



**Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland**

Energie en ruimtelijke planning, een spannende combinatie

EOS LT 03029, werkpakket 4

Rijksuniversiteit Groningen, Faculteit Ruimtelijke
Wetenschappen

in opdracht van Agentschap NL (nu Rijksdienst voor
Ondernemend Nederland)
www.rvo.nl

Energie en ruimtelijke planning, een spannende combinatie

Over integrale ruimtelijke conceptvorming op een regionale schaal met exergie als basis

Ferry Van Kann

CONCEPT

WORKPACKAGE 4

Uitgever: Rijksuniversiteit Groningen, Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen
Omslag: Aggie Schrijvers, Kerkrade
ISBN: n.n.b.

Copyright Ferry Van Kann

Voorwoord

p.m.

Inhoudsopgave:

Deel A: Achtergrond

1	Energie en ruimtelijke planning, een wereld van verschil?	-8-
2	Zorgen over ons huidige energielandschap	-18-
3	Het exergieprincipe op regionale schaal	-27-
4	Een nieuw energielandschap, lokale potenties en ruimtelijke structuur	-45-

Deel B: Theorie en methodologie

5	Methodiek voor integrale energie-ruimte concepten	-80-
6	Scenario's als methode om contextvariabelen te begrijpen...	-95-
7	Conditie voor het functioneren van robuuste energie-ruimte concepten	-112-

Deel C: Empirie

8	Exergieplanning op regionale schaal: Zuid-Limburg	-132-
9	Exergieplanning op regionale schaal: Zuidoost-Drenthe	-173-
10	Conclusies en aanbevelingen	-208-
	Referenties	-211-
	Samenvatting	-216-
	Summary	-218-

Energie en ruimtelijke planning, een spannende combinatie
Over integrale ruimtelijke conceptvorming op een regionale schaal
met exergie als basis

Deel A

Achtergrond

1 *Energie en ruimtelijke planning, een wereld van verschil?*

1.1 Inleiding

Dagelijks staan artikelen in kranten en tijdschriften, die een breed gedragen zorg over onze toekomstige energievoorziening weergeven. Niet vreemd als we beseffen, dat onze maatschappij niet zonder aanzienlijke energiestromen kan. Als een helikopter op 12 december 2007 een hoogspanningsmast omtrekt, gaat het licht bij 50.000 woningen in de Bommelwaard uit. Zonder stroom en zonder warmte blijkt de Bommelerwaard al snel totaal ontwricht. Zowel het kabinet als het parlement stortte zich direct op deze “ramp”¹. Hoewel dit voorbeeld een incident is, kunnen ook andere regio’s niet zonder een betrouwbare, voortdurend beschikbare energievoorziening. Er zijn meer redenen, die stemmen tot zorg over de huidige energievoorziening. Onderwerpen als klimaatverandering, uitstoot van milieuverontreinigende stoffen, het opraken van fossiele brandstoffen en ook de groeiende geopolitieke afhankelijkheid van andere landen voor de eigen energievoorziening spelen hierin een rol (IPCC, 2007a, b, c en d; MacKay, 2009:2-21; Ministerie van Economische Zaken, 2005; Ministerie van VROM, 2007).

Ook de Nederlandse rijksoverheid is zich er van bewust, dat er een noodzaak is om voor de (nabije) toekomst te werken aan een schone en zuinige energievoorziening. In het werkprogramma Schoon en Zuinig (Ministerie van VROM, 2007) wordt begonnen met een bijna identieke constatering als in deze studie. Er gaat geen dag voorbij of de energie- en klimaatproblematiek haalt de media wel. Vaak zelfs de voorpagina’s. De milieuexperts die zich eerder nog afvroegen hoe het onderwerp breed zou kunnen worden geagendeerd hoeven niets meer te doen: het probleem agendeert zichzelf. Extreme weersomstandigheden, uiteenlopend van hitte en droogte tot zware regenval en overstromingen, zijn de laatste jaren opvallend. De menselijke invloed is groot, zo rekenen deskundigen voor. De stijgende trend in energiegebruik baart zorgen voor de toekomst. Ook in het perspectief van duurzame ontwikkeling mag de overgang naar een schone, zuinige, toekomstbestendige en betrouwbare energievoorziening een serieuze uitdaging worden genoemd.

¹ Zie bijvoorbeeld de kamervragen 1229, 1356, 1358 uit vergaderjaar 2007-2008, of kamervraag 1711 uit het jaar 2008-2009, of de vraag 934 uit jaar 2009-2010, ook is er een evaluatie opgesteld door Scholtens en Helsloot (2008) van de hoofdstructuur van de rampenbestrijdingsorganisatie in de regio Gelderland Zuid in termen van effect inzake de Stroomuitval in de Bommeler- en Tielerwaard in december 2007.

Gevoed door twijfels over de huidige energievoorziening en initiatieven om de wereld een duurzamere richting in te duwen, zet ook de Nederlandse rijksoverheid in op een zogenaamde energietransitie. Waar eerder nog wat fanatiekere beleidsinspanningen werden geformuleerd (zie: Ministerie van Economische Zaken, 2005 en Ministerie van VROM, 2007), verhaalt het Energierapport 2011 over maatregelen om Nederland minder afhankelijk te maken van fossiele brandstoffen en geleidelijk over te laten schakelen op hernieuwbare energie. Niettemin blijft op de langere termijn een energietransitie het streven (Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, 2011). Onder deze energietransitie wordt een fundamentele verandering verstaan van een energiesysteem gebaseerd op fossiele brandstoffen naar een systeem dat steunt op duurzame energiebronnen². Juist bij het gebruikmaken van energie uit duurzame bronnen (zoals zon, wind, geothermie) spelen ruimtelijke condities, locaties en afstanden een grotere rol dan we gewend waren bij het gebruikmaken van olie, gas en steenkool (zie: Gordijn, et al., 2003; Van Hoorn, et al., 2010). Het vervoer van steenkool tot aan de elektriciteitscentrale, de benzine tot aan het tankstation en het aardgas tot aan ieder woonhuis is de normaalste zaak van de wereld. Het op grote schaal beschikbaar maken van elektriciteit, het faciliteren van warmte en koude en het ontwikkelen van duurzame brandstoffen op basis van duurzame energiebronnen vergt nog een hele verandering in de maatschappij. Deze verandering is zeker niet alleen van technische aard. De vraag is dan ook gerechtvaardigd, of er gedurende een dergelijke energietransitie een rol is weggelegd voor ruimtelijke planning. Deze vraag is het vertrekpunt van deze studie.

Bij een transitie naar een duurzame energievoorziening zijn er twee belangrijke strategieën. Ten eerste is er de strategie om efficiënter om te gaan met energie (zuinig). Daarnaast gaat het om de strategie in te zetten op duurzame energiebronnen (schoon), zoals zon, wind, waterkracht, biomassa, geothermie, getijden, osmose, et cetera. De mogelijkheden om gebruik te maken van de verschillende duurzame bronnen blijken in grote mate per gebied verschillend. Een optimaal gebruik van duurzame energiebronnen vraagt om een samenhangende visie. Zo'n holistische visie op de verbindende potenties van duurzame energiebronnen onderling en in relatie tot het totale energiesysteem is nog maar beperkt onderwerp van gesprek. Dat geldt al helemaal voor de ruimtelijke component van het verhaal.

² In de wetenschappelijke literatuur is het beeld van een energietransitie minder eenduidig. Het scala bestaat uit "sustainable fossil fuels" (zie: Jaccard, 2005), "living on renewables" (zie: MacKay, 2009) tot "hydrogen futures" (zie Dunn, 2002). Kemp en Rotmans (2009) maken hierbij onderscheid tussen systeeminnovatie en systeemoptimalisatie. In hoofdstuk vier wordt dieper op deze discussie ingegaan.

De gebouwde omgeving bestaat uit allerhande functies, die alle gebruikmaken van bestaande energienetwerken om in hun energiebehoeftes te voorzien. Hiervoor wordt een financiële verplichting aangegaan met het energiebedrijf. Dit bedrijf verplicht zich op zijn beurt te allen tijde energie te leveren en daarmee eindigt ongeveer de wederzijdse relatie. De energiebedrijven zorgen vaak met geïmporteerde fossiele brandstoffen, of met gas uit eigen bodem voor het noodzakelijke aanbod van energie. Kenmerkend aan deze vorm van energievoorziening is zowel het centrale karakter, het eenrichtingsverkeer en de vanzelfsprekendheid.

Kan dat niet spannender? Liggen er misschien kansen in de uitwisseling van energiestromen tussen verschillende ruimtelijke functies? Zijn er mogelijkheden voor het ontwikkelen van een op een specifiek gebied toegesneden energiesysteem? Kan de rol voor duurzame energiebronnen worden vergroot? In het voorliggend onderzoek worden in deze richtingen kansen gezocht voor de eerder genoemde serieuze uitdaging. Niet langer zien we dan ruimtelijke functies als losse elementen, maar als belangrijke schakels in een integraal energie-ruimte systeem.

Als ook efficiëntie als strategie een grotere rol gaan spelen in de energietransitie, kunnen we niet om het thermodynamisch begrip exergie heen (Dincer en Rosen, 2005). Exergieanalyses worden gebruikt om inefficiënties in een energiesysteem op te sporen (Çomakli, et al, 2004). Dit gebeurt zowel op het schaalniveau van een apparaat (Cornelissen, 1997), als voor energiecentrales en bedrijfsterreinen tot en met het niveau van landen (Wall, 1987, 1988, 1992; Hammond en Stapleton, 2001). Deze analyses voeren direct terug op de eerste en tweede wet uit de thermodynamica, of de energieleer. De eerste wet stelt heel helder, dat energie noch geproduceerd noch verloren kan gaan³. Wel hebben we voor alles wat gebeurt een energieconversie nodig. Daarbij wordt er telkens exergie geconsumeerd (Wall, 2009). In hoofdstuk drie wordt hier nader bij stil gestaan. In deze inleiding volstaan we met exergie te omschrijven als de kwaliteit van energie. En die kwaliteit van energie neemt dus bij iedere energieconversie af. Exergieanalyses brengen vervolgens in kaart waar de kwaliteit van energie meer dan nodig afneemt en tonen daarmee inefficiënte energieconversies aan in een energiesysteem. Ze tonen daarmee dus ook kansen voor verbetering.

³ In deze studie worden daarom consequent de woorden energieverbruik en energieproductie vermeden. Wel worden de woorden duurzame energievoorziening en energiegebruik gebezigd. Ook wordt de woordcombinatie duurzame energiebron hier gebruikt, waarbij de betekenis gelijk is aan de omschrijving in de Van Dale (2009): “gebruikmaken van bronnen die blijvend beschikbaar of herwinbaar zijn, zoals wind (windenergie), zon (zonne-energie) en aardwarmte (geothermische energie).

Exergieanalyses van de energiesystemen van de landen Japan, Zweden en Canada (Wall, 1987; 1990; Rosen, 1992) tonen aan dat de exergetische prestaties rondom de 20% liggen. De grootste inefficiënties zijn hierbij geïdentificeerd bij enerzijds transport (zowel bij de verbrandingsmotor, als de elektromotor) en anderzijds bij de verwarming (gaskachels) en koeling (airconditioning) van gebouwen. Ook binnen de Nederlandse context is dit laatste een relevant uitgangspunt, omdat niet minder dan 40% van het Nederlandse energiegebruik gekoppeld is aan verwarming (CBS, 2010 en zie bijlage 1). Het verbranden van hoog-exergetisch aardgas om ruimtes te verwarmen tot een aangename 20 graden Celsius levert een zeer lage exergie-efficiëntie op. Juist hier liggen lokaal kansen om met behulp van warmtenetten gebruik te maken van restwarmte, omgevingswarmte, of bijvoorbeeld geothermie.

Ruimtelijke variabelen, als afstanden, dichtheden, omvang van functies, etc., spelen een belangrijke rol bij het op een efficiënte manier inpassen van deze warmtenetten in lokale energie-ruimte systemen (Adema, 2005). Het in beeld brengen van planologische voorwaarden voor het beter benutten van niet effectief gebruikte energiestromen is een uitgangspunt van wat exergieplanning wordt genoemd. Daarbij wordt gezocht naar condities die richting kunnen geven aan strategisch, ruimtelijk-exergetisch beleid ten behoeve van een transitie naar een duurzame energievoorziening.

In de nu volgende paragraaf gaan we eerst in op de maatschappelijke relevantie; de relatie tussen ruimtelijke planning, een energietransitie en duurzame ontwikkeling. Daarbij is het de vraag wat energielandschappen zijn en hoe fundamentele veranderingen in het energiesysteem daarmee in verband staan. Vervolgens wordt de relatie met de theorie gelegd en wordt dit onderzoek gepositioneerd ten opzichte van andere onderzoeken.

De studie bestaat uit drie delen (A-achtergrond, B-theoretisch en C-empirisch) om de discussie over de vraag of regionale planning kan bijdragen aan een meer duurzame energievoorziening te voorzien van argumenten.

1.2 maatschappelijke relevantie

Een trend in de afgelopen jaren is dat burgers, bedrijven en zeker ook overheden uitspreken meer duurzaam bezig te willen zijn. Als een relevant onderdeel wordt het energiesysteem gezien. Er zijn voorbeelden te over van gemeenten, provincies, regio's die uitspreken te streven naar een energievoorziening, die klimaatneutraal, CO₂-neutraal, of

energieneutraal is (Roos, et al., 2007) Hoewel deze begrippen niet precies hetzelfde betekenen, is de richting van de intenties duidelijk. Meer en meer willen bestuurders toe naar een energiesysteem, dat hier en nu op een verantwoorde wijze functioneert, alsmede andere plekken en toekomstige generaties vergelijkbare kansen biedt om in een toekomstbestendige energievoorziening te voorzien.

De vraag is echter, hoe een overgang naar een duurzame energievoorziening te zien en vooral welke keuzes daarvoor door wie, wanneer moeten worden genomen? Wat zijn daarvan de ruimtelijke gevolgen? En kan de specifieke ruimtelijke functionele structuur van een regio niet juist kansen bieden voor een op maat gemaakte energievoorziening? Zijn er specifieke, regionale kansen voor geïntegreerde energie-ruimte landschappen? Dit zijn landschappen, waarin het ruimtelijk fysieke en de exergetische potenties met het organisatorische en institutionele kader een samenhangend geheel vormen.

Om te begrijpen wat precies met een geïntegreerd energielandschap bedoeld wordt, illustreren we eerst twee andere energielandschappen. Vanaf de 11e eeuw is er een belangrijke kentering te duiden in het energielandschap⁴ van Nederland. Vanaf dan worden fossiele brandstoffen steeds belangrijker in Nederland. Een tweedeling in energielandschappen kan worden gemaakt met de periode waarin veenontginningen en turfgebruik de bron waren van het energiesysteem en de periode waarin fossiele brandstoffen uit de diepere ondergrond die rol overnamen.

In de eerste periode, de veenontginningen, is vooral de ruimtelijke impact van de energievoorziening zichtbaar. Een veenontginning betekent het verwijderen van een veenbodemplaat met de bedoeling deze te gebruiken als brandstof. Het delven van veen was honderden jaren een lucratieve bezigheid. Turf als brandstof voor ovens, brouwerijen, distilleerderijen, kokerijen en dergelijke maakte de industrialisatie in de gouden eeuw mogelijk. Ook als huisbrandstof was turf onontbeerlijk. Na het afgraven of wegbaggeren van het veen werd de grond geschikt gemaakt voor landbouw. In laag gelegen gebieden bleven er vaak grote veenplassen over. Nu nog kunnen we de ruimtelijke gevolgen van de veenontginningen goed waarnemen in bijvoorbeeld het

⁴ Daarvoor bestond de energievoorziening eigenlijk hoofdzakelijk uit wat we tegenwoordig duurzame energiebronnen zouden noemen, zoals biomassa, wind, zonne-energie, waterkacht. Toch is het ook belangrijk om ons te realiseren, dat de eerste verveningen in de Lage Landen plaatsvonden om in de energiebehoefte van de florende Vlaamse steden te voorzien ingegeven door een tekort aan brandhout. Dat tekort aan brandhout laat ook zien, dat je duurzame bronnen goed moet gebruiken, want de kaalslag van bossen in (West-)Europa in de vroege Middeleeuwen heeft weinig met een toekomstbestendige energievoorziening van doen.

Groene Hart, in de Peel en de veenkoloniën in Noordoost-Nederland. Waar te nemen zijn onder andere scheidingen tussen land en water (veenplassen), verkavelingspatronen, patronen van nederzettingen en verkeerswegen, alsmede sommige specifieke vormen van veenindustrie, zoals de productie van actieve kool door Norit in Klazienaveen. Kortom, de eerste generatie energielandschap laat zien dat er vooral een ruimtelijke uitwerking is van het energielandschap.

Als we naar de organisatorische en institutionele aspecten van veendelving kijken, komen machtige organisaties in beeld. We zien bijvoorbeeld dat de kolonisatie van de veengebieden in Zuidoost-Drenthe is opgepakt door werkmaatschappijen met zetels in onder andere Amsterdam en Dordrecht. Nieuw-Amsterdam, Nieuw-Dordrecht en bijvoorbeeld ook Hollandscheveld zijn ontstaan in opdracht van Hollandse eigenaren en met behulp van arbeidskrachten die naar de nieuwe gebieden zijn overgebracht om daar te werken aan de verveningen. Het illustreert dat de ontwikkeling van energielandschappen niet iets is dat zich zomaar en spontaan voltrekt, maar het gevolg is van institutionele acties en reacties op verschillende schaalniveaus. Nieuwe organisaties en instituties ontstaan, zoals ontginningsmaatschappijen en industrieën, waaronder het eerder genoemde Norit in Klazienaveen. Het is een argument om in dit planologische onderzoek naar energie en ruimte naast het materiële, ook het institutionele aspect mee te nemen. Het gaat om een onmiskenbaar aspect van fundamentele verandering in energielandschappen.

Als we de stap maken naar de tweede generatie energielandschappen, zien we op het eerste gezicht veel minder een direct ruimtelijke impact. Met de tweede generatie energielandschappen bedoelen we hier het landschap dat past bij de grootschalige winning van fossiele brandstoffen, kolen, olie en aardgas uit de diepe ondergrond. Hoewel de steenkoolwinning in Nederland terug te voeren is tot in de 12e eeuw, vindt de grote doorbraak pas plaats zo rond 1900. Dit hangt vooral ook samen met de verspreiding van de stoommachine. Pas vanaf dan worden in Nederland fossiele brandstoffen uit de diepere ondergrond dominant ten opzichte van turf en ook ontstaat geleidelijk een nieuw energielandschap. Waar veen nog vooral via kanalen werd vervoerd over relatief kleine afstanden, worden met de opkomst van het nieuwe energielandschap de energiedragers over grote afstanden vervoerd. Vandaag de dag komen kolen die in Nederland gebruikt worden hoofdzakelijk uit de Australië, Indonesië en Zuid-Afrika. Dat is een belangrijk signaal dat afstanden in dit tweede generatie energielandschap er veel minder toe doen.

De periode waarin de fossiele brandstoffen domineren, is gepaard gegaan met tussentijdse ontwikkelingen. In het begin van de twintigste eeuw was de bijdrage van kolen aan het totale primaire energie-aanbod overheersend met ruim 95% (VN, 1956). In 1962 was het aandeel al teruggelopen naar minder dan 50%. Een toenemende rol was weggelegd voor eerst aardolie en later aardgas. Op wereldschaal kan dit hooguit een ontwikkeling in het tijdperk van fossiele brandstoffen worden genoemd. Echter staat dezelfde ontwikkeling ook symbool voor de energietransitie, die binnen zes jaar in Nederland plaatsvond. In dit zeer korte tijdsbestek, in 1959 werd het aardgasveld in Slochteren ontdekt, vond een transitie plaats van een op kolen gebaseerde energievoorziening naar de huidige situatie met olie en aardgas als meest belangrijke energiebronnen (Rotmans, et al. 2001). Met andere woorden, tijd en schaalniveau zijn twee belangrijke variabelen als het over transities gaat.

De verandering in Nederland had grote gevolgen voor zowel de winning van grondstoffen, conversietechnieken en zelfs beleid en sociale verhoudingen (Rotmans, et al. 2001-6). De economische herstructurering van Zuid-Limburg als voormalig mijnbouwgebied is onder de noemer van grijs naar groen eigenlijk nog steeds aan de gang. Ook in organisatorische en institutionele zin zijn deze veranderingen wederom belangrijk. Waar decennia lang DSM (toen nog De StaatsMijnen geheten) en ook de Hoogovens machtige, steenkoolgeoriënteerde spelers waren, die invloed hadden op allerhande beleidsterreinen, zien we nu andere grote spelers. De Shell, Gasunie, Gasterra en ook de NAM zijn organisaties in het huidige energielandschap waarmee je terdege rekening moet houden in een energietransitie.

Als je verder kijkt dan organisatorische en ruimtelijke veranderingen valt nog een interessant aspect op. Zo kun je constateren dat de huidige Nederlandse overheidsfinanciën in grote mate gestoeld zijn op inkomsten uit de winning en gebruik van olie en aardgas, zoals de aardgasbaten, accijnzen, energieheffingen, et cetera. Kortom, het huidige energielandschap heeft diepe wortels in het hele functioneren van Nederland, niet alleen energetisch, maar ook organisatorisch, institutioneel en financieel. Echter kunnen we ook constateren dat nu juist de ruimtelijke component van het huidige energielandschap bescheiden is.

Dit laatste zou kunnen veranderen op weg naar weer een nieuw energielandschap, dat van een duurzame energievoorziening waar gemeenten, provincies, rijk, maar ook burgers en bedrijven steeds vaker voor lijken te kiezen. Daarbij gaan lokale potenties weer een grotere rol spelen (van den Dobbelsteen, 2008) en keert

ook de wisselwerking met de ruimtelijke structuur van een gebied terug op de agenda (Van Kann, 2008).

1.3 theoretische relevantie

In deze studie wordt getracht om de relatie tussen energie en de ruimtelijke functionele structuur te begrijpen en condities bloot te leggen, waaronder ruimtelijk-exergetisch beleid kan bijdragen aan geïntegreerde energielandschappen. Met deze relatie wordt enerzijds bedoeld op het effect dat deze structuur heeft op de energievoorziening. Anderzijds is ook gekeken naar de invloed van de energievoorziening op de ruimtelijke inrichting van een gebied. Daarbij heeft deze studie een specifieke focus. Ingegeven door de aanname dat voor een energietransitie naar een duurzame energievoorziening, zowel het efficiënt en effectief omgaan met energie (exergieprincipe), als het meer gebruikmaken van duurzame energiebronnen belangrijk is, staat een aanpak op een regionale schaal hier centraal. Dit is enerzijds omdat energiepotenties uit zon, wind, waterkracht, biomassa en geothermie meer gebonden zijn aan specifieke locaties dan de eenvoudig te transporteren fossiele brandstoffen (Blatter, 2006; Ministerie van VROM, 2008). Anderzijds brengt het exergieprincipe met zich mee, dat er ook een focus ligt op het gebruik van warmte- en koudenetten in combinatie met restwarmte, omgevingswarmte en warmtekoeldeopslag. Dat betekent, ingegeven door ervaringen met warmte- en koudenetten in het buitenland⁵, dat de wisselwerking tussen energie en de ruimtelijke functionele structuur wordt bestudeerd in regio's zo groot als Zuid-Limburg en Zuidoost-Drenthe.

Deze studie voorziet daarbij in een methode om op een regionale schaal te komen tot geïntegreerde energie-ruimte concepten. Dit zijn concepten voor strategische plannen, die zowel integraal zijn, als ook omgaan met fundamenteel veranderende contextuele parameters (transitie). Daarbij wordt specifiek gezocht naar concepten, die fundamentele veranderingen zouden kunnen ondersteunen. Healey (2010-440) gebruikt in dit perspectief de parameter 'strategic work capacity' van concepten. Kortom, we zoeken naar strategische concepten die regio's kunnen verbinden en in beweging kunnen brengen tijdens een transitie naar een duurzaam energiesysteem.

Tegelijkertijd wijst Healey (2010) op de grote twijfels over concepten, visies en principes als gewerkt wordt in hoog-dynamische contexten, waarbij ook specifieke

⁵ Zie voorbeelden in Denemarken, Zweden, Oostenrijk, [bronnen]!

gebiedspotenties een rol spelen. De zoektocht naar integrale energie-ruimte concepten heeft hier nadrukkelijk mee te maken. Daarnaast ziet Albrechts (in Healey, 2010-449) een rol voor strategieën om inzichtelijk te maken welke concepten, visies en/of principes zowel richtinggevend als betekenisvol kunnen zijn. Bij het komen tot zulke strategieën ziet Albrechts (2005) een rol voor “systematic search procedures”, waartoe hij ook het gebruik van scenario’s rekent. In deel B wordt daarbij het creatieve en verkennende werk (scenario’s, exploratieve aanpak) gekoppeld aan een systeem analytische aanpak. Daarbij ontstaat een methode om tot integrale concepten te komen, die zowel richtinggevend als betekenisvol zijn. Deze methodiek en concepten worden vervolgens in de empirie getoetst, waarbij de case studies omvattend worden beschreven en geanalyseerd. Uiteindelijk biedt deze studie niet alleen zicht op de synergie tussen energie en ruimte op een regionale schaal die exergieplanning kan leveren bij een transitie naar een duurzame energievoorziening (maatschappelijke relevantie). Ook biedt het inzicht in de rol die concepten kunnen spelen bij gebiedsgerichte en daarmee specifieke aanpakken voor integrale ruimtelijke vraagstukken.

1.4 Positiebepaling: exergieplanning op een regionale schaal

In grote lijnen is exergieplanning als het onderwerp van deze thesis, alsmede de context waarin dit onderwerp wordt geplaatst al toegelicht. Het doel van deze studie is om inzicht te verwerven in de mogelijke synergie tussen regionale planning en exergie. Daarbij is het de vraag of exergieplanning condities kan leveren aan strategisch ruimtelijk-exergetisch beleid ten behoeve van een regionale transitie naar een duurzame energievoorziening. Onder exergieplanning wordt hierbij verstaan: *het in beeld brengen van planologische voorwaarden voor het beter benutten van niet effectief gebruikte energiestromen in een gebied.*

In combinatie met de theoretische relevantie van deze studie wordt gezocht naar energie-ruimte concepten op basis van exergie. Hierbij zien we vooraf drie belangrijke functies van concepten. Ten eerste is er een rol weggelegd voor concepten die creatief, divergerend, of vormend zijn en dan in verband kunnen staan met wat Zonneveld (1991) een metaforische werking noemt. Daarnaast zien we voor concepten ook een functie in een toetsende, convergerende, of kader scheppende rol. Zonneveld en Verwest (2005) wijzen dan op de kennisfunctie van concepten en noemen het overbruggen van verschillende vakdisciplines, verschillende schaalniveaus en integratie als belangrijke

aspecten. Tot slot zien wij nadrukkelijk ook een rol weggelegd voor concepten om juist in periodes van fundamentele verandering (transities) een verband te leggen tussen ontwikkelingen op verschillende schaalniveaus.

In deel A van deze studie wordt op een systematisch manier de context van duurzame energie-ruimte oplossingen geanalyseerd. Hierbij wordt uitgegaan van het energiesysteem waarmee we nu te maken hebben, maar ook ontwikkelingen die op korte of lange termijn kunnen plaatsvinden komen aan bod. Bij deze ontwikkelingen worden ook kansen gezien om het exergieprincipe toe te passen om tot geïntegreerde energie-ruimte landschappen te komen.

In deel B wordt aan de hand van ontwerptheorie en een scenarioaanpak gewerkt aan integrale energie-ruimte concepten. Dat is een creatief deel⁶ van deze studie, waarbij we rekenschap geven aan wat Healey (2010) zegt over “spatial strategy making”. ‘Spatial strategy making involves exercising the power to select and simplify (Albrechts, 2004; Healey, 2007). Naast selectie- en vereenvoudigingsvermogen zullen we in dit deel op basis van een systeem analytische aanpak de vormende en kader stellende condities verbinden tot een aanpak voor regionaal zinvolle energie-ruimte concepten.

In deel C proberen we aan de hand van casestudies de a-priori opgestelde vormende en kader stellende condities te toetsen bij regionaal ontwikkelde relevante energie-ruimte concepten. Respectievelijk worden Zuid-Limburg met schaaldifferentiaties naar Parkstad Limburg en Kerkrade West en Zuidoost-Drenthe met Emmen-stad gebruikt als cases. Dat betekent dat we toewerken naar ruimtelijk-exergetische concepten ten behoeve van een transitie naar een duurzame energievoorziening in vijf cases. Daarbij wordt in beeld gebracht wat de planologische voorwaarden zijn voor het beter benutten van niet effectief gebruikte energiestromen in de gebieden aan de hand van generieke regels voor regionale energie-ruimte concepten.

⁶ Zie ook Albrechts (2005) die wijst op de rol van creativiteit als drijvende kracht achter verandering!

2 Zorgen over ons huidige energielandschap

Niet zelden zien we in maatschappelijke discussies zorgen over onze huidige energievoorziening. Dezelfde zorg vinden we terug in wetenschappelijke artikelen. Het traditionele, vertrouwde beeld van een betrouwbare en goedkope energievoorziening staan onder druk. Dit beeld stoelt in grote mate op een energievoorziening op ooit onuitputtelijk lijkende fossiele brandstoffen. Vragen die hierbij gesteld kunnen worden, zijn: waar komen de zorgen vandaan en wat zijn de fundamentele problemen. Om vervolgens aan de vraag toe te komen, hoe vormen deze fundamentele problemen de basis voor een energietransitie richting een duurzaam energielandschap. Zo positioneren we de kansen en beperkingen die er zijn op basis van het huidige energielandschap om tot een duurzame energievoorziening te komen.

2.1 Problemen van het huidige energielandschap

In de discussie over onze huidige energievoorziening spelen vier argumenten een rol: klimaatverandering, voorraadproblemen, directe milieuvraagstukken en afhankelijkheid. Zonder al te veel te willen generaliseren, hangen deze problemen nauw samen met de ‘verbrandingseconomie’ zoals we die nu kennen. In de literatuur wordt geregeld een verband gelegd tussen energieverbruik en het Bruto Nationaal Product per hoofd van de bevolking als een soort maat voor economische prestaties (Slessers, 1978; Smil, 2003). Hierbij wordt het energieverbruik uitgedrukt in olie- of steenkoolequivalenten en geldt het verband hoe meer olie en steenkool er gebruikt wordt in een economie hoe hoger het BNP per hoofd is. Met andere woorden, om een verder economische groei te bewerkstelligen, zouden er nog meer brandstoffen ingezet moeten worden. Echter, het steeds verder laten groeien van het gebruik van fossiele brandstoffen is om diverse redenen niet mogelijk, noch wenselijk.

Een eerste probleem dat samenhangt met het gebruik van grote hoeveelheden fossiele brandstoffen, is de uitstoot van broeikasgassen. Bij het verbranden van aardolie, aardgas en steenkool komt het broeikasgas koolstofdioxide vrij. Het International Panel on Climate Change (2007) stelt: “warming of the climate system is unequivocal...” Daarbij worden ook de waarschijnlijke en zeer waarschijnlijke effecten van deze ondubbelzinnige opwarming besproken (zie: IPCC, 2007-30/33). Relevant voor de

discussie in deze studie is, dat CO₂ wordt beschouwd als het meest belangrijke broeikasgas, dat door menselijk handelen wordt uitgestoten. De grootste bijdrage aan de groei van broeikasgasemissies tussen 1970 en 2004 komt door de sectoren energievoorziening, transport en industrie. In mindere mate leveren residentiële en commerciële gebouwen, bosbouw (inclusief ontbossing) en de landbouw een bijdrage leveren aan de groei (IPCC, 2007-36). Dit betekent natuurlijk ook dat de grootste kansen om de uitstoot van CO₂ te beperken in de zo-even genoemde sectoren liggen. Kortom, de klimaatdiscussie levert een eerste argument om als planoloog aan de slag te gaan met energie in de gebouwde omgeving.

De dreigende gevolgen van klimaatverandering hebben er toe geleid, dat er op diverse politieke niveaus afspraken zijn gemaakt om de uitstoot van broeikasgassen te reduceren. Op internationaal niveau is er vanaf de VN-conferentie in Rio de Janeiro (1992) via het Raamverdrag klimaatverandering gewerkt aan het Kyoto-protocol. De doelstelling van dit verdrag is: *"het stabiliseren van de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer op een zodanig niveau, dat een gevaarlijke menselijke invloed op het klimaat wordt voorkomen"* (ministerie van VROM, 2009). Het Kyoto-protocol is in 1997 opgesteld als aanvulling op het raamverdrag. Verschillende industrielanden hebben hierin afgesproken dat de uitstoot van broeikasgassen tussen 2008-2012 moet worden verminderd met gemiddeld 5% ten opzichte van 1990. De reductiepercentages verschillen per land. De Europese Unie moet gemiddeld de uitstoot van broeikasgassen met 8% verminderen. Deze reductie is ook weer verdeeld binnen de verschillende landen van de Europese Unie. Voor Nederland komt dit neer op een reductie van 6% ten opzichte van 1990. De reductie verschilt per land, omdat er rekening is gehouden met factoren als economische groei en de mogelijkheden die een land heeft om de reductie te realiseren (ministerie van VROM, 2009). Ofschoon het vervolgens in Kopenhagen niet is gelukt om juridisch wereldwijd bindende vervolgafspraken te maken, hebben de EU en de Nederlandse overheid concrete reductiedoelen (20-30%) gesteld voor 2020 en 2030. Deze reductie is te realiseren door onder andere in te zetten op het anders organiseren van de energievoorziening. Sleutelstrategieën in het mitigatiebeleid zijn het verhogen van energie-efficiënties (meer doen met minder) en het overstappen op energie die niet afkomstig is van fossiele brandstoffen. Bij beide strategieën biedt de ruimtelijke planning kansen, zoals in deze studie wordt getoond.

Een tweede probleem dat met onze huidige energie-economie samenhangt, is de dreigende schaarste aan fossiele brandstoffen. In het huidige prijssysteem leidt schaarste

direct tot hogere prijzen. De prijs voor een vat ruwe olie bijvoorbeeld kan behoorlijk schommelen, maar liet de afgelopen jaren een duidelijk stijgende trend zien. Aanvoerproblemen, aanslagen op installaties, of onrust in de wereld laten op de termijnmarkten voor olie direct hogere prijzen noteren. Ook de stijgende vraag naar olie uit sterk groeiende economieën als China, India en Brazilië hebben een prijsopdrijvend effect. Omgekeerd probeert het oliekartel, OPEC, de prijs en daarmee de winsten voor de olieproducerende landen ook niet te ver te laten dalen, door bij overaanbod van olie de productie te laten afnemen. Op langere termijn voorzien allerhande experts echter een probleem in een betrouwbare aanvoer van voldoende hoeveelheden fossiele brandstoffen, vooral olie.

Enerzijds hangt dit dreigend aanvoerprobleem samen met feitelijke, fysieke schaarste (de olie raakt ooit op, zie voor peak-oil discussie bijvoorbeeld Murphy, 2008), anderzijds gaat het over problemen om fossiele brandstoffen op een duurzame manier⁷ beschikbaar te krijgen voor eigen gebruik. Dan gaat het zowel om problemen bij de winning van moeilijk toegankelijke olie⁸, maar ook om problemen in de aanvoer (tankerfaciliteiten) en verwerkingscapaciteit (raffinagetekorten). Een gevolg is dat zodra er op een bepaald moment een hogere vraag naar olie ontstaat dan er op dat moment aan aanbod is, de prijs meteen omhoog schiet. Vervolgens is het de vraag wie er in de wereld in staat is om die hoge prijs te betalen. Als we aannemen, dat landen met een efficiënt energiesysteem (die relatief veel toegevoegde economische waarde per olie-equivalent weten te creëren) ook een hogere prijs voor de energie kunnen betalen, is ook dit een argument om (regionaal) te werken aan energie-efficiëntie.

Een derde probleem heeft te maken met de bredere milieu-effecten die gepaard gaan met het gebruik van fossiele brandstoffen. Naast de verandering van klimaat, zoals al genoemd, worden ook verspreiding, verstoring, verandering, verzuring, vermesting, verdroging, etc. onderscheiden als milieubeleidsthema's gericht op het voorkomen of aanvaardbaar houden van negatieve effecten voor het milieu (zie de Roo, 1999-34). Het gebruik van fossiele brandstoffen speelt bij elk van de genoemde milieubeleidsthema's een rol. Duidelijke voorbeelden zijn chemische verontreinigingen, uitstoot van fijnstof en risico-contouren die bij het gebruik van olie en gas een belangrijke rol spelen. Dit is een rol die op de volksgezondheid niet altijd positief werkt, maar ook voor hele ecosystemen gevaarlijk kan zijn. Hierbij valt te denken aan olierampen met tankers en olieplatforms,

⁷ Zie bijvoorbeeld Jaccard (2005) voor een visie op sustainable fossil fuels

⁸ Zie moratorium op diepzeeboringen naar olie dat in de VS is ingesteld na de olieramp in de Golf van Mexico!

en bodemverontreinigingen bij (oude) gasfabrieken. Daarom kan de overstap naar een energiesysteem dat efficiënter functioneert en vooral op basis van renewables werkt, belangrijke milieuhygiënische voordelen opleveren. Zo kan elektrisch autorijden, waarbij de stroom bijvoorbeeld met wind wordt opgewekt, er aan bijdragen dat minder oliewinning, -productie en -gebruik nodig is. Tegelijkertijd kan het bijdragen aan minder geluidsoverlast en een lagere uitstoot van fijnstof, waarmee relevante milieu-ruimte conflicten kunnen worden opgelost. Dit is een reden om als planoloog na te denken over het traditionele gebruik van fossiele brandstoffen.

Tot slot wordt vaak een vierde probleem onderkend door beleidsbepalers inzake het huidige energielandschap. Hoewel de reeds genoemde problemen onderling verbonden zijn, wordt de energieafhankelijkheid tussen landen vaak apart genoemd. Vaak wordt dit geïllustreerd met de Oekraïns-Russische gasruzies, waardoor letterlijk hele delen van Europa in de kou zaten. Deze geopolitieke component van de huidige energievoorziening maakt dat landen, zoals Nederland, inzetten op een energiemix en daarmee proberen risico's te spreiden. Dat wil zeggen, dat niet alleen op aardgas of aardolie wordt ingezet, maar dat ook kernenergie en het gebruik van steenkool als opties voor een soort risicospreiding gelden. Daarbij geldt de geopolitieke aanname, dat steenkool leverende landen als Zuid-Afrika, Indonesië en Australië betrouwbaarder zijn dan aardgasstaten als Rusland of Algerije. Evenwel neemt de afhankelijkheid zelf niet echt af. Daarom is er ook ingegeven door criteria als afhankelijkheid en betrouwbaarheid van energiesystemen, een argument om vraag en aanbod van energie weer ruimtelijk te gaan afstemmen. Dat is kortom, het vierde argument om ruimte en energie als één vraagstuk te benaderen in de discussie over een energietransitie.

2.2 De ruimtelijke dimensie van het huidige energielandschap

Als we de discussie over onze energievoorziening proberen te relateren aan de invloed op ruimtegebruik, laten Gordijn, et al. (2003) zien dat de direct ruimtelijke impact van het huidige energielandschap beperkt is. Weliswaar worden in de Rotterdamse haven behoorlijke hoeveelheden steenkool en olie overgeslagen en verwerkt, het ruimtegebruik valt relatief gezien mee. De energie-intensiteit van kolen en olie is zo hoog, dat kleine gebieden veel grotere gebieden kunnen verzorgen in hun energiebehoefte. In de Kleine Energieatlas (VROM, 2009) wordt een overzicht gegeven van het ruimtegebruik van de diverse fossiele brandstoffen. Naast delving, transport,

opslag en omzetting van grondstoffen gaat het om veiligheidszones rondom opwekkingseenheden, transportassen (vooral gasleidingen) en opslagsystemen. Doordat zeker voor de specifiek Nederlandse situatie er geen binnenlandse bovengrondse winning van brandstoffen plaatsvindt, is het ruimtebeslag van energie bijna onzichtbaar. Dat maakt dat het huidige energiesysteem redelijk impliciet is qua ruimtegebruik.

Tegelijkertijd laat de analyse van het ruimtegebruik van energie ook zien, dat het huidige ruimtelijk systeem grotendeels los staat van energieoverwegingen. Want hoewel er geen bruinkool, steenkool, uranium en nauwelijks olie wordt gewonnen in Nederland, is het gebruik van deze energiedragers in onze energievoorziening significant. Met andere woorden, vraag en aanbod hoeven niet noodzakelijkerwijze bij elkaar in de buurt te zijn. Dat betekent voor Nederland dan ook dat er grote hoeveelheden energiedragers worden geïmporteerd vanuit andere landen (CBS, 2010). Grote schepen met kolen en olie varen naar de Nederlandse havens. Vanaf daar worden de energiedragers verwerkt (zoals raffinage van ruwe olie) en verder gedistribueerd naar gebruikers. Het is voor de gebruiker nauwelijks een probleem om olie, gas, benzine en stroom beschikbaar te krijgen op zijn vestigingsplek. Sterker nog de distributiekosten van fossiele brandstoffen zijn zo gering, dat er vanuit energiekosten geredeneerd weinig locatievoorkeuren zijn in Nederland. Dat leidt er in de ruimtelijke analyse van het huidige energielandschap toe, dat geconstateerd moet worden dat ruimte slechts impliciet van belang is voor energie.

Als we dan aannemen dat energie bijna overal in ons landschap in de gewenste vorm beschikbaar kan zijn, is het begrijpelijk dat energie nauwelijks een rol speelde in ruimtelijke discussies. Bij de aanleg van nieuwe wegen, of de ontwikkeling van steden spelen legio overwegingen een rol, maar energie is er bijna nooit onderdeel van. Van Hoorn, et al. (2010) laten zien dat hier een kentering in zit. Ten eerste zorgt de groeiende energiebehoefte voor de noodzaak van de aanleg van nieuwe elektriciteitscentrales (EnergieNed, 2010), nieuwe aardgasleidingen (Gasunie, 2010) en hoogspanningsleidingen (Tennet, 2010). Gezien de ruimtelijke drukte of schaarste aan grond in Nederland maakt dit de nieuwe energieopgaven als vanzelf onderdeel van de traditionele, ruimtelijke agenda. Er wordt ruimte gezocht voor nieuwe centrales en verbindingen. Daarbij zien we, dat de groei van bestaande energieclusters⁹ en de

⁹ Denk aan de bouw van nieuwe elektriciteitscentrales in Eemshaven, Tweede Maasvlakte en geplande uitbreidingen in Geertruidenberg en Borselle!

bundeling van infrastructuur ¹⁰ hun uitwerking hebben op het bestaande energielandschap.

Ten tweede zien we diverse overheden energiecriteriën opnemen in allerlei visies op de toekomst. In diverse strategische beleidsdocumenten worden begrippen als energieneutrale of klimaatneutrale wijken, dorpen, steden en regio's steeds vaker gebruikt. Er is een trend om steeds meer gebruik te willen en moeten maken van renewables. Daarmee ontstaat een ruimtevraag voor zonnecentrales, bio-energie-initiatieven en windturbines. Deze ruimtelijke discussies gaan echter meer over fysieke ruimteclaims (Gordijn, et al, 2003) dan over een integrale afstemming van diverse ruimteclaims, ook van energie, in de ruimtelijke planning (Van Hoorn, et al, 2010). Daarom wordt het huidige energielandschap hier beschouwd als een landschap waarin ruimte impliciet is en nauwelijks een rol speelt bij ruimtelijke afwegingen.

Terwijl we constateren dat energie nauwelijks een rol speelt bij ruimtelijke afwegingen, moeten we ook constateren dat dit jammer is. In het begin van dit hoofdstuk is gewezen op het belang van het verhogen van energie-efficiënties en gesteld dat er ruimtelijke kansen liggen. Vooruitlopend op het volgende hoofdstuk wordt hier al gewezen op de post 'verloren energie' in de energiestroomschema's, zoals die in de Kleine Energieatlas beeldend zijn getoond. Voor de Nederlandse situatie staat uitgewerkt, dat de opwekking van elektriciteit gebeurt met een rendement van 38,1% en dat 61,9% van de energie het schema direct verlaat als 'verliezen bij opwekking en transport van elektriciteit' (VROM, 2009). Zonder op de details in te gaan, gaat een groot deel van de energie verloren als restwarmte, die letterlijk de lucht in wordt geblazen of op het oppervlaktewater wordt geloosd. Zo gaat er tegelijkertijd een aanzienlijk stroom aardgas naar bijvoorbeeld huizen om daar te worden gebruikt voor verwarming. Terwijl de restwarmte van de elektriciteitscentrales zou kunnen worden benut voor de verwarming van huizen. Nu raken we direct aan de ruimtelijke dimensie van energie-efficiëntie. Meestal liggen elektriciteitscentrales, ook om milieuplanologische motieven, niet in de directe nabijheid van grote woongebieden. Met andere woorden, er zit een zuiver ruimtelijk fysiek aspect aan het verhogen van de energie-efficiënties in ons huidige energielandschap.

Naast het fysieke aspect is er ook een institutionele en organisatorische dimensie. De energievoorziening kan op dit moment worden gezien als een gecentraliseerd top-

¹⁰ Denk aan nieuwe hoofdaardgasverbinding van Groningen naar Randstad langs provinciale wegen en spoorlijnen.

down systeem. Voor zowel transportbrandstoffen, aardgas als elektriciteit geldt dat er centrale plekken zijn vanwaaruit de energie tot in de haarvaatjes wordt verdeeld. Respectievelijk zijn dit dan de tankstations, het lokale aardgasnet en het laagspanningsnet op wijkniveau. Relevant is echter, dat er op (inter)nationaal niveau grote, traditionele spelers zijn die het speelveld beheersen, zoals Shell, Gasunie, Gastera, Alliander, TenneT en RWE (eigenaar Essent)¹¹. Tegelijkertijd hebben de Nederlandse overheden nog steeds belangrijke deelnemingen in de olie- en gasindustrie en zijn ze aandeelhouders van de gas- en stroomnetwerken. Ook zorgen ze via wetten, zoals de Gaswet, de Elektriciteitswet en via financiële prikkels, zoals energieheffingen, -belastingen, accijnzen en aardgasbaten, dat er een substantieel institutioneel kader is. Wel is het een kader, waarin fossiele brandstoffen domineren en meer decentrale energievoorzieningssystemen nauwelijks een rol hebben. De rol van warmtenetwerken, - of warmteleveranciers in Nederland, als voorbeeld van een decentrale energievoorziening, is nog betrekkelijk gering op dit moment (zie: Knuvers, 2005). Het ontbreekt vaak in specifieke situaties aan institutioneel en organisatorisch goed ingebedde partijen, die lokaal het gebruik van restenergiestromen stimuleren. Daarom is het belangrijk ons te realiseren, dat het huidige energielandschap diepgeworteld zit in instituties en organisaties, ze doen er toe.

Het huidige fossiel getekende energielandschap lijkt, zoals eerder aangegeven tegen zijn eigen grenzen aan te lopen. Diverse overwegingen spelen als pushfactoren mee om te zoeken naar een nieuw, duurzaam energiesysteem. De zoektocht wordt benoemd als een energietransitie. Een voorname rol is daarbij weggelegd voor het gebruik van renewables.

2.3 Voortekenen van een energietransitie

Hoopgevend is, dat op alle schaalniveaus initiatieven zijn waar te nemen om de slag naar een nieuw energielandschap te maken. Op wereldschaal en in het bijzonder binnen de Europese Unie, zorgen afspraken over het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen voor interessante prikkels. Ten eerste leiden afspraken er toe dat nationale overheden binnen de EU serieus werk moeten maken van renewables in de energievoorziening. Ten tweede leidt ook door de EU gesubsidieerd onderzoek tot

¹¹ Niet in de laatste plaats zijn deze spelers relevant, omdat ze financieel enorme omzetten en winsten boeken. Samen hebben deze zes bedrijven een omzet van 527 miljard euro en maken een winst van 30,4 miljard euro in 2008/2009.

goedkopere energie van renewables, waarbij de concurrentiepositie met de stijgende prijzen voor fossiele brandstoffen beter wordt. Eventuele CO₂-belastingen, of een effectiever CO₂-emissierechten-verhandelingssysteem kunnen er bovendien voor zorgen, dat energiebesparing een interessante optie wordt. Kortom, er zijn op een macroschaal duidelijke signalen aanwezig, dat een energietransitie nodig en mogelijk is.

Ook nationale overheden proberen werk te maken van een duurzame energievoorziening. In het werkprogramma Schoon en Zuinig (2007) laat de Nederlandse rijksoverheid zien, serieuze stappen te willen zetten. Volgens dit werkprogramma moet zowel het tempo van de energiebesparing, als de groei van de renewables omhoog. Via convenanten met de bouw, maar ook via het aanscherpen van de wetgeving (zoals het Bouwbesluit 2003) wordt gestuurd richting een energiezuinigere gebouwde omgeving. Daarnaast wordt via belastingprikkelers geprobeerd om ook het Nederlandse wagenpark te vergroenen. Ook wordt via subsidieregelingen en belastingmaatregelen geprobeerd om investeringen in een duurzame energievoorziening uit te lokken. Dat subsidiepotjes vaak overvraagd zijn, is een teken dat dit beleid werkt. Met andere woorden, op nationaal niveau zijn ook duidelijke signalen aanwezig, dat werk gemaakt zal worden van een energietransitie.

Minstens zo interessant als de ontwikkelingen op (inter)nationaal niveau zijn de concrete lokale initiatieven. Veel gemeentes hebben beleidsuitgangspunten geformuleerd, die een reductie van de CO₂-uitstoot nodig maken. Builddesk (2007) laat weliswaar zien dat de verschillen tussen de klimaatneutrale, energieneutrale en CO₂-neutrale gemeentes groot zijn, maar de ontwikkelingsrichting is duidelijk. Meer en meer wordt geprobeerd om gebiedsspecifieke oplossingen te bedenken voor de eigen energievoorziening. Ook wel geïnspireerd door Cradle-to-Cradle (McDonough en Braungart, 2007) wordt steeds kritischer gekeken naar de afvalstromen in gemeenten. Onder die afvalstromen verstaan we hier ook energie (zie ook: Van Kann, 2008). Dat leidt er toe, dat gemeentes bij ruimtelijke plannen nadenken over hoe gebruik gemaakt kan worden van lokale potenties. Het gebruik van renewables, decentrale energiesystemen waaronder warmtenetten zijn terugkerende beleidsinitiatieven. Om de gemeentelijk doelstellingen ten aanzien van energieneutraliteit te halen, is het vaak onmogelijk om opties uit te sluiten. Dat geldt zeker voor de optie windenergie, want de grote turbines zetten zoden aan de dijk. Dus ook op het microschaalniveau zijn interessante ontwikkelingen te bespeuren ten aanzien een energietransitie.

2.4 Slot: fossiele brandstoffen passé?

De grote vraag is evenwel, als er dan allerhande ontwikkelingen zijn op de diverse schaalniveaus, is er ook een samenhangend beeld mogelijk. Een beeld dat kan tonen, hoe regio's losse veranderingen kunnen laten groeien tot meer dan de som der delen. Is het mogelijk om tot een synergie te komen van de specifieke, lokale ruimtelijke structuur en een duurzame energievoorziening? Synergie die zowel stoelt op het efficiënter omgaan met energie in het bestaande en een toekomstig energiesysteem. Kortom, hoe geven we energie, ook als die afkomstig is van renewables, een verstandige plek in onze energievoorziening (zie ook: Van Kann, 2010)? Dat is de vraag en tegelijkertijd een uitdaging die we in het volgende hoofdstuk bij de kop pakken.

3 Het exergieprincipe op een regionale schaal

3.1 energie en energiesystemen, een inleiding

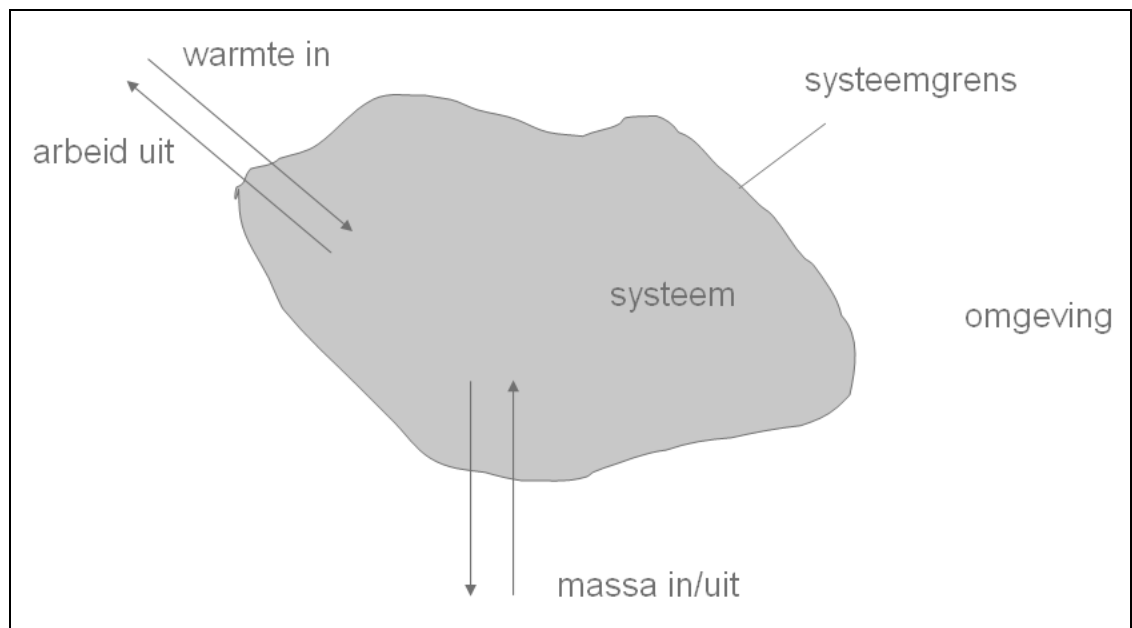
In de twee voorgaande hoofdstukken is betoogd, dat er reden tot zorg is inzake de betrouwbare energievoorziening die ons leven zo aangenaam maakt. Daarbij is geanalyseerd dat ruimte impliciet is, maar ook dat er voortekenen zijn dat een energietransitie op handen is. Dat wil nog niet zeggen, dat we snel van het huidige energiesysteem af zijn. Dat maakt het zinvol om te bestuderen of het systeem efficiënter kan, waarbij een rol voor ruimtelijke structuren wordt verondersteld. In dit hoofdstuk staat de discussie over efficiënte energiesystemen centraal. Hierbij worden thermodynamische principes, zoals het exergieprincipe, gebruikt in een planologische context. Met andere woorden, waar liggen de kansen voor efficiëntere energiesystemen, die nu nog door fossiele brandstoffen, maar in toekomst door renewables worden aangedreven?

Alvorens de discussie over efficiënte energiesystemen te kunnen koppelen aan een geografische component als ruimte, is het noodzakelijk om te definiëren wat hier onder een energiesysteem wordt verstaan. Laten we beginnen met energie. Want wat is energie? Het is een lastig begrip. Het is een begrip waarvan Wall (2009-11) stelt dat het voorbij onze intellectuele vermogens ligt om te begrijpen wat het nu echt is.

Of wat is warmte? Gaat het om energieoverdracht, of kan warmte worden beschouwd als een substantie? Wisman et al. (1999) laten zien, dat het dagelijkse taalgebruik wijst naar warmte als substantie in uitdrukkingen als ‘warmte stroomt’. Een belangrijk deel van de thermodynamica gaat over de transformatie van warmte in arbeid of omgekeerd. Hiermee is de opvatting van warmte als substantie weer niet te rijmen (Wisman, et al. 1999-12). Eén thermodynamische benadering is om uit te gaan van fenomenen als druk, volume en temperatuur. Dit heet de fenomenologische thermodynamica. Deze benadering kreeg in het begin van de 19e eeuw een sterke impuls, doordat er met de komst van de stoommachine belangstelling kwam voor begrippen als nuttig effect of rendement. Maar wat is dan nuttig effect in een energiesysteem?

Vanuit een systeemtheoretische benadering kunnen we een energiesysteem definiëren als in figuur 1. Belangrijk is dat het systeem, dat deel is waarop de aandacht gericht is. Het is dat deel dat binnen bepaalde grenzen functioneert als een geheel. De wand van het systeem, de begrenzing van het systeem, is bepalend voor de wisselwerking

tussen het systeem en de omgeving. Als wisselwerking tussen een energiesysteem en zijn omgeving kunnen warmte, arbeid, maar ook massa en elektrische lading optreden. Theoretisch is er dan nog onderscheid te maken tussen open, gesloten en geïsoleerde systemen. In deze studie geldt dat primair naar geografische regio's wordt gekeken, waarbij de energiesystemen per definitie als open kunnen worden beschouwd. Al was het maar, omdat zon en wind iedere dag zorgen voor input in het regionale energiesysteem.

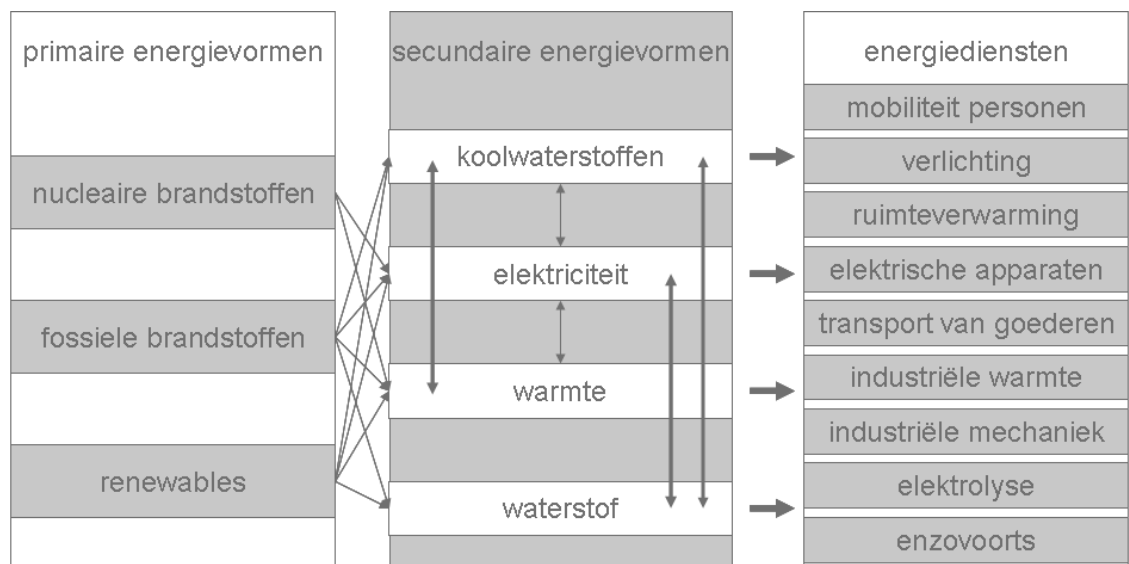


Figuur 1 energiesysteem vanuit systeemtheoretisch perspectief

Figuur 1 helpt om zonder te begrijpen wat energie echt is, een voorstelling te maken van een energiesysteem op een regionale schaal. Enerzijds komt er energie het systeem binnen en anderzijds willen we in de regio allerlei activiteiten uitvoeren. Dit zijn activiteiten waarvoor energie nodig is zoals, mobiliteit, verlichting, ruimteverwarming en –conditionering, elektrische apparatuur, industriële warmte, industriële mechanische beweging, industriële kracht of elektrolyse (zie ook: Jaccard, 2005). Deze functies en activiteiten worden hier samengevat in het begrip energiediensten.

Om deze energiediensten uit te voeren is energie nodig. Een belangrijke tweedeling bestaat hierbij uit primaire en secundaire energie. Dit is een belangrijk ook ruimtelijk relevant verschil, omdat primaire en secundaire energie andere eigenschappen hebben qua beschikbaarheid en distributie. De meest gebruikte secundaire energievormen zijn koolwaterstoffen en elektriciteit. Waarbij elektriciteit een

homogeen product is, kunnen koolwaterstoffen op diverse manieren worden gecategoriseerd. Een mogelijkheid is het onderscheid tussen vaste, vloeibare en gasvormige toestand, maar ook de oorsprong uit fossiele brandstoffen of uit biomassa is een categorisering. Koolwaterstoffen omvatten biomassa, aardgas, kolen en aardolie, dat zelf normaal ook weer wordt gecategoriseerd aan de hand van geraffineerde producten, zoals stookolie, kerosine, benzine, diesel, butaangas, etc. Naast elektriciteit en koolwaterstoffen zijn ook waterstof en warmte (meestal in de vorm van warm vloeibaar water of stoom) secundaire energievormen. Belangrijk kenmerk is, dat er een energieconversie nodig is van een primaire of een andere secundaire energievorm om een bepaalde secundaire energievorm beschikbaar te hebben.



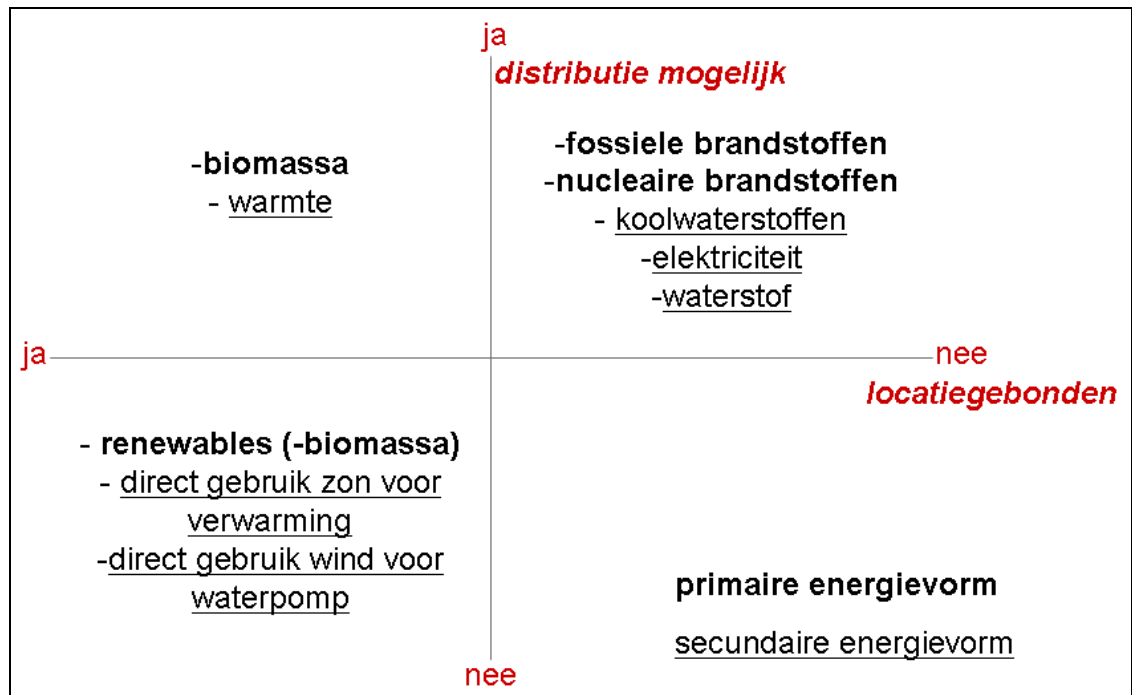
Figuur 2: verschil tussen energievormen en -diensten

Alle vier genoemde secundaire energievormen zijn te distribueren via distributienetwerken. Lange distributieafstanden zijn hierbij in elektriciteit- en koolwaterstofnetwerken veel minder een probleem dan voor warmte, dat daardoor meer locatiegebonden is. Waterstofdistributie staat nog in de kinderschoenen. Tot slot noemt Jaccard (2005-58) ook nog het directe gebruik van wind om waterpompen te laten lopen, of het directe gebruik van de zon voor het verwarmen van water als voorbeeld van secundaire energie. Het direct gebruik van zon en wind is wel locatiegebonden en niet te distribueren.

Deze locatiegebondenheid van energie geldt ook voor één van de drie categorieën primaire energievormen, renewables. Naast fossiele brandstoffen worden renewables en

nucleaire brandstoffen als aparte categorieën onderscheiden. Zowel fossiele brandstoffen, als renewables zijn het resultaat van twee fundamentele energiebronnen: de zwaartekracht van de aarde en de maan en de nucleaire reacties in de vorm van kernfusie in de zon en kernsplitsing in de aardkern. De mogelijkheid van mensen om kernenergie op aarde te benutten (vandaag kernsplitsing, misschien straks kernfusie) voegt de derde categorie, nucleaire brandstoffen, er aan toe. Een essentieel verschil zit hierin, dat we distributiesystemen hebben ontwikkeld voor zowel fossiele, als, weliswaar in minder mate, nucleaire brandstoffen. Daarmee zijn Nederlandse kerncentrales, maar ook kolencentrales, niet gebonden aan de vindplaatsen van uranium, noch kolen. Daarentegen zijn renewables op biomassa na, niet als primaire energievorm te distribueren. Zonne-energie, windenergie, energie uit golven op zee, getijdenwerking, zeestromingen, waterkracht, osmose en geothermie zijn allemaal locatiegebonden. Dat betekent dat renewables (op biomassa na) of direct bij de bron moeten worden gebruikt, of dat ze bij de bron moeten worden omgezet in secundaire energievormen.

Biomassa is wel te vervoeren in de oorspronkelijke vorm (denk aan bomen, planten, maar ook restproducten uit de landbouw) en elders om te zetten in secundaire energievormen, zoals olie, gas, maar ook elektriciteit, warmte, of waterstof. Niettemin is voor het vervoer van biomassa ook energie nodig, waardoor transportafstanden er wel toe doen en biomassa daarmee ook in zekere mate en afhankelijk van de energie-intensiteit locatiegebonden is. Als we alle primaire en secundaire energievormen categoriseren aan de hand van locatiegebondenheid en de mogelijkheid tot distributie ontstaat figuur 3.



Figuur 3 eigenschappen primaire en secundaire energievormen

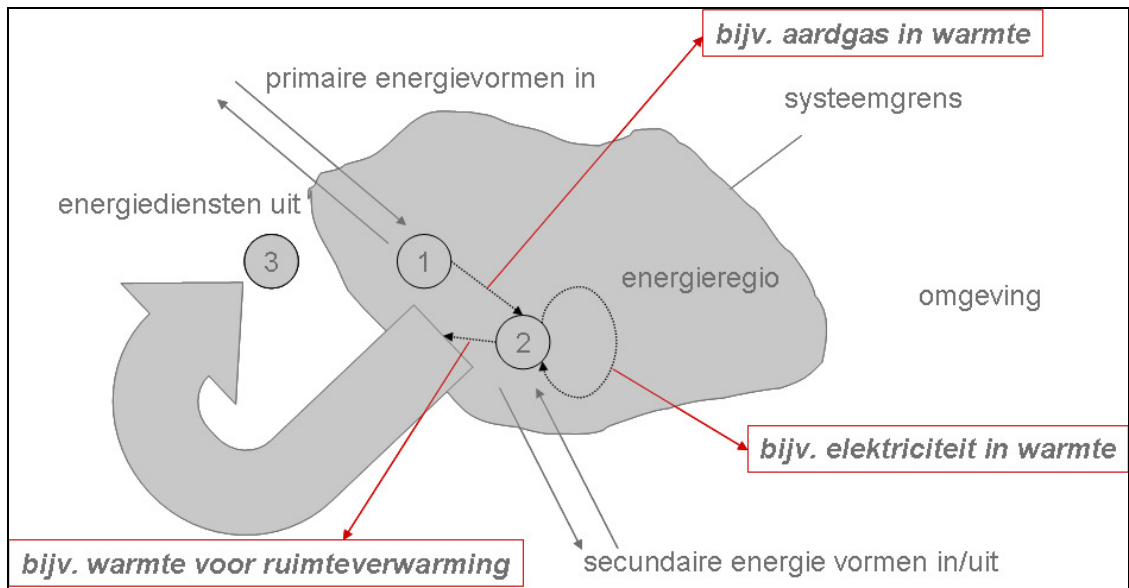
Uit figuur 3 is op te maken dat als de rol van renewables toeneemt er een groeiend belang gehecht kan worden aan locaties als het gaat om energiesystemen. Naast deze relatie tussen renewables als primaire energievorm en locatiegebondenheid is ook de relatie tussen secundaire energievormen en energiediensten van belang. Uit figuur 3 blijkt al dat warmte, of eigenlijk beter thermische energie¹², hier een bijzondere rol inneemt. Voor deze secundaire energiedrager warmte geldt, dat distributie mogelijk is, maar dat de locatiegebondenheid ook duidelijk is. Dit is in deze studie de opmaat naar de constatering, dat warmte in energiesystemen juist voor planologen bijzonder interessant is.

De meeste burgers, maar ook bedrijven en instellingen hebben echter geen interesse in primaire of secundaire vormen van energie maar willen elektrische apparaten laten functioneren, ruimtes verwarmen of juist koelen, of mobiliteit. Verhalend zou je kunnen zeggen, zolang de auto het doet om je na het werk naar huis te rijden, daar de maaltijd warm is, het bier koud staat in de koelkast en de tv kan functioneren in een lekker verwarmde woonkamer is er weinig aan de hand. Aan het eind van de maand wordt dan gewoonlijk een fors bedrag overgemaakt aan de

¹² Met warmte wordt hier eigenlijk de exergetische waarde bedoeld van thermische energie. Deze energie kan ook bestaan uit koude, waarmee je in een warmere omgeving kunt koelen.

energiebedrijven en dan start soms het klagen over de torenhoge rekeningen. Niet zelden is dat ook het begin van nadenken over het besparen van energie. De spaarlamp, de energiezuinige koelkast, de hybride auto, stuk voor stuk lijken ze verbonden met een efficiënter energiegebruik, maar wat is dat eigenlijk. Wat is energie-efficiëntie? Is dat meetbaar in euro's op de energienota van huishoudens? Moet je dat meten over één enkele energiedienst, bijvoorbeeld het verwarmen van de woonkamer, of gaat dat over hele energiesystemen? En wat betekent het, als we ons bewust zijn van “de wet van behoud van energie”.

Met figuur 2 in het achterhoofd is het eenvoudig om te bedenken dat er drie mogelijkheden zijn om in een energiesysteem energie te besparen. De meest basale optie lijkt om van een bepaalde energiedienst af te zien, zoals het bijvoorbeeld niet verwarmen van buitenterrassen. Toch gaat het voorbij aan deze planologische studie om een oordeel te vellen over, welke activiteiten mensen wel en niet moeten doen. Het doen van suggesties over waar welke activiteiten te ontplooiën is nadrukkelijk wel onderwerp van studie. Daar zit tegelijkertijd ook de tweede optie om energie te besparen. Dit is het efficiënter of effectiever uitvoeren van een activiteit. En dat kan plaatsgebonden zijn. Denk maar aan het verschil tussen een woonwijk die onder natuurlijk verval van haar rioolwater afkomt en een woonwijk in een diepgelegen polder waar het rioolwater moet worden weggepompt! Tot slot is er de mogelijkheid om het gehele energiesysteem in ogenschouw te nemen. Dat betekent dat de energieomzettingen van primaire, naar secundaire energievormen tot en met het gebruik van energie voor energiediensten onderwerp van analyse is. En dan doen locaties, maar ook ruimtelijke patronen ertoe, zoals verder betoogd zal worden. Het gebruik van aardgas of elektriciteit voor de verwarming van woningen in de nabijheid van grote elektriciteitscentrales met veel afvalwarmte is weinig effectief. Je kunt ook de warmte, die vrijkomt bij de elektriciteitsproductie direct nuttig gebruiken voor ruimteverwarming. Dat ruimtelijke patronen er dan toe doen is evident. Figuur 4 illustreert de genoemde samenhang in energieregio's als systeem. De vraag blijft staan wat is in zo'n systeem energie-efficiëntie?



Figuur 2 energieregio als systeem

3.2 Energie-efficiëntie en het begrip exergie

Om energie-efficiënties daadwerkelijk te kunnen begrijpen en er zinvolle uitspraken over te kunnen doen, moeten we terug naar de thermodynamica, of de energieleer. De thermodynamica kent drie hoofdwetten, die staan bekend onder de namen Nulde, Eerste en Tweede Hoofdwet. De Nulde Hoofdwet gaat ruwweg over het meten van temperaturen, waarbij het postulaat geldt, dat twee systemen die elk in thermisch evenwicht zijn met een derde, zijn ook met elkaar in thermisch evenwicht.

De Eerste Hoofdwet¹³ is gebaseerd op de Wet van Behoud van Energie. Dat staat voor zoveel als wat er ook gebeurt de hoeveelheid energie blijft gelijk. Of zoals Wall (2009) het zegt: “everything that happens involves conversion of energy, not just energy.” En dit is zeer fundamenteel, het gaat niet om energieconsumptie of een synoniem, maar het gaat om energieconversie. Het is energieconversie, die optreedt als er iets gebeurt, of verandert in tijd en zoveel betekent als de transformatie tussen verschillende vormen van energie. Wall (2009) onderscheidt bij deze transformatie de energievormen: arbeid, elektromagnetische straling en warmte¹⁴. Kotas (1995-33) wijst

¹³ $Q=U_2-U_1 + W$ (grootheid Q noemt met toegevoegde warmte; grootheid U staat voor de inwendige energie van een systeem; grootheid W staat voor de verrichte arbeid)

¹⁴ Vertaling uit het Engels: “Different forms of energy: work, electromagnetic radiation, heat.”

ook op de vorm van energietransformatie geassocieerd met de overdracht van massa¹⁵. Voorafgaand aan transformaties worden ook energievormen onderscheiden. Dit zijn potentiële energie, kinetische energie, externe energie (druk, volume), interne energie¹⁶ (kinetische energie van moleculen, thermische energie), elektrische energie, chemische energie en nucleaire energie (zie bijvoorbeeld: Wall, 2009). De Eerste Hoofdwet behandelt dus de hoeveelheid energie van de verschillende vormen die wordt overgedragen tussen het systeem en zijn omgeving én de veranderingen in de hoeveelheid energie die in het systeem is opgeslagen (Kotas, 1995).

Tegelijkertijd behandelt de Eerste Hoofdwet interacties van arbeid en warmte als vormen van energie gelijk. Bovendien biedt de wet daarmee geen indicatie over de mogelijkheid van spontane processen, die zich in een bepaalde richting ontwikkelen. Hiervoor is de Tweede Hoofdwet nodig om het kwaliteitsverschil tussen energievormen en de richting van bepaalde processen aan te tonen. De kwaliteit van energie staat synoniem voor de capaciteit om verandering te veroorzaken¹⁷ (Kotas, 1995-30). Kotas illustreert dit met het volgende voorbeeld. De capaciteit om een bepaalde gewenste verandering te bewerkstelligen (zoals het verwarmen van een ruimte, gascompressie, of het bevorderen van een endothermische reactie) met behulp van 100 joule elektrische energie is groter dan die van eveneens 100 joule thermische energie van 1000 K¹⁸. En die laatste thermische energie heeft weer een grotere capaciteit dan dezelfde hoeveelheid thermische energie beschikbaar op 400 K, bij een omgevingstemperatuur van 300 K. Kortom, om een gewenste verandering te veroorzaken is dus een energieconversie noodzakelijk, waarbij het niet alleen om hoeveelheden gaat, maar zeer zeker ook om energiekwaliteiten.

De kwaliteit van energie heeft dus te maken met de Tweede Hoofdwet en met energieconversies. Meer in detail gaat het om de mogelijkheid of een hoeveelheid energie van een bepaalde vorm is om te zetten in een andere vorm. Al in 1965 maakte Baehr (1965-8) hiervoor een nuttige tweedeling in energievormen. Deze tweedeling bestaat uit energievormen die onbeperkt converteerbaar zijn¹⁹, zoals elektrische energie en energievormen die beperkt converteerbaar zijn²⁰, zoals thermische energie. De beperkte converteerbaarheid van energie is het gevolg van de Tweede Hoofdwet, volgens welke

¹⁵ Energy transfer associated with mass transfer

¹⁶ Hierbij speelt temperatuur een belangrijke rol.

¹⁷ “Quality of energy is synonymous with its capacity to cause change.”

¹⁸ 1000 K komt overeen met 726,85 graden Celsius

¹⁹ “Unbeschränkt umwandelbare Energieformen”

²⁰ “Beschränkt umwandelbare Energieformen”

niet alle processen mogelijk zijn en er daarentegen wel een bepaalde richting van de afloop van een proces van nature voorgeschreven is (Baehr, 1965-8). Dit kan worden samengevat in het verschil tussen omkeerbare en onomkeerbare processen. Baehr (1965) formuleert de Tweede Hoofdwet dan ook als het principe van onomkeerbaarheid²¹.

Met behulp van het zo-even genoemde principe van onomkeerbaarheid en het verschil tussen omkeerbare en niet omkeerbare processen wordt hier uitgelegd waar het begrip exergie voor staat. Onbeperkt converteerbare energievormen zijn door omkeerbare processen volledig om te zetten inelkaar, zoals mechanische energie in elektrische energie kan worden omgezet en omgekeerd. Door onomkeerbare processen kunnen onbeperkt converteerbare energievormen ook in beperkt converteerbare energievormen worden omgezet, zoals in warmte. Daarentegen kunnen beperkt converteerbare energievormen nooit, ook niet in omkeerbare processen, volledig worden omgezet in onbeperkt converteerbare energievormen. Voor het onbeperkt converteerbare deel van energievormen heeft Rant (1957) de benaming exergie voorgesteld. Later heeft Rant ook voorgesteld om het deel van energievormen dat niet converteerbaar is in andere energievormen aan te duiden als anergie. Dat betekent dat exergie en anergie twee complementaire grootheden zijn: het deel van energie, dat geen exergie is, bestaat uit anergie. Ook betekent het, dat alle onbeperkt converteerbare energievormen uit enkel exergie bestaan, de beperkt converteerbare energievormen bestaan uit zowel exergie als anergie en de omgevingsenergie bestaat uit enkel anergie. Alles samenvattend ontstaat figuur 5.

mate van converteerbaarheid	exergie of anergie	voorbeeld
onbeperkt converteerbare energievormen	exergie = 1	arbeid, kinetische energie, potentiële energie, elektrische energie
beperkt converteerbare energievormen	exergie + anergie = 1	interne energie (niet in evenwicht met omgeving), warmte (niet bij omgevingstemperatuur), chemische energie
niet converteerbare energievormen	anergie = 1	interne energie (in evenwicht met omgeving), warmte (bij omgevingsarbeid), externe energie (bij omgevingsdruk)

Figuur 3: exergie en de converteerbaarheid van energievormen

²¹ “das Prinzip der Irreversibilität”

De relevantie van bovenstaande discussie voor de vraag wat is energie-efficiëntie gegeven de Wet van Behoud van Energie, bestaat uit het volgende. Alle processen, die het menselijke leven mogelijk maken, zoals verwarmen, koelen, het bewerken van grondstoffen, het vervoeren van personen en goederen, het doorgeven van berichten, maar ook alle in procestechniek samengevatte operaties om stoffen te scheiden of stoffen om te zetten, hebben om mogelijk te zijn niet gewoon energie nodig, maar specifiek exergie. Ze hebben namelijk een elektrische of mechanische aandrijving, of warmte met een bepaalde exergie-inhoud nodig. Deze noodzakelijke exergie onttrekken wij aan de primaire energiebronnen, die eigenlijk dus exergiebronnen zijn. Want onze energiebron is niet de omgeving, welke energie uit enkel anergie bestaat, maar zijn renewables (zoals waterkracht), fossiele en nucleaire brandstoffen, wier energie ook uit exergie bestaat. Het is dus de taak van de energiewinning om primaire energie op een efficiënte en effectieve manier te converteren, dat de daarin opgesloten exergie als nuttige arbeid of elektrische energie beschikbaar komt. Deze door de energietechniek aangeboden exergie wordt vervolgens bij alle processen die energiediensten mogelijk maken verbruikt. Er vindt hierbij geen energie- maar exergieverbruik plaats (Baehr, 1965-13). Of zoals Wall (2009) het zegt: “everything that happens involves consumption of exergy.”

Om inefficiënt exergieverbruik, wat dus meestal in het dagelijks taalgebruik energieverbruik heet, op te sporen in een energiesysteem worden exergieanalyses uitgevoerd (zie bijv. Çomakli, et al; 2004). Dit gebeurt zowel op het schaalniveau van een apparaat (Cornelissen, 1997), energiecentrales (Kotas, 1995), maar ook hele landen (zie bijv. Hammond en Stapleton, 2001). Exergieanalyses brengen in kaart waar de kwaliteit van energie sterk (sterker dan nodig) afneemt en tonen daarmee inefficiënte energieconversies aan in een energiesysteem. Of in de woorden van Dincer (2002-141) the inefficient and wasteful resource use will become obvious, dankzij exergieanalyses.

Exergieanalyses van de energiesystemen van Japan, Zweden en Canada tonen aan dat de exergetische prestaties rondom de twintig procent liggen (Wall, 1987; 1990; Rosen, 1992). Voor de Japanse maatschappij toont Wall (1989) aan dat slechts 21% van energetische en materiële hulpbronnen (18 EJ in 1985) die het systeem binnenkomen bij het finale gebruik nuttig wordt toegepast. Hierbij zijn de grootste inefficiënties geïdentificeerd bij de verwarming (gaskachels) en verkoeling (airconditioning) van gebouwen. Ook binnen de Nederlandse context is dit een relevant uitgangspunt, omdat niet minder dan veertig procent van het Nederlands energiegebruik gekoppeld is aan verwarming (Warmtenetwerk, 2010). Het verbranden van hoog-exergetisch aardgas om

ruimtes te verwarmen tot een aangename twintig graden Celsius levert zeer geringe exergie-efficiënties op. Juist hier liggen lokaal bijvoorbeeld kansen om met behulp van warmtenetten gebruik te maken van restwarmte, of bijvoorbeeld geothermie. Ruimtelijke variabelen, als afstanden, dichtheden, omvang van functies en multifunctionaliteit van een gebied spelen vervolgens een belangrijke rol bij het op een efficiënte manier inpassen van warmte- en koudnetten in lokale energiesystemen (Van Kann en de Roo, 2009). Het in beeld brengen van ruimtelijke voorwaarden voor het beter benutten van niet effectief gebruikte primaire en secundaire energievormen voor energiediensten is een uitgangspunt van wat hier exergieplanning genoemd wordt.

In de volgende paragraaf (3.3) wordt geanalyseerd waar de inefficiënties in ons huidige energiesysteem zitten. Daarbij is de focus hoofdzakelijk op inefficiënties die verbeterd kunnen worden voorbij het gebouw- en bouwblokniveau en waar ruimtelijke structuren er mogelijk toe doen. In de daarop volgende paragraaf zullen we constateren, dat het toepassen van wat we daar het exergieprincipe zullen noemen, kan bijdragen aan het benutten van regionale, energetische kansen. Energiecascadering zal dan worden genoemd en uitgewerkt als een belangrijk uitgangspunt. Tot slot zullen we er in dit hoofdstuk bij stilstaan dat het toepassen van het exergieprincipe op een regionale schaal vraagt om een inbedding van thermische netten, naast het stroom- en gasnet, in ruimtelijke structuren.

3.3 het lokaliseren van inefficiënties

In de voorgaande paragraaf is de achtergrond geschetst van wat (in-)efficiënties in energiesystemen betekenen. Tal van journals publiceren aan de lopende band nieuwe inzichten over hoe autonome systemen efficiënter kunnen functioneren. Minder frequent wordt integraal nagedacht over het koppelen van diverse systemen om daarmee het geheel efficiënter te maken in plaats van de delen. Industrial Ecology geldt hierbij wel als een veelbelovende discipline, die inzicht biedt in het koppelen van diverse industrieële activiteiten in een gebied. Meestal gaat het om het uitwisselen van afvalstromen tussen verschillende bedrijven, zoals in het voorbeeld Kalundborg. Hier maken we de sprong naar het regionale schaalniveau, een geografisch denkniveau dat meestal voorbij één enkele stad gaat, maar ook stad en ommeland als één geheel beziet. Hierdoor is de regio een samenspel van allerlei ruimtelijke functies, zoals wonen, werken, onderwijs, agrarische activiteiten, recreatie, mobiliteit, et cetera. Juist tussen deze verschillende

ruimtelijke functies, of iets anders gezegd in de multifunctionaliteit van de regio, wordt gezocht naar een efficiënter energie-ruimte systeem.

Om een indruk te krijgen van hoe inefficiënt een energie-ruimte systeem kan functioneren, wordt een aan Wall (1991) ontleend figuur getoond. In figuur 6 wordt een exergieanalyse gemaakt van de Japanse maatschappij in het jaar 1985. Ofschoon misschien ietwat verouderd laat de figuur prachtig zien hoeveel exergie verloren gaat bij de energieconversies tussen bronnen aan de ene kant en het individuele eindgebruik aan de andere kant. Het exergetisch rendement tussen nuttige output en input van energie en materialen bedraagt hierbij 21 procent. Aan de outputkant is er vervolgens een tweedeling te maken tussen exergieconsumptie ten behoeve van het gebruiksklaarmaken van materialen en de “meer pure energiedoelen”. Bij deze laatste categorie²² valt in de figuur op dat de verhouding tussen input en output duidelijk minder groot is dan gemiddeld. Met andere woorden juist bij mobiliteit, maar zeker ook bij de verwarming en verkoeling in gebouwen gaat veel exergie verloren. Omgekeerd is er dus een wereld te winnen door juist bij deze functies exergieverliezen te voorkomen door slimmere combinaties van energieconversies te gebruiken. Meer beeldend, hoog exergetisch aardgas inzetten voor het verwarmen van ruimtes tot kamertemperatuur is een weinig efficiënte, edoch directe energieconversie van opgeslagen hoogwaardige chemische energie in laagwaardige thermische energie. Dergelijke energieconversies moeten we dan ook proberen te voorkomen om een energie-ruimte systeem efficiënter te laten functioneren.

²² in de oorspronkelijke figuur aangeduid met “transport work, heat & work, light, space, heat & cold”

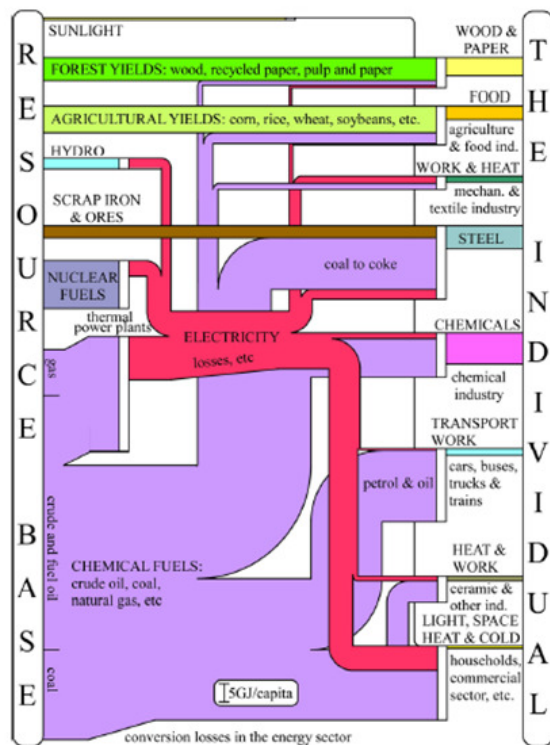


Fig. 4. The energy-conversion system in the Japanese society in 1985. The total input was about 18 EJ or 150 GJ/capita and the net output 3.8 EJ or 31 GJ/capita.

Figuur 4: exergieanalyse van Japans energiesysteem 1985 (Wall, 1991)

productie/omzetting van exergie in bruikbare materialen, zoals in:

- houtindustrie
- papierindustrie
- voedingsindustrie
- mechanische en textiel industrie
- ijzer- en staalproductie
- chemische industrie

gebruik van exergie voor meer pure energiedoelen, zoals in/bij:

- verkeer- en vervoersector
- ceramische industrie
- verlichting, elektrische apparaten
- ruimteverwarming
- ruimtekoeling

In deze planologische studie staat de toepassing van wat hier het exergieprincipe wordt genoemd centraal. Hierbij is het een uitgangspunt om energieconversies effectiever in te zetten en hoogwaardige energievormen eerst en vooral in te zetten voor energiediensten (lees: ruimtelijke functies) die ook hoogwaardige energievormen nodig hebben. Kortom, er wordt geprobeerd de omzetting van exergie in anergie zolang mogelijk uit te stellen en resterende exergetische kwaliteiten nuttig te gebruiken. Tegelijkertijd houdt het principe in, dat we voor energiediensten (lees eveneens: ruimtelijke functies) die ook met laagwaardige energievormen uit de voeten kunnen, primair op zoek gaan naar bronnen van een toereikende kwaliteit. Tot slot betekent het principe ook, dat wordt nagedacht over de locatie van energiediensten die op een bepaalde plek om hoogwaardigere energiekwaliteiten vragen dan noodzakelijk.

Concreet kunnen we het exergieprincipe illustreren aan de hand van drie voorbeelden. Het gebruik van hoogwaardige, opgeslagen chemische energie in bijvoorbeeld aardgas maar ook biogas (bijna pure exergie) is conform het exergieprincipe denkbaar voor het omzetten in elektrische energie (immers ook hoogwaardige energie). De stroom kan vervolgens worden gebruikt om allerlei elektrische apparaten te laten

functioneren, of een elektrolyse proces te laten functioneren, bijvoorbeeld in de aluminiumindustrie. Bij het omzetten van het gas in stroom wordt meestal gebruikt gemaakt van verbrandingsmotoren, die het gas omzetten in hoogwaardige warmte, die op zijn beurt met behulp van beweging en een dynamo (mechanische energie) elektriciteit opwekt. Zeg maar de stoommachine. Deze laatste energieomzetting gaat “helaas” in de praktijk ook gepaard met de productie van laagwaardige warmte. Niet zelden wordt deze warmte vandaag de dag nog weggekoeld in rivieren, zeeën of de lucht. Het toepassen van het exergieprincipe betekent dat je op zoek gaat naar een nuttige toepassing van deze laagwaardige warmte. Het verwarmen van ruimtes in huizen is hiervan een voorbeeld.

Bij het verwarmen van ruimtes start ook de omgekeerde redenering als we het exergieprincipe illustreren met een ander voorbeeld. Voor het tot kamertemperatuur verwarmen van huizen gebruiken Nederlandse huizen veelal warm water dat varieert in temperaturen tussen 30 en 110 graden Celsius. Dat is exergetisch gezien laagwaardige warmte. Het exergieprincipe volgend, zoek je in de nabije omgeving dan ook naar een exergiebron van toereikende kwaliteit. Dat kan restwarmte van fabrieken zijn, maar ook bijvoorbeeld geothermische warmte. Hoogwaardige energievormen als gas, vandaag de dag de normaalste zaak van de wereld, komen pas als exergetische optie ter sprake als geen laagwaardige energievormen beschikbaar zijn.

Tot slot kun je het exergieprincipe ook goed begrijpen door naar hoogteverschillen in het landschap te kijken. De natuurlijke waterkringloop, aangedreven door zon en wind, laat water dat in hogere (berg)gebieden als neerslag valt, uiteindelijk meestal als vanzelf terugstromen richting zee. De potentiële energie van het water neemt hierbij af, totdat het natuurlijke evenwichtsniveau, de zeespiegel, bereikt is en alle potentiële energie in het water uit pure anergie bestaat. In Nederland gaan we echter een stap verder. Een aanzienlijk deel van Nederland²³ ligt in polders onder de zeespiegel. Het water op zeeniveau, normaal gesproken in evenwichtstoestand, heeft hierdoor lokaal nog potentie en zou zonder tegenwerking als vanzelf de polder instromen om een nieuwe evenwichtstoestand²⁴ te scheppen. Om evidente redenen wordt deze eenmalige energiepotentie niet als beleidsoptie overwogen. De praktijk is echter andersom. Er vindt permanent energieconversie plaats om het water uit de polders te pompen. Dat geldt voor zowel hemelwater, grondwater, maar ook rioolwater. Met andere

²³ Eigenaardig genoeg ging de klimaatdiscussie in het parlement over de percentages van dit deel (TK-?)

²⁴ Dit niveau is nagenoeg gelijk aan het huidige zeespiegelniveau, omdat de hoeveelheid water die in de polders past verwaarloosbaar klein is in verhouding tot al het water in de wereldzeeën.

woorden om het water uit de polder om hoog te pompen naar minimaal zeeniveau moet je exergie toevoegen aan het systeem. Nederland staat bekend om een roemrucht verleden, waarbij dit gebeurde met behulp van renewables. De windmolens in Kinderdijk trekken vandaag de dag nog legio vooral buitenlandse toeristen aan. Met het direct gebruik van wind voor het omhoog pompen van water zijn we terug bij de locatiegebondenheid van renewables en daarmee ook figuur 2. De huidige praktijk is echter, dat hoofdzakelijk fossiele brandstoffen worden gebruikt om moderne gemalen te laten functioneren. Hierdoor is een droge polder als de Haarlemmermeer meer verbonden met steenkool uit Zuid-Afrika en aardgas uit Slochteren dan met lokale windmolens. Dit illustreert echter andermaal, dat de toepassing van het exergieprincipe, zeker in combinatie met renewables, locaties wel weer relevanter maakt.

Voor het aanpakken van inefficiënties in het regionale energiesysteem biedt de ruimtelijke structuur op basis van het exergieprincipe drie hoofdmogelijkheden. Ten eerste zou je je een ruimtelijke functietoedeling, of -ontwikkeling kunnen voorstellen, die zich meer bewust is van de energetische consequenties van hoogteverschillen in het landschap. In een woonwijk die boven zeeniveau wordt gebouwd, kun je een windmolen inzetten voor het voorzien in een stroombehoefte van die wijk. Daarentegen heb je diezelfde windmolen in een woonwijk die onder zeeniveau gebouwd is, ook nodig voor het wegpompen van overtollig water. Met additionele capaciteit moet vervolgens in de stroomvoorziening worden voorzien, wat mogelijk ook om extra ruimte vraagt. Kortom, inefficiënties in het energie-ruimte systeem kunnen zowel om extra energie als om extra ruimte vragen. Daarom houdt een exergiebewuste ruimtelijke planning rekening met hoogteverschillen in het landschap om geen onnodige inefficiënties in het regionale energiesysteem in te bouwen.

Ten tweede is er de mogelijkheid om via mobiliteit grote inefficiënties in het energiesysteem weg te nemen. Zowel de brandstofmotor in individuele voertuigen als collectieve voertuigen, maar ook elektromotoren in treinen, bussen en tegenwoordig ook in auto's hebben een laag exergetisch rendement (Wall, 1991). Federici, et al. (2005) laat in een vergelijkende exergieanalyse voor de Italiaanse regio Sienna zelfs zien, dat het gebruik van dieseltreinen en –bussen met hogere energie-efficiënties gepaard gaat dan individueel autogebruik en ook collectief gebruik van elektrische treinen. In deze studie zullen we vanuit een exergetisch perspectief niet verder ingaan op de ontwikkelingen in de transportsector, dat is een onderzoek op zich waard. Volstaan wordt hier met een aantal principes uit wat Banister (2009) het sustainable mobility paradigm noemt. Naast

de mogelijkheid om energie te besparen door kortere afstanden tussen ruimtelijke functies te moeten afleggen (zeg maar minder doen), is er vooral aandacht voor andere vormen van mobiliteit. Exergetisch is het interessant om korte afstanden bijvoorbeeld af te leggen met de fiets of te voet. In de Groningse energieladder (Gemeente Groningen, 2008) noemen ze dit, thermodynamisch wat ongelukkig, zelfs het voorkomen van energiegebruik. Ook het combineren van ritten is een mogelijkheid om het energiegebruik van verkeer en vervoer te beperken. Tot slot leidt ook het beter benutten van de capaciteit van vervoersmiddelen, zowel de lege plekken in de auto als bus en trein, direct tot hogere energie-efficiënties voor de mobiliteit van onze samenleving. Voor ruimtelijke structuren betekent een energie-efficiëntere mobiliteit de neiging om naar hogere dichtheden van functies, maar ook naar meer multifunctionele gebieden toe te werken (Bertolini, 2001; Banister, 2009).

Ten derde en zeker niet als laatste is er de mogelijkheid om bij het verwarmen en verkoelen van gebouwen, of meer bij warmte en koude in het algemeen, veel energie-efficiënter te functioneren. Als we de efficiëntie beschouwen van de exergetische conversie van brandstoffen en elektriciteit naar warmte en koude in figuur 6 is duidelijk dat er hier veel te winnen valt. Beschouwen we ook de meer algemene energiecijfers van Nederland, zien we dat ongeveer 40% van het Nederlands energiegebruik samenhangt met warmte (CBS, 2010; Warmtenetwerk, 2010). Nogmaals opgemerkt, in Nederland zetten we te vaak hoog exergetisch aardgas in om direct laag exergetische warmte te produceren. Het wel gebruiken van bijvoorbeeld aanwezige, laag exergetische restwarmte van fabrieken voor de verwarming van woningen kan direct het aardgasgebruik van deze woningen terugdringen. Dat er dan een noodzaak is om diverse van elkaar energetisch afhankelijke ruimtelijke functies in enige nabijheid van elkaar te hebben, is duidelijk. Het uitwisselen van thermische energie (warmte en koude) vereist immers wel een infrastructuurnetwerk, dat om energetische en financiële motieven geen onbeperkte omvang kan hebben. Kortom, bij het aanpakken van inefficiënties in het regionale energie-ruimte systeem zijn ruimtelijke structuren in het bijzonder relevant bij het verwarmen en koelen van ruimtes en water.

3.4 regionale potenties op basis van het exergieprincipe

In de voorgaande paragraaf is geanalyseerd dat het exergieprincipe interessante aanknopingspunten voor efficiëntere energie-ruimte systemen. Hier trekken we deze

analyse door richting het positieve en gaan op zoek naar regionale kansen. Welke mogelijkheden bieden ruimtelijke structuren voor het beter benutten van regionale exergiebronnen?

In paragraaf 3.1 is reeds als achtergrond geschetst dat we in een regio om activiteiten uit te voeren exergie nodig hebben. Deze noodzakelijke exergie onttrekken we uiteindelijk aan primaire energiebronnen. Niet zelden zijn regio's op dit moment voor hun energievoorziening sterk afhankelijk van de import van primaire of secundaire energie. Hoogspanningsleidingen, aardgasleidingen, olieschepen of brandstoftrucks zijn allemaal technieken die als energie-infuus functioneren voor regio's. De echte primaire energievoorraden zijn in Nederland meestal onzichtbaar. Steenkool komt uit Zuid-Afrika, Indonesië en Australië. Aardolie wordt aangevoerd uit Saudië-Arabië om er in het Rotterdamse havengebied bruikbare koolwaterstoffen van te maken, als benzine, diesel, et cetera. Elektriciteit komt uit Duitse bruinkoolcentrales, Franse kerncentrales uit eigen steenkool gestookte centrales, een kerncentrale in Borssele en krachtcentrales die aardgas verbranden. Dit aardgas komt weliswaar voor een deel uit de Nederlandse ondergrond, maar de rol van o.a. Russische gasvoorraden zal in de nabije toekomst gaan toenemen. Wat beklijft van deze opsomming is, dat de energie hoofdzakelijk vanuit andere regio's komt. Ook zijn de energievoorraden niet in eigen bezit, noch is altijd duidelijk hoeveel voorraden er daadwerkelijk zijn. Dan zwijgen we nog over de geringe invloed die je als regio hebt op de prijsvorming van energie van elders. Kortom, redenen te over om als regio zorgvuldiger te kijken naar eigen, lokale exergiebronnen.

Regionale energiepotenties hangen samen met de regiospecifieke aanwezigheid van renewables, nucleaire en fossiele brandstoffen. Nucleaire brandstoffen zijn in de Nederlandse ondergrond niet voorradig en is daarmee dus ook geen primaire potentie van een Nederlandse regio. Voor steenkool geldt dat er in de Nederlandse ondergrond in Zuid-Limburg nog wel voorraden aanwezig zijn, maar dat een nieuwe winning voorlopig als ondenkbaar geldt. Aardolie wordt in beperkte mate wel gewonnen op de Noordzee, alsmede in Zuidoost-Drenthe. Regionaal is verder vooral aardgas een potentie, maar ook regionaal beschikbaar aardgas blijft een fossiele brandstof en is beperkt voorradig. Resteren als primaire energiebron renewables, waarbij de potenties voor zon, wind, waterkracht, golfenergie, getijdenwerking, osmose, geothermie en biomassa gebiedsspecifiek zijn (Blatter, 2006; Van den Dobbelsteen, 2008).

Het toepassen van het exergieprincipe maakt echter behalve de genoemde primaire energiebronnen, ook een studie van secundaire energievormen in een regio

relevant. Waar restelektriciteit en restwaterstof niet relevant zijn, is een regionale inventarisatie van restwarmte en restkoolwaterstoffen (begrip zoals in figuur 3 gebruikt) wel nuttig. Restwarmte is in principe beschikbaar op alle locaties, waar brandstoffen wordt omgezet in elektriciteit, zoals in elektriciteitscentrales of in mechanische beweging, zoals in auto's. Op plekken waar geconcentreerd veel elektriciteit wordt gebruikt is overigens ook restwarmte aanwezig, zoals bij datahotels. Restkoolwaterstoffen is een wat cryptische omschrijving voor wat je ook (biologisch) afval kan noemen. Het verbranden van afval in verbrandingsoven zet uiteindelijke chemische energie om in elektriciteit en warmte en is weinig anders dan het gebruiken van "tweedehands aardolie of bio-olie". De exergiegedachte betekent vervolgens, dat je de resterende kwaliteit van iedere energiestroom op waarde schat en gebruikt voor toepassingen, die anders op primaire energie vragen. Deze regionale exergiepotentie is ook gebiedsspecifiek, waarbij vervolgens ook de benuttingsmogelijkheden afhangen van lokale omstandigheden.

Tot slot zullen we er in dit hoofdstuk bij stilstaan dat het toepassen van het exergieprincipe op een regionale schaal vraagt om een inbedding van thermische netten, naast het stroom- en gasnet, in ruimtelijke structuren. Immers om daadwerkelijk warmte en koude tussen ruimtelijke functies te kunnen uitwisselen zijn buisnetwerken nodig. Deze netwerken kosten vanzelfsprekend geld. Bovendien vergt een effectieve isolatie van de netwerken om extra inspanningen, die er uiteindelijk toe leiden dat afstanden niet al te groot moeten worden. Vanuit exergetisch oogpunt zijn de terugverdientijden van warmte- en koudenetten beperkt en hangen af van afstanden tussen, dichtheden van de energievraag en -aanbod (Universiteit Twente, 1991). Afstanden, dichtheden en ook de verspreiding van ruimtelijke functies over de regio zijn daarom variabelen, die nadrukkelijk aandacht krijgen in deel B en C van deze studie.

4 Een nieuw energielandschap, lokale potenties en ruimtelijke structuur

In de voorgaande hoofdstukken is benadrukt, dat er oprechte twijfels zijn over de duurzaamheid en de efficiëntie van het huidige energiesysteem. Het bijbehorende energielandschap is er één waarbij fossiele brandstoffen zeer bepalend zijn. Gordijn (2003) laat zien, dat de directe ruimtelijke impact van dit landschap in Nederland beperkt is. In dit hoofdstuk maken we de stap naar duurzame energielandschappen. Hierbij staat hoofdzakelijk de inbedding van renewables in een efficiënt functionerend energiesysteem centraal. Eerst wordt een analyse gemaakt van wat een nieuw duurzaam energielandschap zou kunnen zijn. Vervolgens gaan we dieper in op de relatie tussen energie en ruimte als het gaat om renewables. Daarna gaan we verder met de constatering, dat er op verschillende schaalniveaus ontwikkelingen zijn ten aanzien van duurzame energielandschappen. Tot slot volgt de conclusie van dit hoofdstuk, waarbij het gaat over de toekomstige relatie tussen energie en ruimte in een nieuw energielandschap. Deze toekomst wordt uitgedrukt in vier mogelijke toekomstscenario's.

4.1 rationeel gebruik van renewables als basis

Het lijkt zo makkelijk om te bepalen wat een duurzaam energielandschap is. Dat zijn toch landschappen waarin op daken van huizen zonnepanelen liggen en de windmolens op zee goed hun werk doen. Bovendien is de akker van de boer van tijd tot tijd geel gekleurd door het koolzaad die er in bloei staat. Maar, hoe moeten we dan discussies plaatsen, die bijvoorbeeld gaan over dat de productie van voedsel in het gedrang komt door biobrandstoffen (bronnen toevoegen). Wat te doen met het Nimby-effect dat optreedt bij welhaast de plaatsing van iedere windturbine? Of als we naar 's werelds grootste waterkrachtcentrale kijken, de Drieklovendam in China, dan zijn er daar vijf miljoen mensen aangemoedigd om te verhuizen. Kortom, de overgang naar het gebruik van renewables laat niet alleen maar positieve effecten zien. Effecten op economische, ecologische en sociologische aspecten kunnen ook negatief zijn, waardoor zeker niet gezegd kan worden dat iedere technische installatie om renewables te winnen bijdraagt aan een duurzame ontwikkeling.

Uit bovenstaande discussie kan worden afgeleid, dat het sec bouwen van zoveel mogelijk windmolens of zonnepanelen als principe weinig duurzaam is. Om duurzame ontwikkeling en renewables samen te begrijpen, betogen Dincer en Rosen (2005), dat het begrijpen en toepassen van thermodynamische principes essentieel is. Dat verklaart ook dat de in de Nederlandse beleidswereld populaire Trias Energetica als eerste stap uitgaat van het reduceren van de vraag naar energie door rationeel gebruik (Lysen, 1996). De Trias Energetica is een strategie die bestaat uit drie stappen op weg naar een duurzaam energiesysteem. Na het reduceren van de vraag naar energie gaat het ten tweede om het invullen van de resterende vraag naar energie op basis van renewables. De derde stap bestaat uit het zo schoon en efficiënt mogelijk toepassen van fossiele brandstoffen, zolang er onvoldoende gebruikgemaakt kan worden van renewables. Ook in deze driestapsstrategie op weg naar een duurzaam energiesysteem krijgt het rationeel gebruik van energie en het reduceren van de vraag naar energie een voornamere plek dan het inzetten op sec renewables.

In de beleidspraktijk wordt de Trias Energetica veelvuldig gebruikt om (energie)visies op te stellen voor bijvoorbeeld gemeentes die streven naar energie-, klimaat-, of CO₂-neutraliteit (zie bijvoorbeeld: Roos, et al. 2007). Ook ontstaan er varianten, zoals de Groningse Energieladder. Deze ladder die uit vijf treden bestaat, noemt als eerste stap het stimuleren van energievrije activiteiten (Gemeente Groningen, 2007). En dan moeten we toch echt even terug naar de thermodynamische principes uit hoofdstuk 3. Enerzijds kan energie niet geproduceerd worden, noch verloren gaan (Eerste Wet). Anderzijds lijken we wel voor gebruikte energie te moeten betalen en raakt ook iets op. Dan komt de Tweede Wet van de thermodynamica om de hoek kijken. Het is de kwaliteit van energie (exergie) die van nature afneemt, totdat een evenwicht is bereikt. Met deze fundamentele discussie in het achterhoofd moet de eerste stap van de Groningse energieladder zorgvuldig worden benaderd. De routekaart Groningen Energieneutraal+ stelt letterlijk (pagina 10):

“1. Energievrij: Verreweg de belangrijkste voorkeur zijn activiteiten die totaal vrij zijn van energieverbruik. Fietsen is daar een mooi voorbeeld van als het gaat om duurzame mobiliteit.”

Hoewel bovenstaande thermodynamisch behoorlijk ongelukkig is geformuleerd, wordt er wel degelijk een interessant punt genoemd. Het is mogelijk om de vraag naar energie te verminderen door activiteiten op een energiezuinige manier uit te voeren. In hoofdstuk drie bleek echter ook dat energievrije activiteiten natuurlijk niet bestaan. Wel

kun je om het voorbeeld van de fiets te gebruiken, het gebruik van fossiele brandstoffen voor de auto vervangen door biomassa, of voedsel, voor de fietser. Bovendien zo laat een analyse van Mackay (2008) zien, is er in de meeste gevallen dan ook minder primaire energie nodig voor de fietser vergeleken met de auto. Al hangt dat natuurlijk wel samen met het type voeding en het type auto. Mackay (2008-79) verwijst naar een studie die laat zien dat gemiddeld voor lopen slechts een vierde van de energie nodig is in vergelijking met autorijden. Tegelijkertijd hangt de afstand die een reiziger moet afleggen in belangrijke mate samen met de keuze voor een vervoersmodus. Al is lopen en fietsen energiezuiniger, het afleggen van lange afstanden op die manier is niet gebruikelijk. De ruimtelijke structuur van gebieden speelt dan dus een rol, waarbij de afstanden tussen verschillende ruimtelijke functies slechts één variabele is, die via de keuze voor de vervoersmodaliteit dus invloed heeft op het energiegebruik van een gebied. Dit is ook de voor planologen relevante dimensie van de eerste trede van de Groningse energieladder. De ruimtelijke structuur van een gebied bepaalt mede waar activiteiten op een energiezuinige manier kunnen worden uitgevoerd.

De tweede trede van de Groningse energieladder heet ‘vermindering energieverbruik’. Gesteld wordt, *bij de meeste activiteiten bestaat echter altijd een vorm van energiebehoefte. Daarom is het zaak de behoefte aan energie zo sterk mogelijk terug te dringen. Wezenlijke stappen naar energieneutraliteit worden gezet bij forse besparingen op het energieverbruik. Hierbij zijn onder andere technologische vernieuwingen, aangepaste bouwweisen, klimaatadaptatie en gedragsverandering aan de orde.* De redenering die hier wordt toegepast, is dat op plekken waar al energie wordt gebruikt voor noodzakelijke functies er ingezet moet worden op energiebesparing. Afgezien van klimaatadaptatie worden enkel voorbeelden genoemd die hierbij op apparaat- of gebouwniveau een rol spelen. Het gaat om efficiëntere koelkasten, tv’s, lampen, betere isolatie van woningen en als het even meezit ook het gedrag van de bewoner, zodat lampen niet onnodig blijven branden in verlaten ruimtes. Dit is een belangrijke stap, die het autonome energiegebruik van individuele ruimtelijke functies kan laten afnemen. De eerste twee treden van de Groningse energieladder bieden dus strategieën aan die passen binnen de eerste stap van de Trias Energetica en zowel op apparaat- en gebouwniveau als voorbij dat niveau liggen.

Binnen de eerste stap van de Trias Energetica kan echter ook het exergieprincipe meehelpen aan het reduceren van de energievraag door rationeel gebruik. Dat principe houdt immers in, dat iedere functie die energie gebruikt, ook een restenergiestroom

heeft van een bepaalde kwaliteit. Vaak is dat warmte, afvalwarmte. Juist in het opnieuw gebruiken van restenergiestromen (afval=energie) liggen kansen (Van Kann, 2008). Als je de resterende energiekwaliteit van een bepaalde ruimtelijke functie inzet om in de energiebehoefte van een andere ruimtelijke functie te voorzien, vermindert de totale primaire energievraag. Dit is logisch, doordat de energiebehoefte van de andere ruimtelijke functie niet langer alleen met primaire energie wordt vervuld, maar met secundaire energie, die dus al een keer gebruikt is. Met andere woorden, het in symbiose laten functioneren qua energie van ruimtelijke functies is een kans, die de vraag naar energie kan verminderen door rationeel gebruik.

Tot slot biedt ook het IPCC (2007d-10) een overzicht van sectoren die kansen bieden om de uitstoot van koolstofdioxide te verminderen door op een duurzamere energievoorziening over te stappen :

- Energievoorziening → verbeterde efficiëntie, hernieuwbare warmte en warmtekrachtkoppeling (zie ook: Pehnt en Schneider, 2005-55);
- Transport → “modal shift” en “land-use and transport planning” (zie ook: Owens, 1984);
- Gebouwen → gebruik van passieve en actieve zonne-energie in ontwerp voor verwarming en koeling (zie ook: Deelstra, 1994; Hens en Janssens, 2005) en integratie van zonnepanelen in gebouwen;
- Industrie → terugwinnen van warmte en kracht (zie voor glastuinbouw ook: van Liere, 2003);
- Landbouw (inclusief bosbouw) → fatsoenlijk telen van energiegewassen, verbeterde energie-efficiëntie (zie ook: Ruppert, et al., 2008; Van Kann, 2008b);
- Afvalmanagement → afvalverbranding met energiet terugwinning, composteren van organisch afval (zie ook: Van Kann, 2008c).

Vervolgens wijst stap twee van de Trias Energetica op de inzet van renewables om in de resterende energievraag te voldoen. Naast het directe gebruik van zonne-energie om stroom of warmte te produceren worden meestal biomassa-, ondergrond-, wind- en waterpotenties onderscheiden. De categorie waterpotenties omvat niet alleen potentiële energie die nuttig omgezet wordt bij stuwdammen of watermolens, maar ook energie uit getijdenwerking, zeestromingen en osmose, waarbij het verschil tussen zoet en zout water essentieel is. Tabel 1 toont een overzicht van de verschillende renewables ook gekoppeld aan de mogelijke conversiestappen naar energiedragers (Blatter, 2006). In de

volgende paragraaf wordt stilgestaan bij de ruimtelijke condities waaronder renewables (goed) kunnen functioneren.

Bron: ↓	Drager: →	Vaste energie- dragers	Vloeibare energie- dragers	Gasnet	Elektriciteitsnet	Warmtenet	Direct lokaal gebruik
Zon			Via omzetting	Via omzetting	Pv-cellen, zonnekracht-centrales	Zonnecollectoren	Zonne-architectuur
Wind					Windturbines		
Zee					Golf-, getijden-, zeestromings-krachtcentrale	Gebruik van warmtepompen	
Waterkracht					Waterkracht-centrale, osmose		
Biomassa	Houtpellets, andere vaste brandstoffen	Biodiesel	Biogas		Biomassa krachtcentrale	Biomassa warmte-centrale	Eigen behoefte van landbouw-bedrijven, etc.
					Warmtekrachtkoppeling		
Geothermie					Geothermische krachtcentrale	Geothermische warmtecentrale	Aardwarmte-sonde
					Warmtekrachtkoppeling		
Niet-hernieuwbare bronnen	Uranium, kolen	Aardolie	Aardgas		Kern-, kolen-, aardolie-, aardgas-krachtcentrale	Kern-, kolen-, aardolie-, aardgas-warmtecentrale	CV-ketel
					Warmtekrachtkoppeling		

Tabel 1: energievoorzieningsmatrix met de relatie tussen energiebronnen en -dragers

De laatste stap in de Trias Energetica en de laatste twee treden van de Groningse energieladder gaan over het omgaan met het deel van de energiebehoefte dat niet door renewables kan worden ingevuld. De bijdrage van renewables aan de energievoorziening van Nederland is in 2010 minder dan 4% en fossiele brandstoffen worden dan ook nog vol op gebruikt (CBS, 2010). Ook als een energietransitie naar een duurzaam energietransitie serieus vorm krijgt, betekent dit dat we voorlopig nog niet van het gebruik van fossiele of nucleaire brandstoffen af zijn. Dit blijkt ook uit het feit, dat in Nederland nog gebouwd wordt aan gloednieuwe kolencentrales, die hun eerste kilowattuur elektriciteit nog moeten gaan leveren. Carbon capture and storage (CCS) is een techniek, die nadrukkelijk nog in ontwikkeling is en het mogelijk moet gaan maken om de uitstoot van koolstofdioxide van bijvoorbeeld kolencentrales af te vangen, op te slaan, of elders te gebruiken (bronnen toevoegen). Dit is een deel van de derde trias stap, die stelt dat fossiele brandstoffen zo schoon en efficiënt mogelijk gebruikt moeten

worden. Schoon betekent dat zoveel mogelijk de uitstoot van milieuverontreinigende stoffen wordt voorkomen in de hele keten van het gebruik van fossiele brandstoffen. Efficiënt houdt in, dat er enerzijds wordt ingezet op technieken die een betere verbranding van de brandstoffen opleveren. Nieuwe, moderne kolencentrales kunnen elektriciteit winnen uit steenkool met een rendement van 45%, waarbij dit gemiddeld in Nederland nog iets van 35% is (bron toevoegen). Niettemin gaat nog steeds 55% van de energie-inhoud ‘verloren’ in stof-, druk- en vooral warmteverliezen. Nuttige toepassingen in de buurt vinden voor de warmte die vrijkomt bij de elektriciteitsproductie van centrales op fossiele brandstoffen levert hogere energie-efficiënties op. Deel van de hogere efficiënties is het voorkomen van het gebruik van energie die nu nodig is om de afvalwarmte weg te koelen. Kortom, sustainable fossil fuels zoals Jaccard (2005) het noemt, verdienen als laatste stap van de trias energetica ook de aandacht van planologen op weg naar een duurzaam energiesysteem.

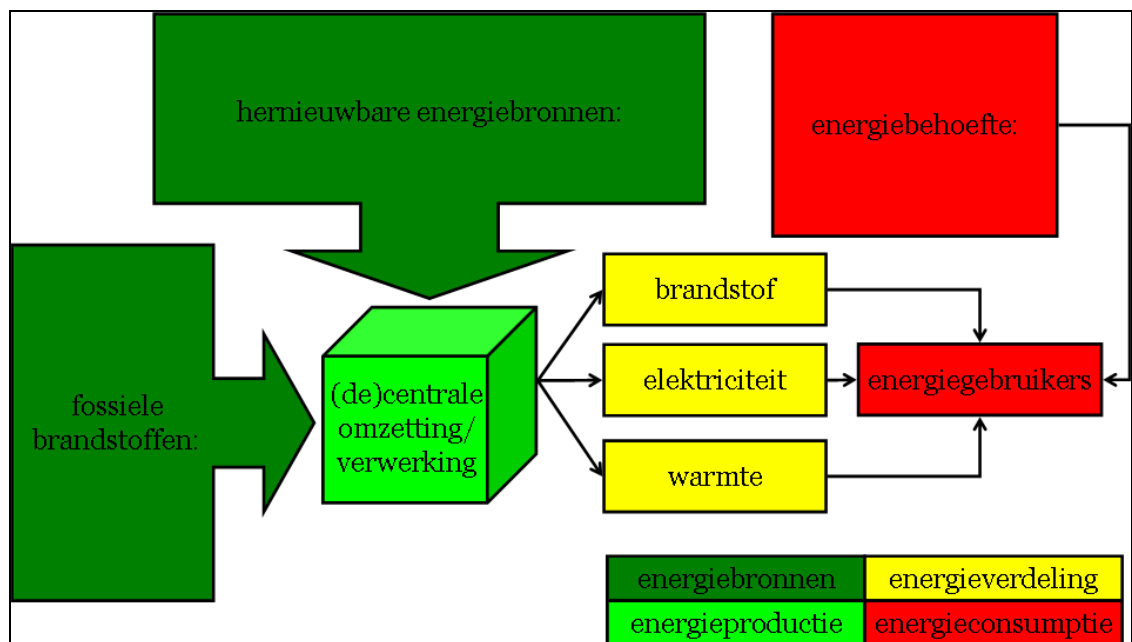
Resumé, een duurzaam energielandschap is een landschap waarin ruimtelijke structuren zo zijn, dat een rationeel gebruik van renewables mogelijk is. Doel van dit rationeel gebruik is om uiteindelijk met zo min mogelijk windturbines, zonnepanelen, biovergisters, et cetera toch te kunnen voldoen in de behoefte naar energiediensten, die de maatschappij heeft. Dit zou de energietransitie niet alleen eenvoudiger maken, maar ook leidt deze transitie op deze manier tot minder ruimtelijke impact. Gedurende de transitie zal de derde stap van de trias energetica ook niet uit het oog moeten worden verloren. Het is een ruimtelijke uitdaging om het gebruik van fossiele brandstoffen zo schoon en efficiënt mogelijk te kunnen laten plaatsvinden. In de volgende paragraaf wordt daarom weliswaar hoofdzakelijk bij de ruimtelijke aspecten van renewables stilgestaan, maar worden fossiele en nucleaire brandstoffen meegenomen in de analyse.

4.2 Potenties van renewables, ruimte doet er toe

De winning van energie wordt grotendeels bepaald door de aard van de energiebronnen. Hierbij mag het onderscheid tussen de secundaire energiedragers ‘brandstoffen’, ‘warmte’ en ‘elektriciteit’ niet los gelaten worden. Als we vervolgens vanuit een ruimtelijke interesse naar energiewinning kijken, vallen twee uitersten op. Enerzijds zijn er productievormen, die lokaal en on-spot kunnen worden toegepast op de plek waar ook een energiebehoefte aanwezig is. Als voorbeeld kan het gebruik van zonnecollectoren gelden, waarbij zonne-energie daar wordt omgezet, waar er behoefte is

aan warmte. Dit noemen we decentrale energievoorziening. Anderzijds is bijvoorbeeld een kolengestookte krachtcentrale op vele manieren verbonden met andere plekken. Naast de aanvoer van de steenkool, die bovendien ergens moet worden gedolven, is er de omzetting in elektriciteit en warmte. Deze elektriciteit en soms ook de warmte worden vervolgens met behulp van netwerken naar de consument gebracht. Dit is een voorbeeld van een centrale energievoorziening. In deze paragraaf wordt de ruimtelijke differentiatie tussen de verschillende primaire energiebronnen en secundaire –dragers verder uitgediept en gecategoriseerd.

Uit de voorbeelden in de vorige alinea zijn reeds twee ruimtelijke variabelen af te leiden. Een eerste variabele betreft het centrale of juist decentrale karakter van de productievormen, zie ook figuur 5. Een tweede factor zit iets meer verborgen in het ruimtebeslag (zie ook Gordijn, 2003). Ofschoon ook afhankelijk van systeemgrenzen is het te beargumenteren, dat het ruimtebeslag van een zonnecollector anders is dan van een kolencentrale. Zowel in de aanvoer van de energiebronnen (zon versus steenkool), de verwerking (geen versus wel luchtvervuiling), als de energieverdeling (klein versus groot netwerk) zijn duidelijke verschillen te herkennen.



Figuur 5: het energiesysteem in één figuur

Tot slot wijzen diverse onderzoeken ook op het aspect van locatiegebondenheid (zie bijv. Blatter, 2006 en Grounds for Change, 2005). Onze maatschappij is volledig

gewend geraakt aan het transport van brandstoffen (zoals kolen, olie, aardgas). Daardoor is de locatiegebondenheid van krachtcentrales ten aanzien van de aanvoer van grondstoffen niet groot. Voor een aantal hernieuwbare bronnen ligt dit anders. Zo blijft een waterkrachtcentrale noodzakelijkerwijze qua locatie gebonden aan een plek met water, bij voorkeur onder sterk verval. Met deze laatste twee ruimtelijke variabelen, het *ruimtebeslag en locatiegebondenheid* gaan we in deze paragraaf per energiedrager (brandstoffen, warmte en elektriciteit) aan de slag. Het *centrale of decentrale karakter van de energievoorziening* zullen we hierbij ook telkens aanstippen.

4.2.1 Brandstoffen

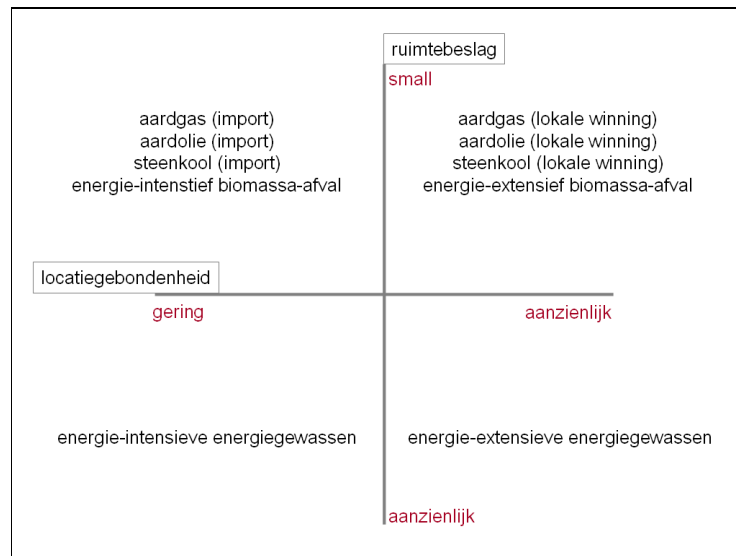
Voor de energiedrager 'brandstoffen' is er een belangrijk onderscheid aan te brengen tussen de massaal gebruikte fossiele brandstoffen en de hernieuwbare biologische brandstoffen. Voor gas, olie, steenkool, enzovoort geldt, dat winning (mijnbouw) een belangrijke eerste stap is. Bij biologische brandstoffen is echter productie het begin. Een tweede onderscheid bestaat tussen brandstoffen enerzijds en de energiedragers elektriciteit en warmte anderzijds. Brandstoffen worden reeds op grote schaal ingezet voor de productie van elektriciteit en warmte. Het omgekeerde bij de productie van waterstof bijvoorbeeld gebeurt nog nauwelijks. Daarom staan we in deze en volgende subparagraaf wel stil bij de rol van brandstoffen in de elektriciteit- en warmteproductie. De andere relatie komt niet aan bod.

De plek van winning van fossiele brandstoffen wordt noodzakelijk bepaald door het voorkomen ervan in de bodem. Ook wordt dit beïnvloed door condities als technische en economisch rendabele winbaarheid. Dat betekent voor de bron van energie dus een aanzienlijke locatiegebondenheid bij de winning van deze grondstoffen. Evenwel is het transport van kolen, olie en gas van een winlocatie naar de plek van gebruik dagelijkse realiteit. Als dus niet de winning, maar enkel de import van fossiele brandstoffen het perspectief is, geldt een geringe mate van locatiegebondenheid. Wel wijst Gordijn (2003) erop, dat de daaruit voortvloeiende oliehandel zeker in de Rotterdamse haven voor een aanzienlijk ruimtebeslag zorgt. Als dit ruimtegebruik in verband wordt gebracht met de gigantische hoeveelheid energie, die de geïmporteerde fossiele brandstoffen voor o.a. Nederland opleveren, valt dit ruimtebeslag relatief mee. Kortom, voor het gebruik van fossiele brandstoffen als energiebron geldt, dat het ruimtebeslag gering is. De locatiegebondenheid is echter afhankelijk van het perspectief, lokale winning versus import.

Voor fossiele brandstoffen en specifiek voor olie geldt het gebruik van biomassa als enig hernieuwbaar, organisch alternatief (Sürmen, 2002). Daarbij wordt het begrip biomassa gebruikt voor ieder plantaardig materiaal, dat na oogsten beschikbaar komt voor een veelvoud van gebruiken, zoals voeding, bouw materiaal, maar zeker ook brandstof (Balat, et al. 2007-368). In deze laatste rol heeft biomassa een heel ander ruimtelijk karakter dan de fossiele brandstoffen. Naast de directe winning van energie uit bewust geproduceerde biomassa is er ook het gebruik van biologisch afval. Zowel de primaire productie als het gebruik van het afval voor energetische motieven passeren de revue.

Voor de primaire productie van biobrandstoffen geldt, dat landbouwgewassen nodig zijn. Deze gewassen vragen om (landbouw)grond. Een andere karakteristiek van de gewassen is hun energie-inhoud. Hiermee staat in verband, dat het vervoeren van gewassen over grotere afstanden om er bijvoorbeeld biologische olie van te maken meer of minder rendabel is (Breuer en Holm-Müller, 2006). Er geldt hoe groter de energie-inhoud, des te langer de afstanden kunnen zijn. Sommige vormen van biomassa (bijvoorbeeld drijfmest en energiemais) zijn dermate energie-extensief, dat ze vanuit een efficiency oogpunt om decentrale verwerking vragen (2006-58). Dat betekent voor biobrandstoffen, dat de afhankelijkheid van een locatie samenhangt met de energie-intensiteit van de biomassa.

Voor het ruimtebeslag van energie uit biomassa geldt, dat dit aanzienlijk is. Ook wel logisch vergeleken met fossiele brandstoffen, die zowel een tijdsfactor van miljoenen jaren als een extra ruimtelijke dimensie (winning in m^3 i.p.v. productie op m^2) als voordeel hebben. Wel willen wij hier benadrukken, dat er een onderscheid gemaakt kan worden tussen het gebruik van energiegewassen en de inzet van biologisch afval om biobrandstoffen mee te maken. Onder de aanname, dat de productie van afval geen doel op zich is, is het niet logisch om het ruimtebeslag toe te rekenen aan de productie van brandstoffen uit bioafval. Kortom, als de biobrandstoffen en de fossiele brandstoffen vanuit een ruimtelijk perspectief worden vergeleken, zit het verschil met name in het aanzienlijke ruimtebeslag van energiegewassen als bron voor brandstof. Voor een volledig beeld wordt verwezen naar figuur 6.



Figuur 6 – brandstoffen, ruimtebeslag en locatiegebondenheid

Na de uitwijding over brandstoffen als energiebron en een aantal van hun ruimtelijke kenmerken, wordt hier de stap gemaakt naar het gebruik van brandstoffen in elektriciteitscentrales. Geldt voor de omzetting van brandstoffen in elektriciteit immers wel dezelfde relatie tussen ruimtebeslag en locatiegebondenheid?

Het ruimtebeslag van een met brandstoffen gestookte krachtcentrale is op zichzelf relatief beperkt. Dit wil zeggen, dat het op te wekken vermogen per oppervlakte-eenheid groot is. Hierbij is het niet meer dan logisch om ook de ruimtelijke kenmerken van de brandstoffen in ogenschouw te nemen. Het ruimtebeslag (direct en indirect) van een centrale bijvoorbeeld gestookt met steenkool is geringer dan een centrale die loopt op basis van energiegewassen.

Ten aanzien van de locatiegebondenheid van de centrales valt op, dat de afvoer van elektrische stroom nauwelijks een locatiebepalende factor is. Met andere woorden, het aanbod van de elektriciteit hoeft ruimtelijk niet noodzakelijkerwijze de vraag naar stroom te volgen. Doordat met behulp van een hoogspanningsnet relatief efficiënt lange afstanden kunnen worden overbrugd, is het dan ook niet de locatie van de vraag naar elektriciteit die een grote invloed uitoefent op de locatiekeuze van een nieuwe krachtcentrale. Bij de locatiekeuze van de centrales speelt daarentegen de aanvoer van de brandstoffen wel een rol. Voor de aanvoer van met name steenkool, maar ook aardolie, is Nederland helemaal tot sterk afhankelijk van andere landen. Steenkool komt met name uit de landen Australië, Indonesië en Zuid-Afrika. De belangrijkste herkomstlanden voor de import van aardolie in Nederland zijn Rusland, Saudi-Arabië, Noorwegen en Groot-

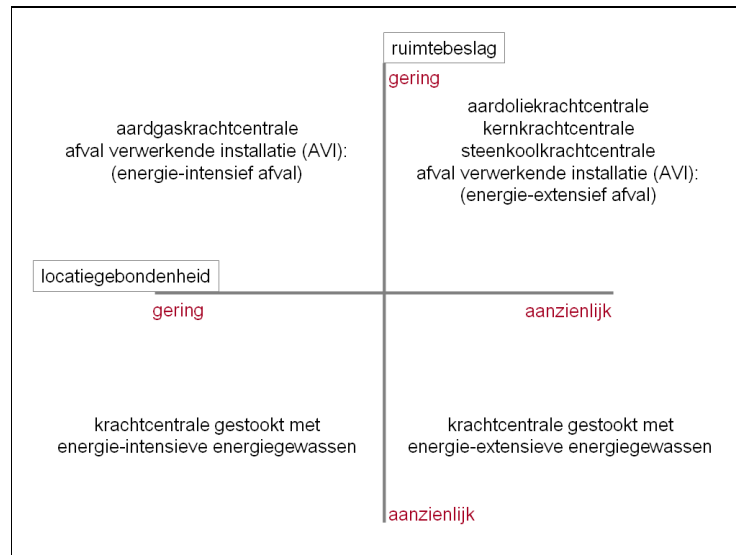
Brittannië (zie: CBS, 2007). Voor alle steenkool en ook voor de aardolie uit Saudi-Arabië geldt dat de scheepvaart de transportmodus is. Daardoor zijn voor elektriciteitscentrales, die gebruikmaken van steenkool, (zee)havens gewenste vestigingslocaties. Als bijkomend voordeel, waar later op wordt teruggekomen, telt, dat ook grote hoeveelheden koelwater beschikbaar zijn. Kortom, de (potentiële) locaties voor nieuwe kolencentrales liggen derhalve langs de kust, zoals in de Eemshaven, de Maasvlakte en het Sloegebied.

De bovenstaande redenering geldt ook voor krachtcentrales die gebruikmaken van kernenergie. Op zich gebruiken dergelijke centrales relatief weinig brandstof (uranium). De aanvoer van de grondstof is ruimtelijk gezien dan ook een kleiner probleem dan voor bijvoorbeeld kolencentrales. Voor de afvoer van de afvalwarmte is de situatie wel vergelijkbaar. Bovendien is de afvoer of de opslag van radioactief afval een probleem, dat een ruimte- maar vooral een tijdsbeslag in zich bergt. Daarom zien we ook, dat dezelfde locaties of hetzelfde type locatie beschikbaar zijn. De Eemshaven, het Sloegebied (bij de bestaande kernkrachtcentrale), de Maasvlakte zijn door het rijk aangewezen als “geschikte” locaties voor een kernkrachtcentrale. Dit rijtje kan worden aangevuld met de locaties in de Noordoostpolder langs het IJsselmeer en Moerdijk, waar ook voldoende koelwater aanwezig is. Bovendien geldt voor alle locaties, dat ze dun bevolkt zijn. Kortom, de conclusie is dat zeker op een regionale schaal de locatiegebondenheid van een kernkrachtcentrale aanzienlijk is, doch het ruimtebeslag is gering.

Tot slot verdient het gebruik van aardgas als brandstof in elektriciteitscentrales een nadere toelichting. Door de aanwezigheid van aardgas in de Nederlandse bodem, alsmede het goed ontwikkelde leidingnetwerk is aardgas bijna overal beschikbaar. De locatiegebondenheid voor dit type centrale is daardoor in Nederland op dit moment nog geringer dan voor andere type centrales. Toch past hierbij eenzelfde opmerking over het gebruik van koelwater, zoals zo-even gemaakt. Ook hierop komen we later terug. Belangrijk om te begrijpen is dat de mogelijkheid om dit type centrale “te (ver)schuiven” in de regio groter is.

Als we de genoemde manieren van centrale energieomzetting voor de productie van elektriciteit uit brandstoffen in één beeld brengen, ontstaat figuur 7. Bij de categorisering is wederom de aanname gedaan, dat het gebruik van een afvalproduct als energiebron nauwelijks extra ruimte vraagt voor de productie. Een vergelijking met het voorgaande figuur 6 leert, dat het grootste verschil zit in het gebruik van aardgas versus kolen of olie in elektriciteitscentrales. De verklaring hiervoor zit hoofdzakelijk in de

aanwezigheid van goed ontwikkelde infrastructuur in combinatie met eigenschappen van de bron. Kortom, ruimtelijke functionele kenmerken van een gebied kunnen samenvallen met energetische kenmerken bij de centrale productie van elektriciteit in een regio.



Figuur 7 – brandstoffen en krachtcentrales, ruimtebeslag en locatiegebondenheid

Nu de producerende energieregio vanuit het perspectief van brandstof is benaderd kan de stap worden gezet naar de andere dragers van energie te beginnen met warmte.

4.2.2 Warmte

Warmte heeft naast de productie met behulp van brandstoffen, waarvoor de zo-even getoonde figuur ook van toepassing is, ook directe bronnen. Warmte kan, zoals in hoofdstuk 1 al is getoond, komen uit drie oerbronnen. Deze bronnen zijn de zon, de (diepe) ondergrond en omgevingswarmte. Tot deze laatste bron worden ook restwarmte en afvalwarmte gerekend. In tabel 1 is de toepassing van warmtepompen bij zeewater een voorbeeld om omgevingswarmte direct te winnen. Restwarmte komt vrij bij de inzet van zogenaamde warmtekrachtkoppeling. Naast elektriciteit (meestal het hoofdproduct) komt er ook gewenste warmte vrij, die gebruikt kan worden. Tot slot wordt warmte, die onbedoeld vrijkomt bij de verbranding van brandstoffen, afvalwarmte genoemd. Niet zelden wordt deze afvalwarmte weggekoeld en daarmee eigenlijk verspild (Van Eck, 2007). In deze subparagraaf confronteren we de drie directe warmtebronnen met dezelfde ruimtelijke bril, als zojuist gebruikt bij de uiteenzetting over brandstoffen.

Voor omgevingswarmte kan eigenlijk al uit het woordgebruik worden afgeleid, dat er sprake is van een locatiegebondenheid. Hierbij kan er een ruimtelijk relevant onderscheid worden aangebracht tussen de inzet van warmtepompen enerzijds en het gebruik van rest- of afvalwarmte anderzijds. Met name rest- en afvalwarmte hangen qua locatie direct samen met (meestal) de grootschalige verbranding van brandstoffen. Evenwel behoren ook tuinbouwkassen, die op hun beurt weer gebruikmaken van het verwarmingsduo zon en brandstof, tot mogelijke toeleveranciers van warmte. In beide situaties is de locatie van de warmtebron verbonden met een andere ruimtelijke functie, terwijl het ruimtebeslag gering is. Het is immers een rest- of afvalproduct in een productieproces waarin ook of hoofdzakelijk andere producten worden nagestreefd. Daarmee is de restwarmte verbonden met de locatie, waarop deze andere producten en goederen, waaronder elektriciteit, gemaakt worden.

Dit staat in contrast met de genoemde inzet van warmtepompen. Deze warmtepompen gebruiken elektriciteit en omgevingswarmte om voor iedere energie-eenheid aan elektriciteit meer energie-eenheden aan warmte te produceren. Het rendement is hier primair een technische eigenschap van de warmtepomp. Mede daaruit volgt, dat de inzet van warmtepompen in geringe mate locatiegebonden is. Kortom, de locatiegebondenheid van omgevingswarmte hangt samen met de vorm, waarin deze aanwezig is. Ook de conversietechniek kan een rol spelen. Voor iedere vorm geldt min of meer geldt, dat het ruimtebeslag beperkt is.

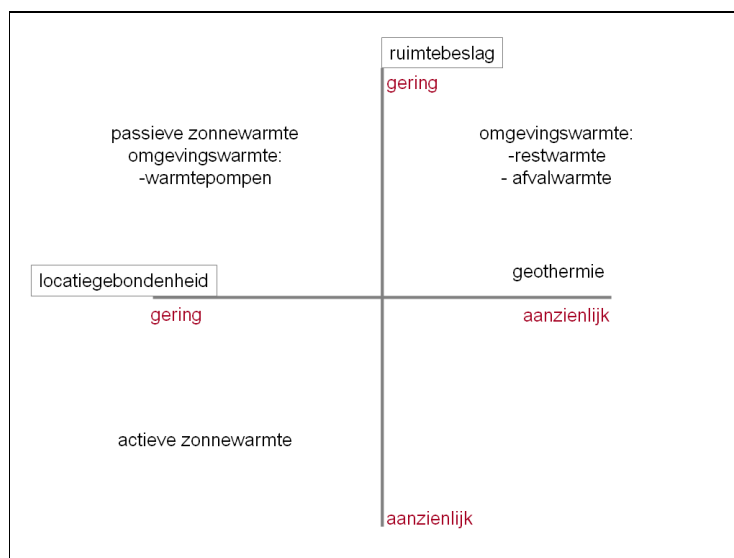
Warmte uit de diepe ondergrond vereist daarentegen wel ruimte. Ofschoon het ruimtebeslag voor de bovengrondse installaties niet bijzonder groot is, gaat geothermie als warmtebron gepaard met een soms onzichtbaar ruimtebeslag. In tegenstelling tot bij rest- of afvalwarmte is er een installatie nodig om de warmte zelf te winnen (lees: water op te pompen en weer te infiltreren). Dit winnen kan niet worden beschouwd als een vorm van hergebruik van een rest- of afvalproduct. Bovendien kan dit oppompen van water conflicteren met andere ruimtelijke functies of belangen in de ondergrond, zoals bijvoorbeeld drinkwaterwinning of grondwaterbescherming.

Daarnaast blijkt uit onderzoek van TNO (2007), dat de mogelijkheden voor geothermie uit de (diepe) ondergrond in sterke mate locatieafhankelijk zijn. Let wel, hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de mogelijkheden voor winning van warmte uit geothermische bronnen en de mogelijkheid om de bodem te gebruiken voor warmtekoedeopslag. Ofschoon ook voor warmtekoedeopslag sprake is van enige mate van locatiegebondenheid, is deze volgens hetzelfde onderzoek duidelijk geringer dan

voor het gebruik van (diepe) geothermie voor verwarming of bij hoge temperaturen zelfs elektriciteit. Dit komt doordat voor warmtekoudeopslag de isolerende en scheidende werking van de ondergrond voldoende is, terwijl voor het gebruik van geothermie voor verwarming er echte hotspots nodig zijn.

Tot slot is er de warmte van de zon. Hierbij wordt vaak een onderscheid gemaakt tussen het actief en passief gebruik van zonnewarmte. Bij de laatste vorm wordt bedoeld op het zo construeren van een gebouw met behulp van bijvoorbeeld veel beglazing aan de juiste zijde van het huis (afhankelijk van het doel), dat het huis vanzelf wordt opgewarmd of koeler blijft. Op een iets hoger schaalniveau bij de inrichting van wijken wijzen bijvoorbeeld Hens en Janssens (2005-140) ook op een aantal mogelijkheden. Kansen liggen er zowel bij het verkavelen als het plaatsen van bijvoorbeeld bomen, die kunnen functioneren als een soort wind- of zonnescherm. Op een regionaal schaalniveau heeft dit geen gevolgen op het ruimtebeslag. Op gebouwniveau stelt passieve zonnewarmte wel eisen aan de constructie en heeft het ook een effect op de interne ruimtelijke inrichting.

Voor het gebruik van actieve zonnewarmte geldt vanuit het perspectief van locatiegebondenheid dat er in Nederland weinig verschil is tussen verschillende locaties qua rendement. De stand van de zon ten opzichte van de aardas en het aantal uren zon verschillen niet in zulke mate, dat ze als verklarende variabelen de productie van warmte substantieel beïnvloeden. Reeds hier kan als een terzijde worden opgemerkt, dat deze geringe locatiegebondenheid ook geldt voor zonnecellen, die stroom kunnen leveren (SenterNovem, 2007). Voor de winning van actieve zonnewarmte zijn zonnecollectoren nodig. Op een hoger schaalniveau zijn er hierbij wel degelijk verschillen. Een zonnecollector in de Sahara heeft een hogere energieopbrengst, dan dezelfde collector in Nederland. Tot slot, het ruimtegebruik van zonnecellen en -collectoren blijft meestal beperkt tot het extra benutten van dakoppervlak. Wel is er enige ruimte nodig als de schittering als gevolg van reflecties van zonlicht wordt meegenomen (Gordijn, 2003). Relatief is het ruimtegebruik van actieve zonnewarmte dus groter dan van passieve. Daarmee ontstaat als we de locatiegebondenheid en het ruimtebeslag van alle directe warmtebronnen schematisch weergeven figuur 8.



Figuur 8 – warmte, ruimtebeslag en locatiegebondenheid

4.2.3 Elektriciteit

Naast brandstof (vast, vloeibaar of gasvormig) en warmte is er ook elektrische stroom als energiedragende vorm. Zo-even is terloops al ingegaan op de ruimtelijke effecten van zonnecellen, die elektriciteit kunnen produceren. Naast deze vorm van elektriciteitsproductie en de productie door de reeds besproken krachtcentrales wordt hier een tweetal andere bronnen of productievormen besproken. Dit zijn osmose en beweging.

Osmose, ook wel blauwe energie genoemd, ontstaat onder andere uit het verschil in potentiaal tussen zoet en zout water. Hierbij zijn zowel de concentratieverschillen in zoutgehalte als de hoeveelheden water twee belangrijke factoren die de hoeveelheid te winnen stroom bepalen. Daaruit valt ook af te leiden, dat de locatiegebondenheid van deze energiebron aanzienlijk is. Ofschoon er op dit moment nog geen commercieel werkende osmosecentrales bekend zijn, tonen plannen van Redstack (Wetsus, 2007) voor een osmosecentrale in de spuilsuizen van de Afsluitdijk, dat een dergelijke centrale relatief weinig ruimte nodig heeft en dat er aanzienlijke vermogens te realiseren zijn. Voor een centrale in de afsluitdijk berekende Ecofys (2007), dat een vermogen van 550 MW tot de mogelijkheden behoort. Bovendien is een osmosecentrale waarschijnlijk ook goed te combineren met andere ruimtelijke functies, zoals een brug, dijk of gemaal. Dit laatste is extra interessant, omdat gemalen op dit moment aanzienlijke energiegebruikers zijn. Toch blijkt uit wederom een berekening van Ecofys, dat voor het grootste gemaal van Nederland, dat zoetwater naar zee pompt in IJmuiden, geen 10 MW

aan energie nodig is, maar dat door gebruik te maken van blauwe energie er een productiepunt van 80 MW kan ontstaan. Kortom, osmose – ofschoon voorlopig redelijk prijzig – kan als een optie genoemd worden op elektriciteit te produceren, die wel locatiegebonden is, maar relatief weinig ruimte nodig heeft.

Naast zonne-energie en osmose wordt elektriciteit dikwijls gewonnen uit beweging of fysieke arbeid. Het leveren van deze fysieke arbeid als vorm van energie hangt nauw samen met op aarde aanwezige vormen van beweging, zoals water- of luchtstromen. Het zijn de zon en de aantrekkingskracht tussen de maan en de aarde en de zwaartekracht op aarde, die zorgen voor wind- en waterstromen in verschillende vormen. Naast water, dat in rivieren stroomafwaarts beweegt, zijn er golfslag, zeestromingen en getijden, waarbij bewegend water kan worden ingezet om fysieke arbeid te leveren en op zijn beurt om elektrische stroom te produceren. Hier worden windkracht, waterkracht, golfslag, zeestroming, en getijdenwerking kort nader beschouwd, wederom aan de hand van de begrippen locatiegebondenheid en ruimtebeslag. Gestart wordt met een analyse van windmolens.

Voor het gebruik van windenergie gelden de hoeveelheid wind en de gemiddelde windkracht als factoren, die de opbrengst van een windmolen bepalen (SenterNovem, 2007). Daardoor is niet iedere locatie vanuit een rendementsperspectief even geschikt voor een windmolen. Plekken op zee of langs de kust met veel wind zijn daardoor vanuit een rendementsperspectief beter geschikt voor het lokaliseren van windmolens. Aan de andere kant is het vanuit de vraag naar elektriciteit redenerend op iedere plek in Nederland mogelijk om gebruikmakend van windmolens op gezette tijden stroom op te wekken. Dus, de locatiegebondenheid van windmolens is niet gering, doch ook niet aanzienlijk. Een vergelijkbaar beeld ontstaat van het ruimtebeslag. Een windmolen vereist weinig direct grondoppervlak voor de voet van de molen. Daarentegen zijn de bebouwingsvrije zone, omwille van veiligheid en de effecten van slagschaduw, geluid en inbreuk in het landschap voorbeelden van een (in)direct ruimtebeslag (Gordijn, 2003). Deze laatste vormen van ruimtebeslag hangen samen met de hoogte en het formaat van de windmolen. Om hetzelfde vermogen op te leveren is op locaties met minder wind een grotere en hogere windmolen nodig. Zo door redenerend is het ruimtebeslag dus mede afhankelijk van de locatie. Daarmee heeft ook het ruimtebeslag, evenals de locatiegebondenheid, een karakter, dat op voorhand noch gering, noch aanzienlijk kan worden genoemd.

Hoe ziet dit beeld er nu uit voor watermolens of –turbines? In tegenstelling tot windenergie is niet iedere locatie geschikt om waterkracht te gebruiken als bron voor elektriciteit. Primair is waterkracht op twee manieren te gebruiken. Enerzijds bestaan er stuwmeren. Om waterturbines aan te drijven vereist dit wel dat er reliëf aanwezig is. Anderzijds kennen we watermolens, die in stromende beken en rivieren staan. De hoeveelheid stromend water samen met het hoogteverschil zijn de twee bepalende factoren voor het vermogen van een watermolen (ESHA, 2004). Daaruit volgt ook dat er voor beide vormen van waterkracht, die overigens ook te combineren zijn, een aanzienlijke locatiegebondenheid geldt. Het ruimtebeslag daarentegen van waterkracht levert een meer divers beeld op. In stromende rivieren en beken zonder kunstmatig stuwmeer is het ruimtebeslag gering vergeleken met een waterkrachtcentrale met een dergelijk stuwmeer.

Ten aanzien van de overige bronnen, golfslag, zeestromingen en getijdenwerking (zee-energie) is het evident, dat hiervoor ook geldt, dat er een aanzienlijke mate van locatiegebondenheid is. Alleen langs de kust of in zee liggen er immers kansen voor de toepassing van deze bronnen. Bovendien geldt ook dat golfslag, zeestromingen en getijdenwerking zeker niet overal in omvang gelijk zijn (Blatter, 2006). Ten aanzien van het ruimtebeslag kan worden opgemerkt, dat de bijbehorende installaties om ruimte vragen op zee. Ofschoon er ook op zee met name vlakbij de kust verschillende ruimteclaims zijn, lijkt ruimte niet het grootste probleem voor de implementatie van zee-energie. Derhalve worden de bronnen hier (voorlopig) gecategoriseerd als een gering ruimtebeslag.

Afrondend kan gesteld worden, dat hiermee een aantal verschillende mogelijkheden om elektriciteit op te wekken is verkend met de bijbehorende effecten op locatiegebondenheid en ruimtebeslag. Als de mogelijkheden voor de productie van elektrische stroom in een schema worden geplaatst, geeft figuur 9 schematisch de uitkomst weer.



Figuur 9 – elektriciteit, ruimtebeslag en locatiegebondenheid

Kortom...

Nu energieproductie vanuit de drie energiedragers brandstoffen, warmte en elektriciteit is geanalyseerd kan een totaalbeeld worden gegeven van de locatiegebondenheid en het ruimtebeslag van energiebronnen. Als de getoonde figuren met elkaar worden vergeleken valt op, dat de bronnen voor brandstoffen, warmte en elektriciteit een divers beeld laten zien ten aanzien van ruimtebeslag en de locatiegebondenheid. Wel is duidelijk, dat de hernieuwbare bronnen meer dan de traditioneel gebruikte brandstoffen locatiegebonden zijn. Bovendien is van een aantal hernieuwbare bronnen het ruimtebeslag aanzienlijk. Dit onderbouwt de eerder genoemde stelling, dat de ruimtelijke dimensie van een duurzaam energiesysteem zal toenemen. Daarnaast leidt het beeld dat hernieuwbare bronnen een groter (of tenminste ander) ruimtebeslag hebben tot de conclusie, dat de afweging van deze nieuwe ruimteclaims een nieuw onderdeel zal gaan uitmaken van de ruimtelijke planning. Tot slot tonen de verschillen tussen de figuren, dat het onderscheid tussen de energiedragers in een ruimtelijke analyse van de energieproductie niet kan worden genegeerd.

4.3 Trends en ontwikkelingen in energie en ruimte

In voorgaande hoofdstukken en paragrafen is reeds beargumenteerd, dat het interessant kan zijn om met een ruimtelijke bril op naar onze energievoorziening te kijken. Dit is zeker interessant als een meer duurzaam energiesysteem wordt beoogd.

Op weg naar een dergelijk systeem, zoals een energieneutrale stad of regio, is gezien, dat de ruimtelijke structuur van een gebied diverse invloeden kan hebben. Invloeden, die zowel de productie, de consumptie en het eventuele hergebruik van energie kunnen betreffen. Sterker nog, de ruimtelijke functionele structuur van een gebied kan argumenten leveren om de energievoorziening anders in te richten. Evenals het omgekeerde ook kan gelden. Om dit te begrijpen en in de toekomst tot inzet van beleid te kunnen maken, is het nuttig om naar de ontwikkelingen in zowel de energetische als ruimtelijke wereld te kijken. Er lijkt immers veel te veranderen in het energielandschap.

Veranderingen, transities, overgangen, een set woorden die de revue passeert in een bijna dagelijkse stroom artikelen met zorgen over onze toekomstige energievoorziening. Het moet anders, stellen velen. Het gaat anders, stellen sommigen. Als we binnen een dergelijk kader willen werken aan het exergetisch inrichten van regio's, is het zinvol om eens kritisch te kijken naar deze veranderingen. Zijn er wel grote veranderingen en wat kan dat eventueel betekenen voor het gebruik van het exergieprincipe bij het inrichten van een regio? Zeker zinvol als we beseffen, dat het inrichten van de ruimte om ons heen een langdurige uitwerking heeft. Ook belangrijk als we praten over de zoektocht naar algemeen geldende inrichtingprincipes, die ook over 30 jaar nog hun werking hebben. Kortom, onze ruime tijdshorizon inzake het exergetisch inrichten van regio's geeft reden om meer fundamenteel naar (zogenaamde) veranderingen in ons energiesysteem te kijken. Ruimtelijke veranderingen worden daarna eveneens in het vizier genomen.

In een poging om zowel energetische als ruimtelijke veranderingen in een perspectief te plaatsen, ontkomen we er niet aan om terug te kijken in het verleden. Van daaruit kan vervolgens de stap worden gezet naar het beschrijven van trends en ontwikkelingen. Deze kunnen op hun beurt mogelijk uitmonden in structurele veranderingen. Eventueel kunnen ze zelfs een serieuze transitie betekenen, bijvoorbeeld naar een duurzaam energiesysteem. Eerst komt in vogelvlucht energie aan bod, daarna staan we stil bij een aantal ruimtelijke ontwikkelingen. Om vervolgens de vertaling te maken naar vier energie-ruimte scenario's.

4.3.1 Trends, ontwikkelingen, veranderingen in de energiewereld

In de loop van de tijd is het energiesysteem op aarde onderhevig geweest aan de grillen van de mens. Met andere woorden het menselijk gebruik van energie is onderhevig aan evolutie. Hiervan stelt Smil (2005-4), dat bijna alle technische en beheerstechnische ontwikkelingen van voor de 20^e eeuw meer geleidelijke processen waren, dan plotselinge doorbraken. Als voorbeelden worden genoemd, de domesticatie van grote lastdieren, de bouw en langzame verspreiding van wind- en watermolens, maar ook de uitvinding van de stoommachine. De transitie van hernieuwbare bronnen naar fossiele brandstoffen begon dan ook langzaam. Pas twee eeuwen na de introductie van de eerste machines (Newcomen) werden fossiele brandstoffen dominant. Deze dominantie geldt evenwel tot op de dag van vandaag.

Toch is ook deze voortdurende dominatie van fossiele brandstoffen gepaard gegaan met tussentijdse ontwikkelingen. In het begin van de twintigste eeuw was de bijdrage van kolen aan het totale primaire energie aanbod overheersend met ruim 95% (VN, 1956). In 1962 was het aandeel al teruggelopen naar minder dan 50%. Een toenemende rol was weggelegd voor eerst aardolie en later aardgas. Nog steeds zijn evenwel drie afnemers goed voor een aanzienlijke vraag naar (steen)kool. Voor de cokesproductie (staalfabrieken), de cementindustrie, maar ook voor de elektriciteitsproductie is (steen)kool op dit moment nog onmisbaar. Sterker nog de opkomende markten, China en India, zetten onder andere in op steenkool. Toch geldt, dat de bouw van gloednieuwe kolengestookte elektriciteitscentrale in Nederland aantoont, dat de rol van kolen ook in onze energievoorziening nog lang niet is uitgespeeld.

Zo-even is terloops al de opkomst van aardolie en aardgas genoemd. Op wereldschaal kan dit misschien hooguit een ontwikkeling in het fossiele tijdperk worden genoemd. Daarentegen staat het ook symbool voor de energietransitie, die binnen zes jaar in Nederland plaatsvond. Binnen dit zeer korte tijdsbestek (in 1959 werd het aardgasveld in Slochteren ontdekt) vond een transitie plaats van een op kolen gebaseerde energievoorziening naar de huidige situatie met olie en aardgas als meest belangrijke energiebronnen (Rotmans, et al. 2001). Deze verandering had grote gevolgen voor zowel de winning van grondstoffen, conversietechnieken en zelfs beleid en sociale verhoudingen (2001-6). De economische herstructurering van Zuid-Limburg, als voormalig mijnbouwgebied, is onder de noemer van grijs naar groen

eigenlijk nog steeds aan de gang. Dit voorbeeld illustreert, dat er wel degelijk grote veranderingen mogelijk zijn geweest. Veranderingen in de energiewereld, die ook hun uitwerking hebben gehad op de ruimtelijke ontwikkeling van Nederland. Hierop komen we later terug, eerst willen we nog een tweetal belangrijke ontwikkelingen noemen in de wereld van de energieproductie.

De eerste van deze ontwikkelingen is de opkomst van kernenergie. Een energiebron, wiens opkomst nauw samen hangt met de Tweede Wereldoorlog. De atoombom en later de eerste nucleair aangedreven onderzeeër waren de voorbode van de eerste grootschalige kerncentrale in 1956, het Britse Calder Hall (Atkins, 2000). Zeker in de periode rondom de oliecrises (olie had steenkool vervangen als meest voorname energiebron) stonden alle seinen op groen voor de ontwikkeling van kernenergie. Later, in de jaren tachtig, stokte deze ontwikkeling door een lagere elektriciteitsvraag, toenemende kosten bij de bouw en ook de zorgen omtrent de veiligheid. Al voor de Tweede Wereldoorlog waarschuwde Enrico Fermi, dat het publiek een systeem, dat radioactief afval produceert dat in handen van terroristen kan vallen, wel eens niet zou kunnen accepteren (Weinberg, 1994). Toch levert kernenergie vanaf 1986 tot vandaag redelijk constant 16% van alle wereldwijd geproduceerde elektriciteit (IAEA, 2008). En ook vandaag de dag is geen eenduidige toekomst te schetsen voor de rol van kernenergie. Waar Duitsland en België besloten tot een “Atomausstieg”, kiezen Finland, Frankrijk en Groot-Brittannië bewust voor de bouw van nieuwe kerncentrales. Kortom, kernenergie is een mooi voorbeeld van een energiebron, die getriggerd werd door externe factoren, zoals de Tweede Wereldoorlog. Echter wiens toekomst door één klap in Tsjernobyl in sterke mate onzeker werd. Hoe een eventuele terroristische aanslag in dit perspectief zal uitwerken is eveneens ongewis.

De laatste ontwikkeling is de wederopstanding van zogenaamde hernieuwbare energiebronnen. Eigenlijk bedoelen we dan het opnieuw gebruiken van de energie, die de zon, de aarde en de maan ons direct geven. Immers het gebruik van biomassa, waterkracht, zonne- en windenergie is helemaal niet nieuw. Wel nieuw is, dat de afweging tussen de voordelen van onze huidige energieintensieve manier van leven en de nadelen van het gebruik van fossiele brandstoffen (soms) anders uitvalt. Hoewel zelden de manier van leven wordt bediscussieerd, zijn de uitputting van de aarde, het (dreigende) opraken van fossiele

brandstoffen, vervuiling als gevolg van gebruik, maar ook de uitstoot van broeikasgassen nadelen, die we steeds belangrijker (zijn) gaan vinden. Op weg naar een meer duurzaam energiesysteem is de roep om meer gebruik te maken van hernieuwbare bronnen dan ook luid. Zonnepanelen, zonnecollectoren, windturbines, getijdencentrales, osmoseplants, stuwmeren, biomassa, geothermie het maakt niet uit, zolang het maar onbegrensde, hernieuwbare energie levert. Toch is hun totale bijdrage aan de energievoorziening in Nederland in 2009 4%, in 2006 nog slechts 2,8%, in 2004 zelfs nog maar 1,8% (CBS, 2007). Kortom, hernieuwbare bronnen staan sterk in de belangstelling, ontwikkelen snel en vormen zeker een onderdeel van onze toekomstige energievoorziening.

Daarmee is eigenlijk een totaalbeeld geschetst van de ontwikkeling van energiebronnen tijdens de laatste honderd jaar. Bovendien is aangegeven, dat ontwikkeling in de energiewereld meestal niet zo snel gaat, als soms gedacht of gehoopt wordt. Het kan wel, maar gebeurt niet vaak. Voorlopig is verder het fossiele tijdperk nog niet ten einde, maar hoe dit gaat uitzien is verre van zeker. Om dit standpunt verder te illustreren, gebruiken we letterlijk de woorden van Smil (2005-181) over de toekomst van fossiele brandstoffen. "...The highly dynamic nature of the exploitation process means that although the fossil-fueled civilization is energized by the recovery of finite, nonrenewable resources it is dubious to offer any fixed date for the end of this critical dependence based on specific exhaustion scenarios." Wel is de groeiende rol van hernieuwbare bronnen evident.

Voor de energievoorziening is niet alleen de energieproductie relevant, maar ook de energieverdeling en energiedragers. Tot slot is voor het hele energiesysteem ook de ontwikkeling van de energiebehoefte en energieconsumptie van belang. Deze laatste zullen we (kort) aan bod laten komen bij de bespiegeling over de ruimtelijke trends. Bij de energieverdeling en de energiedragers zullen we tot slot van deze paragraaf nog wel stilstaan, omdat hier waarschijnlijk een belangrijke sleutel ligt voor het exergetisch inrichten van de regio.

Evenals voor de productie van energie geldt ook voor de energieverdeling en – dragers een belangrijk onderscheid tussen de periode vóór de twintigste eeuw en de periode erna. Er vóór, werden energiebronnen in hoofdzakelijk vaste of eventueel vloeibare vorm naar de plek van gebruik gebracht. Denk hierbij aan het kappen en verslepen van min of meer het volledige Europese oerbos. Ook turf, steenkool en

aardolie zijn voorbeelden van dergelijke vaste of vloeibare energiedragers. Soms werden deze bronnen gebruikt om er gas voor de gasverlichting mee te maken in bijvoorbeeld gasfabrieken. Toch duurt het tot in de twintigste eeuw, voordat het gas(net) ook op grote schaal zelf als een energiedrager gaat gelden. Daarvoor golden naast de brandstoffen, enkel menselijke en dierlijke spierkracht en het indirect opvangen van zonne-energie in de vorm van water en windstromen als mogelijke conversietechnieken (Smil, 2005-31).

De introductie van elektriciteit als nieuwe energiedrager kende echter zijn weerga niet. Het is als drager van energie zeer betrouwbaar en flexibel. De bijbehorende ontwikkeling van hoogspanningsleidingen (zowel gelijkstroom als wisselstroom) leidde uiteindelijk tot het vrijwel volledig footloose worden van ons elektriciteitsverbruik. Een tekort aan stroom in Nederland kan simpelweg worden opgevangen door import uit Noorwegen, Frankrijk of Duitsland. Voor de bouw van extra capaciteit ten behoeve van een gestegen vraag, komt de Eemshaven net zo goed in aanmerking als de Tweede Maasvlakte. 250 kilometer is voor elektriciteit immers geen afstand. Ook in eerder onderzoek hebben we reeds aangegeven, dat de locatie van de vraag naar elektriciteit een geringe invloed uitoefent op de locatiekeuze van nieuwe traditionele elektriciteitscentrales (SREX, 2007). Evenwel is toen ook onderbouwd, dat voor de productie van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen een grotere locatiegebondenheid geldt. Echter generiek geldt, dat het transport van elektriciteit over afstanden een relatief klein issue is.

De laatste, in gebruik zijnde energiedrager is warmte. Dat we met warmte huizen kunnen verwarmen is een bijna overdreven opmerking. Toch kan met warmte meer. Afhankelijk van de exergetische kwaliteit, de temperatuur, kan met warmte meer of minder arbeid worden verricht. Bij hoge temperaturen is zelfs de productie van elektriciteit een optie. Het verschil tussen warmte en elektriciteit als energiedrager is dat warmte niet zo makkelijk over grote afstanden te vervoeren is. Hoe langer de afstand, des te groter het temperatuurverlies, des te lager de kwaliteit van de warmte is. Daarmee is de relevantie van ruimtelijke inrichting bij de energiedrager warmte duidelijk hoger dan bij elektriciteit.

Derhalve is niet alleen de ontwikkeling tussen de verschillende energiedragers relevant (mogelijk wordt waterstof een nieuwe), maar ook de productievormen van elektriciteit en warmte. Het gebruik van fossiele brandstoffen (inclusief uranium of

thorium) voor de productie van elektriciteit gaat immers gepaard met het vrijkomen van warmte. Daarentegen produceert een aantal hernieuwbare bronnen bijvoorbeeld elektriciteit zonder warmte, zoals windturbines en waterkrachtcentrales. Kortom, verschillende, mogelijke ontwikkelingen hierin kunnen ook andere uitkomsten opleveren voor het exergetisch inrichten van regio's. Voordat we hierop verder ingaan staan we eerst stil bij ruimtelijke ontwikkelingen.

4.3.2 Trends, ontwikkelingen, veranderingen in de ruimtelijke wereld

Zoals al in de inleiding is aangegeven kan het energiesysteem een uitwerking hebben op de ruimtelijke inrichting van gebieden, maar het omgekeerde is ook genoemd. De invloed van de (ruimtelijke) ontwikkeling van een gebied op de energievoorziening wordt verdeeld in tweeën. Enerzijds bepaalt de ontwikkeling van ruimtelijke functies in een gebied de behoefte naar energie, die in het gebied aanwezig is. Anderzijds kan de ruimtelijke functionele structuur van een gebied ook een uitwerking hebben op de manier, waarop in deze behoefte wordt voorzien. Omdat beide van belang zijn voor een energiesysteem zullen we de ontwikkeling van zowel ruimtelijke functies in een gebied, als de ruimtelijke inrichting van een gebied in een perspectief plaatsen.

Dat de inrichting van Nederland verandert, dat is helder. Het Nederland van nu is anders dan dat van 10, 20, of 100 jaar geleden. Toch doen we min of meer nog steeds hetzelfde, we wonen, werken, leren, verplaatsen en we recreëren. Anders is, dat er enerzijds veel meer mensen zijn, die om plek vragen voor hun activiteiten en anderzijds, dat de activiteiten veranderen en in aantal toenemen. Vandaar uit ontstaan ruimteclaims. Tegelijkertijd is het besef aanwezig, dat de ruimte waarin wij leven een schaars goed is. Het afwegen van deze ruimteclaims, een belangrijke taak van de ruimtelijke planning, mag daarom een maatschappelijk zinvolle bezigheid worden genoemd (Voogd, 2004-25). Voogd wijst er ook op, dat het duidelijk is, dat een regio op termijn door het anders inrichten een andere, soms versteende identiteit kan krijgen.

Als verklaring voor de toename van het ruimteconsumptie geldt niet enkel de groei van de bevolking, maar ook de toename van de ruimtebehoefte per persoon. In een eeuw is het gemiddeld woonoppervlak per inwoner meer dan verviervoudigd (Voogd, 2004-25). Tel daar de verdrievoudiging van de bevolking (van 5 miljoen

naar 16 miljoen) bij (NIDI, 2008) en het is duidelijk, dat de ruimtelijke druk in Nederland een orde van grootte is toegenomen. Eén van de redenen voor de groei van het gemiddeld woonoppervlak zit indirect ingebakken in de toename van het energiegebruik. Conform de stelling energie is ruimte, is het logisch dat een hoger energiegebruik gepaard gaat met een roep om ruimte (Gordijn, 2003). Kortom, er zijn en waren krachten te over om de inrichting van Nederland bepalend te beïnvloeden.

Zo heeft het ontstaan van nieuwe ruimteclaims een effect op Nederland. Grote ruimtelijke opgaven inzake de volkshuisvesting bijvoorbeeld, missen hun uitwerking op de ruimtelijke inrichting van Nederland zeker niet. Diverse oplossingen zijn in het landschap te herkennen variërend van gebundelde deconcentratie, tot volledig nieuwe (compacte) steden en Vinex-wijken. Daarmee noemen we een tweede aspect van de inrichting van Nederland. Ook de manier, waarop wordt omgegaan met de ruimtelijke ordening, bepaalt, hoe een land kan gaan uitzien. Daarmee bedoelen we eigenlijk, dat ook de wijze waarop de ruimteclaims worden afgewogen de ruimtelijke inrichting beïnvloedt.

De afweging van ruimteclaims is onderhevig aan (beleidsmatige) dynamiek. Zo wordt in de nationale ruimtelijke nota's over de ruimtelijke ordening niet steeds hetzelfde gedacht over hoe de groeiende behoefte aan woningen aan te pakken. Afhankelijk van de nadruk op facetten als verkeer en vervoer, defensie, landbouw, milieu, water, natuur, recreatie, volkshuisvesting kunnen ruimtelijke afwegingen anders uitvallen. Afwegingen in de ruimtelijke ordening betreffen immers vaak vraagstukken, waarin tegengestelde belangen tegen elkaar moeten worden afgewogen. De waardering van het resultaat van de afweging is daarbij afhankelijk van het perspectief van de beoordeling (Spit en Zoete, 2003-14). In deze studie voegen we echter een nieuw facet of perspectief in deze afweging toe, energie.

Daarmee wordt een interessant punt geraakt. Ook al geldt voor het SREX-onderzoek, dat het exergieprincipe hét eerste afwegingskader is, toch spelen in de ruimtelijke praktijk andere facetten ook een rol. Daarom is het niet verstandig om bij de uitwerking van inrichtingsprincipes op basis van exergie de effecten op andere facetten niet in ogenschouw te nemen. Dit zullen wij dus wel doen. Overigens betekent dat niet, dat we andere principes medesturend laten zijn. Het betekent

slechts, dat wel verkend wordt hoe eventuele nieuwe ideeën passen binnen de traditie van de ruimtelijke discussie.

Ter afronding van deze korte verhandeling over ontwikkelingen in de ruimtelijke wereld wordt nogmaals gewezen op de tijdshorizon van 20 à 30 jaar. Het in het oog houden van meer algemene principes lijkt belangrijk, omdat de toekomst zeker onbekende verrassingen zal kennen. Slechts weinig (als al überhaupt) ruimtelijke plannen zullen in zeg 1978 rekening hebben gehouden met de inpassing van een mobiele telefoonnetwerk. Om nog maar niet te spreken over de ruimtelijke consequenties van de doorbraak van de thuis-pc, het internet en bijvoorbeeld het internetwinkelen. Terwijl het RPB rapport 'Winkelen in het internettijdperk' uit 2007 nu wel degelijk concludeert, dat de ruimtelijke gevolgen van het e-shoppen steeds duidelijker zichtbaar zullen worden. Vandaar was ook de eerdere schets over wonen, werken, leren, verplaatsen en recreëren enkel een grove. Op weg naar het exergetisch inrichten van regio's in de toekomst zullen ruimtelijke ontwikkelingen derhalve meer vanuit algemeen geldend inrichtingsprincipes worden benaderd. In de volgende paragraaf wordt gepoogd om dit in combinatie met de eerdere bespiegeling over energie neer te zetten in een eenvoudig schema. Een schema, waarin enkel ruimte is, voor echt fundamentele onzekerheden die bij het exergetisch inrichten een plek lijken te gaan krijgen.

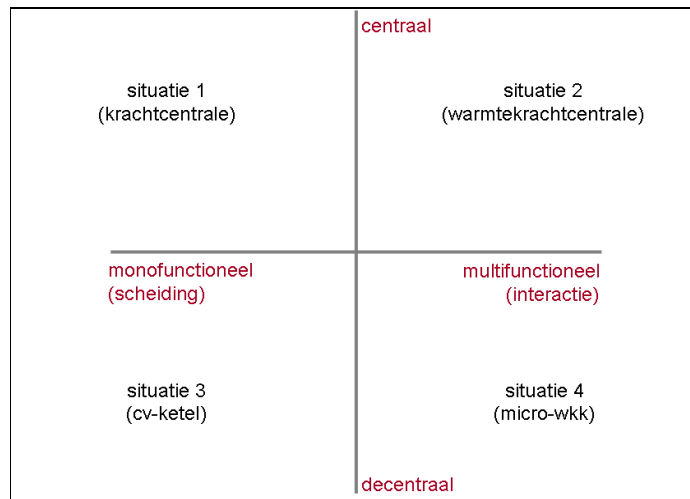
4.4 Een raamwerk van onzekerheden op weg naar geïntegreerde energielandschappen

In onze verkenning naar (zogenaamde) veranderingen in zowel het ruimtelijk systeem als het energetisch systeem is een aantal onzekerheden aan bod geweest. Samenvattend geldt voor de toekomst, dat niet zeker is welke energiebronnen wanneer en op welke schaal gebruikt zullen worden. Samen met een niet volledig bekende ontwikkeling van conversietechnieken (denkend aan brandstofcellen, waterstof, lithiumbatterijen), maakt dit ook de ontwikkeling van energiedragers extra spannend. Het verschil tussen brandstoffen, elektriciteit en warmte is vanuit een exergetisch perspectief immers groot. Want (voorlopig) enkel voor warmte en de bijbehorende automatisch afnemende kwaliteit geldt, dat afstanden en derhalve de ruimtelijke inrichting van groot belang kunnen zijn.

Het zo-even genoemde wordt hier verder geïllustreerd aan de hand van een aantal voorbeelden. Er is een duidelijk verschil tussen de inzet van de verbrandingsmotor om elektriciteit op te wekken voor een stad, of het gebruikmaken van stroom afkomstig uit waterkracht. Voor het exergetisch inrichten van de regio is het relevant, dat in de eerst genoemde situatie ook warmte vrijkomt, die enkel nuttig gebruikt kan worden als binnen een geringe afstand een warmtebehoevende functie is gelegen. Daarentegen is de combinatie van bron, conversietechniek en de energiedrager elektriciteit in het tweede voorbeeld vanuit een exergieperspectief weinig tot niet sturend voor de ruimtelijke inrichting van een gebied. Voor het verschil tussen beide situaties kunnen we gebruikmaken van de woorden mono- en multifunctioneel (of eventueel scheiding en interactie). Als enkel elektriciteit, of enkel warmte, of enkel brandstof (denk aan het tankstation) een rol speelt, kunnen we dat monofunctioneel noemen. Echter, als elektriciteit in combinatie met warmte of enig andere combinatie van belang is, kan dat multifunctioneel worden genoemd. Daarmee is een belangrijke categorisering voorgesteld, uitgelegd en voorzien van een eerste invulling.

Tegelijkertijd kan bij de combinatie van bron, conversietechniek en energiedrager op nog een belangrijk onderscheid worden gewezen. Vanzelfsprekend is een gasgestookte elektriciteitscentrale niet zondermeer te vergelijken met onze eigen cv-ketel thuis. Ook niet als deze laatste wordt vervangen door een zogenaamde micro-wkk (warmtekrachtkoppeling), die zowel warmte als elektriciteit produceert uit gas. De ene heeft een sterk centraal karakter, terwijl de andere een sterk decentraal karakter kent. Enerzijds zijn er ontwikkelingen, die op een meer centrale energievoorziening wijzen, zoals de bouw van nieuwe krachtcentrales (kolen, gas, uranium, zelfs kernfusie) maar ook windmolenparken op zee. Anderzijds is er ook een trend naar de toepassing van pv-cellen, zonnecollectoren, warmtepompen en micro-wkk's (WADE, 2008). Met andere woorden, er is zowel de ontwikkeling, dat onze energievoorziening centraal georganiseerd blijft, als ook dat lokaal steeds meer geprobeerd wordt om in de eigen behoefte te voorzien (autarkie). Voor het exergetisch inrichten van een gebied is het zeker relevant of een woning, woonwijk, ruimtelijke functie wel of niet afhankelijk is van een centrale energievoorziening. Immers het tegenovergestelde beeld van de energieautonome functie of buurt zou op een regionale schaal een andere uitwerking kunnen hebben op de ruimtelijke

inrichting van een gebied. Kortom, met het verschil tussen centraal en decentraal noemen we een belangrijke tweede categorisering. Als we beide categorisering in één figuur weergeven ontstaat de onderstaande figuur.

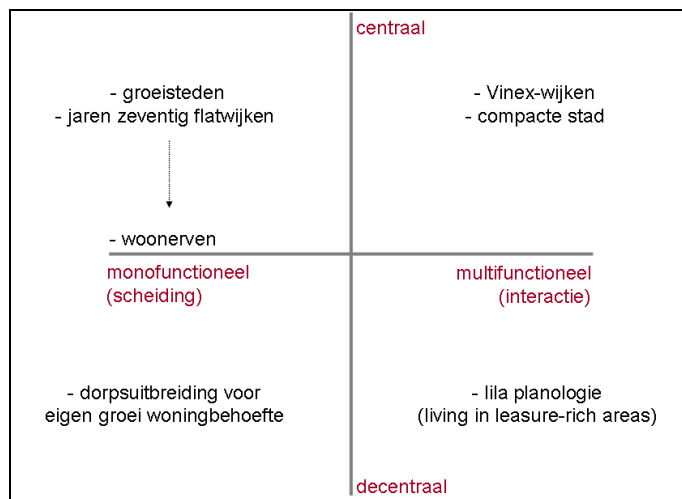


figuur 10: twee onzekerheden in één figuur

De vraag is nu of de geschetste ruimtelijke veranderingen ook binnen het kader van het bovenstaande schema kunnen worden geplaatst. Samenvattend zagen die veranderingen er in hoofdlijnen als volgt uit. Gewezen is op de ontwikkeling van ruimteclaims. Deze nemen niet alleen toe, maar veranderen ook door factoren als bevolkingsgroei, maar zeer zeker ook het toegenomen ruimtegebruik per persoon. Daarnaast is gewezen op de manier van het afwegen van dergelijke ruimteclaims. Daarbij is zowel een ontwikkeling van ruimtelijke functies in regio's waar te nemen, als ook in de ruimtelijke inrichting ervan.

Ter illustratie wordt hier een bespiegeling gegeven op de ruimtelijke ontwikkeling van de functie wonen. Ook al blijft wonen, wonen toch is het aantal mensen, dat in Nederland ergens wil wonen wel toegenomen (zowel bevolkingsgroei als gezinsverdunning). Ook het ruimer wonen is een ontwikkeling. Toch zien we, dat ten aanzien van het afwegen van woonruimteclaims en de ruimtelijke inrichting soms andere keuzes worden gemaakt (Van der Cammen en de Klerk, 2003). Bijvoorbeeld in de jaren '60 en '70 van de vorige eeuw is in Nederland op een behoorlijk centrale manier nagedacht over de vraag, waar de groei moest plaatsvinden. Groeisteden werden vanuit Den Haag aangewezen, waar soms op grote

schaal (denkend aan de typisch jaren zeventig hoogbouw) vervolgens redelijk monofunctionele woonwijken uit de grond zijn gestampt. In de jaren tachtig kan een trend worden waargenomen in het anders inrichten van woonwijken. Met verkeer en vervoer als een belangrijk afwegingskader gaat het richting zogenaamde woonerf- en spaghettiwijktoestanden. Functiescheiding blijft echter een belangrijk kenmerk. In de jaren negentig en later, bij de zogenaamde Vinex-wijken en ook het compacte stad denken zien we functiemenging meer opkomen. In andere woorden de interactie tussen functies of het multifunctionele karakter van een gebied krijgt meer nadruk. Vandaag de dag zien sommige planologen zelfs de decentrale en multifunctionele trend naar “living in leisure-rich areas” (Hermans en de Roo, 2006). Kortom, de ruimtelijke ontwikkeling van hier als voorbeeld de functie wonen kan prima worden weggezet met behulp van dezelfde categorisering als zo-even gebruikt. Dan ontstaat figuur 11.



figuur 11: ontwikkelingen in de functie wonen gecategoriseerd

Daarmee blijkt het tweetal onzekerheden (centraal/decentraal en monofunctioneel/multifunctioneel) gecombineerd tot vier werkbare categoriën te leiden. Zowel belangrijke energetische als ruimtelijke trends lijken in één figuur te plaatsen te zijn op weg naar het exergetisch inrichten van regio's. Zeker op weg naar een meer duurzaam energiesysteem verdient het exergetisch inrichten van regio's onderzoeksaandacht. Daarmee wordt iets nieuws genoemd. Er zijn nauwelijks tot geen inrichtingsprincipes of ontwerpstrategieën op basis van exergie voor een ruimtelijke inrichting van gebieden. De zoektocht naar deze algemene principes en

strategieën gecombineerd met een ruime tijdshorizon van 30 jaar maakt dat toekomstige ontwikkelingen relevant zijn. Ten minste als we willen testen of en hoe nu bedachte principes uitwerken in de toekomst, is het gebruik van toekomstbeelden een optie. Hier wordt de categorisering van zo-even doorgetrokken richting dit soort toekomstbeelden.

Het gebruik van toekomstbeelden of scenario's maakt het wel mogelijk om over de onzekere toekomst uitspraken te kunnen doen. Door een aantal als/dan aannames te doen kunnen toekomstbeelden worden gecreeërd. Het onderscheid tussen deze beelden neemt toe, als de aannames gebaseerd zijn op fundamentele onzekerheden. De genoemde verschillen tussen centraal en decentraal, maar ook monofunctioneel en multifunctioneel worden verondersteld dergelijke onzekerheden te zijn. Concreet kan daarmee een viertal als/dan situaties worden opgesteld:

1. Hoe ziet een exergetisch ingerichte regio eruit, als van een centrale energievoorziening en ligging van functies (concentratie) wordt uitgegaan met een scheiding van zowel de energiebehoeftes (of –dragers) als de ruimtelijke functies.
2. Hoe ziet een exergetisch ingerichte regio eruit, als van een centrale energievoorziening en ligging van functies (concentratie) wordt uitgegaan met een integrale benadering van de energiebehoeftes (of –dragers) en interactie tussen ruimtelijke functies.
3. Hoe ziet een exergetisch ingerichte regio eruit, als van een decentrale energievoorziening en ligging van functies (spreiding) wordt uitgegaan met een scheiding van zowel de energiebehoeftes (of –dragers) als de ruimtelijke functies.

Hoe ziet een exergetisch ingerichte regio eruit, als van een decentrale energievoorziening en ligging van functies (spreiding) wordt uitgegaan met een integrale benadering van de energiebehoeftes (of –dragers) en interactie tussen ruimtelijke functies.

Als er vandaag, dus nu, gebruik zou moeten worden gemaakt van exergie, is de meest basale optie om rest- of afvalwarmte te gaan hergebruiken. Voor de inrichting van gebieden zou dat betekenen, dat warmteproducerende en warmtevragende functies bij elkaar in de buurt worden bedacht. Zo kunnen tuinbouwkassen keurig naast de krachtcentrale. Worden woonwijken in de buurt

aangesloten op een warmtenet. En wordt ook het tropisch zwemparadijs nabij gevestigd. Daarmee ontstaat een beeld van de traditionele krachtcentrale zo ongeveer op het centrale marktplaats. Dit is weinig reëel, maar wel een interessante manier van centraal denken in energiecascades. Ook het multifunctionele karakter keert terug door zowel te denken in termen van elektriciteit en warmte, als te denken aan meer dan één functie. De eerder beschreven situatie 2 lijkt hier sterk op.

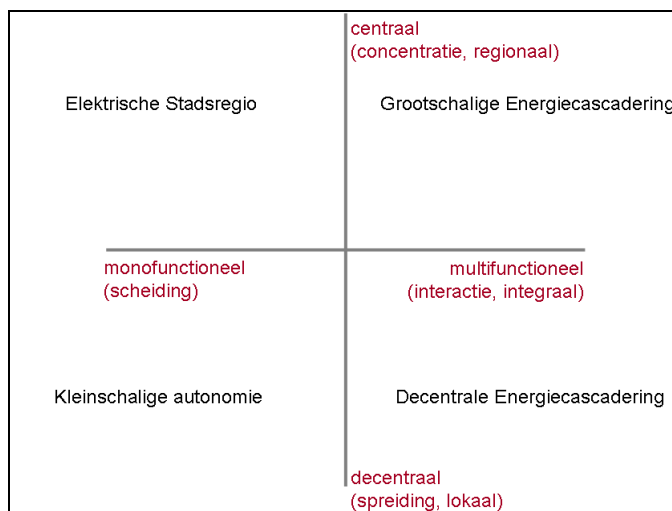
Als situatie 2 nu concreter wordt omschreven gaat het om de grootschalige toepassing van energiecascades. Hierbij zijn de netwerken (elektriciteit, warmte en gas) om de energie tussen functies uit te wisselen essentieel. Ook het integrale beeld van de gecombineerde opwekking van elektriciteit en warmte maakt onderdeel uit van dit scenario. Enkel in afgelegen gebieden zullen kleinschalige op autonomie gerichte oplossingen worden bedacht. De hoofdontwikkeling blijft dat functies daar komen te liggen, waar ze gebruik kunnen maken van elkaars restenergie. De ruimtelijke concentraties blijven dusdanig, dat openbaar vervoer, de fiets en de benenwagen opties blijven. Zowel fossiele brandstoffen als energie uit hernieuwbare bronnen, inclusief biomassa, hebben hun aandeel in de energievoorziening. De warmtekrachtkoppeling is niet uit dit beeld weg te denken. Voorlopig wordt het scenario “Grootschalige Energiecascadering” genoemd.

Daarmee in contrast staat situatie 1. Het verschil zit in de aanname, dat ruimtelijke functies meer gescheiden ontwikkelen of gescheiden blijven. Ook is er een sterkere rol weggelegd voor één bepaalde, flexibele energiedrager, zoals elektriciteit en/of eventueel later waterstof. Hierbij wordt de elektriciteit hoofdzakelijk gewonnen uit bronnen, waarbij geen warmte vrijkomt. Zoals het geval is bij de grootschalige toepassing van windenergie, waterkracht, pv-cellen en bijvoorbeeld osmose. Voor fossiele brandstoffen is geen of een kleine rol weggelegd. Ruimtelijk blijven functies wel geconcentreerd. Dat wil zeggen, dat er binnen de stad wel degelijk kansen liggen voor de uitwisseling van energiestromen. Bovendien blijven er vervoerstechnisch kansen voor openbaar vervoer, de fiets en de benenwagen. Het scenario heet voorlopig “Elektrische stadsregio”.

Het verschil tussen situatie 1 en 3 ligt in het centrale/decentrale karakter. Zowel de energievoorziening als de ruimtelijke ontwikkeling zijn minder afhankelijk van respectievelijk centrale opwekking en de centrale stad. Op lokale schaal, mogelijk zelfs gebouwniveau, wordt gewerkt aan het autonoom voorzien in de

energiebehoefte. Ook in deze situatie is er een sterkere rol weggelegd voor één bepaalde energiedrager, bijvoorbeeld elektriciteit. Eveneens wordt hierbij de elektriciteit hoofdzakelijk gewonnen uit bronnen, waarbij geen warmte vrijkomt. Voor fossiele brandstoffen is geen of een kleine rol weggelegd. Daarnaast wordt ruimtelijk uitgegaan van een (verdere) spreiding van functies. Daardoor lijkt er vervoerstechnisch primair een rol weggelegd voor meer individuele vervoerssystemen, zoals de auto. Bij de uitwisseling van energiestromen gaat het tot slot om lokale, specifieke projecten. “Kleinschalige autonomie” is de naam, waaronder dit scenario voorlopig doorgaat.

Tot slot is er situatie 4. Het scenario, waarin er zowel voor fossiele brandstoffen als energie uit hernieuwbare bronnen een toekomst ligt. Door de gezamenlijke, lokale productie van elektriciteit en warmte is energiecascadering ook hier een optie. Door het meer decentrale karakter van zowel de energievoorziening als de ruimtelijke ontwikkeling is dit wel kleinschalig. Ook hier lijkt een rol weggelegd voor meer individuele vervoerssystemen. In dit schaalniveau wordt daarnaast eveneens op lokale schaal gewerkt aan het voorzien in de eigen energiebehoefte. De uitwisseling van diverse energiestromen (elektriciteit, warmte en gas) tussen verschillende functies is een mogelijkheid. Warmtepompen, micro-wkk's en lokale biomassatoepassingen krijgen zeker een plek. En het scenario heet voorlopig “Decentrale Energiecascadering”. De vier scenario's in één figuur levert figuur 12 op.



figuur 12: vier scenario's op basis van twee onzekerheden

Kortom, op weg naar geïntegreerde energielandschappen, de derde generatie energielandschappen hebben we te maken met fundamentele onzekerheden. Op zowel wereldschaal, op nationale schaal, maar zeer zeker ook lokaal zullen er ontwikkelingen kunnen optreden, die hun uitwerking op het toekomstige energielandschap hebben. In deze studie zullen we de vier genoemde scenario's gebruiken om door middel van de vier extreme toekomstbeelden te zoeken naar robuuste concepten als steunpilaren voor ruimtelijk-exergetisch beleid. Beleid, dat gericht is op de transitie naar duurzame energielandschappen, waarbij energie en de ruimtelijke ontwikkeling op elkaar zijn afgestemd. Hierbij ligt de focus in deel B op een systematisch analyse van het materiële aspect van de duurzame energielandschappen, het fysiek-ruimtelijke. Echter, in deze planologische studie zullen we de institutionele en organisatorische component niet verwaarlozen. In met name deel C komen we bij de casestudy's terug op al deze componenten en toetsen we de concepten voor geïntegreerde energielandschappen aan de dagelijkse praktijk van planning.

Energie en ruimtelijke planning, een spannende combinatie

**Over integrale ruimtelijke conceptvorming op een regionale schaal
met exergie als basis**

Deel B

Theorie en methodologie

5 *Methodiek voor integrale energie-ruimte concepten*

5.1 Ruimtelijke concepten als instrument van planning

In deel A van deze studie is gewezen op de samenhang die kan ontstaan tussen energie en ruimte op een regionale schaal. Gezien is, dat exergieplanning niet alleen ruimtelijk zijn uitwerking kan hebben, maar zeker ook institutioneel en organisatorisch niet zonder betekenis hoeft te blijven. Geconstateerd is ook, dat een geïntegreerd energielandschap een combinatie is van generieke trends in de traditionele energiewereld van gas en elektriciteit met een gebiedsspecifieke koppeling met lokale renewables en het gebruik van restwarmte. Betoogd is, dat het gebiedsspecifieke karakter van het integrale energielandschap essentieel is, en er dus voor iedere regio een strategie en aanpak bedacht moet worden; tenminste, als het lokaal en regionaal gebruikmaken van energetische en exergetisch kansen inzet van beleid wordt. In dit theoretisch deel wordt een methodiek voorgesteld, die regionale concepten laat ontstaan op basis van gebiedsspecifieke ruimtelijke kenmerken enerzijds en meer generieke systeemtheoretische inzichten anderzijds.

Allereerst gaan we in op de rol die concepten hebben of kunnen spelen in de ruimtelijke planning. Dat is het vertrekpunt, van waaruit we de plek voor geïntegreerde (hier specifiek energie-ruimte) concepten in de planologie willen duiden. Het is al genoemd dat deze concepten op een regionale schaal immers zowel een strategisch component herbergen, als dat ze op structurele en concrete veranderingen zijn gericht in een hoog-dynamische context. Om juist in een dergelijke context van relatief grote onzekerheid toch nuttig ruimtelijk beleid op te kunnen stellen gaan we ook in op het visievormingsproces. Hoe komen we er dan achter welke concepten robuust zijn, is een vraag die nadrukkelijk van belang is.

Vooraf aan de theoretische discussie wordt gesteld dat dit deel een verband legt tussen eerder werk aan ruimtelijke concepten van Zonneveld (1991), van Duinen (2004) en Hagens (2010), strategische planning en meer generiek systeemtheorie en grafentheorie. Salingaros (2005) heeft laten zien, dat het verbinden van grafentheorie aan principes voor stedelijke structuren succesvol kan uitmonden in de ‘theory of the urban web.’ De drie generieke principes uit deze theorie zijn:

knooppunten, verbindingen en hiërarchie. Ook Derrible en Kennedy (2009) lieten zien hoe strategische planning, netwerkvorming en grafentheorie hand in hand kunnen gaan. Zonder exergieplanning te kort te willen doen, gaat het in essentie om het op een robuuste wijze, meervoudig verbinden van ruimtelijke functies op basis van energiepatronen. Met andere woorden, het zijn ruimtelijk gezien infrastructuur en netwerken, die in samenhang gezien moeten worden met de ontwikkeling van bestaande en nieuwe ruimtelijke functies in een gebied. Zonneveld (1991) laat zien, dat de ruimtelijke planning zich daar al eerder druk over heeft gemaakt, ware het veeleer op de vlakken verkeer en vervoer, water, maar ook groenstructuren. Daarom starten we met het positioneren van wat regionale concepten zouden mogen heten en de rol van ook deze concepten voor de ruimtelijke planning. Vanzelf komen we dan ook bij wat gelokaliseerde concepten, of inrichtingsprincipes (Faludi, 1996) worden genoemd en nemen we exergie als een inrichtingsprincipe voor regionale, geïntegreerde energielandschappen.

Om te begrijpen hoe we integrale concepten op een regionale schaal moeten zien, is het nuttig om in een klassieke categorisering van concepten te duiken om enig houvast te hebben. Het is immers duidelijk dat het begrip regio²⁵ een fuzzy karakter heeft en dat een specifieke regio vaak weinig eenduidig is af te grenzen. Zelfs als dat lukt, bijvoorbeeld op basis van voor discussie vatbare keuzes voor casestudiegebieden, is het vervolgens helder dat zeker voor energie, maar dat geldt ook voor allerlei ruimtelijke processen, de regio niet een gesloten systeem is. Dat maakt op zichzelf dat het verstandig is om ook de ontwikkelingen voorbij het regionale schaalniveau te bestuderen, ook al is een bepaalde regio het studiegebied. Tegelijkertijd is de regio ook altijd een samenraapsel van kleinere elementen, wat impliceert dat er ook een lager schaalniveau is. Daarom volgen we Hudalah en de Roo (2009?) in hun analyse en beschouwen de regio vooral ook als een denkmodel en beseffen dat er behalve een mesoniveau ook ontwikkelingen zijn op een macro- en microniveau.

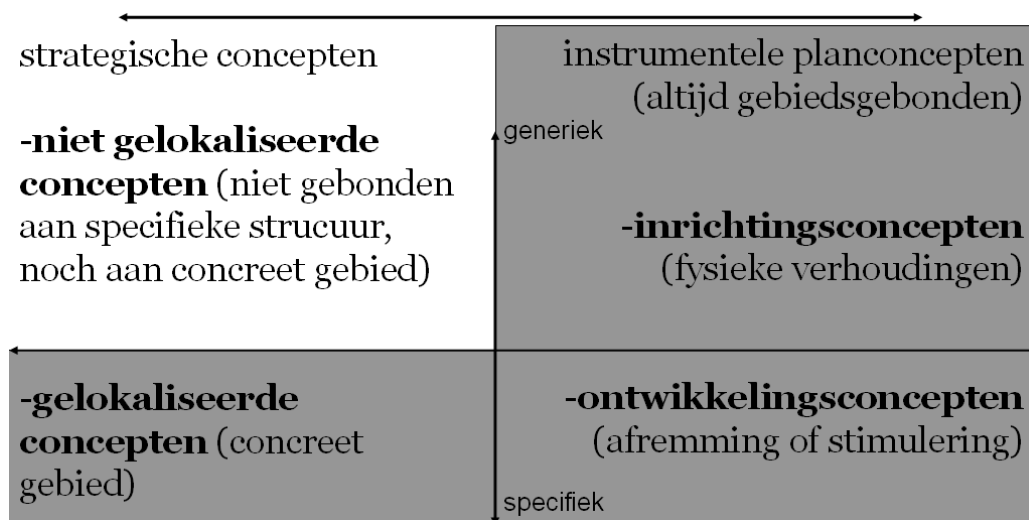
Met dit in het achterhoofd is de tweedeling die Zonneveld (1991) aanbrengt in ruimtelijke concepten, tussen niet-gelokaliseerde concepten en gelokaliseerde

²⁵ Regio's zijn er in alle soorten en maten. Functionele versus zonale regio's uitleggen... die bovendien in territoriale omvang enorm kunnen verschillen van een stadsregio tot en met de EU als een belangrijke economische regio in de wereld.

concepten, extra interessant. Met wel of niet gelokaliseerde concepten verwijst Zonneveld naar het verschil tussen enerzijds generieke ruimtelijke concepten en anderzijds specifieke concepten die voor een bepaald gebied of bepaalde regio gelden. Concepten, als de compacte stad, concentratie, decentralisatie, functiemenging, functiescheiding of -spreiding, maar ook blauwe dooradering, bufferzone, groene scheg, lobbenstad, parkstad, stadsgewest, tuinstad, of vingerstad hebben een niet-gelokaliseerd karakter. Daar staat tegenover dat concepten als balcon van de Randstad, de Brabantse stedenrij, het Groene Hart, Noord- en Zuidvleugel van de Randstad, Randstad Holland zelf, of de Twentse stedenband evenals aangewezen groeikernen, mainports, brainports, ROM-gebieden, of stedelijk knooppunt juist wel gelokaliseerd zijn. De regionale schaal op zichzelf laat in principe ruimte voor zowel gelokaliseerde als niet-gelokaliseerde concepten. Er zijn strategische concepten, of inrichtingsprincipes denkbaar die op een boven-lokale, niet specifiek urbane of rurale schaal toepasbaar zijn. Zodra deze concepten gebruikt gaan worden in een specifieke regio, als de gebiedsspecifieke energie en ruimte context er toe gaat doen, is het goed te beseffen, dat we het strategische met het lokale verbinden. Dat maakt dat conceptvorming op de regionale schaal hier bijzondere aandacht krijgt.

Een tweede onderscheid dat op basis van het werk van Zonneveld (1991) is aan te brengen, bestaat uit de meer strategische of meer instrumentele aard van de concepten. Waar strategische concepten volgens Zonneveld (1991-83/84) voortdurend richting geven aan ruimtelijke 'oplossingen' voor een gebied, kunnen de instrumentele concepten worden gezien als gebiedsgebonden 'oplossingen.' Met andere woorden, een strategisch concept is een altijd minimaal een stap minder concreet voor een bepaald gebied dan een instrumenteel concept. Zo kan je het 'compacte stad denken' zien als een strategisch concept, dat 'oplossingen' denkt te bieden voor het open houden van ruimtes en bijvoorbeeld het efficiënt aan kunnen bieden van infrastructuur. Concepten als bufferzones, bufferstroken, verdichte zones, maar ook het ABC-locatie beleid zijn vervolgens instrumenten die het 'compacte stad denken' gebiedsgebonden handen en voeten geven. Voor geïntegreerde regionale concepten geldt dat zodra ze voor een specifiek gebied van toepassing zijn, ze logischerwijze gebiedsgebonden zijn, maar daarbij naast strategisch ook instrumenteel van aard kunnen zijn.

In figuur 1 is schematisch de categorisering van ruimtelijke concepten weergegeven. Hierbij is uitgegaan van telkens twee extremen, te weten: strategisch versus instrumenteel, en generiek versus specifiek. De crux van de geïntegreerde conceptvorming op een regionale schaal is vervolgens, dat het zowel vanuit het generieke als specifieke kan plaatsvinden, als ook dat het zowel meer strategisch als meer instrumenteel van aard kan zijn. Het grijze gebied toont waar we integrale regionale concepten kunnen positioneren. Niettemin spelen naast de geïntegreerde concepten ook nog generieke, strategische concepten een rol. In dit theoretisch deel zullen we in de derde paragraaf aan de hand van systeemtheorie en grafentheorie onderbouwen welke principes aan de basis liggen van robuuste regionale exergieconcepten. Uiteindelijk zullen we in deel C in concrete casestudiegebieden testen of de generieke, strategische concepten als basis kunnen dienen voor gelokaliseerde concepten (of inrichtingsprincipes volgens Faludi, 1996) en uitgewerkt kunnen worden in bijbehorende instrumentele concepten. Maar het uitwerken van concepten behelst ook dat we inzicht nodig hebben in de werking van concepten.



Figuur 1: categorisering van concepten

5.2 conceptvorming en werking van concepten

Voor het gebruik van planconcepten staat de Nederlandse ruimtelijke planning internationaal bekend (van Duinen, 2004). Het is goed om te beseffen, dat deze concepten niet zomaar komen en verdwijnen (Zonneveld, 1991-71). Ruimtelijke ontwikkelingen zijn te beïnvloeden. Dat is wat ruimtelijke planning en beleidsvoering zinvol maakt (Zonneveld, 2005a). Ook het ontwikkelen van geïntegreerde energielandschappen vraagt om doelgericht beleid en bijbehorende instrumenten voor het interveniëren in de ruimtelijke ontwikkelingen. Strategische planconcepten zijn hét middel om de beleidspraktijk hierbij te ondersteunen (Zonneveld, 1991a), zeker in de hoogdynamische context van een energietransitie (Spit, 2006; Van Kann, 2010).

Deze paragraaf beschrijft wat strategische planconcepten zijn en hoe ze bij kunnen dragen aan duurzame energielandschappen. Daarnaast wordt er opnieuw aan gerefereerd, dat er verschillende typen ruimtelijke planconcepten zijn. Aangenomen wordt dat een typering van ruimtelijke concepten zinvol is. De kenmerken en functies van deze typen planconcepten worden uiteengezet in een kwadrant.

Ruimtelijke ingrepen veranderen het landschap, vaak voor lange tijd. Daarom is het nodig deze van tevoren goed te overdenken. Gewenste ontwikkelingen worden vastgelegd in ruimtelijk beleid. Beleid vormt een kader voor het realiseren van doelstellingen, en geeft handvatten aan actoren bij het uitvoeren van hun werk. In de ruimtelijke planning wordt beleid mede verwoord in ruimtelijke planconcepten (Spit, 2006; Zonneveld, 1991a; Zonneveld, 2005a). ‘Een ruimtelijk planconcept geeft in kernachtige vorm, via woord en ook via beeld, uitdrukking aan de wijze waarop een planactor aankijkt tegen de gewenste ontwikkeling van de ruimtelijke inrichting, alsmede de aard van de interventies die noodzakelijk worden geacht’ (Zonneveld, 1991a, p.21). Hieruit blijkt dat een planconcept zowel visionair als pragmatisch is (Spit, 2006). Doel en maatregelen om dat doel te bereiken komen samen in een planconcept. Dit vindt vaak plaats op een abstract niveau, in de vorm van een metafoor of streefbeeld (Spit, 2006; Zonneveld, 2005a).

Naast het zijn van visionair en pragmatisch, kunnen bij ruimtelijke concepten ook diverse functies worden onderscheiden. Zonneveld noemt een empirische

functie, een intentionele functie, een institutionele functie, een communicatiefunctie en een handelingsfunctie (Zonneveld, 1991; Zonneveld, 2005a). Deze functies komen hier achtereenvolgens kort aan bod.

Ten eerste hebben planconcepten een empirische functie, het overdragen van kennis. Ze bevatten hypothesen over de opbouw en het functioneren van de ruimte, en dragen daarmee een bepaalde perceptie van de ruimtelijke werkelijkheid over (Zonneveld, 2005a).

De tweede functie van planconcepten onderstreept dit: De intentionele functie. Planconcepten maken intenties zichtbaar en bespreekbaar (Spit, 2006). Ze hebben een normatief karakter, wat betekent dat ze wenselijke en ongewenste ruimtelijke ontwikkelingen aangeven, vanuit minimaal het perspectief van één actor.

Ten derde hebben planconcepten een institutionele functie. De 'verdeling van beslissingsbevoegdheden tussen individuen, organisaties en overheidsinstanties' staat hierbij centraal (Zonneveld, 1991a).

De belangrijkste functie is de communicatiefunctie (Spit, 2006). Door communicatie is interactie tussen actoren mogelijk, met consensusvorming als mogelijke uitkomst. Door de toegenomen ruimtelijke complexiteit zijn planconcepten als communicatiemiddel steeds belangrijker geworden (Zonneveld, 2005a).

Een ruimtelijk concept communiceert in twee 'talen'. Naast een verbale taal is elk concept tekenbaar (Faludi, 1996; Zonneveld, 2005a), hoewel dit laatste niet altijd gedaan wordt (Zonneveld, 2005b). Tekentaal bestaat meestal uit punten, lijnen en vlakken, die respectievelijk nodale, communicale en zonale structuren weergeven. Zie hier ook een verband met de reeds genoemde grafentheorie en de theory of the urban web, ook daarin spelen punten, lijnen en structuren een hoofdrol. Soms is echter het herkennen van de concrete ruimte in een tekening onmogelijk, omdat enkel symbolen, pictogrammen en iconen weergegeven zijn (Zonneveld, 2005a). Het nadeel van tekentaal is de gevoeligheid voor manipulatie (Van Eeten en Roe, 2000; Zonneveld, 2005a; Van Kann, 2009).

De laatste functie van ruimtelijke planconcepten is de handelingsfunctie. Een planconcept kan verwoorden welke acties genomen moeten worden om de doelstelling te verwezenlijken, welke instrumenten hiervoor nodig zijn, en wie verantwoordelijk is voor de te nemen acties (Zonneveld, 1991a).

Planconcepten staan niet op zich, maar maken deel uit van een groter geheel: een conceptueel raamwerk, dat door Faludi (1996) aangeduid wordt met de term 'frame' (Zonneveld, 1991a). Een frame bestaat uit een strategische basis of strategische basis en een beschermende gordel of liever instrumenten, respectievelijk strategische en instrumentele planconcepten. Strategische planconcepten vormen het hart van een frame. Ze hebben betrekking op de lange termijn, en zijn kaderstellend voor te maken keuzes (Spit, 2006). Deze concepten hebben draagvlak bij de planningsgemeenschap, de totaliteit van actoren die hebben bijgedragen aan de totstandkoming van de strategische basis.

Doorwerking van strategische planconcepten vindt plaats door middel van instrumentele planconcepten. Over deze instrumentele concepten kunnen meningsverschillen bestaan. Zij geven 'op directe wijze richting aan het handelingsniveau in de planning doordat met deze planconcepten gebieden en locaties worden aangewezen waar een specifiek plannings- en beleidsinstrumentarium wordt ingezet' (Zonneveld, 1991a). Hoofdzakelijk komen bij het handelen twee keuzes aan bod: De in te zetten instrumenten om het doel mee te bereiken, en de keuze voor een concreet gebied. Instrumentele planconcepten zijn daarmee altijd actiegericht en gebiedsgebonden (Zonneveld, 1991a).

Het frame is geldig zolang zij draagvlak heeft onder de planningsgemeenschap. Ontstaan er echter meningsverschillen over deze strategische basis, dan valt de strategische basis van het frame uiteen. Het zal opgevolgd worden door een nieuw frame, waarin succesvolle strategische concepten uit het vorige conceptuele complex opnieuw een plaats zullen krijgen. Een frame heeft drie tot vijf jaar nodig om zich te installeren, en is normaal gesproken tien tot vijftien jaar van kracht (Zonneveld, 1991a). Hier is een parallel zichtbaar met transitiedenken. Ook bij transitie management wordt er van uitgegaan dat een periode van revolutie, systeemomslag relatief kort is en dat de periode waarin systemen stabiel blijven langer is (Van Geels, 2003).

In figuur 1 is al gezien dat zowel strategische als instrumentele planconcepten een tweedeling kennen (Zonneveld, 1991a). Aan de hand van voorbeelden, gegeven door Zonneveld (1991a), zullen de vier typen planconcepten kort toegelicht worden.

Strategische planconcepten zijn te verdelen in niet-gelokaliseerde en gelokaliseerde planconcepten. Deze termen kunnen verwarring oproepen. Een

gebiedsgebonden planconcept is niet per definitie hetzelfde als een gelokaliseerd planconcept. 'Gelokaliseerd' wil zeggen dat een concept van toepassing is op een concreet, dus uniek gebied. 'Gebiedsgebonden' verwijst eveneens naar gebieden, maar deze kunnen overal liggen, en zijn dus niet concreet aangewezen (Zonneveld, 1991b). Gebundelde deconcentratie is een voorbeeld van een strategisch, niet-gelokaliseerd planconcept.

Gelokaliseerde planconcepten zijn wel van toepassing op een uniek gebied. Zij worden door Faludi (1996) ook wel inrichtingsprincipes genoemd, en zijn vaak de concrete uitwerking van niet-gelokaliseerde planconcepten. Zo is de Twentse stedenband, een concept uit de jaren zestig, een uitwerking van het zojuist genoemde niet-gelokaliseerde concept: gebundelde deconcentratie (Zonneveld, 1991a).

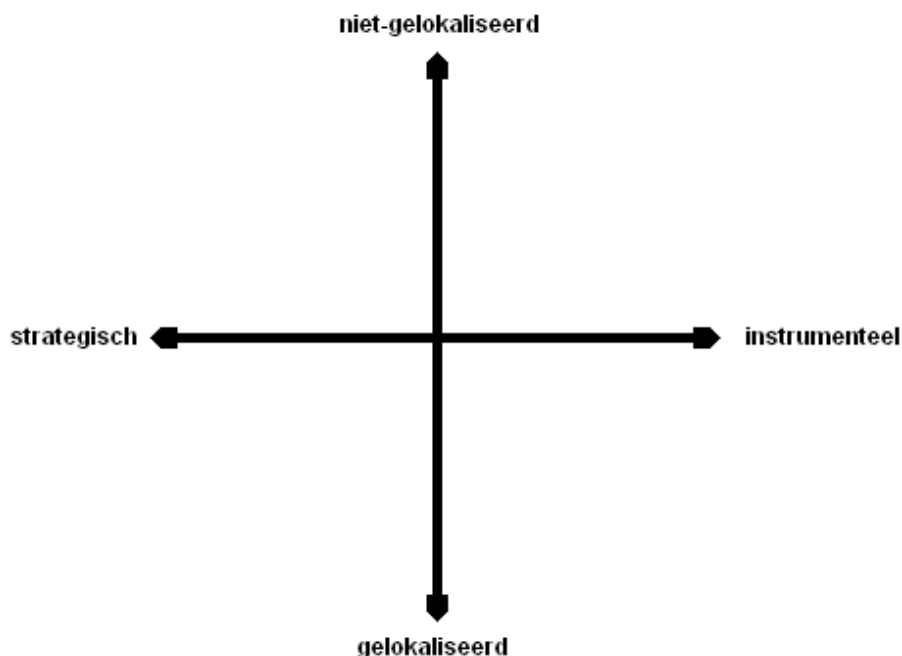
De rol van een strategisch concept is om in globale termen de koers uit te zetten. Zonneveld en Verwest (2005) wijzen daarbij ten eerste op de kennisfunctie die ze hebben. Deze kennisfunctie komt vooral terug bij het slaan van bruggen tussen verschillende disciplines (energie en ruimte), verschillende schaalniveaus (lokaal, regionaal, nationaal) en de integratie van onderwerpen, waardoor je voorbij de puur sectorale oplossingen komt. Ook in die zin zorgen strategische concepten voor het stimuleren van creativiteit. Vooral bij het concreet vertalen van een generiek concept naar een unieke, specifieke oplossing voor een bepaald gebied is de kennisfunctie van een strategisch concept belangrijk.

In de tweede plaats is er bij de stap van strategisch nadenken naar concreet doen de metaforische werking die wordt benoemd. Een pakkende metafoor kan helpen om actoren er bij te betrekken en een ruimtelijk vraagstuk te institutionaliseren en organiseren. Het kan aanstekelijk werken. Een metafoor als het Groene Hart is misschien wel zo sterk, dat actoren het er over eens worden dat een hogesnelheidslijn voor een groot deel onder het weiland verdwijnt in een dure tunnel. Daarin huist ook een risico van concepten, dat er geen of te weinig reflectie meer is op veronderstellingen. Van Eeten en Roe (2000) wijzen zelfs het gebruik van kaartbeelden of tekeningen af, omdat het te sterk sturend kan werken.

Instrumentele planconcepten zijn te onderscheiden in inrichtingsconcepten en ontwikkelingsconcepten. Inrichtingsconcepten geven de fysieke verhoudingen van de inrichting van bepaalde gebieden weer, zoals de verhouding tussen stedelijke en landelijke delen. De groene scheg en bufferzones zijn hier voorbeelden van. Een

ontwikkelingsconcept is een instrumenteel planconcept dat de functie van bepaalde gebieden aangeeft. Zo kregen ontwikkelingsgebieden in de jaren vijftig de functie van economisch groeigebied. De spreiding van de bevolking en van maatschappelijke activiteiten zijn het onderwerp van ontwikkelingsconcepten (Zonneveld, 1991a).

Figuur 2 schetst een kwadrant waarbinnen een meer eenvoudige typering van planconcepten kan plaatsvinden. De horizontale as toont het spectrum tussen strategische en instrumentele planconcepten. Strategisch komt hier overeen met het bedenken van hoofdlijnen en het stellen van kaders. Instrumenteel betekent het bepalen van details en het gericht zijn op uitvoering.

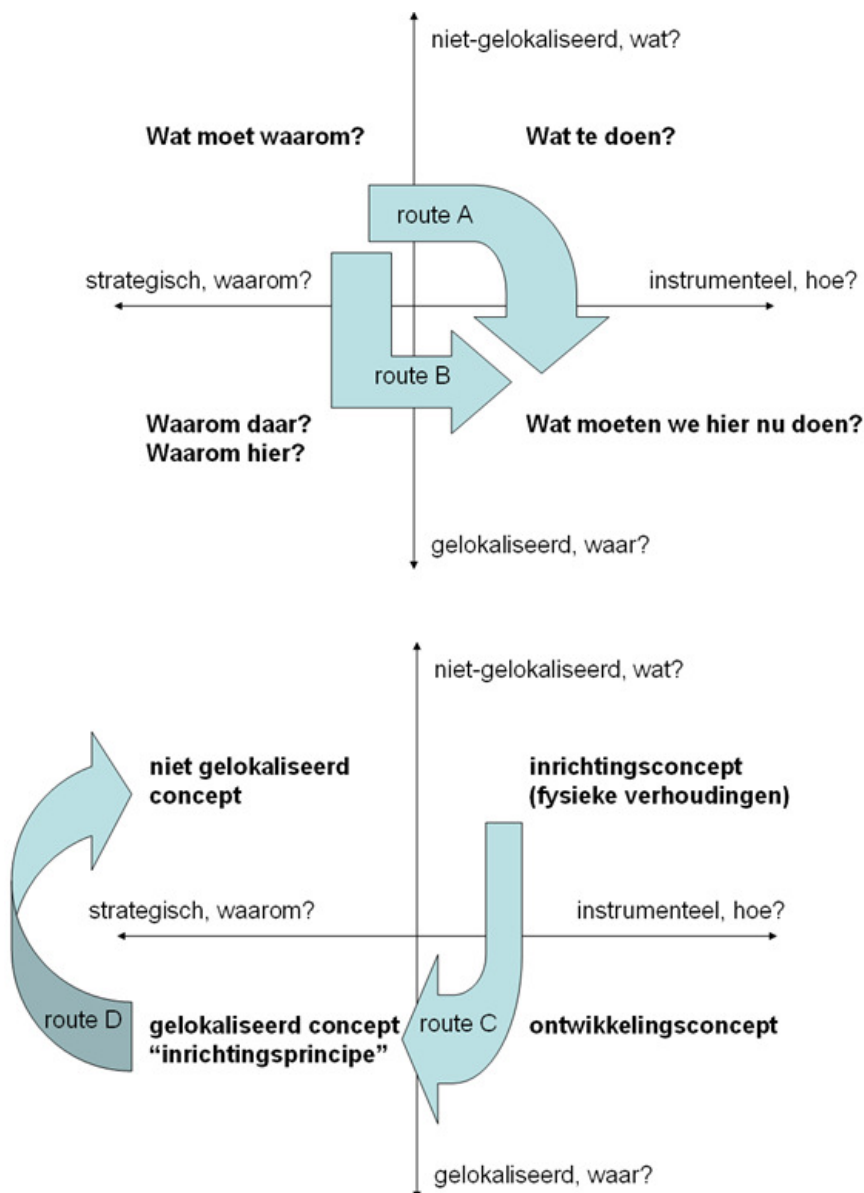


Figuur 2: categorisering van concepten, kwadrant

Sommige planconcepten vertonen zowel strategische als instrumentele kenmerken. Het één sluit het ander niet uit. Dit in tegenstelling tot de verticale as. Deze maakt onderscheid tussen niet-gelokaliseerde en gelokaliseerde planconcepten, oftewel tussen generieke en specifieke planconcepten.

Uiteindelijk zijn instrumentele planconcepten nodig in gelokaliseerde, en dus concrete regio's, die interveniëren in de ruimte teneinde geïntegreerde energielandschappen te creëren. Er moet hier en nu iets gebeuren om. Dan is het wel nuttig om enerzijds begrip te hebben wat je waarom doet en anderzijds om te weten,

wat je dan hier moet doen (zie figuur 3). Conceptvorming speelt in de ruimtelijke planning ook hierom een belangrijke rol. Zeker omdat ingrepen in het landschap, voortkomend uit ruimtelijke planconcepten, vaak gevolgen hebben voor de (middel)lange termijn (Spit, 2006). Het belang voor de samenleving van goed ruimtelijk beleid is groot, omdat keuzes van nu invloed hebben voor later (Voogd, 2006). Ook voor de energiehuishouding geldt dat doeltreffend ruimtelijk beleid noodzakelijk is.



Figuur 3: de categorisering van concepten begrepen in concrete vragen

Figuur 3 toont twee belangrijke aspecten die behoren bij de categorisering van concepten. Het bovenste deel van de figuur schetst hoe er eigenlijk twee denkbare routes zijn in de praktijk van de ruimtelijke planning, hoe strategische concepten lokaal een specifieke rol kunnen hebben. Het onderste deel toont nu juist twee routes over hoe nu juist tot strategische planconcepten te komen, want ook die ontstaan niet zomaar. Route A en B laten zien, dat je van een generiek strategisch concept zowel een route hebt via de ‘hoe-vraag’ als één via de ‘waar-vraag’. Uiteindelijk komen het strategische, het instrumentele en het gebiedsspecifieke dan bijelkaar in een ontwikkelingsconcept voor een concreet gebied. Route C en D tonen iets anders. Om strategische, generieke concepten te ontwikkelen zijn inrichtingsprincipes min of meer onmisbaar. Dat is ook een argument om later in deel C diep in specifieke cases te duiken om op basis van een grondige studie van specifieke gebieden toch iets te kunnen zeggen over generieke concepten. De route C in figuur 3 wordt dan doorlopen met een vraag als hoe krijgen we Zuid-Limburg nu energieneutraal in het achterhoofd. Route D is vervolgens een meer theoretische exercitie waarbij systeemtheoretische argumenten helpen om te ontdekken wat nu de pure basis is van de concepten in de specifieke case-study gebieden. Kortom, conceptvorming lijkt een stapsgewijs en voor een deel iteratief proces.

Dat een energietransitie mogelijk is met enkel de huidige ruimtelijke planconcepten is onwaarschijnlijk, vooral omdat een duurzame energievoorziening nog geen wezenlijk onderdeel is van het huidige ruimtelijk beleid (Stremke, 2009a; Van Hoorn, 2010). Het woord ‘transitie’ geeft eigenlijk al aan dat fundamentele beleidsveranderingen nodig zijn om de energiehuishouding te verduurzamen. Nieuwe planconcepten zijn nodig. In het laatste theoretisch deel van dit hoofdstuk gaan we aan de slag met de vorming van nieuwe concepten, begrepen in context van deel A en onderbouwd door systeemtheoretische en grafentheoretische input.

5.3 De rol van concepten

Al eerder is het onderscheid tussen de strategische basis en de instrumenten van het frame beschreven. Beide zijn ze van grote betekenis voor een transitie naar integrale energielandschappen op regionale schaal. De rol van de strategische basis

en de instrumenten zijn sterk verweven, maar tegelijkertijd ook erg uiteenlopend. Deze paragraaf gaat daar nog eens extra op in, om zo helder te krijgen wat de rol van de verschillende typen concepten kan zijn bij het in gang zetten van een energietransitie.

Een frame met een strategische basis bestaat uit strategische concepten. Deze geven een gewenste ontwikkelingsrichting aan. Zonneveld (1991a) beschrijft dat zowel niet-gelocaliseerde als gelocaliseerde concepten tot de strategische basis behoren. Deze studie stelt daar vraagtekens bij. Beargumenteerd werd dat niet één regio, maar alle regio's een energietransitie moeten ondergaan. Hiervoor zijn algemeen geldende planconcepten nodig die gedragen worden door de gehele planninggemeenschap. Gelocaliseerde concepten kunnen niet tot deze algemeen geldende planconcepten gerekend worden, omdat ze slechts voor een concrete regio van toepassing zijn. Wel kunnen gelocaliseerde concepten behulpzaam zijn om op basis van goede, regionale cases nieuwe, strategische, algemeen geldende concepten te ontwikkelen. Samenvattend, worden alleen niet-gelocaliseerde ruimtelijke concepten in deze studie als de strategische basis van een nieuw frame beschouwd. Dit zijn concepten die daadwerkelijk de hoofdlijnen van ruimtelijke ontwikkelingen uitstippelen.

Het integreren van energie en ruimte vraagt om fundamentele veranderingen in de planologie. Allereerst zal het thema duurzame energievoorziening en exergieplanning toegevoegd moeten worden aan de strategische basis, het heersende gedachtegoed over de ruimtelijke planning. Pas dan volgen op een grotere schaal de instrumenten die daadwerkelijk duurzame energielandschappen creëren. Dat wil niet zeggen, dat er voor af geen best practices zijn, maar om leuke, goede, lokale initiatieven te laten doorgroeien naar generiek beleid is meer nodig. De strategische basis representeert de basis van een nieuw frame, waarin energie en ruimte geïntegreerd zijn. Het - via gelocaliseerde concepten of inrichtingsprincipes - vertalen van concepten uit deze strategische basis in concrete regio's, is de sleutel tot het realiseren van integrale energielandschappen.

Hoewel de strategische basis bepalend is voor de toekomstige ontwikkelingen, zijn de ingrepen die in de ruimte gedaan worden om integrale energielandschappen te realiseren een direct gevolg van instrumentele concepten. Zonneveld (1991a) omschrijft deze instrumentele concepten als actiegericht en gebiedsgebonden. Dat ze

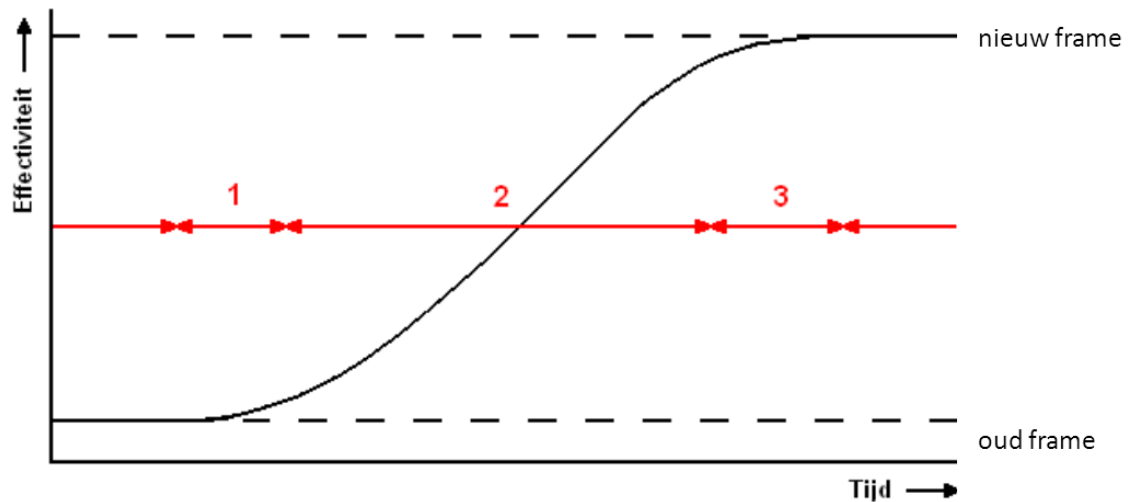
actiegericht zijn, is niet te ontkennen. Deze studie stelt echter dat instrumentele concepten niet per definitie gebiedsgebonden zijn. Er zijn ook algemeen geldende, niet-gelocaliseerde instrumentele concepten mogelijk.

De overige twee categorieën van concepten zijn gelocaliseerde concepten. Ook deze worden hier, zoals aangegeven, tot de instrumenten gerekend. Omdat elke concrete regio andere gelocaliseerde concepten nodig heeft, kunnen deze categorieën niet ingevuld worden met algemeen geldende gelocaliseerde concepten. Samen vormen de verschillende typen planconcepten het frame, een eenheid van concepten waarin de onderlinge verhoudingen vastliggen. Een energietransitie komt enkel tot stand als al de typen planconcepten uit het frame aanwezig zijn. Pas als we weten, waarom we wat, waar en hoe kunnen uitvoeren, zijn samenhangende, concrete stappen in een bepaalde richting mogelijk. Want met strategie zonder uitvoering kom je niet ver, noch heeft het willekeurig uitvoeren van acties, de losse flodders, veel kans op het bereiken van een samenhangend doel. En ook is het belangrijk om te weten waarom we iets dan juist hier doen en niet daar, of wat we nu hier kunnen doen, gegeven de ontwikkelingen nu en op termijn elders. Kortom, voor geïntegreerde energielandschappen is een complete set concepten nodig met strategische basis en bijpassende instrumenten.

De instrumenten kunnen tijdens een geldend frame, dat wil zeggen een stabiele fase, veranderingen ondergaan. Bijvoorbeeld als er nieuwe inzichten ontstaan over de instrumenten waarmee energie en ruimte geïntegreerd kunnen worden. Als de strategische basis wijzigt, ontstaat er echter een nieuw frame. Dit hoeft op zichzelf geen probleem te zijn. Sterker nog hier is al vaker gepleit voor een nieuw frame. Eén waarin energie en ruimte geïntegreerd worden. Dat klinkt mooi, maar een dergelijk complex ontstaat niet zomaar. Daar gaat een discussie aan vooraf, waaruit het besef voortkomt dat structurele veranderingen ten opzichte van de bestaande situatie noodzakelijk zijn om bijvoorbeeld de voorzieningszekerheid van energie te waarborgen. Of dat door de overgang naar een duurzaam energiesysteem met renewables ruimte in ieder geval tijdelijk expliciet wordt, waardoor de ruimtelijke planning wel moet reageren.

Een discussie, gevoed door ontwikkelingen op allerlei terreinen, zet een transitieperiode in. Tijdens een transitieperiode ontstaan nieuwe planconcepten. Verankering van een nieuw frame in ruimtelijk beleid sluit een transitieperiode af.

Deze paragraaf gaat in op de delen van een transitieperiode, die weergegeven zijn in figuur 4.



Figuur 4: het ontstaan van nieuwe frames als niet lineair proces

Zo-even is aangegeven, dat de strategische basis van een frame met enige regelmaat verandert. Toch zal een frame voor langere tijd bestaan, zoals ook al aangegeven is. Een nieuw frame ontstaat niet zonder enige aanleiding. In deze studie zijn verschillende redenen genoemd die de noodzaak van een nieuw frame onderschrijven. Klimaatverandering, het opraken van fossiele brandstoffen, en het in gevaar komen van de energievoorziening zijn de voornaamste. Maar ook de vraag naar een verbeterde ruimtelijke kwaliteit of energieneutrale regio's met lagere energierekeningen kunnen redenen zijn om een transitiefase in te zetten. Autonome, zelfstandige systeemspelingen komen in de natuur overigens ook voor. Zo kan de overgang naar renewables ook met de tijd als vanzelf plaatsvinden. Dat het als vanzelf ook onderdeel wordt van ruimtelijk beleid, dat lijkt onwaarschijnlijk. Al zou je ook deze studie kunnen zien, als een uitvloeisel van deze tijd met zorgen over de houdbaarheid van de huidige energievoorziening en als opstapje naar een fundamentele verandering, een nieuw frame. De reden(en) voor verandering moeten wel eerst onderkend worden, voordat een discussie ontstaat over een nieuw te realiseren frame.

In figuur 4 is een transitieperiode verdeeld in drie fasen. Fase 1 sluit een stabiele periode af, waarin geen discussie was over de strategische basis van het

heersende conceptuele complex. In fase 1 is vastgesteld dat een nieuw frame gewenst is. In fase 2 worden vervolgens nieuwe planconcepten aangedragen die tot de strategische basis van een nieuw frame kunnen gaan behoren. Fase 2 is instabiel. Het is een fase waarin gediscussieerd wordt, waarin ruimtelijke concepten worden aangevuld of afgebroken. Fase 2 leidt tot ruimtelijke concepten die voldoende draagvlak hebben bij de planningsgemeenschap om in ruimtelijk beleid vastgelegd te worden. Fase 3 representeert deze verankering. Zo ontstaat een strategische basis van een nieuw frame. Verankering van concepten zorgt voor stabiliteit in de ruimtelijke ordening (Van Der Cammen, 2004). Als de ontwikkelingslijnen vastgelegd zijn, hoeft niet telkens een discussie heropend te worden. Dat neemt niet weg dat aanpassingen in het beleid altijd mogelijk blijven.

Deze paragraaf heeft nogmaals willen benadrukken dat duurzame energielandschappen alleen kunnen ontstaan als er een besef leeft dat veranderingen noodzakelijk zijn. Ten slotte is benadrukt deze concepten vast te leggen in beleid. Zo ontstaat een stabiel frame, waarbij energie een volwaardige plaats krijgt binnen de ruimtelijke planning. Maar hoe weten we nu wat er in toekomst kan gebeuren, welke concepten verdienen dan een plek? Met deze vraag gaan we in de volgende paragraaf aan de slag.

6 Scenario's als methode om contextvariabelen te begrijpen inzake energie-ruimte concepten'

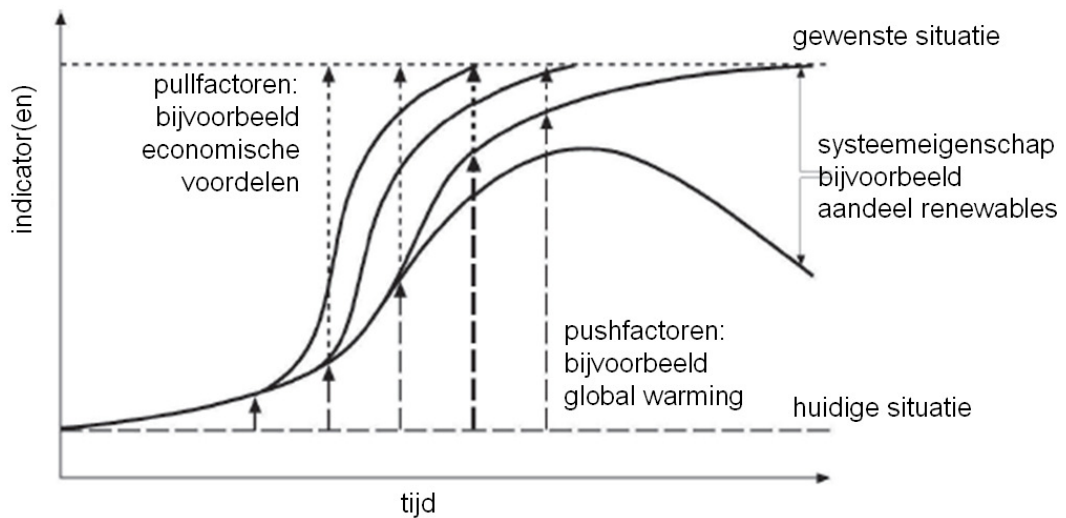
Zoals duidelijk is geworden in deel A, bestaat er een noodzaak om als samenleving een transitie naar een duurzame toekomst te maken. IPCC (2007) en KNAW (2007) stellen hierbij dat er ook uitdagingen liggen voor de ruimtelijke planning. Ook in deze studie is dit al onderstreept en hebben we in het voorgaande al gewezen op de mogelijke rol hierbij voor geïntegreerde energie-ruimte concepten. Niettemin zal de aanpassing van de fysieke ruimte aan veranderingen in het klimaat en de inzet van renewables decennia lang tijd eisen (Smil, 2003; 2008). Een tijdshorizon die afwijkt van wat gebruikelijk is in de traditionele ruimtelijke planning, zeker in relatie tot de vermoede fundamentele veranderingen die nodig zijn. Klassiek denken in lineaire ontwikkelingen, of heldere causaliteiten schiet dan waarschijnlijk tekort. Begrepen in deze context, wijzen o.a. Albrechts (2004), Börjeson et al. (2006) op het belang om externe trends en krachten in beeld te krijgen. Een manier om dat te doen, is het construeren van langetermijnvisies (Kunzmann, 2000). In deze paragraaf bouwen we aan een methodiek om belangrijke contextvariabelen in strategische, ruimtelijke concepten een plek te kunnen geven.

Redelijk recent zien we in de planologische literatuur een opleving van strategische aanpakken voor stedelijke en regionale planning (Albrechts, 1999 en 2004; Healey et al, 1997; Healey 2010). Niettemin stellen Rodriguez en Martinez (2003) dat veel van de visies voor de langetermijnontwikkelingen van vooral grootstedelijke gebieden overambitieuze zijn en vaak realiteitszin missen. Ook op het aanverwante gebied van de landschapsarchitectuur zijn langetermijnvisies opgesteld (zie bijvoorbeeld: Weller, 2008), daarbij gebruikmakend van een ontwerpbenadering voor de regionale planning (Steinitz, 1990; 2002; Milburn en Brown, 2003). Hoewel er interessante raakvlakken tussen beide disciplines lijken te zijn, hebben beide nog nagelaten om een gezamenlijke benadering voor een strategisch georiënteerde regionale planning uit te werken. Kortom, redenen genoeg om het langetermijndenken voor de regionale planning nader uit te werken, daarbij gebruikmakend van een energie en ruimte perspectief.

6.1 Uitgangspunten op basis van bestaande literatuur

Ieder beleidsvoorstel, ontwerp of plan voor een langetermijnontwikkeling van een omvangrijk gebied wordt geconfronteerd met een aanzienlijk aantal onzekerheden. Deze worden bepaald door trends en krachten waarop de ruimtelijke planning zelf geen invloed heeft. Nu is het omgaan met onzekerheden één van de karakteristieken van planning. Los van alle moeilijkheden bij het omgaan met onzekerheden, is het belangrijk om een wensbare toekomst te verbeelden (Rossenhead, 2001). Ook het in beeld brengen van interventies die een dergelijke toekomst dichterbij zouden kunnen helpen is nuttig (Albrechts, 2004). Volgens Hidding (2006) zijn toekomst- of scenariostudies dan ook een fundament onder langetermijnplanning. Het onderscheid dat Börjeson et al. (2006) aanbrengen tussen predictieve, exploratieve en normatieve (waarschijnlijk, mogelijk, wenselijk) scenario's is hier van belang.

Een gewenste toekomst kan via een aantal routes worden bereikt. Verandering kan op gang worden gebracht door drijvende krachten zoals het ervaren van 'global warming', het onderwerp is op de agenda geduwd (push). Vervolgens, worden prikkels ingesteld die het proces van verandering moet laten voortduren. Economische voordelen bijvoorbeeld, zijn in staat om een systeem van een bestaande situatie naar een gewenste toekomst te trekken (pull) (Van den Brugge en Rotmans, 2007). Als de push- en pullfactoren vervolgens onvoldoende blijken te zijn, kan het systeem stranden in het bereiken van een nieuwe, gewenste toekomst, zie figuur 5. Wat we verder kunnen leren van de literatuur over scenario's is, dat de toekomst van een bepaald gebied niet enkel wordt beïnvloed door externe trends en andere drijvende krachten (bestudeerd door exploratieve scenario's), maar ook door interne drijvende krachten en prikkels (bestudeerd door normatieve scenario's). Transitiemanagement is de discipline die normatieve scenario's ontwikkelt gebaseerd op de bestudering van maatschappelijke veranderingen en grondige analyse van huidig beleid.



Figuur 5: transitie scenario's, een gewenste toekomst kan via verschillende routes worden bereikt (aangepast figuur, Van den Brugge en Rotmans, 2007)

Voor ruimtelijke planning is de ontwikkeling van beleid, of preciezer het ondersteunen van beleidsontwikkeling, een doel. Andere doelen zijn het beïnvloeden van interventies, die de fysieke ruimte meebepalen, alsmede het actief betrekken van belanghebbenden in het planningsproces (Albrechts, 2004; Healey, 1997). Van de verschillende perspectieven op ruimtelijke planning die zijn ontstaan in de voorbije decennia, stippen we drie paradigma's aan die relateren aan de discussie over langetermijn visies. Het zijn rationele planning (bijvoorbeeld Friedmann, 1973), incrementele planning (bijvoorbeeld Lindblom, 1965) en mixed scanning (Etzioni, 1967; 1986).

Één van de voordelen van de rationele planningsbenadering is de helderheid over hoe beslissingen zijn en moeten worden genomen. Problemen behoren te worden geïdentificeerd, doelen opgesteld en bijbehorende alternatieven zorgvuldig afgewogen. 'Rationeel denken' bij de probleemanalyse en doelomschrijving is ook behulpzaam voor langetermijn planning. Forecasting is één van de technieken voor rationele besluitvorming (Wachs, 2001). Beleidsbepalers hebben echter zelden de hulpmiddelen, noch de tijd om alle informatie te verzamelen die nodig is voor een rationele keuze (Verma, 1996). Dat maakt, dat een methodologisch raamwerk voor langetermijn visies flexibel moet zijn om aangepast te worden aan de beschikbare informatiebronnen.

Flexibiliteit is ook een eigenschap van de incrementele benadering van ruimtelijke planning. Incrementalisten dagen de notie van DE beste oplossing uit. Het gaat niet om die ene, alles perfect makende bijdrage, maar om een serie van analyses en evaluaties die meer toegesneden zijn om problemen aan te pakken (Lindblom, 1965). Doelen en middelen zijn continue onderwerp van discussie en herdefiniëring in het incrementeel proces (Jones en Gross, 1996). Betoogd wordt echter, dat de incrementele benadering geen rekening houdt met wat wordt genoemd kritieke onzekerheden, zoals maatschappelijke waarden en technologische innovaties (Etzioni, 1967). Kan mixed-scanning ons dan helpen om met de kritieke onzekerheden om te gaan bij planning en ontwerp voor de lange termijn?

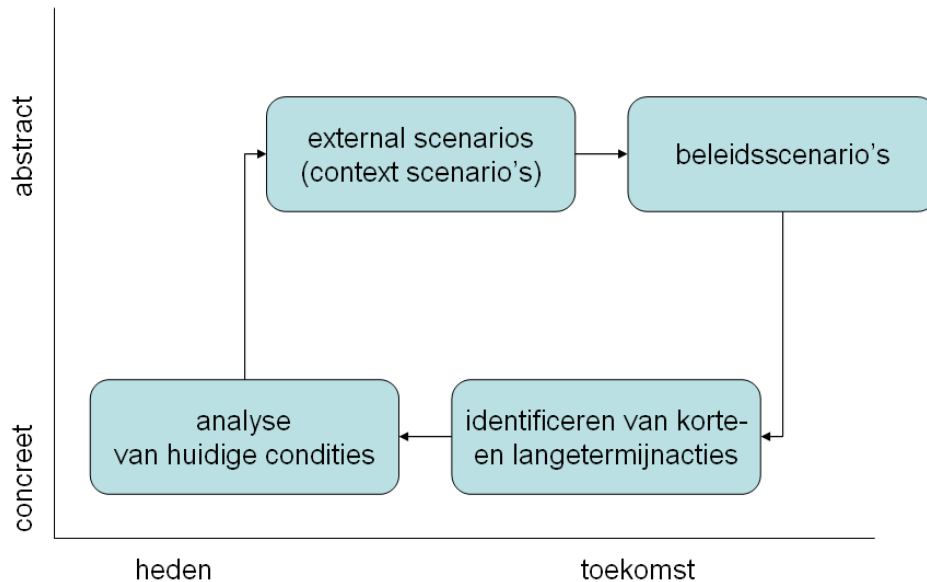
Mixed-scanning is een benadering die expliciete procedures biedt voor het verzamelen van informatie en het verdelen van middelen. De benadering maakt onderscheid tussen stapsgewijze en fundamentele beslissingen en tussen verschillende niveaus van scanning (Etzioni, 1967; 1986). Zoals het geval is bij regionale planning, moet de relatie tussen de regio en het bovenliggende niveau “het land bijvoorbeeld”, maar ook de relatie tussen de regio en lokale gemeenschappen beschouwd worden. Mixed-scanning, echter, biedt niet expliciet een antwoord op de vraag hoe om te gaan met kritieke onzekerheden in langetermijnvisies. Wat nodig is, is een aanpak die op de een of andere manier de positieve eigenschappen van rationele planning, incrementalism en mixed-scanning kan verbinden.

6.2 Een ontwerpgerichte planning

Het object van studie van een ontwerpgeoriënteerde planning is de ruimtelijke organisatie van het landschap. Het doelt er op om acties te beïnvloeden die de fysieke ruimte vormen, bijvoorbeeld, zoals het bediscussiëren van mogelijke en gewenste toekomstbeelden. Volgens Carjens (2009) is de ontwerpgeoriënteerde planning primair bezig met de langetermijnontwikkelingen op de regionale schaal.

Dammers et al. (2003; 2005) beschreven de zogenaamde cyclische scenario aanpak; welke methodologische aanpak bestaat uit vier stappen. Het planproces ontwikkelt van concreet naar abstract en weer terug naar concreet. Ook ontwikkelt het proces zich van heden naar de toekomst en weer terug naar het heden (zie figuur 6). Volgens Dammers en collega's moet de aanpak herhaaldelijk worden doorlopen.

Omdat de cyclische scenario aanpak expliciet refereert aan zowel exploratieve (soms ook contextscenario's genoemd) en normatieve scenario's wordt er hier verder op ingegaan.



Figuur 6: Methodologisch raamwerk van cyclische scenarioaanpak (gebaseerd op Dammers et al., 2005)

Stap 1: Tijdens de eerste fase van de planningscyclus worden de huidige condities van het studiegebied geanalyseerd. Dit kan worden bewerkstelligd door bijvoorbeeld het uitvoeren van een 'multi-layer aanpak' (Sijmons, 2002) of de 'network-approach' (Albrechts and Mandelbaum, 2005). De analyse omvat huidige trends, relevant beleid en programma's. Bovendien worden aansprekende, opvallende onderwerpen in kaart gebracht in samenspraak met besluitvormers en stakeholders.

Stap 2: In de tweede fase worden 'external scenarios' ontwikkeld. Zij geven mogelijke toekomsten weer voor het studiegebied uitgaande van technische, economische, maatschappelijke en andere trends.

Stap 3: Vervolgens worden in de derde fase beleidsscenario's ontwikkeld. Deze scenario's verkennen alternatieve beleidsstrategieën en interventierichtingen, die uiteindelijk, resulteren in verschillende toekomsten.

Stap 4: De vierde fase behelst het identificeren van zowel korte- als langetermijnacties om de beleidsontwikkelingen te ondersteunen. Kortetermijnacties

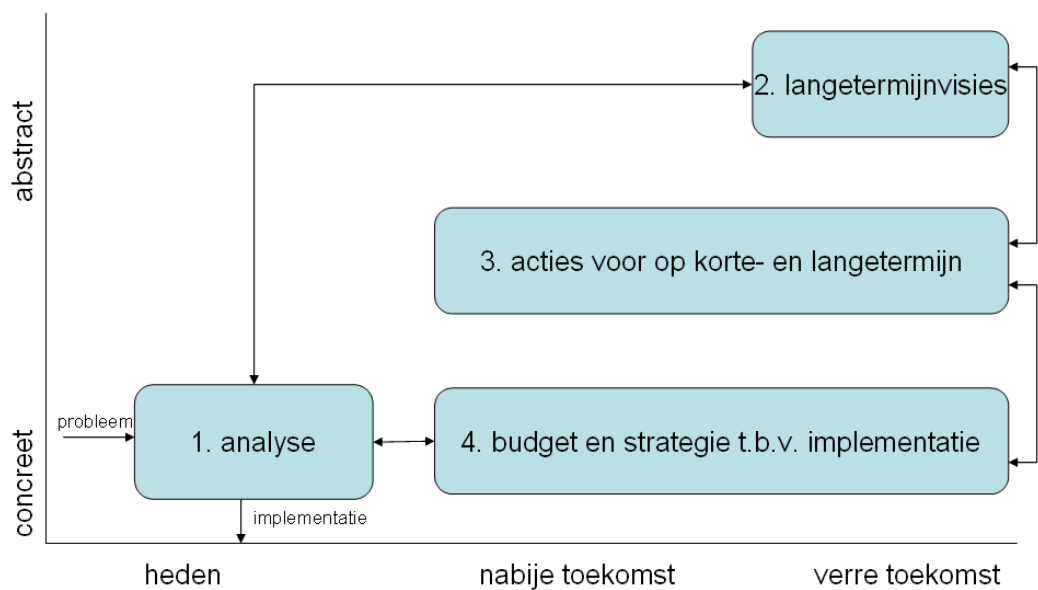
behoren compatibel te zijn met alle scenario's. Carsjens (2009) benadrukt dat acties die in alle scenario's verschijnen onderdeel kunnen worden van een 'master plan'. 'Contingency plans' daarentegen tonen juist interventies die enkel zichtbaar worden in één of twee scenario's (Maack, 2001).

De cyclische scenarioaanpak is relevant voor deze discussie om een paar redenen. Allereerst is het relevant om op een aantal onderwerpen te focussen om strategische interventies in beeld te krijgen (Albrechts, 2004). Ten tweede, de 'external' en 'policy scenarios' voorkomen het probleem om specifiek de toekomst te voorspellen, een benadering die geschikt is in complexe situaties met een hoge mate van onzekerheid (Carsjens, 2009-52). In essentie worden in de cyclische scenarioaanpak drie wijzen van verandering benoemd. Naast de huidige, geprojecteerde trends worden kritieke onzekerheden en bedoelde veranderingen door beleid onderscheiden. Consequentie van de aanpak is wel, vanuit een operationeel perspectief misschien negatief, dat het opstellen van 'external scenarios' vereist dat substantiële middelen en speciale expertise aanwezig zijn. Het benutten van bestaande contextscenario's kan een alternatief bieden. Dit bespreken we verderop in deze paragraaf.

Strategische planning poogt onder meer om creatieve vraagstellingen te faciliteren en een brug te slaan tussen scenario's en de feitelijke besluitvorming (Carsjens, 2009). Het is strategisch, omdat het selectief en gericht op vraagstukken die echt van belang zijn is (Albrechts, 2006-1155). De gedachtegang achter strategische planning is om activiteiten van stakeholders te framen en daarmee gedeelde aandacht over ruimtelijke veranderingen te bewerkstelligen (Albrechts, 2004-749). Duurzame ontwikkeling is één van de gedeelde "zorgen" die een strategische aanpak met een langetermijnvisie vergt. Eigenlijk is het opstellen van langetermijnvisies een alternatief voor traditionele planningstechnieken, omdat het onwaarschijnlijk is dat een enkele blauwdruk de kritieke onzekerheden en dynamiek in een bepaald gebied kan benoemen.

Bryson en Roering (1996), maar ook de Roo (2004) stellen dat ruimtelijke planning een verzameling van concepten, procedures en methodes omvat die op de situatie toegesneden moeten worden toegepast, als enig resultaat van betekenis nagestreefd wordt. Healey (2009) betoogt vergelijkbaar en onderstreept dat mensen die met strategische plannen bezig zijn, moeten proberen om de complexiteit van een

gebied te begrijpen. Wees gevoelig voor de specifieke situatie, omarm het zoeken naar synthese, maar blijf ook imaginair! In de literatuur worden diverse methodologische raamwerken beschreven over hoe te werk te gaan met strategische planning. Hier kiezen we de zogenaamde ‘four-track approach’ als een voorbeeld (zie ook figuur 7) van hoe een strategisch planningsproces georganiseerd kan worden (Albrechts, 2004).



Figuur 7: Methodologisch raamwerk van ‘four-track’ aanpak voor strategische ruimtelijke planning (naar Albrechts, 2004)

Stap 1: het planningsproces begint met een analyse van de hoofdprocessen die vorm geven aan de omgeving. Daarbovenop worden in samenspraak met lokale stakeholders specifieke onderwerpen in kaart gebracht.

Stap 2: In deze fase wordt een dynamische, integrale en indicatieve langetermijnvisie ontwikkeld. Het opstellen van zo’n visie is een doelbewuste actie om waarden en meningen voor de toekomst te representeren.

Stap 3: Vervolgens worden op basis van de visie interventies afgeleid. Hierbij bestaat het doel er enerzijds uit om kortetermijnacties te schetsen die helpen om huidige problemen op te lossen. Anderzijds is er het doel om langetermijnacties die bijdragen om een gewenste toekomst te bereiken, te identificeren.

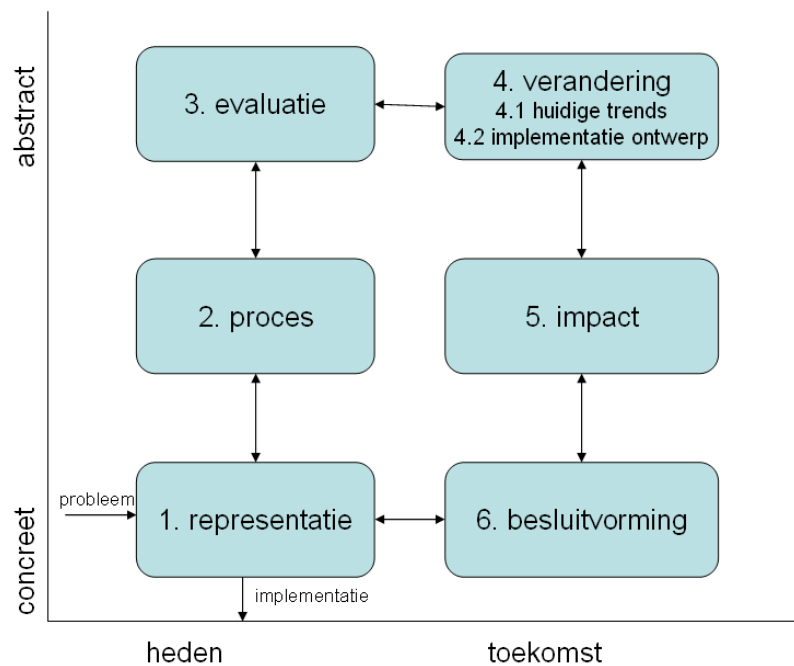
Stap 4: Het implementeren van de acties wordt gefaciliteerd door het vormen van ‘commitment packages’ in fase vier. Een dergelijke bundel aan afspraken brengt morele, bestuurlijke en financiële overeenstemming tussen planologen, burgers, bedrijven en verschillende overheidslagen te weeg.

In de literatuur over strategische planning kan veel informatie worden gevonden over wie te betrekken bij het visievormingsproces (bijvoorbeeld: Albrechts, 2004; Healey, 1997). Echter, er lijkt minder informatie beschikbaar over hoe nu daadwerkelijk zo’n visie op te stellen. Of in andere woorden, hoe moet het vormgeven van een gewenste toekomst dan? Een grote waarde van strategische planning is de nadruk op acties die implementeerbaar zijn en kritieke onzekerheden als twee vormen van verandering. De ‘four-track’ benadering maakt evenwel geen expliciete verwijzing naar contextscenario’s.

Naast een tweetal bouwblokken dat we uit de ruimtelijke planning hebben verkregen, maken we ook een uitstapje naar landschapsontwerp. Uit de verschillende methodologische raamwerken voor regionaal landschapsontwerp, is gekozen om Steinitz’ (1990 en 2002) ontwerpframework (zie figuur 8) te gebruiken, omdat het succesvol is toegepast in veel projecten. Het raamwerk bestaat uit zes vragen die op z’n minst drie keer doorlopen moeten worden in elk project. De volgende zes fasen worden onderscheiden:

- Representatie: Hoe moet de staat van het landschap worden beschreven? De analyse van de huidige condities omvat de karakteristieken van het onderzoeksgebied, de begrenzing er van en de ontwikkelingen in het verleden die het heden helpen te begrijpen.
- Proces: Hoe functioneert het landschap? De functionele en structurele relaties tussen de functies in het landschap worden bestudeerd.
- Evaluatie: Functioneert het huidige landschap voldoende, goed?
- Verandering: Hoe zou het landschap veranderd kunnen worden? Door wat voor acties, waar en wanneer? Ten minste twee typen van verandering moeten in een ontwerpproces beschouwd worden. Dit is enerzijds verandering door huidige, zichtbare trends en anderzijds verandering door te implementeren ontwerpen.

- Impact: Welke te verwachten verschillen kunnen de veranderingen veroorzaken? Bij het beantwoorden van deze vraag, is het behulpzaam om de impact van iedere interventie in te schatten en met elkaar te vergelijken. Het antwoord is gebaseerd op 'predictive theory', vergelijkbaar met studies van waarschijnlijke toekomsten.
- Beslissen: Moet het landschap, de fysieke ruimte, worden veranderd? Deze fase van het ontwerproces focust op hoe een evaluatie gemaakt kan worden van de impact van de onderscheidenlijke, alternatieve veranderingen in de toekomst. Landschapsplanning en -ontwerp beogen hierbij de besluitvorming te ondersteunen; de eindbeslissing blijft liggen bij de verantwoordelijke overheden en stakeholders.



Figuur 8: methodologisch raamwerk voor landschapsplanning en -ontwerp zoals beschreven door Steinitz (1990 en 2002)

6.3 Bouwstenen voor een alternatieve aanpak voor langetermijnvisies

Alle drie, besproken raamwerken bieden nuttige bouwstenen voor een alternatieve aanpak voor langetermijnvisies. Daarom vergelijken we hier de de

cyclische scenarioaanpak, de ‘four-track’ approach, en het ‘design framework’, zie ook figuur 9.

De drie aanpakken streven er allemaal naar om de besluitvorming te ondersteunen om met een overeenkomst te beginnen. Bovendien komen de eerste drie stappen uit het ‘design framework’ aardig overeen met de analysefasen van de twee meer planologische benaderingen. Het achterhalen van het disfunctioneren in het landschap kan vergeleken worden met de selectie van focusonderwerpen in de cyclische scenarioaanpak en de four-track approach. Ook de evaluatie van de impact van de verschillende interventies in het landschapsontwerp is qua bedoeling vergelijkbaar met de evaluatie van de verschillende beleidsstrategieën in de ruimtelijke planning.

Een essentieel verschil tussen de drie raamwerken huist er in dat Steinitz (2002) en Albrechts (2004) geen expliciete referentie leggen naar het gebruik van externe scenario’s (of contextscenario’s). Dammers et al. (2005) daarentegen noemt het ontwikkelen van contextscenario’s als een onderdeel van het planningsproces. Strategische planning heeft in het algemeen aandacht voor de betekenis van externe trends en krachten die de toekomst van een gebied beïnvloeden (zie bijvoorbeeld: Friedmann, 2004). In deze context stelt Rosenhead (2001-85): “strategische planning kan niet stevig worden gefundeerd op een poging om te voorspellen wat zal gebeuren [...] het identificeren van een spectrum van wat kan gebeuren, is wel een bescheiden en ondersteunende basis voor een planninganalyse.”

Hier gebruiken we een vergelijkbare benadering voor de regionale planning waarbij de tijdshorizon als ruim geldt. De derde wijze van verandering, kritieke onzekerheden, dient geïntegreerd te worden in het visievormingsproces. Of globalisering nu wel of niet doorzet in de toekomst, het is een kritieke onzekerheid, die het landgebruik beïnvloedt en bijgevolg ook effect heeft op de aanpassing van het landschap aan klimaatverandering en renewables. De drie wijzen van verandering die dus een plek verdienen in het visievormingsproces zijn (1) verandering vanwege huidige, geprojecteerde trends, (2) verandering vanwege kritieke onzekerheden en (3) bedoelde, aanstaande veranderingen. Het integreren van deze drie wijzen van verandering kan (hopelijk) het opstellen van verbeeldende (Healey, 2009), evenwel realistische visies (Albrechts, 2006) faciliteren. De geïntegreerde visies helpen

planners en ontwerpers om meer effectief een bijdrage te leveren aan minimaal het debat over de langetermijnontwikkeling van duurzame regio's.

methodologisch raamwerk	cyclische scenarioaanpak (Dammers et al., 2005)	'four-track' aanpak (Albrechts, 2004)	design framework (Steinitz, 2002)
Opstartfase	basisanalyse - analyse van huidige situatie - identificeren focusonderwerpen	analyse - analyse van hoofdprocessen die de fysieke ruimte vormen - agenda setting	representatie - analyse van huidige condities proces - bestuderen verhoudingen evaluatie - identificeer disfunctioneren
Eerste vorm van verandering <i>verandering door huidige, geprojecteerde trends</i>	<i>analyse van huidige, geprojecteerde trends in deel van basisanalyse</i>	<i>geen expliciete referentie naar huidige, geprojecteerde trends</i>	verandering veroorzaakt door huidige trends - identificeer trends
Tweede vorm van verandering <i>verandering vanwege kritieke onzekerheden</i>	'external scenarios' - contextscenario's - opstellen van scenario's om mogelijke - toekomsten te identificeren	<i>geen expliciete referentie naar 'external scenarios'</i>	<i>geen expliciete referentie naar 'external scenarios'</i>
Derde vorm van verandering <i>bedoelde verandering</i>	beleidsscenario's - verkennen van alternatieve beleidsscenario's	langetermijnvisie - representeer waarden en meningen over de toekomst	verandering veroorzaakt door implementatie ontwerp - beschrijf interventies
Eindfase	identificeren van lange- en kortetermijnacties - ondersteunen van de ontwikkeling van beleidsstrategieën - masterplan met kortetermijnacties - contingency plan met langetermijnacties	kortetermijn- en langetermijnacties - kortetermijnacties op huidige problemen op te lossen - langetermijnacties om een gewenste toekomst te bereiken budget en strategie t.b.v. implementatie - faciliteer de vorming van 'commitment package'	impact - schat impact verandering in decision - ondersteun besluitvorming

Figuur 9: vergelijking tussen cyclische scenarioaanpak, de 'four-track' aanpak en het ontwerpframework van Steinitz

6.4 Vereisten van een alternatieve aanpak

Complexe en hoogdynamische vraagstukken, zoals klimaatverandering en de overstap naar een duurzaam energiesysteem, daagt de manier hoe we plannen en ontwerpen uit. Ruimtelijke planners hebben aan de ene kant scenariodenken omarmd, maar er is slechts weinig informatie te vinden over hoe vorm te geven aan een gewenste toekomst. Landschapsontwerpers, aan de andere kant, mogen misschien de vaardigheden bezitten om een gewenste fysieke omgeving te verbeelden, maar vergeten vaak om kritieke onzekerheden te verwerken in het visievormingsproces. Deze paragraaf sorteert voort op het verkennen van nieuwe middelen om langetermijnvisies op te stellen. Voordat we het nieuwe raamwerk presenteren, vatten we echter eerst samen waaraan een alternatieve aanpak zou moeten voldoen. Een raamwerk voor het opstellen van geïntegreerde visies moet:

flexibel genoeg zijn om afgestemd te worden op specifieke plaatsen en beschikbare hulpmiddelen (energiebronnen bijvoorbeeld);

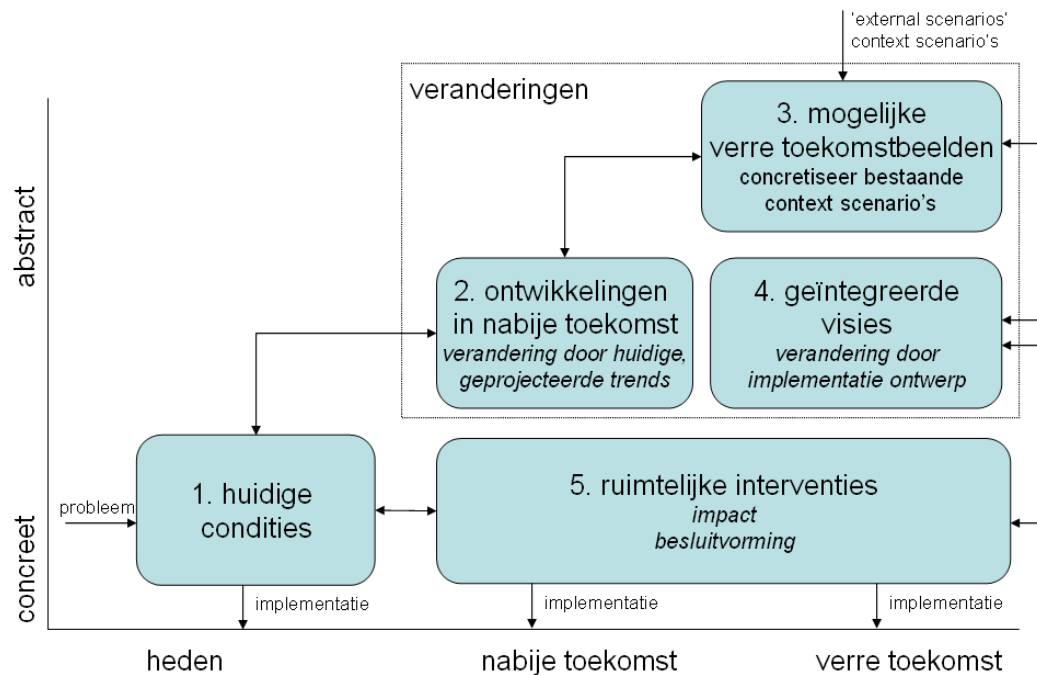
- de ontwikkeling faciliteren van context- en gebiedsspecifieke oplossingen;
- actieve participatie mogelijk maken van stakeholders in het visievormingsproces;
- transparant en expliciet zijn over stappen die rationeel zijn en stappen die normatief zijn;
- integreren van veranderingen vanwege huidige, geprojecteerde trends en beleidsuitgangspunten;
- integreren van veranderingen vanwege kritieke onzekerheden;
- streven naar alternatieve voorstellen, meer dan naar een enkel masterplan;
- het gebruikmaken van bestaande scenariostudies toestaan;
- helpen om innovatieve en robuuste interventies te ontdekken;
- de evaluatie van de robuustheid van mogelijke interventies mogelijk maken;
- voorkomen van het afsluiten van opties die pas in de toekomst mogelijk worden.

Kortom, het opstellen van geïntegreerde visies, om de woorden van Friedmann (2004-56) te gebruiken, is “het aftasten van de toekomst met het doel om vandaag verstandigere en wel overwogen beslissingen te kunnen nemen.” Hieronder zetten we de stap naar de vraag, hoe de verschillende bouwstenen zo te organiseren, dat een samenhangend raamwerk ontstaat dat voldoet aan de zo-even genoemde criteria.

6.5 Methodologisch raamwerk voor geïntegreerde visies

Albrechts (2006-116) heeft betoogd dat “strategische planning creatief denken vereist over mogelijke (en gewenste) toekomsten.” Hij stelt verder ook dat “om visies op de toekomst te construeren we behoefte hebben aan zowel een solide analyse die probeert om een plek te ontdekken die kan bestaan, als aan creativiteit voor het ontwerp van een plek die er anders niet zou zijn.” Het hier voorgestelde raamwerk doelt er op om het opstellen van geïntegreerde visies te faciliteren door ontwikkelingen in de nabije toekomst (verwachte, geprojecteerde trends), samen met

mogelijke verre toekomst (kritieke onzekerheden), en normatieve waarden (bedoelde verandering) samen te integreren in het visievormingsproces. Deze drie activiteiten worden aangevuld met een analyse van het casestudiegebied en een evaluatie van de mogelijke interventies (zie figuur 10).



Figuur 10: vijfstappenbenadering voor het opstellen van geïntegreerde langetermijnvisies

Het bovengetoonde raamwerk is georganiseerd rondom een set van vijf vragen, elk behorend bij een stap in het visievormingsproces. De set van vijf vragen moeten twee keer achterelkaar doorlopen worden. In de eerste ronde worden de context en de scope van de studie bepaald. Ook worden kaarten en andere data bijeengezocht en worden stakeholders en beleidsbepalers uitgenodigd om in de studie te participeren. Tijdens de tweede ronde worden de daadwerkelijke visies opgesteld. Hoewel het raamwerk uit vijf opeenvolgende stappen bestaat, is de visievorming zelf een iteratief proces. Het kan nodig zijn om terug te keren naar een eerdere stap in het proces om alle vragen volledig te beantwoorden. Indien noodzakelijk, kunnen bepaalde stappen uitgebreider uitgewerkt worden dan andere. Dat betekent dat het raamwerk kan worden aangepast aan de beschikbare tijd en

middelen. Figuur 11 toont een overzicht van de vijf stappen met de steeds bijbehorende middelen van representatie. Hieronder bespreken we het vijf-stappen raamwerk in meer detail.

Stap	Activiteit		Representatie
1	analyse van huidige condities	karakteristieken landschap	topografische kaart landgebruikskaart infrastructuurkaart
		huidige energiesysteem	energievoorzieningskaart transport, conversie en opslag energiegebruikskaart
		potentie renewables	zonne-energiekaart windenergiekaart waterkrachtkaat biomassakaart warmtekoedeopslagkaart geothermiekaart
2	karteren ontwikkelingen nabije toekomst		basiskaart nabije toekomst
3	Illustreren mogelijke verre toekomstbeelden	vier scenariobasiskaarten	Global Market' basiskaart Secure Region' basiskaart Global Solidarity' basiskaart Caring Region' basiskaart
4	opstellen geïntegreerde visies	vier energievisies	Global Market' energievisie Secure Region' energievisie Global Solidarity' energievisie Caring Region' energievisie
5	identificeren ruimtelijke interventies	energiebewuste interventies	Tabellen, tekst en referentiebeelden voor korte- en langetermijn interventies

Figuur 11: activiteiten en representatievormen van de vijf stappen

Stap 1: Analyse van huidige condities. De eerste fase concentreert zich op de vraag “hoe functioneert de huidige regio en hoe kan deze worden geëvalueerd in vergelijking tot andere regio’s?” In het geval van een energietransitie naar een energiesysteem gebaseerd op renewables is het nodig om zowel de huidige landschapskarakteristieken als het energiesysteem te analyseren. Bovendien moet ook de potenties voor renewables in kaart gebracht worden. Zie bijvoorbeeld Van den Dobbelsteen (2007) voor hoe je energiepotentiekaarten kunt opstellen. De analyse van de huidige condities kan het beste worden uitgevoerd door een multidisciplinair team waarbij planologen, ontwerpers, experts op een aantal focusonderwerpen en gebiedsexperts samenwerken.

Stap 2: Karteren van ontwikkelingen in nabije toekomst. De leidende vraag in de tweede fase is “hoe zal de regio veranderen in de nabije toekomst?” Om deze vraag te beantwoorden is er een analyse nodig van de huidige, geprojecteerde trends en het huidige, ingezette beleid. Dit kan door beleidsbepalers te raadplegen. Op deze manier

kan je bijvoorbeeld blootleggen waar landgebruiksveranderingen in de nabije toekomst gaan plaatsvinden. De Nieuwe Kaart van Nederland is hierbij een nuttig instrument. De toekomstige ontwikkelingen in een bepaald gebied worden gekarteerd op een zogenaamde nabije toekomst basiskaart. Veel van de ontwikkelingen die op een becommentarieerde topografische kaart staan, zullen in de fysieke omgeving nog geen zichtbare sporen hebben, maar de langetermijnontwikkeling van een gebied wel beïnvloeden.

Stap 3: Illustreren van mogelijke verre toekomst. De hoofdvraag in deze fase is “welk soort van mogelijke langetermijnontwikkelingen worden op welke locaties verwacht in het studiegebied?” Met behulp van bestaande nationale of regionale scenariostudies kan een palet aan mogelijke verre toekomstbeelden in hoofdlijnen worden geschetst (zie bijvoorbeeld: Hanemaaijer et al., 2007; Engelen et al., 2006). Hoe explicieter een scenariostudie is, des te makkelijker is het om mogelijke ontwikkelingen op een kaart te concretiseren. Niettemin kan elke verhaallijn van een scenario worden geïllustreerd op een zogenaamde scenariobasiskaart. De rationele analyse van bestaande contextscenario's en de illustratie van mogelijke veranderingen in de verre toekomst kan worden uitgevoerd door experts en gecontroleerd door stakeholders.

Stap 4: Opstellen van geïntegreerde visies. Het doel van de vierde fase is om een set geïntegreerde visies op te stellen. Elk van deze visies laat zien “hoe van een mogelijke toekomst een gewenste toekomst gemaakt kan worden?” Deze vraag kan natuurlijk verder gespecificeerd worden om specifieke aandachtspunten in een gebied te benadrukken. Geïntegreerde visies beogen niet om DE ideale toekomst te visualiseren. Daarvoor in de plaats ontsluiten ze verschillende routes om een gewenste toekomst te bereiken, bijvoorbeeld een geïntegreerd energie-ruimte landschap. Elke visie brengt de mogelijke interventies in beeld die passen bij de condities van een bepaald scenario. Om een breed spectrum aan mogelijke interventies te krijgen, lijkt het verstandig om deze normatieve stap op een interdisciplinaire wijze (of in een team met diverse disciplines) uit te voeren. Workshops en specifiek charrettes kunnen de benodigde communicatie over en weer faciliteren.

Stap 5: Het identificeren van ruimtelijke interventies. De bepalende vraag in deze laatste fase is “wat moeten we eigenlijk doen, nu?” Om de besluitvorming

mogelijk te maken worden mogelijke ruimtelijke interventies geïdentificeerd en op een overzichtelijke wijze in een soort lijst gepresenteerd. Tabellen en referentie-illustraties zijn behulpzaam in de discussie met beleidsmakers. Bovendien is het nodig om de interventies te bespreken in termen van robuustheid. Een vergelijkende analyse van de visies kan duidelijk maken hoe vaak een bepaalde interventie wordt genoemd. De robuustheid van een interventie kan als hoog worden beschouwd als deze verschijnt in diverse visies. Robuuste interventies kunnen op relatief korte termijn inzet van beleid worden, omdat ze minder gevoelig zijn voor kritieke onzekerheden (Carsjens, 2009). Minder robuuste interventies zijn daarentegen uiteindelijk wel nodig om een bepaalde doelstelling, of gewenste toekomst te bereiken, zoals een volledige transitie naar 100% renewables. Besluiten over dit type interventies worden meestal gaandeweg het besluitvormingstraject genomen. Tot slot, als tijd en middelen ervoor zijn, kunnen interventies ook verder bestudeerd worden bij toepassing van methodes als 'strategic choice approach' (Friend, 2001) en 'robustness analysis' (Rosenhead, 2001).

Voordat we conclusies zullen trekken, willen we wel eerst een aantal condities accentueren die belangrijk zijn voor de samenstelling van geïntegreerde visies. Het bestaan van contextscenario's is zo een eerste vereiste. Uiteraard kunnen contextscenario's ook zelf ontwikkeld worden, maar een studie die daarvoor nodig is, is vaak kosten- en tijdvreterend. Een tweede conditie is de bereidheid van stakeholders en beleidsbepalers om in het proces te participeren. Geïntegreerde visies hangen ook af van de beschikbaarheid van expertise over zowel de focusgebieden (bijvoorbeeld energie) als het bestudeerde gebied zelf, want gebiedskennis is essentieel. Een vierde voorwaarde is de beschikbaarheid van data en GIS-kaarten. Tot slot, kan het laten overlappen van de grenzen van het studiegebied met bestaande administratieve grenzen helpen om tijd en middelen te sparen.

6.6 Conclusie

Klimaatverandering, het opraken van veelgebruikte grondstoffen en een energietransitie betekenen voor de manier van plannen en ontwerpen van de fysieke leefomgeving nieuwe uitdagingen. De adaptatie aan bijvoorbeeld het verstandig gebruiken van renewables vereist langetermijn denken. De verre toekomst van grote,

territoriale systemen, echter, hangt af van kritieke onzekerheden en kan eerder beschouwd worden als onvoorspelbaar. Niettemin, kan een palet aan mogelijke toekomsten worden verkend met behulp van scenariostudies. In het verleden hebben strategische planners het rationele scenariodenken al geïntegreerd in het planproces (zie bijvoorbeeld: Lee, 1976). In deze paragraaf hebben we een methodiek uitgewerkt die de samenstelling van imaginaire, maar toch realistische visies mogelijk maakt. Hierbij zijn drie verschillende vormen van verandering (huidige, geprojecteerde trends, kritieke onzekerheden en bedoelde veranderingen) onderscheiden en alle drie hebben een plek gekregen in het visievormingsproces. Het ontstane raamwerk bestaat uit bouwstenen die zowel uit de strategische planningsliteratuur komen als uit theorie over landschapsontworp. Het visievormingsproces begint met een analyse van de huidige condities in het studiegebied. De fysieke realiteit van vandaag is echter niet het enige vertrekpunt in het ontwerpproces. Huidige trends worden doorgetrokken en gevisualiseerd evenals dat kritieke onzekerheden onderdeel worden van het visievormingsproces. In plaats van uitgaan van een enkele topografische kaart zijn de visies meer opgesteld op basis van een set van scenariobasiskaarten. Elke visie illustreert een gewenste toekomst en identificeert interventies die kunnen helpen om de brug tussen het heden en de betreffende toekomst te slaan.

De doelen van zulke geïntegreerde visies, vanuit ons perspectief, zijn om interventies in beeld te krijgen, afspraken tussen partijen mogelijk maken over de te volgen koers(en) en het ondersteunen van de ontwikkeling van strategisch beleid. Het toepassen van de vijf-staps benadering betekent niet noodzakelijkerwijze dat het leidt tot een traditioneel ruimtelijk plan. De interventies kunnen ook geïllustreerd worden met behulp van referentiefoto's of fotomontage bijvoorbeeld. De empirische data, bijvoorbeeld het aandeel van renewables, kan de besluitvorming verder ondersteunen. In deel C zullen we illustreren hoe de toepassing van deze methodiek in zowel Zuid-Limburg als Zuidoost-Drenthe leidt tot geïntegreerde visies. Daar bespreken we ook hoe de methode zich verhoudt tot de eerder genoemde criteria.

7 *Conditie voor het functioneren van robuuste energie-ruimte concepten*

In deel A hebben we bij de discussie over de transitie naar een nieuw energielandschap gezien dat het toepassen van het exergieprincipe vraagt om de inbedding van thermische netten in ruimtelijke structuren. Het betekent ook dat afstanden en distributiepatronen tussen verschillende ruimtelijke functies er in een gebied toe doen. Dat houdt weer in dat ruimte er toe doet en expliciet wordt, waarbij de ruimtelijke planning in het verleden heeft laten zien concepten te kunnen leveren, die regio's kunnen verbinden. Netwerkvorming lijkt hierbij een onmisbare schakel. Patroonherkenning, vereenvoudigingen en een systematische benadering gaan hand in hand met concepten die netwerken proberen te duiden. Om de conceptvorming handen en voeten te geven sluiten we aan bij grafentheorie en een aantal toepassingen hiervan, zoals de theory of the urban web.

7.1 Patronen in concepten

Concepten in de ruimtelijke planning hebben vaak tot doel om van herkenning van een bepaalde situatie via beleid uiteindelijk tot beheer van een gewenste situatie te komen. Patronen spelen hierbij een belangrijke rol. In hoofdlijnen kunnen er vier categorieën worden gemaakt waaruit de patronen uiteindelijk samengesteld bestaan. Dit zijn het scheiden/mengen van activiteiten in een bepaald gebied (mono-multi), het aantrekken/afstoten van bepaalde activiteiten in een bepaalde zone (pull/push), het verbinden (connecties leggen, waarbij vorm en omvang relevante subcategorieën zijn) en hiërarchie. Uit de encyclopedie der planconcepten (Zonneveld, 1991) halen we graag voorbeelden aan om voorgaande categorisering te verduidelijken.

Het scheiden en mengen van activiteiten komt bijvoorbeeld terug in concepten als: bufferstrook, bufferzone, bundeling, cityvorming, forumfunctie, functiemenging, functiescheiding, groene scheg/wig/lob, enzovoorts. Vaak is een soort klassieke scheiding tussen stad en land hierbij onderdeel van het concept. Ook zien we juist vaak bij het aantrekkelijk maken van bepaalde plekken in een gebied,

zoals het stadscentrum, dat juist het mengen van ruimtelijke functies het leidend adagium is. Ook het scheiden of juist mengen van verschillende verkeersstromen kan onderdeel zijn van concepten, zoals bij voetgangerzones, woonerfgedachtes, of transferia en eventueel in combinatie met specifieke ruimtelijke functies het A-B-C locatiebeleid.

Het aantrekken of juist afstoten van bepaalde functies komt ook frequent voor in ruimtelijke concepten. Vaak willen steden, regio's bepaalde gewenste ruimtelijke functies naar hun gebied lokken en juist de nimby's uit hun gebied weren. Een zonnecelfabriek wordt ongeveer overal met open armen ontvangen, terwijl windturbines of verbrandingsinstallaties bijna altijd beter ergens anders staan. Het bewust verspreiden van bepaalde gecentraliseerde diensten is een voorbeeld van waar aantrekken en afstoten samengaan in één concept, zoals bij de spreiding der Rijksdiensten. Ook concepten als agglomeratievorming, centralisatie, concentratie, decentralisatie, evenredige verdeling, groeigemeente, hoofdtransportas, metropoolvorming, selectieve groei of bijvoorbeeld een concept als stimuleringsgebied hebben in hoofdzaak te maken met het juist aantrekken of afstoten van bepaalde ruimtelijke functies of de groei daarvan.

De derde categorie die hier wordt onderscheiden is het wel of juist niet verbinden van bepaalde ruimtelijke structuren of functies. Niet zelden wordt een groep geclusterde ruimtelijke functies een bepaalde metaforische vorm toegedicht. Ook voor de vormen van steden en dorpen zijn allerhande metaforen in gebruik. Voorbeelden zijn de Brabantse stedenrij, corridor, het Groene Hart, groene ster, hoefijzervorm, lobbestad, Nederlandse steden-vierhoek, Noordvleugel, Randstad Holland, uitloopgebied, Twentse Stedenband en ook vingerstad. Dat zelfs het verbinden van een veelvoud van ruimtelijke functies in één Groene Hart (inclusief tuinbouwkassen, veilingen, tv-studio's, een stad als Gouda) succesvol kan zijn als concept, blijkt uit het feit dat het Groene Hart jarenlang een niet weg te denken concept is geweest in de Nederlandse ruimtelijke ordening.

Tot slot hebben we ook het woord hiërarchie gebruikt om een aparte categorie te duiden. Daarmee verwijzen we naar concepten die in hun patroon duidelijk onderscheid maken tussen een verschillende omvang van bepaalde ruimtelijke functies. Hiërarchie der kernen, hoofddorpingedachte, milieudifferentiatie, de stedelijke netwerken uit de Nota Ruimte, maar ook de Randstadmetropool gedachte

zijn voorbeelden waarbij in verschillende ruimtelijke schaalniveaus wordt gedacht die wel met elkaar verbonden zijn. De Randstadmetropool gedachte is hiervoor illustratief. De vier grote steden van Nederland zijn samen weer een maat groter, maar als metropool kan je niet zonder de afzonderlijke bijdrages van Rotterdam, Amsterdam, Den Haag of Utrecht. Dat geldt ook voor gedachte dat je in het landelijk gebied niet in ieder dorp of gehucht alle basisvoorzieningen in stand kan houden. Hierbij ontstaan Christaller-achtige vormen.

7.2 Concepten met patronen voor energielandschappen

Ook vertaald naar interventies ten behoeve van geïntegreerde energielandschappen zijn concepten denkbaar die elementen in zich herbergen uit elke categorie. Functies die warmte over hebben en functies die warmte nodig hebben, zou je bijvoorbeeld graag met elkaar willen mengen om exergiemotieven. Tegelijkertijd zou je bijvoorbeeld woonwijken willen scheiden, waarbij je onderscheidende kwaliteit huizen hebt, waardoor je met verschillende temperaturen kunt verwarmen. Op bedrijfsterreinen waar je zowel ruimte hebt, als “gaten” in een energiecascade zou je specifieke bedrijfstakken willen aantrekken, waarbij een concept als industrial ecology behulpzaam kan zijn. Ook het verbinden van diverse bedrijfsterreinen met elkaar en met nabijgelegen woonwijken is de moeite van het overwegen soms waard en ook daarbij zijn concepten denkbaar. Tot slot kun je je ook voorstellen dat bij het denken in warmtecascades er in de top (veel warmte op hoge temperaturen) weinig functies zijn, terwijl er aan de basis juist bijna oneindig veel zijn die om weinig warmte op relatief lage temperaturen vragen. Kortom, de indeling in de categorieën scheiden/mengen, aantrekken/afstoten, verbinden/ontkoppelen en hiërarchie verdient een nadere uitwerking.

Een interessante invalshoek vanuit de literatuur over stedelijke structuren is de ‘theory of the urban web’. Salingaros (2005) gaat in de theorie uit van drie structurerende principes in wat een stedelijk netwerk wordt genoemd: knooppunten, verbindingen en hiërarchie. Daarbij wordt betoogd dat een levende stad (living city) afhangt van een enorm aantal verschillende paden, routes en verbindingen. Bovendien gaat de evolutie van een stedelijk regio van dood naar levend plotseling, dat lijkt op een tipping point. Levende steden zijn ook steden met een coherente

vorm die volgens Salingaros ontstaan uit hiërarchisch samengaan van componenten, gebruikmakend van intensieve lokale verbindingen samen met lange afstandsverbindingen die disorde verminderen. Stedelijke samenhang kan enkel ontstaan bij een correcte combinatie van geometrie en connectiviteit. En juist in hedendaagse steden missen de twee wiskundige kwaliteiten, karakteristiek voor alle levende structuren, connectiviteit en fractale onderverdelingen (connectivity and fractal subdivision). Het beeld van hoe de wereld echter in elkaar steekt is de laatste decennia omgebogen op basis van uitkomsten uit de natuurkunde, complexiteitstheorie, hiërarchie theorie, systeemanalyse, computer wetenschappen, kunstmatige intelligentie en ook het begrip van fractals. Dit beeld is het tegengestelde van wat we in de moderne stedenbouw uit de 20e eeuw hebben gezien.

In de Salingaros' theorie spelen knooppunten, fractals, georganiseerde complexiteit en patronen samen een hoofdrol. De patronen van verbonden knooppunten in fractale structuren zijn een vorm van georganiseerde complexiteit. Het verbindt ook de principes van het stedelijk netwerk, de knooppunten met de verbindingen en hiërarchie. Diverse onderzoekers hebben ook eerder pogingen ondernomen om (vooral) de stedelijke planning in zulke theoretische termen te vangen. Zie voor het pionierswerk bijvoorbeeld Alexander (1964, 1965 en 2002). Battie en Longley (1994) gaan veel verder in het verbinden van fractals en de hiërarchieën in microstructuren met stedelijke patronen. Hillier (1996) stelt stedelijke vraagstukken als groei zelfs in termen van relaties, verbindingen en bewegingen tussen de verschillende onderdeeljes van een stad. Het idee dat het functioneren van steden, of ruimtelijke structuren in het algemeen, samenhangt met de verbindingen tussen functies, personen en de topologie van deze verbindingen wordt onderschreven. Het is daarom de moeite waard om iets verder op de principes van knooppunten, verbindingen en hiërarchie in te gaan.

Knooppunten of noden vormen samen met de onderlinge verbindingen een netwerk of web. Salingaros onderscheidt drie types van knooppunten, waarbij verschil gemaakt wordt tussen natuurlijke, architectonische (gebouwde) en knooppunten van menselijke activiteiten. Hierbij werken de eerste twee in het belang van de menselijke activiteiten. En het netwerk, het web bepaalt uiteindelijk de werkelijk afstand en routes tussen gebouwen en niet omgekeerd. Knooppunten die bijvoorbeeld te afgezonderd liggen, kunnen niet door een wandelroute of voetpad

worden verbonden. Een analogie met warmtenetten is te maken. Plekken of verzamelplekken van warmtevraag of –aanbod zijn pas van nut voor elkaar als ze verbonden zijn.

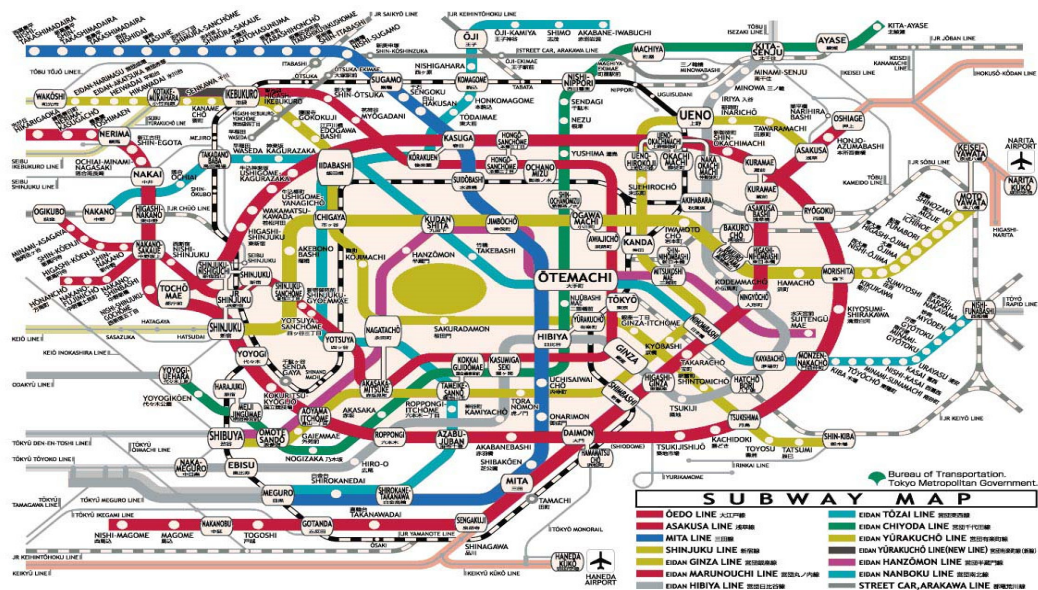
Verbindingen zijn daar om ook een essentieel onderdeel van het urbane web. Paargewijze verbindingen ontstaan tussen complementaire knooppunten, niet als knooppunten zelf. De lengte van de verbinding is essentieel, te lange verbindingen zijn onmogelijk, inefficiënt of duur. Daarom bestaan ze vaak uit korte rechte stukken infrastructuur tussen knooppunten. Om meer dan één verbinding tussen twee punten te creëren moeten in een horizontaal vlak de routes noodzakelijkerwijze echter gebogen of onregelmatig zijn. Als we de ondergrond en daarmee diepte gebruiken zijn meer verbindingen bovenelkaar mogelijk. Niettemin kan ook dan als er te veel verbindingen tussen twee knooppunten ontstaan, sprake zijn van een overload. Succesvolle verbindingen worden bepaald door de verbinding tussen contrasterende ruimtelijke vlakken en vormen zich langs grenzen.

Het derde relevante aspect is hiërarchie. Als je een stedelijk netwerk zijn gang laat gaan organiseert het zelf een geordende hiërarchie van verbindingen op een aantal verschillende schaalniveaus. Het systeem raakt meervoudig verbonden, waar wordt in principe geen chaos. Bij verkeersinfrastructuur moet je dan denken op kleine schaal aan heel veel voetpaden via minder lokale wegen tot uiteindelijk slechts één of een paar snelwegverbindingen. Als een schaalniveau aan verbindingen ontbreekt dan werkt een stedelijk netwerk niet optimaal. Salingaros (2005) noemt een dergelijk web pathologisch. Een stad met alleen snelwegen en voetpaden is dan ook ondenkbaar. Wel belangrijk om te bedenken, is dat een hiërarchie zelden in één keer ontstaat of kan worden gecreëerd. Ook voor warmtenetten is het belangrijk om een hiërarchie aan te brengen. De leiding die warmte tot in het huis brengt is een ander net, met bijbehorende andere kenmerken, dan een net dat als soort halsslagader de hele omgeving van warmte voorziet.

Kortom voor het goed functioneren van een web of netwerk, bijvoorbeeld een stedelijk netwerk, gaat het juist niet alleen om bepaalde knooppunten die ingevuld kunnen worden door gebouwen, of ruimtelijke zones. Zo zijn architectonische elementen die menselijke activiteiten niet versterken zelden succesvol, als ze zichzelf isoleren van een stedelijk web. Het aantal en de vormen van verbindingen of relaties tussen punten van menselijke activiteiten is ongelooflijk groot. Organisatie hiervan

vraagt om het combineren van meervoudige verbondenheid met een hiërarchische ordening. Een deel van een netwerk kan georganiseerd lijken, maar niet verbonden zijn, terwijl een ander deel niet georganiseerd mag lijken, maar juist wel in hoge mate verbonden en functioneel is. Zo kan een bedrijfsterein met allerlei losse fabrieken goed georganiseerd lijken, maar kan de onderlinge verbondenheid, ook in energetische termen, afwezig zijn. Omgekeerd kan een gebied ook bijzonder amorf verstedelijkt zijn, maar toch goed verbonden zijn en functioneel energiekwaliteiten uitwisselen. Met andere woorden, het gaat er om bij een verzameling van losse punten die onderling wel verbonden kunnen worden, goed na te denken over de structuur en hiërarchie bij het meervoudig verbinden.

Dit meervoudig verbinden komt ook tot uitdrukking in wat de theory of multiple connectivity wordt genoemd. Waar het om gaat, is dat, verbindende routes ook in de stedelijke praktijk meervoudig en onregelmatig blijken te zijn. Sitte (jaar?) betoogt, dat het plezier dat bezoekers hebben van Middeleeuwse steden samenhangt met de gebogen straten met een veelvoud aan afslagen, een wirwar. In suburbane ontwikkelingen is dit een tijd lang gedeeltelijk nagedaan met bochtige straten, maar daarbij is de interne en externe verbondenheid vaak gering. Verbindingen worden gereduceerd of voorkomen door de aanleg van straten in een vorm van een looping, ringstructuren, of doodlopende wegen. Deze benadering heeft zelfs vaak het doel om woonwijken, dus knooppunten, te isoleren. Tegelijkertijd wordt dan de vorming van een echt stedelijk netwerk belemmerd. Vanuit de echte fysica wordt de theory of multiple connectivity ook ondersteund. Zie hiervoor Feynman's 'path integral formulation of quantum mechanics' (jaar!), de interactie tussen twee objecten kan gelijkgesteld worden aan de som van de interactie via alle mogelijke routes. Om de totale interactie zo krachtig mogelijk te krijgen, of om een urbaan web sterk te verbinden, is het alleen mogelijk met behulp van een veelvoud aan onregelmatige paden. De metrokaart van Tokyo wordt in de literatuur veelvuldig gebruikt als voorbeeld van hoe verschillende netwerklagen boven op elkaar prima functioneren, zie figuur 12.

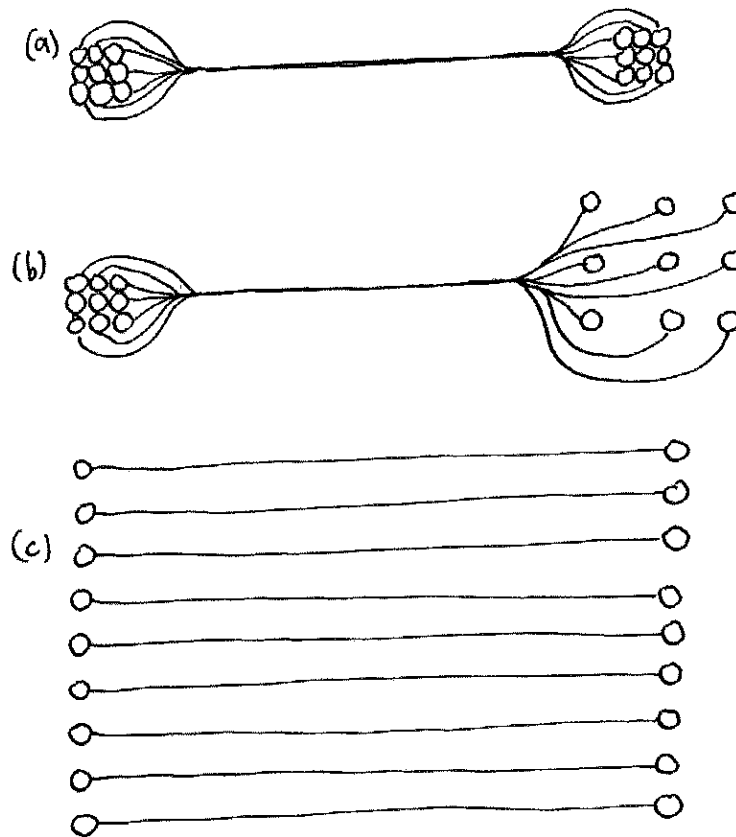


Figuur 12: metrokaart van Tokyo met daarin een gelaagd netwerk, dat goed georganiseerd is

Uiteindelijk is dus de verspreiding van de knooppunten, maar ook de verschillende verbindingen tussen de knooppunten van groot belang. Daarbij spelen gelaagdheid (hiërarchie) maar ook stabiliteit van het netwerk een rol, dat tot uitdrukking komt in een concept als meervoudige verbondenheid. In een netwerk kunnen vervolgens overconcentratie van knooppunten, het uitvallen van verbindingen, of congestie (het overvragen van een verbinding) tot ongewenste effecten leiden. Om de kwaliteit en samenhang van netwerken beter in beeld te krijgen en te bestuderen in grafentheorie erg behulpzaam.

Ook een notie over complexiteit helpt bij het begrijpen van netwerken van verbonden knooppunten. Het verbinden van steeds meer punten met elkaar leidt er stap voor stap toe, dat de algehele structuur qua organisatiegraad groeit. Opvallend noemt Salingaros (2005) het dat dit sterk lijkt op een fasetransitie. Op een bepaald moment wordt een punt bereikt dat alles zo aan een in gegroeid, dat er sprake is van organisatie. Vanaf dat moment zal een waarnemer het systeem ervaren als aan elkaar verbonden. Uiteindelijk hangt de organisatiegraad van een complex systeem direct samen met de verhouding tussen het aantal verbindingen en het aantal knooppunten in een systeem. In figuur 13 staat afgebeeld hoe schematisch en mathematisch

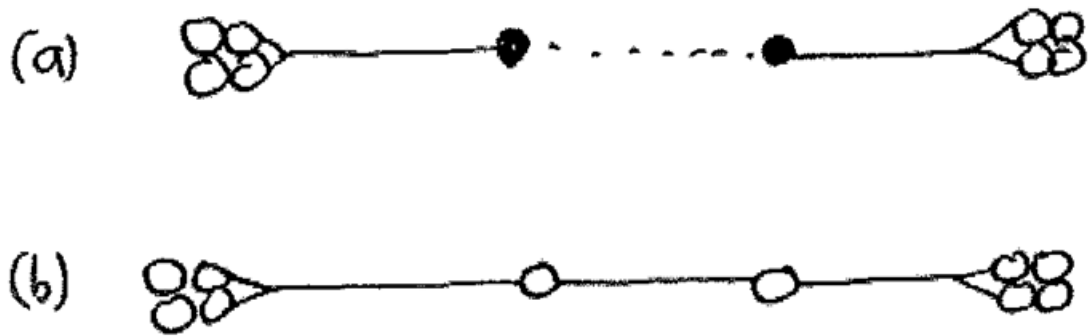
verbindingen tussen functies er soms uitzien en dat het daarbij van belang is om goed op te letten op de echt verbondenheid.



Figuur 13: situatie (a) illustreert hoe een kantoorgebouw verbonden is door één drukke verbinding met een groot appartementencomplex, (b) toont de relatie tussen een fabriek en een voorstad, in (c) staat de mathematische betekenis van beide verbindingen, die in zijn geheel niet op een web lijken (overgenomen uit Salingaros, 2005).

Naast de organisatiegraad die dus toeneemt als een web ontstaat, is het ook belangrijk om te bedenken, dat verbindingen pas ontstaan als afstanden tussen knooppunten niet te groot zijn. Bovendien ontstaan verbindingen van nature enkel tussen complementaire of contrasterende knooppunten. Dat betekent dat om een verbinding tussen twee voor een bepaald type te ver uitelkaar gelegen knooppunten

mogelijk te maken, moet je er nieuwe punten (complementair of constrasterend) tussen voegen, zoals figuur 14 (overgenomen uit Salingaros, 2005) laat zien.



Figuur 14: het verbinden van knooppunten op afstand van elkaar (Salingaros, 2005)

7.3 Het verbinden: een belangrijke schakel in conceptvorming

De vervolgstap is om voorbij knooppunten en verbindingen in routes te gaan denken, in paden. Er ontstaan pas functionele routes als er in een voldoende dichtheid een variëteit aan functies, lees knooppunten, zijn. Multifunctionaliteit is volgens Van Kann en de Roo (2008) ook een belangrijk aspect bij exergieplanning. Dat maakt het ook theoretisch relevant om bij de vorming van energienetwerken tussen allerlei knooppunten van ruimtelijke functies goed na te denken over het scheiden en concentreren van functies. Alleen de segregatie of concentratie van functies kan stedelijke netwerken vernietigen of creëert ongebruikte routes. Dat is een argument om bij integrale conceptvorming de eerder genoemde vier categorieën scheiden/mengen, aantrekken/afstoten, verbinden/ontkoppelen en hiërarchie in één verhaal te plaatsen.

Mathematisch gezien zijn routes of paden lineaire elementen die bepaald worden door het verschil tussen contrasterende of onderscheidenlijke regio's of zones. Hierbij zijn ze enkel succesvol als ze samenvallen met de grens van een dergelijke zone, zoals de omkadering van een gebouw, de "edges". In grafentheorie zijn "paths and edges" hetzelfde, een theorie die behulpzaam is bij het begrijpen van netwerken. We gaan met andere woorden gebouwen beschouwen als knooppunten (vertices) en de verbindingen tussen de gebouwen zien als lijnstukken (edges) in een

graaf. Het doel van deze exercitie is om op basis van grafentheorie uitspraken te doen over de kwaliteit van bepaalde netwerkvormen en daarmee de ruimtelijke conceptvorming in specifieke regio's behulpzaam te kunnen zijn. Patroonherkenning is immers één van de functies die ruimtelijke concepten kunnen hebben. Om deze patronen, geduid als lijnstukken tussen contrasterende of complementaire punten in energiewebs te begrijpen gaan we dieper in op grafentheorie. Dat het distribueren van energiekwaliteiten alleen effectief is, als er een contrasterende vraag is, of een complementair aanbod spreekt voor zich. Maar welke patronen zijn nu mogelijk in een complex van ruimtelijke functies dat een specifieke regio vaak is?

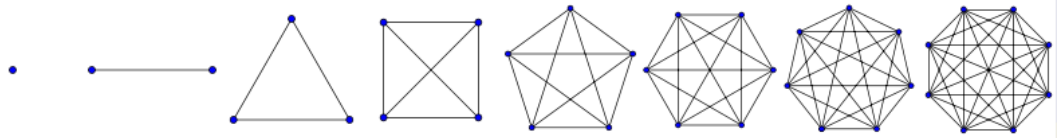
Bij ruimtelijke systemen wordt er soms van de fictie uitgegaan dat het om gesloten systemen gaat. Daarentegen moeten de meeste systemen als een open systeem beschouwd worden. Wirth (1979) wees er al wel op dat bij een geografische bestudering van zulke in principe open systemen er niet ontkomen kan worden aan het trekken van een grens. In het trekken van die grens zit dan altijd een subjectief element. Maar als dan een dergelijke grens getrokken is, is het ook mogelijk om het geheel aan verbindingen tussen verschillende ruimtelijke functies in een gebied in beeld te brengen in bijvoorbeeld een graaf.

Karakteristieken die vervolgens te onderscheiden zijn, zijn de mate van geordendheid (veel – weinig), het bestaan van subsystemen, in casu subgrafen, en de verbindingsgraad, die aangeeft of een systeem intern sterk of juist zwak verbonden is. Bij de geordendheid van systemen zijn specifieke ruimtelijke verspreidingspatronen te herkennen. Wirth (1979) noemt clustering of agglomeratie, regelmatige anticlustering (een verdeling met overal dezelfde dichtheid) en toevallige verspreiding. Grafen (of “Die Verfahren der Anschaulichen Topologie”) bieden de mogelijkheid om ook netwerken van en tussen ruimtelijke functies te beoordelen. Afstanden, capaciteiten, of de mate van gebruik kunnen allemaal een gewicht leveren voor de verwijdering in een graaf tussen twee punten. Dat biedt ruimte voor vraagstukken als de kortste route, de geringste kosten, of bijvoorbeeld de grootste gebiedsdekking van een netwerk. De kenmerken inzake subsystemen, de verbindingsgraad, maar ook de kwaliteit van een netwerk zijn relevant voor de derde generatie energielandschappen, daarom hieronder een deel basis grafentheorie.

Een graaf $G = (V(G), E(G), I_G)$ en dat wil in woorden zoveel zeggen als, dat een graaf G een verzameling is van ‘Vertices’ of punten of knooppunten en ‘Edges’ of

lijnen met daarbij een ‘Incidence kaart’. De representatie van een graaf is ook op andere oppervlakten mogelijk, hier beperken we ons tot de kaart. Vaak wordt de diagram van een graaf gezien als de graaf zelf.

De volgende grafen zijn voorbeelden van volledige grafen:



Figuur 15: voorbeeld grafen

Bij de zo-even getoonde grafen is een aantal specifieke karakteristieken al genoemd. Zo is ook het verschil tussen enkelvoudige en meervoudige edges op te merken. Ook een loop is relevant. Denk hierbij respectievelijk aan een éénrichtingsweg, een weg en een ringweg of rotonde. Het verschil tussen een gelabelde versus niet gelabelde graaf is ook belangrijk. Dat is relevant in een specifiek ruimtelijk systeem, waarbij een gelabelde graaf overeenkomt met specifieke plekken, of specifieke verbindingen en een niet gelabelde graaf een generieke situatie beschrijft. Ook is in extremen getoond hoe een graaf volledig kan zijn, maar ook hoe een graaf volledig niet verbonden kan zijn. Daarnaast kunnen soms ook subgrafen bestaan in een graaf. Dat zijn evenals subsystemen, delen die een geheel vormen binnen een groter systeem, maar wel apart geïdentificeerd kunnen worden. Tot slot, noemen we de “spanning-subgraaf”, dat is een subgraaf in een graaf, die minder verbindingen (edges) heeft dan de echte graaf, maar wel alle punten (vertices) met elkaar verbindt. Het behoeft weinig inbeeldingsvermogen om te bedenken dat deze interessant kunnen zijn om een minimaal netwerk op te bouwen in een graaf die een hele regio representeert. Daarom bestuderen we ook de literatuur over hoe grafen nuttig zijn bij het beoordelen van netwerken.

7.4 Netwerkvariabelen om samenhang van concepten te begrijpen

Het bestuderen van netwerken is een onderwerp dat in het zoeklicht staat van onderzoekers (Watts, 2003). Recent hebben Derrible en Kennedy (2009) de staat,

vorm en structuur van metronetwerken geanalyseerd met behulp van grafentheorie. Het gebruik van grafentheorie bij netwerken is zeker niet nieuw. Garrison en Marble (1962, 1964) hebben indicatoren uitgewerkt die iets zeggen over het ontwerp van een netwerk, zoals α circuit, β complexity en γ degree of connectivity. Ook het werk van Kansky (1963) bevat inmiddels klassieke elementen voor indicatoren die de complexiteit en eigenschappen van een netwerk beschrijven. Larm en Schuler (1981, 1982) gebruikten de indicatoren bij het bestuderen van busnetwerken en introduceerden nieuwe maten gerelateerd aan reistijd. Als uitwerking op eerder eigen werk hebben Derrible en Kennedy (2010) ook de discussie over de complexiteit in samenhang met de robuustheid van metronetwerken opgepakt.

Een analogie met energienetwerken en specifiek warmte- en koudenetten is te maken. Bij metrolijnen gaat het om begrippen als stations, haltes, spoorverbindingen, lijnen, overstapstations en indicatoren als de mate van verbondenheid, gemiddelde lijnlengte, aantal stations, directheid, dekkingsgraad, enzovoorts. Voor warmte- en koudenetten zijn de stations de afgifte- en opnamepunten van thermische energie. De spoorverbindingen zijn in deze thermische buisleidingen, die een bepaalde vervoersstroom (forenzen versus koude) mogelijk maken. De overstapstations zijn te vergelijken met plekken in het netwerk waar een aantal warmteleidingen bij elkaar komen om verschillende temperaturen op bepaalde momenten uit te wisselen. Ook het optreden van overlappende lijnen bij transportnetwerken, waarbij bijvoorbeeld een aantal metrolijnen dezelfde station verbinden, is naar analogie zichtbaar bij warmtenetten. Bij deze netten moet je dan denken aan lijnen van verschillende temperaturen in plaats van lijn 1 en 5. Ook de indicatoren voor de metronetwerken zijn bruikbaar voor warmtenetten. Idealiter wil je een netwerk dat zoveel mogelijk stations (warmte afgifte- en opnamepunten) met elkaar verbindt met zo kort mogelijk lijnen.

Metronetwerken worden door Derrible en Kennedy (2009) gecategoriseerd aan de hand van drie criteria: status, vorm en structuur. Hierbij stellen ze dat de methode die ze gebruiken additioneel is aan traditionele planningsfactoren. Ze betogen bovendien dat deze in het bijzonder nuttig is op het strategisch beslisniveau, omdat ze informatie bevat die nuttig is bij het maken van visies, het stellen van nieuwe doelen en besluitvorming bij het scenario's. Naast de klassieke karakteristieken als demografie, geografie, vraag, kosten, enzovoorts, benadrukt deze

methode juist het netwerkontwerp op een directe manier. Met het ontwerp wordt bedoeld het aantal lijnen, overstappunten en niet de operationele aspecten als dienstregelingen, capaciteit, vormgeving. Het netwerkontwerp groeit qua belang als infrastructuursystemen groeien.

Bij het criterium status gaat het vooral om de fase waarin de ontwikkeling van een netwerk zich bevindt. Complexiteit en de graad van verbondenheid zijn hierbij twee variabelen. Met complexiteit (β) doelen Derrible en Kennedy (2009) op de verhouding tussen het aantal edges en de vertices, of met andere woorden het aantal lijnen gedeeld door het aantal overstap- en eindstations. De graad van verbondenheid (γ) drukken ze uit als verhouding van het aantal edges ten opzichte van het maximaal aantal edges dat nodig is om een systeem volledig te verbinden. In het artikel leiden ze af, dat de graad van verbondenheid kan worden uitgedrukt middels: waarbij e = edges en v = vertices.

$$\gamma = \frac{e}{3v - 6} = \frac{e}{e_{\max}}$$

Het criterium vorm gaat over de relatie tussen het metrosysteem, meer generiek het netwerk, en de gebouwde omgeving. Hierbij worden drie netwerktypes onderscheiden, netwerken die respectievelijk georiënteerd zijn op regionale toegankelijkheid, lokale dekking of regionale dekking. Het doel van dit criterium is om te achterhalen of een netwerk een meer lokale of regionale focus heeft. Hierbij moet je bij metronetwerken op regionale schaal denken aan het verbinden van woon- en werkgebieden. Een meer lokale focus kan betekenen dat het netwerk meer gericht is om bijvoorbeeld in een binnenstad mensen te verplaatsten van a naar b. De regionale of lokale focus heeft te maken met de strategie die bij de visie op het netwerk hoort, zoals het aantal lijnen, het aantal stations en de totale netwerk lengte. Gemiddeld langere lijnen zijn bijvoorbeeld een teken voor een meer regionaal georiënteerd netwerk. Ook de afstand tussen stations is een variabele die iets kan zeggen over de oriëntatie. Als de afstand tussen stations groter wordt, is het waarschijnlijker dat het om een regionaal in plaats van lokaal georiënteerd netwerk gaat.

Tot slot benadrukt het criterium structuur de intrinsieke eigenschappen van de huidige netwerken. Dan gaat het om indicatoren als verbondenheid en directheid. De verbondenheid of connectiviteit in een indicator voor de welgesteldheid en belangrijkheid van verbindingen in het systeem. Deze connectiviteit (ρ) wordt in het

werk van Derrible en Kennedy (2009) uitgedrukt als de verhouding tussen het aantal overstapmogelijkheden minus de som van het aantal meervoudige edges (waar twee lijnen dus dezelfde route rijden) en de som van het aantal overstapknooppunten (vertices). De teller in deze breuk is gelijk aan wat het totaal aantal netto overstapmogelijkheden wordt genoemd. In formuletaal is dit het volgende:

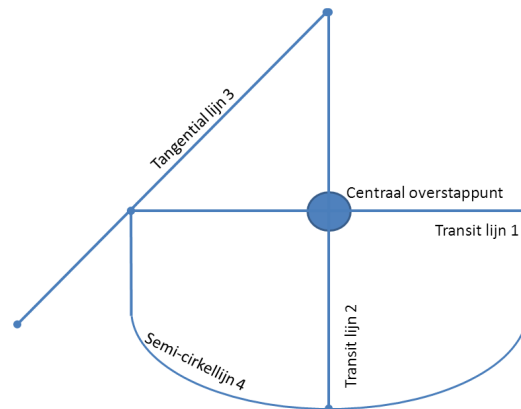
$$\rho = \frac{v_c^t - e^m}{v^t} = \frac{\sum_i (l-1) \cdot v_{i,l} - \frac{1}{2} \left(\sum_{ij} (e_{ij} - \frac{e_{ij}}{e_{ij}}) \right)}{\sum_{i,l \neq 1} v_{i,l}}$$

De noemer van de breuk, de som van het aantal overstappunten, wordt gebruikt om de indicator te standaardiseren, iets wat de indicator onafhankelijk maakt voor de netwerkomvang. De indicator benadrukt in de teller door de eerste term de rol van hubs. Een overstapstation met meer dan twee lijn telt vaker mee dan een overstappunt met slechts twee lijnen. Voor de connectiviteit is dat meestal ook voordelig, omdat er dan alternatieve routes kunnen ontstaan. Iets wat de structuur van het netwerk volwassener maakt.

De tweede indicator voor de netwerkstructuur is directheid (τ). Dat is een maat voor de mate waarin bestemmingen in een metronetwerk direct te bereiken zijn en hoeveel of –weinig er overgestapt moet worden. Gerelateerd aan warmtenetten is het een maat die kan vertellen hoeveel verschillende ruimtelijke functies of eenheden zoals woonwijken en huizen er gemiddeld direct met elkaar verbonden zijn. Dat zegt weer iets over de back-up systemen die nodig kunnen zijn om als achtervang te dienen. De directheid is voor de metronetwerken gelijk aan de verhouding tussen het aantal lijnen en de netwerkdiameter, die gelijkgesteld is aan het aantal maximaal aantal overstappen.

In de netwerken wordt specifiek voor metronetwerken een drietal lijnen onderscheiden. Naast transit lijnen die de hoofdverbinding vormen tussen het stadscentrum en de buitenwijken, zijn er tangential lijnen die delen van buitenwijken met elkaar verbinden en in ieder geval niet via een centraal punt lopen maar buitenlangs gaan. De derde lijn is de cirkellijn. Dat is een lijn die meestal bedoeld is om de interne verbondenheid van een netwerk te vergroten en als een soort basis voor een uitgebreid netwerk fungeert. In figuur 18 is deze driedeling schematisch weergegeven. Ook voor energienetten, specifiek warmtenetten, is deze driedeling

relevant. Enerzijds zijn er situaties denkbaar waarbij leidingen, lees lijnen, vanuit een centrum naar buitenwijken lopen van hogere naar lagere bebouwingsdichtheid. Anderzijds zijn leidingen denkbaar tussen bijvoorbeeld industrie- en woongebieden, die meer op tangential lijnen lijken. Tot slot is ook in een warmtenet een cirkellijn of ringleiding goed denkbaar.



Figuur 16: verschil in lijntypes – transit, tangential, (semi-)cirkellijn

Bij de stap van netwerken naar grafen worden de knooppunten uit figuur 16 vervolgens vertices. Hierbij zijn twee benaderingen denkbaar. Enerzijds is het mogelijk om alle haltes en stations als punt in de graaf te zien. Anderzijds is het een optie om alleen overstapsstations en eindpunten als vertices te beschouwen. De lijnen tussen de knooppunten, alias stations, worden edges. Tot slot wordt een nieuwe maat ingebracht en dat is het maximaal aantal overstappen dat nodig is om van een willekeurig punt op een lijn op een ander willekeurig punt op welke lijn dan ook te komen via de kortste route. Dit maximum aantal overstappen, in grafietheorie meestal netwerkdiameter genoemd (δ), is meestal niet eenvoudig te vinden. Dong en Chen (2005) hebben met het vertalen van het probleem in een nieuwe graaf, waar transit lijnen vertices en waar overstapstations edges worden, een vereenvoudiging aangebracht. Verder is het aantal stations, of bijvoorbeeld afgiftepunten voor warmte, nog steeds een relevante maat voor de dekking in een gebied. Ook het aantal lijnen, eventuele aftakkingen (of sublijnen) en de totale lengte zijn relevant.

Bij de ontwikkeling van netwerken worden aan de hand van de eerder genoemde criteria (status, vorm en structuur) ook een categorisering aangebracht. Waar het bij status gaat om drie fases, gaat het bij vorm om de reeds genoemde

driedeling tussen regionale toegankelijkheid versus lokale of regionale dekking. Bij structuur gaat het om een driedeling tussen hoofdzakelijk directe systemen, hoofdzakelijk verbonden systemen met een hoge structurele verbondenheid en geïntegreerde systemen die beide kenmerken hebben.

Voor de status van een netwerk geldt dat in de opstartfase de complexiteit van het netwerk relatief gering is, omdat je begint met het aanleggen van één of een beperkt aantal lijnen en er dus relatief veel vertices zijn ten opzichte van edges. De graad van verbondenheid is dan meestal ook laag. Derrible en Kennedy (2009) noemen waarden van β tot 1,3 en γ tot 0,5 als horend bij fase 1. In de tweede fase als het netwerk geleidelijk groeit dan worden nieuwe lijnen met nieuwe overstap- en eindpunten toegevoegd, waarbij het aantal edges ook toeneemt en de complexiteit ook groeit. Met de groei van het aantal knooppunten neemt ook de graad van verbondenheid in verhouding toe. Hierbij horen waarden van β tot 1,6 en γ tot 0,6. In de derde fase, als het netwerk echt groeit en substantieel uitgebreid is, wordt de verhouding tussen edges (lijnen) en knooppunten (eindstations en overstappunten) nagenoeg constant. Met het toevoegen van een lijn(stuk) komen er half zo veel knooppunten bij. De graad van verbondenheid neemt ongeveer toe tot 66% en op zo'n moment is een netwerk bijna volledig verbonden. De bijbehorende waardes zijn, β tot 1,96 en γ tot 0,7.

Voor de vorm van het netwerk geldt dat de bijbehorende eigenschappen als lengte van de routes, het aantal lijnen en het aantal stations elkaar beïnvloeden. Toch ontwikkelen niet alle netwerken op dezelfde manier. Dat is ook logisch, omdat de vorm van het netwerk de samenhang uitdrukt tussen het infrastructuursysteem en de gebouwde omgeving. En juist deze gebouwde omgeving is in iedere situatie uniek. Niettemin wordt het onderscheid tussen regionale toegankelijkheid en lokale dekking gemaakt. Bij de eerste netwerkvorm is de gemiddelde lijnlengte groter, zo ook de afstand tussen stations. Voor de netwerken waarbij lokale dekking er toe doet, zijn er relatief veel stations en blijft de gemiddelde lijnlengte kleiner. De regionale dekking is een netwerkvorm die hiertussenin zit. Dat zijn systemen waarbij de kern, de centrale city, goed voorzien is van een dekkend metronet, maar waarbij er ook verbindingen zijn met de omliggende gebieden. Dit zijn bijvoorbeeld systemen met voorstadslijnen en bijvoorbeeld bebouwingscorridoren langs snelwegen, kustlijnen, rivieren of spoorlijnen.

Het is ook voor thermische netten relevant om onderscheid te maken tussen ruimtelijke structuren in een gebied. Is er sprake van een hoofdzakelijk dichte stedelijke kern, waarbij een netwerk eerder de vorm van lokale dekking nodig heeft? Dan is een netwerk met veel opname- en afgiftepunten van warmte nodig, waarbij warmteleidingen relatief kort zijn. Omgekeerd zijn er gebieden denkbaar waarbij er verspreide clusters van ruimtelijke kernen zijn in een agglomeratie. Dan is een netwerk met gemiddeld langere lijnen nodig met verhoudingsgewijs minder opname- en afgiftepunten per afstand. In zo'n specifieke situatie heeft het nadenken over een goede isolatie van thermische leidingen hopelijk meer aandacht. Ook een tussenvorm is denkbaar in een gebied met een aanzienlijke centrale kern, waarbij uitwisseling van warmte en koude op grote schaal kan plaatsvinden. Daarnaast zijn er dan gebieden in de omgeving waar regionale lijnen naar toe lopen, omdat er bijvoorbeeld warmtevragende of warmteleverende clusters liggen. Met andere woorden, de ontwikkeling van de vorm van een netwerk en specifieke bebouwingspatronen hangen met elkaar samen.

Ook is er nog een relatie te leggen tussen de vorm van een transportnetwerk en het type lijnen, zoals weergegeven in figuur 16. Als de regionale toegankelijkheid het kenmerk van de netwerkvorm is, mag bij metronetwerken verwacht worden dat er relatief lange radiale en diametrale lijnen zijn. Bij de lokale dekking als netwerkvorm mogen juist meer korte (semi)-cirkellijnen en tangentiële lijnen verwacht worden. Bij systemen waar regionale dekking de netwerkvorm is, in er vaak een mix aan lijntypes voorhanden.

Tot slot is er de ontwikkeling van netwerken in de relatie met netwerkstructuren. Hierbij komen de twee criteria structurele verbondenheid en directheid aan bod als maatgevend. Geïntegreerde netwerken hebben echter hoge waarden voor beide criteria, want er is geen trade-off tussen beide criteria. Een netwerk kan zowel direct als goed verbonden zijn, onafhankelijk van de omvang. De netwerkvormen waarbij de structuur meer op directheid focust dan op structurele verbondenheid hebben de neiging om meer regionaal dan lokaal georiënteerd te zijn. Ook voor geïntegreerde energielandschappen is het van belang om thermische netten zo in te bedden, dat er enerzijds sprake is van directheid (om warmtetransportverliezen te voorkomen) en anderzijds van structurele verbondenheid, omdat dit laatste een factor is voor de robuustheid van het netwerk.

Hiermee noemen we de laatste factor die van groot belang is voor energienetwerken. Naast de genoemde structuur, status en vorm, die vooral ruimtelijk relevant zijn, is er ook het criterium van robuustheid.

Met robuustheid van het netwerk wordt de mate bedoeld waarin een netwerk beïnvloedbaar is door externe en interne invloeden. Bij metronetten is dit te zien als hoe groot is het effect voor het netwerk als opeens een lijn uitvalt. Of wat gebeurt er als een overstapstation uit dienst wordt genomen? Volgens Derrible en Kennedy (2010) kunnen metronetwerken worden beschouwd als scale-free networks and small-worlds. Het scale-free karakter houdt in dat de kans dat een vertex met meerdere edges verbonden is, een machtsfunctie is. Dat betekent concreet voor metronetwerken, dat de kans dat er cycli ontstaan sterk toeneemt als het aantal vertices (dus eindpunten of overstapstations) groeit. Bovendien hebben metronetwerken de gewoonte om meer geclusterd te raken als ze in omvang toenemen (small-world karakter) en dat heeft een belangrijke invloed op de robuustheid van het systeem. De toename heeft er wederom mee te maken dat netwerken als ze meer geclusterd raken, de neiging hebben om meer cycli te creëren in het netwerk. Dat wil zeggen, dat je meer rondjes kan rijden in een metronetwerk. Een toename van robuustheid en clustering gaan hierbij hand in hand. In de beginfase van de netwerkontwikkeling is vooral het aantal mogelijke cycli van invloed op de robuustheid. Later, als het netwerk groeit en verder ontwikkelt, worden zowel de cycli als de clustering van belang voor de robuustheid. Waar eerder de metrokaart van Tokyo is getoond als voorbeeld van een urban web (Salingaros, 2005), noemen Derrible en Kennedy (2010) Tokyo ook het meest robuuste metrosysteem, qua netwerkontwerp. Dat heeft alles te maken met de eigenschap van het netwerk dat er ook buiten het centrum hubs zijn gecreëerd, waar twee of meer lijnen bij elkaar komen. Kortom bij het nadenken over de robuustheid van infrastructuurnetwerken qua ontwerpvorm is het goed om in ruimtelijke clusters en in ringstructuren te denken in zowel de kern als periferie van een gebied.

In hoofdlijnen kunnen we op basis van voorgaande ook strategieën noemen om thermische netten robuuster te krijgen met als uitgangspunt het netwerkontwerp. Ten eerste is er de stap om meer verzamelpunten (nodes en daarmee vertices) van warmte en koude te creëren in een gebied en te verbinden. Dit vergroot de verbondenheid. Hierbij moet gedacht worden om ten tweede radiale

leidingen aan te leggen, van een bepaald warmtecluster naar een volgend. Daarna is het zaak om het volgende cluster te laten uitgroeien tot opnieuw een knooppunt en door te verbinden met een ander gebied. Kortom creëer een hub, is stap drie. Tegelijkertijd ontstaan er dan meestal schaalvoordelen in het netwerk en wordt ondanks de groei van het aantal leidingen de directheid van het netwerk niet minder (stap 4). De laatste stap bestaat er uit om na te denken over de aanleg van tangentiële of (semi-)ringleidingen die nieuwe knooppunten creëren met bestaande leidingen. Dit leidt tot een toename van de structurele verbondenheid en de robuustheid van het gehele netwerk. Uiteindelijk zijn het een paar kleine en korte schakels in een uitgebreid netwerk, die echt zorgen voor het ontstaan van het small-world netwerkeffect en daarmee robuuste structuren (zie: Watts en Strogatz, 1998).

Samenvattend kunnen we stellen dat het:

Energie en ruimtelijke planning, een spannende combinatie

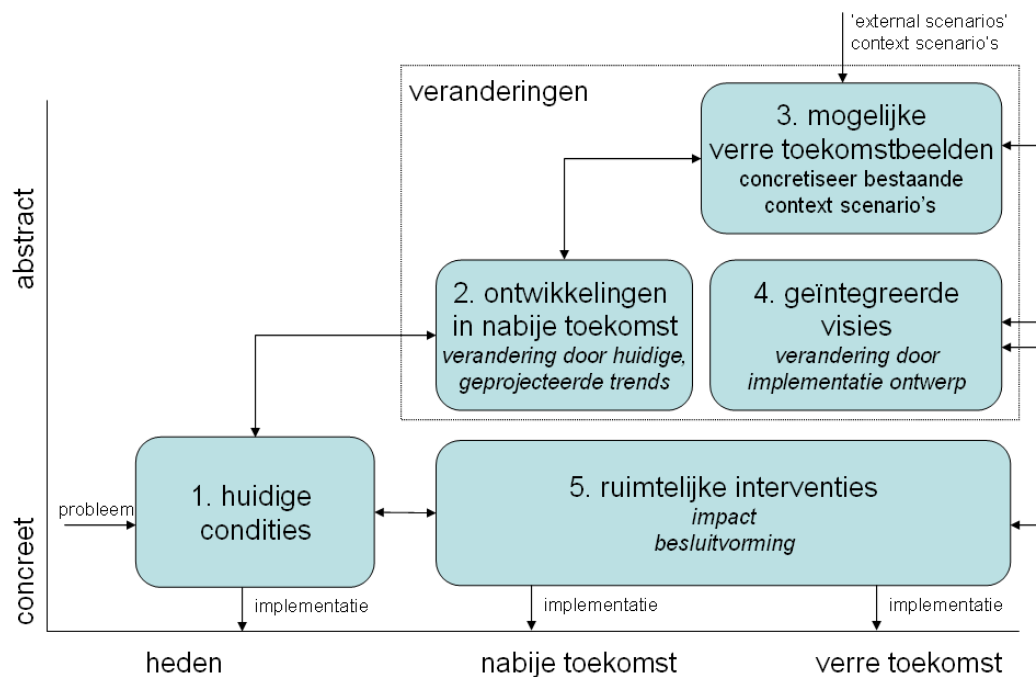
**Over integrale ruimtelijke conceptvorming op een regionale schaal
met exergie als basis**

Deel C

Empirie

8 Exergieplanning op regionale schaal: Zuid-Limburg

In delen A en B is het energie-ruimte vraagstuk in een breder perspectief geplaatst en is een methodiek uitgewerkt om tot integrale ruimtelijke concepten te komen. Dan worden concepten bedoeld die exergie als basis hebben op een regionale schaal. In dit hoofdstuk gaan we aan de slag in Zuid-Limburg. De routekaart als weergegeven in figuur 1 is hierbij een leidraad in de casestudy. Tegelijkertijd wordt getoetst in de empirie of de methodiek werkbaar is en leidt tot de verwachte resultaten.

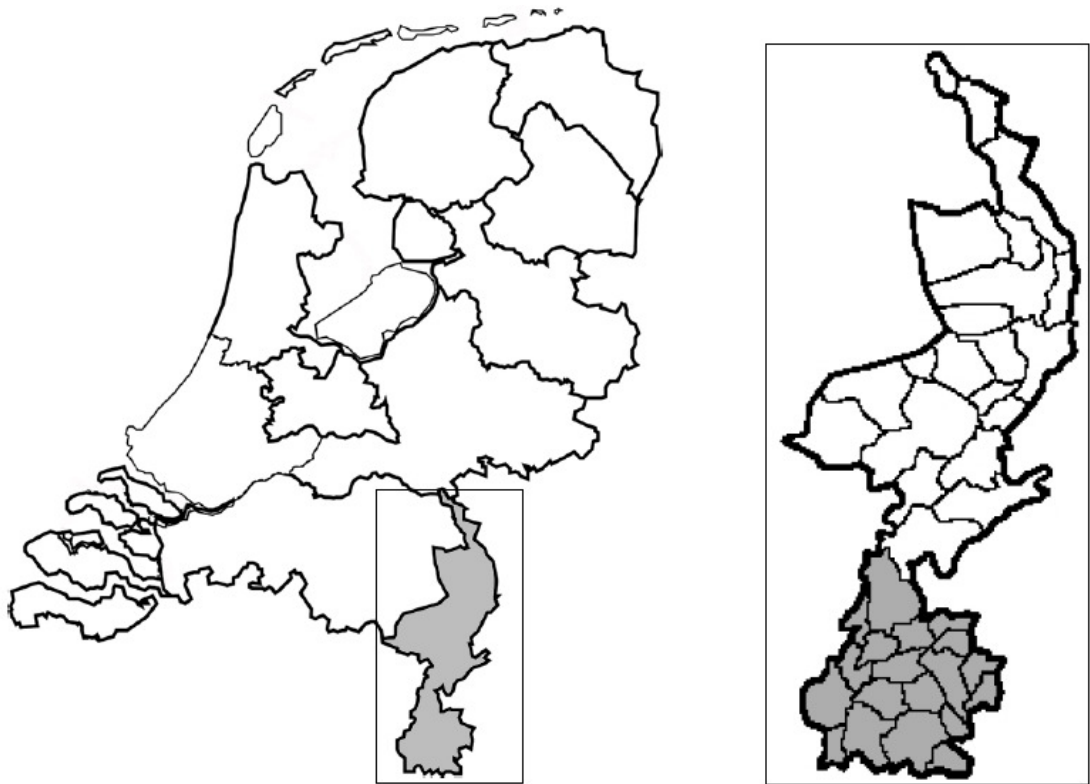


figuur 1: routekaart voor integrale energie-ruimte visies in Zuid-Limburg

Eerst zal de case, Zuid-Limburg, concreet vanuit het heden geanalyseerd worden in paragraaf 8.1. Vervolgens wordt de sprong in de toekomst gemaakt naar 2040 en de context van de veranderingen geschetst. Dat gebeurt in paragraaf 8.2. Op basis van beelden op de toekomst, de wensen van nu en de exergiebenadering uit deze studie wordt in paragraaf 8.3 toegewerkt naar integrale energie-ruimte concepten.

8.1 Zuid-Limburg: de huidige condities als vertrekpunt

In deze paragraaf wordt de specifieke situatie van het casestudiegebied Zuid-Limburg geanalyseerd en beschreven. Naast een paar basale aspecten als de ligging van Zuid-Limburg staan de karakteristieken centraal die van belang zijn om tot integrale energie-ruimte concepten. Zuid-Limburg wordt hierbij beschreven vanuit het hier en nu en zo concreet mogelijk. Uiteindelijk is de “foto” van Zuid-Limburg in de volgende paragraaf het vertrekpunt om mogelijke transitiepaden voor Zuid-Limburg uit te tekenen.

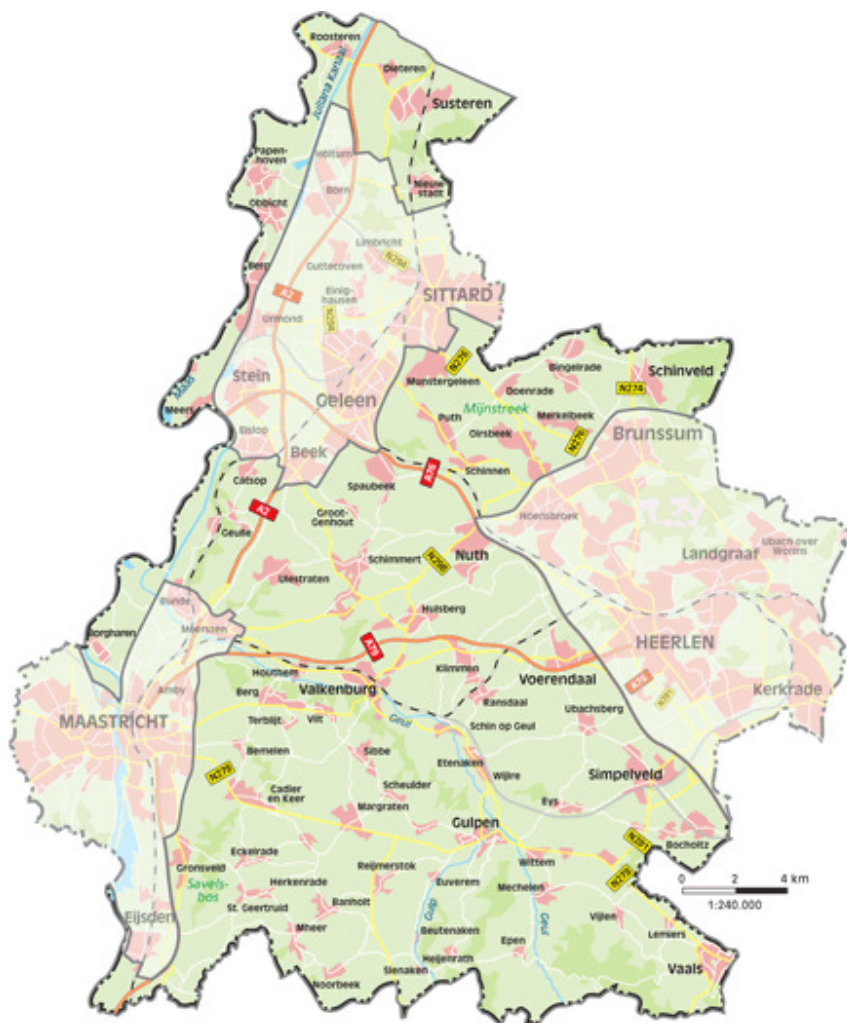


figuur 2: kaart van Limburg in Nederland (links) en Zuid-Limburg in de provincie Limburg (rechts)

De regio Zuid-Limburg is het zuidelijkste deel van zowel Nederland als de provincie Limburg. Het is een gebied dat slechts voor een beperkt deel grenst aan Nederland. Bepalender voor de regio zijn de grenzen met Duitsland en België. Voor studiedoeleinden is een dergelijke regio behoorlijk ideaal. De regio is als case zonder al te veel discussie helder af te grenzen van andere gebieden. De landsgrenzen zijn

duidelijke barrières in het landschap. Bovendien is er binnen de regio sprake van één set aan juridische, fiscale en bestuurlijke randvoorwaarden. De helder afgebakende regio zelf is bestuurlijk nog wel opgedeeld in achttien gemeentes (in 2011).

Het is ruimtelijk gezien een drukke regio. Er is een veelheid aan ruimtelijke functies aanwezig en dat komt niet in de laatste plaats door de aanzienlijke bevolkingsdichtheid. Op een oppervlakte van ongeveer 660 vierkante kilometer (1,6% van Nederland) wonen bijna 608.000 mensen (3,7%), waardoor het gebied ook voor Nederlandse maatstaven als dichtbevolkt geldt. Tegelijkertijd is het grootste deel van Zuid-Limburg (67%) een Nationaal Landschap, zoals bedoeld en benoemd in de Nota Ruimte, met een unieke combinatie van agrarisch gebied, natuur en cultuurhistorie. Het resterende deel valt uiteen in drie stedelijke agglomeraties, te weten: Maastricht, Sittard-Geleen en de agglomeratie Parkstad Limburg met Heerlen als hoofdplaats. Zuid-Limburg is daarbij overigens wel één van de gebieden in Nederland dat al een tijdje te maken heeft met het verschijnsel bevolkingskrimp. Niettemin behoudt de regio voorlopig een stedelijk karakter rondom een grote, groene kern, zie figuur 2.



figuur 2: nationaal landschap Zuid-Limburg met rondom de stedelijke agglomeraties

In de onderstaande tabel staan de kerncijfers voor de achttien verschillende gemeentes en daarmee de regio Zuid-Limburg als geheel samengevat. De grootste gemeente qua oppervlakte is Sittard-Geleen. De meeste inwoners wonen in Maastricht en de hoogste bevolkingsdichtheid is er in Kerkrade. Maastricht geldt als hoofdstad van Limburg en daarmee ook Zuid-Limburg. Het provinciebestuur zetelt in deze plaats en dat geldt ook voor instituten als de rechtbank en de grootste universiteit. Tegelijkertijd wint de stedelijke agglomeratie Parkstad Limburg (Brunssum, Landgraaf, Heerlen en Kerkrade) de strijd om de grootste agglomeratie in zowel oppervlakte, inwonertal en bevolkingsdichtheid. Het grootste

aaneengesloten bedrijventerrein (Chemelot 8 km²) ligt echter in de gemeente Sittard-Geleen en huisvest een groot petrochemisch complex.

De grootste toeristische dagattractie ligt dan weer in Landgraaf (Snowworld), terwijl het aantal toeristische overnachtingen in Zuid-Limburg in absolute zin (3,9 miljoen overnachtingen door 1,7 miljoen gasten in 2010) ook aanzienlijk is. Deze overnachtingen zijn verspreid over 447 locaties in Zuid-Limburg, die 52.000 slaappleatsen aanbieden. Het zwaartepunt hiervan ligt in het landelijke gebied. Kortom, Zuid-Limburg is een regio met gefragmenteerde clusters van zeer diverse ruimtelijke functies van wonen tot werken en van recreëren tot besturen.

Kerncijfers:

2010	Bevolking	Bevolking	Oppervlakte	Oppervlakte	Oppervlakte
	Aantal inwoners	Bevolkingsdichtheid	Totaal	Land	Water
Gemeentes	aantal	aantal inwoners per km ²	hectare	hectare	hectare
Beek	16580	790	2100	2100	0
Brunssum	29450	1716	1729	1716	13
Eijsden-Margraten	24845	317	7846	7746	100
Gulpen-Wittem	14595	199	7337	7318	19
Heerlen	89235	1982	4550	4502	47
Kerkrade	47685	2174	2217	2193	24
Landgraaf	38455	1563	2469	2460	8
Maastricht	118535	2086	6006	5682	324
Meerssen	19565	721	2771	2715	55
Nuth	15665	473	3317	3315	3
Onderbanken	8110	383	2124	2118	6
Schinnen	13495	560	2413	2408	5
Simpelveld	10995	686	1603	1603	0
Sittard-Geleen	95245	1205	8062	7905	158
Stein	25675	1211	2278	2120	158
Vaals	9870	413	2390	2389	1
Valkenburg aan de Geul	17090	466	3691	3671	20
Voerendaal	12705	403	3155	3154	1
Zuid-Limburg	607795	920	66058	65115	942

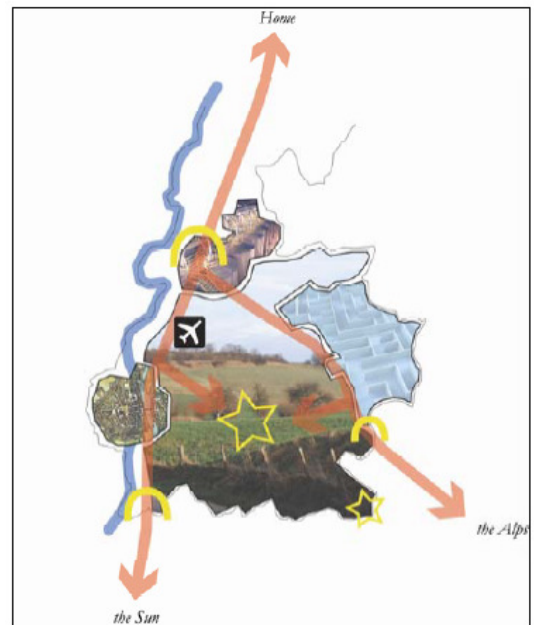
Tabel 1: kerncijfers Zuid-Limburg

Zuid-Limburg is ook een regio van contrasten. Het verschil tussen de stedelijke en landelijke gebieden is reeds genoemd. Ook landschappelijk herbergt het gebied opmerkelijke verschillen, zowel interregionaal als intraregionaal. In vergelijking met andere regio's in Nederland valt het reliëf op. Ook binnen de regio

zijn hoogteverschillen duidelijk aanwezig. De beekdalen en de plateaus hebben meestal een verschillend landgebruik. Deze contrasten vormen in potentie interessante aanknopingspunten voor energielandschappen. Uit deel A, in hoofdstuk 4, kwam naar voren dat er juist in het niet monofunctionele landschap kansen liggen voor een spannende combinatie van energie en ruimtelijke planning. Zuid-Limburg lijkt die kansen te bieden.

Voorts, is het ook nog relevant om de economische structuur van Zuid-Limburg uit de doeken te doen. Vanuit bestaande ruimtelijk-functionele structuren zal immers de omslag gemaakt dienen te worden naar een nieuw integraal energielandschap. De Zuid-Limburgse economische drivers zijn de petrochemische industrie in Sittard-Geleen. Ook zit er verspreid over de bedrijfsterreinen in de drie stedelijke agglomeraties nog een aanzienlijk deel proces- en maakindustrie. Ook het hoger onderwijs en de dienstensector meer in het algemeen leveren hun bijdrages in hoofdzakelijk Maastricht en Heerlen. Toerisme is een belangrijke motor voor het zuidelijk deel van het heuvelland en levert ook in de stedelijke gebieden een inkomstbron op. Op de plateaus in Zuid-Limburg en langs de oevers van de Maas levert ook de landbouw nog een bijdrage aan de regionale economie. Kortom, ook in economische termen is Zuid-Limburg als regio divers, naast industrie zijn er de dienstensector, toerisme en de landbouw.

Stremke en Etteger (2007) vatten het beeld van Zuid-Limburg samen in twee visualisaties, waarbij ze onderscheid maken tussen een beeld van insiders en van buitenstaanders. Buitenstaanders kennen vooral de doorgaande snelwegen en noemen DSM, Maastricht en Valkenburg. Parkstad Limburg wordt niet of nauwelijks herkend. Intern vallen de eigen taal, de katholieke cultuur en de sterk verschillende identiteiten van Parkstad Limburg en Maastricht op. Ook wordt een driedeling gezien in het heuvelland tussen gebieden voor toerisme, landbouw en recreatie voor Zuid-Limburgers zelf.



Figuren 3 en 4: beelden van Zuid-Limburg: intern en extern een wereld van verschil en contrast

Afrondend wordt hier stilgestaan bij de infrastructuur in Zuid-Limburg. Het is zoals inmiddels duidelijk is, een regio van contrasten, waardoor ook diverse (verkeers)stromen verwacht mogen worden binnen en buiten de regio. Het uitgebreide wegennet faciliteert dit. Drie snelwegen (A2, A76 en A79) zorgen voor de interne en externe verbindingen. De grenzen met Vlaanderen (A76), Wallonië (A2) en Duitsland (A76) zijn geen barrière. Ook het onderliggende regionale en lokale wegennet is uitgebreid en bereikbaarheidsproblemen op of over de weg spelen nauwelijks in Zuid-Limburg. Het vervoer per spoor is eveneens in een soort driehoek tussen Sittard/Maastricht/Heerlen goed geregeld. Grensoverschrijdende verbindingen zijn evenwel van een lagere kwaliteit dan bij het wegverkeer. De energie-infrastructuur tot slot vertoont een wisselend beeld. Het (aard)gasnetwerk bestaat in Nederland uit drie lagen (nationaal, regionaal en lokaal netwerk) en is ook in Zuid-Limburg goed ontwikkeld en verbonden met het nationale aardgasnetwerk. Ook zijn er vijf grensoverschrijdende pijpleidingen naar België en Duitsland. Het elektriciteitsnetwerk daarentegen is enkel verbonden met het Nederlandse hoogspanningsnetwerk. Er zijn dus geen grensoverschrijdende verbindingen in de regio. Het laatste type energie-infrastructuur zijn de bestaande warmtenetten. Die

zijn uitsluitend lokaal aanwezig in Sittard, Geleen, Maastricht en Heerlen. Kortom Zuid-Limburg is intern via allerlei vormen van infrastructuur goed verbonden ook met andere regio's in Nederland. Voor energie is Zuid-Limburg qua stroom- en warmtedistributie een Nederlands (schier)eiland.

Om deze paragraaf af te ronden staan we nog kort stil bij de energiepotenties in de regio. De klimatologische omstandigheden zijn grosso modo in de regio gelijk. Het regent weliswaar iets meer richting het zuidoosten van de regio. Dit hangt samen met het reliëf. Toch zijn de verschillen op jaarbasis tussen 750 mm en 900 mm per vierkante meter niet echt noemenswaardig vanuit een energie-oogpunt, mede gelet op het relatief beperkt verval. De waterkrachtpotenties in de vorm van stuwmeren zijn daarvoor te gering. Ook qua wind is de regio homogeen. De gemiddelde windsnelheid op de grond bedraagt in de hele regio 4-4,5 m/s. Op 100 meter boven de grond zijn er wel verschillen tussen de gebieden, maar die hangen samen met generieke factoren als bebouwing en bossen, die overal de windsnelheid verlagen. Ook de zon schijnt in de regio overal ongeveer even veel, gemiddeld tussen de 1450-1500 uur per jaar. Daarmee is de inkomende jaarlijkse zonnestraling in de regio gelijk aan 355-360 kJ/cm². De geothermische en bio-energetische potenties in minder mate verschillen wel binnen de regio. Deze energiepotenties zijn sterker locatiegebonden. In de regio Parkstad Limburg zijn er bijvoorbeeld door de voormalige steenkoolwinning aldaar, grote man-made aquifers beschikbaar voor warmte-koudeopslag. Kortom, voor Zuid-Limburg geldt evenals voor andere gebieden, zoals in hoofdstuk 4 betoogd is, dat de regio als één geheel beschouwd kan worden voor zon, wind, waterkracht en de energiedrager elektriciteit. Voor bio-energie en geothermie inclusief warmtekoudeopslag en de energiedragers biobrandstoffen en thermische energie geldt dat zelfs op regionale schaal een per gebied verschillende benadering nodig kan zijn.

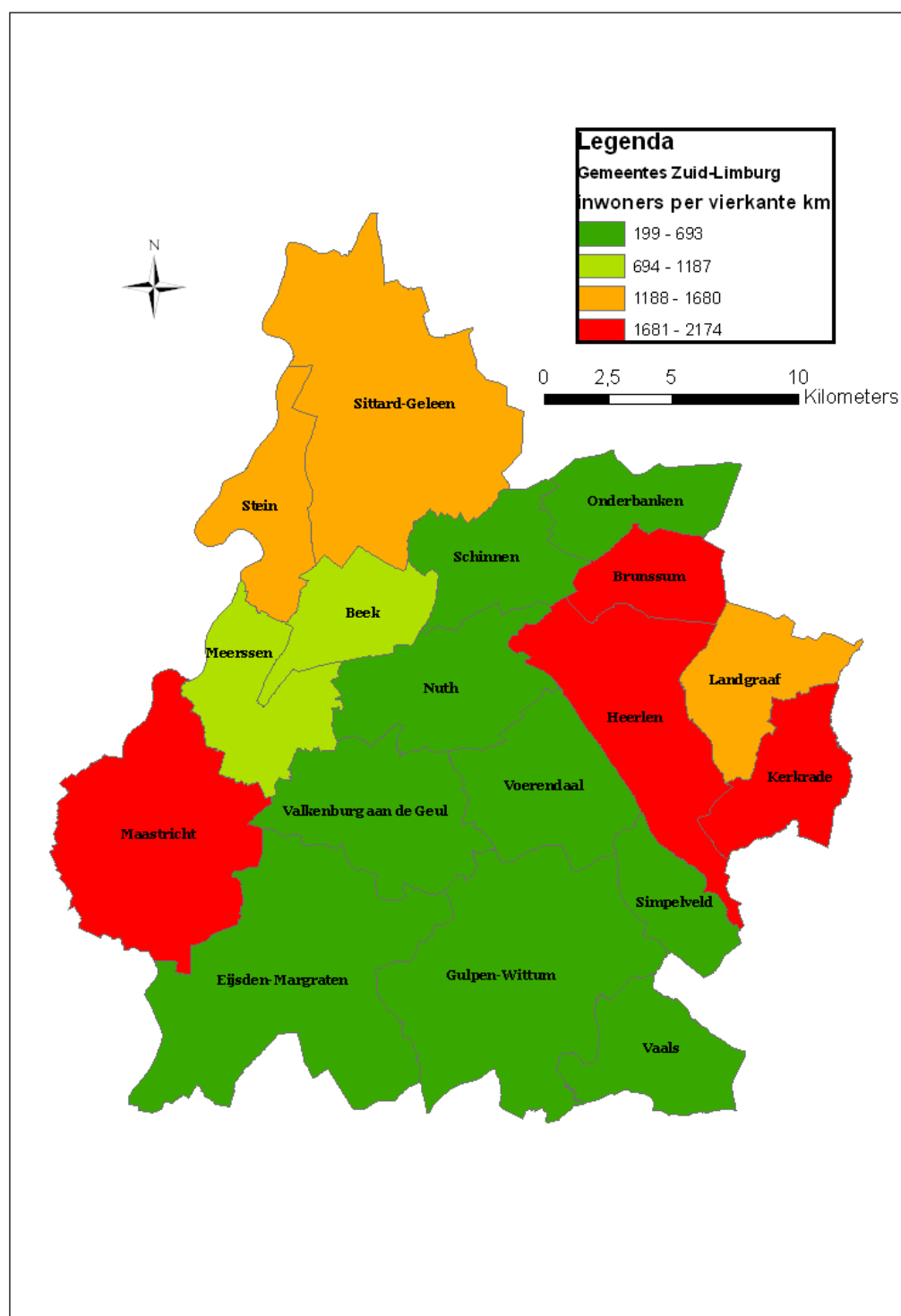
Hierna staan tot slot drie kaarten van Zuid-Limburg om te illustreren welke gemeentes nu waar liggen, waar Parkstad Limburg ligt en hoe het is gesteld met de bevolkingsdichtheden.



figuur 5: gemeentes in Zuid-Limburg



figuur 6: gemeentes in Zuid-Limbur en de stadsregio Parkstad Limburg



figuur 7: bevolkingsdichtheid in Zuid-Limburg per gemeente

8.2 Zuid-Limburg in 2040: de context van veranderingen

In deze paragraaf schetsen we toekomstbeelden voor Zuid-Limburg richting 2040. Deze toekomstbeelden helpen om een context inzichtelijk te maken, waarbinnen energie-ruimte interventies kunnen plaatsvinden. De verhaallijnen en de keuze voor de mogelijke technieken zijn gebaseerd op de WLO-scenario's van de Nederlandse Planbureaus (WLO, 2006) en de doorvertaling daarvan naar Limburg door de provincie (Provincie Limburg, 2007). Onze focus ligt met name op de energie-ruimte consequenties.

Wij hebben bij de keuze van de technieken voor de verschillende scenario's een onderscheid gemaakt tussen de regionale scenario's, die de oplossingen meer lokaal zoeken – binnen de regio, Z-Limburg, en kleinschalig – en de mondiale scenario's die de oplossingen meer op een wereldschaal zoeken en grootschalig zijn. De solidariteit scenario's besteden meer aandacht aan mens en milieu dan de efficiency scenario's. Die focussen meer op economie. De efficiency scenario's hebben meer monofunctionele technieken, tegenover meer multifunctionele techniek bij de solidariteit scenario's. Waarschijnlijk is de reden hiervoor dat monofunctionele technieken misschien niet de meeste energie- of maatschappelijke opbrengst leveren, maar wel goedkoper gerealiseerd kunnen worden. Uit 'Limburg, een generatie verder.', doorvertaling van de WLO-scenario's door de provincie Limburg komt verder naar voren dat de efficiency scenario's meer gebruik maken van conventionele technieken en energiebronnen dan de solidariteit scenario's. Mogelijk ligt de reden erin dat conventionele technieken geen ontwikkelingskosten meer hebben, en dit geldt niet voor nieuw ontwikkelde technieken.

Onze verhaallijnen zijn regionaal gericht: wij zien Zuid-Limburg als onderzoeksregio. Dat verschilt van de nationale en provinciale visie, waar Europa als één regio geldt. Om alle energiepotenties voor Limburg te inventariseren, en de mogelijkheden van Limburg om in zijn eigen energiebehoefte te voorzien te beschrijven, gaan we strikter om met het begrip regio. De vier scenario's voor Zuid-Limburg zijn: Global Market, Secure Region, Global Solidarity en Caring Region.

Mondiale Markt – Global Market

Context

De algemene kenmerken van dit scenario zijn een open en mondiale markt, en een voortgaande mondialisering en liberalisering. De wereld denkt kapitalistisch en is marktgeoriënteerd. Er is een hoge mate van economische en technologische ontwikkeling. De burgers zijn individualistisch en materialistisch ingesteld. Het in standhouden van de welvaartstaat (sociale aspecten) is geen prioriteit en de interesse voor de kwaliteit van de leefomgeving neemt af.

De bevolking in Limburg kent een daling, het aantal jongeren neemt af en het aantal ouderen neemt toe. De daling in bevolking is het geringst in vergelijking met de andere scenario's.

Energie en transport

Om aan de voortdurend groeiende vraag naar energie, in alle sectoren, te voldoen, wordt in dit scenario grootschalig gebruik gemaakt van fossiele brandstoffen – olie, gas en kolen. Deze fossiele brandstoffen worden meestal op conventionele wijze geconverteerd en gedistribueerd, denk bijv. aan verbranding. De brandstoffen zelf zijn in feite de energieopslag zelf. Ze worden uit de bodem gehaald als ze nodig zijn, zodat er weinig energieopslag nodig is. Distributie van energie gebeurt via pijpleidingen, over de weg en over het water, efficiënt met grote hoeveelheden. Verbranding gebeurt ook efficiënt, op een grote schaal, het liefst om alleen elektriciteit op te wekken omdat deze eenvoudig en tegen lage kosten over relatief grote afstanden, met hoge spanning, gedistribueerd kan worden naar de afnemers. Elektriciteit is een veelzijdige energiebron die bij de afnemer voor diverse doelen gebruikt kan worden: kracht/machines, apparatuur/verlichting, koeling en verwarming.

Gebruik van restwarmte uit de elektriciteitsproductie of andere vormen van restwarmtegebruik zijn economisch niet interessant vanwege de hoge kosten van een warmtedistributienet. Omdat het efficiënt is, wordt wel warmte afgezet binnen of dichtbij de eigen locatie. Allereerst worden de mogelijkheden voor toepassing van de warmte binnen de eigen industriële locatie geëxploreerd, bijv. restwarmte van de fabriek wordt gebruikt voor het verwarmen van de kantoren van het bedrijf. In de praktijk wordt dit bijvoorbeeld al toegepast op het Zernikecomplex van de Universiteit Groningen: de warmte van één supercomputer wordt lokaal gebruikt

voor verwarming van universiteitsgebouwen. Als tweede worden ook verbindingen met dichtbij gelegen warmtevragers, zoals woonwijken of kantoorcomplexen, als mogelijk interessant gezien. Een derde mogelijkheid is aansluiting op bestaande, dichtbij gelegen warmtenetten.

Voor transportmiddelen, zoals auto's, schepen en vliegtuigen, is opslag van energie wel belangrijk, omdat deze transportmiddelen niet met een netwerk verbonden kunnen worden als er een flexibel bereik mee nagestreefd wordt. Opslag van energie in de vorm van geraffineerde fossiele energiedragers – diesel, kerosine, benzine en LPG – is dan het meest economisch. Dit komt omdat deze dragers een relatief grote energiedichtheid bij een laag gewicht en kleine inhoud hebben bij opslag. Met de hoge energiedichtheid kan op een efficiënte wijze, een groot gebied op vele plaatsen bereikt worden.

Vanwege het al aanwezige fijnmazige gasnet, zijn geen extra investeringen nodig om aardgas te distribueren. Dus voor Nederland en ook Zuid-Limburg is aardgas een economisch rendabele bron voor lokale warmteopwekking.

Bij een 'Mondiale Markt'-scenario vinden we winplaatsen van de fossiele brandstoffen buiten het gezichtsveld van Limburg, in andere delen van de wereld. De fossiele brandstof wordt, meestal over water, efficiënt naar overslagpunten gebracht en daar grootschalig direct omgezet in elektrische energie. Dat wil zeggen dat de elektriciteitscentrales aan de waterwegen liggen, meestal direct aan zee bij een haven. Hier kan ook op eenvoudige wijze de afvalwarmte geloosd worden in het zeewater. Omdat Zuid-Limburg niet over grote waterwegen beschikt, verwachten we niet dat er nieuwe centrales, dus ook geen kernenergie, in Zuid-Limburg worden gebouwd. De elektriciteit wordt met hoogspanningskabels gedistribueerd naar de steden en industriegebieden, waarbij de industriegebieden vanwege grootschalige grondstoffentoevoer meestal ook bij de haven liggen. Het wonen ligt verder van de industrie omdat hier veiligheidszones omheen liggen. Arbeiders pendelen dagelijks met hun auto tussen werken en wonen. Transportbrandstof wordt met grote tankauto's naar de tankstations nabij de steden gebracht. Goederen worden ook vervoerd via het water.

In de steden wordt door de bewoners elektriciteit gebruikt voor alle energetische behoeften, inclusief het op een lokaal schone wijze verwarmen van ruimtes. Al zien we voor Nederland en Zuid-Limburg wel nog mogelijkheden voor

lokale verwarming met aardgas, omwille van de economisch gunstige omstandigheden. Warmtepompen voor efficiëntere opwekking van warmte met elektriciteit evenals andere energiebesparende maatregelen aan gebouwen, worden weinig toegepast omdat deze zich niet terugverdienen, vanwege de lage prijs die voor energie betaald moet worden. Wel veronderstellen we dat bij de nieuwbouw strengere EPC-eisen gaan gelden en worden toegepast. Nieuwbouw zal gebeuren volgens strenge bouweisen, waarbij de nadruk vooral licht bij toepassen van een hoge isolatiegraad en passief zonne-energiegebruik.

Dit scenario richt zich op economische efficiëntie en daarom is de toepassing van duurzame bronnen, zoals biomassa en wind- en zonne-energie, of energiebesparing niet interessant. Maar als de prijzen voor fossiele brandstoffen boven een bepaalde grens uitkomen, kunnen duurzame bronnen wel economisch gunstig worden.

Ruimte

In dit scenario is een ontwikkeling zichtbaar naar intensievere veeteelt, melkveehouderij en tuinbouw. Hierbij kan voor Z-Limburg gedacht worden aan de ontwikkeling van varkensflats. Deze ontwikkelingen zullen ook leiden tot meer mest. Alle functies uit de samenleving worden heel geconcentreerd gegroepeerd, want dit is economisch heel gunstig. Hierdoor ontstaat wel een soort van eilandstructuur van de verschillende functies met bijv. op één plaats geconcentreerde industrie, op een andere plaats landbouw en op nog een andere plaats wonen. De functies liggen meer verspreid en dit leidt tot meer transport. Een concentratie van nieuwbouw in de stedelijke gebieden, en daarbinnen in de steden, wordt verondersteld. Door de veranderende demografie zien we een vragende trend naar meer zorgcentra en minder scholen. De dienstensector breidt verder nog uit door het bouwen van meer kantoren, in een geconcentreerd gebied – de ontwikkeling van ‘commercial parks’. De basisindustrie – papier, chemicaliën en metaal – die nu aanwezig is in Z-Limburg blijft bestaan en kent mogelijk zelfs uitbreiding. De toegenomen verspreiding en transport vraagt om uitbreiding van de wegeninfrastructuur. De luchthaven in Beek gaat zich ook verder ontwikkelen en zal uitbreiden. Dit kan op zijn beurt weer leiden tot uitbreiding van het kantoorareaal. Er is geen interesse om nieuwe natuurgebieden te ontwikkelen. Natuurkwaliteit is geen item, het gaat om aantrekkelijke gebruiksnaatuur.

Ontwerpcriteria:

- Business as usual
- Uitstel van een energietransitie
- Hoogspanningsleidingen vormen de ruggengraat van het energiesysteem
- Nieuwe stroomverbindingen, ook internationaal, worden verwacht
- Geen extra stroomverbindingen tussen steden
- Deze nieuwe stroomverbindingen komen hoofdzakelijk langs bestaande infrastructuur
- Ook de gasleidingen blijven, evenals de LPG-leidingen
- Kolengestookte krachtcentrales worden niet in de regio verwacht, vanwege gebrek aan koelwater en de lange aanvoerlijnen van de steenkool.
- Dat betekent geen nieuwe krachtcentrales in Zuid-Limburg
- Restwarmteprojecten ontstaan op sommige plekken meer toevallig door gunstige lokale omstandigheden
- Op die plekken waar sinks in de directe omgeving liggen van een source (monofunctioneel)
- Restwarmte van zeer nabije industrie kan bij bestaande warmtenetten fossiele bronnen vervangen
- Lokaliseer nieuwe sinks naast bestaande bronnen van restwarmte

Veilige Regio – Secure Region

Context

Culturele identiteit en traditionele waarden zijn belangrijk in dit scenario. Dit leidt tot een stop van de mondialisering en het uiteenvallen van de wereld in protectionistische regio's. Dit scenario wordt gekenmerkt door een streven naar zelfvoorziening. De eigen leefomgeving is belangrijk. Economische efficiëntie en voorzieningszekerheid zijn belangrijke peilers.

De bevolking neemt verder af en de veroudering neemt toe. Er is een toename van het sterftecijfer en het aantal jongeren neemt ook in dit scenario af.

Energie en transport

In het 'Veilige Regio'-scenario is een toename zichtbaar van de energievraag in de industrie. De energievraag van de andere sectoren blijft gelijk. In dit scenario wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van lokaal aanwezige energiebronnen, die er in het relatief dichtbevolkte Z-Limburg niet zoveel zijn. Er dient dus inventief in de omgeving gezocht te worden en alle mogelijke lokale opties dienen te worden onderzocht. Dit alles staat in het teken van het streven naar zelfvoorziening. Het heropenen van de steenkoolmijnen op termijn moet gezien worden vanuit dat standpunt van regionale zelfvoorziening. Naast zelfvoorziening is ook het financiële, economische aspect belangrijk. Zo kan, bijv., het winnen van mijngas uit de oude mijnen uit economisch oogpunt interessant worden. Ook andere energiebronnen en afval beginnen interessant te worden om het te verbranden voor energieproductie. Zo wordt lokaal vercomposteed GFT-afval met huishoudelijk en industrieel afval verbrand, om er elektriciteit en warmte van te maken. Ook wordt uit rioolwater methaangas gewonnen en wordt het gedroogde rioolslib verbrand in ovens om er elektriciteit en warmte uit te halen. De energiecentrales, WKK's, zijn meestal klein en liggen in de gebouwde omgeving zodat de geproduceerde warmte ook voor de gebouwde omgeving gebruikt kan worden. De centrales worden gevoed met verschillende lokaal geproduceerde energiedragers zoals methaangas, mijngas, steenkool, gedroogd rioolslib, bermgras, in de regio grootschalig geproduceerde afval-pellets of lokaal geproduceerde, eerste generatie, biomassa. Daarnaast kunnen ook lokale waterpotenties – niveauverschil tussen de Maas en aanwezige kanaal – een bron vormen van energieopwekking of –opslag, door het verhogen/verlagen van het waterpeil. Nog een andere bron zijn bijvoorbeeld grote windturbines die geplaatst kunnen worden waar de ruimte en genoeg wind aanwezig is, bijv. het plateau van Margraten.

Naast lokale energiebronnen is ook het beperken van het lokale energiegebruik belangrijk. Gebouwen zijn goed geïsoleerd en er worden energie-efficiënte installaties gebruikt, voor zover dit economisch verantwoord is. Hoog-rendement-verlichting, warmteterugwinning uit ventilatielucht, warmtepompen en andere technieken worden gebruikt om lokaal de energiebehoefte zo laag mogelijk te houden, zodat zo min mogelijk geïmporteerd hoeft te worden. Indien lokaal toch te

weinig energiedragers aanwezig zijn, wordt gebruik gemaakt van kolen, olie, gas en mogelijk kernenergie binnen de EU.

Omdat wonen en werken nog steeds gescheiden liggen, kan daar waar de afstand niet te groot is, industriële restwarmte getransporteerd worden naar de woningen omwille van een gunstige economische efficiency. Meestal gebeurt dit niet omdat de investering van het net hoog is en bedrijven zich, omwille van economische motieven, niet voor lange tijd willen vastleggen voor levering van warmte. Meestal wordt dus per woning gebruik gemaakt van individuele verwarming met behulp van houtkachels, pelletkachels of elektriciteit, soms met tussenkomst van een warmtepomp die gebruik maakt van warmte uit de directe omgeving als bron. Nieuw te bouwen woningen moeten aan strengere eisen voldoen: verstrengde EPC-eisen en lagere warmte- en elektriciteitsvraag, zodat de woningen minder energie moeten importeren.

Distributie van energie over grotere afstanden blijft beperkt tot elektriciteit via het net. Opslag van energie is meestal gebouwgebonden en blijft daarom slechts voor beperkte tijd (dag of week) opgeslagen. In combinatie met warmtepompen wordt soms de bodem gebruikt als warmte/koude (W/K)-opslag. In de drukker bevolkte gebieden verwachten we W/K-opslag in de oude mijnen. Op kleinere schaal zijn er misschien mogelijkheden voor ondergrondse (enkele tientallen meters) W/K-opslag in het rurale gebied. Hiervoor zijn wel uitzonderingen op de wet nodig, want een groot deel van het gebied buiten de voormalige mijnregio is ingekleurd als waterbeschermingsgebied.

Er zijn dus wel mogelijkheden voor kleinschalige cascades, bijv. tussen industrie en kantoren op eenzelfde locatie of bijv. tussen woningen met een verschillende warmtevraag, maar echte warmtenetten zullen zich niet gaan ontwikkelen. Dit wordt naast het economische aspect, mede veroorzaakt door het feit dat de verschillende functies te verspreid liggen.

Vanwege het beperkte transport en transportafstanden is het rijden met elektrische auto's interessant. Voornamelijk worden echter olieproducten gebruikt voor transport, doch ook rijden op biomassa – plantaardige oliën en ethanol – zijn alternatieven. Indien deze brandstoffen direct afkomstig zijn van energiegewassen, legt dat een behoorlijke druk op het grondgebruik waardoor alle groen in de omgeving opgeslokt wordt door landbouw voor voedsel en energie. Nieuwe

technieken, zoals fermentatie en pyrolyse, maken het mogelijk om brandstoffen te maken uit afval. Theoretisch gezien is er minder ruimte nodig, maar omdat er sowieso te weinig ruimte is, zal de druk op het landschap en ruimtegebruik niet afnemen.

Ruimte

Dit scenario wordt gekenmerkt door de bouw van minder huizen, maar aan de andere kant gaat de bebouwing zich verspreiden. Burgers vertonen een toegenomen interesse voor het leven in ruraal gebied. Door de toegenomen interesse voor de regionale verwerking van het groenafval, worden meer biogasinstallaties gebouwd en ontwikkelen zich vormen van biomassaopslag. Het industrieareaal blijft nagenoeg gelijk, wel zien we een toename van de voedingsindustrie. Het aantal boerderijen neemt af en de boeren gaan op zoek naar een extra bron van inkomsten. Multifunctioneel landgebruik op kleine schaal raakt in zwang. Boerderijrecreatie komt opzetten en het landschap wordt maximaal geëxploiteerd om te voorzien in de recreatieve behoeften.

Ontwerpcriteria:

- In principe moeten alle energiebronnen uit de regio zelf komen
- Daarbij is voorzieningszekerheid, of evt. financiën belangrijker dan duurzaamheid
- De voormalige mijnen worden gebruikt als warmte-koude opslagbron
- De voormalige mijnen worden ook gebruikt voor de productie van mijnbouwgas
- Ook op huishoudniveau vindt warmte/koude opslag plaats door de bodempotentie overal te gebruiken
- RWZI's worden gebruikt als energiebron
- Afvalverzamel punten bij bestaande complexen, dichtbij de al bebouwde omgeving en kleinschalig
- Kleinschalige warmtenetten in de buurt van restwarmtepunten
- Biomassaverwerking in het Heuvelland bij ontwikkeling van nieuwe woongebieden
- Alle bestaande warmtenetten blijven
- Industriële complexen leiden tot lokale energiecascadering

- Extra ruimtedruk
- Het bouwland wordt als oppervlak van potentie voor biomassa (groen) gezien
- Het urbaan gebied wordt als oppervlak van potentie voor biomassa (grijs/bruin) gezien
- De maas en het kanaal als waterenergiepotentie, alleen grootschalig
- Windenergie wordt gewonnen op beste locaties, niet in valleien of dorpen
- Decentraliteit of het laagst mogelijke schaalniveau zijn een ontwerpcriterium
- RWZI als energiebron met CHP als het in de buurt is van een bestaande warmtenet, of als het in de buurt is van nieuwe woongebieden
- RWZI als energiebron als biogasproducent (gebruik netwerk), als niet in de buurt van bestaand warmtenet, of nieuwe woongebieden
- Voeg een sink toe aan sources

Mondiale Solidariteit – Global Solidarity

Context

In dit scenario zijn culturele identiteit en traditionele waarden belangrijk. De samenleving vertoont een trend naar een duurzame economische ontwikkeling, via institutionele sturing. Alle actoren van de samenleving hebben aandacht voor milieu en sociale aspecten van het leven. Zowel top-down als bottom-up initiatieven worden uitgevoerd. De welvaart wordt verdeeld over alle niveaus en er is een vrije uitwisseling van kennis en technologie. Dit scenario wordt verder nog gekenmerkt door een hoge mate van aandacht voor natuur en milieu.

De bevolking neemt ook verder af, tweede sterkste krimp van alle scenario's. Er is een trend zichtbaar naar een verouderende bevolking, het aantal jongeren neemt af.

Energie en transport

In het 'Mondiale Solidariteit'-scenario neemt de groei van de energievraag in de industrie toe, maar in andere sectoren neemt de energievraag af. Dit scenario gaat er van uit dat de belasting voor mens en milieu niet per definitie lokaal opgelost moet

worden. Misschien is het wel veel efficiënter om de energie ergens anders te produceren. Binnen dit scenario past het besef dat lokale oplossingen gevolgen kunnen hebben voor andere plekken op de wereld of nog erger later in de tijd – de Brundtland-definitie van Duurzame Ontwikkeling²⁶. Dit scenario streeft naar een verlaging van de CO₂-voetafdruk. We zullen daarom, gedacht vanuit de wereldschaal, technieken inzetten die deze niet gewenste effecten op mens en milieu, minimaliseren. Om dit te kunnen realiseren zal een onderlinge solidariteit aanwezig moeten zijn, die gebaseerd is op een eerlijke verdeling van voedsel, kennis en gezondheidszorg. Niet alleen delen op een lokale schaal, doch ook op wereldschaal en door de jaren heen. In de huidige democratie hebben toekomstige generatie niets te kiezen; hun mogelijkheden worden gekozen door de huidige democratische generatie. Er ontstaat een solidariteit gebaseerd op economische pijlers met recht op voedsel, materie en energie voor elke wereldburger, een voorwaarde voor vrede en stabiliteit, waardoor dit scenario en de daarbij horende technieken gerealiseerd kunnen worden.

Het geld dat in het verleden verdiend is met fossiele brandstoffen wordt ingezet om liefst grootschalig duurzame energie op te wekken en CO₂ te binden. Daarbij wordt het geld, wat meer een vertegenwoordiger van arbeid en energie wordt dan van, fossiele, materialen, zo goed mogelijk besteed op de meest gunstige plek voor grootschalige opwekking van duurzame energie. Internationale CO₂-handel en opslagmogelijkheden zijn aan de orde. Grootschalige zonnecentrales, CSP's, verschijnen in de woestijnen, want daar leveren ze 3x zoveel energie op dan in Limburg en de centrales tasten daar de biodiversiteit minder aan. De elektrische energie wordt vervolgens via kabels getransporteerd naar andere delen van de wereld.

De elektriciteitsnetwerken zijn de zenuwen van de aardbol waarlangs een groot deel van deze hoogwaardige en veelzijdig te gebruiken energie wordt getransporteerd. Als er overschotten aan elektriciteit zijn, gaan de waterkrachtcentrales in bergrijke gebieden minder draaien zodat de stuwwerken in peil verhogen en bij tekorten gaan ze weer draaien, een vorm van elektriciteitsopslag.

²⁶ Brundtland, G. H. (1987). *Our common future: the World Commission on Environment and Development*. Oxford: Oxford University Press.

Langs de kustlijnen vinden we grote windturbineparken die elektriciteit leveren, evenals osmosecentrales die uit zout- en zoetwater elektriciteit produceren. Andere mogelijkheden zijn golfenergiecentrales, getijdencentrales of het opwekken van energie door gebruik te maken van de zeestroming. Sommige van deze toepassingen van elektriciteitsproductie, hebben eveneens een vorm van energieopslag, bijv. in de vorm van zoetwatervoorraad. Ook met het grootschalig kweken van algen in de zee, wordt gecontroleerd grondstof voor biobrandstof geproduceerd. Verdere opslag van energie vindt plaats in de vorm van biomassa die daarvoor speciaal gekweekt is of uit reststromen afkomstig is, en middels fermentatie, pyrolyse of andere biochemische processen omgezet wordt.

Fermentatie resulteert voornamelijk in warmte die van belang is voor warmte-cascadering. Reststromen komen uit industrie, agrarische sector, uit de stad of de natuur en worden centraal, en gedeeltelijk lokaal, verzameld en verwerkt om energie uit te produceren. Voor een belangrijk deel is dit brandstof voor transport, te meer omdat er veel transport in dit scenario is. Uit de conversie van organische materialen komen naast energie, voedingsstoffen vrij, die naar de agrarische sectoren over de gehele wereld terug moeten, zodat deze sector geen kunstmest uit fossiele bronnen nodig heeft. Dit is een vorm van integrale toepassing zodat de uitgaande stroom van het ene proces, de ingaande stroom van een ander proces kan zijn. Er is veel aandacht voor scheidingsprocessen voor reststromen zodat de gezondheid van de mens en de natuur niet in gevaar komt.

Biochemie wordt in Limburg een belangrijke industrietak omdat hier van oudsher de voorwaarden, zoals kennis en materiaal, aanwezig zijn. De keuze voor biochemie komt ook voort uit het afnemende gebruik van olie in dit scenario. DSM en Sabic gaan hun fossiele chemische kennis en fabrieken gebruiken voor de productie van Cradle to Cradle producten en grondstoffen, gebaseerd op biochemische processen, gefabriceerd uit reststromen uit de hele wereld.

In dit scenario zijn ook goed de drie stappen van de Trias Energetica zichtbaar. Er is interesse voor het verminderen van de vraag, de samenleving zoekt naar oplossingen om energie te besparen: door isolatie en andere efficiënte technieken zoals warmtepompen, brandstofcellen e.d. wordt er op energie bespaard. Nieuwbouw moet voldoen aan heel strenge EPC-eisen en is verbonden met warmtenetten zodat de resterende warmtevraag met duurzame of reststromen kan

voldaan worden. Duurzame bronnen worden wereldwijd, op grote schaal en op de meest efficiënte plaatsen toegepast. Het is minder gunstig om windturbines in Z-Limburg te plaatsen, want er zijn ander plaatsen waar veel meer wind kan gevangen worden. In dit scenario is een behoorlijk toenemend gebruik van aardgas waarneembaar. Aardgas is één van de schoonste fossiele bronnen die als transitiebrandstof voor Nederland, en dus ook Z-Limburg, kan dienen en zo efficiënt mogelijk zal worden toegepast.

De belangrijkste energie wordt elektriciteit omdat deze veelzijdig ingezet kan worden en eenvoudig via kabels kan worden getransporteerd. Snelle elektrisch treinen zorgen voor een belangrijk deel van het efficiënt transport van mensen en goederen over grotere afstanden. Voor vliegtuigen, schepen en wegtransport worden veelal biobrandstoffen gebruikt in verbrandingsmotoren. Goederentransport vindt ook plaats over het water. Bij transport over minder grote afstanden wordt ook wel direct elektriciteit gebruikt of een brandstofcel die waterstof afkomstig uit elektrolyse als brandstof gebruikt. Zo wordt voor steden en regio's, met een hoge mate van dichtheid en te verwachten hoge bezettingsgraad, de ontwikkeling van trams en lightrails gunstig. Een tendens naar meer duurzame vormen van openbaar vervoer wordt zichtbaar.

Ruimte

In dit scenario is veel transport omdat functies ver van elkaar liggen vanwege de hinder die ze soms kunnen veroorzaken aan mens en milieu. Naast grote natuurgebieden vinden we in dit scenario geconcentreerde steden, waar minder nieuwe huizen worden gebouwd, grote, compacte industrieterreinen en grootschalige intensieve agrarische bedrijven. De ruimte voor agrarische en industriële activiteiten neemt af, de ruimte wordt efficiënter benut, en zo kan meer ruimte gegeven worden aan natuur, in vergelijking met de andere scenario's. Water is een ordenend principe: gebieden voorzien voor de tijdelijke berging van overtollig oppervlaktewater en grondwaterbeschermingsgebieden worden gevrijwaard van bebouwing. Het kweken van agrarische producten vindt veelal plaats in gesloten energieneutrale kassen die naar verwachting niet zullen gebouwd worden in Z-Limburg. Daarnaast wordt er minder vlees gegeten waardoor ook ruimte bespaard wordt. Dieren voor vleesproductie krijgen meer ruimte, een diervriendelijkere vorm van bedrijfsvoering, en in de agrarische sector ontstaan combinaties met natuurontwikkeling of

energieproductie. Er is een toename van de dienstensector waarneembaar en een groeiende trend van high-tech en lifesciences.

Ontwerpcriteria:

- Hernieuwbare energiebronnen vinden grootschalig en geconcentreerd hun weg
- Aardgas wordt gebruikt als transitiebrandstof
- Hoogspanningsleidingen zijn zeer relevant, daar grootschalige hernieuwbaar geproduceerde elektriciteit de ruggegraat is van het energiesysteem
- In een globaal scenario zijn nieuwe verbindingen naar het buitenland te verwachten
- Er komen ook nieuwe verbindingen tussen steden in Zuid-Limburg om het netwerk te versterken
- Nieuwe verbindingen komen zoveel mogelijk langs bestaande infrastructuur te liggen, korte afstanden is ook een criterium
- Er komt een afvalverbrander bij het afvalverzamelpunt, afval = energie
- Een spoorwegaansluiting is een argument bij de afvalverzameling (meer duurzaam)
- Nieuwe warmtenetten worden naast sources en dus ook vanaf de afvalverbranders aangelegd naar bestaande woongebieden
- Kortom koppel sinks aan sources
- In dorpen wordt warmtekrachtkoppeling toegepast met biomassa-afval als basisbrandstof

Zorgzame Regio – Caring Region

Context

Dit scenario wordt gekenmerkt door economisch protectionistisch beleid, gericht op zelfvoorziening. De overheid is verantwoordelijk voor aspecten als milieu en sociale cohesie. Binnen de regio is er een grote betrokkenheid ten aanzien van milieukwaliteit en sociale aspecten. Dit scenario wordt verder nog gekenmerkt door weinig mobiliteit van mensen, kapitaal en kennis, en lage economische ontwikkeling.

De bevolking vertoont de sterkste dalende trend, met het laagste geboortecijfer en het hoogste sterftcijfer. Er is dus een duidelijke groei van de ouderen en afname van jongeren.

Energie en transport

In het ‘Zorgzame Regio’-scenario neemt de energievraag af voor alle sectoren. De beschreven technieken uit het ‘Veilige Regio’-scenario horen enigszins ook thuis in het ‘Zorgzame Regio’-scenario. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat voor de toegepaste technieken sociale en milieuaspecten belangrijker worden gevonden dan economische. Dit scenario streeft naar de toepassing van meer duurzame energiebronnen, zoals biomassa en hernieuwbare bronnen – tweede stap van de Trias Energetica, en naar een beperking van de energievraag – eerste stap van de Trias Energetica. Exergetische efficiëntie heeft een belangrijke plaats. Daarnaast wordt gestreefd naar het vermijden van het gebruik van fossiele brandstoffen. Het verbranden van afval voor de energieproductie levert in de directe omgeving uitstoot van schadelijke stoffen op die met andere technieken afgevangen moeten worden.

Het alleen maar productief gebruiken van het onbebouwde land levert weinig belevingswaarde voor de mens en er wordt gekozen om het aangename met het noodzakelijke te verenigen. Er ontstaat een gebalanceerd landbouwgebruik: intensief waar nodig, extensief waar mogelijk. Dit kan bijvoorbeeld gerealiseerd worden door de herder die overdag zijn schapen laat grazen op de Limburgse kalkgraslanden en ze 's avonds aan de rand van het dorp stalt. De voedingsstoffen verplaatsen zo van land naar stal en zeldzame soorten krijgen een kans om te groeien in het extensief beheerde Limburgse landschap. Het idee van de ‘Living Machine’ en de ontwikkeling van algenvijvers dichtbij rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) passen in dit beeld. Algenvijvers worden bij RWZI's gelokaliseerd omdat de algengroei veel warmte vraagt en die warmte een restproduct is van RWZI's.

Dichter bij de bebouwde kom, leeft de boer die de producten voor de inwoners van de stad produceert. Met behulp van afval uit de stad en van het extensief beheerd landschap, produceert de boer materialen, voedsel en energie, op intensief gebruikte grond, aan de stadsrand. Er ontstaat zo een zonering van cultuur (stad) naar natuur (landschap), die leidt tot diversiteit, zowel op urbane als rurale schaal. De urbane zijde van de ruimtelijke zonering herbergt een W/K-net – toepassing van cascadering – evenals verkeerswegen die voorzien in de behoefte van

de stad. Aan de randen van de stad liggen dus de agrarische bedrijven en industrie, die de stad voeden met consumptieartikelen doch ook het afval van stad en landschap gebruiken en recyclen zodat het weer voeding wordt. Deze afvalproducten en de biomassa worden voorbehandeld in de regio van oorsprong. Daarvoor is meer opslagcapaciteit noodzakelijk en dat kan o.a. worden opgevangen door opslag in biomassa.

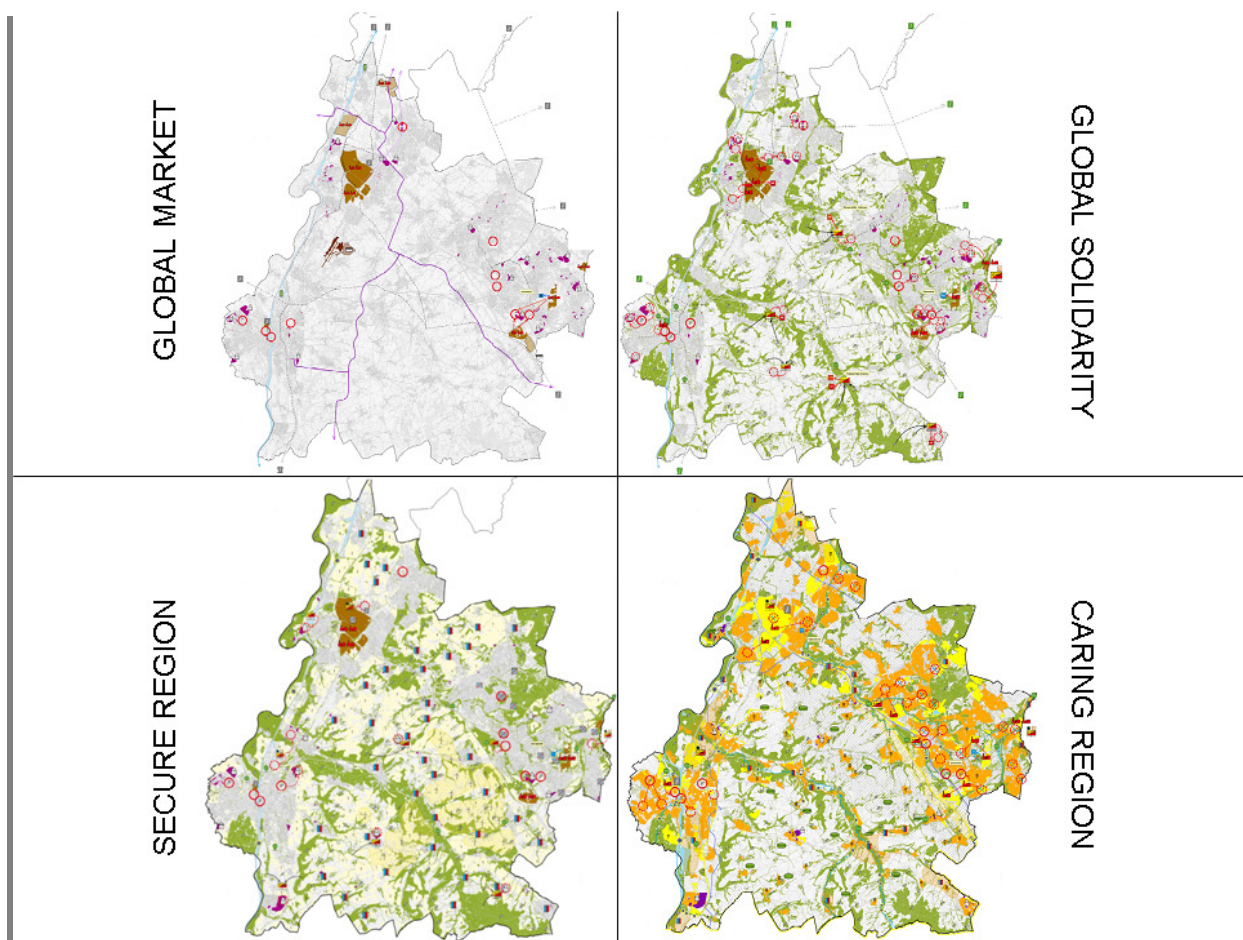
In dit scenario verwachten we de ontwikkeling van nieuwe wetgeving die meer op duurzaamheid is gericht. Een warmte-, koude- en afvalwet zou moeten ontwikkeld worden zodat actoren gedwongen worden een andere oplossing dan lozing te zoeken. Het is voor deze verduurzaming wel van belang dat het legale aspect op een grotere schaal wordt behandeld: landelijk of zelfs op EU-niveau. De bouwetten moeten ook strikter worden zodat bij nieuwbouwprojecten steeds de meest strikte duurzaamheideisen gelden. Dit geldt zowel voor nieuwbouw van huizen, maar ook uitbreiding van kantoorcomplexen en industrieën. We verwachten bij nieuwbouw van, voornamelijk, woningen twee nieuwe ontwikkelingen: nieuwbouwwoningen, aangesloten op een warmtenet, worden LowEx-woningen – woningen waarbij de lage energievraag geleverd wordt door laagwaardige en/of hernieuwbare energiebronnen; nieuwbouwwoningen buiten het warmtenet zullen autarkisch worden.

Ruimte

Dit scenario wordt gekenmerkt door de ontwikkeling van minder nieuwe huizen en een afgenomen interesse voor het leven in de grote stad. Aan de andere kant wordt dit scenario gekenmerkt door inbreiding en compact (ver)bouwen van bestaande dorps- en kleinere stadskernen. De natuur blijft wel gevrijwaard, burgers gaan niet midden in de natuur wonen. De term gebundelde deconcentratie is hier van toepassing. Er is een trend zichtbaar naar gebalanceerde landbouwactiviteiten, de boer moet op zoek naar een extra inkomen. Een mogelijkheid is de combinatie met de toegenomen vraag naar zorg – ontwikkeling van zorgboerderijen. Andere mogelijkheden zijn vormen van natuurbeheer of recreatie. Er is minder transport in het algemeen en een toegenomen interesse voor openbaar vervoer, wat energie efficiënter kan worden aangepakt. Nieuwe infrastructuur wordt nauwelijks aangelegd.

Ontwerpcriteria:

- Lokale energiepotenties, hoofdzakelijk hernieuwbaar en afval, krijgen een plek
- Bij het benutten van nieuwe energiebronnen spelen meer aspecten (duurzaam, ppp) een rol
- Waterstromen zijn de energieaders van Zuid-Limburg, lang leve de watermolen
- Bos en de EHS worden gebruikt als bron van biomassa (2e generatie)
- Huidige warmtenetten blijven intact
- De verbranding van fossiele brandstoffen wordt vervangen door biomassa
- Voorbehandeling van biomassa vindt plaats aan de rand van de stad of bij de bron
- Zonnepanelen op de daken van gebouwen (pv bij industrie, collectoren bij huizen)
- Windmolenpark aan westkant Parkstad Limburg, windpotentie en inpassing
- Kleinschalige windmolens in landelijk gebied en op bedrijventerreinen
- De bodem als bron of opslagmedium voor warmte wordt alleen gebruikt buiten grondwaterbeschermingsgebieden
- En binnen de beschermingsgebieden alleen op plekken met een zeer goede potentie
- De RWZI wordt gezien als energiebron
- Energiecascadering is een optie, als ook opslag in de tijd mogelijk is (bijvoorbeeld in de mijnen)
- RWZI met CHP als in buurt gelegen van een warmtenet
- RWZI met CHP en algen voor brandstoffen, als in de buurt van autowegen en geschikte oppervlakte voor algenvijvers
- RWZI als biogasbron, indien 1 en 2 niet mogelijk zijn
- Kortom, diversiteit en (bio)ritmes worden gebruikt als designcriterium



Figuur 8: kaartbeelden voor energie-ruimte scenario's Zuid-Limburg in 2040

Zonder de kaartbeelden hier in detail uit te leggen (zie hiervoor SREX 2007, 2008), laten de concentraties van figuren en symbolen en tevens de kleuren een duidelijk verschil zien. Global Market leidt tot relatief weinig ingrepen en de ingrepen die plaatsvinden zijn geconcentreerd rondom de grote steden en grote industriële terreinen, zoals Chemelot in Geleen. Het grote verschil met de kaartbeelden voor Global Solidarity en Secure Region is, dat in die scenario's het gebruik van lokale biomassa is opgenomen. Biomassa is een potentieel interessante energiebron (Van Kann, 2008), die in verschillende regio's waaronder de regio Zuid-Limburg in relatief grote hoeveelheden voor handen is. Het kan daardoor bijna niet worden genegeerd. Tussen beide scenario's zit nog een verschil in het benutten van de ondergrond. Zuid-Limburg heeft van oudsher een grote rol gespeeld in de energievoorziening door de daar aanwezige kolen. De in onbruik geraakte mijnen

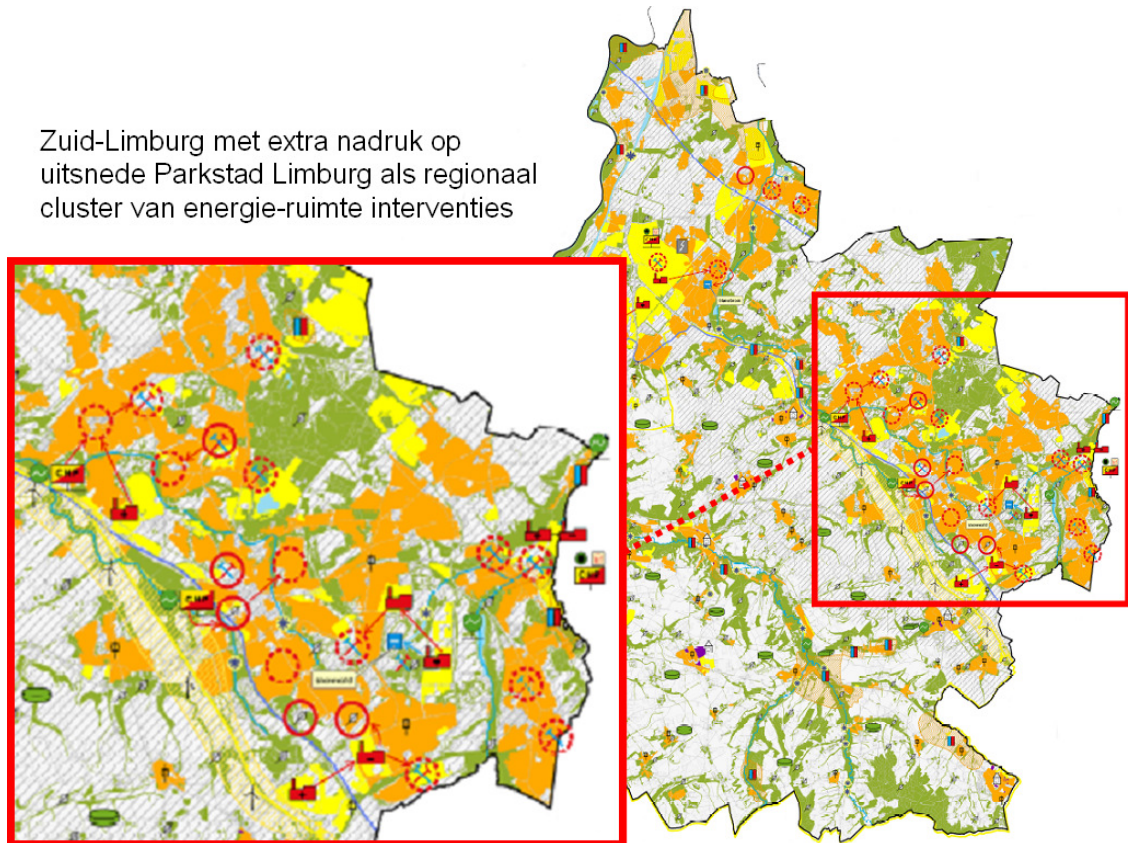
blijken een waardevol instrument te kunnen zijn voor de opslag van warmte. Voor een deel heeft de inzet van de mijnen een symbolische betekenis, doordat een emotionele band met het verleden wordt gesmeed, en de acceptatie van inspanningen rond alternatieve vormen van energie kan vergroten. Bij Global Solidarity wordt er van uitgegaan dat de geothermische potenties van de ondergrond in Zuid-Limburg niet of nauwelijks concurrerend zijn met andere gebieden in o.a. Nederland. Daarentegen worden innovaties op basis van de traditionele netwerken, waaronder micro-wkk en smart grids opgepakt en geïmplementeerd. De meeste symbolen, kleuren en daarmee verwachte interventies zijn zichtbaar op de scenariokaart voor Caring Region. In dat scenario worden allerlei regionale en lokale mogelijkheden op een gebiedsspecifieke manier opgepakt, met als doel het ideaal van zelfvoorzienendheid te bereiken. Terwijl het scenario 'Global Market' goeddeels een bevestiging is van de bestaande status quo rond energie, en er geen specifieke actie hoeft te worden georkestreerd, ligt dit voor het Caring Region scenario geheel anders. Met het omarmen van het Caring Region scenario moet het echte werk nog gaan beginnen. Er zullen veel tot zeer veel afwegingen volgen om op een goede wijze maatwerk te kunnen bieden dat ook nog eens overtuigend genoeg is om op voldoende draagvlak te kunnen rekenen. In het navolgende wordt binnen Zuid-Limburg ingezoomd op Parkstad Limburg, dat volgens het Caring Region scenario wordt uitgewerkt tot een voorstel waarmee het zich kan ontwikkelen tot een geïntegreerd energielandschap dat goeddeels zelfvoorzienend is.

8.3 Zuid-Limburg: is ruimtelijk-exergetisch beleid kansrijk?

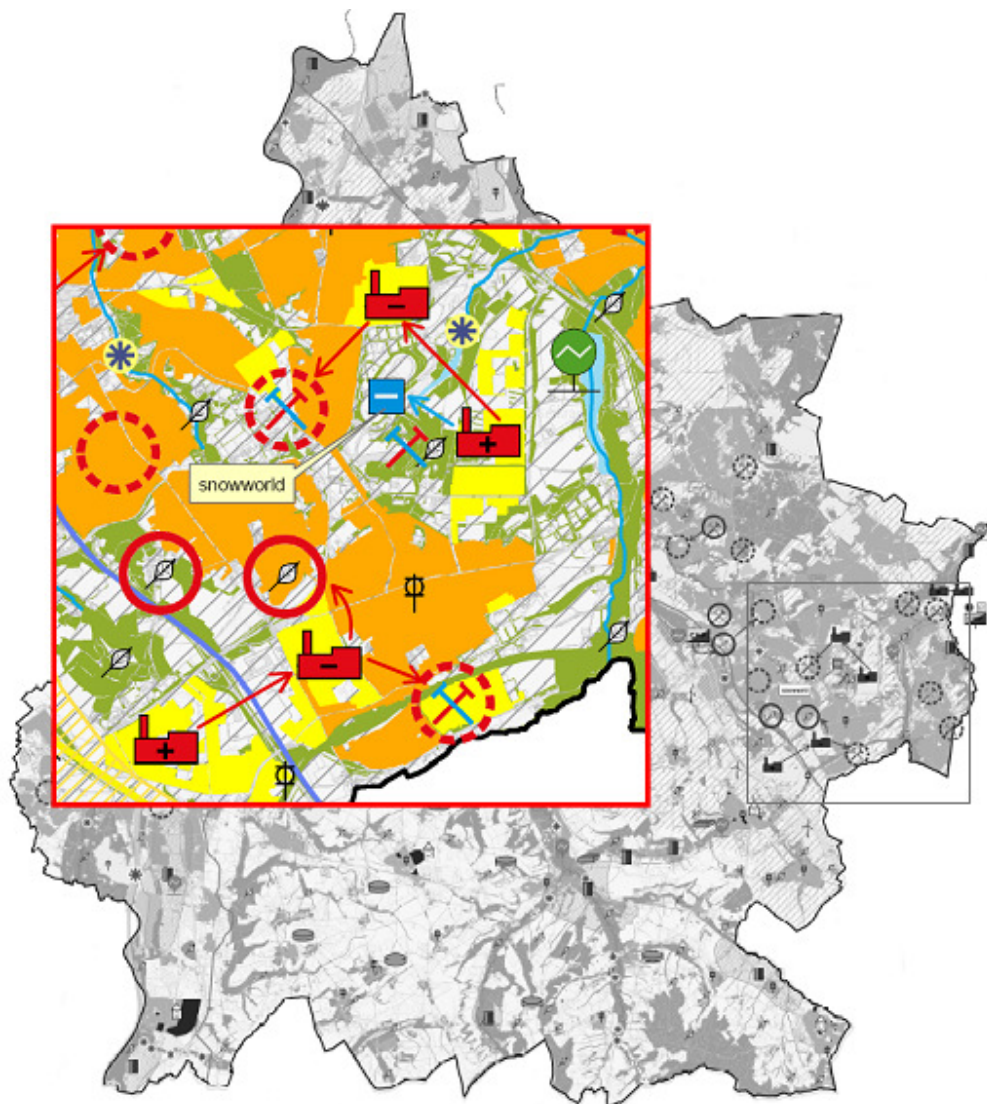
Parkstad-Limburg als showcase

In de figuren 9 en 10 valt op dat in de stedelijke gebieden van Zuid-Limburg de concentratie van kansrijke interventies groot is. Dat is in lijn met de eerdere discussie, waaruit naar voren kwam dat multifunctionele ruimtelijke structuren, functies die exergie produceren en consumeren, hoge dichtheden en geringe afstanden gunstig uitwerken op het idee van exergieplanning. Figuur 9 toont het kaartbeeld voor Zuid-Limburg met een uitsnede van Parkstad Limburg, de stedelijke regio Heerlen-Kerkrade-Landgraaf-Brunssum. De regio wordt gekarakteriseerd door

een amorfe verstedelijking, met een set aan ruimtelijke clusters verspreid over een gebied met oude mijnen. De kaart laat oranje, gele en groene gebieden zien waarmee woongebieden, bedrijfsterreinen en parkgebieden worden aangegeven, die van uit een exergetisch perspectief meer samenhang zouden kunnen vertonen dan ruimtelijk op het eerste oog zou worden verwacht.



Figuur 9: Detailopname Parkstad Limburg van Zuid-Limburg scenario Caring Region



Figuur 10: Detailopname gebied Park Gravenrode en Kerkrade West van figuur 9

Met figuur 10 wordt nog verder ingezoomd, op het gebied Park Gravenrode en Kerkrade-West. In deze figuur is met verschillende symbolen aangegeven hoe functies op exergetische wijze met elkaar kunnen worden verbonden, om zo de mogelijkheid van cascaderen van energiestromen tussen bedrijven (de rode fabriekjes met plus en min) uit te beelden. Daarmee is het beeld nog niet af. De laagwaardige restwarmte van bedrijven kan vervolgens aangewend worden voor het verwarmen van woongebieden. De rode cirkels symboliseren (aan te leggen) warmtenetten, die in een enkel geval ook gevoed wordt door de inzet van lokale

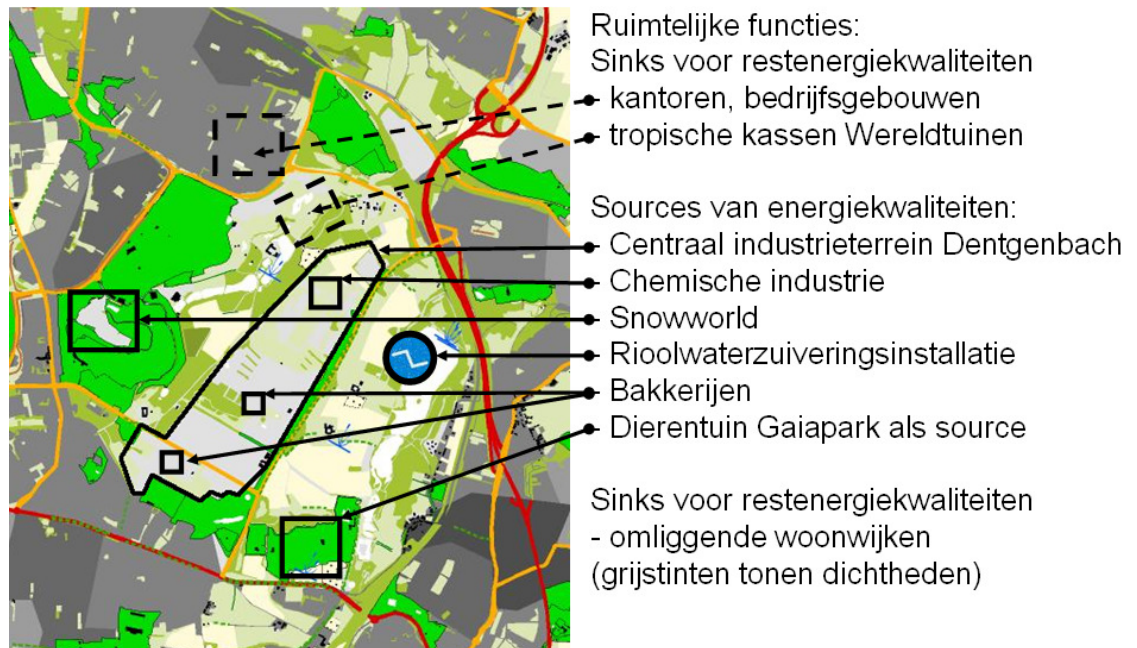
biomassa (het bladsymbool in de rode cirkels). De warmtenetten zijn gekoppeld aan de oude steenkolenmijnen. Deze staan onder water, en doen dienst als ondergrondse warmte-koude-opslag. De mijnen fungeren hier als ‘aquifers’, met het verschil dat de mijnen ‘man made’ zijn. Het mijnwaterproject in Heerlen vervult inmiddels de rol als internationaal voorbeeldproject (zie Mijnwaterenergie, 2010). En dan is er nog de enorme diversiteit aan functies die exergie produceren en consumeren, waaronder ‘Snowworld’, een indoor skiresort in Landgraaf, de dierentuin, watermolens, een biovergister en zo meer. Al deze componenten complementeren het beeld van een geïntegreerd energielandschap voor een deel van Parkstad Limburg (SREX, 2008).

Energielandschap Gravenrode

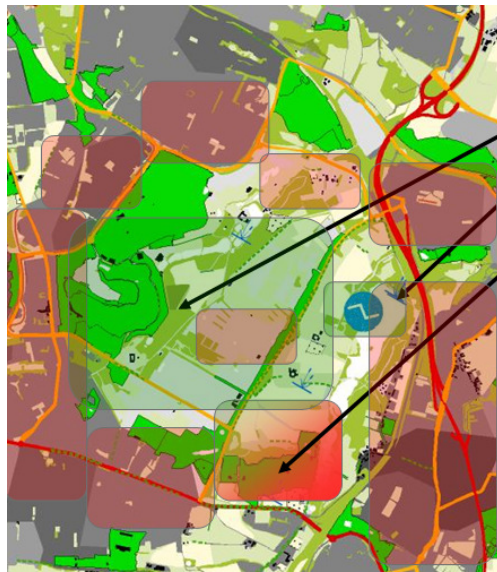
Stapsgewijs wordt uitgelegd hoe een ruimtelijk-functionele inventarisatie van een gebied uiteindelijk uitmondt in een gebiedsspecifieke energie-ruimte visie. Door deze visie te verwezenlijken ontstaat het beoogde integrale energielandschap. In figuur 18 tonen we andermaal het gebied Park Gravenrode. Park Gravenrode is een leisure-zone in Parkstad Limburg. Hier zijn onder andere het Pinkpopterrein, de Wereldtuinen, Snowworld en Gaiapark Kerkrade Zoo te vinden. Midden in dit gebied ligt een fraai in het groen gelegen terrein met relatief zware industrie. In het midden van Park Gravenrode ligt een oude mijnsteenafvalberg, en rondom het Park liggen woonwijken.

Een belangrijke stap in figuur 11 is het categoriseren van de ruimtelijke functies in een gebied in termen van ‘sources’ en ‘sinks’ (Stremke en Koh, 2010). ‘Sources’ en ‘sinks’ ontleen hier hun betekenis op basis van de mechaniek van energiecascadering. Chemische industrie, zoals ingetekend in figuur 12, is uiteraard een energieslurper, maar in dit verhaal is het van belang deze industrie vooral te zien als een producent van restwarmte, waarmee de andere, omliggende stedelijke functies zich te goed kunnen doen. De chemische industrie is zo een bron van hoogwaardige warmte. Dit geldt bijvoorbeeld ook voor de dierentuin. De dieren in het park produceren aanzienlijke hoeveelheden mest, waarmee energie kan worden geproduceerd voor de regio. En zelfs Snowworld, de enorme koelkast waarin kan worden geskied, kan worden gezien als een bron van warmte, die vrijkomt (vergelijkbaar met de werking van een koelkast) doordat het gebouw wordt gekoeld. ‘Sources’ worden hier gedefinieerd als bronnen van een exergetische kwaliteit. En het

is om het even of het nu biomassa, mest of warm water betreft, waarmee andere functies in een gebied, de 'sinks', hun voordeel zouden kunnen doen. De categorisering van functies is zichtbaar in figuur 11. Een specificering van de 'sources' en 'sinks' naar temperaturen, omvang van de vraag, soort aanbod en ruimtelijke ligging staat in meer detail in de figuren 12 en 13.



Figuur 11: Categorisering van ruimtelijke functies als 'sources' en 'sinks' van energiekwaliteiten



Sources van energie:

Middenlinks: restwarmte van industrieterrein
bakkerijen, chemie + snowworld

Middenrechts: biomassa → gas / elektriciteit +
warmte, RWZI Kaffenberg

Beneden: biomassa: mest, restaurantresten
dierentuin Gaiapark

Sinks voor energie:

Boven: bedrijventerrein, kantoren Essent +
tropische kassen Wereldtuinen

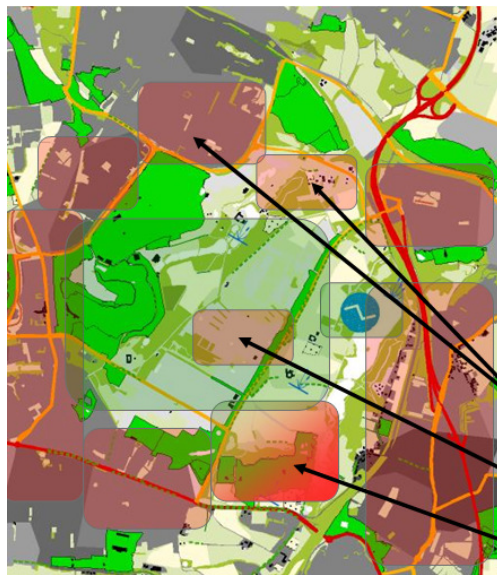
Midden: uitwisseling binnen industrieterrein

Rondom: woonwijken, diverse bouwvare

Beneden: Gaiapark, evt. voor tropische dieren

Figuur 12: Categorisering van sources van energiekwaliteiten in Park

Gravenrode



Sources van energie:

Middenlinks: restwarmte van industrieterrein
bakkerijen, chemie + snowworld

Middenrechts: biomassa → gas / elektriciteit +
warmte, RWZI Kaffenberg

Beneden: biomassa: mest, restaurantresten
dierentuin Gaiapark

Sinks voor energie:

Boven: bedrijventerrein, kantoren Essent +
tropische kassen Wereldtuinen

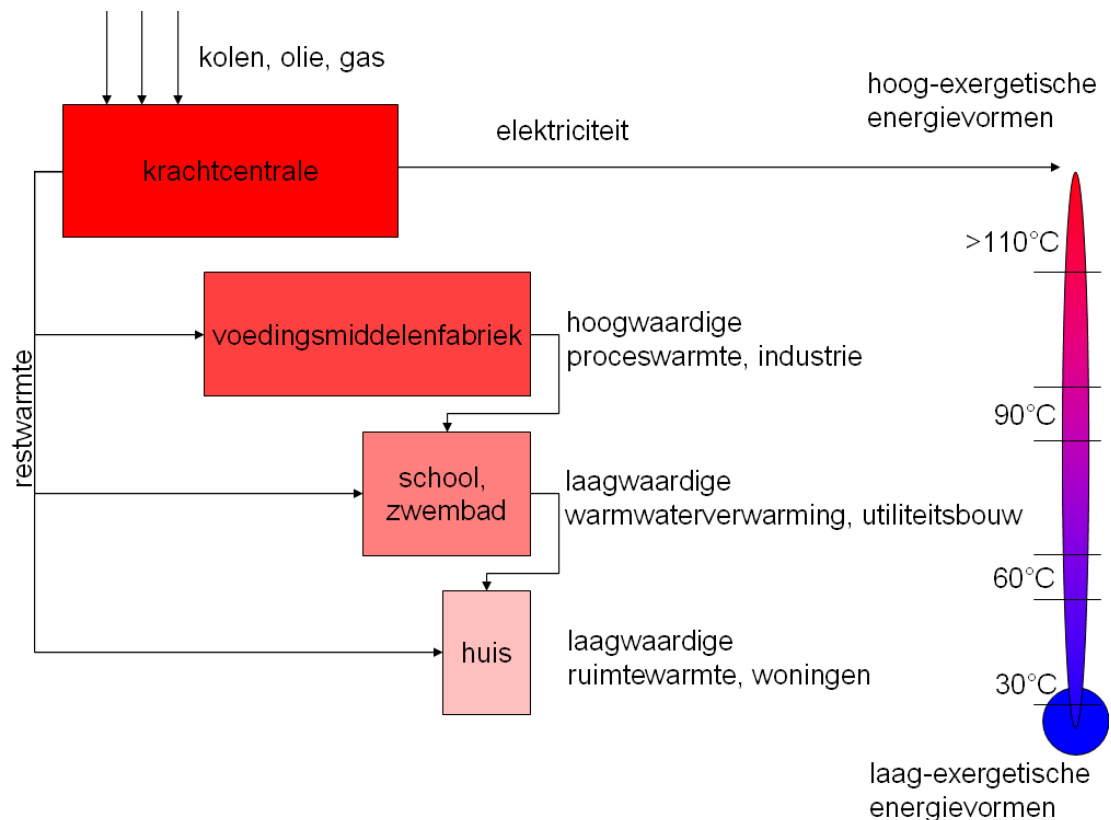
Midden: uitwisseling binnen industrieterrein

Rondom: woonwijken, diverse bouwvare

Beneden: Gaiapark, evt. voor tropische dieren

Figuur 13: Categorisering van 'sinks' voor energiekwaliteiten in Park

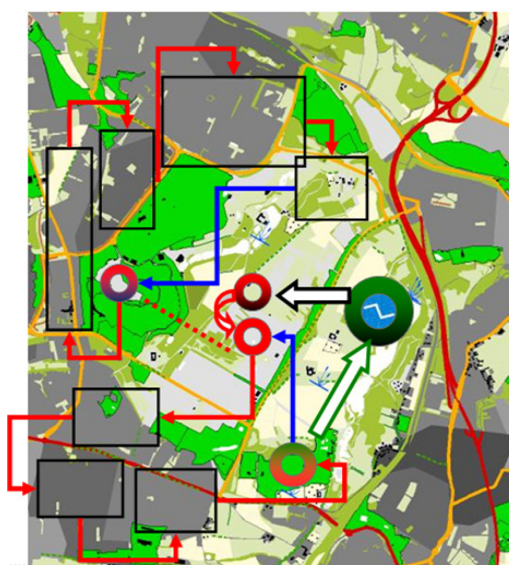
Gravenrode en rondom



Figuur 14: exergetische gedachtegang voor lokaal energie-ruimte systeem

Vervolgens is het mogelijk om op basis van de figuren 12 en 13 in combinatie met de in figuur 14 getoonde exergetische gedachtegang te komen tot een lokaal energie-ruimte-systeem. Een detailstudie van de energiegpatronen van de verschillende ruimtelijke functies maakt duidelijk op welke temperaturen de functies warmte nodig hebben of kunnen aanbieden. De leveranciers van hoog-exergetische input, zijn als topfuncties aan te merken. Deze zijn de rioolwaterzuiveringsinstallatie en Snowworld Landgraaf. De eerste kan biogas produceren met behulp van de biorestproducten die daar samen worden gebracht. Dat gas kan vervolgens worden gebruikt door de nabij gelegen industrie als vervanger van aardgas, ten behoeve van productieprocessen en hoogwaardige warmte. Voor Snowworld geldt dat er niet voldoende koudebronnen in de regio zijn, waardoor het lokaal opwekken van kou met stroom de enige optie lijkt. Het (her)gebruiken van de vrijkomende restwarmte is vervolgens wel weer voor andere functies te gebruiken.

Het verbinden van de verschillende ruimtelijk gepositioneerde functies in energiecascades mondt uit in de schema's weergegeven met figuur 11. In deze schema's is de aanname verwerkt dat woonwijken die van elkaar verschillen in ouderdom onderling ook warmte kunnen doorgeven. Een oude wijk kan het best verwarmd worden met temperaturen rond de 90°C, terwijl een nieuwbouwwijk toe kan met veel lagere temperaturen. Uiteindelijk wordt de restwarmte van een temperatuur rond de 30-40°C gebruikt om kassen te verwarmen. In zowel de dierentuin als de Wereldtuinen staan kassen. En er zijn bij beide leefgebieden die warmer moeten zijn voor de flora en fauna dan de buitentemperatuur doorgaans kan bieden. Het vervangen van hoogwaardig aardgas voor het verwarmen van ruimtes door laag-exergetische restwarmte is een schoolvoorbeeld van energiecascadering. Figuur 15 toont het energie-ruimte-systeem voor Park Gravenrode, waarbij energiecascadering als uitgangspunt is genomen.



Energie-Ruimte systeem:

Links: Snowworld als warmteleverancier (grote koelkast), warmte gebruikt in geschakelde woonwijken, bedrijventerrein en tropische kassen Wereldtuinen

Rechts: Rwzi als energierotonde, verzamelplek van biomassa o.a. dierentuin en rioolwater, productie van biogas, verbranding bij industrie Dentgenbach voor proceswarmte, restwarmte gebruikt voor geschakelde woonwijken en tropische dieren Gaiapark

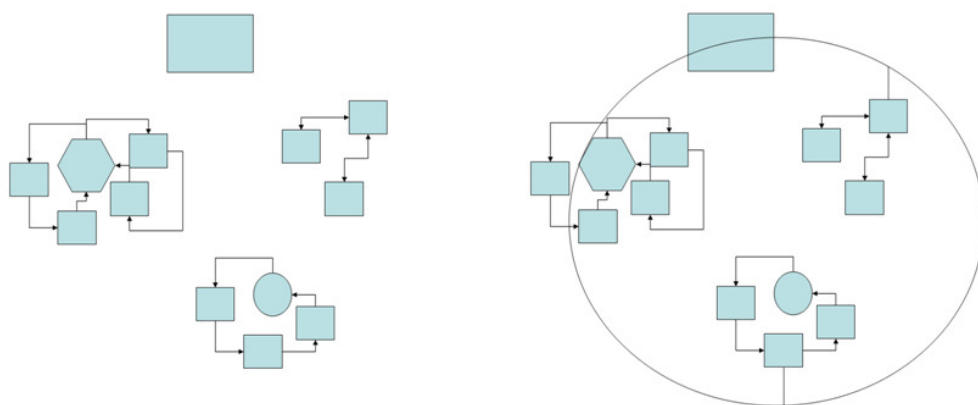
Midden: verbinding tussen beide systemen omwille van robuustheid en efficiëntie

Figuur 15: Energie-ruimte-systemen voor Park Gravenrode op basis van energiecascadering

Robuust en samenhangend

Een essentieel aandachtspunt van het gesuggereerde energie-ruimte-systeem in figuur 15 is de onderlinge afhankelijkheid. Wat gebeurt er nu met het systeem als een functie wegvalt? Wie zorgt er voor dat vraag en aanbod in tijd op elkaar worden afgestemd? Voor deze vragen die in het bijzonder de robuustheid van het systeem

betreffen ligt het antwoord veelal op het hogere schaalniveau, en de daar te delen en op terug te vallen mechanieken. Een goede verbinding met en inbedding in een hoger schaalniveau maakt bijvoorbeeld het gebruik van kostbare opslagsystemen van warmte financieel een behoorlijk stuk dragelijker (zie AGFW, 2009). Op een hoger schaalniveau kunnen clusters van functies die exergetisch met elkaar een uitwisselingsrelatie hebben met elkaar worden verbonden, wat tot gevolg heeft dat het grootste nadeel van cascadering – het wegvallen van een warmte consumerende en producerende functie in de keten – minder grote gevolgen heeft, omdat een groot netwerk (van clusters) als vangnet zal kunnen dienen. Een groot warmte- en exergienetwerk (van onderling verbonden clusters) verevent tevens piekvragen van diverse functies, zo mogelijk tot een dragelijk gemiddelde. Ook is een warmte- en/of exergienetwerk interessant om grote warmteleverende functies te kunnen verwerken. Daarbij kan gedacht worden aan bijvoorbeeld een afvalverbrander, een elektriciteitscentrale, of een groot petrochemisch complex. Een netwerk nivelleert de dominantie van een dergelijk grote producent van warmte, mogelijk tot dragelijke proporties. In het SREX-onderzoek is het energie-ruimte-ontwerp van Park Gravenrode geplaatst in het warmte- en exergienetwerk van Parkstad Limburg. Met Gravenrode wordt een vierde exergiecluster aan de energiering van Parkstad Limburg verbonden. Het gevolg van is een ruimtelijke en robuuste verbinding van clusters tot een samenhangend kralensnoer, die we de energiering van Parkstad zijn gaan noemen. Figuur 16 toont dit in abstractie.



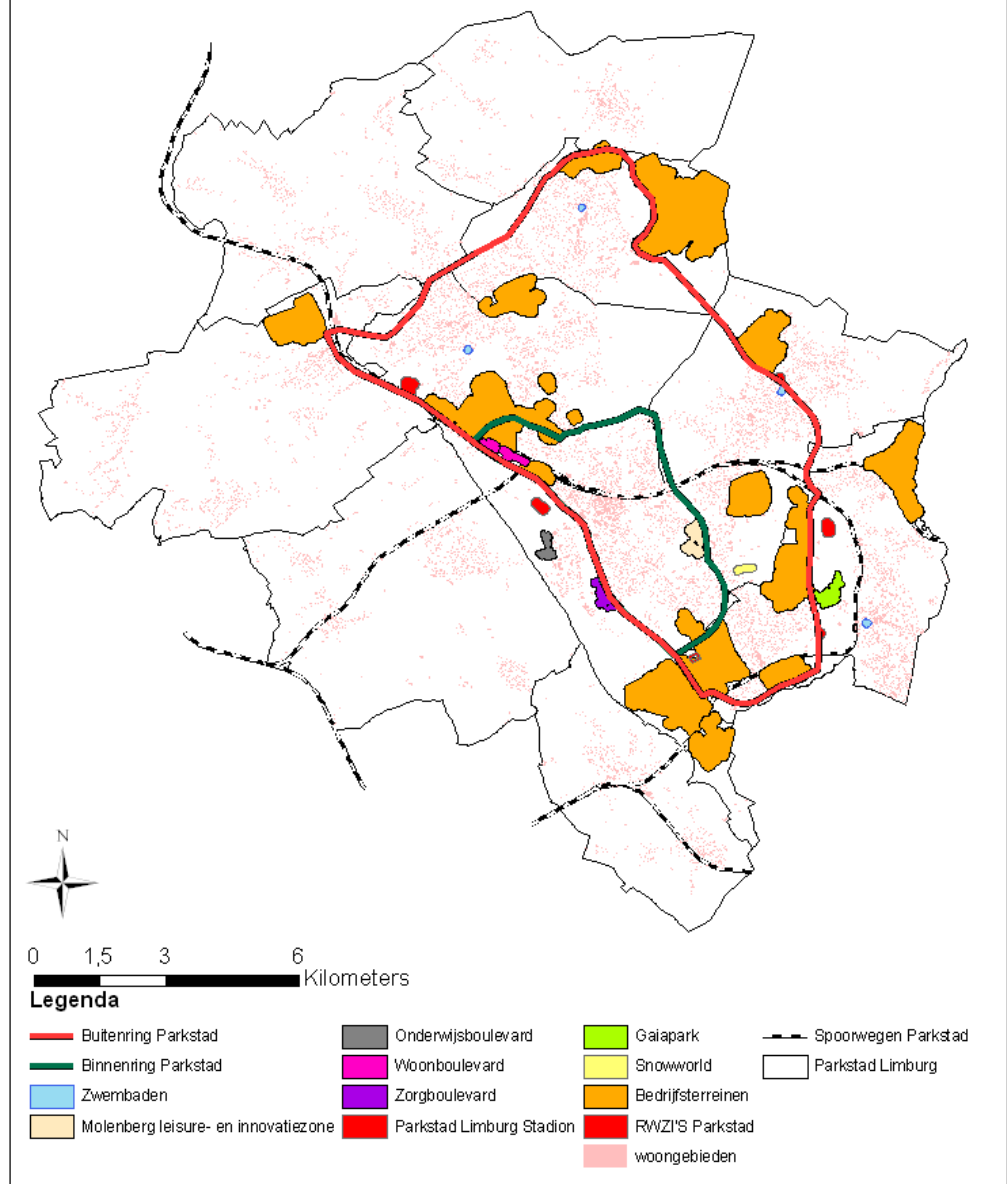
Figuur 16: Het verbinden van enkelvoudige clusters tot multifunctionele structuren

Het is voorstelbaar dat de hier voorgestelde energiering van Parkstad zo robuust wordt dat het daardoor nieuwe mogelijkheden oproept. Zo biedt het systeem bijvoorbeeld mogelijkheden om een relatief afgelegen maar grote warmteleverende (of -vragende) functie aan te sluiten op een regionaal warmtenetwerk, zonder dat het deel uit maakt van een cascade-cluster. Dit wordt symbolisch weergegeven door de grote box in de top van figuur 16.

Voor de casus Parkstad Limburg zijn er twee gebiedsspecifieke argumenten om cascade-clusters met elkaar in een regionale structuur te verbinden. Ten eerste biedt de ondergrond van Parkstad Limburg door zijn oude, gesloten mijnen prachtige kansen om op grote schaal aan warmtekoudeopslag te doen. In de zomer kunnen overschotten aan warmte opgeslagen worden in de mijngangen vol water en 's winters heb je een extra bron van warmte. De toegankelijkheid van mijnen is echter niet overal even gemakkelijk. Met de ontwikkeling van een warmtering door de hele regio, is het mogelijk om op geschikte plekken de gebiedsspecifieke warmtekoudeopslag die met de kolenmijnen wordt geboden, aan het systeem te koppelen.

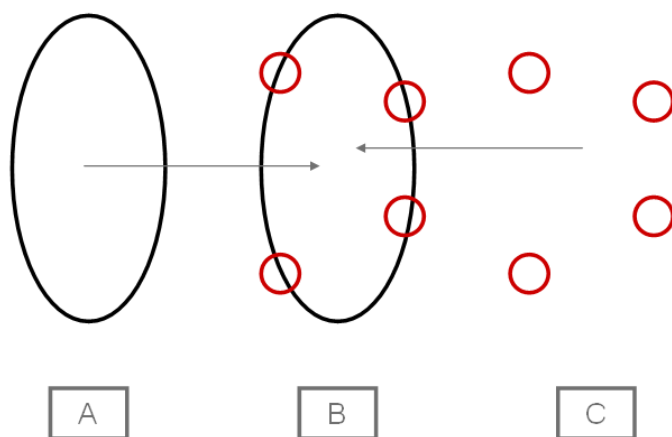
Ten tweede is er een gelegenheidsargument. In Parkstad Limburg gaat weldra gewerkt worden aan de aanleg van een ringweg. Deze weg moet de regio beter bereikbaar maken en vooral woon- en werkgebieden beter aan elkaar verbinden. Op het moment dat er toch aan de ringweg gewerkt wordt en de graafmachines al actief zijn, is het relatief goedkoop om tegelijkertijd een hoofdstructuur voor warmte aan te leggen, die parallel loopt met de ringweg of zo mogelijk onder de ringweg is gelegen. Logischerwijs zal de warmtering dan langs een groot aantal woon- en werkgebieden lopen. Met andere woorden, gelegenheidsplanning kan de aanzet zijn tot een regionale structuur - de warmtering voor Parkstad Limburg (zie figuur 17) - en die als vliegwiel kan fungeren om tot een geïntegreerd energielandschap te komen.

Parkstad Limburg



Figuur 17: een ring van interessante warmteclusters in Parkstad Limburg

Parkstad Limburg als case



Figuur 18: Een warmtering als een regionale structuur om cluster te verbinden en te kunnen laten ontwikkelen

Ten slotte

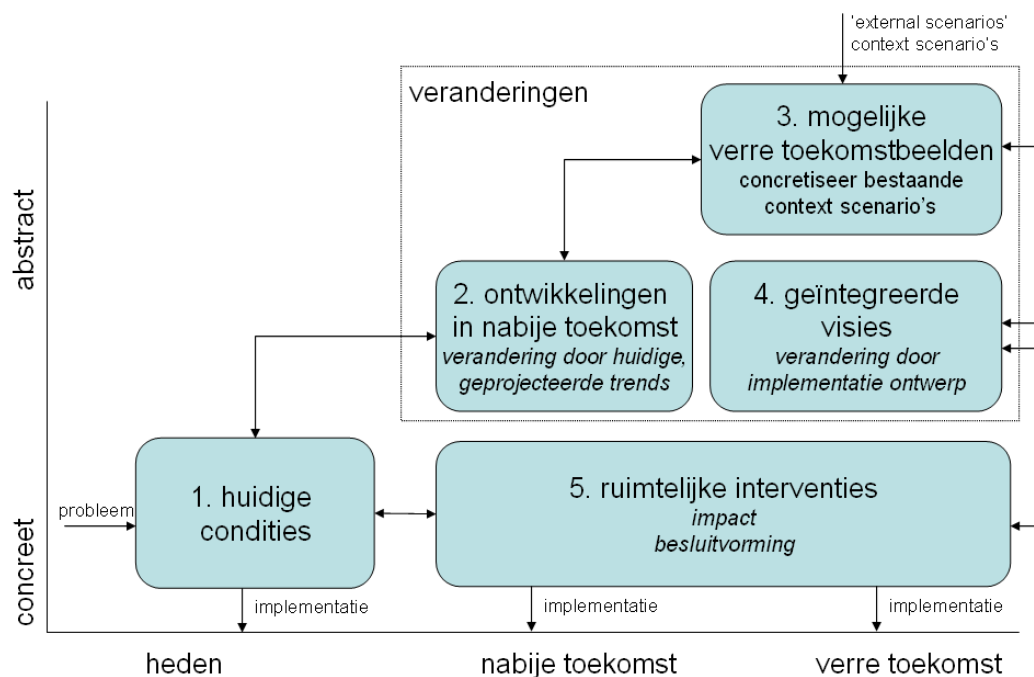
In dit hoofdstuk is een voorstel gedaan om met een nieuwe blik naar energie te kijken. Energie blijkt zo veel meer te zijn dan wat ons met elektriciteit en gas wordt aangeboden. Wanneer we naar de kwaliteit van energie kijken – we spreken dan van exergie – blijkt er veel meer mogelijk. Alleen, dan zullen we wel in staat moeten zijn van gebaande paden af te stappen, met de wil om winst te halen uit alternatieve strategieën en aanpakken. Niet wind- en zonne-energie maar restwarmte en biogas zijn boegbeelden van deze alternatieven. Met restwarmte als voorbeeld is in dit hoofdstuk inzichtelijk gemaakt dat er lokaal en regionaal warmtenetwerken kunnen worden ontwikkeld, wat veel energie zal sparen door exergetisch te gaan denken. Ruimtelijke planning is dan wel noodzakelijk, omdat warmteleverende en – behoevende functies ruimtelijk niet heel ver van elkaar af kunnen staan, om van elkaar te kunnen profiteren. En als er toch aan ruimtelijke planning wordt gedaan ten behoeve van duurzaam energiegebruik, dan blijkt er nog veel meer mogelijk. Naast warmtecascade en warmtenetwerken kunnen afhankelijk van lokale en regionale omstandigheden andere bronnen van energie (biomassa, thermische energie, enz) en verschillende vormen van opslag en transport (de kolenmijnen bijvoorbeeld) bijdragen aan een integraal energielandschap. Dit energielandschap

kan goeddeels autarkisch zijn, maar evenzo is mogelijk dat er een sterke verweving plaatsvindt tussen de traditionele netwerken van gas en elektriciteit en de daar uit voortkomende lokale innovaties, en innovaties door alternatieve bronnen van energie en exergie.

Al is in dit hoofdstuk alleen de casus Zuid-Limburg besproken, het zal de lezer duidelijk zijn dat het gebiedsspecifieke karakter van het integrale energielandschap buiten kijf is, en er dus voor elk gebied met z'n gebiedseigen potenties een strategie en aanpak ontwikkeld zal moeten worden om zoveel mogelijk te profiteren van de lokale en regionale energetische en exergetische kansen. Er bestaat daarvoor geen blauwdruk, maar in dit hoofdstuk is wel een methode voorgesteld om de potenties van een mogelijk geïntegreerd energielandschap zichtbaar te maken. Door middel van twee stappen wordt zo'n energielandschap neergezet: eerst door de energie- en exergiepotenties van een regio van uit verschillende ruimtelijk-economische perspectieven te benaderen. Dit resulteerde in vier uiteenlopende scenario's voor Zuid-Limburg. Vervolgens zal het meest gewenste of meest haalbare perspectief uit kunnen worden gewerkt. In dit hoofdstuk is voor een deel van Zuid-Limburg, te weten Parkstad Limburg, het scenario 'Caring Region' uitgewerkt, in een poging te bezien of Parkstad Limburg voor energie zelfvoorzienend zou kunnen worden. De samenhang tussen specifieke gebiedseigenschappen van een regio, zoals ondanks de gefragmenteerde structuur van Parkstad Limburg, is de specifieke situatie dusdanig dat een geïntegreerd energielandschap op basis van onder meer warmtecascadering en –netwerken een reële mogelijkheid lijkt te zijn. Geïntegreerde energielandschappen zijn buitengewoon interessant om de energietransitie van fossiele naar alternatieve energiebronnen verder te helpen ontwikkelen. Het is daarvoor wel noodzakelijk energie vanuit een exergetisch en vanuit een ruimtelijk perspectief te gaan bezien. Praktisch is een derde generatie energielandschappen binnen handbereik, waarmee kan worden bijgedragen aan duurzame ontwikkeling.

9. Exergieplanning op regionale schaal: Zuidoost-Drenthe

In dit hoofdstuk gaan we aan de slag in Zuidoost-Drenthe. De routekaart als weergegeven in figuur 19 is hierbij wederom een leidraad in de casestudy. Tegelijkertijd wordt getoetst in de empirie of de methodiek werkbaar is en leidt tot de verwachte resultaten.



figuur 19: routekaart voor integrale energie-ruimte visies in Zuidoost-Drenthe

Eerst zal de case, Zuidoost-Drenthe, concreet vanuit het heden geanalyseerd worden in paragraaf 9.1. Vervolgens wordt de sprong in de toekomst gemaakt naar 2040 en de context van de veranderingen geschetst. Dat gebeurt in paragraaf 9.2. Op basis van beelden op de toekomst, de wensen van nu en de exergiebenadering uit deze studie wordt toegewerkt naar integrale energie-ruimte concepten. Tot slot wordt in de slotparagraaf 9.3 ingegaan op de beleidsmatige implicaties en de stap teruggezet naar wat er nu concreet zou kunnen, of zou moeten gebeuren.

9.1 Zuidoost-Drenthe: de huidige condities als vertrekpunt

Zuidoost-Drenthe is een gebied van 580.000 hectare, dat bestaat uit slechts twee gemeentes, Coevorden en Emmen. Ter vergelijking, Zuid-Limburg is even groot. In het gebied wonen 145.000 mensen in ongeveer 62.000 woningen. De grootste bevolkingsconcentratie is in de stedelijke kern van Emmen met bijna 50.000 inwoners. (CBS 2008).

De behoefte aan energie in Zuidoost-Drenthe is voor de diverse sectoren geschat in een studie door KNN (2008), zie figuur 20. In vergelijking met andere gebieden in Nederland valt het relatief hoog gebruik van energie in de industrie op. Dat komt door een behoorlijke concentratie aan chemische industrie in de gemeente Emmen op het Emmtec terrein. Het energieverbruik voor transport is verder hoofdzakelijk gebaseerd op exergetisch hoogwaardige fossiele brandstoffen.

Ook het energieverbruik in de landbouw valt op. Dit komt doordat er een aanzienlijke hoeveelheid tuinbouwkassen in Zuidoost-Drenthe ligt. Deze tuinbouwkassen worden gerekend tot landbouw, al zou het ook als industrie gecategoriseerd kunnen worden. In de tuinbouwsector wordt aardgas gebruikt om vaak zelf stroom voor verlichting en warmte voor de kas te genereren. Verder gebruiken ook de inwoners thuis, net als een aantal diensten stroom en gas voor de huishoudelijke energiediensten.

Energie voor woningen

Het grootste deel van de woningen in Emmen is gebouwd tussen 1950 en 1980. In deze woningen wordt aardgas gebruikt voor de productie van warm water van 90 graden Celsius voor verwarming en 60 graden Celsius voor tapwater verwarming. Het gemiddelde energieverbruik voor deze woningen bedraagt per vierkante meter vloeroppervlak:

- Aardgas voor ruimteverwarming: ongeveer 14 m³/ jaar
- Aardgas voor tapwaterverwarming: ongeveer 4 m³/ jaar
- Elektriciteit: ongeveer 30 kWh/jaar

Het gemiddelde energieverbruik voor nieuwbouwwoningen, ter vergelijking, bedraagt per vierkante meter vloeroppervlak:

- Aardgas voor ruimteverwarming: ongeveer 5 m³/ jaar

- Aardgas voor tapwaterverwarming: ongeveer 5 m³/ jaar
- Elektriciteit: ongeveer 30 kWh/jaar

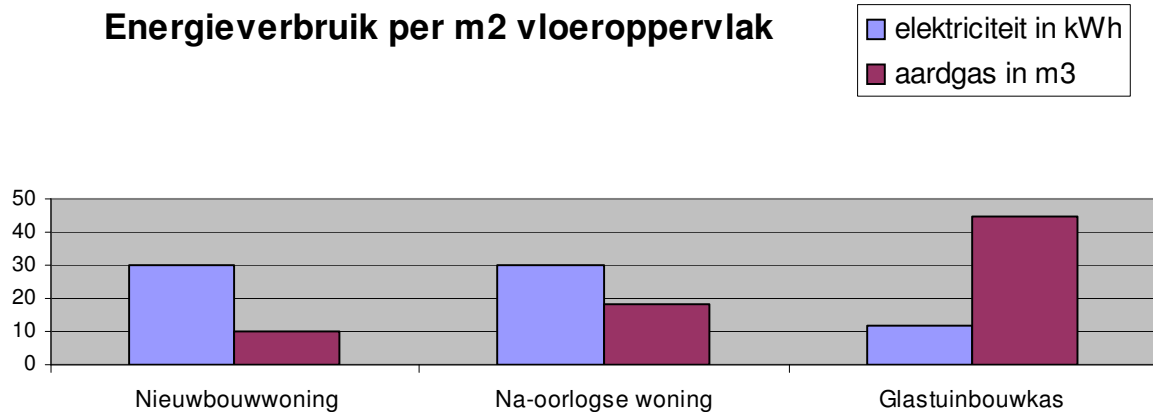
Energie voor tuinbouw

Zoals opgemerkt, de meeste energie wordt gebruikt in de tuinbouwsector. In Zuidoost-Drenthe zijn er twee grote gebieden met tuinbouwkassen, geconcentreerd in Erica en Klazienaveen. Op dit moment is er bij benadering 280 hectare tuinbouwkassen in Zuidoost-Drenthe. In een recent verleden zijn er plannen geweest om dit uit te breiden naar 1000 hectare. Vanwege de hoge energieprijzen heeft de sector het echter moeilijk en lijken deze plannen niet realistisch. Tegelijkertijd is het daarom belangrijk om te kijken naar een reductie van de energiebehoefte, of goedkopere energievormen te vinden in de buurt. Op dit moment wordt aardgas gebruikt voor het verwarmen van de kassen tot een luchttemperatuur van 25 graden Celsius en het produceren van CO₂ voor het laten groeien van de planten. Meestal gebeurt dit met eigen, relatief kleine warmtekrachtkoppelingen per kas.

Typerende kentallen voor vraag en aanbod in een kas			
Energievraag	per m ²	per bedrijf	gehele sector
gas	45 – 50 m ³	350– 400 duizend m ³	4,3 – 4,8 miljard m ³
Elektriciteit *)	12 kWh	100.000 kWh	1,2 miljard kWh
Totale vraag	1,6 GJ	13 TJ	155 PJ
Energie-aanbod	per m ²	per bedrijf	gehele sector
Zoninstraling	3,8 GJ	29 TJ	350 PJ

*) Sectorgemiddelde. Voor teelten met assimilatiebelichting ligt het gebruik hoger.

Vergeleken met de woningbouw is er in de tuinbouw nog heel wat te winnen. Reden om deze sector in de plannen voor Zuidoost-Drenthe nadrukkelijk te betrekken.



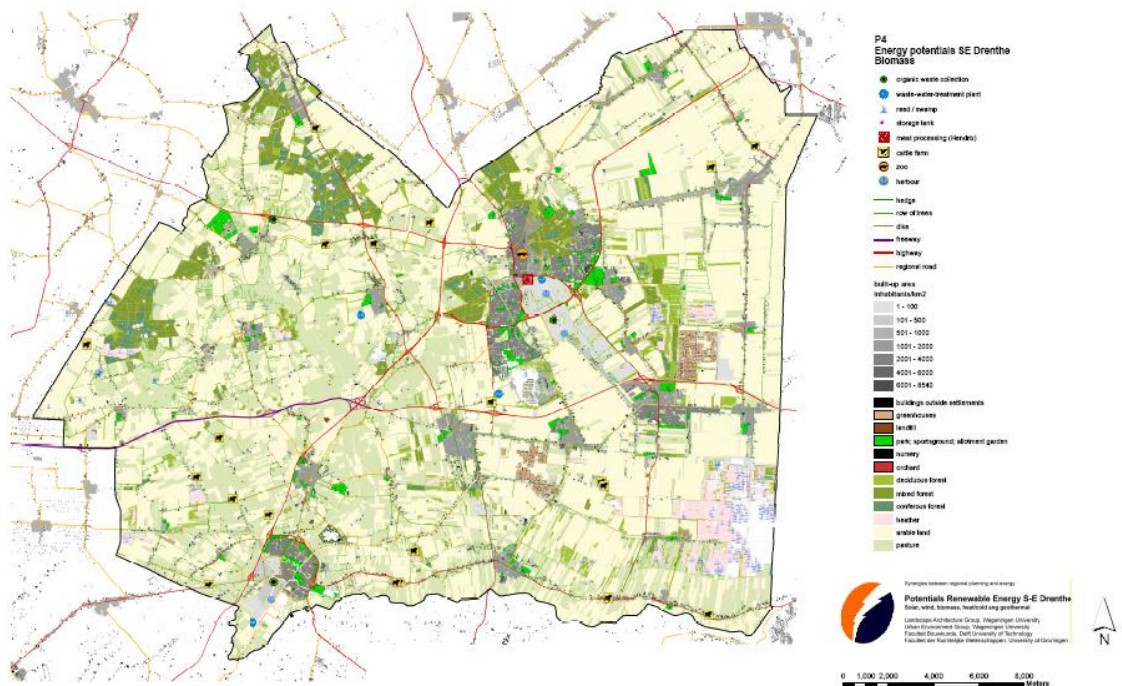
Energie in the industrie

Het energiegebruik in de industrie is te categoriseren aan de hand van de processen in diezelfde industrie. Vaak worden hoogwaardige exergetische brandstoffen ingezet voor de productie van aan de ene kant producten en aan de andere kant warmte van hoge temperaturen om apparaten te laten functioneren.

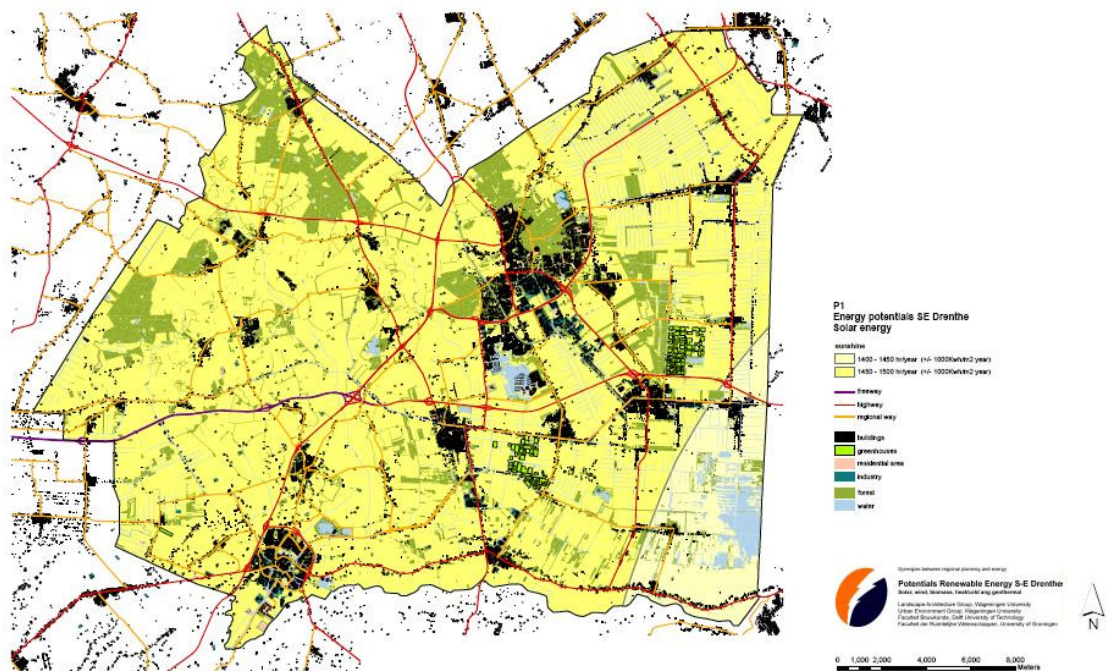
In Zuidoost-Drenthe is een aantal industrieën aanwezig met een aanzienlijke inzet van energie, zoals de papierfabriek in Coevorden. De papierfabriek heeft proceswarmte nodig van 160 graden Celsius. Ook de Forbo Novilon fabriek in Coevorden, die plastics en rubber verwerken in PVC vloerbedekking heeft hoge procestemperaturen nodig, zoals 160-180 graden Celsius. Verder is er het chemisch industriepark Emmtec in Emmen en is de NAM op een aantal plekken in de regio aanwezig voor gas- en oliebehandelingsprocessen. Enerzijds gebruiken deze industrieën energie, maar anderzijds zijn ze ook grote bronnen van exergetisch laagwaardige energievormen. Tot slot kunnen we de vijf bestaande/in bouw zijnde warmtekrachtcentrales noemen, als relevante elementen in het lokale energielandschap.

Om een idee van het energiebruik in de industrie in Emmen en Coevorden te hebben, refereren we nogmaals naar de cijfers van KNN. Elektriciteit buiten beschouwing latend is de chemische industrie de grootgebruiker in de region (4,25 PJ door chemiepark Emmtec in Emmen. Andere categorieën gebruiken 1,1 PJ in Coevorden en 0,8 PJ in Emmen. Verder zijn de tuinbouwkassen in Emmen

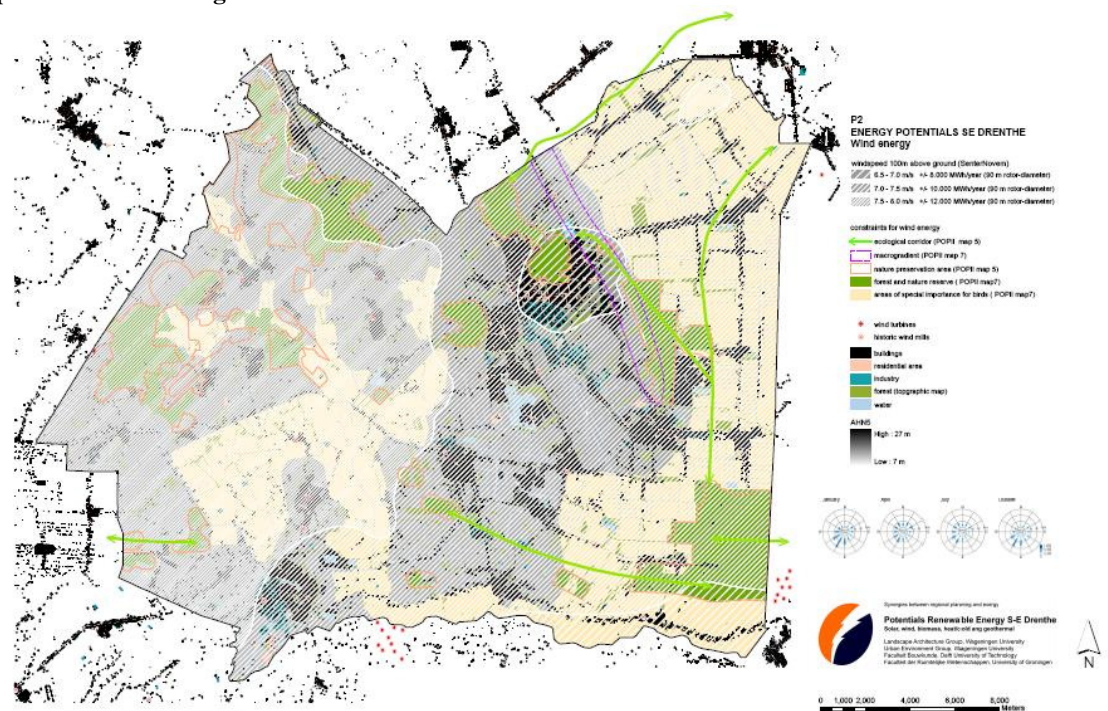
verantwoordelijk voor energiegebruik in de categorie landbouw ter grootte van 2,5 PJ. Tot slot gebruiken de twee WKK's in Erica en Klazienaveen samen 2,3 PJ. De uitdaging is om met deze energiegebruikers in beeld, naar een concept toe te werken voor de regio, waarbij het exergieprincipe helpt om de vraag naar energie drastisch te reduceren. Dat is dan vervolgens de basis om de resterende energievraag zo veel mogelijk met behulp van renewables, als wind, zon en biomassa, te dekken. Het karteren van de energiepotenties is hiervoor een eerste stap. Zie de kaarten 1 tot en met 6.



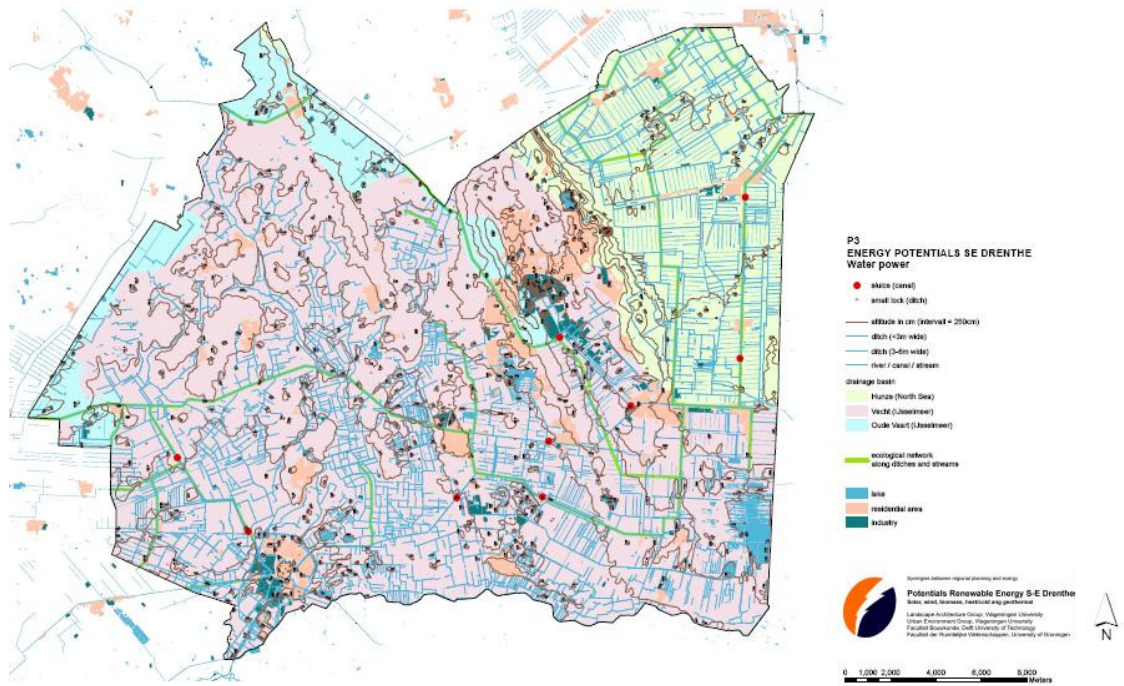
kaart 1: potentie biomassa



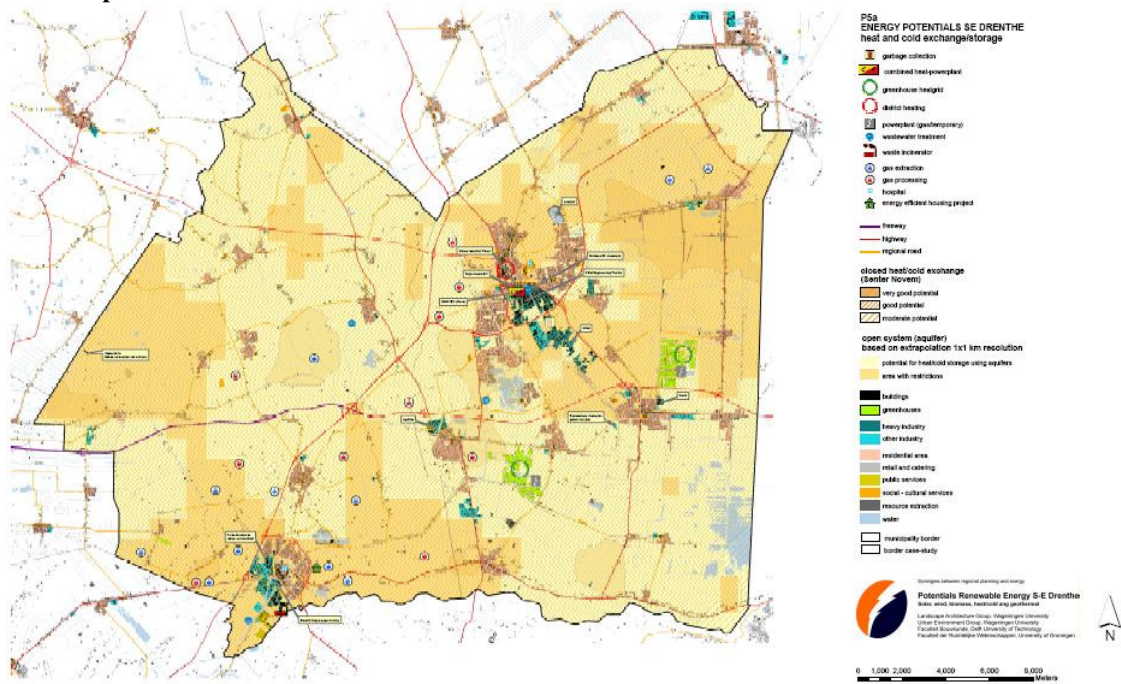
kaart 2: potentie zonne-energie



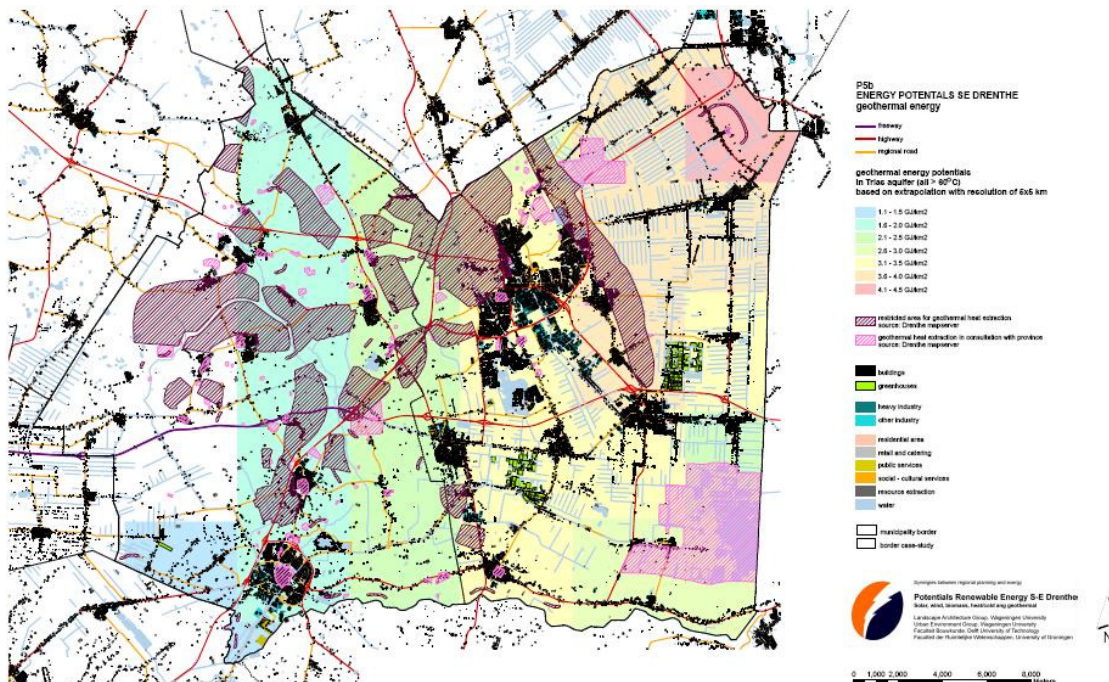
kaart 3: potentie windenergie



kaart 4: potentie waterkracht



kaart 5: potentie warmtekoelopslag



kaart 6: potentie geothermie

De bovenstaande kaarten geven een beeld van de generieke energiepotenties in een gebied vertaald naar de specifieke regio Zuidoost-Drenthe. Het tegenbeeld is een kaart van de energiegebruikers in de regio, kaart 7 toont dit. Na deze basale verkenning komt de vervolgstap, het in beeld brengen van mogelijke toekomstontwikkelingen om uiteindelijk een robuust toekomstbeeld met bijbehorende interventies voor Zuidoost-Drenthe te kunnen schetsen. Hiermee gaan we verder in paragraaf 9.2.

inventarisatie gemaakt van hoe in de huidige regio de ruimte is ingericht en welke energiesystemen worden gebruikt. Als onderdeel van de huidige energetische condities is ook het potentieel voor renewables in kaart gebracht in zogenaamde energiepotentieekaarten. Vervolgens wordt gefocust op de verwachte ontwikkelingen op de korte termijn, waartoe vooral de ontwikkelingen zoals aangegeven op De Nieuwe Kaart van Nederland worden gerekend (Nirov, 2010). Daarna wordt een scenario-aanpak gebruikt om fundamentele onzekerheden een plek te geven in de toekomstbeelden voor Zuidoost-Drenthe. Hierbij wordt aansluiting gezocht bij de internationaal gebruikte IPCC-scenario's en de nationaal in zwang zijnde WLO-scenario's. Deze scenario's worden gebruikt als context. Zie voor een korte duiding van de scenario's het onderstaande overzicht! Meer uitleg is te vinden in het SREX rapport 2008.2 (SREX, 2009).

Global Market

Context

De kenmerken van dit scenario zijn een open, mondiale markt met verdere globalisering en liberalisering. Men denkt kapitalistisch en is marktgeoriënteerd. Er is een sterke economische en technologische ontwikkeling. Burgers zijn individualistisch en materialistisch ingesteld. Het in standhouden van de welvaartstaat is geen prioriteit en de interesse voor de kwaliteit van de leefomgeving neemt af. Met andere woorden er is een sterk monofunctionele focus, ook op het gebied van energie en ruimte, waarbij economy of scale een belangrijk principe blijft.

Secure Region

Context

Culturele identiteit en traditionele waarden zijn belangrijk in dit scenario. Dit leidt tot een stop van de globalisering. De wereld valt uiteen in protectionistische regio's. Zekere energie- en materiaalstromen uit het buitenland zijn passé. Een kenmerk is ook het streven naar autarkie, ieder voor zich. Ofschoon daarmee de eigen leefomgeving belangrijk is, staan economische efficiëntie en voorzieningszekerheid als belangrijk te boek.

Global Solidarity

Context

In dit scenario zijn culturele identiteit en traditionele waarden ook belangrijk. De samenleving vertoont echter een trend naar een duurzame economische ontwikkeling. Alle actoren in de samenleving hebben aandacht voor milieu en sociale aspecten van het leven. Zowel top-down als bottom-up initiatieven ontstaan. De welvaart wordt verdeeld en er is een vrije uitwisseling van kennis en technologie. Een ander kenmerk is een sterke, generieke aandacht voor de leefomgeving.

Caring Region

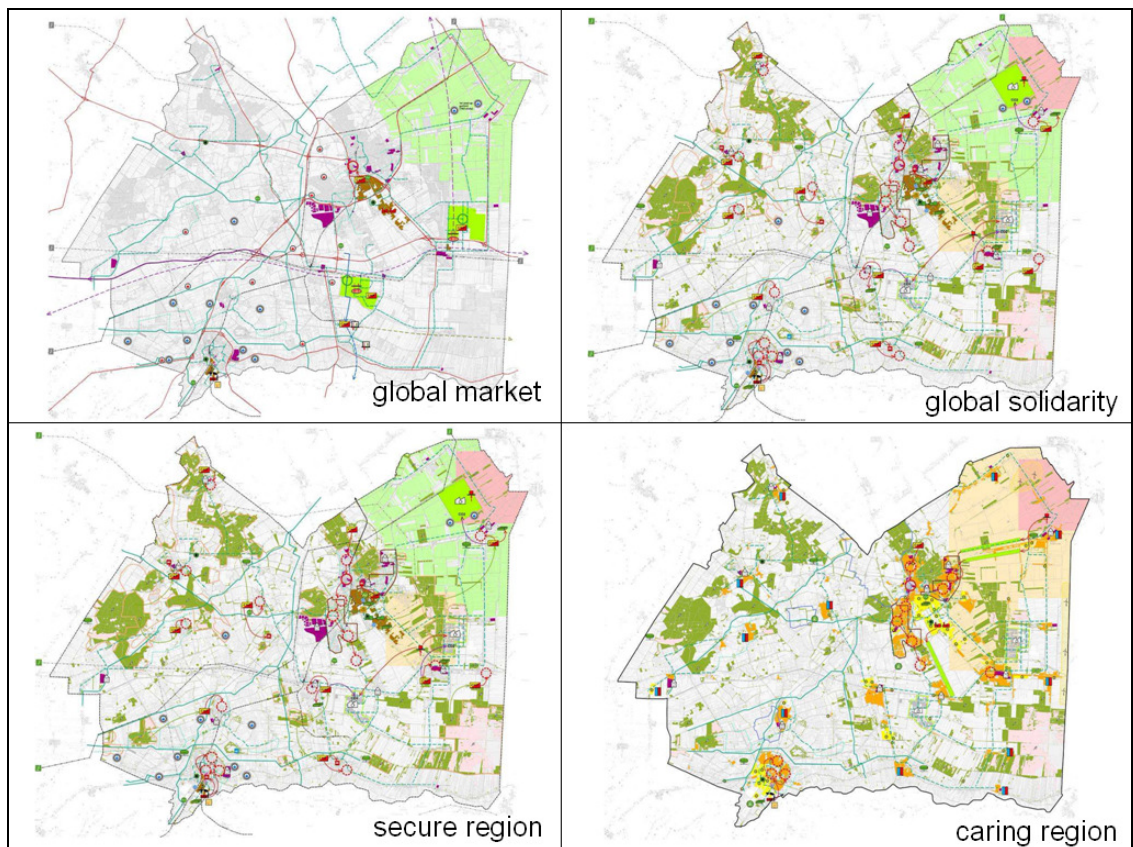
Context

Dit scenario wordt gekenmerkt door economisch protectionistisch beleid gericht op autarkie. De overheid is verantwoordelijk voor milieu en sociale cohesie. In de regio is er betrokkenheid ten aanzien van milieukwaliteit en sociale aspecten. Dit scenario wordt verder gekenmerkt door minder mobiliteit van mens, kapitaal en kennis. Kleinschaligheid en multifunctionaliteit gaan hand in hand bij het vinden van regiospecifieke integrale energie-ruimte concepten.

Gebaseerd op de vier context scenario's, leveren vier scenariokaarten voor de verre toekomst input voor het opstellen van strategische energie-ruimte visies, waarbij exergie als ontwerpprincipe wordt gebruikt voor geïntegreerde energie-ruimte landschappen. De vijfde en laatste stap is om op basis van de verschillende visies te komen tot een inventarisatie van robuuste. De uitkomst van de SREX-methode is een kaartbeeld, dat voor zowel 2020 als 2040 laat zien, hoe de regio zich zou kunnen ontwikkelen tot een geïntegreerd energie-ruimte landschap, als exergie daarbij leidend is.

Een cruciale stap is het opstellen van de strategische energie-ruimte visies. Dit zijn visies, waarin mogelijke toekomstbeelden als een gegeven worden beschouwd en op basis waarvan getracht wordt om het regionale energie-ruimte systeem door middel van exergieplanning te optimaliseren. Als een belangrijke bron van input is hierbij gebruikgemaakt van expertmeetings. Regionale deskundigen hebben hierbij hun gedachten laten schijnen over telkens één scenario en op die manier is een eerste, interessant, ruw beeld ontstaan van de vier strategische

energie-ruimte visies. In aanvulling op deze uitkomsten is later gebruikgemaakt van het interdisciplinaire onderzoeksteam binnen SREX om het ontwerpproces verder in te vullen. Het resultaat bestaat uit de vier strategische energie-ruimte visies met een tijdshorizon richting 2040 (zie: kaart 8). Hier bespreken we hoe uiteindelijk twee kaartbeelden (2020 en 2040) zijn gemaakt, die een geïntegreerde energie-ruimte visie laten zien voor Zuidoost-Drenthe.



Kaart 8: strategische energie-ruimte visies gebaseerd op vier verschillende scenario's

De vier strategische energie-ruimte visies, het toegepaste exergieprincipe en de bijbehorende ruimtelijke overwegingen moeten zorgvuldig in ogenschouw worden genomen om uiteindelijk de kaartbeelden voor 2020 en 2040 op te kunnen stellen. Aan de ene kant is het daarbij nuttig om naar robuuste strategieën te kijken. Dat betekent, dat er een focus is op meer waarschijnlijke alternatieven of alternatieven waarvan je in ieder geval geen spijt krijgt (de no-regret opties), ongeacht externe

ontwikkelingen. Er is immers een hele set ontwikkelingen denkbaar op wereldschaal, die hun uitwerking op een regio als Zuidoost-Drenthe niet zullen missen, maar waarop je als regio nauwelijks invloed hebt. Tegelijkertijd is het ook nodig om berekeningen uit te voeren om op basis van bijvoorbeeld de impact op een variabele als CO₂-uitstoot de diverse alternatieven met elkaar te kunnen vergelijken. Niet ieder alternatief levert een significante bijdrage aan een duurzaam energielandschap. Bovendien is het zeker niet automatisch zo dat robuuste strategieën ook een grote impact hebben. Een energie-ruimte interventie kan op een kaart behoorlijk veel ruimte claimen, maar vervolgens een gering effect sorteren. Daarnaast blijven synergievoordelen, die zouden kunnen optreden tussen verschillende interventies, veelal verborgen. Kortom, er is zowel een strategisch als operationeel motief om zorgvuldig naar het overzicht van energie-ruimte interventies te kijken, die op de kaarten met de strategische energie-ruimte visies zichtbaar zijn.

In de laatste stap wordt een analyse gemaakt van alle mogelijke interventies, waarbij de vraag is of ze gerealiseerd kunnen worden in één, twee, drie of alle mogelijke toekomstbeelden. De achterliggende aanname is dat als een interventie in meer mogelijke toekomstbeelden verschijnt, deze minder gevoelig is voor fundamentele onzekerheden. Interventies, die in alle mogelijke scenario's kunnen, zijn zeer robuust. Uiteindelijk is het ook zo, dat opties die twee of drie keer voorkomen in één van de vier scenario's, nog steeds robuuster zijn dan opties die slechts één keer voorkomen. Deze laatste opties kunnen wel degelijk interessant zijn, maar zijn dus veel minder zeker en worden niet zondermeer opgenomen in de geïntegreerde energie-ruimte visies voor 2020 en 2040.

Een eerste blik op de vier getoonde energie-ruimtevisies voor de vier verschillende scenario's levert een duidelijk zichtbaar verschil op tussen het Global Market en het Caring Region scenario. De kleur van de kaart, evenals het aantal interventies verschilt duidelijk. Niettemin hebben we een lijst met alle interventies opgesteld, die in minimaal één van de vier scenario's voorkomen om een volledig overzicht te krijgen. Hierbij is aangegeven hoe vaak een interventie voorkomt, maar ook wat de impact is op de reductie van CO₂-uitstoot en oppervlakte landgebruik.

Tabel 1 laat een lijst van robuuste strategieën zien, waarvan er vier zelfs als no-regret optie kunnen worden aangeduid. In tabel 2 staat een overzicht van energie-ruimte interventies, die slechts in de helft van de scenario's opduiken en dus mede

afhankelijk zijn van externe ontwikkelingen. Vanuit het hier gebruikte perspectief van exergieplanning betekent dit echter niet dat deze strategieën minder relevant zijn. Hierna bespreken we welke interventies de potentie hebben om synergie te creëren met andere (mogelijke) interventies. Dat is ook de basis voor het inzicht in hoe geïntegreerde energie-ruimte landschappen kunnen ontstaan.

	Symbool op kaart	Energiebewuste interventies	Global Market visie	Secure Region visie	Global Solidarity visie	Caring Region visie	Relatieve Robuustheid	CO2-reductie	2010-2020	2020-2040
1		Opwaarderen van bestaande rioolwaterzuiveringsinstallaties, rwzi's (fase 1 overschot biogas naar gasnetwerk; fase 2 scheiding grijs en zwart water)	4	4	4	1	4	0.1%		
2		Cascaderen van restwarmte tussen bedrijven / industrieën	1	1	1	1	4	Studie		
3	<i>Niet zichtbaar op kaart</i>	Verzamelen van (vast) restafval (locaties voor verzamelplekken)	1 bij afvalverbrander	3	1 bij afvalverbrander	1 bij afvalverbrander	4	Zie 5	<i>Niet opgenomen</i>	
4		Verzamelen van organisch afval (locaties voor verzamelplekken)	3	3	3	3	4	Zie 1&7		
5		Opwaarderen van afvalverbrander naar WKK (verbinden met nieuw warmtenetwerk)		1	1	1	3	Zie 6		Uit-faseren
6		Aanleg nieuwe warmtenetten in wijken en buurten		1	15+	10+	3	1.6%		
7		Benutten van 2e generatie biomassa (uit natuurgebieden, 6000 hectare)		6.003 ha	6.003 ha	6.003 ha	3	0.9%		
8		Aanleg van nieuwe woongebieden met energieneutrale huizen (5000 woningen)		438 ha	438 ha	229 ha	3	1.4%		

Tabel 1: robuuste energie-ruimte interventies

	Symbool op kaart	Energiebewuste interventies	Global Market visie	Secure Region visie	Global Solidarity visie	Caring Region visie	Relatieve Robuustheid	CO2-reductie	2010-2020	2020-2040
9		Handhaven bestaande WKK's (gebaseerd op aardgas)	3 bestaande	3 bestaande			2	0.0%		Uitfaseren
10		Heractiveren warmtenet en CO ₂ -netwerk in kassengebied	2 locaties	2 locaties			2	Studie		
11		Zoekgebied voor koolstofbinding (CO ₂ opslag in biomassa door natuurontwikkeling in laaggelegen gebied)	7.120 ha		7.120 ha		2	3.4%		
12		Potentie voor koolstofopslag in lege aardgasvelden (CO ₂ opslag)	11 locaties		11 locaties		2	Studie		
13		Installatie van warmte/koudpompen (gesloten systemen op gebouwniveau bij 5000 woningen)		10+ dorpen		10+ dorpen	2	0.2%		
14		Zoekgebied windturbinepark (880 ha)		19.315 ha		880 ha	2	23.9%		
15	<i>Niet zichtbaar op kaart</i>	Aanleg van nieuwe WKK's gebaseerd op lokaal geproduceerde biomassa (tweede generatie)			10+ medi WKK's	1 grote WKK	2	Zie 7	<i>Niet opgenomen</i>	
16		Opwaardering van bestaande tuinbouwkassen naar energieneutrale kassen (280 ha voetafdruk)			565 ha	565 ha	2	7.1%		
17		Aanleg van faciliteiten voor algenproductie die gebruikmaken van afvalwater en restwarmte (tbv biobrandstoffen)			5 installaties	2 installaties	2	Studie		
18		Winning van geothermische warmte voor cascadering van warmte			2 putten	1 put	2	Zie 6		
19		Assimilatie van zonne-energie uit wegen in geselecteerde stedelijke gebieden met potentie voor warmte-koudeopslag in aquifers			133 ha	133 ha	2	1.0%		
20		Fermentatie van mest en ander biologisch materiaal (biogas op gasnetwerk)			5 installaties	5 installaties	2	1.4%		
21		Aanleg van stedelijk warmtenetwerk			2 steden	2 steden	2	Zie 6		

Tabel 2: interessante energie-ruimte interventies afhankelijk van andere ontwikkelingen

Zoals de getoonde tabellen met interventies laten zien, is het opwaarderen van bestaande rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi) tot biogasproductielocaties een robuuste strategie, omdat alle energievisies de 'vergroende' rwzi's laten zien. Ook het cascaderen van warmte tussen bedrijven, verzamelpunten voor restafval en verzamelpunten voor organisch afval zijn interventies die in elk scenario terugkeren. Bovendien zien we deze interventies ook nu al in de praktijk terug. Rwzi's worden meer en meer een bio-energievoorziening (zie ook: Van Kann, 2009b). Op zichzelf is het ook geen grote ruimtelijke interventie, al kan het verbinden van de 'vergroende' rwzi met andere ruimtelijke functies onderdeel zijn van energie-ruimte overwegingen op een hogere schaal. Hier in deze casus zien we dat hoofdzakelijk het gasnetwerk wordt gebruikt voor de distributie van het biogas naar de gebruikers. Dat hangt ook samen met de afstand tot de gebruikers, met verwachte toekomstige ontwikkelingen in de directe nabijheid van de rwzi en van de beschikbaarheid van een warmtenet.

Een mogelijke ontwikkeling is getoond in tabel 2, de productie van algen. Dit soort ontwikkelingen is minder zeker, maar het is redelijk om de productie van biogas bij rwzi's te veronderstellen. Dat kan vervolgens als vliegwiel (zie ook: Ensing, 2010) werken voor andere energiebewuste interventies, zoals we verderop zullen bespreken.

Vervolgens toont tabel 1 vier interventies, die waarschijnlijk zijn als we het huidige business as usual scenario (dat hier Global Market heet) achter ons laten. Dit viertal interventies is gebaseerd op strategieën om beter gebruik te maken van energiekwaliteiten (opwaarderen vuilverbrander tot warmte- en elektriciteitsleverancier en aanleg warmtenetten) en het oogsten van energie uit lokale potenties, zoals tweede generatie biomassa-initiatieven. Tot slot, wordt het bouwen van energieneutrale woningen ook gezien als een robuuste strategie. Een interessant verschil tussen de scenario's zit er in, dat in het "caring region" scenario minder hectares nieuwbouw nodig zijn in verhouding tot "secure region" en "global solidarity". Dit heeft alles van doen met aannames over de groei van de woningvoorraad, evenals waar deze groei zal plaatsvinden. Een vergelijkbaar kwantitatief onderscheid zien we bij de aanleg van nieuwe warmtenetten. Kortom, hoewel sommige interventies robuust genoemd kunnen worden, varieert hun ontwikkeling wel in aantallen, snelheden en vooral de locaties waarop ze ontwikkelen.

De lijst in tabel 2 toont interventies die slechts in twee van de vier energie-ruimtevisies voorkomen. Niettemin is ook hier een belangrijke categorisering aan te brengen. De eerste twee interventies (9 en 10) zijn alleen waarschijnlijk als de verre toekomst zich ontwikkelt in een minder duurzame richting. Daarbij ligt de nadruk meer op het maximaliseren van één variabele (bijvoorbeeld economie) of ruimtelijke functie (bijvoorbeeld tuinbouw) dan op het optimaliseren van een geïntegreerd energie-ruimte landschap. De derde en vierde interventie (nummer 11 en 12) zijn beide afhankelijk van ontwikkelingen op minimaal de nationale schaal, of mogelijk zelfs wereldschaal. Stel dat de afvang en opslag van CO₂ in Nederland of Europa beleid wordt dan heeft Zuidoost-Drenthe goede kansen om met die ontwikkeling mee te liften. Het omgekeerde is waar voor de installatie van warmte(koude)pompen op gebouwniveau en de zoekgebieden voor windenergie. Enkel in de gevallen, dat we niet met de elektriciteitsproductieopgaves uit windenergie kunnen omgaan op een

grotere schaal dan de regio Zuidoost-Drenthe dan is de ontwikkeling van bijvoorbeeld parken met windturbines in Zuidoost-Drenthe waarschijnlijk. Immers, windpotentiekaarten laten zien, dat er voor iedere windturbine die je in Emmen of Coevorden zou plaatsen, een wind-technisch betere locatie is elders in Nederland of daarbuiten. Tot slot, is er een zevental interventies dat onderaan in tabel 2 staat en zowel in het Global Solidarity als Caring Region scenario opduikt. Daarom kunnen de laatste zeven interventies, inclusief de aanleg van een stedelijk warmtenet, als robuuste strategieën worden gezien, als een energietransitie naar een duurzaam systeem een strategisch doel wordt van het eigen regionaal beleid. Vervolgens is er een dertiental interventies, dat slechts in één van de verschillende scenario's opduikt. Niettemin kunnen dat soort interventies mogelijk wel tot synergie leiden met energie-ruimte ontwikkelingen die in alle waarschijnlijkheid wel plaats zullen vinden. Deze niet robuuste strategieën (opgenomen in de figuren 4 t/m 8 en figuur 10) kunnen daarom worden gezien als kansen of unieke opties gegeven andere ontwikkelingen. Hierna zullen we laten zien, hoe je gebaseerd op een enkele robuuste energie-ruimte-interventie een set van samenhangende interventies kan maken, die meer dan de som der delen kunnen opleveren.

Als we beginnen met het maken van overzichtstabellen met mogelijkheden om interventies te combineren dan krijgen we een negental geïntegreerde systemen (zie SREX-rapporten 2009.1 en 2009.2 voor nadere uitleg). Deze systemen kunnen ruwweg worden onderverdeeld in twee categorieën, te weten: bio-energie gerelateerde systemen en systemen die samenhangen met een stedelijk warmtenetwerk. Tot de eerste categorie behoren de figuren 20 tot en met 22.

	Symbool op kaart	Energiebewuste interventies	Global Market visie	Secure Region visie	Global Solidarity visie	Caring Region visie	Relatieve Robuustheid	CO ₂ -reductie	2010 2020	2020 2040
1		Opwaarderen van bestaande rioolwaterzuiveringsinstallaties, rwzi's (fase 1 overschot biogas naar gasnetwerk; fase 2 scheiding grijs en zwart water)	4	4	4	1	4	0.1%		
4		Verzamelen van organisch afval (locaties voor verzamelplekken)	3	3	3	3	4	Zie 1&7		
6		Aanleg nieuwe warmtenetten in wijken en buurten		1	15+	10+	3	1.6%		
17		Aanleg van faciliteiten voor algenproductie die gebruikmaken van afvalwater en restwarmte (tbv biobrandstoffen)			5 installaties	2 installaties	2	Studie		
20		Fermentatie van mest en ander biologisch materiaal (biogas op gasnetwerk)			5 installaties	5 installaties	2	1.4%		

Figuur 20: Biogasproductie, -distributie en buurt/wijkverwarming

	Symbool op kaart	Energiebewuste interventies	Global Market visie	Secure Region visie	Global Solidarity visie	Caring Region visie	Relatieve Robuustheid	CO2-reductie	2010 2020	2020 2040
5		Opwaarderen van afvalverbrander naar WKK (verbinden met nieuw warmtenetwerk)		1	1	1	3	Zie 6		Uitfasering
6		Aanleg nieuwe warmtenetten in wijken en buurten		1	15+	10+	3	1.6%		

Figuur 11: Afvalverbranding en buurt/wijkverwarming

	Symbool op kaart	Energiebewuste interventies	Global Market visie	Secure Region visie	Global Solidarity visie	Caring Region visie	Relatieve Robuustheid	CO2-reductie	2010 2020	2020 2040
1		Opwaarderen van bestaande rioolwaterzuiveringsinstallaties, rwzi's (fase 1 overschot biogas naar gasnetwerk; fase 2 scheiding grijs en zwart water)	4	4	4	1	4	0.1%		
6		Aanleg nieuwe warmtenetten in wijken en buurten		1	15+	10+	3	1.6%		
9		Handhaven bestaande WKK's (gebaseerd op aardgas)	3 bestaande	3 bestaande			2	0.0%		Uitfasering
10		Heractiveren warmtenet en CO2-netwerk in kassengebied	2 locaties	2 locaties			2	Studie		

Figuur 22: Biogasproductie, warmtekrachtkoppeling en distributienetwerken

Tot de tweede categorie, stedelijk warmtenetwerk, rekenen we de vijf subsystemen die getoond worden in de figuren 23 tot en met 27.

	Symbool op kaart	Energiebewuste interventies	Global Market visie	Secure Region visie	Global Solidarity visie	Caring Region visie	Relatieve Robuustheid	CO2-reductie	2010 2020	2020 2040
2		Cascaderen van restwarmte tussen bedrijven / industrieën	1	1	1	1	4	Studie		
21		Aanleg van stedelijk warmtenetwerk			2 steden	2 steden	2	Zie 6		
34		Cascaderen van restwarmte van fabrieken naar het stedelijk warmtenetwerk				1 gebied	1	Zie 6		

Figuur 23: Bedrijvenparkmanagement, stedelijk warmtenetwerk

	Symbool op kaart	Energiebewuste interventies	Global Market visie	Secure Region visie	Global Solidarity visie	Caring Region visie	Relatieve Robuustheid	CO2-reductie	2010 2020	2020 2040
10		Heractiveren warmtenet en CO2-netwerk in kassengebied	2 locaties	2 locaties			2	Studie		
16		Opwaardering van bestaande tuinbouwkassen naar energieneutrale kassen (280 ha voetafdruk)			565 ha	565 ha	2	7.1%		
17		Aanleg van faciliteiten voor algenproductie die gebruikmaken van afvalwater en restwarmte (tbv biobrandstoffen)			5 installaties	2 installaties	2	Studie		
21		Aanleg van stedelijk warmtenetwerk			2 steden	2 steden	2	Zie 6		
26		Aanleg van warmtekoudeopslag met open systemen (benutting aquifers)	1 locatie				1	Zie 13		

Figuur 24: Tuinbouwparkmanagement, stedelijk warmtenetwerk

	Symbool op kaart	Energiebewuste interventies	Global Market visie	Secure Region visie	Global Solidarity visie	Caring Region visie	Relatieve Robuustheid	CO2-reductie	2010 2020	2020 2040
2		Cascaderen van restwarmte tussen bedrijven / industrieën	1	1	1	1	4	Studie		
6		Aanleg nieuwe warmtenetten in wijken en buurten		1	15+	10+	3	1.6%		
16		Opwaardering van bestaande tuinbouwkassen naar energieneutrale kassen (280 ha voetafdruk)			565 ha	565 ha	2	7.1%		
21		Aanleg van stedelijk warmtenetwerk			2 steden	2 steden	2	Zie 6		
26		Aanleg van warmtekoelopslag met open systemen (benutting aquifers)	1 locatie				1	Zie 13		
33		Verbinden van zwembad met stedelijk warmtenetwerk			2 zwembaden		1	0.1%		
34		Cascaderen van restwarmte van fabrieken naar het stedelijk warmtenetwerk				1 gebied	1	Zie 6		

Figuur 25: Integraal parkmanagement, uitgebreid stedelijk warmtenetwerk

	Symbool op kaart	Energiebewuste interventies	Global Market visie	Secure Region visie	Global Solidarity visie	Caring Region visie	Relatieve Robuustheid	CO2-reductie	2010 2020	2020 2040
21		Aanleg van stedelijk warmtenetwerk			2 steden	2 steden	2	Zie 6		
25		Aanleg van zonneterp, mix van tuinbouwkassen en woongebieden				344 ha	1	Zie 16		

Figuur 26: Stedelijk warmtenetwerk en gebiedsspecifieke ontwikkeling

	Symbool op kaart	Energiebewuste interventies	Global Market visie	Secure Region visie	Global Solidarity visie	Caring Region visie	Relatieve Robuustheid	CO2-reductie	2010 2020	2020 2040
21		Aanleg van stedelijk warmtenetwerk			2 steden	2 steden	2	Zie 6		
33		Verbinden van zwembad met stedelijk warmtenetwerk			2 zwembaden		1	0.1%		

Figuur 27: Stedelijk warmtenetwerk inclusief hotspots

Een doorslaggevend argument om het voorgaande overzicht van samenhangende interventies te geven is dat de meeste interventies nauwelijks te zien zijn als volledig zelfstandige interventies. Welke zin heeft de aanleg van een stedelijk warmtenetwerk, als er vervolgens geen bronnen of gebruikers aan gekoppelt worden? Maar ook omgekeerd, hoe kan het zwembad verwarmd worden met restwarmte van een bedrijf als er geen warmtenet aanwezig is? Slechts sommige interventies, zoals de installatie van warmte(koude)pompen, windturbineparken en energieneutrale huizen blijven weg uit de hiervoor getoonde schema's van samenhangende energie-ruimte interventies. Deze interventies zijn te identificeren als additionele elementen, die autonoom kunnen ontwikkelen los van andere energie-ruimte interventies in Zuidoost-Drenthe. Eerder noemden we de ontwikkeling van energieneutrale huizen ook al een robuuste ontwikkeling. Dat betekent, dat we deze autonome ontwikkeling in ieder geval verwachten in de regio,

maar de weerslag voor andere energie-ruimte interventies is nihil. Met andere woorden, robuuste, autonome interventies ontwikkelen vanzelf, maar voor niet autonome interventies is synergie met andere ontwikkelingen, zoals geïllustreerd in de figuren 23 tot en met 27 essentieel.

Voor het uiteindelijke totaalplaatje van de geïntegreerde energie-ruimte visie voor Zuidoost-Drenthe is het relevant dat er twee groepen van samengestelde interventies zijn. Ten eerste is er een geïntegreerd systeem denkbaar gebaseerd op bio-energie interventies in combinatie met buurt- of wijkverwarmingen op een relatief kleine schaal. Voor dit systeem zien we vooral kansen op het platteland en aan de stedelijke randen van Emmen en Coevorden. Ten tweede is er de optie denkbaar van een uitgebreid stedelijk warmtenetwerk in het urbane gebied van Emmen met daarbij passende energie-ruimte interventies. Figuren 10 en 11 illustreren de twee lijsten met interventies die horen bij de twee genoemde regimes (bio-energie, urbaan warmtenetwerk).

	Symbool op kaart	Energiebewuste interventies	Global Market visie	Secure Region visie	Global Solidarity visie	Caring Region visie	Relatieve Robuustheid	CO ₂ -reductie	2010 2020	2020 2040
1		Opwaarderen van bestaande rioolwaterzuiveringsinstallaties, rwzi's (fase 1 overschot biogas naar gasnetwerk; fase 2 scheiding grijs en zwart water)	4	4	4	1	4	0.1%		
4		Verzamelen van organisch afval (locaties voor verzamelplekken)	3	3	3	3	4	Zie 1&7		
5		Opwaarderen van afvalverbrander naar WKK (verbinden met nieuw warmtenetwerk)		1	1	1	3	Zie 6		Uitfasering
6		Aanleg nieuwe warmtenetten in wijken en buurten		1	15+	10+	3	1.6%		
9		Handhaven bestaande WKK's (gebaseerd op aardgas)	3 bestaande	3 bestaande			2	0.0%		Uitfasering
10		Heractiveren warmtenet en CO ₂ -netwerk in kassengebied	2 locaties	2 locaties			2	Studie		
17		Aanleg van faciliteiten voor algenproductie die gebruikmaken van afvalwater en restwarmte (bv biobrandstoffen)			5 installaties	2 installaties	2	Studie		
20		Fermentatie van mest en ander biologisch materiaal (biogas op gasnetwerk)			5 installaties	5 installaties	2	1.4%		

Figuur 28: Geïntegreerd systeem 1, bio-energie

	Symbool op kaart	Energiebewuste interventies	Global Market visie	Secure Region visie	Global Solidarity visie	Caring Region visie	Relatieve Robuustheid	CO2-reductie	2010 2020	2020 2040
2		Cascaderen van restwarmte tussen bedrijven / industrieën	1	1	1	1	4	Studie		
6		Aanleg nieuwe warmtenetten in wijken en buurten		1	15+	10+	3	1.6%		
16		Opwaardering van bestaande tuinbouwkassen naar energieneutrale kassen (280 ha voetafdruk)			565 ha	565 ha	2	7.1%		
17		Aanleg van faciliteiten voor algenproductie die gebruikmaken van afvalwater en restwarmte (tbv biobrandstoffen)			5 installaties	2 installaties	2	Studie		
21		Aanleg van stedelijk warmtenetwerk			2 steden	2 steden	2	Zie 6		
25		Aanleg van zonneterp, mix van tuinbouwkassen en woongebieden				344 ha	1	Zie 16		
26		Aanleg van warmteopslag met open systemen (benutting aquifers)	1 locatie				1	Zie 13		
33		Verbinden van zwembad met stedelijk warmtenetwerk			2 zwembaden		1	0.1%		
34		Cascaderen van restwarmte van fabrieken naar het stedelijk warmtenetwerk				1 gebied	1	Zie 6		

Figuur 29: Geïntegreerd systeem 2, urbaan warmtenetwerk

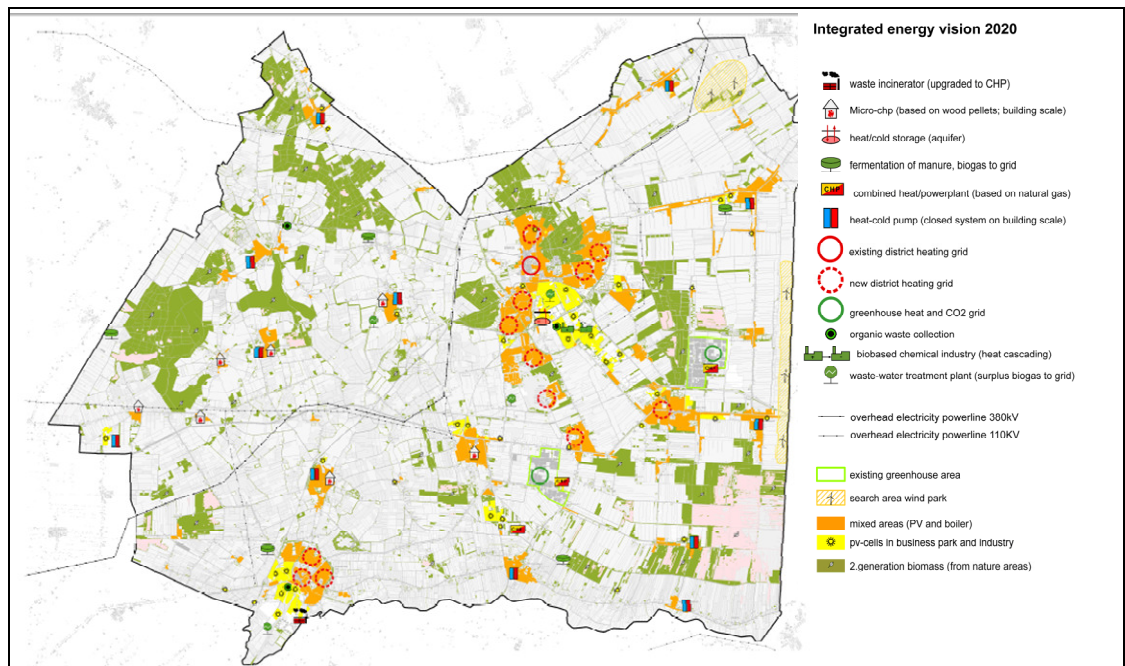
Op basis van een vergelijking van de figuren 28 en 29 is te constateren, dat er ook nog een link waarneembaar is tussen beide geïntegreerde systemen. In beide systemen wordt de aanleg van nieuwe buurt- en wijkverwarmingsnetten genoemd. Ook de productie van biobrandstoffen met behulp van algenvijvers, die op hun beurt gebruikmaken van verwarmd afvalwater, is een interventie die in beide regimes terugkeert. Concreet zien we in het stedelijk gebied van Coevorden (zie kaart 3) hoe beide systemen kunnen samensmelten met behulp van de twee specifieke, in figuur 30 getoonde interventies in één geïntegreerd energie-ruimte landschap.

	Symbool op kaart	Energiebewuste interventies	Global Market visie	Secure Region visie	Global Solidarity visie	Caring Region visie	Relatieve Robuustheid	CO2-reductie	2010 2020	2020 2040
6		Aanleg nieuwe warmtenetten in wijken en buurten		1	15+	10+	3	1.6%		
17		Aanleg van faciliteiten voor algenproductie die gebruikmaken van afvalwater en restwarmte (tbv biobrandstoffen)			5 installaties	2 installaties	2	Studie		

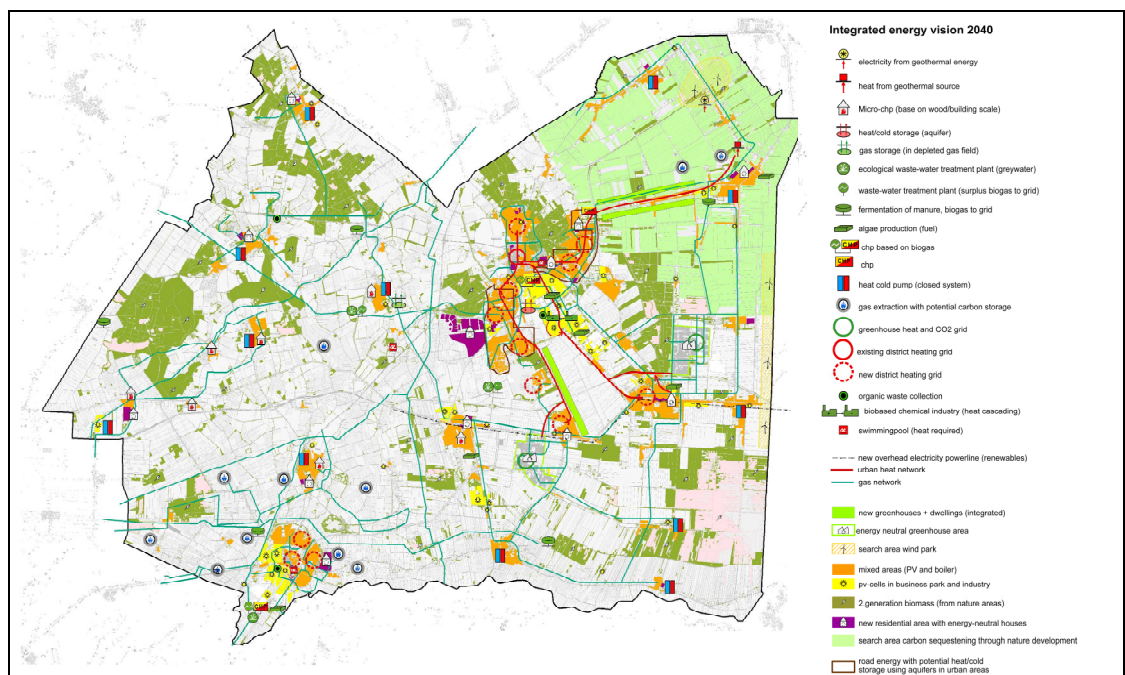
Figuur 30: energie-ruimtesystemen verbindende interventies

Dit laatste figuur maakt duidelijk, dat het mogelijk is om tot een samenhangend verhaal te komen voor geïntegreerd energielandschap in Zuidoost-Drenthe. Het gebruik van exergie als leidend principe om over je regionale energiesysteem na te denken in samenhang met de ruimtelijke structuur blijkt ook nuttig. Voort biedt de vijfstappen benadering, die gekozen is in het SREX-project,

aanknopingspunten te leveren voor beleidsmakers om strategische keuzes te kunnen maken, als een energietransitie werkelijk tot inzet van (regionaal) beleid wordt gemaakt. De kaartbeelden voor 2020 en 2040, hoe onzeker ook de daadwerkelijke ontwikkeling is, bieden houvast, als het gaat om robuuste strategieën. Nog belangrijker is dat ook regionale energiesystemen met daarbij concrete maatregelen die elkaar versterken, in beeld komen. De figuren 20 tot en met 27 leveren diverse opties aan. In de figuren 28 en 29 staan op basis van een vergelijking van de verschillende opties, de twee energiesystemen waarop de regio Zuidoost-Drenthe zou kunnen inzetten: bio-energie en een urbaan warmtenetwerk. De aanleg van lokale warmtenetten (die laagwaardige warmte nuttig toepasbaar maakt) en de bouw van algenvijvers voor de productie van grondstoffen (hoogwaardige materialen op basis van restproducten) zijn exergetisch verantwoorde ingrepen. Bovendien zijn het ingrepen, die het geïntegreerde energielandschap in Zuidoost-Drenthe tot een samenhangend geheel kunnen maken, waarbij synergievoordelen zo veel mogelijk tot hun recht komen. Kortom, we moeten op zoek naar echte synergie tussen regionale planning en energie. Exergieplanning kan daarvoor een handvat bieden, zoals de geïntegreerde energie-ruimte visies voor 2020 (kaart 7) en 2040 (kaart 8) laten zien voor Zuidoost-Drenthe.



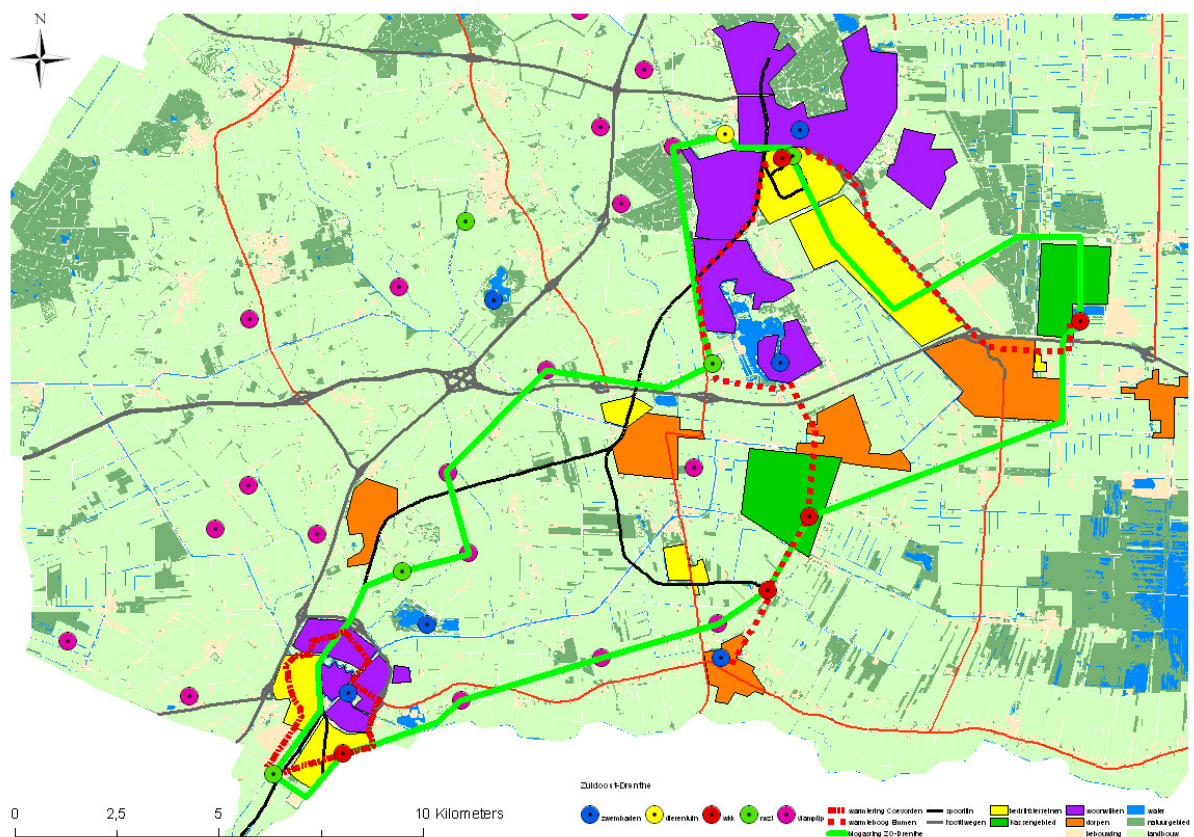
Kaart 7: geïntegreerde energie-ruimte visie Zuidoost-Drenthe, 2020 (SREX, 2010b)



Kaart 8: geïntegreerde energie-ruimte visie Zuidoost-Drenthe, 2040 (SREX 2010b)

9.3 Zuidoost-Drenthe: is ruimtelijk-exergetisch beleid kansrijk?

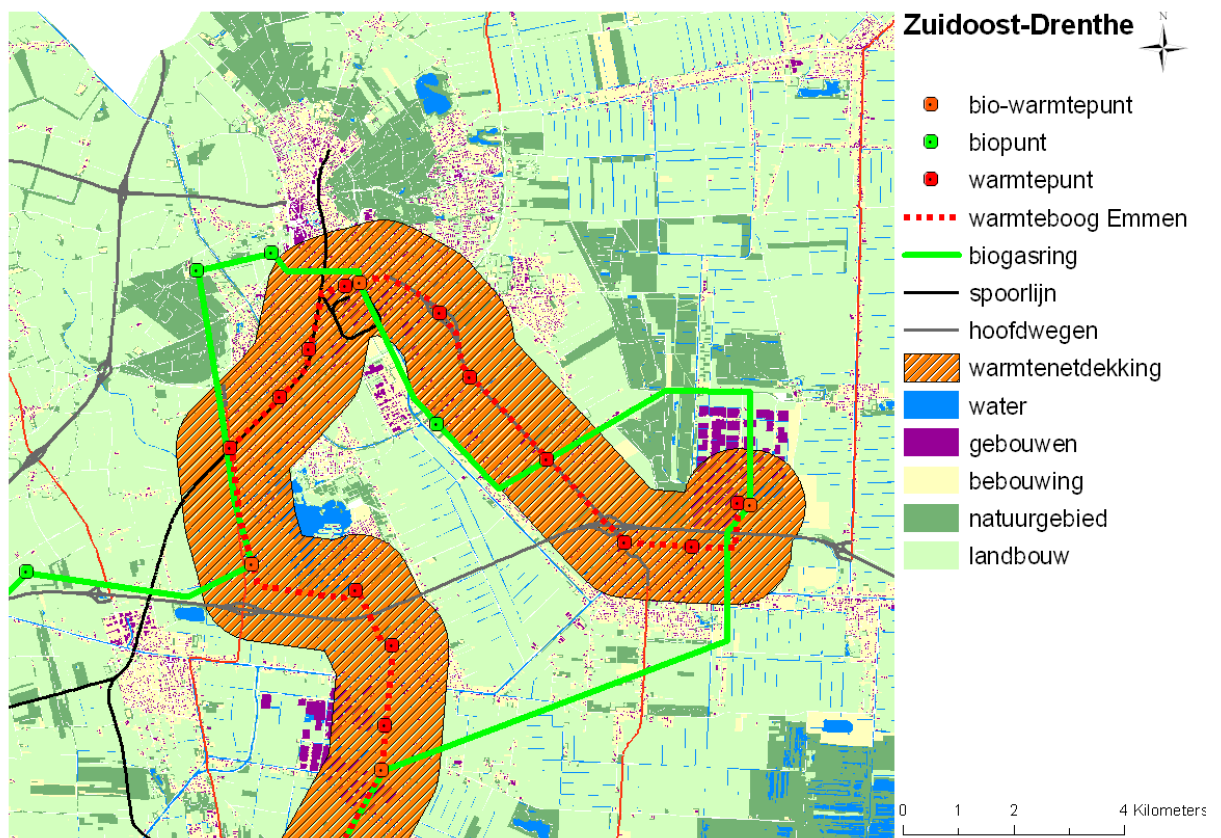
In paragraaf 9.2 is een overzicht gegeven van een breed palet aan interventies die in Zuidoost-Drenthe kunnen worden genomen om een integraal energielandschap te krijgen. De vraag is echter, welke stappen kan een beleidsbepaler nu vandaag kiezen om werk te maken van de regionale transitie. Want veertig interventies in één keer, dat gaat vast niet lukken. En de gesuggereerde integrale systemen zijn er ook niet van de een op de andere dag. Daarom staan we hier stil bij het besluitvormingsproces inzake de introductie van innovaties.



kaart 9: energie-ruimte kaart Zuidoost-Drenthe met biogasring en warmteboog

De eerste stap in het vormen van een integraal concept voor Zuidoost-Drenthe is het categoriseren van energiegebruikers en deze te lokaliseren. De energiedragers in combinatie met de afstanden tussen de ruimtelijke functies bepalen vervolgens welke energiesystemen opties zijn. In Zuidoost-Drenthe, zoals ook bleek uit paragraaf 9.2, zijn biogas- en warmtenetwerken een interessante optie. Het verbinden van de grootverbruikers is vervolgens een stap om de netwerken vorm

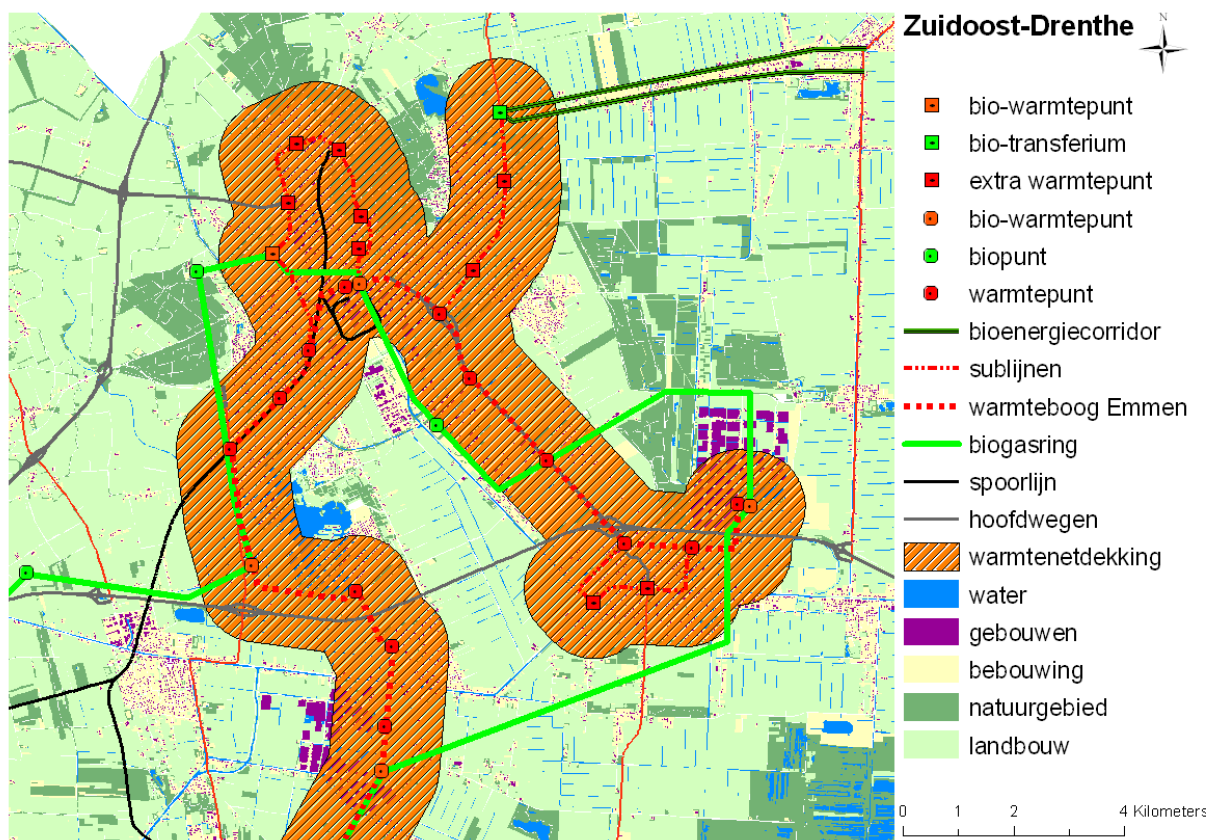
te geven. De bovenstaande biogasring verbindt vijf wkk's, twee tuinbouwgebieden, de dierentuin, het milieupark en drie rwzi's met elkaar. Dit vormt een robuuste verbinding van bio-energie knooppunten. In Emmen en Coevorden is het vervolgens ook mogelijk om lokaal een aantal grootschalige warmtegebruikers en warmteleveranciers met elkaar in een netwerk te verbinden. In Coevorden volstaat een relatief kleine warmtering om industrie, wkk's en rwzi met de woonwijken te verbinden. In Emmen is een lange ketting van interessante ruimtelijke functies te maken. Van wkk's via tuinbouwgebieden, langs het chemisch complex, zwembaden en een aantal wijken ontstaat een netwerk met eigenlijk twee radiale lijnen.



kaart 10: een beeld van de warmtenetdekking op basis van twee verbonden radiale lijnen

De warmteboog in Emmen biedt voor een belangrijk deel van het bebouwde deel van de gemeente Emmen dekking. Toch ontbreekt aan de noordkant een belangrijke schakel. Ook interessant is om te zien, dat drie wkk's en één rwzi punten zijn, waar de biogasring en de warmteboog samenkomen. In kaart 10 zijn deze punten bio-warmtepunten genoemd. Deze punten zijn geschikt om de conversie

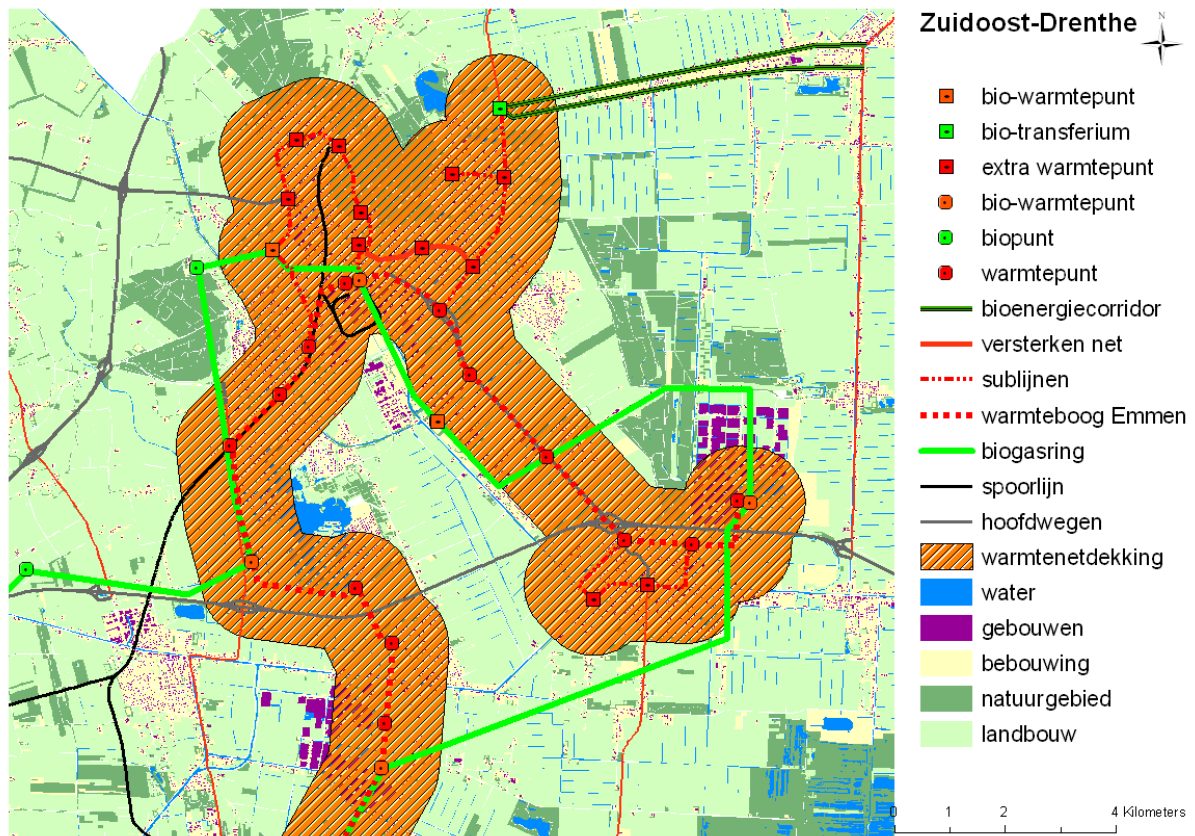
tussen biomassa, biogas en warmte op effectieve en efficiënte wijzen te laten plaatsvinden. Als de analogie met een spoornetwerk wordt gemaakt, lijkt de biogasring op een intercitynetwerk en de warmteboog meer op een stoptreinverbinding. De kenmerken zijn hier dat gas makkelijker over grote afstanden is te vervoeren dan warmte. Echter er is meer mogelijk in Emmen. Cascadering en vorming van een stedelijk warmtenetwerk kwam nadrukkelijk terug in de energievisies voor 2020 en 2040 in paragraaf 9.2.



kaart 11: van warmteboog naar warmtenetwerk in Emmen

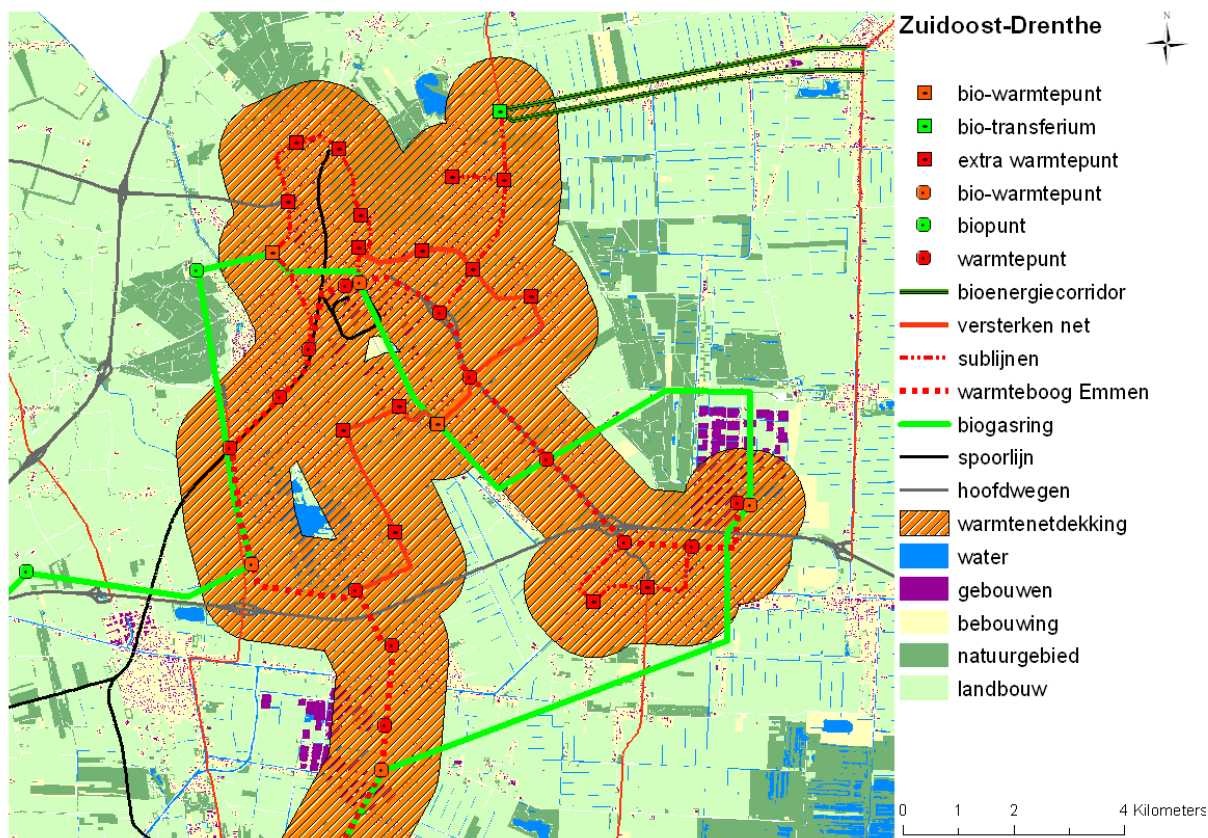
Aan de noordkant van Emmen ligt een aantal woonwijken die met behulp van een zogenaamde sublijn, een schakel onder de warmteboog, kunnen worden verbonden. In kaart 14 staat meer schematisch en met labels aangegeven om welke specifieke extra warmtepunten het gaat, die met deze lijnen verbonden worden. Het gaat naast wijken ook om het ziekenhuis, waar ook altijd een warmtekrachtkoppeling actief is om de elektriciteitsvoorziening te waarborgen. Verder verbinden de sublijnen ook de dierentuin en het zwembad en aan de noordoost kant van Emmen

ontstaat een prachtige kans om een soort bio-transferium te positioneren. Een plek waar biomassa uit de noord-oostelijk gelegenheid veenkoloniën verzameld kan worden en efficiënt en effectief zouden kunnen worden omgezet in voor de regio nuttige energiedragers. Ook in het zuidoosten in Klazienaveen liggen kansen om het netwerk uit te breiden en het hele dorp van afstandswarmte te voorzien.



kaart 12: versterking van het warmtenetwerk

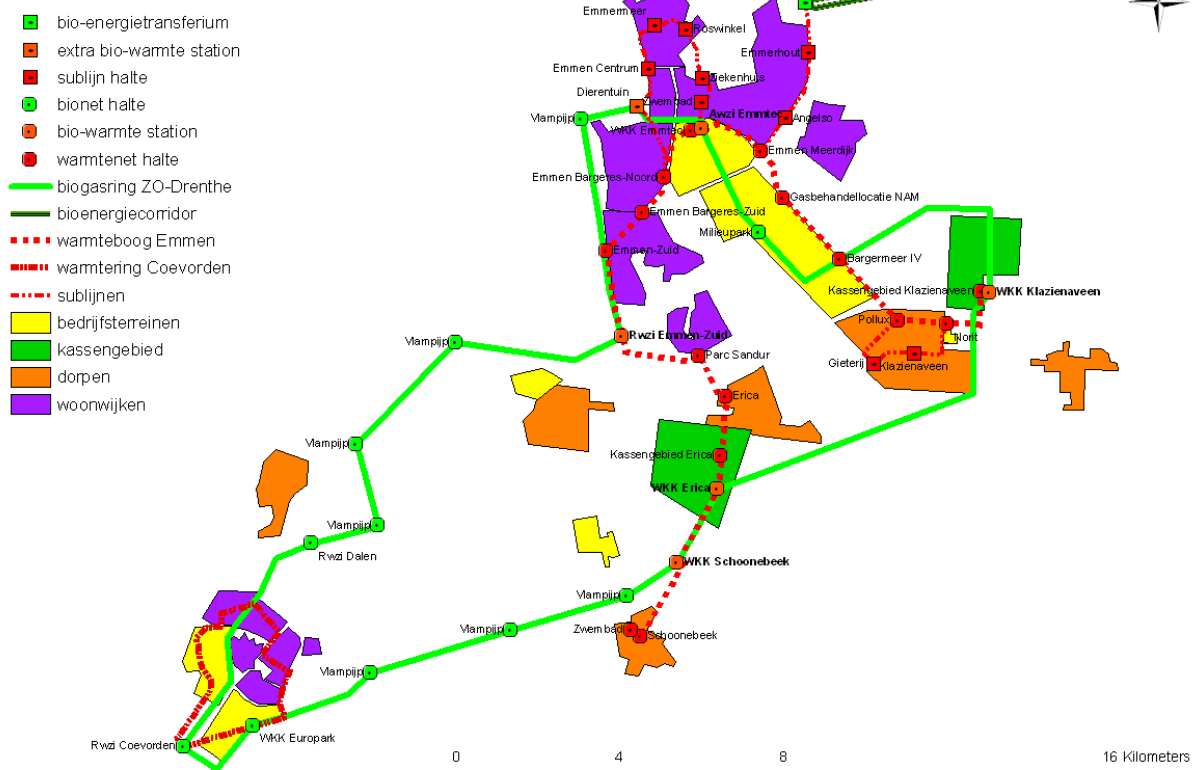
Kaart 12 toont vervolgens weer een vervolgstap. Het versterken van het netwerk door leidingen (lijnen) met elkaar te verbinden en net die stukjes Emmen mee te pakken waar nog geen dekking was. In kaart 14 is duidelijk dat de verbinding via het ROC Drenthe en de uitbreiding van het lokale net naar het winkelcentrum in Emmerhout een bijna volledige dekking van Emmen stad oplevert. Aan de zuidkant is er echter nog een missing link. Althans er is een deel van het bedrijventerrein Bargermeer dat nog te ver afligt van hoofdwarmteverbindingen. Tegelijkertijd heeft hoofdstuk 7 het inzicht opgeleverd dat het verstandig is om het aantal mogelijke rondritten in een netwerk te vergroten, dat vergroot de verbondheid in het netwerk, verkleint de diameter in het netwerk en versterkt de robuustheid.



kaart 13: een robuust netwerk van warmteverbindingen met een bovenliggende biogasnetwerk

In kaart 13 is te zien, dat er aan de zuidkant van Emmen een grotere warmtenetdekking is ontstaan door het toevoegen van een versterkingslijn. Deze lijn heeft het karakter van een tangentielle lijn en verbindt uiteindelijk het ziekenhuis met park Sandur, waar aansluitingen zijn op het hoofdwarmtenet. Ook groeit daardoor het aantal knooppunten waar bio-energie en thermische netten elkaar kruisen. Ter hoogte van het milieupark en op het bedrijventerrein Bargermeer ontstaan er zo interessante mogelijkheden om werk te maken van een bio-based economy, zoals ook een optie bleek in de integrale visie voor 2040 voor Zuidoost-Drenthe.

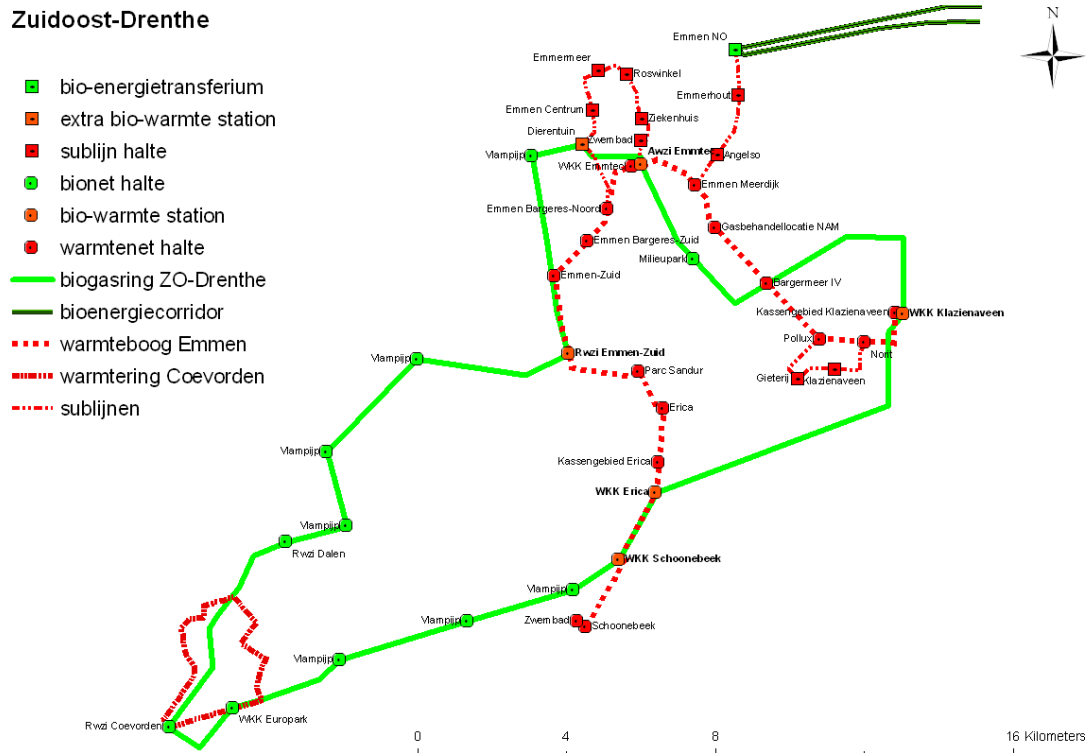
Zuidoost-Drenthe



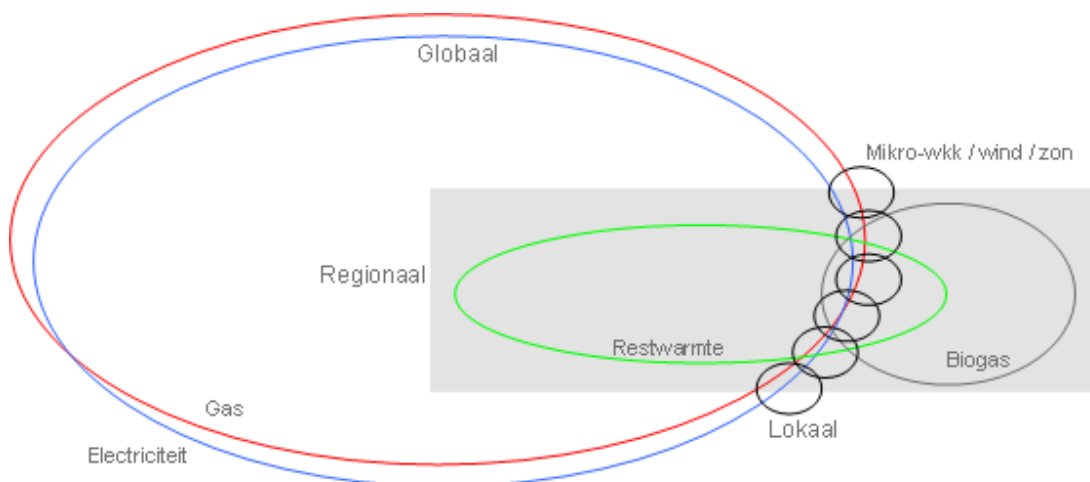
kaart 14: een schematische, topografisch realistische weergave van een integraal energie-ruimte concept voor Zuidoost-Drenthe

In de bovenstaande figuur 14 komt een integraal energie-ruimte concept voor de regio Zuidoost-Drenthe in beeld. Het laat zien, hoe een op de eerste oogopslag ruimtelijk nogal diffuse regio wel degelijk verbonden kan worden. De grotere afstanden en de meer landelijkere omgeving vragen in afwijking met Parkstad Limburg en Zuid-Limburg meer om een combinatie van bio-energie met slimme warmte-koude oplossingen. Het bio-energienet dat hier de vorm van een ring heeft, kan worden gezien als een regiospecifieke kans, die de basis vormt om zowel in Emmen als in Coevorden werk te maken van stedelijke warmtenetten. De wkk's kunnen indien wenselijk met behulp van biogas altijd voorzien in een warmtebehoefte, ook als andere restwarmtebronnen als papierfabrieken, chemische industrie en tuinbouwkassen (tijdelijk) geen bijdrage leveren. Figuur 15 toont het concept abstracter. Nog steeds geldt echter, dat de concepten gelokaliseerd zijn. Daarmee behoren ze tot een strategisch instrumenteel concept voor een specifieke

regio. Het achterliggende en hieruit af te leiden concept van gecascadeerde netwerken is meer de strategische basis voor exergieplanning in het algemeen.



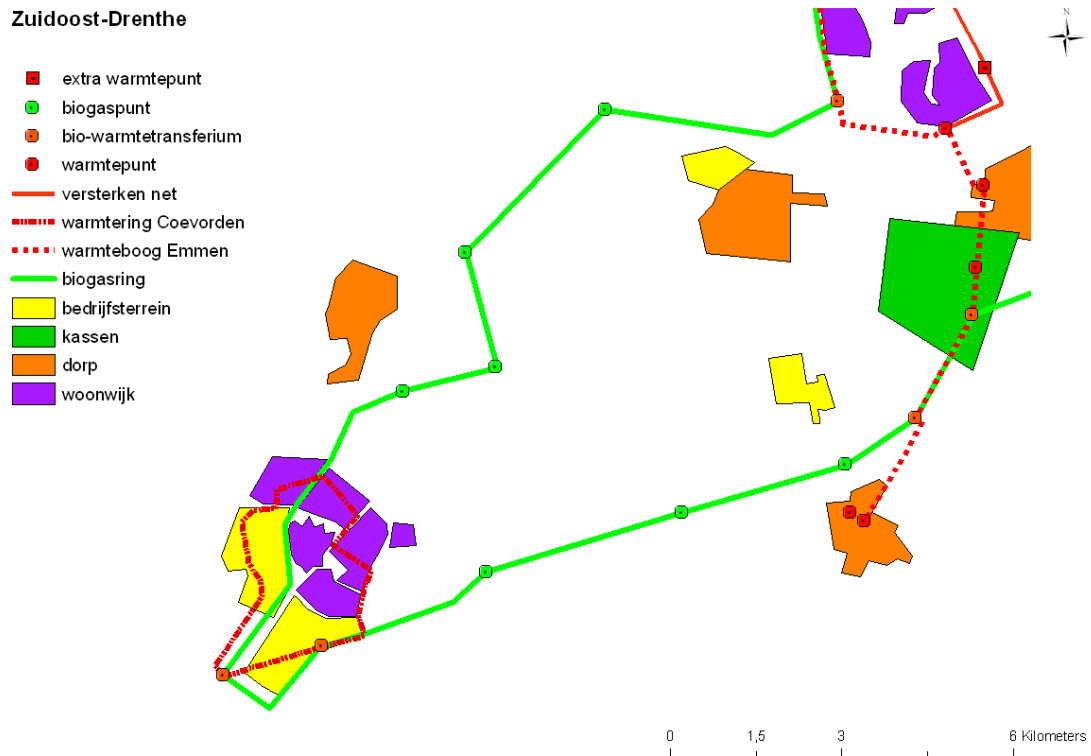
kaart 15: het integraal energie-ruimte concept in meer abstractie



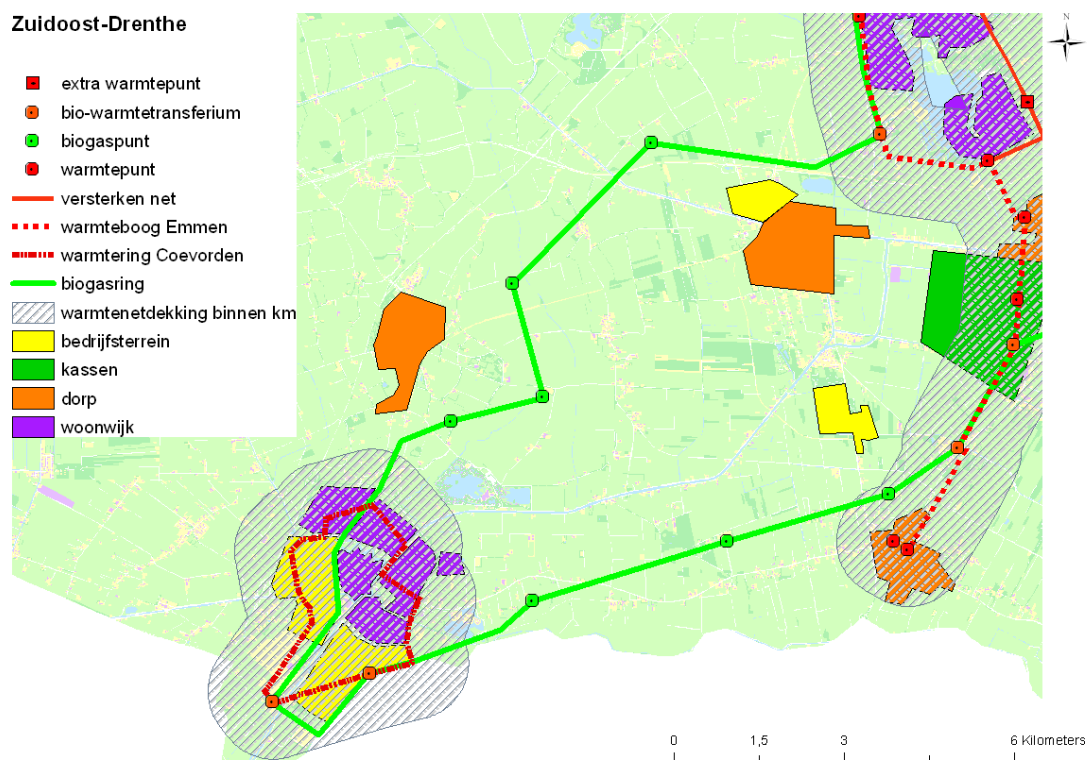
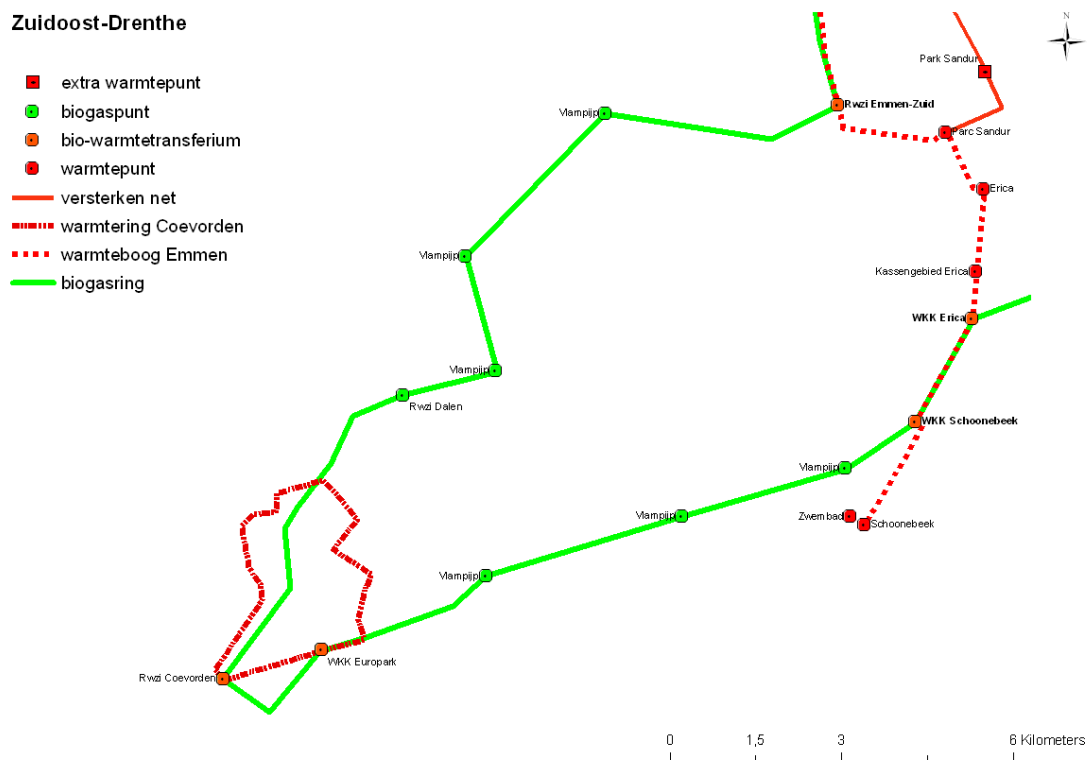
figuur 31: energienetten als verzameling van ruimtelijk relevante schaalniveaus

Tot slot tonen de kaarten 16 t/m 21 in detailopnames en feitelijk meer ingezoomd hoe de netwerken in elkaar zouden kunnen steken. Conceptueel komen deze kaarten neert op wat figuur 31 illustreert. De figuur laat zien hoe de

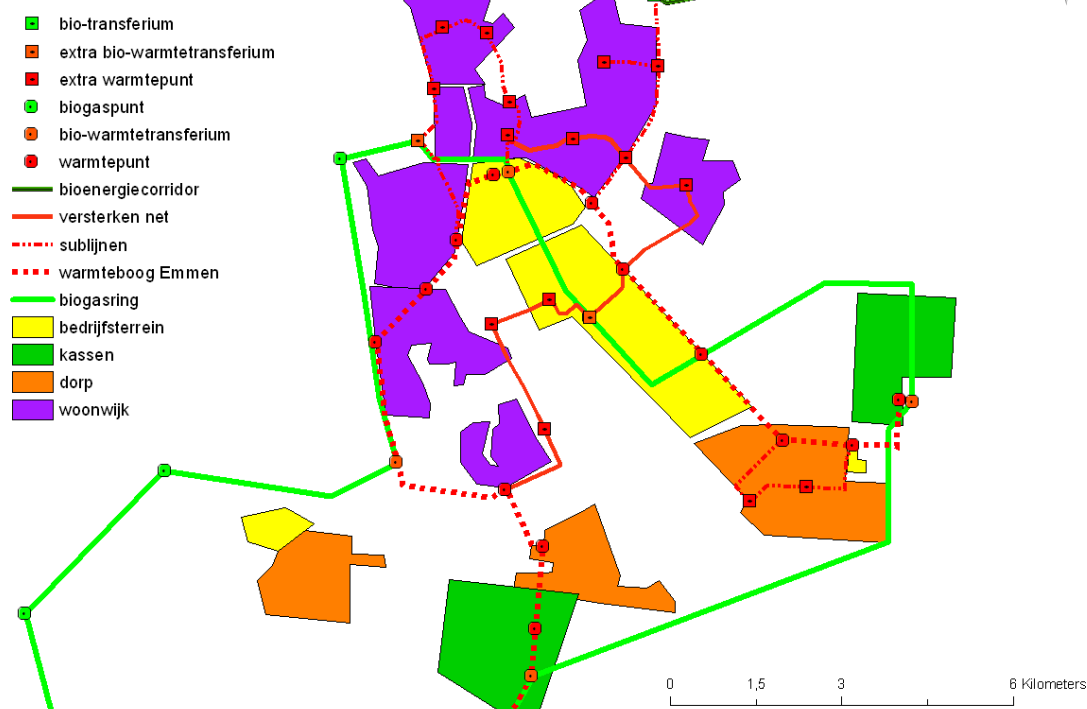
verschillende netwerken op verschillende schaalniveaus met elkaar samenhangen. Het is ook in lijn met de eerder in de hoofdstukken 4 en 6 gebruikte scenario-aanpak, waar lokaal en globaal, naast monofunctioneel en multifunctioneel is geplaatst.



kaart 16: detailbeeld van energie-ruimte concept voor Coevordens deel

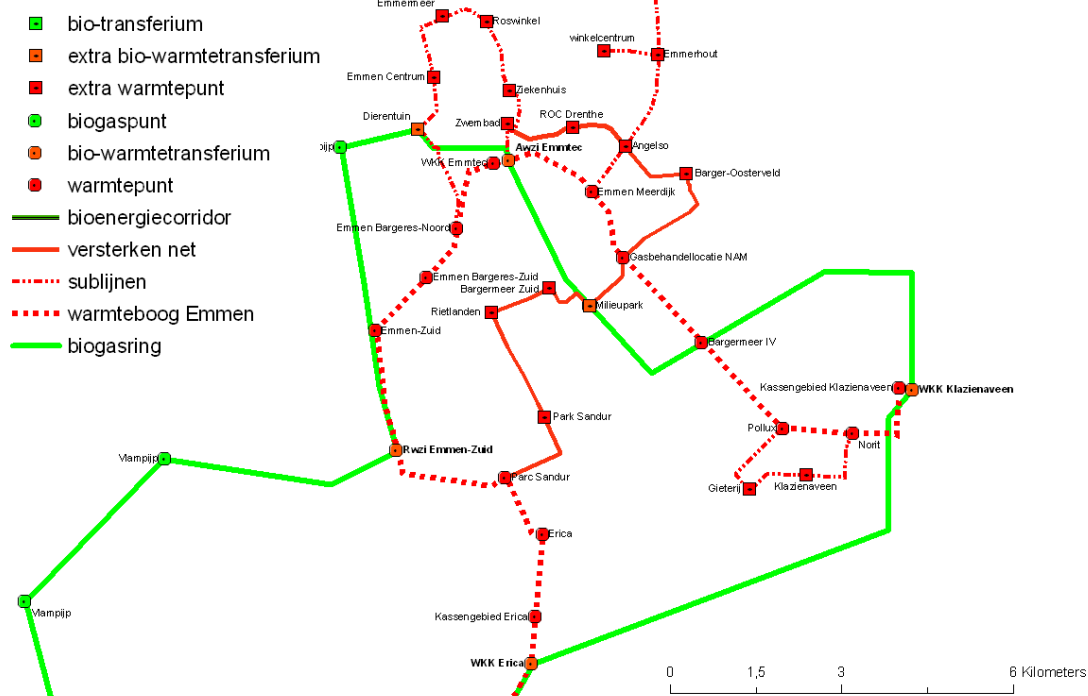


Zuidoost-Drenthe



kaart 19: detailbeeld van energie-ruimte concept voor Emmens deel

Zuidoost-Drenthe



kaart 20: detailbeeld van energie-ruimte concept voor Emmens deel in meer abstractie



kaart 21: detailbeeld van energie-ruimte concept voor Emmens deel met warmtedekking

Samenvattend kunnen we stellen, dat de regio Zuidoost-Drenthe interessante kansen biedt voor een regiospecifieke aanpak van exergieplanning. Het toepassen van de eerder uitgewerkte methodiek met het opstellen van visies en het uitwerken in lokale energienetwerken levert ook innovaties op. De casus Zuidoost-Drenthe toont de werking van gecascadeerde netten van energiedragers in de praktijk van een casestudy. Ook komen door de inzet van de verschillende netten bio-warmtettransferia in beeld. Deze categorie is een verzamelnaam voor ruimtelijke functies als rwzi's, warmtekrachtcentrales, milieuparken en een dierentuin. Het zijn plekken waar bio-energiestromen en thermische energiestromen samenkomen. Meestal liggen dergelijke functies in zekere zin afgelegen van de bewoonde wereld. Dat maakt de plekken vaak ook geschikt om de verzameling en verwerking van biomassa op die plaatsen te positioneren. Kortom, op basis van exergieplanning zijn er op regionale schaal argumenten te leveren voor het opstellen van ruimtelijk beleid om de samenhang tussen bio-energie en afstandverwarming te borgen.

Energie en ruimtelijke planning, een spannende combinatie

**Over integrale ruimtelijke conceptvorming op een regionale schaal
met exergie als basis**

Conclusies en aanbevelingen

10. Conclusies en aanbevelingen

De gebouwde omgeving bestaat uit allerhande functies, die alle gebruikmaken van bestaande energienetwerken om in hun energiebehoeftes te voorzien. Hiervoor wordt een financiële verplichting aangegaan met het energiebedrijf. Dit bedrijf verplicht zich op zijn beurt te allen tijde energie te leveren en daarmee eindigt ongeveer de wederzijdse relatie. De energiebedrijven zorgen vaak met geïmporteerde fossiele brandstoffen, of met gas uit eigen bodem voor het noodzakelijke aanbod van energie. Kenmerkend aan deze vorm van energievoorziening is zowel het centrale karakter, het eenrichtingsverkeer en de vanzelfsprekendheid. Kan dat niet spannender?

De spanning over de voorzieningszekerheid van onze huidige energievoorziening loopt op. Naast het opraken van fossiele brandstoffen, stijgende olieprijs, negatieve milieueffecten en CO₂-beleid speelt ook de afhankelijkheid van andere landen een rol om werk te maken van een energietransitie. In deze studie is gestart met de vraag: “Liggen er misschien kansen in de uitwisseling van energiestromen tussen verschillende ruimtelijke functies?” Zijn er mogelijkheden voor het ontwikkelen van een op een specifiek gebied toegesneden energiesysteem? Kan de rol voor duurzame energiebronnen worden vergroot? In het voorliggend onderzoek zijn in deze richtingen kansen gezocht voor een energietransitie. Niet langer zien we dan ruimtelijke functies als losse elementen, maar als belangrijke schakels in een integraal energie-ruimte systeem.

Een belangrijke insteek in deze studie is geweest om exergieplanning als een uitgangspunt te kiezen. Het concept exergie leert ons, dat energie niet altijd en overal in dezelfde vormen aanwezig is. Nee, de kwaliteit van energie verschilt en heeft van nature de neiging om vanzelf achteruit te hollen. Een warme kop koffie koelt vanzelf af tot omgevingstemperatuur en een koud biertje wordt vanzelf lauw. Kunnen we dit als uitgangspunt gebruiken om met behulp van ruimtelijk beleid een bijdrage te leveren aan een energietransitie?

Het antwoord op deze vraag is bevestigend. Lokaal liggen er allerlei kansen om rationeel met energie om te gaan en renewables aan te boren. Om ieder huis op zich te verwarmen met hoog-exergetisch aardgas is een weinig effectieve methode. Bij het verbranden van aardgas of eventueel biogas ontstaat warmte van hoge temperaturen. Het is exergetisch verstandiger om deze hoge temperaturen eerst in te zetten voor processen van ruimtelijke functies die dat nodig hebben. Als er vervolgens “restwarmte”

overblijft is dat nog goed genoeg om voor de verwarming van ruimtes en tapwater te zorgen. Het is de kunst om op een regionale schaal de sources en sinks van warmte met elkaar te verbinden. Dat geldt in principe ook voor koude en bio-energie. Om dat mogelijk te maken, is het noodzakelijk om de sources en sinks in kaart te brengen. Vervolgens is het nodig om werk te maken van netwerken van energie-infrastructuur die de daadwerkelijke uitwisseling van energiestromen van verschillende kwaliteiten mogelijk maken. De casestudy's in Zuid-Limburg en Zuidoost-Drenthe hebben laten zien, dat er ruimtelijk relevant energiebeleid mogelijk is in welhaast alle regio's.

De basis voor dit beleid ligt mogelijk in het opstellen van integrale energie-ruimte visies. In deel B wordt daarbij het creatieve en verkennende werk (scenario's, exploratieve aanpak) gekoppeld aan een systeem-analytische aanpak. Daarbij ontstaat een methode om tot integrale concepten te komen, die zowel richtinggevend als betekenisvol zijn. Deze methodiek en concepten zijn vervolgens in de empirie getoetst, waarbij de casestudy's omvattend zijn beschreven en geanalyseerd. De scenario's hebben zowel in Zuid-Limburg als in Zuidoost-Drenthe geholpen om een breed palet aan oplossingsrichting in beeld te brengen. Ze hielpen ook om robuuste interventies te identificeren en om specifieke gebieden aan te wijzen waar net wat meer kansen liggen dan elders, zoals in Parkstad Limburg en in het hart van Emmen.

De vervolgvraag of exergieplanning condities kan leveren aan strategisch ruimtelijk-exergetisch beleid ten behoeve van een regionale transitie naar een duurzame energievoorziening kan ook bevestigend worden beantwoord. Onder exergieplanning wordt hierbij verstaan: *het in beeld brengen van planologische voorwaarden voor het beter benutten van niet effectief gebruikte energiestromen in een gebied*. Condities zijn dat robuuste warmtenetten noodzakelijk zijn. Ook het voeren van een bio-energiebeleid is een conditie. Bovendien blijkt het van belang om voldoende kritische massa te hebben om een robuuste regionale structuur op poten te zetten. De school gelegen naast een eenzame fabriek met restwarmte zal niet snel zelf ontwikkelen tot een robuuste schakel in een energie-ruimte systeem. Als er lokaal echter kansen worden gepakt om op te schalen en back-up voorzieningen meer centraal te regelen kan dat wel. Niettemin vergt dat ook organisatorische en institutionele capaciteit. Capaciteit die nu nog vaak ontbreekt. En dat is ook een voorwaarde voor strategisch ruimtelijk-exergetisch beleid.

Er lijkt behoefte te zijn aan een soort energieschap. Een orgaan dat bewust van de gemeenschappelijke belangen die een regio heeft op het gebied van energie, werk maakt van een integraal energielandschap. Een analogie met het waterschap is niet al te ver

gezocht. Dat schap draagt in een regio de zorg voor een waterkwaliteits- en waterkwantiteitsopgave. De dijken, de beken, de rivieren en de rwzi, het is een samenhangend geheel, waarbij er een apart rol is voor het drinkwaterbedrijf. Zoiets is ook denkbaar bij energie. Enerzijds is er de behoefte aan het beheer van energiekwaliteiten en het mogelijk maken van de uitwisseling hiervan. Anderzijds zijn er de bestaande energiebedrijven, die prima in staat moeten worden geacht om aan de vraag naar energie te kunnen voldoen. Het lokaal afstemmen van vooral bio-energiestromen en warmtestromen naast de nog bestaande belangen van aardgas en elektriciteit lijkt een schone taak. Een taak, die per regio anders is en een taak die in beeld komt door integrale energie-ruimte visies voor regio's te maken. Het strekt tot aanbeveling om snel werk te maken van vervolgstudies inzake organisatorische en institutionele capaciteiten om de implementatie van energie-ruimte concepten ook echt te laten plaatsvinden. Want energie en ruimtelijke planning is een spannende combinatie, hopen dat de vonk snel overslaat!

Referenties

Thermodynamics: Second Law Analysis. 1980. AMERICAN CHEMICAL SOCIETY.

ADAMO, L., CAMMARATA, G., FICHERA, A. and MARLETTA, L., 1997. Improvement of a district heating network through thermoeconomic approach. *Renewable Energy*, **10**(2-3), pp. 213-216.

ADEMA, A.J.A., 2005. *Warmtelevering in de utiliteitsbouw*. Master of Science edn. Delft: Technische Universiteit Delft, Technische Bestuurskunde.

AJAH, A.N., PATIL, A.C., HERDER, P.M. and GRIEVINK, J., 2007. Integrated conceptual design of a robust and reliable waste-heat district heating system. *Applied Thermal Engineering*, **27**(7), pp. 1158-1164.

ALBRECHTS, L., 2010. More of the same is not enough! How could strategic spatial planning be instrumental in dealing with the challenges ahead? *Environment and Planning B: Planning and Design*, **37**(6), pp. 1115-1127.

ALBRECHTS, L., 2005. Creativity as a Drive for Change. *Planning Theory*, **4**(3), pp. 247-269.

ALBRECHTS, L., 2004. Strategic (spatial) planning reexamined. *Environment and Planning B: Planning and Design*, **31**(5), pp. 743-758.

ALBRECHTS, L., HEALEY, P. and KUNZMANN, K.R., 2003. Strategic Spatial Planning and Regional Governance in Europe. *Journal of the American Planning Association*, **69**(2), pp. 113-129.

AMIN, A., 2004. Regions Unbound: Towards a new Politics of Place. *Geografiska Annaler: Series B, Human Geography*, **86**(1), pp. 33-44.

Baehr HD, VDI-gesellschaft Energietechnik ea. Energie und Exergie; die Anwendung des Exergiebegriffs in der Energietechnik. Düsseldorf: VDI-Verlag; 1965.

BANISTER, D., 2008. The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, **15**(2), pp. 73-80.

BENONYSSON A., BOHM B. and RAVN H.F., *Operational optimization in a district heating system*.

BILGEN, S., KAYGUSUZ, K. and SARI, A., 2004. Renewable Energy for a Clean and Sustainable Future. *Energy Sources*, **26**(12), pp. 1119-1129.

BOJIC, M., TRIFUNOVIC, N. and GUSTAFSSON, S.I., 2000. Mixed 0-1 sequential linear programming optimization of heat distribution in a district-heating system. *Energy and Buildings*, **32**(3), pp. 309-317.

CHIA, R., 2002. Essai: Time, Duration and Simultaneity: Rethinking Process and Change in Organizational Analysis. *Organization Studies*, **23**(6), pp. 863-868.

CHIA, R., 1999. A 'Rhizomic' Model of Organizational Change and Transformation: Perspective from a Metaphysics of Change. *British Journal of Management*, **10**(3), pp. 209-227.

- CHIA, R., 1995. From Modern to Postmodern Organizational Analysis. *Organization Studies*, **16**(4), pp. 579-604.
- ÇOMAKLI, K., YÜKSEL, B. and ÇOMAKLI, Ö., 2004. Evaluation of energy and exergy losses in district heating network. *Applied Thermal Engineering*, **24**(7), pp. 1009-1017.
- COSKUN, C., OKTAY, Z. and DINCER, I., 2009. New energy and exergy parameters for geothermal district heating systems. *Applied Thermal Engineering*, **29**(11-12), pp. 2235-2242.
- DE KAM, R., 1998. *Een hart van warmte; 75 jaar stadsverwarming in Utrecht*. Utrecht: Uitgeverij Matrijs.
- DERRIBLE, S. and KENNEDY, C., 2010. Characterizing metro networks: state, form, and structure. *Transportation*, **37**(2), pp. 275-297.
- DERRIBLE, S. and KENNEDY, C., 2010. The complexity and robustness of metro networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, **389**(17), pp. 3678-3691.
- DINCER, I., 2002. The role of exergy in energy policy making. *Energy Policy*, **30**(2), pp. 137-149.
- DINCER, I. and ROSEN, M.A., 2005. Thermodynamic aspects of renewables and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **9**(2), pp. 169-189.
- DOPPENBERG, A.A.T. and OORTHUYNS, F.M.L.J., eds, 2005. *Afvalstoffenbeheer = solid waste management*. Den Haag: SDU Uitgevers.
- DUNCAN, J.W. and STROGATZ, S.H., 1998. Collective dynamics of /`small-world/' networks. *Nature*, **393**(6684), pp. 440-442.
- DUNN, B.C. and STEINEMANN, A., 1998. Industrial Ecology for Sustainable Communities. *Journal of Environmental Planning and Management*, **41**(6), pp. 661-672.
- ENERGIENED, N., 1994. *Vijftien jaar stadsverwarming; ervaringen*. hoofdrapport. Sittard: Novem.
- EROS, T., SCHMERA, D. and SCHICK, R.S., 2011. Network thinking in riverscape conservation – A graph-based approach. *Biological Conservation*, **144**(1), pp. 184-192.
- ETZIONI, A., 1967. Mixed-Scanning: A "Third" Approach to Decision-Making. *Public administration review*, **27**(5), pp. 385-392.
- FALUDI, A., 1996. Framing with images. *Environment and Planning B: Planning and Design*, **23**(1), pp. 93-108.
- FALUDI, A., 1987. *A decision-centred view of environmental planning*. Oxford: Pergamon Press.
- FEDERICI, M., ULGIATI, S., VERDESCA, D. and BASOSI, R., 2003. Efficiency and sustainability indicators for passenger and commodities transportation systems: The case of Siena, Italy. *Ecological Indicators*, **3**(3), pp. 155-169.
- FREDERIKSEN, S., 1982. *A Thermodynamic Analysis of District Heating*, Instituionen för värme- och kraftteknik tekniska högskolan Lund.

- FRIEDMANN, J., 1987. *Planning in the public domain : from knowledge to action*. Princeton N.J.: Princeton University Press.
- GAGGIOLI, R.A., 1980. Principles of Thermodynamics. *Thermodynamics: Second Law Analysis*. AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, pp. 3-13.
- GATTUSO, D. and MIRIELLO, E., 2005. Compared Analysis of Metro Networks Supported by Graph Theory. *Networks and Spatial Economics*, **5**(4), pp. 395-414.
- GUSTAVSSON, L. and KARLSSON, Å., 2003. Heating detached houses in urban areas. *Energy*, **28**(8), pp. 851-875.
- HAMMOND, G.P., 2000. Energy, Environment and Sustainable Development: A UK Perspective. *Process Safety and Environmental Protection*, **78**(4), pp. 304-323.
- HAMMOND, G.P., 1998. Alternative Energy Strategies for the United Kingdom Revisited: Market Competition and Sustainability. *Technological Forecasting and Social Change*, **59**(2), pp. 131-151.
- HAMMOND, G.P. and STAPLETON, A.J., 2001. Exergy analysis of the United Kingdom energy system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, **215**(2), pp. 141-162.
- HEALEY, P., 2009. City Regions and Place Development. **43**(6), pp. 831-843.
- HEALEY, P., 2009. In Search of the "Strategic" in Spatial Strategy Making. *Planning Theory & Practice*, **10**(4), pp. 439-457.
- HEALEY, P., 2009. The Pragmatic Tradition in Planning Thought. *Journal of Planning Education and Research*, **28**(3), pp. 277-292.
- HEALEY, P., 2008. Knowledge flows, spatial strategy making, and the roles of academics. *Environment and Planning C: Government and Policy*, **26**(5), pp. 861-881.
- HEALEY, P., 2006. Relational complexity and the imaginative power of strategic spatial planning. *European Planning Studies*, **14**(4), pp. 525-546.
- HEALEY, P., 2004. The Treatment of Space and Place in the New Strategic Spatial Planning in Europe. *International Journal of Urban and Regional Research*, **28**(1), pp. 45-67.
- HOCH, C.J., 2007. Making Plans: Representation and Intention. *Planning Theory*, **6**(1), pp. 16-35.
- HOCH, C.J., 2007. Pragmatic Communicative Action Theory. *Journal of Planning Education and Research*, **26**(3), pp. 272-283.
- HULL, H., 2011. *Transport Matters: Integrated Approaches to Planning City-Regions*. London: Routledge.
- JACCARD, M., 2005. *Sustainable fossil fuels : the unusual suspect in the quest for clean and enduring energy*. Cambridge: Cambridge University Press.

JONES, R. and GROSS, M., 1996. Decision making during organizational change: observations on disjointed incrementalism in an Australian local government authority. *Management Decision*, **34**(7), pp. 23-32.

KONG, F., YIN, H., NAKAGOSHI, N. and ZONG, Y., 2010. Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling. *Landscape and Urban Planning*, **95**(1-2), pp. 16-27.

KOTAS, T.J., 1985. *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*. Boston: Butterworth Publishers.

Leitinger C, Brauner G. Nachhaltige Energiebereitstellung für elektrische Mobilität. *Elektrotechnik & Informationstechnik*. 2008 12/9;125(11):387-92.

LENZHOLZER, S. and KOH, J., 2010. Immersed in microclimatic space: Microclimate experience and perception of spatial configurations in Dutch squares. *Landscape and Urban Planning*, **95**(1-2), pp. 1-15.

LEPLAE, L., 1980. Nonequilibrium Thermodynamics. *Thermodynamics: Second Law Analysis*. AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, pp. 227-243.

LI, F., HU, D., LIU, X., WANG, R., YANG, W. and PAULUSSEN, J., 2008. Comprehensive urban planning and management at multiple scales based on ecological principles: a case study in Beijing, China. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, **15**(6), pp. 524-533.

LOHANI, S.P. and SCHMIDT, D., 2010. Comparison of energy and exergy analysis of fossil plant, ground and air source heat pump building heating system. *Renewable Energy*, **35**(6), pp. 1275-1282.

LÓPEZ, L., BLANCO, J.M., BONILLA, J.J., BACZA, S. and SALA, J.M., 1998. Determination of energy and exergy of waste heat in the industry of the Basque country. *Applied Thermal Engineering*, **18**(3-4), pp. 187-197.

MACKAY, M.J.C., 2009. *Sustainable Energy - without the hot air*. Cambridge: UIT.

MCGUIRK, P., 2007. The Political Construction of the City-Region: Notes from Sydney. *International Journal of Urban and Regional Research*, **31**(1), pp. 179-187.

MINISTERIE VAN ECONOMISCHE ZAKEN, 2010. *Ondernemend met krimp!* 13PD2010G277. 's-Gravenhage: Directoraat-Generaal Ondernemen en Innovatie.

MINOR, M.A., 2009. Surface energy balance and 24-h evapotranspiration on an agricultural landscape with SRF willow in central New York. *Biomass and Bioenergy*, **33**(12), pp. 1710-1718.

NYKVIST, B. and WHITMARSH, L., 2008. A multi-level analysis of sustainable mobility transitions: Niche development in the UK and Sweden. *Technological Forecasting and Social Change*, **75**(9), pp. 1373-1387.

O'SULLIVAN, D., 2001. Graph-cellular automata: a generalised discrete urban and regional model. *Environment and Planning B: Planning and Design*, **28**(5), pp. 687-705.

PARR, J.B., 2008. Cities and regions: problems and potentials. *Environment and Planning A*, **40**(12), pp. 3009-3026.

ROBERTS, B.H., 2004. The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: an Australian case study. *Journal of Cleaner Production*, **12**(8-10), pp. 997-1010.

ROSEN, M.A., 1992. Evaluation of energy utilization efficiency in Canada using energy and exergy analyses. *Energy*, **17**(4), pp. 339-350.

ROTMANS, J., KEMP, R. and VAN ASSELT, M., 2001. More evolution than revolution transition management in public policy. *foresight*, **3**(1), pp. 15-31.

SOHN, J., 2005. Are commuting patterns a good indicator of urban spatial structure? *Journal of Transport Geography*, **13**(4), pp. 306-317.

TAYLOR, P.J., 1988. Technocratic optimism, H. T. Odum, and the partial transformation of ecological metaphor after World War II. *Journal of the History of Biology*, **21**(2), pp. 213-244.

TEN BUSSCHEN, A., BROEKHUIZEN, A.L., HOLLEWAND, H., SCHUIT, T., VAN DER LINDE, J.T., BONGERS, H.J.G., DOETS, N.A., DE BOER, A.A., SMEIJER, J.D. and DEN DUNNEN, T., 1975. *Stadsverwarming Zwolle-Zuid*. Zwolle: IJ.C. Gazo en Gemeente Zwolle.

UKIDWE, N.U., HAU, J.L. and BAKSHI, B.R., 2009. Thermodynamic Input-Output Analysis of Economic and Ecological Systems. In: S. SUH, ed, *Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology*. Dordrecht: Springer, pp. 459-490.

VAN EETEN, M. and ROE, E., 2000. When Fiction Conveys Truth and Authority. *Journal of the American Planning Association*, **66**(1), pp. 58-67.

VERMA, N., 1996. Pragmatic Rationality and Planning Theory. *Journal of Planning Education and Research*, **16**(1), pp. 5-14.

WALL, G., 1990. Exergy Conversion in the Japanese Society. *Energy*, **15**(5), pp. 435-444.

WALL, G., 1987. Exergy Conversion in the Swedish Society. *Resources and Energy*, **9**(1), pp. 55-73.

WHITMARSH, L., TURNPENNY, J. and NYKVIST, B., 2009. Beyond the regime: can Integrated Sustainability Assessment address the barriers to effective sustainable passenger mobility policy? *Journal of Environmental Planning and Management*, **52**(8), pp. 973-991.

YANG, B., LUAN, X. and LI, Q., 2010. An adaptive method for identifying the spatial patterns in road networks. *Computers, Environment and Urban Systems*, **34**(1), pp. 40-48.

ZUIDEMA, C. and DE ROO, G., 2009. Towards Liveable Cities: Progress in the European Union Urban Environmental Agenda. *European Planning Studies*, **17**(9), pp. 1405-1419.

Samenvatting

p.m.

Summary

p.m.

ⁱ Dit hoofdstuk is gebaseerd op een gezamenlijk publicatie met Sven Stremke in European Planning Studies.