering in te komen (NRC Handelsblad, 2005), maar het is gevaarlijk voorspellingen te doen over de maatschappelijke acceptatie op de lange termijn. Publieke opinies kunnen zeer snel veranderen.
Gemiddeld eigen elektriciteitsverbruik	Klein: het energieverbruik van huishoudens is goed te voorspellen op basis van historische data.
CO2-eisen	Groot: in de wetenschap is er nog geen overeenstemming over het broeikaseffect, maar de politiek heeft het op internationaal niveau tot thema gebombardeerd. Het ambitieniveau is moeilijk te voorspellen, en hangt mede af van de publieke opinie en mogelijke nieuwe wetenschappelijke inzichten.
Warmtebehoefte huizen	Klein: is evenals het elektriciteitsverbruik goed te voorspellen.