



30920342-Consulting 09-2505 Vertrouwelijk

## Energiekaart en -strategie, op weg naar implementatie

Arnhem, 23 november 2009

Auteurs R.A. Rooth, T. Schmelzer



In opdracht van Gemeente Arnhem

auteur : R.A. Rooth *RR-12-2009*  
B 64 blz. - bijl. JEH

beoordeeld : E. Pfeiffer  
goedgekeurd : F. Verheij

*F. Verheij* 10-12-2009

© KEMA Nederland B.V., Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Het is verboden om dit document op enige manier te wijzigen, het opsplitsen in delen daarbij inbegrepen. In geval van afwijkingen tussen een elektronische versie (bijv. een PDF bestand) en de originele door KEMA verstrekte papieren versie, prevaleert laatstgenoemde.

KEMA Nederland B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

De inhoud van dit rapport mag slechts als één geheel aan derden kenbaar worden gemaakt, voorzien van bovengenoemde aanduidingen met betrekking tot auteursrechten, aansprakelijkheid, aanpassingen en rechtsgeldigheid.

## INHOUD

	blz.
MANAGEMENT SAMENVATTING.....	4
1 Inleiding .....	7
1.1 Achtergrond .....	7
1.2 Doelstellingen .....	7
1.2.1 Doelen van Arnhem .....	7
1.2.2 Doel en werkwijze voor deze studie .....	8
2 Startbijeenkomst .....	11
3 Energievraag.....	12
3.1 Het energieverbruik van Arnhem.....	12
3.2 Vraagontwikkeling.....	19
4 Energieaanbod.....	23
4.1 Overzicht potentieel energieaanbod.....	23
5 Afwegingsmatrix en kostenraming energieaanbod .....	34
5.1 Afwegingsmatrix.....	34
5.2 Kostenramingsopties en impact (energiemodel).....	34
6 Gebiedsgerichte energiestrategie.....	38
7 Energiestrategie-elementen: coalitievorming en beleidsinstrumentarium .....	53
7.1 Analyse van de energiesituatie .....	53
7.2 Energiestrategie op hoofdlijnen .....	54
7.3 Coalitievorming .....	56
7.4 Aanbevelingen uit de workshop.....	56
7.5 Best Practices van vooruitstrevende gemeentes .....	57
7.6 Korte termijn aanbevelingen.....	58
7.7 (Externe) trends en lange termijn .....	61
8 Bibliografie .....	63

BIJLAGEN A T/M G: in apart rapport.

## MANAGEMENT SAMENVATTING

### Doel

Arnhem heeft zich ten doel gesteld op termijn CO<sub>2</sub>-neutraal te worden. Hoewel er op dit moment geen termijn is gesteld, is dit een ambitieuze opgave. Om structureel in de richting van het doel te kunnen werken, heeft Arnhem behoefte aan een energiestrategie.

Arnhem is gestart met de opzet van een kaart die de vraag naar energie en het aanbod van duurzame energie inzichtelijk weergeeft. Deze kaart dient gecompleteerd te worden en is een belangrijk uitgangspunt voor de te ontwikkelen strategie. De strategie moet concrete stappen voor de korte termijn aangeven en moet tevens een beleidskader zijn met richtlijnen naar de toekomst toe.

### Energiekaarten

Voor het overzicht van het energieverbruik van Arnhem is in hoge mate gebruik gemaakt van gegevens van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). Hierdoor is de informatie op wijkniveau beschikbaar. Dit sluit goed aan bij de behoefte van Arnhem om energie-informatie in kaart te hebben middels een GIS-systeem. De kaarten in het opgeleverde GIS-systeem bestaan uit kaarten die de vraag naar energie weergeven en kaarten voor de diverse aanbodopties.

Voor wat betreft de energievraag is duidelijk geworden dat zelfs bij het realiseren van het ambitieuze energiebesparingstempo uit het programma "Schoon en Zuinig" van de overheid, de energievraag in Arnhem nauwelijks zal dalen door de toekomstige groei van de bevolking. Dit betekent dat een zeer sterke inzet van duurzame energiebronnen nodig is voor het bereiken van de doelen.

De duurzame energie aanbodkaarten in de gemeente zijn grotendeels gebaseerd op bestaande potentieelstudies (Ecofys: DE scan+, BTG: MRA biomassa studie) en waar nodig aangevuld met nadere informatie. De kaarten zijn gebaseerd op een "realistisch" potentieel. Dit is een subjectieve inschatting. Uitgangspunten zijn geweest:

- Fysieke realiseerbaarheid gebaseerd op de huidige stand van de techniek
- Aansluiting bij de huidige ruimtelijke ordening. Bijvoorbeeld: Alle beschikbare daken gebruiken voor zonne-energie.

Energieneutraliteit is binnen dit realisme voor ongeveer 30% te bereiken (30% van de benodigde energie uit - op Arnhems grondgebied gewonnen - biomassa, wind, zon, waterkracht etc). Voor volledige energieneutraliteit zijn meer revolutionaire maatregelen

vertrouwelijk

nodig zoals bijvoorbeeld grootschalige zonne-energiecentrales (met zes vierkante kilometer zonnepanelen kan in de volledige elektriciteitsbehoefte van Arnhem worden voorzien). De keuze voor de realistische aanpak ten aanzien van de kaarten is gestoeld op de noodzaak voor Arnhem om op korte termijn beleidskeuzes te kunnen maken. Voor energieneutraliteit heeft Arnhem aangegeven in eerste instantie te willen uitgaan van eigen bronnen.

### **Energiestrategie**

In het kader van energiestrategieontwikkeling zijn een aantal activiteiten uitgevoerd. De gemeente kan haar doelen niet alléén bereiken. Het is cruciaal om de betrokkenen (energieleveranciers, kennisbedrijven, adviseurs, fabrikanten en ondernemers) mee te krijgen in het proces. Middels een elektronische vragenlijst is de betrokkenheid en de interesse van ongeveer 60 partijen geïnventariseerd. Aansluitend is een workshop georganiseerd ter “markering” van de start van de benodigde coalitievorming.

Uit de inventarisatie blijkt dat betrokkenen in het algemeen zeer positief staan tegenover de ambitie van Arnhem, dat ze op de hoogte willen blijven en willen participeren waar dat kan. Hierbij wordt aangetekend dat ze van de gemeente een regierol en duidelijkheid verwachten en dat zij faciliteert.

Ter ondersteuning van het proces waarin Arnhem de transitie naar energieneutraliteit faciliteert, is een analyse uitgevoerd naar de kosten van de verschillende duurzame energie-opties. Deze laat zien dat benutting van het potentieel van warmtelevering, warmte- en koude-opslag maatschappelijk gezien geen kosten voor CO<sub>2</sub>-reductie met zich mee brengt (het verdient zichzelf terug of meer dan dat). In de volgorde van aantrekkelijkheid komen vervolgens andere opties aan bod, waarbij grootschalige wind (molens > 1 MW) relatief goed scoort, verder blijkt dat onder de huidige condities die opties waarbij zonnepanelen of micro-windenergie zijn gemoed tot de duurste behoren.

Uit een analyse van koplopergemeenten in Nederland komen een aantal “best practices” naar voren als het gaat om het boeken van vooruitgang op klimaatgebied. De volgende aanbevelingen springen eruit:

- Besluit dat energieneutraliteit leidend is bij alle zaken die infrastructuur/wonen/werken betreffen. RO/Milieu/EZ dienen dit op te nemen in hun beleid.
- Vermijd verbranding in de stad (geen decentrale CO<sub>2</sub>-uitstoot).
- Stel ambitieuze, concrete doelen, communiceer deze met alle betrokkenen (x% energieneutraal in jaar y met middelen z gericht op acties a, b, c, etc.), zorg dat de doelen specifiek, meetbaar, acceptabel; realistisch en tijdgebonden zijn.
- Zorg allereerst voor energiebesparing, met name bij renovatie liggen kansen.

vertrouwelijk

- Zoek naar innovatieve manieren om meer greep te krijgen op de klimaatdoelen. Innovatie kan daarbij op het gebied van techniek, organisatie, financiering en exploitatie liggen. Specifiek voor Arnhem kan hieraan worden toegevoegd:
  - Benut de sterkte van Arnhem als “energie”-stad (veel betrokken bedrijven).
  - Kies een breed aansprekend thema (“Arnhem: Stromend van energie”, made in [Arnhem] of iets dergelijks).
  - Besluit of import van duurzame energie uiteindelijk ook deel uitmaakt van de strategie om het doel te bereiken. Plaats dit in relatie tot duurzame energie in de gemeente.

Op basis van duidelijke, breed gedragen besluiten is het mogelijk een concreet stappenplan op te stellen. Tevens dient dit te leiden tot een nieuw Arnhems Klimaatprogramma als opvolger van het huidige (2008 - 2011). De gemeente zal als voorbeeld moeten dienen door actief de eigen organisatie op relatief korte termijn energieneutraal te maken.

## 1 INLEIDING

### 1.1 Achtergrond

Met het totstandkomen van het protocol van Kyoto zijn in mondiaal verband afspraken gemaakt over het terugdringen van de emissie van broeikasgassen. Voor Nederland geldt een reductieverplichting van 6% (in de periode 2008 - 2012, ten opzichte van 1990). De Rijksoverheid heeft zich in 2007 ten doel gesteld (werkplan Schoon en Zuinig) om in 2020 20% van de dan benodigde energie duurzaam op te wekken, 30% reductie in CO<sub>2</sub>-uitstoot ten opzichte van 1990 te hebben bereikt en tot dan per jaar 2% energie-efficiëntie te realiseren. Dit gaat dus nog verder dan de Europese 20-20-20 doelstelling.

De komende jaren zullen de provinciale en gemeentelijke activiteiten op het gebied van energie en klimaat sterk worden geïntensiveerd, aangezien regionale overheden een sleutelrol spelen bij de ontwikkeling en de uitvoering van energiebeleid. Deze rol wordt nog eens benadrukt door ontwikkelingen zoals de liberalisering van de energiemarkt en de convenanten die in het kader van het werkplan Schoon en Zuinig met onder meer de gemeenten onlangs zijn afgesloten.

In het vierde Nationaal Milieubeleidsplan is het begrip 'transitie' ten aanzien van energie geïntroduceerd. Deze is inmiddels in volle gang. Ook in de energietransitie wordt aan gemeenten een belangrijke rol toegedicht om tot een duurzame energievoorziening te komen.

### 1.2 Doelstellingen

#### 1.2.1 Doelen van Arnhem

Ons huidige Nederlandse energiegebruik en de wijze waarop we hierin uit primaire energiebronnen voorzien, is momenteel niet duurzaam: veel van de gebruikte energie komt van primaire bronnen met een beperkte voorraad, de uitstoot van CO<sub>2</sub> en andere gassen zorgen zeer waarschijnlijk voor het versterkte broeikaseffect, de door ons gebruikte energie zorgt ook nog voor andere schadelijke milieueffecten en onze energie komt voor een deel vanuit niet-stabiele regio's waardoor de energievoorziening op lange termijn onzeker is.

Als lid van het Klimaatverbond streefde Arnhem sinds 1991 naar een CO<sub>2</sub>-reductie van 50% in 2010 ten opzichte van 1990. Hoewel deze doelstelling inmiddels te ambitieus is gebleken, is het nog een belangrijk uitgangspunt voor het Arnhemse klimaatbeleid. Waar mogelijk

wordt nu de 50% reductiedoelstelling toegepast in woningbouwsituaties. Daarnaast ondersteunt Arnhem met het nieuwe klimaatprogramma actief de landelijke doelstellingen:

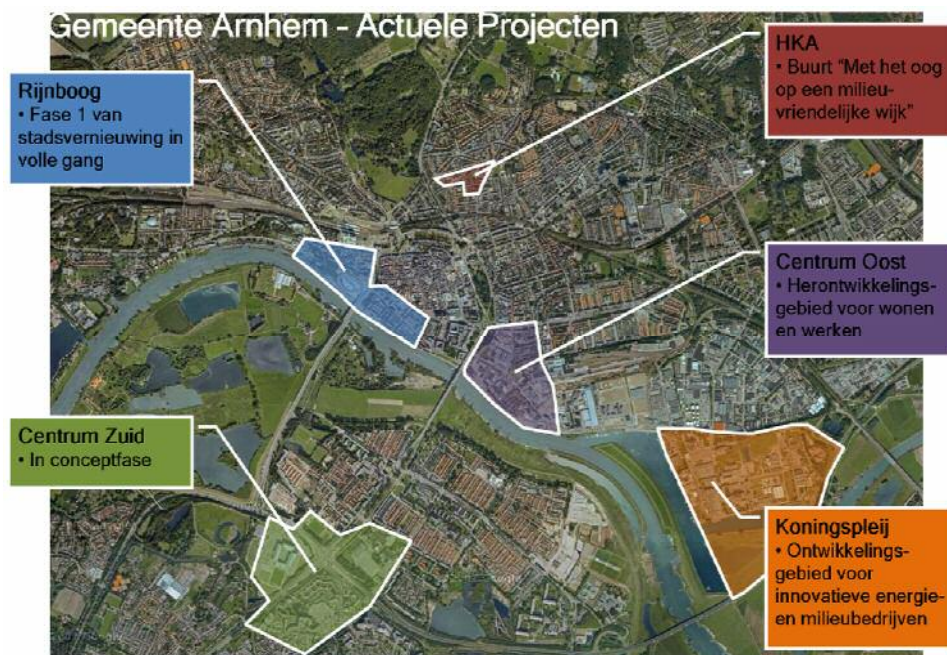
- 2% energie-efficiencyverbetering per jaar (nu ruim 1%)
- 20% duurzame energie in 2020 (ten opzichte van 2 à 3% nu)
- 30% reductie van broeikasgassen in 2020 (ten opzichte van 1990).

De gezamenlijke 100.000+ gemeenten, waaronder Arnhem, hebben de doelstellingen uit het regeerakkoord onderschreven in een gezamenlijke brief aan de minister van VROM. Zij hebben daarbij ook aangegeven dat het hun ambitie is om als gemeentelijke organisatie in 2020 CO<sub>2</sub> -neutraal te zijn.

### 1.2.2 Doel en werkwijze voor deze studie

Arnhem heeft zich ten doel gesteld op termijn CO<sub>2</sub>-neutraal te worden. Op dit moment is geen termijn gesteld aan deze ambitieuze opgave. Om structureel in de richting van het doel te kunnen werken, heeft Arnhem behoefte aan een energiestrategie die een tweeledig doel dient:

- Enerzijds levert de strategie concrete voorstellen voor de ontwikkellocaties volgens de nieuwe kaart van Arnhem
- Anderzijds werkt de strategie sturend door aan te geven wat kansrijke ontwikkellocaties/mogelijkheden zijn in het licht van het doel van CO<sub>2</sub>-neutraliteit.



Figuur 1-1 Overzicht van door de gemeente Arnhem aangegeven ontwikkellocaties



vertrouwelijk

Arnhem is gestart met de opzet van een kaart die vraag naar energie en aanbod van duurzame energie inzichtelijk weergeeft. Deze kaart dient gecompliceerd te worden en is een belangrijk uitgangspunt voor de te ontwikkelen strategie. De strategie moet concrete stappen voor de korte termijn aangeven en moet een beleidskader zijn met richtlijnen naar de toekomst toe.

Het doel is tweeledig:

- Een complete energiekartaal als applicatie in ARCGis (GIGA)
- Een energiestrategie die het bereiken van het gemeentelijk doel van CO<sub>2</sub>-neutraliteit ondersteunt.

**Wat is Energieneutraal, CO<sub>2</sub>-neutraal of klimaatneutraal?**

CO<sub>2</sub>-neutraliteit betekent concreet dat in de eindsituatie alleen nog energiebronnen zonder CO<sub>2</sub>-emissie zijn toegelaten. In die situatie is over een jaar gemeten het fossiel energiegebruik (en de daaraan gerelateerde CO<sub>2</sub>-emissies) binnen het grondgebied van een gemeente ten hoogste nul: er wordt niet meer energie gebruikt dan er vanuit duurzame bronnen aan het systeem wordt toegeleverd." Dit is een 'werkdefinitie' waarin elke gemeente zelf nog nuanceringen kan aanbrenge.

Naast CO<sub>2</sub>-neutraliteit zijn ook nog de begrippen klimaatneutraliteit en energieneutraliteit in omloop. De betekenis van deze begrippen is echter niet gelijk. Zo gaat het bij klimaatneutraliteit in vergelijking met CO<sub>2</sub>-neutraliteit ook om neutraliteit m.b.t. andere broeikasgassen (bijv. methaan). Energieneutraliteit gaat nog een stapje verder omdat daarbij alle energievraag uit blijvende bronnen moet worden voorzien en bijvoorbeeld de opslag van CO<sub>2</sub> in nieuwe bossen of de ondergrond geen optie is. In principe is het uitgangspunt van de gemeente energieneutraliteit en komen opties als het compenseren van uitstoot slechts in uiterste noodzaak in beeld.

Tenslotte is ook de reikwijdte van belang, bijvoorbeeld of ook vervoer in de definitie wordt betrokken.



Op dit moment is niet geheel duidelijk welke definitie de gemeente Arnhem hanteert. Dit is in eerste instantie nog niet zo belangrijk, omdat de weg ernaartoe pas ingeslagen is. In een later stadium is het wel belangrijk om doelen helder te stellen, zodat vastgesteld kan worden in hoeverre progressie wordt geboekt.

**Werkwijze**

Een aantal succesfactoren die van belang zijn voor de aanpak van de Energiekaart en de Energiestrategie voor Arnhem worden onderscheiden:

vertrouwelijk

- Coalitievorming met externe partijen is essentieel en dient zo vroeg mogelijk plaats te vinden om voldoende draagvlak te genereren bij stakeholders wiens bijdrage niet gemist kan worden in het te volgen proces.
- Brede bestuurlijke betrokkenheid is onontbeerlijk om de uitvoering van projecten te kunnen continueren na één beleidsperiode. Gewezen wordt hier bijvoorbeeld op het belang van de betrokkenheid van ruimtelijke ordening bij het creëren van kansen voor duurzame energie.
- De overheid zal zich moeten profileren en bewijzen als betrouwbare partner, wat onder meer inhoudt een transparante en consistente uitvoering van beleid, een lange termijn commitment van de overheid aan haar doelstellingen (en dus aan marktpartijen en doelgroepen) en een duidelijke positie/rol. Binnen de gemeente zal worden bekeken in hoeverre beleid van de gemeentelijke organisatie ondersteunend kan zijn aan het doel de stad CO<sub>2</sub>-neutraal te maken (bijvoorbeeld: de eigen gemeentelijke organisatie CO<sub>2</sub>-neutraal in 20xx).

Om te komen tot een complete Energiekaart en Energiestrategie zijn de volgende stappen voorgesteld:

- 1 startbijeenkomst
- 2 opstellen van de energiekaart (vraag- en aanbodkant)
- 3 ontwikkelen koppelingen en afwegingsmatrix
- 4 workshop presentatie energiekaart en afwegingsmatrix
- 5 doorrekenen kansrijke opties (voor concrete ontwikkellocaties) en ontwikkeling beleidsinstrumentarium naar de toekomst (suggesties voor besluiten)
- 6 presentatie conceptresultaten + discussie
- 7 eindrapportage.

De rapportage behandelt eerst de energieaspecten (vraag en aanbod, kosten). Vervolgens wordt in hoofdstuk 6 een gebiedsgerichte strategie besproken. Daarna volgen algemene beleidsaanbevelingen. Detailinformatie betreffende de kaart, sheets van de gehouden presentaties, rapportage betreffende de workshopresultaten en dergelijke zijn te vinden in bijlagen.

## 2 **STARTBIJEENKOMST**

In de beginfase van het project is een startbijeenkomst gehouden voor de gemeentelijke organisatie. De presentatie is te vinden in bijlage A. In een levendige discussie werd duidelijk wat het eigenlijk betekent als Arnhem al de binnen de gemeentegrenzen verbruikte energie ook zelf wil opwekken binnen die grenzen. Dit overzicht werd gegeven voor elektriciteit en warmte. Vervoer is buiten beschouwing gelaten (op landelijke schaal draagt verkeer en vervoer voor 15 tot 20% bij aan het energieverbruik). Afhankelijk van de gekozen opwekopties zou een aantal malen de totale oppervlakte van Arnhem benodigd zijn. De conclusie is dat energiebesparing boven aan de agenda zal moeten staan en dat combinatie van duurzame energietechnologieën noodzakelijk is.

### 3 ENERGIEVRAAG

#### 3.1 Het energieverbruik van Arnhem

Voor het overzicht van het energieverbruik van Arnhem is in hoge mate gebruik gemaakt van gegevens van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). Hierdoor is de informatie op wijkniveau beschikbaar. Dit sluit goed aan bij de behoefte van Arnhem om energie-informatie in kaart te hebben middels een GIS-systeem. Op basis van de gegevens over de wijken (aantallen inwoners, huishoudens, kantoren, transportmiddelen etc) zijn met kentallen over de energiebehoeften schattingen gemaakt van het verbruik. Deze zijn vergeleken met totaaloverzichten van Alliander. Binnen enkele procenten komen deze energieverbruiken met elkaar overeen hetgeen veel vertrouwen geeft in de detailoverzichten.

De ambitie van Arnhem is energieneutraliteit op termijn. Zoals zal blijken, is dat een grote opgave. Het is daarom goed om te kunnen vaststellen waar de focus moet liggen, teneinde beleid daar op te kunnen afstemmen.

Uit de overzichten blijkt het volgende ten aanzien van energieverbruik:

- Grootverbruik:
  - Brandstoffen voor vervoer
  - Gas huishoudens
- Mediumverbruik:
  - Elektra voor huishoudens, utiliteiten en industrie
  - Gas voor utiliteiten en industrie
  - Warmte en brandstoffen voor industrie.

Tabel 3-1      Energieverbruik in Arnhem verdeeld over sectoren in TJ en meer gebruikelijke eenheden

CBS 2008	Elektriciteit TJ	Gas TJ	Warmte TJ	Brandstoffen TJ	Totaal Primair TJ
Huishoudelijk	705	3215	53 *		4907
Verkeer	22 *		*	3450	3502
Landbouw	5,0	17	0	10	39
Utiliteiten	950	1062	190 *		3461
Industrie	698	904	608	582	3717
<b>Totaal per Drager</b>	<b>2380</b>	<b>5199</b>	<b>851</b>	<b>4042</b>	<b>15625</b>

\* niet van toepassing

noot: Voor totaal primair is de elektrische energie eerst omgerekend.

CBS 2008	Elektriciteit GWh	Gas mln m³	Warmte TJ	Brandstoffen mln liter	Totaal Primair TJ
Huishoudelijk	196	103	53*		4907
Verkeer	6*			101	3502
Landbouw	1,38	1	0	0,29	39
Utiliteiten	264	34	190*		3461
Industrie	194	29	608	17	3717
<b>Totaal per Drager</b>	<b>661</b>	<b>166</b>	<b>851</b>	<b>119</b>	<b>15625</b>

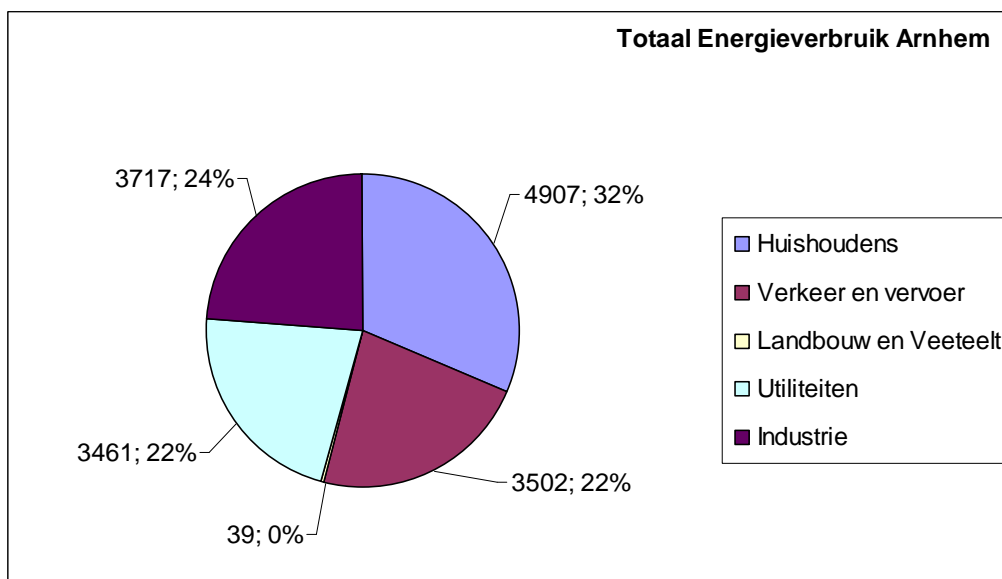
\* niet van toepassing

noot: Voor totaal primair is de elektrische energie eerst omgerekend.

De totale CO<sub>2</sub>-uitstoot die hieraan gerelateerd is, is ongeveer 1200 kton (bron: nulmeting CO<sub>2</sub>-uitstoot Arnhem 2007).

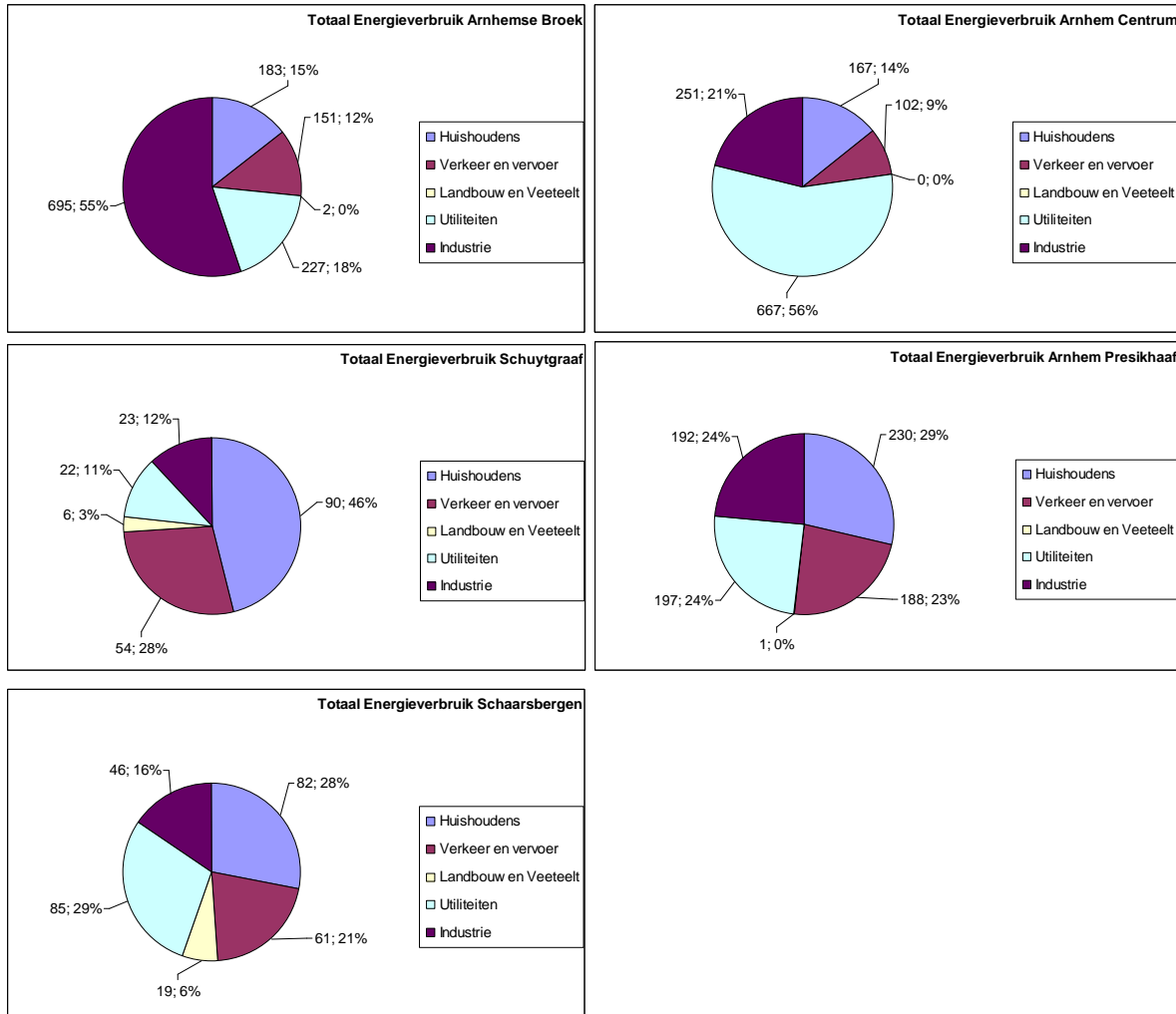
Tabel 3-2 Energieverbruik volgens Liander en KEMA-berekeningen via wijkdata en kentallen

Gemeente Arnhem					
AANSLUITING_TYPE	AANTAL aansluitingen	VERBRUIK		Berekeningen KEMA	% verschil
		Liander		KEMA	
Elektra	72.682	671.188.064	kWh/jaar	661.063.778	-1,5%
Gas	65.677	163.905.127	m3 gas/jaar	166367169	1,5%



Figuur 3-1 Totaal primair energieverbruik in Arnhem in TJ

De kaarten laten zien dat de verschillende wijken een ander energieprofiel kennen. Enkele voorbeelden staan hieronder.



Figuur 3-2 Energievraagverdeling in enkele wijken in Arnhem

Het GIS-systeem maakt zeer veel verschillende "doorsneden" mogelijk naar categorie, per huishouden, per inwoner, per vierkante meter kantooroppervlak etc. Daardoor is het een krachtig instrument voor het verkrijgen van inzicht.

**Energie-informatie**

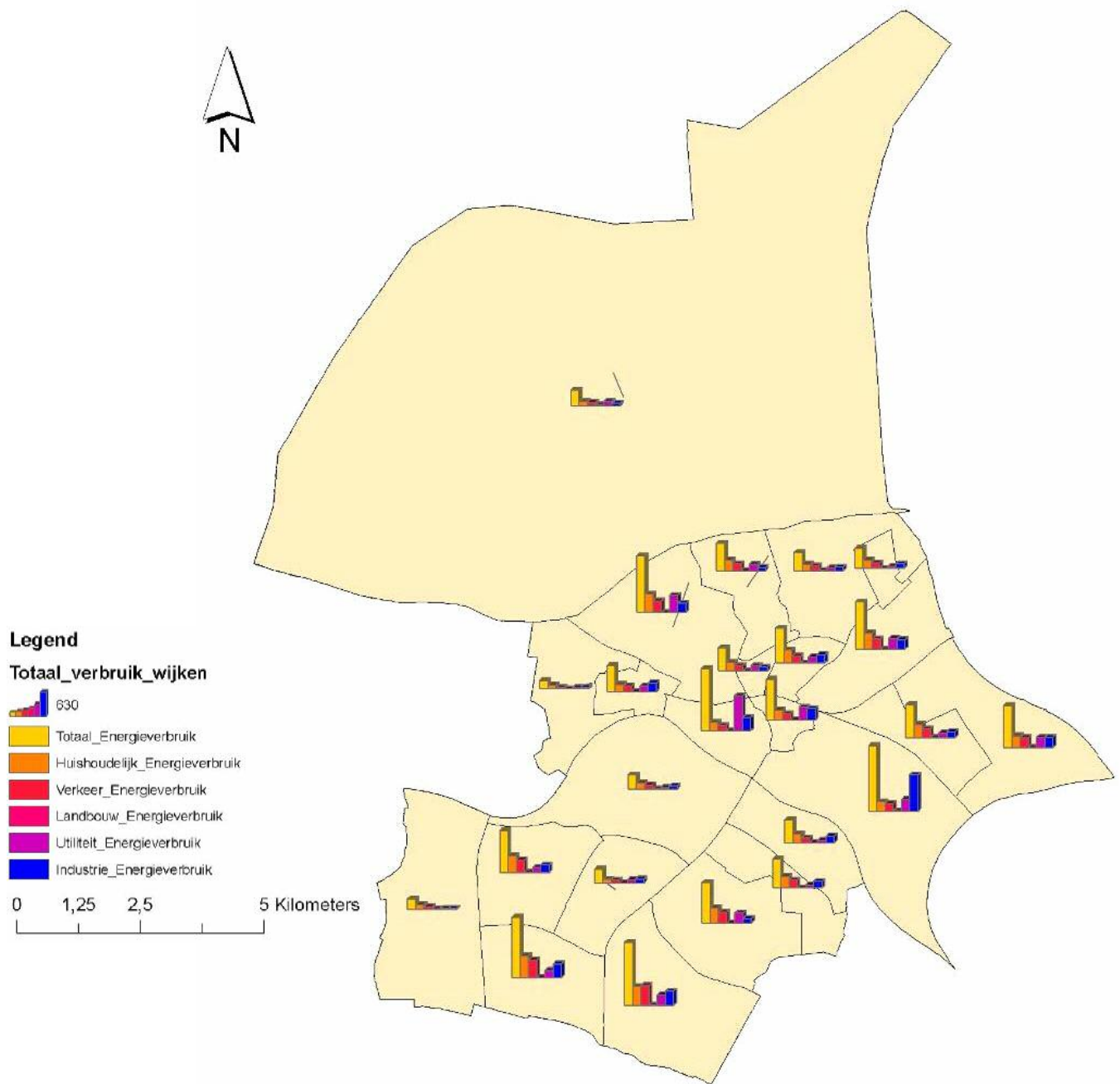
In dit rapport staat heel veel energie-informatie, teneinde deze goed vergelijkbaar te maken, is veel gebruik gemaakt van de eenheid TJ ( $=10^{12}$  J). Ter verduidelijking:

- 1 PJ = 1000 TJ =  $10^6$  GJ =  $10^9$  GIS-systeem maakt zeer veel verschillende "doorsneden" mogelijk: naar categorie, per huishouden, per inwoner, per vierkante meter kantoor-oppervlak etc. Daardoor is het een krachtig instrument voor het verkrijgen van inzicht MJ.
- 1 kWh elektriciteit = 3.6 MJ
- de energie-inhoud van 1 m<sup>3</sup> aardgas komt overeen met ongeveer 31 MJ
- de energie-inhoud van 1 liter benzine komt overeen met ongeveer 27 MJ

Een huishouden verbruikt gemiddeld 3500 kWh elektriciteit per jaar

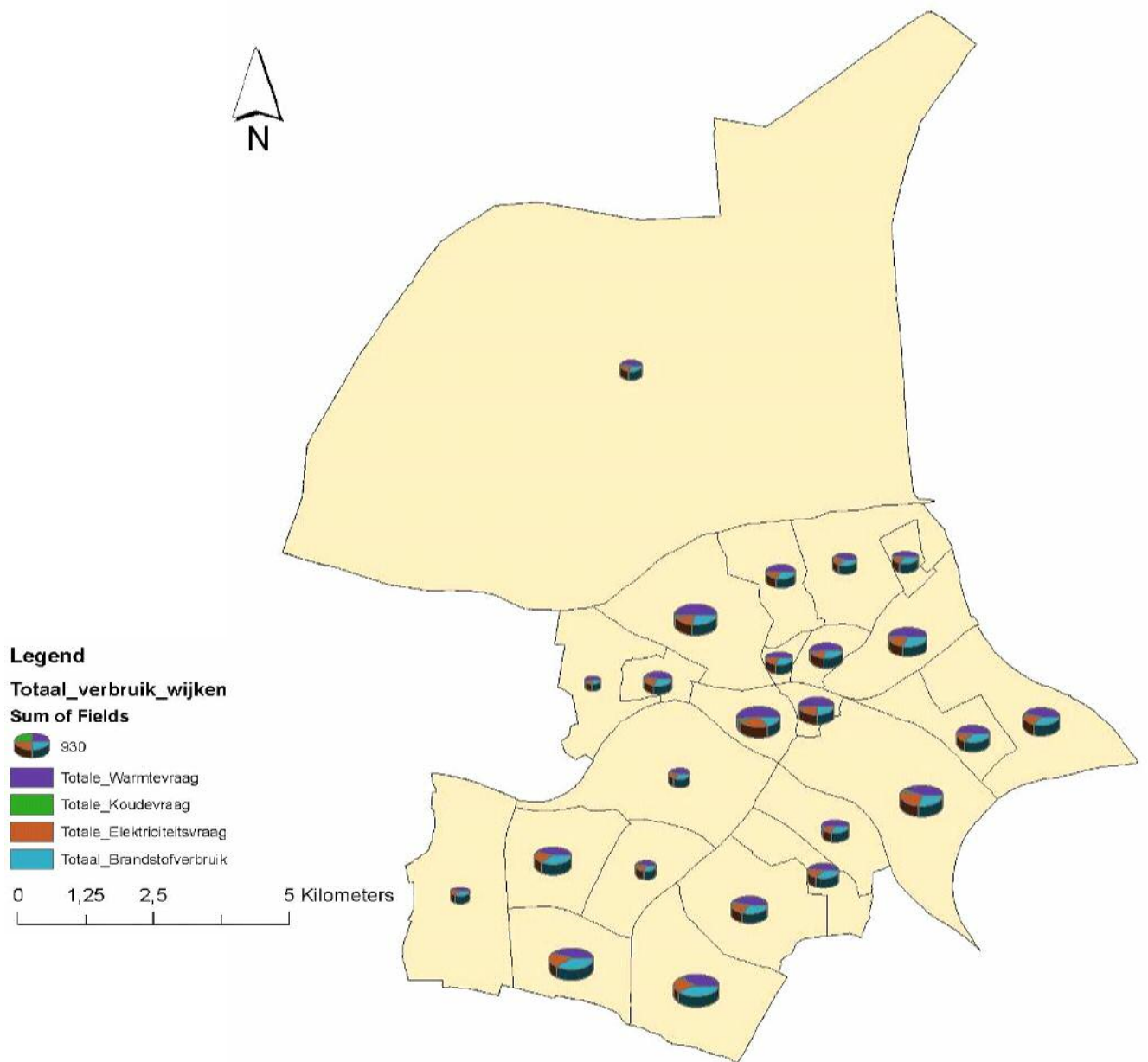
In de elektriciteitscentrale is er een omzettingsrendement van gemiddeld 40%. De energieinhoud van de primaire energiedrager om een eenheid elektriciteit te maken is dus ongeveer 2,5 keer zo groot (primaire energie).

Ruwweg staat 1 TJ gelijk aan het elektriciteitsgebruik van 100 huishoudens



Figuur 3-3 Energieverdeling per sector in Arnhem





Figuur 3-4 Energieverbruik naar vraagsoort in Arnhem

**Koelen**

Koelen wordt een hot topic in de toekomst. Momenteel is de vraag in Nederland nog relatief beperkt, maar deze zal volgens de verwachtingen sterk toenemen door het verlangen naar meer comfort en de stijgende temperaturen. Momenteel telt Nederland zo'n 100 koelgraaddagen en dit kan door de klimaatsveranderingen jaarlijks met ongeveer met 1,3% toenemen. In 2030 zou dit neerkomen op 130 koelgraaddagen. (Ter vergelijking, Nederland kent ongeveer 2600 graaddagen voor verwarmen.) Dit is een structureel effect, en het verbruik per koelmachine zal hier evenredig mee toenemen.

Momenteel wordt voor meer dan 90% aan de koelvraag voldaan door compressie koelmachines. Deze verbruiken ongeveer 1 eenheid elektriciteit voor het wegpompen van 3-4 eenheden warmte, de COP is dus 3-4. Deze warmte en de elektriciteit die tijdens het proces wordt omgezet in warmte, worden dan meestal geloosd in de atmosfeer. Hierdoor warmt de lokale buitenomgeving op, hoeveel is echter moeilijk in te schatten. Volgens een Japanse studie zou het op de warmste dagen in het centrum van Tokio, waar 9 van de 10 huizen airconditioning heeft, gaan om 1-2 °C. Voor Arnhem zal dit aanmerkelijk lager liggen, maar door een sterke toename van airconditioners zou dit mogelijk significant kunnen worden.

Warmte-koude opslag is een energiezuinige technologie die sterk groeide de laatste jaren, en heeft een COP van ongeveer 10. WKO wordt bij voorkeur toegepast in grootschalige nieuwbouwprojecten en daar waar de ondergrond geschikt is. Het is dus vooral interessant in de utiliteitsbouw en stadsuitbreidings- en vernieuwingsprojecten (sloop en nieuwbouw). De systemen kunnen niet alleen overtollige warmte uit woningen of kantoren opslaan, maar ook uit de omgeving. Ook kwelwater met een temperatuur van ongeveer 11 °C kan worden benut.

Een derde techniek die momenteel gebruikt wordt, is absorptiekoeling waarbij gebruik gemaakt wordt van warmte voor het aandrijven van de koelmachine. Het rendement is laag, en de COP is ongeveer 0,7-1,4. Het verbruik aan primaire energie is dus ongeveer 2 keer zo hoog als voor een klassieke koelmachine, maar indien het om onvermijdelijke restwarmte gaat is dit te verantwoorden. Het systeem is alleen rendabel indien er goedkope warmte beschikbaar is. Op dit moment wordt deze technologie vooral toegepast in ziekenhuizen, omdat die vaker hun stroom zelf opwekken in een micro-WKK, en dus een hoop restwarmte beschikbaar hebben.

De twee sectoren die bekeken zijn in deze studie zijn de huishoudelijke koelvraag en die van utiliteiten. Over de industriële koelvraag valt moeilijk een inschatting te maken, aangezien die sectorafhankelijk is.

In de huishoudelijke sector is de koelvraag momenteel klein. Uitgaande van landelijke schattingen, zouden er in Arnhem zo'n 2600 airco's geïnstalleerd zijn die gezamenlijk zo'n 4,6 TJ per jaar aan elektriciteit verbruiken. Deze zijn vooral geplaatst in het duurdere woningsegment. Voor de toekomstige ontwikkelingen liggen de voorspellingen sterk uiteen. Gebaseerd op de meest recente studie van Ecofys 2008-2020, zal de koelvraag 20 keer zo groot zijn in 2020, zowel door de gegroeide marktpenetratie als door de stijgende temperaturen. Voor Arnhem zou het dan gaan om 90 TJ elektriciteitsverbruik per jaar indien men gebruik blijft maken van compressiekoelmachines.

In de utiliteiten wordt momenteel veel meer koeling gebruikt, voornamelijk in kantoren, winkels en de zorgsector. Op dit moment kan men uitgaan van ongeveer 122 TJ elektriciteit die per jaar wordt verbruikt voor koeling. De koelvraag zal ongeveer verdrievoudigen tegen 2020. En met gelijkblijvende technologieën zal hiervoor dus ongeveer 370 TJ elektriciteit worden verbruikt.

Tezamen zal het elektriciteitsverbruik met huidige technieken voor koelen in 2020 dus ongeveer 460 TJ zijn, en het is dus wenselijk om moderner koelconcepten die minder verbruiken te stimuleren. Nog beter is het koelen te voorkomen door stedenbouwkundige ingrepen te doen die de stad minder opwarmen, bijvoorbeeld groene daken en meer water in de stad. Architectonische ingrepen in de woning, bijvoorbeeld overstekken, kunnen de warmtebelasting van woningen verminderen

### 3.2 Vraagontwikkeling

Naast het inzichtelijk hebben van de uitgangssituatie wat betreft de energievraag is het van belang in te schatten hoe deze vraag zich in de toekomst zal ontwikkelen. Alleen dan is het mogelijk een inschatting te maken van de inspanning die nodig is om een bepaalde mate van energieneutraliteit te bereiken. Voor de inschatting van de vraag wordt hier uitgegaan van twee scenario's.

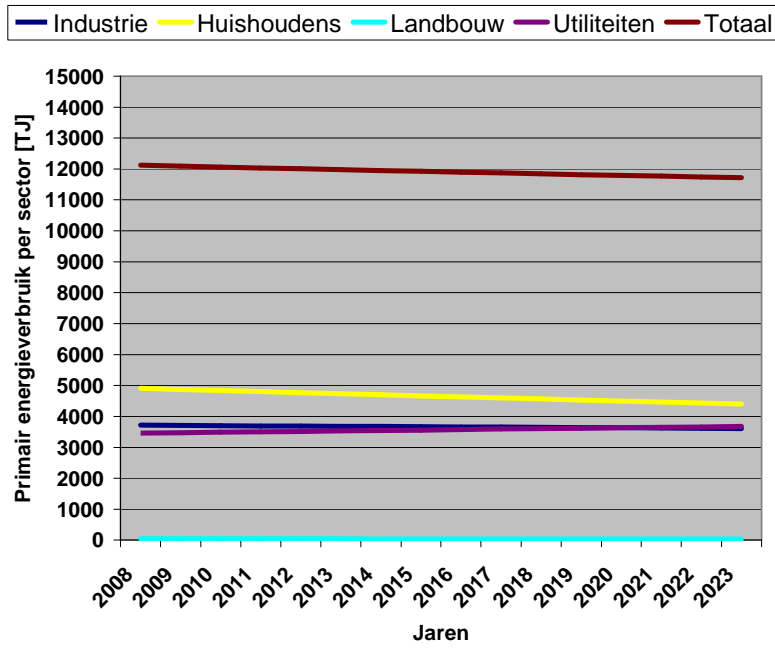
Het eerste is een veel gebruikt Europees scenario, stammend uit 2005. Er is hier uitgegaan van het gemiddelde van de varianten "Strong Europe" (SE) en "Global Economy" (GE). De onderstaande grafiek koppelt de werkelijke, actuele, gegevens van Arnhem aan de kentallen in dit scenario voor de toekomstige ontwikkelingen. Te zien is dat het totale energieverbruik nog behoorlijk zal stijgen, mede door de nog toenemende bevolking in Arnhem.

Het tweede volgt het werkplan "Schoon en zuinig" uit 2007 van de Nederlandse overheid. Dit plan, met als karakteristieken:

- 30% CO<sub>2</sub>-besparing in 2020 ten opzichte van 1990
- 20% energie uit hernieuwbare bronnen in 2020
- 2% energiebesparing per jaar van 2010 - 2020 (in totaal dus 20%)

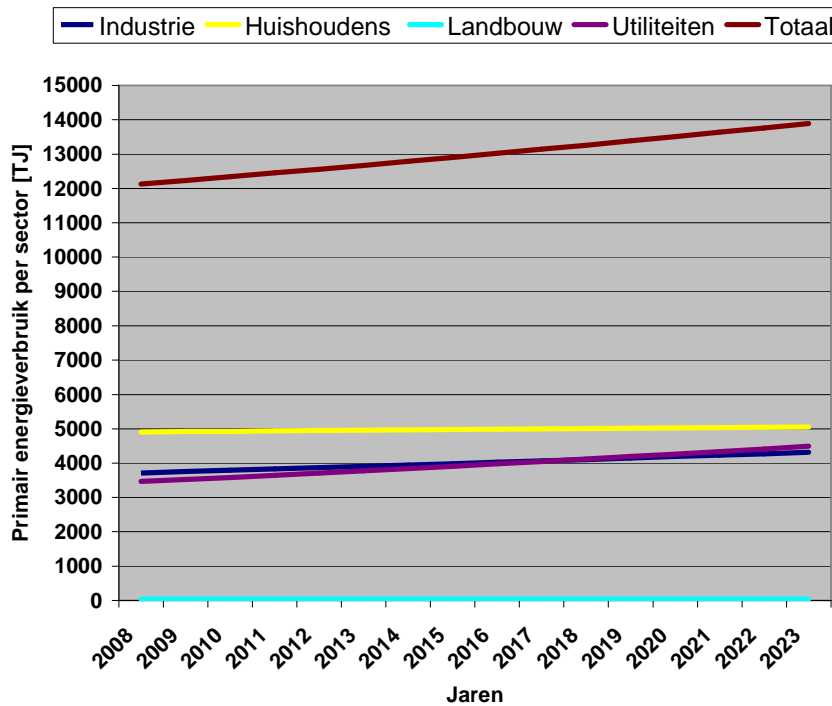
leidt tot de tweede grafiek, waarin ondanks de bevolkingsgroei de totale energieconsumptie licht daalt.

Energievraagontwikkeling Arnhem "Schoon en Zuinig" scenario zonder verkeer



Figuur 3-5 Energievraagontwikkeling in Arnhem volgens Europees scenario uit 2005

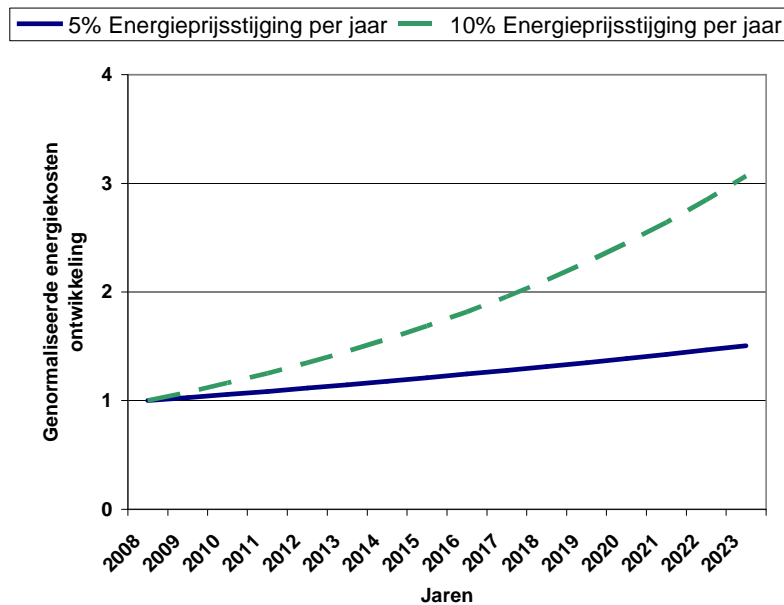
**Energievraagontwikkeling Arnhem (SE+GE)/2 scenario**



Figuur 3-6 Energievraagontwikkeling in Arnhem op basis van "Schoon en Zuinig"

Uit deze prognoses blijkt dat zelfs in het geval van het ambitieuze energiebesparingsdoel van de overheid, waar op alle fronten door betrokkenen aan zal moeten worden gewerkt er nog een aanzienlijke opgave blijft om deze vraag duurzaam in te vullen. Vanuit het duurzame energie perspectief is dit aan te merken als een best case scenario. Het Europees scenario is de worst case die een nog grotere inspanning vraagt. In figuur 3-7 is de energiekostenontwikkeling voor de komende jaren te zien bij twee verschillende prijsontwikkelingsniveaus.

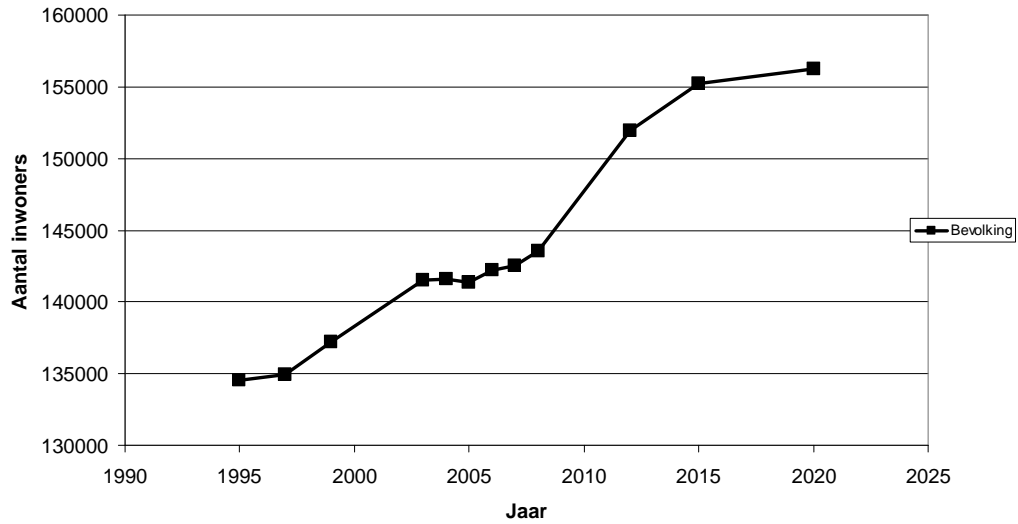
Inflatiegecorrigeerde energiekostenontwikkeling Arnhem "Schoon en Zuinig" scenario zonder verkeer (2% inflatie)



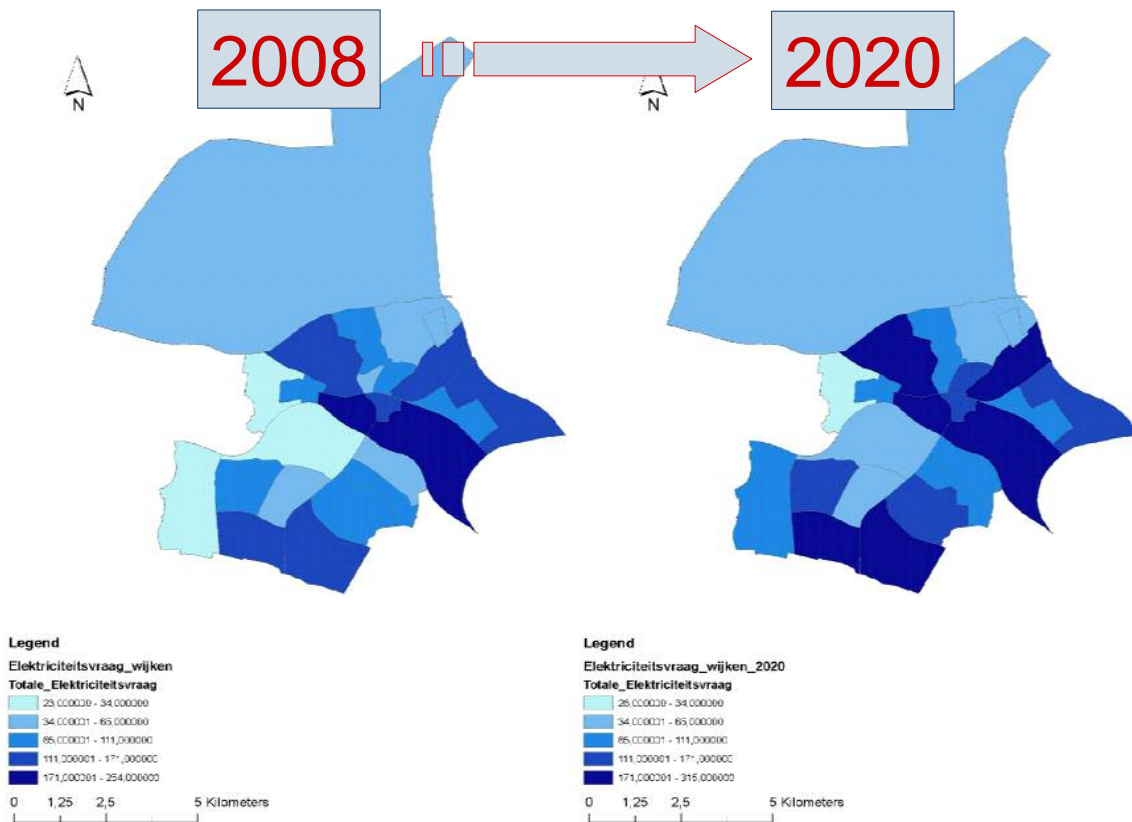
Figuur 3-7 Mogelijke netto energiekosten ontwikkelingen

Figuur 3-9 geeft aan hoe de vraag zich op wijkniveau zal ontwikkelen. Te zien is dat de grootste veranderingen zich afspelen in de wijken waar veel nieuwbouw of renovatie-activiteit is.

Bevolkingsontwikkeling Arnhem



Figuur 3-8 Werkelijke en voorspelde bevolkingsgroei in Arnhem van 1995 tot en met 2020



Figuur 3-9 Energievraag ontwikkeling tussen 2008 en 2020 in kWh

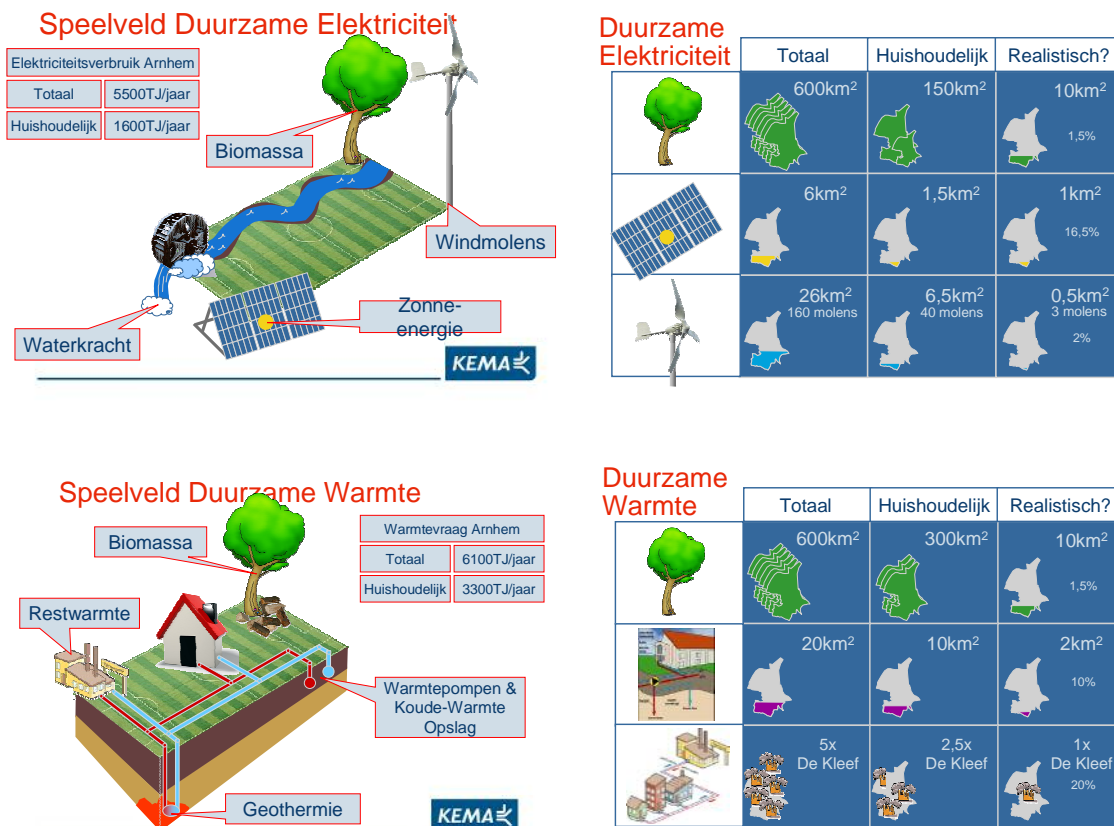
## 4 ENERGIEAANBOD

### 4.1 Overzicht potentieel energieaanbod

De kaarten met betrekking tot het duurzame energie aanbod in de gemeente zijn grotendeels gebaseerd op bestaande potentieelstudies (Ecofys: DE scan+, BTG: MRA biomassa studie) en zijn waar nodig aangevuld met nadere informatie. De kaarten zijn gebaseerd op een “realistisch” potentieel. Dit is een subjectieve inschatting. Uitgangspunten zijn geweest:

- Fysieke realiseerbaarheid gebaseerd op de huidige stand van de techniek
- Aansluiting bij de huidige ruimtelijke ordening.

Naar zal blijken is energieneutraliteit binnen dit realisme niet te bereiken. Daarvoor zijn meer revolutionaire maatregelen nodig, zoals bijvoorbeeld grootschalige zonne-energiecentrales. Het is in dit verband goed om eens te kijken naar de fysieke ruimte die duurzame energieopwekking zou innemen al we de elektriciteit en warmte in Arnhem volledig met duurzame bronnen zouden willen opwekken. Zie hiervoor figuur 4-1. Voor de biomassa is uitgegaan van het potentieel aan biomassa in Arnhem volgens de MRA studie uit 2008.



Figuur 4-1 Ruimtebeslag door duurzame energiebronnen in de gemeente Arnhem

vertrouwelijk

Realisatie via biomassa alleen zou vele malen de grondoppervlakte van Arnhem nodig hebben. Realisatie via zon of wind kán wel, maar vraagt forse ingrepen in de ruimtelijke ordening.

De keuze voor de realistische aanpak is gestoeld op de noodzaak voor Arnhem om op korte termijn beleidskeuzes te kunnen maken. Met name in het strategiedeel van deze studie zal er op worden gewezen dat veel meer nodig is om energieneutraal te worden. Voor energieneutraliteit heeft Arnhem aangegeven te willen uitgaan van eigen bronnen. Dit uitgangspunt is overgenomen. Om de bruikbaarheid van de kaarten te vergroten, zijn wel mogelijkheden voor verwerking van bijvoorbeeld biomassa bij reeds bestaande faciliteiten met capaciteit aangegeven, alsmede de mogelijkheid van aansluiting op de restwarmte van de AVR in Duiven.

Ten behoeve van de leesbaarheid van dit rapport wordt hier een samenvatting van de diverse aspecten van de diverse duurzame opties gegeven. Voorbeelden van de kaarten en onderbouwende en verklarende beschouwingen zijn in bijlage C opgenomen.

### **Windenergie grootschalig**

Windenergie is de laatste jaren fors aan het toenemen in de Nederlandse energiemix en was in 2008 met ca 35 PJ verantwoordelijk voor circa 1% van de geleverde energie. Het is op dit moment dan ook de grootste hernieuwbare energiebron. De kracht van wind is de relatief lage kostprijs van de opgewekte stroom, en de verwachtingen zijn dat windenergie de komende jaren sterk zal blijven groeien.

In de gemeente Arnhem staat één windturbine, en er wordt momenteel slechts één mogelijke windlocatie overwogen, met name de landtong tussen het industriegebied de Kleefse Waard en de Rijn. Er loopt op dit moment een haalbaarheidsstudie naar 3 windmolens van 3 MW per stuk. Met een productiefactor van 22%, en met 9 MW nominaal vermogen levert dit circa 63 TJ per jaar op. Deze locatie is in de windenergiekaart opgenomen, evenals de windkaarten van Arnhem op de hoogten van 80 m, 100 m en 120 m boven de grond.

Een windmolen op land levert per MW vermogen stroom voor ongeveer 650 huishoudens.
--

Aangezien windenergie een bewezen en rendabele technologie is, wordt de gemeente aangeraden de ogen open te houden voor veranderende omstandigheden, zodat andere locaties eventueel toch in aanmerking zouden kunnen komen voor nieuwe windprojecten. Zo zou een windpark van 15 molens in het noorden van Arnhem circa 13% van de gehele elektriciteitsvraag kunnen leveren en tegelijkertijd het totale primaire energieverbruik met 4%



verlagen. (In de DE scan+ is op basis van door de gemeente verschaft gegevens uitgegaan van 205 TJ aan windenergie, dit komt overeen met ongeveer 30 MW geïnstalleerd vermogen).

### **Windenergie kleinschalig**

Uit recente studies is meermaals gebleken dat kleine windturbines in de gebouwde omgeving met zeer veel problemen te kampen hebben:

- Technisch gezien laten kleine turbines het nog afweten
- De juridische aspecten zijn momenteel nog niet duidelijk
- Financieel zijn kleine windturbines momenteel onrendabel en de opbrengsten voldoen zelfs veelal niet aan de verwachtingen van de fabrikanten.

Het lijkt ons beter om voorlopig geen verder potentieelonderzoek te doen binnen de gemeente. Temeer omdat de windsnelheid in Arnhem op lage hoogte beperkt is (gemiddeld tussen ca 3,5 en 4 m/s op 10 m), en het terrein door het heuvelachtige karakter relatief ruw is. We raden aan dit pas te herevalueren indien de technologie grondig zou zijn geëvolueerd, en de marktsituatie zou zijn gewijzigd. Wel valt te verwachten dat meer en meer mensen met aanvragen zullen afkomen bij de gemeente, en het is van belang om hierop beleidsmatig voorbereid te zijn.

Een eventueel plaatsen van windturbines onder bruggen en viaducten wordt afgeraden. Door de zeer ruwe omgeving zullen er aanmerkelijke turbulenties bestaan, die funest zijn voor zowel het rendement als de levensduur van de windturbines. Enkel windmetingen op die locaties kunnen daarover de nodige informatie geven. De diameter van de molen zal in elk geval klein zijn door de beperkte plaats onder een brug. Het vermogen, dat kwadratisch afhankelijk is van de diameter, zal daardoor ook gering zijn. Ter referentie, voor een 3 MW molen heeft men een diameter van 90 m nodig. Een significante bijdrage van deze optie wordt niet verwacht.

### **Waterkracht**

In Nederland is het potentieel van waterkracht klein door de beperkte hoogteverschillen. De enige interessante bronnen zijn de enorme waterhoeveelheden die door de grote rivieren lopen. Na de Tweede Wereldoorlog zijn enkele grootschalige projecten voltooid, zoals het Sluis- en Stuwcomplex Amerongen.

In Driel, vlakbij Arnhem, zijn al in de jaren '80 plannen uitgewerkt voor een waterkrachtcentrale naast de stuw. Het vermogen zou zo'n 10 MW worden met een jaarlijkse opbrengst van ongeveer 20 GWh (72 TJe). Door de lage energieprijzen zou het project amper rendabel

vertrouwelijk

zijn, en daarom werd het stopgezet. Recent heeft het Waterschap Rivierenland echter te kennen gegeven dat door de gestegen energieprijzen de situatie opnieuw wordt bekeken. Ook zijn er sinds dit jaar mogelijkheden binnen de SDE om waterkracht te subsidiëren. Voorlopig denkt men aan een centrale die jaarlijks 90 TJ (7000 huishoudens) aan elektriciteit zou opleveren. Door de nabijheid van Driel lijkt het dus momenteel onrealistisch dat er in Arnhem zelf een nieuw grootschalig stuwcomplex met een hydro-elektrische centrale kan worden gebouwd. Ook heeft de gemeente aangegeven dat de ze de scheepvaart niet verder wil hinderen.

Een mogelijke optie is het plaatsen van een kleine turbine (35 kW) in het vrij stromende water. Deze werken echter pas vanaf een voldoende hoge stroomsnelheid (circa 3,5 m/s). Hiervoor zou men een gedeelte van de Nederrijn moeten afdammen en stuwen. Het maximale potentieel zou voor het grondgebied van Arnhem zo'n 4 TJ zijn, hiervoor zijn echter wel 5 stuwingen nodig waarlangs 20% van het debiet van de Nederrijn zou moeten passeren. De infrastructuurwerken hiervoor zijn dus groot, en de energetische opbrengst is beperkt. Bij kleine hydrocentrales (< 100 kW, bron ECN 2003) is de investering dus relatief zeer hoog met een verre van een acceptabele rentabiliteit. Op dit moment lopen er in Nederland twee soortgelijke projecten (Tocardo en Hydroring).

Arnhem is bekend als een stad met vele beken. De waterafvoer van die beken is echter erg klein, en enkel de Sint-Jansbeek zou eventueel voldoende debiet en valhoogte hebben voor een kleinschalige hydro-elektrische centrale. Maar ook hier zou de realistische opbrengst beperkt zijn tot circa 0,25 TJ per jaar, en de potentiële bijdrage van kleinschalige hydrocentrales in aan energieneutraal Arnhem is dus beperkt.

### **Energie uit afval**

In Arnhem wordt het huisvuil opgehaald door SITA Suez. Dit wordt dan grotendeels naar Duiven gebracht voor verbranding in de afvalverbrandingsinstallatie van AVR. Dit levert elektriciteit op en ook restwarmte voor het stadswarmtenetwerk van Duiven en Westervoort. In de toekomst (2012 - 2014) kan er een verbinding komen met het restwarmtenetwerk van Arnhem. Op die manier zal de stad rechtstreeks energie halen uit het eigen afval. Dit levert een significante bijdrage aan het doel van energieneutraliteit. Het wordt echter als onrealistisch gezien dat in Arnhem zelf in de nabije toekomst een afvalverbrandingsinstallatie wordt geplaatst, aangezien het afval al volledig wordt verwerkt.

Door de Nederlands overheid wordt momenteel 48% van de energie uit afvalverbranding als duurzaam aangezien. Het betreft de biogene fractie van het afval.

vertrouwelijk

Arnhem had in 2007 in totaal 74.856 ton huishoudelijk afval en de langdurige trend (van 1985 - 2007) is een stijging van 1,8% per jaar, terwijl de laatste tijd (2000 - 2007) er een afvlakking is met een stijging van slechts 0,9% per jaar. Uit elke ton huishoudelijk afval is circa 3,5 GJ elektrische energie, en circa 10,5 GJ warmte te winnen (uit data AVR Duiven). Er gelden momenteel de volgende productiegegevens voor energie uit afval uit Arnhem:

- 262 TJ Elektriciteit
- 786 TJ Warmte.

Ruwweg is het afval van ongeveer 8 huishoudens voldoende voor afdekken van de energievraag voor 1 huishouden.
---

Arnhem heeft 145.237 inwoners (2007), voor elke inwoner van Arnhem:

- 0,52 ton huishoudelijk afval/ inwoner
- 1,8 GJ Elektrisch/inwoner (14% van gebruik)
- 5,4 GJ Warmte/inwoner (11% van gebruik).

De tendens van recyclen zal op de lange termijn de hoeveelheid afval doen dalen.

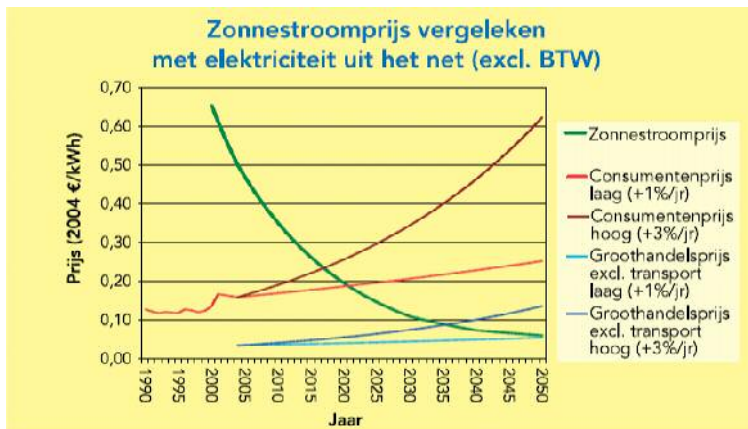
### **Zonne-energie**

De zon is de grootste energieleverancier van onze planeet. Per uur bereikt even veel energie van de zon de aarde, als de hele mensheid verbruikt op een heel jaar tijd. In Nederland kan men rekenen op zo'n 1000 kWh/m<sup>2</sup>/jaar.

Momenteel is de meest populaire en benutte techniek photovoltaïsche energieomzetting (PV). Zonnecellen zetten de zonnestraling rechtstreeks om in elektriciteit met een rendement van 10 tot 20%. PV-modules hebben als voordeel dat ze onderhoudsvriendelijk zijn, een lange levensduur hebben en om het even waar kunnen worden geplaatst. Als het donker is, heeft men echter geen energie, en grootschalige implementatie zal belastingen voor het elektriciteitsnet met zich meebrengen.

PV-modules zijn momenteel echter nog kostbaar, zodat de investering groot is en de prijs per kilowattuur (indicatie 50 cent/kWhe) is veel groter dan de groothandelprijs van conventionele bronnen (indicatie < 10 cent/kWhe, zie volgende pagina). Er zijn exploitatiemodellen die proberen een oplossing te vinden voor het verschil in opbrengst tussen de groothandelprijs en de "achter de meter" prijs (Windvogel, Zonvogel). De PV-markt is

wereldwijd wel enorm aan het groeien en de prijzen dalen navenant. Uit projecties voortbouwend op de trend van de voorbije jaren valt te verwachten dat grid parity (de elektriciteitskosten voor de consument indien de zonnepanelen zonder subsidies op het eigen terrein zijn geïnstalleerd, ten opzichte van de prijzen die betaald worden voor klassieke stroomlevering) in de tweede helft van het volgende decennium kan worden bereikt. Mede door een gunstige SDE-regeling van de Nederlandse overheid kan het interessant zijn voor particulieren reeds voordien te investeren in zonnepanelen. Het SDE-budget is echter beperkt, zodat hooguit een paar tientallen woningen (in Arnhem) per jaar met subsidie kunnen worden voorzien van een PV-installatie. Voor de komende 5 tot 10 jaar zal het groeitempo dan ook beperkt blijven en daarmee ook de bijdrage aan het energieneutraal maken van Arnhem.



Uit Roadmap Holland Solar 2005

Figuur 4-2 Prognose concurrentiepositie van zonnestroom

Voordat zonnestroom in Nederland zonder subsidie met groothandelprijzen kan concurreren, zal zeker nog langer duren (2035 - 2045), en wanneer en of dit zal gebeuren hangt af van vele factoren. In omliggende landen ontstonden door gunstige subsidiemaatregelen in de voorbije jaren reeds meerdere fotovoltaïsche parken met tot 50 MW vermogen, en vele projecten staan op stapel. Of deze ontwikkeling overwaait naar Nederland zal afhangen van de centrale overheid (beschikbaar stellen van subsidie) en het beleid van de gemeenten (creëren van ruimte voor duurzame energie).

### Warmte-Koude Opslag

Warmte-Koude Opslag (WKO) is een betrekkelijk nieuwe techniek die in Nederland sterk opkomt. Het basisidee is dat in de zomer warmte, die op dat moment overvloedig aanwezig

vertrouwelijk

is, wordt opgeslagen in een aquifer. Deze warmte wordt in de winter gebruikt als warmtebron voor een warmtepomp die een cv-ketel vervangt. Voor koude gebeurt het omgekeerde. Het voordeel van het systeem is dat dezelfde warmtepomp als koelmachine wordt gebruikt. Om het systeem in balans te houden, is wel voldoende koelvraag nodig, en het systeem is dus prima geschikt voor utiliteiten zoals kantoren en winkels. Wel moet men er rekening mee houden dat WKO uitgaat van lage temperatuur verwarming, en het is dus enkel interessant voor grootschalige stadsvernieuwings- of nieuwbouwprojecten. Volgens de DE-Scan+ zou het potentieel in Arnhem zo'n 160 TJ per jaar zijn.

Mogelijke warmtebronnen:

- Warmte van airco's
- Zonnewarmte in oppervlaktewater of de bodem
- Overtollige zomerwarmte van kassen
- Afvalwarmte van bedrijfsprocessen

In Arnhem bestaan drie watervoerende pakketten die geschikt zijn voor WKO en hier wordt momenteel al gebruik van gemaakt door verschillende partijen. De potentiële opslagcapaciteiten, samen met de mogelijke vervuilingen en de reeds vergunde systemen, zijn in kaart gebracht door TTE. Deze kaarten zijn overgenomen in de Energiekaart van Arnhem.

In de oriëntatie op de ondergrond van Arnhem (TTE, 2008) is becijferd dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot door toepassing van WKO in Arnhem met ongeveer 70 kton/jaar kan worden vermindert bij gebruik van groene stroom voor het elektrische systeem.

Arnhem biedt ook de unieke gelegenheid om gebruik te maken van hybride systemen. Zo zou het Rijnwater gebruikt kunnen worden om de warmte en koudebronnen te regenereren. Dit systeem wordt al toegepast in de Maastoren in Rotterdam, en dit verdubbelt de capaciteit van de WKO-opslag. Het is niet interessant om het water over grote afstanden te transporteren, daarom zal dit enkel aantrekkelijk zijn voor projecten vlakbij de rivieren. Op een zelfde manier zou men overtollige restwarmte kunnen gebruiken voor het opladen van warmtebronnen. Hoe haalbaar, rendabel en ecologisch interessant deze systemen zijn, is momenteel onduidelijk en hiervoor is verder onderzoek nodig.

Ook van in de bodem opgeslagen (zonne-)warmte kan men gebruik maken voor het verwarmen van ruimtes. Dit kan vlak onder de grond (0 tot 30 meter) met verticale bodemwarmtewisselaars. Hierbij dient de bodem als opslag voor een grote en goedkope zonnecollector en wordt de aarde gebruikt als bron voor een warmtepomp.

vertrouwelijk

Het is van belang om de vergunde projecten te monitoren en te begeleiden, zodat toekomstige conflicten kunnen worden vermeden. De gemeente heeft te kennen gegeven dat een project gestart wordt voor het ontwikkelen van een WKO-Masterplan. Hiermee kan ook een beter beeld gevormd worden van de WKO-potentie in Arnhem.

### **Geothermie**

De temperatuur in de Arnhemse bodem neemt toe met zo'n 3 °C per 100 m. Vanaf 120 °C is het mogelijk elektriciteit op te wekken via de Organic Rankine Cycle. Deze temperatuur zou op een diepte van 3600 m worden bereikt. Over de bodemlagen op deze dieptes is in Nederland echter zeer weinig bekend en er moet aanvullend onderzoek gedaan worden, voordat men kan besluiten of dit een haalbare zaak is voor Arnhem en wat het potentieel zou zijn. Op dit moment is het niet mogelijk hierover raadgevingen te doen (IF Technology en Cumae 2008). Het elektrisch rendement van geothermie systemen is laag, 2 tot 3% bij 100 °C, 4 tot 6% bij 150 °C en rond de 10% bij 200 °C (VGB PowerTech 5/2008, blz. 102).

De kaarten die TTE heeft geproduceerd in het kader van hun Bodemvisie voor Arnhem zijn opgenomen in de Energiekaart van Arnhem.

### **Biomassa**

Biomassa is in Nederland een belangrijke bron van duurzame energie opwek. Biomassa komt voor in verschillende vormen en kan met verschillende technieken verwerkt worden tot nuttig inzetbare energie. De belangrijkste omzettingstechnieken zijn:

- Bij- en meestook in bestaande energiecentrales (kolen/gas)
- Stand-alone biomassa centrale
- Mest co-vergisters
- Verbranding van afval (het biogene aandeel in het afval wordt aangemerkt als duurzame energie)
- Productie van 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> generatie biotransportbrandstoffen.

Biomassa kan in diverse vormen voorkomen, zoals berm- en slootmaaisel, snoei- en dunningshout, mest, biogene fractie in afval, afval van de voedselverwerkende industrie, groenafval, etc. Biomassa kan specifiek verbouwd worden als energiebron (energy crops) of vrijkomen als afval of restproduct (bijvoorbeeld dunningshout, groenafval). Met de beperkte beschikbare landbouwarealen in Nederland en de hoge grondprijzen is het verbouwen van biomassa voor energieproductie sec niet aantrekkelijk.

De beschikbare biomassa binnen de grenzen van Arnhem is beperkt. Een overzicht is gegeven in tabel 4-1.

Tabel 4-1 Een overzicht van de bestaande bronnen van biomassa binnen de gemeentegrenzen van Arnhem

Naam	Soort biomassa	Hoeveelheid	Potentiële energie	Opmerking
Milieustraat Beijerinckweg	GFT	4.000 ton/jaar (nat)	Bij vergisting: 6.271 GJ	Nu vindt compostering plaats
Milieustraat De Overmaat	GFT	4.000 ton/jaar (nat)	Bij vergisting: 6.271 GJ	Nu vindt compostering plaats
Bos	hout	2.548 ton (praktisch potentieel)	Primaire energie 22.931 GJ	Afhankelijk van eigenaar, wellicht moeilijk te verkrijgen
Fruit en boomkwekerijen	Hout etc.	Te weinig	Te weinig	
Berm en slootmaaisel	Nat/droog gras	5.227 ton/jaar (nat potentieel)		Moeilijk te verwerken tot energie
Mest	Nat	Verwaarloosbaar in gemeente		Wellicht samenwerking met omliggende gemeenten?
Bouw en sloophout	Hout (B categorie)	13.330 ton/jaar	Groot, echter zie opmerking	Wordt al grotendeels afgezet

Om een goed energetisch rendement en economische rentabiliteit te krijgen, is het noodzakelijk om bij biomassa verbranding/vergisting zoveel mogelijk gebruik te maken van de geproduceerde warmte (naast de opwek van elektrische stroom). Warmte geproduceerd in biomassacentrales kan ingezet worden in bijvoorbeeld stadswarmte of industriële processen. Binnen de SDE-subsidie voor duurzame energie opwek bestaat een bonus voor warmtebenutting.

### Initiatieven in de nabijheid van Arnhem

Er zijn verschillende initiatieven en bestaande installaties voor de verwerking van biomassa voor energie opwek in Arnhem en in de nabijheid van Arnhem, zie tabel 4-2 voor een overzicht.

Tabel 4-2 Overzicht van de bestaande initiatieven in installaties in Arnhem en in de nabijheid van Arnhem

Naam	Piekvraag/geplande capaciteit	Biomassa	Opmerkingen (Status Nov 2008)
Parenco	22 MWth 4-6 MWe	30.000-100.000 ton/jaar	Wacht op vergunningen
7 poort Zevenaar	11 MWth	2000-3000 ton/jaar	2,5 MWth zal biomassa gestookt zijn, houtpellets Essent
Glastuinbouw Bergerden Nieuwbouwwijk Schuytgraaf	5-10 Mm <sup>3</sup> groen gas	36.000-72.000 ton/jaar Bio-olie	Initiatief BEB, vergunning verleend Betreft backup vermogen, ketels zijn al geplaatst
Woonwijk Saksen Weimar	1,25 MWth	2000 ton/jaar	Haalbaarheid wordt bekeken
Sportcomplex Saksen Weimar	1,44 MWth	3400 ton/jaar	Eventueel minicentrale op bio-olie (op hout niet haalbaar)



vertrouwelijk

Aansluiten bij bestaande initiatieven biedt kansen voor de gemeente Arnhem (bijvoorbeeld door levering van biomassa van binnen de gemeentegrenzen). Dit voorkomt dat een teveel aan nieuwe initiatieven leidt tot een tekort aan lokaal beschikbare biomassa; tevens biedt het kansen voor versnelling van duurzame energie opwek, welke dan (gedeeltelijk) op conto van Arnhem kunnen komen.

### **Stadswarmte**

Sinds 2003 is de uitbreiding van het reeds bestaande warmtenetwerk in Arnhem snel gegaan. Als warmtebron is voorlopig enkel de WKC de Kleef aangesloten. Deze gasgestookte STEG heeft een huidige capaciteit van circa 50 MWth en de maximale capaciteit met beperkte investeringen is 80 tot 90 MWth. Dit zou gaan om circa 1.400 TJ/jaar. Voor het opvangen van de piekvraag is een Hulpwarmtecentrale (HWC) gebouwd in de Schuytgraaf met een totaal vermogen van 56 MWth. De ketels worden momenteel gestookt met biodiesel uit koolzaad, maar zijn ook voorzien om te draaien op huisbrandolie en gas. De HWC levert zo'n 15% van de totale jaarlijkse energie aan het warmtenetwerk.

De hoofdleidingen van het warmtenetwerk hebben een standaard 30 cm doorsnede en kunnen een vermogen van 50 tot 70 MWth aan, afhankelijk van het type afname.

Er wordt momenteel uitgegaan van een verbinding met het stadswarmtenetwerk van Duiven en Westervoort, zodat men gebruik kan maken van de restwarmte van de AVR Avira. Dit is een afvalverbrandingsinstallatie en de warmte die hiervan afkomstig is, wordt door de Nederlandse overheid beschouwd als 48% duurzaam. Zij verwachten een afname van continu 10 tot 15 MWth, wat overeen zou komen met een maximum van circa 14.500 woningequivalenten. De verbinding zou ook bijdragen tot de leveringszekerheid van het warmtenetwerk.

In het verleden was er ook sprake van een verbinding met de ARN Weurt en de Electrabel Centrale Gelderland in Nijmegen via de nieuwe Waalsprongwijk. Door de grote afstanden en de veranderde marktomstandigheden is die er nog niet gekomen, en het valt momenteel moeilijk te zeggen wat er op dit vlak in de toekomst zal gebeuren. Het voornemen is de restwarmte van de ARN te gaan benutten in de Waalsprong. Het wordt een lage temperatuur warmtenet (40 tot 50 °C) waardoor koppeling met het bestaande warmtenet in Arnhem e.o. geen zin heeft. Als de in de vorige paragraaf genoemde verbinding met de AVR er komt, is het volgens Nuon wegens de overcapaciteit in de nabije toekomst niet strikt noodzakelijk om deze verbinding tot stand te brengen.



vertrouwelijk

Voor het bestaande (hoge temperatuur) warmtenet zijn bronnen op basis van verbranding nodig. Een lage temperatuur net kan ook andere bronnen benutten. Dat is in principe gunstiger. Bij het gegeven van het bestaande net is het desalniettemin aan te bevelen toekomstige bouw toe te rusten op lage temperatuur verwarming om toekomstige ontwikkelingen niet te frustreren (toekomstbestendig ontwikkelen).

In Arnhem ligt een groot warmtenetwerk met momenteel 13.000 tot 14.000 woning-equivalenten onder contract (circa 360 TJ/jaar). In de nieuwe wijk Schuytgraaf zullen tegen 2012 circa 6.500 woningen aangesloten zijn. In het hernieuwde deel van Presikhaaf zullen circa 2.200 woningen en het winkelcentrum Corio Presikhaaf (met een 9,5 MWth-aansluiting de grootste afnemer van warmte in Nederland). De eigenaar, Nuon Warmte, heeft te kennen gegeven dat ze met een overcapaciteit zitten en wensen uit te breiden.

Een mogelijke optie is het verder verduurzamen van het stadswarmtenetwerk door aansluiting op een nieuwe biomassa-WKK, het is echter duidelijk dat de biomassastromen binnen de gemeente niet zullen volstaan voor een grote bijdrage. Daarvoor zou gekeken moeten worden buiten de grenzen van de gemeente en eventueel zelfs buiten Nederland. Ook is het denkbaar dat de gasgestookte WKK de Kleef op termijn wordt vervangen door een biomassa gestookte versie.

## 5 AFWEGINGSMATRIX EN KOSTENRAMING ENERGIEAANBOD

De gemaakte kaarten van de energievraag en de aanbodopties geven, tezamen met de nieuwe kaart van Arnhem, inzicht in de mogelijkheden op de diverse locaties zoals die nu bestaan. Kán er iets en is het relevant? Ten aanzien van een aantal aspecten zegt dit echter nog niet veel. Dit betreft aan de ene kant de kosten en aan de andere kant een veelheid van meer kwalitatieve aspecten. De afwegingsmatrix en kostenraming voorzien in deze lacune.

### 5.1 Afwegingsmatrix

In bijlage D zijn de resultaten te vinden van een afwegingsmatrix die de diverse duurzame energie- of besparingsopties scoort op de aspecten:

- Duurzaamheid
- Haalbaarheid
- Rendement
- Flexibiliteit
- Burger, bewoner, huurder
- Uitstraling/innovatie.

De afwegingsmatrix, in dit geval ingevuld door drie KEMA-experts, biedt vooral inzicht in de kwalitatieve aspecten die zijn gemeoid met de diverse opties. Zo wordt duidelijk dat zonne- en windenergie hoog scoren op het aspect duurzaamheid. Daarentegen is een nadeel van windenergie (op land) de vaak negatieve houding van bewoners (not in my back yard). Zonne-energie heeft dit aspect niet, maar het scoort weer laag op rendement (afhankelijk van subsidie uiteraard). Collectieve systemen voor warmtelevering zijn weer minder flexibel.

Bij het maken van afwegingen ten aanzien van de te volgen koers is het belangrijk deze aspecten mee te nemen naast de kosten die over het algemeen gemeoid zijn met het bereiken van CO<sub>2</sub>-reductie.

### 5.2 Kostenramingsopties en impact (energiemodel)

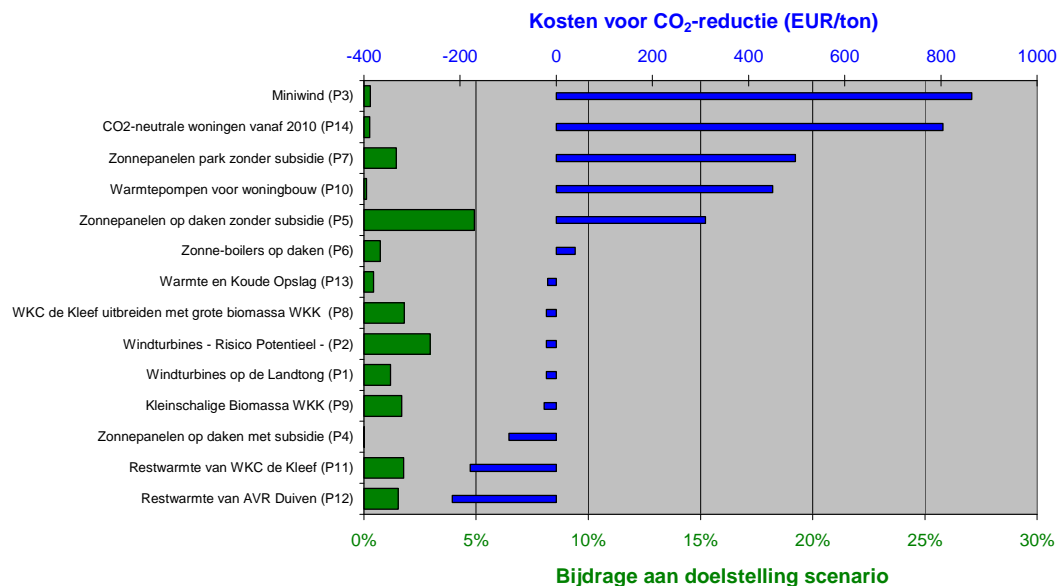
Een strategie gericht op energieneutraliteit zorgt voor minder uitstoot van CO<sub>2</sub>. De duurzame opties, of investeringen om de energievraag te reduceren, kosten echter geld. Dit geld wordt in meer of mindere mate weer terugverdiend door lagere energierekeningen.

vertrouwelijk

Op basis van een model dat de netto kosten bepaalt van een optie, afgezet tegen de vermeden tonnen CO<sub>2</sub>, is een volgorde te maken van oplopend duurdere opties. Het model geeft tevens inzicht in de mogelijke bijdrage van een optie aan het door Arnhem gestelde doel. In de bijlage D is per optie een “project”-overzicht opgenomen welke eveneens de kwalitatieve waardering van de opties bevat en informatie over gehanteerde randvoorwaarden. Het resultaat is te zien in figuur 5-1 en 5-2. De eerste geeft de situatie voor 2010 weer, de tweede voor 2020. Het laatste is vooral van belang om te zien hoe technologieën die sterk in ontwikkeling zijn, maar nu nog duur, zoals bijvoorbeeld fotovoltaïsche systemen, in 2020 naar verwachting zullen presteren. Het verschil in zonnepanelenparken en op daken zit het vooral in de andere waardering van de geleverde elektriciteit. Niet afgenomen elektriciteit van het net levert “achter de meter” de verbruikersprijs op (iets meer dan EUR 0,20/kWh). Een exploitant van een zonnestroompark is een leverancier die moet concurreren met een prijs van ongeveer EUR 0,07. Aangezien volgens plan nieuwbouwwoningen in 2020 CO<sub>2</sub>-neutraal gebouwd zullen worden, is er op dat moment ook geen sprake meer van “extra” kosten. Dat is dan gewoon de standaard geworden. Tot die tijd zullen de meerkosten geleidelijk in een aantal stappen afnemen. De groene balkjes geven de verdeling weer over de verschillende technieken van de bijdrage aan de doelstelling van energieneutraliteit, gegeven huidige subsidieniveaus en zaken als beschikbaar dakoppervlak. Dit dient vooral om duidelijk te maken dat bijvoorbeeld zonnepanelen met subsidie nu voor de gebruiker wel een aantrekkelijke optie zijn, maar dat de bijdrage aan de doelstellingen niet hoog is, omdat de door de overheid toegewezen subsidiebudgetten snel uitgeput zijn.

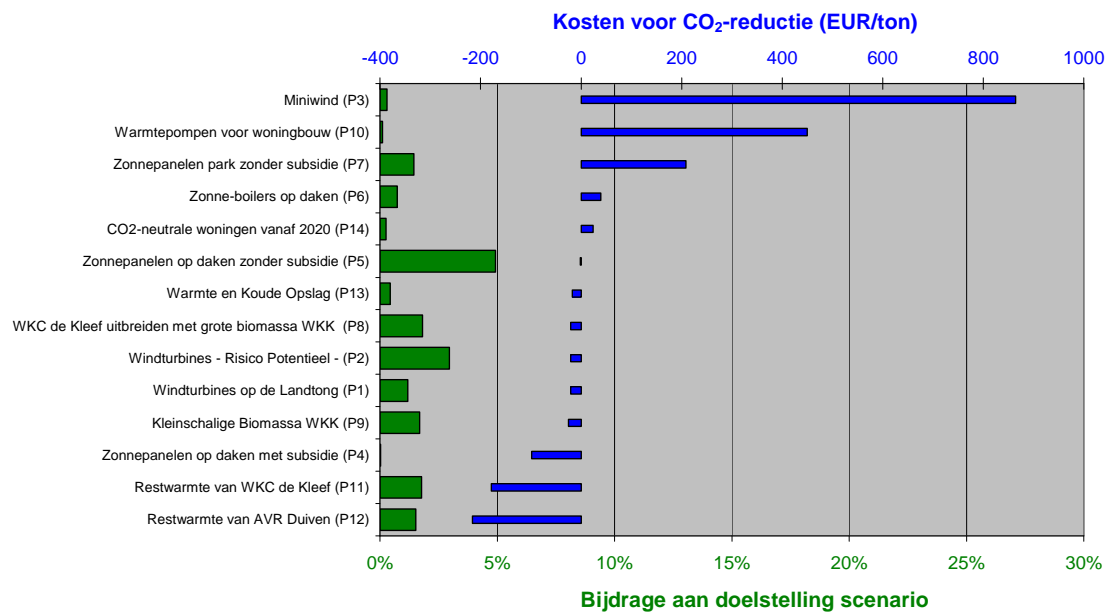
De eenheid EUR/ton CO<sub>2</sub> wordt hier gebruikt omdat dit een zeer gebruikelijke eenheid is die direct aansluit bij de belevingswereld van mensen, omdat de “marktprijs” voor uitgestoten CO<sub>2</sub> dagelijks in de krant is te vinden. Ter indicatie: deze prijs voor het mogen uitstoten van een ton CO<sub>2</sub> schommelde in de zomer van 2009 rond 15 EURO).

**Alle maatregelen: 2010**



Figuur 5-1 Resultaten energiemodel: netto kosten CO<sub>2</sub>-reductie voor diverse opties in 2010

**Alle maatregelen: 2020**



Figuur 5-2 Resultaten energiemodel: netto kosten CO<sub>2</sub>-reductie voor diverse opties in 2020

vertrouwelijk

Verder zijn de bijdragen in de figuren gebaseerd op een “realistisch” potentieel. Dit is een subjectieve inschatting. Uitgangspunten zijn geweest:

- Fysieke realiseerbaarheid gebaseerd op de huidige stand van de techniek
- Aansluiting bij de huidige ruimtelijke ordening, bijvoorbeeld alle beschikbare daken gebruiken voor zonne-energie.

Alles bij elkaar belopen de bijdragen van de diverse opties zo’n 30% van de energiebehoefte. De figuren laten zien dat benutting van het potentieel van warmtelevering, warmte- en koude-opslag maatschappelijk gezien geen kosten voor CO<sub>2</sub>-reductie met zich mee brengt. Het verdient zichzelf terug of meer dan dat. In de volgorde van aantrekkelijkheid komen vervolgens andere opties aan bod, waarbij blijkt dat onder de huidige condities die opties waarbij PV-panelen zijn gemoeid tot de duurste behoren. Dit betekent niet dat deze opties in specifieke gevallen niet aantrekkelijk kunnen zijn. Subsidies stimuleren het gebruik en versnellen daarmee de leercurve van dergelijke opties. De op dit moment beschikbare subsidiestromen verhinderen echter grootschalige implementatie. In de figuren is te zien in hoeverre een optie kan bijdragen, onder heersende condities, aan de Arnhemse doelstellingen. De duurdere lenen zich vooral voor demonstratieprojecten (“meters voorbereiden”), terwijl de kostenneutrale geschikt zijn voor de grote stappen vooruit qua uitstoot (“meters maken”) om voortgang te boeken richting het voor ongeveer 30% energieneutraal worden van Arnhem met eigen bronnen.

In de toekomst is fysieke ruimte voor duurzame energie waarschijnlijk een groter probleem. Het is van groot belang om daar nu reeds bij het opstellen van structuurvisies rekening mee te houden.

Infrastructurele opties die ingrijpen op de ondergrond zoals warmte en koude netten en WKO zijn meer in detail bekeken en gekoppeld aan de mogelijkheden die de verschillende gebieden in Arnhem bieden. Dit is reeds besproken bij de aanbod opties in hoofdstuk 4.

## 6 GEBIEDSGERICHTE ENERGIESTRATEGIE

Op basis van de kaarten en kosten van maatregelen is het mogelijk om vraag- en aanbodopties met elkaar te vergelijken. Hiervan kan gebruik gemaakt worden door bij nieuwe ontwikkelingen te zorgen voor een goede afstemming. Naast de “harde” vraag- en aanbodgegevens is het dan wenselijk om ook oog te hebben voor het karakter van een specifiek gebied. In het kader hiervan wordt aangesloten bij de visie op de ondergrond van Arnhem zoals die wordt ontwikkeld.

### Ruimtebeslag duurzame energie-opties

Duurzame energie opties als zon-PV, wind-energie en duurzaam geoogste biomassa hebben ruimte nodig. Op basis van gegevens voor Nederland zijn jaargemiddelde opwekvermogens bepaald per eenheid van oppervlakte

Zon PV: 10 W/m<sup>2</sup>

Wind: 1-2 W/m<sup>2</sup>

Biomassa: 1 W/m<sup>2</sup>

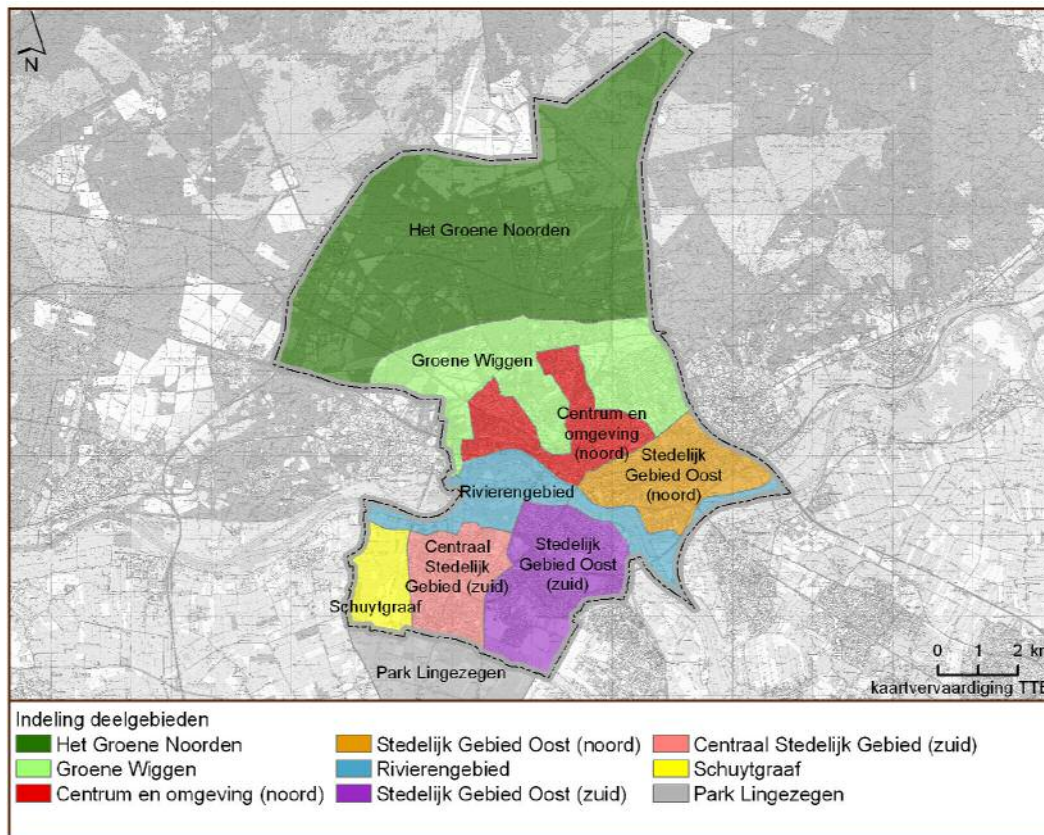
*bron: J. Hermans, De energie survival*

Onderstaand worden op basis van de gebiedskarakterisering uit genoemde visie de energieaspecten besproken.

### Deelgebied 1: Groene Noorden

In het noorden van Arnhem domineert ‘groen’ in de vorm van de uitgestrekte bossen en heidevelden van de Veluwe. Er is hier aandacht voor behoud van de diversiteit van het landschap en recreatiemogelijkheden: wandelen, fietsen, paardrijden en extensieve vormen van verblijfsrecreatie.

Naast ‘natuur’ kent het ‘Groene Noorden’ een beperkte woonfunctie (Schaarsbergen), een sportcentrum (Papendal) en een aantal militaire terreinen die mogelijk op termijn weer worden terug gegeven aan de natuur. Binnen een deel van dit gebied heeft de ondergrond een bijzondere functie, namelijk het onttrekken van grondwater ten behoeve van drinkwater uit watervoerend pakket 3.



Figuur 6-1 Onderverdeling van Arnhem in deelgebieden volgens de visie op de ondergrond

Focus qua energie

*Energievraag*

Totaal verbruik per wijk [TJ]

	Elektriciteit	Gas	Warmte	Brandstoffen
Groene Noorden	46	100	14	71

Op energetisch gebied is de vraag laag, er is daarentegen veel oppervlakte aanwezig. Dit biedt mogelijkheden voor duurzame energieopwekking binnen de gemeentegrenzen. Zeker als bestaande terreinen een andere functie kunnen krijgen in de toekomst dan kan vanuit het oogpunt van ruimtelijke ordening worden bekeken of er gebieden kunnen worden benut voor bijvoorbeeld een zonne-energiecentrale. De hoger gelegen gebieden kunnen wellicht ruimte bieden aan windturbines, die buiten de directe leefomgeving van bewoners kunnen worden gehouden. Tenslotte biedt dit meest bosrijke gebied in Arnhem de mogelijkheid biomassa uit snoeiafval te oogsten. Kortom, dit “landelijke” deel van Arnhem biedt bij uitstek mogelijkheden om te fungeren als een duurzame energieleverancier zoals uit onderstaand overzichtje blijkt.



*Duurzaam aanbod, ruimtebeslag*

	Zon-PV	Grootschalig wind	Biomassa
Energiedichtheid TJ/km <sup>2</sup>	360 (elektrisch)	40 (elektrisch, in een park)	36 (totaal opgeslagen)
Mogelijk te plaatsen km <sup>2</sup>	1	5	1
Totaalopbrengst TJ	360	200	36

\* De genoemde oppervlaktes zijn gebaseerd op aanwezig agrarisch oppervlak. Waartoe dit werkelijk benut wordt, is een politieke keuze, maar het overzichtje biedt inzicht in de mogelijkheden als ruimte wordt gemaakt voor energie.

Wat betreft de infrastructuur: Dit stadsdeel is uitgestrekt en heeft een lage concentratie aan bewoning en arbeidsplaatsen. Het aanleggen van een warmte/koude netwerk hier vereist dus veel meters en is dus duur, terwijl het weinig mensen en instellingen bedient. Misschien dus dat de bewoners van Schaarsbergen samen met de instellingen een lokaal netwerkje op zouden kunnen zetten, maar vanaf een centraal netwerk is het financieel niet effectief hier iets te ondernemen. De duurzame energie infrastructuur moet hier een decentraal karakter hebben.

*Aanbevolen gebiedsstrategie*

Creëren van ruimte voor duurzame energie-opwekking met behulp van zon, wind en biomassa. Inzetten op besparing in de bestaande bouw. Collectieve systemen relatief onbelangrijk vanwege lage dichtheden. In de discussie over duurzaamheid is de afweging “food versus fuel” actueel. Wat dat betreft is het interessant de ontwikkelingen in het VROM project “Ruimte voor energie” te volgen.

**Deelgebied 2: Groene Wiggen**

De ‘Groene Wiggen’ vormen het overgangsgebied tussen de Veluwe en het stedelijk gebied en worden gekenmerkt door een aantal monumentale parken en landgoederen die het ‘(cultuur)groen’ tot diep in de stad laten doordringen. Kenmerkend voor de ‘Groene Wiggen’ zijn de sprengbeken die hier ontspringen. Naast het aanwezige ‘groene’ en ‘blauwe’ karakter bevinden zich hier de attracties Burgers Zoo en het Nederlands Openluchtmuseum en de woonwijken Schaarsbergen (gedeeltelijk) en Geitenkamp (aangemerkt als herstructureringswijk). In het gebied zijn slechts een aantal kleinere ontwikkelingen voorzien (laag dynamisch gebied). In de ondergrond en de netwerklaag is het nog relatief rustig. In de netwerklaag is naar verwachting sprake van een lage dichtheid aan kabels en leidingen.



### Focus qua energie

#### *Energievraag*

Totaal verbruik per wijk [TJ]

	Elektriciteit	Gas	Warmte	Brandstoffen
Groene Wiggen	371	946	110	665

Dit gebied heeft een redelijk hoge concentratie aan (bestaande) woningen en zou dus op een warmtenet aangesloten kunnen worden. KWO kan hier niet in verband met de bronnen van de beken. Het gebied zou een leverancier van snoeihout kunnen worden en bevat een aantal van Arnhems beken. De potentieel hieruit te winnen energie is echter zeer laag.

#### *Duurzaam aanbod, ruimtebeslag*

	Zon-PV	Grootschalig wind	Biomassa
Energiedichtheid TJ/km <sup>2</sup>	360 (elektrisch)	40 (elektrisch, in een park)	36 (totaal opgeslagen)
Mogelijk te plaatsen km <sup>2</sup>	0,1 (daken)	-	0,5
	0,1 (open ruimte)		
Totaalopbrengst TJ	72	0	18

#### *Aanbevolen gebiedsstrategie*

Inzetten op benutting van daken voor zonne-energie en op energiebesparing in de bestaande bouw. Benutting van snoeihout als biomassa. Collectieve warmtelevering via een warmtenet.

### **Deelgebied 3: Centrum en omgeving (noord)**

Dit centrale deel van Arnhem kenmerkt zich door een hoge mate van verstedelijking en het bovengronds gebruik laat zich typeren door 'bestaand wonen en werken'. Binnen dit gebied vindt, met name in een zone langs de Nederrijn, ontwikkeling plaats van grootschaliger locaties (Arnhem Centraal en Rijnboog). Naast deze ontwikkelingen zijn verspreid over het gebied een aantal kleinere ontwikkelingen voorzien en is de wijk Klarendal aangemerkt als herstructureringswijk. De netwerklaag en ondergrond kennen hier, door het historisch gebruik, een hoge dichtheid en kans op waardevolle archeologische objecten, niet gesprongen explosieven, grond- en grondwaterverontreinigingen. Tegelijkertijd is hier het gebruik van de netwerklaag en de ondergrond het meest intensief: hoge dichtheid aan kabels en leidingen, ondergronds bouwen is vanwege de schaarste aan ruimte interessant, op een aantal plaatsen vindt KWO plaats en wordt grondwater onttrokken.

Focus qua energie

*Energievraag*

Totaal verbruik per wijk [TJ]

	Elektriciteit	Gas	Warmte	Brandstoffen
Centrum en omgeving (noord)	755	1506	246	888

Dit stedelijk gebied heeft de grootste kansen voor zowel stadsverwarming, KWO en een vorm van een koudenet. Dit kan op verschillende manieren ingevoed worden, naast stadswarmte door KWO en andere bronnen (zie ook de beschreven mogelijkheden onder Warmte- en Koude opslag in hoofdstuk 4). Hier ligt de grootst haalbare winst en hier zou de ontwikkeling dus moeten beginnen. Als een warmtenet hier eenmaal ligt, is het niet aftakken naar de woonwijken rond het centrum onlogisch. Verder is dit een gebied met heel veel oude woningen die minder geïsoleerd zijn. Op dit vlak zijn natuurlijk ook mogelijkheden tot reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot. Het gebied bevat veel daken die geschikt zijn voor zonne-energie. De nabijheid van de rivier biedt mogelijkheden voor koeling en/of regeneratie van KWO-bronnen. Dit geldt ook voor het aanwezige rioolwater.

*Duurzaam aanbod, ruimtebeslag*

	Zon-PV	Grootschalig wind	Biomassa
Energiedichtheid TJ/km <sup>2</sup>	360 (elektrisch)	40 (elektrisch, in een park)	36 (totaal opgeslagen)
Mogelijk te plaatsen km <sup>2</sup>	0,1 (daken)	-	-
Totaalopbrengst TJ	36	0	0

*Aanbevolen gebiedsstrategie*

Inzetten op benutting van daken voor zonne-energie en op energiebesparing in de bestaande bouw. Collectieve warmtelevering via een warmtenet of KWO, met name bij de nieuwbouwontwikkelingen met kantoor en winkelfuncties. Mogelijkheden van de rivier benutten.

**Deelgebied 4: Stedelijk gebied oost (noord)**

Door de ligging in het poldergebied van Arnhem Noord wordt onderhavig gebied als één geheel beschouwd. Bovengronds zijn de voornaamste functies in het gebied 'wonen en werken', waarbij eventueel een scheiding tussen beide gemaakt kan worden: 'wonen' in Presikhaaf en 'werken' in het zuidelijk deel van het gebied (bedrijventerrein 't Broek en Kleefse Waard, het Expeditieknooppunt en gemeentelijke diensten). De bovengrondse dynamiek is hoog: ter plaatse Presikhaaf (wonen), Centrum Oost (wonen en werken) en

Koningspleijn (werken) zullen grootschalige ontwikkelingen plaatsvinden. Ondergronds wordt het gebied gekenmerkt door relatief hoge grondwaterstanden.

Het gebruik van de netwerklaag is intensief (hoge dichtheid aan kabels en leidingen) en ten aanzien van de kwaliteit geldt een hoge dichtheid aan grond(water)verontreinigingen en bestaat er een kans op archeologie en niet gesprongen explosieven. De ondergrond wordt veelvuldig gebruikt voor onttrekking van grondwater, zowel voor bronbemaling, KWO als industrieel grondwater.

### Focus qua energie

#### *Energievraag*

Totaal verbruik per wijk [TJ]

	Elektriciteit	Gas	Warmte	Brandstoffen
Stedelijk gebied oost (noord)	313	676	129	530

Het bedrijvengedeelte ligt dicht tegen de Rijn en zou een aantal windmolens kunnen herbergen. Verder staat hier de STEG Kleefse Waard, die het warmtenet voedt. Gezien de industriële omgeving biedt dit mogelijkheden voor bijvoorbeeld uitbreiding met een biomassa gestookte eenheid. Dit gebied bevat relatief veel kantoorruimte en hier zou dus behoefte aan koeling kunnen zijn. Het aansluiten van een koelingproject uit het centrum ligt dan voor de hand. Verder ligt het geografisch "handig" om de woningen aan te laten sluiten bij een stadsverwarmingsproject naar het centrum.

#### *Duurzaam aanbod, ruimtebeslag*

	Zon-PV	Grootschalig wind	Biomassa
Energiedichtheid TJ/km <sup>2</sup>	360 (elektrisch)	40 (elektrisch, in een park)	36 (totaal opgeslagen)
Mogelijk te plaatsen km <sup>2</sup>	0,1 (daken)	1	-
Totaalopbrengst TJ	36	40	0

#### *Aanbevolen gebiedsstrategie*

Inzetten op benutting van daken voor zonne-energie en op energiebesparing in de bestaande bouw. Mogelijkheden voor windenergie benutten. Collectieve warmtelevering via een warmtenet of KWO, met name bij de nieuwbouwontwikkelingen met kantoor en winkelfuncties. Mogelijkheden van de rivier of grondwater benutten.

### Deelgebied 5: Rivierengebied

Het 'Rivierengebied' is gelegen langs de Nederrijn en de IJssel, vormt de scheiding tussen Arnhem Noord en Zuid en bestaat uit een grote open ruimte dwars door de stad. In de huidige situatie heeft het gebied de functie van 'stadspark' en wordt het afhankelijk van het jaargetijde gedomineerd door 'groen en/of blauw'. Door de gemeente Arnhem is voor Stadsblokken-Meinerswijk, dat een groot deel van het gebied beslaat, het initiatief genomen om met behulp van de bewoners van de stad tot een toekomstige inrichting van het gebied te komen. De opgaven voor de inrichting bestaan uit ruimte aan de natuur (EHS), (extra) ruimte voor de rivier en het vinden van een functie die de verbinding tussen Arnhem Noord en Zuid versterkt. Met de duurzame ambities van Arnhem is het wellicht mogelijk dit relatief open gebied ook een rol te geven bij het creëren van ruimte voor duurzame energieopwekking. Het gebruik van ondergrond en netwerklaag in het Rivierengebied is beperkt.

Wel wordt het gebied plaatselijk gekenmerkt door een mindere kwaliteit: in de zone noordelijk langs de Nederrijn en IJssel is plaatselijk sprake van een hoge kans op grondwaterverontreinigingen door voormalige stortplaatsen en het slib van de rivier en de kwaliteit van de netwerklaag wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van archeologische waarden en kans op explosieven.

### Focus qua energie

#### *Energievraag*

Totaal verbruik per wijk [TJ]

	Elektriciteit	Gas	Warmte	Brandstoffen
Rivierengebied	144	279	74	212

Qua woningen is de dichtheid middelmatig, maar het gebied ligt geografisch zo, dat het niet aftakken van een langskomend netwerk eigenlijk vreemd zou zijn. Qua bedrijvigheid zijn de getallen eveneens middelmatig. Toch zal bij het aanleggen van een koelingsnetwerk in het centrum er ergens gekoeld gaan worden en dat zou zeer goed tegen de rivier kunnen. Als dit net toch naar de rivier gaat, zou het niet aansluiten op koude daar ook vreemd zijn.

#### *Duurzaam aanbod, ruimtebeslag*

	Zon-PV	Grootschalig wind	Biomassa
Energiedichtheid TJ/km <sup>2</sup>	360 (elektrisch)	40 (elektrisch, in een park)	36 (totaal opgeslagen)
Mogelijk te plaatsen km <sup>2</sup>	0,1 (daken) 0,3 (open ruimte)	0,5	-
Totaalopbrengst TJ	144	20	0

*Aanbevolen gebiedsstrategie*

Inzetten op benutting van daken en onbenutte ruimte voor zonne-energie en op energiebesparing in de bestaande bouw. Eventuele mogelijkheden voor windenergie benutten. Collectieve warmtelevering via een warmtenet als dit toch al in de buurt ligt. Mogelijkheden van de rivier benutten.

**Deelgebied 6: Centraal stedelijk gebied (zuid)**

Dit naoorlogse, stedelijk (deel)gebied bevat de wijken Elderveld, de Laar en Elden en wordt gekenmerkt door de functie 'wonen'. Naast woningen zijn in het gebied diverse voorzieningen aanwezig in de vorm van scholen, buurwinkelcentra, et cetera. In de Nieuwe Kaart van Arnhem zijn voor dit deelgebied alleen kleinschalige ontwikkelingen opgenomen, daarnaast zijn de wijken Elderveld en de Laar aangemerkt als preventiewijken. Het gebruik van de netwerklaag zal hier waarschijnlijk intensief zijn (een naar verwachting hoge dichtheid aan kabels en leidingen), de kwaliteit wordt gekenmerkt door enkele grondverontreinigingen en zeer lokaal een kans op niet gesprongen explosieven.

De ondergrond wordt gekenmerkt door hoge grondwaterstanden, die in Elderveld leiden tot wateroverlast.

Focus qua energie

*Energievraag*

Totaal verbruik per wijk [TJ]

	Elektriciteit	Gas	Warmte	Brandstoffen
Centraal stedelijk gebied (zuid)	307	719	96	704

Dit gebied heeft een tweede hoogste concentratie woningen en vrij weinig bedrijvigheid. Het aanleggen van een verwarmingsnetwerk is dus zeker zinvol. Omdat het bestaande bouw is, is een warmtenet toepasbaar. De vele daken maken gebruik van zonne-energie mogelijk.

*Duurzaam aanbod, ruimtebeslag*

	Zon-PV	Grootschalig wind	Biomassa
Energiedichtheid TJ/km <sup>2</sup>	360 (elektrisch)	40 (elektrisch, in een park)	36 (totaal opgeslagen)
Mogelijk te plaatsen km <sup>2</sup>	0,1 (daken)	-	-
Totaalopbrengst TJ	36	0	0

*Aanbevolen gebiedsstrategie*

Inzetten op benutting van daken voor zonne-energie en op energiebesparing in de bestaande bouw. Eventuele collectieve warmtelevering via een warmtenet als dit toch al in de buurt ligt.

**Deelgebied 7: Stedelijk gebied oost (zuid)**

Het bovengronds gebruik in dit gebied, dat de wijken Malburgen, Vredenburg/Kronenburg en Rijkerswoerd omvat, kan getypeerd worden als ‘wonen, werken, blauw en groen’. Naast woningen bevinden zich hier de kleinschalige bedrijventerreinen de Overmaat en Rijkerswoerd. Aan de zuidelijke rand van Vredenburg/Kronenburg ligt moeras Vredenburg en te midden van de wijk de plassen Immerloo en de Wheme. In de periode tot 2015 bestaan in het gebied plannen voor de grootschalige herontwikkeling van Malburgen (woningen) en Centrum Zuid (gebied rond Gelredome, Rijnhal en Kronenburg).

Ondergronds is de belangrijkste functie de winning van drinkwater in park Immerloo (nu nog stedelijke winning). Aangezien de drinkwaterwinning nagenoeg het hele gebied beslaat, vinden niet of nauwelijks andere ondergrondse activiteiten plaats. Anders is dit voor de netwerklaag waar naar verwachting sprake is van een intensief netwerk aan kabels en leidingen. Ten aanzien van de kwaliteit geldt een (plaatselijk) hoge kans op het aantreffen van archeologisch waardevolle objecten en niet gesprongen explosieven.

Focus qua energie

*Energievraag*

Totaal verbruik per wijk [TJ]

	Elektriciteit	Gas	Warmte	Brandstoffen
Stedelijk gebied oost (zuid)	416	958	127	916

Dit gebied heeft de derde hoogste concentratie woningen en vrij weinig bedrijvigheid. Het aanleggen van een verwarmingsnetwerk is dus zeker zinvol waarbij ook KWO een rol kan spelen. Omdat het bestaande bouw is, is een warmtenet toepasbaar. De vele daken maken gebruik van zonne-energie mogelijk.

*Duurzaam aanbod, ruimtebeslag*

	Zon-PV	Grootschalig wind	Biomassa
Energiedichtheid TJ/km <sup>2</sup>	360 (elektrisch)	40 (elektrisch, in een park)	36 (totaal opgeslagen)
Mogelijk te plaatsen km <sup>2</sup>	0,1 (daken)	-	-
Totaalopbrengst TJ	36	0	0

*Aanbevolen gebiedsstrategie*

Inzetten op benutting van daken voor zonne-energie en op energiebesparing in de bestaande bouw. Eventuele collectieve warmtelevering via een warmtenet als dit toch al in de buurt ligt.

**Deelgebied 8: Schuytgraaf**

Ten zuidwesten van Arnhem wordt een complete nieuwe woonwijk gerealiseerd: Schuytgraaf. Onder de noemer 'Arnhem in de Betuwe' worden hier ruim 6.000 nieuwe woningen gerealiseerd, verdeeld over 25 verschillende velden (buurten). De eerste velden zijn klaar, maar er zijn ook nog velden volop in ontwikkeling. De wijk krijgt zowel huur- als koopwoningen en naast voldoende ruimte voor zowel wonen als werken, komen er diverse voorzieningen, zoals een park, winkelcentrum, scholen en een NS-station.

Focus qua energie

*Energievraag*

Totaal verbruik per wijk [TJ]

	Elektriciteit	Gas	Warmte	Brandstoffen
Schuytgraaf	29	15	56	57

In het kader van de door de gemeente opgelegde EPL-eisen is bij de ontwikkeling van dit gebied is gekozen voor aansluiting op het warmtenet. In de woonwijk is een bio-olie gestookte unit aanwezig. Verdere vergroening van het warmtenet door bijvoorbeeld aansluiten op restwarmte van de AVR in Duiven maakt dat de EPL van de wijk omhoog zou kunnen. Als er dan verder nog wordt ingezet op elektriciteit uit zonne-energie (wellicht in samenwerking met Helianthos?), dan wordt Schuytgraaf een behoorlijk energiezuinige wijk. Hier kunnen dan voorbeeldprojecten aan worden gekoppeld. De leerervaringen kunnen elders in Arnhem worden meegenomen. Als Arnhem al zijn wijken op het niveau van Schuytgraaf brengt, dan is het energiegebruik van die huishoudens (en daarmee ook de CO<sub>2</sub>-uitstoot, ongeveer 30% lager.

*Duurzaam aanbod, ruimtebeslag*

	Zon-PV	Grootschalig wind	Biomassa
Energiedichtheid TJ/km <sup>2</sup>	360 (elektrisch)	40 (elektrisch, in een park)	36 (totaal opgeslagen)
Mogelijk te plaatsen km <sup>2</sup>	0,02 (daken)	-	-
Totaalopbrengst TJ	7	0	0

\* Wijk nog niet compleet

*Aanbevolen gebiedsstrategie*

Inzetten op benutting van daken voor zonne-energie. Collectieve warmtelevering via een warmtenet uitbouwen in de hele wijk. Indien in de toekomst de EPL van de wijk omhoog kan door eventueel aansluiten van de AVR Duiven als warmteleverancier (48% duurzaam) dan proberen de bestaande bio-olie gestookte hulpketel te behouden.

Onderstaande tabel toont het benodigd ruimtebeslag als **alle** benodigde energie via zon-PV en/of windenergie in de gemeente worden opgewekt. Opwekking via zon-PV vraagt het minst ruimte, is echter op dit moment kostbaar. De verwachting is dat dit in de toekomst aanzienlijk beter wordt. Alle warmte die niet via duurzame elektriciteit wordt gegenereerd, vermindert het ruimtebeslag. Dit pleit voor het zoveel mogelijk gebruiken van restwarmte.

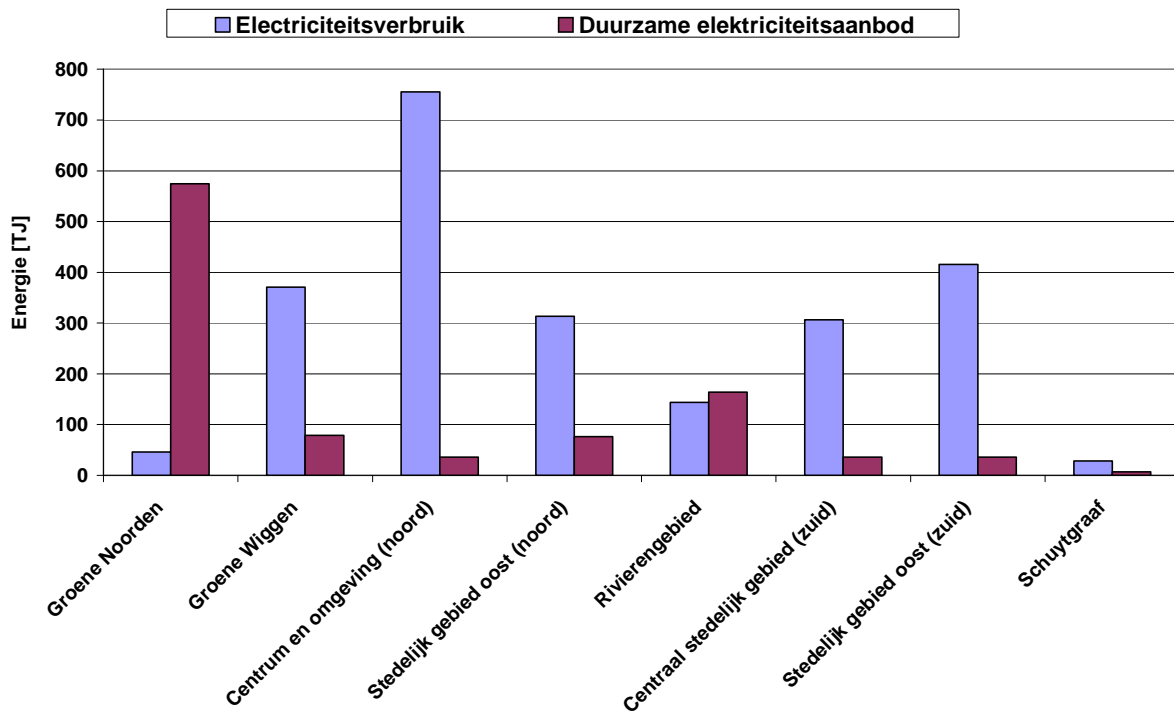
Tabel 6.1 Alle energie opwekken met zon-PV of windenergie

<b>Alles opwekken via zon en wind</b>			
<b>Totaal elektra nodig</b>	2380		(TJ/jaar)
Via zon-PV op aangegeven oppervlaktes	727	2,0	km <sup>2</sup>
Via wind op aangegeven oppervlaktes	260	6,5	km <sup>2</sup>
Totaal benodigd oppervlak middels PV		<b>6,5</b>	km <sup>2</sup>
Totaal benodigd oppervlak middels wind		<b>59,5</b>	km <sup>2</sup>
<b>Totaal warmte nodig</b>	6050		(TJ/jaar)
Stel via warmtepompen met COP=4, elektriciteit benodigd	1513		(TJ/jaar)
Totaal benodigd oppervlak middels PV		<b>4,2</b>	km <sup>2</sup>
Totaal benodigd oppervlak middels wind		<b>37,8</b>	km <sup>2</sup>

Een sterke nadruk op energievoorziening via (duurzame ) elektriciteit zal overigens consequenties kunnen hebben voor het elektriciteitsnet. Enerzijds zou de capaciteit van het net voor levering vanuit centrale bronnen kunnen afnemen, anderzijds zijn sterke fluctuaties mogelijk.

In de onderstaande figuur 6-2 is per wijk een vergelijking gemaakt van vraag en (duurzaam) aanbod van elektriciteit. Het is duidelijk dat het groene noorden de exporteur van groene elektriciteit kan zijn en de andere wijken slechts gedeeltelijk in hun behoefte kunnen voorzien.





Figuur 6-2 Elektriciteitsverbruik versus mogelijk duurzaam aanbod

Het is duidelijk dat energievoorziening via duurzame bronnen veel ruimte vraagt. Voor het deel dat de warmtevraag betreft, liggen er ook mogelijkheden in een zo duurzaam mogelijke oplossing via restwarmte of directe zonnewarmte. Het volgende kader gaat hierop in.

#### Transitie van hoge temperatuur naar lage temperatuur stadsverwarming

Het denken over energie-infrastructuur betreft lange termijn strategie. De keuzes van vandaag zijn over vijftig tot honderd jaar nog voelbaar. Het ontwikkelen of ombouwen van energie-infrastructuur kost vele jaren. De ombouw van het stadsgasnet naar een aardgasnet in de jaren zestig ging heel snel, maar was veel eenvoudiger. Het netwerk kon voor een groot gedeelte nog aangelegd worden en de leidingdiameters waren op veel punten het zelfde.

Een voordeel van voor lage temperatuur (LT) warmtelevering ten opzichte van hoge temperatuur (HT) warmtelevering is, dat LT-warmtelevering een hoger rendement heeft door lagere elektriciteitsderving aan de opwekkant en lagere verliezen in de leidingen. Bij HT-warmtelevering is de voeding van het warmtenet altijd afhankelijk van verbrandingsprocessen. Dat kan middels verbranding van biomassa. De beschikbaarheid van biomassa is beperkt, zodat de kans groot is, dat hier op termijn toch fossiele bronnen voor aangewend moeten worden. De gemeente Arnhem wil in de toekomst CO<sub>2</sub>-neutraal zijn. Toepassen van fossiele bronnen blokkeert het halen van de doelstelling. Dit zijn redenen om de temperatuur van de warmtelevering kritisch te beschouwen en in principe in te steken op lage temperaturen.

vertrouwelijk

Bij toekomstige nieuwbouw of grootschalige renovatie zou hiermee al rekening moeten worden gehouden, zodat de huizen in de toekomst op LT-warmtelevering kunnen worden aangesloten. In het algemeen zijn aan de bouw van voor LT verwarming geschikte huizen meer kosten verbonden. De kosten zitten deels in grotere radiatoren of leidingsystemen in wanden en/of vloeren, maar vooral in een additioneel systeem voor warm tapwater middels een warmtepomp. Voor het rendement en de CO<sub>2</sub>-reductie geldt in het algemeen, dat een LT-systeem beter presteert op een HR-ketel dan een HT-systeem (doordat dan beter gebruik wordt gemaakt van de energierugwinning uit het condenseren van waterdamp), waardoor de CO<sub>2</sub>-productie en de kosten van de exploitatie verlagen. Het is daarom interessant om ook woningen met een HR-ketel van een LT-verwarmingsysteem te voorzien. Bij renovatie is de overgang van hoge naar lage temperatuur verwarming complex. Naarmate de renovatie ingrijpender is, nemen de mogelijkheden toe en de extra kosten af. Afhankelijk van de situatie kunnen de meerkosten zelfs gecompenseerd worden door goedkoper beschikbare warmte.

Het verwarmingsysteem (leidingen en radiatoren) gaat veel langer mee dan de warmtebron (HR-ketel of warmtewisselaar). Tijdens de levensduur van de woning wordt de ketel meermalen vervangen. Dit zijn momenten om op een andere bron over te gaan, maar de mogelijkheden om voor een LT-verwarmingsysteem te kiezen zijn zeldzaam.

#### **Aansluitingen aan de retourleiding**

Indien de totale capaciteit van het verwarmingsnet het toelaat, zouden huizen met LT-verwarmingsystemen kunnen worden aangesloten op de retourleiding van het bestaande HT-stadsverwarmingsnet. Ook op wat grotere schaal kan bijvoorbeeld een nieuwe LT-wijk worden aangesloten op de retourleiding van het HT-stadsverwarmingsnet. Er zijn dan wel extra drukpompen nodig om de flow in stand te houden. Bij goede dimensionering gaat dan het totale rendement (elektriciteit plus warmte) omhoog. Indien het net bestaat uit een primair net, waaraan distributienetten zijn gekoppeld, dan levert de aansluiting van voor lage temperatuur gebouwde woningen geen winst op, aangezien er nog steeds op dezelfde manier elektriciteitsderving optreedt als bij de voor hoge temperatuur gebouwde woningen. De winst zit nadrukkelijk in het "cascaderen"

#### **Aanpassen aanvoerleidingen**

Het huidige HT-stadsverwarmingsnet (hoge temperatuur) al dan niet geleidelijk omgevormd naar een lage temperatuur systeem lijkt complex (er zou een parallel LT-systeem moeten worden aangelegd, wat neerkomt op nieuwbouw). De reeds bestaande leidingen bepalen voor een groot deel de totale capaciteit van het systeem. De warmtewisselaars in de huizen kunnen de aansluiting geschikt maken voor hoge of lage temperatuur verwarming. Voor optimale distributie van LT-warmte zijn grotere leidingdiameters nodig dan voor HT warmte. Deze leidingen zouden in een nageschakelde LT-wijk overeenkomstig kunnen worden gedimensioneerd.

#### **Invoeden netwerk op lage temperatuur**

Een LT-warmtenet kan de warmte uit verschillende bronnen betrekken. Het kan opgeslagen warmte zijn uit een KWO-systeem of energie uit oppervlaktewater. Vaak zijn er lokaal verschillende bronnen voorhanden, zodat aanvoer via een grote hoofdleiding niet noodzakelijk is. Als voorbeeld hier een foto van een 2008 gerealiseerd 3000 m<sup>2</sup> zonnecollectorveld ter ondersteuning van een lage temperatuur warmtenet in de gemeente Hillerød vlak bij Kopenhagen.

vertrouwelijk

Wel kan het nuttig zijn om tekorten en overschotten tussen belendende projecten uit te wisselen. Op die manier kan er een soort web ontstaan, waardoor er ook energie uitgewisseld kan worden tussen projecten die niet aan elkaar grenzen, maar via burens met elkaar verbonden zijn. De uitwisseling is vooral bedoeld om tekorten en overschotten uit te middelen. In principe komt de belangrijkste levering voor de vraag naar energie uit de projecten zelf. Daardoor kan er met relatief lichte verbindingen volstaan worden. Zowel technisch als organisatorisch is hierover dit concept nog het nodige uit te zoeken.

**Consequenties voor nieuwbouw**

Bouwen voor lage temperatuurverwarming biedt het beste perspectief voor verduurzaming van de energievoorziening in de gebouwde omgeving.

**Consequenties voor renovatie  
bestaande bouw**

Ombouw van bestaande bouw van hoge naar lage temperatuurverwarming is mogelijk, maar kan afhankelijk van het project in verhouding kostbaar lijken ten opzichte van de te behalen winst. In combinatie met grootschalige renovaties zijn de meerkosten relatief gering. Het terug plaatsen van een HT-systeem maakt aansluiten op LT-warmtelevering op termijn onmogelijk. Daarmee wordt een blokkade opgeworpen om maximale CO<sub>2</sub>-doelstellingen te bereiken.

**Conclusies**

- LT-verwarmingssystemen verdienen ook bij HT-warmtelevering de voorkeur.
- Gebruiken van bestaande HT stadsverwarmingssystemen voor (geleidelijke) transitie naar LT-warmtelevering is beperkt mogelijk.
- Wanneer veel LT-warmte lokaal wordt opgewekt, krijgt een LT-netwerk een heel andere topologie dan het huidige HT-netwerk.
- De mogelijkheden van aanbrengen van LT-warmtesystemen in bestaande bouw is nog met veel onzekerheid omgeven.
- Cascadering biedt mogelijkheden binnen de capaciteit van het systeem.
- Vergroening van de warmtelevering door het bestaande warmtenet te bedienen met “groenere” brandstoffen (afval of biomassa) lijkt kosten effectiever.
- Een nadere analyse is gewenst, maar vergt meer onderzoek.

In bijlage G is een tabel opgenomen met een overzicht van voorkeursopties voor warmte/koude infrastructuur in de wijken.

Het is duidelijk dat duurzame energie opwekking binnen de gemeente kán, maar het heeft grote ruimtelijke implicaties en daarom dient in een vroeg stadium met de planning ervan te worden begonnen. Naast de planologische en vergunningsproblematiek zijn er nog een aantal barrières te benoemen die een snelle transitie naar een meer duurzame energievoorziening in de weg staan, te weten:

- Gebrek aan samenwerking
- Draagvlak
- Financiering onrendabele maatregelen
- Techniek
- Risico dragen (bijvoorbeeld bij voorinvesteringen in infrastructuur)
- Split incentive (gebrek aan oplijning van kosten en baten, vooral in de woningbouw).

In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op hoe de gemeente hier verbetering in kan brengen.

## 7 ENERGIESTRATEGIE-ELEMENTEN: COALITIEVORMING EN BELEIDSINSTRUMENTARIUM

### 7.1 Analyse van de energiesituatie

Uit de energiesituatie beschreven in hoofdstuk 3 tot en met 6 blijkt dat er één gebied is dat het in zich heeft om zelfvoorzienend te zijn qua energie en dat is het Groene Noorden. Sterker, als hier flink ruimte wordt gemaakt voor duurzame energie, dan kan gezorgd worden voor aanbod van duurzame elektriciteit voor andere gebieden (totale energieneutraliteit qua huidig elektriciteitsgebruik zou een oppervlak van 6 vierkante kilometer voor zon-PV vergen). Andere gebieden die een relatief groot aandeel duurzame elektriciteit kunnen opwekken (via windenergie), zijn Stedelijk gebied Oost en het Rivierengebied. De overige gebieden dragen vooral bij via zonne-energie op daken en door energiebesparing. Dit laatste komt uit verbetering van de bestaande bouw, en systeemveranderingen door bijvoorbeeld benutting van koude en warmte opslag of aansluiten op warmtelevering via WKK. In dit opzicht is de algemene strategie te kenmerken door “koper en water”.

Afgezien van het feit dat het op termijn goedkoper worden van zon-PV de financiële barrière voor het toepassen van deze technologie zou moeten slechten, zijn er voor de andere mogelijkheden geen fundamentele doorbraken nodig. Onderstaande figuur 7-1 geeft inzicht in de mogelijkheden van gemeenten ter versnelling van de transitie naar een duurzame energievoorziening.

Invloed gemeentes		Problematiek								
		Hoog				Matig		Laag		
		Ruimtelijke ordening vergunningen regelgeving	(Gebrek aan) samenwerking	Draagvlak	Gegarandeerde afzet	Subsidie onrendabele maatregelen	Kapitaalverstreking garantstelling	Kosten/baten niet opgelijnd (split incentive)	Techniek	
Technieken	Hoog	Warmtelevering/WKK	+	+	0	+	-	+	-	-
		Windenergie grootschalig onshore	+	0	+	-	-	-	-	-
		Windenergie kleinschalig	+	-	-	-	0	-	-	0
		Biomassa Vergisten	+	-	+/0	+	+	+	-	-
		Warmte en koude opslag, warmtepompen	+	-	-	-	0	-	-	-
		PV centrales	+	-	0	-	+	+	-	+
		EPL niveau	+	+	-	+	-	+	0	-
		Besparing	-	0	-	-	+/0	+	+	-
	Matig	PV kleinschalig op daken	-	-	-	-	+	-	-	0
		Geothermie	0	0	-	+	+	+	-	+
		AVI's	+	-	-	-	-	-	-	-
		Waterkracht	+	-	-	-	+	0	-	+
	Laag	Biomassa grootschalig bijstoken	0	-	0	-	-	-	-	0
		Windenergie grootschalig off shore	+	-	-	-	+	0	-	-
	Duurzame Mobiliteit									

Figuur 7-1 Overzichtsmatrix invloed gemeenten en probleemgebieden voor diverse technologieën

Hoe groener, hoe meer invloed van de gemeente. Bij elke combinatie van problematiek en technologie is aangegeven of daar problemen zijn op te lossen. Als voorbeeld: grote windturbines op land kennen vooral ruimtelijke ordenings- en draagvlakproblemen en hier kunnen gemeentes aan werken. Wat betreft een warmte-infrastructuur is een helder beleid met de nodige zekerheid omtrent het nut van investeringen van belang. Duidelijke regels kunnen risico's voor de investeerders verkleinen.

## 7.2 Energiestrategie op hoofdlijnen

Als gegeven aannemend dat het fossiel tijdperk eindig is of dat we in verband met de klimaatverandering geen CO<sub>2</sub> meer willen uitstoten, zal een strategie zich moeten richten op een voorbereiding op energie uitsluitend uit duurzame bronnen.

### Passende hoofddoelen en besluiten in het kader van energieneutraliteit

- Besluit dat energieneutraliteit leidend is bij alle zaken die infrastructuur/ wonen/werken betreffen. RO/Milieu/EZ dienen dit op te nemen in hun beleid.
- Vermijd verbranding in Arnhem (en zeker geen decentrale CO<sub>2</sub> uitstoot).
- Stel ambitieuze, SMART doelen, communiceer deze met alle betrokkenen (x% energieneutraal in jaar y)
  - **Specifiek**; *De doelstelling moet eenduidig zijn*
  - **Meetbaar**; *Onder welke (meetbare/observeerbare) voorwaarden of vorm is het doel bereikt*
  - **Acceptabel**; *Gaat de doelgroep en/of management deze doelstelling accepteren*
  - **Realistisch**; *De doelstelling moet haalbaar zijn*
  - **Tijdgebonden**; *Wanneer (in de tijd) moet het doel bereikt zijn*

(Als partijen het doel niet kennen kunnen ze er ook niet aan meewerken)
- Zorg allereerst voor energiebesparing.
- Benut de sterkte van Arnhem als “energie”-stad (veel betrokken bedrijven).
- Kies een thema (“Arnhem: Stromend van energie” of iets dergelijks).
- Besluit of import van duurzame energie uiteindelijk ook deel uitmaakt van de strategie om het doel te bereiken.

## Afgeleide doelen

De strategie geeft richting aan de te nemen stappen en voorkomt dat men later spijt krijgt van genomen maatregelen. De volgende aspecten passen in de hierboven geformuleerde strategie

- Creëer in de ruimtelijke ordening ruimte voor duurzame energie (Zon-PV 10 W/m<sup>2</sup>, Wind 1-2 W/m<sup>2</sup>, Bio-energie lokaal gewonnen 1 W/m<sup>2</sup>).
- Zorg voor een gezamenlijke aanpak in de gebieden EZ, RO en Milieu.
- Stimuleer KWO bij grootschalige projecten, bijvoorbeeld Rijnboog, dicht aan de rivier wellicht directe koeling met rivierwater.
- Benut restwarmte, met name voor de bestaande bouw of bij lage temperatuur, stimuleer vergroenen van het warmtenet.
- Stuur op beïnvloedbare zaken, bijvoorbeeld EPL (EPC wordt nationaal geregeld, gebiedsgebonden ontwikkelingen bieden vaak extra mogelijkheden).
- Creëer een platform voor demonstratieprojecten, neem hierin het voortouw en zorg voor realisatie op zichtbare plekken zoals Burgers Zoo, station, scholen, Rijnstate.
- Neem regie, stel eisen aan industrie, woningcorporaties etc., lef en ambitie, invloed op de energievoorziening.
- Een sterke, bevlogen, drijvende kracht maakt een wereld van verschil (burgemeester, wethouders, etc.).
- In de zomer van 2009 komt een stortvloed aan stimuleringsmiddelen voor de bestaande gebouwde omgeving los: Op korte termijn met de corporaties om de tafel voor verbetering bestaande bouw.

Een strategie bestaat uit zowel “wat” als “hoe” elementen.

Onder de hoe aspecten vallen bijvoorbeeld:

- opleggen van regels
- de markt verleiden en prikkelen
- convenanten
- coalities
- zelf ondernemer zijn
- voorbeeldfunctie als gemeentelijke organisatie
- Arnhem aantrekkelijk maken als stad.



vertrouwelijk

De strategie dient gevolgd te worden door een stappenplan of “road map”, verder is het van belang aandacht te hebben voor zowel de “grote vissen” (meters maken) als “eye catchers” (meters voorbereiden).

Voor de “wat” aspecten: zie de lange lijst van mogelijkheden en aanbevelingen in tabel 7-1

### 7.3 Coalitievorming

Zoals al bij de strategie aangegeven, kan de gemeente haar doelen niet alléén bereiken. Het is cruciaal om betrokkenen (energieleveranciers, kennisbedrijven, adviseurs, fabrikanten en ondernemers) mee te krijgen in het proces. De gemeente moet daarom de sterkte van Arnhem als “energie”-stad benutten. Middels een elektronische vragenlijst is de betrokkenheid en interesse van ongeveer 60 partijen geïnterviewd. De resultaten staan in bijlage E. Aansluitend is een workshop georganiseerd ter “markering” van de start van de benodigde coalitievorming.

Uit de inventarisatie blijkt dat betrokkenen in het algemeen zeer positief staan tegenover de ambitie van Arnhem, dat ze op de hoogte willen blijven en willen participeren waar dat kan. Hierbij wordt aangetekend dat ze van de gemeente een regierol en duidelijkheid verwachten, en dat zij faciliteert.

### 7.4 Aanbevelingen uit de workshop

De workshop op 26 mei 2009 kende meer dan dertig deelnemers, waaronder SenterNovem en het ministerie van VROM. Daarnaast de vele energiegerelateerde bedrijven zoals onder andere verenigd in kiEMT. Het is duidelijk dat mobilisering van al deze potentie Arnhem goed op weg zou kunnen helpen. Details van aanpak en resultaten van de workshop zijn te vinden in bijlage F. In hoofdlijnen bestond de workshop uit een presentatie van de onderzoeksresultaten tot op dat moment, gevolgd door het laten waarderen door de deelnemers van voor Arnhem relevant geachte duurzame energie opties en tot slot een discussie in groepen.



De volgende aanbevelingen zijn uit de workshop gekomen waar het gaat om de rol van de gemeente

- Een regierol van de gemeente (leider en coördinator) is belangrijk
- Zorg als gemeente voor toegankelijk maken van informatie (bijvoorbeeld via website)
- Maak gebruik van
  - Sterktes van Arnhem
    - \* Energiestad, Groene longen, rivieren, ...
  - Bestaande netwerken
    - \* kiEMT, GTC, OKA Services
- Globale gebiedsvisie(s) ontwikkelen
- Onderzoek de mogelijkheden van PPS voor het bereiken van de doelen.

## 7.5 Best Practices van vooruitstrevende gemeentes

Vele gemeenten zoeken naar de beste mogelijkheden om hun energie-ambities vorm te geven. Het wiel opnieuw uitvinden is niet altijd nodig. In grote lijnen kenmerken vooruitstrevende gemeenten zich door de volgende zaken:

- Zij zetten een specifiek bureau op voor het coördineren en stimuleren van allerhande klimaatgerichte ontwikkelingen en plannen, bijvoorbeeld Klimaatbureau Amsterdam, Rotterdam Climate Initiative. Departementen op gebied van economie, ruimtelijke ordening en milieu moeten hierin samenwerken.
- Ze stellen concrete doelen.
- Zij geven hun ambitie ruchtbaarheid door uitgebreide communicatie, campagnes, nieuwsbrieven (als je bedrijven en bewoners mee wilt krijgen, zullen ze eerst moeten weten wat de doelen zijn).
- Ze proberen een sterke slogan te vinden, bijvoorbeeld “Heerhugowaard, stad van de zon”, “Energiek Rotterdam”.
- Ze hebben lef en zoeken de grenzen op van wat kan bij het stellen van eisen aan bedrijven, ontwikkelaars, ervan uitgaande dat een duurzame uitstraling ook duurzamer burgers aantrekt.

Ook Arnhem heeft de potentie om tot de koplopers te gaan behoren. Er is een veelzijdige industrie op het gebied van energie- en milieutechnologie die de stad daadwerkelijk kan ondersteunen bij zijn klimaatambities, maar daar verder ook door kan opbloeien.

## 7.6 **Korte termijn aanbevelingen**

Deze aanbevelingen betreffen vooral direct door de gemeente te beïnvloeden zaken middels te nemen besluiten, het sluiten van convenanten, het voeren van campagnes en stimulering. Zie ook tabel 7-1

Tabel 7-1      Overzicht van aanbevelingen (+++ zeer effectief, o matig effectief)

ARNHEM BELEIDSMATREGELLEN EN ADVIEZEN					
Termijn	Wat & hoe	Nationaal / lokaal	Type: Organisorisch, Instrumenteel, Technisch, Financieel	Wie	Effectiviteit
Kort	<b>Besluit als college van B&amp;W en de Raad</b> over het zetten van forse stappen op weg naar een energie-/CO2-neutrale gemeente (waaronder financiële middelen en mensen). Sterke trekkers wenselijk!	Lokaal	O	Het college van B&W, de Raad en directeuren	+++
Kort	<b>Besluit tot het formuleren van een plan met concrete, ambitieuze, tussendoelen met een tijdsplanning.</b> Rondom dit plan wordt een lokale coalitie samengesteld waarin, naast de gemeente zelf, lokale partijen deelnemen en een bijdrage leveren aan de uitvoering van het programma. Daarnaast laat B&W het programma in detail uitwerken tot een draaiboek voor de komende 4 jaar incl. een financieringsplan en een communicatieplan	Lokaal	O	Het college van B&W, de Raad	+++
Kort	<b>De gemeente realiseert een samenwerking op energiegebied in de thema's economie, ruimtelijke ordening, milieu en verkeer.</b> Een coördinerend bureau creëert ruimte voor duurzame energie (en energieneutraliteit) in structuurvisies en lange termijn plannen	Lokaal	O	Het college van B&W, de Raad en directeuren	+++
Kort	<b>Kiest de gemeente een lange termijn hoofdoel, bv. "geen fossiel in de stad"</b>	Lokaal	O	Het college van B&W, de Raad en directeuren	++
Kort	<b>Kies als gemeente een aansprekend thema, bv. "Groene stroom stad"</b>	Lokaal	O	Het college van B&W, de Raad en directeuren	+
Kort	<b>Maak als gemeente een begin</b> met het uitoefenen van zijn voorbeeldfunctie (verder) energiebewust maken van het ambtelijke apparaat. Diverse afdelingen en diensten zullen immers de komende jaren te maken krijgen met energieplannen in diverse vormen.	Lokaal	O	Het college van B&W, de Raad en de afdelingshoofden	++
Kort	<b>Benoem als gemeente een externe energie-regisseur/adviseur</b> om de gemeente scherp te houden op haar pad naar energieneutraliteit	Lokaal	O	Gemeente	+
Kort	<b>Maak als gemeente gebruik van</b> de reeds bestaande structuren bij het mobiliseren van partijen, (KIEMT, Gelders Transitie Centrum, OKA services), power to Arnhem	Lokaal	O	Gemeente, lokale coalitie	+
Kort	<b>Start als gemeente via Vereniging Nederlandse Gemeenten of Inter Provinciaal Overleg een discussie</b> met de Rijksoverheid (ministeries van EZ, VROM en Financiën) over het terugsluizen van een substantieel deel van de opbrengsten van de Energiebelasting naar energiegebruikers binnen de gemeentegrenzen met als expliciet doel stimuleren van energiebesparing en duurzame energie (via investeringsbijdrage of via lokale teruglever-vergoeding voor duurzame energie). De essentie is dat het niet rendabele deel van energiebesparing en duurzame energie, zowel voor particulieren (huurders en kopers) als voor woningcorporaties als voor bedrijven, uit het fonds kan worden gecompenseerd.	Nationaal, Lokaal	O, F	Gemeente, de Rijksoverheid (ministeries van EZ, VROM en Financiën)	+++
Kort	<b>Sluit als gemeente met de woningcorporaties een (aangescherpt) convenant</b> ten aanzien van het verduurzamen van de (bestaande) woningvoorraad. Hoe gaan ze die de komende 10 jaar gemiddeld xx% zuiniger maken door het treffen van maatregelen. Ze geven aan welke complexen wanneer aan de beurt zijn en wat er daar concreet staat te gebeuren. Dit kan in samenhang met de aanpassingen in woningen die de corporaties zullen doen.	Lokaal	O	Gemeente, woningcorporatie	++
Kort	<b>Stimuleer</b> gebruik van het besparingspotentieel dat (rest)warmte levering biedt. Het warmtenet biedt mogelijkheden voor grootschalige "vergroening" door warmtelevering via de AVR Duiven of inzet biomassa	Lokaal	T	Gemeente, exploitant warmtenet	+++
Kort	<b>De gemeente stimuleert</b> iconprojecten in samenwerking met de energie en milieubedrijven in de stad en verhoogt zo de zichtbaarheid van de verduurzaming. Dit kan gedeeltelijk in de gemeentelijke rol als voorbeeld voor de stad	Nationaal, Lokaal	O	Het Rijk (ministerie van VROM), het college van B&W en de Raad	+
Kort	<b>De gemeente neemt een EPL-eis van 10 als uitgangspunt voor nieuwbouw</b> (woningen en kantoren) aan in aanvulling op de progressief strenger wordende EPC eis (0,6 in 2011, 0,4 in 2015, energieneutraal in 2020)	Lokaal	I	Het college van B&W en de Raad	++
Kort	<b>De gemeente communiceert haar ambities</b> (via bijv. Website of nieuwsbrieven) om de bevolking uit te dagen bij te dragen	Lokaal	I	Het college van B&W en de Raad, Gemeentelijke diensten	+
Kort	<b>De gemeente heroverweegt de mogelijkheden voor het plaatsen van grote windmolens</b> en promoot de windmolens als een belangrijk ingrediënt voor het bereiken van haar ambitie. Ondersteuning vanuit de provincie? De lokaties zijn vaak de bottleneck	Nationaal, Lokaal	I	Het college van B&W en de Raad, provincie	++

Kort	<b>De gemeente stelt een volledig uitgewerkt plan op</b> dat aangeeft hoe de gemeentelijke gebouwen binnen 5 jaar 100% gaan draaien op groene energie. Daarbij gaat, vanwege de voorbeeldfunctie, 'alles uit de kast'. In elk geval worden alle daken (plat en schuin) die daar geschikt voor zijn, voorzien van zonnepanelen. Op de genoemde website vermeldt de gemeente telkens welke gebouwen reeds zijn aangepakt en wat daarvan de resultaten zijn.	Lokaal	T	Het college van B&W en de Raad, provincie, gemeentelijke diensten	++
Kort	<b>Geef aandacht</b> aan gemeenschappelijke doelen van gemeente en provincie: ook een vorm van een coalitie. Deze samenwerking kan veel sterker	Lokaal	O	gemeente, provincie	+
Kort	<b>De gemeente bestudeert de mogelijkheden voor een bedrijf voor lokale duurzame energie.</b> Dit bedrijf, zonder winst oogmerk, en met mogelijke inbreng van de lokale bewoners, kan mogelijk het draagvlak bij de bevolking voor de toepassing van lokale duurzame energie vergroten. Het bedrijf stelt zich als taak om al het groene gas, groene elektriciteit, groene warmte en restwarmte in te kopen die binnen de gemeentegrenzen wordt opgewekt en te leveren aan afnemers binnen de gemeente. De gemeente is zelf een voor de hand liggende eerste klant en launching customer ten behoeve van haar eigen gebouwen. Het bedrijf kan gebruik maken van de diensten van derden (zoals energiebedrijf Greenchoice die bijv. nu al voor de leden van de Windunie verricht) voor het afhandelen van de facturering en voor de 'programmaverantwoordelijkheid' (m.n. het kunnen leveren van de gevraagde energie op elk moment van de dag). Financiering bijvoorbeeld op basis van teruggesluisde energiebelasting.	Lokaal	O	Het college van B&W en de Raad, marktpartijen, energiebedrijven	+++
Kort	<b>De gemeente stimuleert energieneutraliteit</b> bij voorrang bij openbare gebouwen	Lokaal	O	Gemeentelijke diensten	+
Kort	Alle schooljeugd wordt op school geconfronteerd met het onderwerp energie. <b>De gemeente stimuleert</b> dat basisscholen die er de komende 15 jaar nog zullen staan, een dak vol zonnepalen krijgen en mogelijk een miniwindmolen waar zinvol. Een duidelijk zichtbare opbrengstmeter laat zien wat de bijdrage is (geweest) van deze energiebronnen aan het verbruik op school. In het lespakket van alle groepen komt jaarlijks het onderwerp energiebesparing en duurzame energie uitgebreid aan bod. Dit kan worden geïntegreerd in (landelijke) projecten zoals 'energiezuinige en frisse scholen'	Nationaal en Lokaal	I, F	Ministerie van Onderwijs Cultuur en Wetenschappen, scholen	++
Kort	<b>De gemeente start een campagne</b> om inwoners bewust te maken van autogebruik en het stimuleren van milieuvriendelijke vormen van vervoer. Vervolg op het project rondom de elektrische scooter en voortbordurend op Arnhem als stad met de elektrische trolley. Bijvoorbeeld elektrisch openbaar vervoer (taxi's) als "wireless trolley". Onderdeel van een apart vervoersplan.	Lokaal	I	Gemeente, afdeling verkeer	+
Kort	<b>De gemeente besluit</b> nieuwe wijken zonder gasnet te bouwen en aan te sturen op lage temperatuur warmtenetten of warmtepompen	Lokaal	T, O	Gemeente, lokale installateurs, eindverbruikers/ bewoners/huurders/ eigenaren/woningcorporaties	++
Kort	<b>Zorg voor benutting van al het GFT-afval en biomassa uit de gemeente</b> voor duurzame elektriciteitsproductie en warmtelevering aan het warmtenet.	Lokaal	T, O	Gemeente i.s.m. exploitant en Nuon (Vattenfall) (beheerder bestaande warmtenet)	++
Middel	<b>De gemeente maakt maximaal gebruik</b> van duurzame regelgeving mogelijkheden uit Nederland of Europa. Wellicht komt er een verbod op het lozen van restwarmte.	Lokaal	I	Gemeentelijke diensten	+
Middel	<b>De gemeente begint met de voorbereidingen benodigd voor het installeren van openbare verlichting op zonne-energie en kleinschalige windenergie.</b> Volgens de planning wordt de verlichting op veel gebruikte locaties als eerste vervangen ter verbetering van de bewustwording van de burgers.	Lokaal	O	Gemeentelijke diensten	0/+
Middel	<b>De gemeente schept ruimte</b> voor kleine windturbines voor locaties die niet geschikt zijn voor grote molens maar waar kleinere molens wel zonder hinder voor derden inpasbaar zijn. De gemeente schept een kader voor het verlenen van bouwvergunningen voor deze molens door in algemene zin aan te geven onder welke voorwaarden deze molens zijn toegestaan.	Lokaal	O	Het college van B&W en de Raad	++
Lang	<b>De gemeente start met een promotiecampagne</b> om burgers en bedrijven in de gemeente te stimuleren groene stroom en groen gas in te kopen. Ook voor de partijen in de lokale coalitie is een rol weggelegd om de vraag naar groene energie te bevorderen en in te vullen. (Alleen als duidelijk is dat er ook gekozen wordt voor import van duurzame energie bij het bereiken van energieneutraliteit)	Lokaal	I	Gemeentelijke diensten, burgers, de partijen in het lokaal arrangement	+

## 7.7 (Externe) trends en lange termijn

De tabel met aanbevelingen bevat een aantal suggesties die helpen bij de invulling van een op termijn energieneutrale toekomst. De realiteit ervan is sterk afhankelijk van de beleidsmaatregelen in Europa, op nationaal en lokaal gebied. Dat het soms snel kan gaan, bewijst de gedurende de looptijd van deze studie stormachtige belangstelling voor elektrisch vervoer en voor lokale duurzame energieproductie.

### Lokale duurzame energie

De belangstelling voor lokale duurzame energie stoelt op meerdere pijlers:

- Versnellen van het bereiken van hun klimaatdoelen (meer greep). Steeds meer gemeenten vertrouwen niet meer alleen op de huidige energiebedrijven. Met name voor kleinschaliger initiatieven waarbij vaak lokaal warmte wordt geleverd en/of bio-installaties in het geding zijn, wordt gekeken naar een lokale opzet.
- Verminderen van lokale weerstand. Oprichten van bijvoorbeeld windcoöperaties. Hierin kunnen bijvoorbeeld bewoners participeren. Door hen te betrekken, kunnen weerstanden als het NIMBY syndroom worden verminderd.
- Opzet van een financieringsfonds voor duurzame maatregelen dat zichzelf weer vult door de besparingen (revolving fund).

### Problemen

Bij het zoeken naar oplossingen is het van belang de verschillende problemen helder in beeld te hebben. Deze zijn onder andere:

- Beschikbare subsidie voor onrendabele maatregelen (beperkt volume door beschikbaar budget)
- Ruimtelijke ordening
- Gegarandeerde afzet wenselijk
- Kosten/baten niet opgelijnd (split incentive)
- Gebrek aan samenwerking (geen probleemeigenaar)
- Kapitaalverstrekking (en nemen van risico).

### Analyse

Per eind juli 2009 lopen er minimaal 34 gemeentelijke initiatieven. Een eerste analyse laat zien dat deze wijd uiteenlopen in diepgang en onderbouwing. Slechts enkele betreffen werkelijk de opzet van een energiebedrijf. Met name de financiële onderbouwing van de plannen is zwak.

vertrouwelijk

De wens van gemeenten meer greep te krijgen op hun klimaatdoelen is terecht. Er zijn veel aspecten ten aanzien van de versnelde transitie naar een duurzame samenleving die in de organisatorische sfeer en/of planning liggen. Vernieuwde organisatievormen, die bijvoorbeeld het split incentive probleem oplossen, zijn welkom. Dit kan door bijvoorbeeld investering en exploitatie bij één partij onder te brengen onder regie van een publiek orgaan. De essentie is dat de publieke zeggenschap over energie infrastructuur omhoog gaat.

Oplossingen waarbij meer rendabele opties in de energieopwekking worden gecombineerd met minder of onrendabele dienen met veel zorg te worden bekeken. De huidige economische situatie maakt kapitaalverschaffers voorzichtig. Goedkope financiering is wellicht mogelijk als risico's ten aanzien van afzet van energie kunnen worden omzeild, maar er is regelgeving die monopoliesituaties tracht te voorkomen. Dit vereist grondig onderzoek.

## 8 BIBLIOGRAFIE

- Oriëntatie op de ondergrond van Arnhem, 2009, TTE
- DEScan Plus voor Arnhem, 2008, Ecofys
- Statistisch Jaarboek 2008, Gemeente Arnhem
- Energievisie Rijnboog, 2008, Ecofys
- Mogelijkheden voor de inzet van biomassa voor energieopwekking in de MRA-regio, 2008, BTG
- Transitiepad Zonnestroom 2005, Roadmap van Holland Solar
- Kwaliteitsverklaring warmtelevering Arnhem, Concept, 2007, Ecofys
- Energiesprong aan de Waal, Onderzoek naar de warmtevoorziening van Nijmegen, 2008, Builddesk en KEMA
- Schaalsprong stadswarmtenet Amsterdam, 2008, OGA, AEB, Waternet en BDA
- Configuraties en optimalisaties van het warmtenet in Amsterdam, 2008, CE Delft
- Verslag Symposium Klimaatbeleid en restwarmte in Nijmegen, 7 december 2007, Milieudefensie Nijmegen, De Broeikas Nijmegen en Gelderse Milieufederatie
- Kwaliteitsrichtlijn Verticale Bodemwarmtewisselaars, 2003, (Senter)Novem
- Bodemgeschiktheidskaart voor verticale bodemwarmtewisselaars, 2001, IF Technology
- Haalbaarheidsstudie Geothermie Burgers Zoo, 2008, IF Technology en Cumae
- Kansencarta energieopslag MRA-regio, 2008, IF Technology
- Groen Licht voor Bodemenergie, 2009, Taskforce WKO
- Energiestroom Maastoren, 2008, Techniplan, De ingenieur
- Tocardo Tidal Energy 2008, Tocardo
- Testveld kleine WindTurbines Zeeland, 2009, Provincie Zeeland
- Urban Windturbines, Leidraad voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving, 2007, HoriSun, Ir. Jadranka Cace, RenCom Drs. Emil ter Horst
- Slagroomkloppers, grasmaaiers of wakkels? Een onderzoek naar de implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving, 2003, E. Vermeer TU Eindhoven
- Nederlandse Beoordelingsrichtlijn Kleine Windturbines, 2008, ingreenious
- Protocol monitoring energiebesparing, 2001, ECN
- Beoordeling werkprogramma Schoon en Zuinig, 2007, ECN
- SenterNovem review op de MNP/ECN-sectordocumenten 'Schoon & Zuinig', 2007, SenterNovem
- Referentieramingen energie en emissies 2005-2020, 2005, ECN
- EnergieBesparings Monitor gebouwde omgeving, 2006, SenterNovem
- Kosteneffectiviteit van energiebesparende maatregelen in de gebouwde omgeving, 2006, Ecofys

- CBS database Statlink, 1990-2009, CBS
- Land en tuinbouwcijfers 2008, CBS
- Energiemonitor gebouwde omgeving, 2007, Senternovem
- Het energieverbruik voor warmte afgeleid uit de Energiebalans, 2009, CBS
- Referentieraming energie en CO2 2001-2010, 2001, ECN
- Verkenning potentieel en kosten van klimaat en energiemaatregelen voor Schoon en Zuinig, 2007, ECN
- Gemeente Op Maat: Arnhem, 2006, CBS
- Energie in Nederland, 2007, EnergieNed
- Cijfers en tabellen 2007, Senternovem
- Duurzame warmte en koude 2008-2020, 2007, Ecofys
- Technische-Economische parameters voor duurzame energie-opties 2009-2010, 2008, ECN en KEMA Nederland B.V.
- A low carbon vision for the Netherlands in 2050, 2006, Ecofys
- Invloed van innovatieve technologie op de toekomstige elektriciteitsinfrastructuur 2007, ECN
- Renewables for heating and cooling, 2007, IEA
- Keuzewijzer voor koelinstallaties in de utiliteitsbouw, 2007, Deerns
- Marktanalyse en –prognose van airconditioningsystemen, 2000, Van Kempen.