

Eindverslag

**VERNIEUWENDE CONCEPTEN
VOOR LOKALE DUURZAME
ENERGIESYSTEMEN**

R.R. van der Woude
A. de Groot
G.J Ruijg
M. de Noord
P. Lako
W. Giljamse
B.J. de Boer
M.J.M. Jong

Overzicht projectgegevens

Units:	Brandstoffen, Conversie & Milieu (Systemen) Beleidsstudies (Kennisgebied duurzame energie) Zon & Wind (DEGO)
Gegevens BCM:	
projectnummer:	7.2881
Gegevens BS:	
projectnummer:	7.7192
Gegevens Z&W:	
projectnummer:	7.4839
Opdrachtgever:	ECN Directie
Referentie opdrachtgever:	
Contactpersonen:	Programmasecretariaat
Looptijd:	1/3/1999 t/m 31/12/1999

Abstract

In the course of this study, new concepts for energy supply systems in residential areas have been developed. The concepts are characterised by the full integration of local sustainable and clean fossil energy production within the energy supply system.

In order to evaluate the concepts a quasi-static Matlab/Simulink based analysis program ('Topics') has been devised. Along with the development of analysis tools, a wealth of data has been gathered concerning time dependent energy demand and supply patterns in the Netherlands.

The different concepts have been evaluated with respect to sustainability of the overall energy supply.

Trefwoorden

Duurzame energie, energievoorziening, energievraagpatronen, gebouwde omgeving, systeemevaluatie

VOORWOORD

De studie '*Vernieuwende Concepten voor Lokale Duurzame Energiesystemen*' is het resultaat van een samenwerking tussen Beleidsstudies, DEGO (Z&W) en Systemen (BCM). Nieuw in dit project was de manier waarop conceptenergiesystemen zijn geanalyseerd met tijdsafhankelijke energievraagpatronen, wat met name een voordeel is bij de beoordeling van de rol van buffering. Met het gereedschap, dat tijdens en mede dankzij deze studie is ontwikkeld, is een goede basis gelegd voor toekomstige projecten op het gebied van systeemintegratie in de gebouwde omgeving.

Langs deze weg wil ik alle projectdeelnemers bedanken voor de prettige samenwerking. Een bijzonder vermelding verdient Chris Zijdeveld voor de manier waarop hij de 'brainstormsessie' in goede banen heeft geleid.

Ruud van der Woude.

INHOUD

SAMENVATTING	9
1. PROJECTDEFINITIE	11
1.1 Probleemstelling	11
1.2 Doelstelling	12
1.3 Afbakening	12
1.4 Werkwijze	13
2. ENERGIEFUNCTIES EN ENERGIEBESPARING	15
2.1 Inleiding	15
2.2 Verwachte ontwikkeling van het energiegebruik	15
2.3 Mogelijkheden voor energiebesparing in de woningbouw	16
2.4 Noodzaak voor het terugdringen van de energievraag	17
3. ENERGIEVRAAGPATRONEN HUISHOUDENS	19
3.1 Inleiding	19
3.2 Bepaling vraagpatronen huishoudens	19
3.2.1 Uitgangspunten	19
3.2.2 Herkomst van data	21
3.2.3 Constructie van patronen	23
3.2.4 Conclusies	23
3.2.5 Literatuur	23
3.3 Bepaling energievraagpatroon ruimteverwarming	23
4. VERNIEUWENDE CONCEPTEN	25
4.1 Inleiding	25
4.2 Systeemgrenzen	25
4.2.1 Buitengrens	25
4.2.2 Binnengrens	26
4.2.3 Een duurzaam (en energieneutraal) energiesysteem	26
4.2.4 Systeemaspecten	26
4.3 Algemene principes	27
4.4 Concepten	28
4.4.1 A1 Schoon fossiel / veel uitwisseling	28
4.4.2 A2 Schoon fossiel / beperkte uitwisseling	30
4.4.3 A3 Duurzame energievoorziening (energieneutraal)	31
4.4.4 B Goedkope warmtelevering	32
5. SYSTEEMBEOORDELING	33
5.1 Inleiding	33
5.2 'Cases'	33
5.3 Duurzaamheid en uitstoot fossiele koolstof	34
5.4 Maatschappelijke 'synchroniteit'	36
5.5 Ordegrootte kosten	37
6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	39
6.1 Conclusies	39
6.2 Aanbevelingen	40

A.	TOEKOMSTIGE ONTWIKKELING VAN HET ENERGIEGEBRUIK VAN HUISHOUDENS	41
A.1	Woninggebonden energieverbruik	41
A.2	Apparaatgebonden energieverbruik	43
A.3	Totaal energieverbruik	44
B.	CONSTRUCTIE VAN PATRONEN	45
B.1	Inleiding	45
B.2	Warm tapwater	45
B.3	Reiniging	46
B.4	Verlichting	47
B.5	Overig continu	48
B.6	Overig variabel	48
B.7	Totaal patroon	49
C.	BEREKENING VAN PATRONEN VOOR RUIMTEVERWARMING	51
C.1	Novem referentiewoningen met EPC 0,6	51
C.1.1	Bouwkundige gegevens	51
C.1.2	Interne warmtelast	52
C.1.3	Infiltratie	52
C.1.4	Ventilatie	52
C.1.5	Warmteterugwinning	53
C.1.6	Temperatuurniveaus in de diverse vertrekken	53
C.1.7	Opmerking	53
C.2	Woningen PZE project met EPC 0,3	53
C.2.1	Bouwkundige gegevens	53
C.2.2	Opmerking	54
C.2.3	Interne warmtelast	54
C.2.4	Infiltratie	55
C.2.5	Ventilatie	55
C.2.6	Warmteterugwinning	55
C.2.7	Temperatuurniveaus in de diverse vertrekken	55
C.2.8	Resultaten	55
D.	DUURZAME ENERGIE: EQUIVALENT VAN AFVAL EN BIOMASSA	59
D.1	Inleiding	59
D.2	Energie uit huishoudelijk afval	59
D.3	Energie uit stortgas	60
D.4	Houtverbranding in huishoudens	61
D.5	Biogas op basis van rioolwaterzuivering en gft	61
D.6	Elektriciteitsopwekking op basis van afval- en sloophout	62
D.7	Samenvatting	62
E.	ENERGIECONVERSIETECHNOLOGIEËN	65
F.	UITWERKING 'CASES'	67
F.1	Inleiding	67
F.2	Het 0-systeem (referentie)	68
F.3	Het A3-1 systeem	69
F.4	Het A3-2 systeem	71
F.5	Het A3-3 systeem	73
F.5.1	Energiestromen per woning op jaarbasis; EPC 0,6; systeem A3-3	74
F.5.2	Energiestromen per woning op jaarbasis; EPC 0,3; systeem A3-3	75
F.6	Het A2-1 systeem (Schoon fossiel met beperkte uitwisseling)	77
F.7	Het A2-2 systeem	79

F.7.1 Energiestromen per woning op jaarbasis; EPC 0,6; systeem A2-2	80
F.7.2 Energiestromen per woning op jaarbasis; EPC 0,3; systeem A2-2	82
F.8 Het A2-3 systeem (Schoon fossiel met beperkte uitwisseling)	83
G. DE SYNCHRONITEIT VAN DE PRODUCTIE VAN ELEKTRICITEIT IN DE WIJK MET DE VRAAG BUITEN DE WIJK	85
G.1 Inleiding	85
G.2 Probleemstelling	85
G.3 Doelstelling	85
G.4 Afbakening	85
G.5 Werkwijze	86
G.5.1 Bepaling van de tijdreeks van mvrg	87
G.5.2 Berekenen van de synchroniteit van de elektriciteit van een concept	90
G.6 Verdere toepassingsmogelijkheden van het synchroniteit model.	90
G.7 Discussie	90
G.8 Literatuur	91
H. QUICKSCAN KOSTEN	93
H.1 Methodiek	93
H.2 Investeringskosten, onderhoudskosten en levensduur	93
H.3 Energiekosten	93
H.4 Energieheffing	93
H.5 Jaarkosten	94
H.6 Literatuur	94

SAMENVATTING

Het doel van de studie ‘*Vernieuwende Concepten voor Lokale Duurzame Energiesystemen*’ is de ontwikkeling van een brede visie op de toekomstige opzet van de (lokale) energievoorziening. Het uitgangspunt is een energie-efficiënte nieuwbouwwijk in de jaren na 2010. In deze wijk wordt een belangrijk deel van de energievraag lokaal en duurzaam opgewekt. Het magische begrip is in dit verband de Energie Neutrale Wijk, waarin de energievoorziening per saldo 100% duurzaam is. Dat wil zeggen, op jaarbasis wordt in een Energie Neutrale Wijk evenveel (duurzame) energie geproduceerd als verbruikt.

In alle vernieuwende concepten die tijdens de studie ontwikkeld zijn, wordt gebruik gemaakt van technologieën die op dit moment nog niet commercieel beschikbaar zijn. Dit is aanvaardbaar, omdat de denkbeeldige wijk pas vanaf 2010 gebouwd wordt, zodat er nog voldoende tijd is kansrijke technologieën verder te ontwikkelen en op de markt te brengen.

Bij de nieuwe concepten ligt energieneutraliteit binnen handbereik. Of dit potentieel volledig benut wordt, hangt af van praktische factoren zoals de kosten van een energiesysteem. De concept energiesystemen zijn in eerste instantie beoordeeld op duurzaamheid. Vanwege een gebrek aan goede gegevens met betrekking tot de toekomstige kostenontwikkeling van nieuwe technologieën is een realistische kostenschatting achterwege gebleven.

Resultaten

In de studie worden drie energiefuncties (activiteiten waarvoor energie nodig is) onderscheiden: eindverbruik van elektriciteit, warmtevraag voor de bereiding van warm tapwater en warmtevraag voor ruimteverwarming. Het algemene beeld is een sterke daling van de warmtebehoefte voor ruimteverwarming door betere isolatie van woningen (EPC 0,6 – 0,3). Het eindverbruik voor de beide andere energiefuncties zal in de toekomst stabiliseren of licht stijgen. Deze trend kan omgebogen worden door technische maatregelen en door een verandering van het bewonersgedrag.

Het uitgangspunt van de concepten is de aansluiting van alle woningen op een elektriciteitsnet, dat ook de mogelijkheid biedt voor teruglevering. Daarnaast beschikken de woningen, afhankelijk van het beschouwde concept, over een bron van lage temperatuur warmte, een bron van hoge temperatuur warmte of een aansluiting op het aardgasnet.

Bij toepassing van warmtepompen voor ruimteverwarming en de bereiding van warm tapwater is er behoefte aan lage temperatuur warmte. De lage temperatuur warmtebron kan, afhankelijk van de lokale situatie, bestaan uit lucht warmtewisselaars, bodem warmtewisselaars en een lage temperatuur warmtenet, dat gevoed wordt met warmte uit combi-zonnepanelen en aquifers (ondergrondse watervoerende zandlagen met een grote warmteopslagcapaciteit). Een voordeel van warmtepompen is, dat ze in principe ook gebruikt kunnen worden voor ruimtekoeling. De basis van de elektriciteitsvoorziening wordt bij de concepten met warmtepompen gevormd door combi-zonnepanelen en mini-W/K installaties op plaatsen in de wijk met een grote warmtebehoefte. Gezien de gevraagde Warmte/Kracht verhouding is toepassing van brandstofcellen voor de W/K installaties (al dan niet op biogas) een serieuze optie. Dit laatste concept geeft uitzicht op energieneutraliteit.

In een alternatieve systeemopzet wordt gebruik gemaakt van een hoge temperatuur warmtenet op blokniveau. Het warmtenet wordt gevoed door W/K installaties en hoge temperatuur zonnecollectoren die in dit concept een centrale rol spelen. Zonnepanelen vormen de basis van de elektriciteitsvoorziening. Ook dit concept geeft mogelijkheden voor een volledig duurzame energievoorziening.

Het gasnet maakt bij de bovenstaande concepten een ‘terugtrekkende’ beweging. Het gasnet eindigt op blokniveau bij de mini-W/K installaties.

De onderzochte concepten met aansluiting op het gasnet voor elke woning liggen in het verlengde van de traditionele opzet van de lokale energievoorziening. Bij deze concepten is een hoog percentage duurzaamheid haalbaar, maar geen volledige energieneutraliteit. Wat opvalt bij deze concepten is het lage gasverbruik per aansluiting (zo'n 500 Nm³ per jaar voor een referentieconcept zonder toepassing van duurzame warmteopwekking). Opties met micro-W/K en gasgestookte warmtepompen zijn in deze studie niet onderzocht.

Conclusies

Het fijnmazige elektriciteitsnet blijft, waarbij teruglevering de norm wordt. Een belangrijk onderwerp bij de opzet van een lokaal energiesysteem wordt de keuze voor aansluiting van de woningen op het gasnet, een lage temperatuur warmtebron of een hoge temperatuur warmtebron.

Kansrijke en soms zelfs cruciale technologieën zijn PV, combi-zonnepanelen, elektrische warmtepompen, decentrale hoge temperatuur warmteopslag, lage temperatuur warmtenetten, aquifers, mini-W/K systemen op basis van brandstofceltechnologie (SOFC en/of SPFC) en alle technologieën die bijdragen aan een kleiner eindverbruik voor de huishoudenafhankelijke energiefuncties (warm tapwater en elektriciteit).

1. PROJECTDEFINITIE

1.1 Probleemstelling

Beperking van de CO₂ uitstoot is één van de hoekstenen van het Nederlandse energie- en milieubeleid. In grote lijnen komt dit overeen met een vermindering van het gebruik van fossiele brandstoffen.

De maatregelen die moeten leiden tot realisatie van het overheidsbeleid, kunnen we onderverdelen in de categorieën:

- 1-energiebesparing (hoger eindverbruiksrendement);
- 2-duurzame energie (zoveel mogelijk, overheidsbeleid is 10% duurzame energie in 2020);
- 3-efficiënt gebruik fossiele energie (een voorbeeld is cogeneratie met Warmte/Kracht koppeling).

Deze onderverdeling, die tegelijk ook een voorkeursvolgorde geeft voor de inrichting van de energievoorziening, wordt gesymboliseerd door de 'Trias Energetica'¹, zie fig. 1.1.

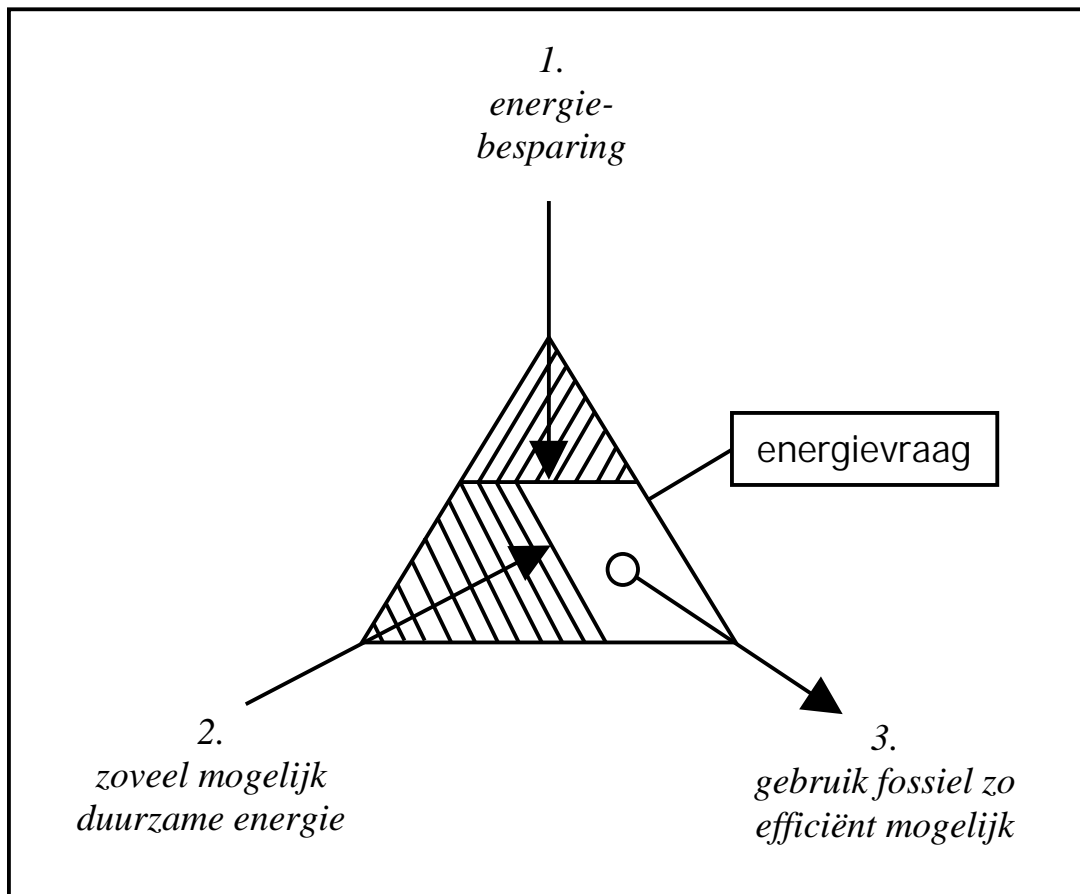


Fig. 1.1 Trias Energetica

Voor de gebouwde omgeving betekent grootschalige toepassing van energiebesparing, duurzame energie en Warmte/Kracht een breuk met de traditionele opzet van de energievoorziening, die

¹ Lysen, "Trias Energetica: Solar Energy Strategies for Developing Countries", Eurosun Conferentie, Freiburg 1996

gebaseerd is op centrale opwekking van elektriciteit en decentrale opwekking van warmte door verbranding van aardgas. In de traditionele systeemopzet is bijvoorbeeld geen rekening gehouden met een belangrijke rol voor warmtebuffering en teruglevering van elektriciteit, waardoor het systeem minder geschikt is voor inpassing van cogeneratie en duurzame, decentrale elektriciteitsopwekking.

1.2 Doelstelling

Het doel van de studie is de ontwikkeling van een brede visie op de toekomstige opzet van de (lokale) energievoorziening, als referentie voor de ontwikkeling van specifieke componenten en systemen. Daartoe bestaat de studie uit twee delen:

- ontwikkeling van concepten voor een toekomstige (lokale) energievoorziening;
- beschouwing van kansrijke concepten en de bijbehorende opwekkings-, omzettings- en opslagtechnologieën.

De toekomst ligt bij deze studie in het jaar 2010. De technologieën die in de concepten toegepast worden, moeten tegen die tijd marktrijp zijn (wanneer nu met de ontwikkeling begonnen wordt).

1.3 Afbakening

Op het moment staan in Nederland zes miljoen woningen² met aansluiting op het gas- en elektriciteitsnet. Elk jaar komen daar tachtigduizend nieuwbouwwoningen bij.

Voor een belangrijk deel staan de bestaande woningen in wijken die in de komende decennia volledig gerenoveerd worden. Een alternatieve opzet van de energievoorziening is dan een serieuze mogelijkheid. Hoewel de voordelen van innovatieve energiesystemen in renovatiewijken kleiner zijn dan bij nieuwbouw, maakt het enorme aantal woningen in deze wijken ook beperkte voordelen interessant.

Uiteindelijk hebben we toch gekozen voor een studie over de energievoorziening in nieuwbouwwijken. Het doorslaggevend argument voor deze keuze is de kans de mogelijkheden van een Energie Neutrale Wijk (ENW) te verkennen, een typisch ENGINE onderwerp. Een Energie Neutrale Wijk is een wijk waarin de eigen energieproductie op jaarbasis gelijk is aan het energiegebruik. Omdat de eigen energieproductie volledig duurzaam is, heeft energieneutraliteit dezelfde betekenis als 100% duurzaamheid.

De ideeën die bij ECN al langer leven over het energievoorzieningssysteem van een Energie Neutrale Wijk vormen de basis van deze studie. Dat heeft geleid tot de volgende uitgangspunten:

- een representatieve nieuwbouwwijk;
- de samenstelling van de wijk is een afspiegeling van het verwachte landelijk gemiddelde in de periode 2010-2015;
- de grootte van de wijk komt overeen met de optimale schaalgrootte van een bepaald concept;
- de wijk is aangesloten op het landelijk elektriciteits- en gasnet;
- het aandeel duurzame energie in de energievoorziening van de wijk is op jaarbasis tenminste 40% en in een aantal gevallen 100%.

In de loop van de studie werd duidelijk dat de beoordeling van een 'representatieve nieuwbouwwijk' nog geen haalbare kaart was. De 'representatieve nieuwbouwwijk' is daarom verkleind tot een 'representatief woonblok'. Intussen (januari 2000) zijn de analysehulpmiddelen voor de beoordeling van complete wijken wel beschikbaar.

² Centraal Bureau voor de Statistiek: <http://www.cbs.nl/>

1.4 Werkwijze

Energiefuncties zijn activiteiten en behoeften van gebruikers of bewoners die (mogelijk) een energievraag met zich mee brengen. Energiefuncties in een woonhuis zijn bij voorbeeld het gebruik van warm tapwater of de taken die vervuld worden door elektrische apparatuur. Ook de handhaving van een bepaald comfortniveau in een woning is een energiefunctie (denk aan verwarming, ventilatie, koeling, en verlichting).

Het hoofddoel van een energiesysteem is de energiefuncties zo goed mogelijk te vervullen. Energiefuncties maken geen deel uit van het systeem, ze liggen over de 'binnengrens', zoals geschetst in fig. 1.2. De verbindingen met omgeving aan de andere kant van de 'buitengrens' worden verzorgd door de aansluitingen op de landelijke energienetten. Het streven de fossiele CO₂ uitstoot te beperken komt overeen met een beperking van de netto import van brandstof en elektriciteit vanuit de omgeving. In het energiesysteem zelf vinden we decentrale conversie- en buffersystemen.

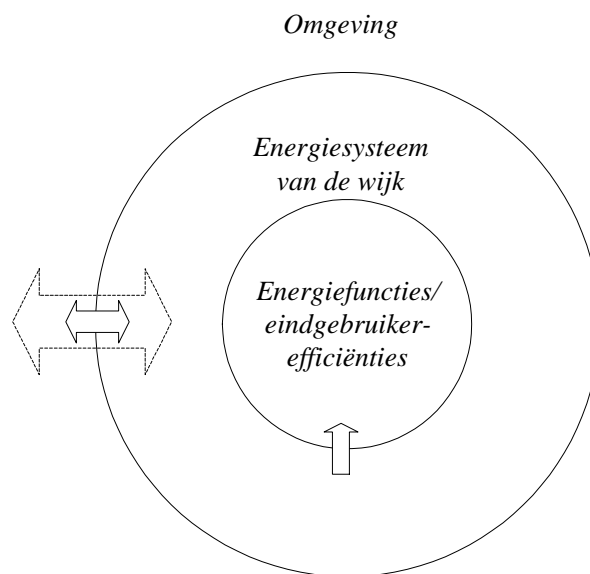


Fig. 1.2 Afbakening van een energiesysteem

De aspecten energiefunctie, omgeving en energiesysteem komen ook tot uitdrukking in de activiteiten van de studie.

In de eerste plaats is veel aandacht besteed aan de identificatie van energiefuncties, de bepaling van de bijbehorende vraagpatronen en de ruimte voor energiebesparing. Energiebesparing is in dit geval gedefinieerd als een lager energiegebruik voor het vervullen van dezelfde energiefuncties.

Ten tweede is de invloed van de omgeving op het functioneren van een energiesysteem onderzocht. Deze invloed wordt uitgedrukt met het begrip synchroniteit.

Tenslotte het energiesysteem zelf. De activiteiten die hiermee te maken hebben, zijn de ontwikkeling van vernieuwende concepten, beoordeling en selectie. De kern van de systeembeoordeling is het in kaart brengen van de energiestromen tussen energiefuncties, omgeving, conversie- en buffersystemen met een (quasi-stationaire) analyse van een heel jaar. De gegevens uit de analyse van de energiestromen vormen de basis voor de kostenbeschouwing en de inventarisatie van de CO₂ uitstoot. De selectie vindt plaats aan de hand van beide laatste criteria.

2. ENERGIEFUNCTIES EN ENERGIEBESPARING

2.1 Inleiding

Als het belangrijkste doel van een energiesysteem de vervulling van energiefuncties is, dan is een duidelijk overzicht van de energiefuncties en vraagpatronen essentieel. De toekomst wordt op dit terrein bepaald door twee ontwikkelingen. Aan de ene kant is er de wens steeds meer energiefuncties te vervullen. Aan de andere kant het streven de energievraag te verminderen.

Om een indruk te krijgen van deze ontwikkelingen, wordt het energiegebruik gesplitst in een woning- en een gedragscomponent:

- woninggebonden energiegebruik
Hieronder wordt het energiegebruik verstaan dat vooral samenhangt met het woningtype (ruimteverwarming en ventilatie) en kenmerken van het huishouden (bereiding warm tapwater).
- apparaatgebonden energiegebruik
Hieronder wordt het energiegebruik verstaan dat samenhangt met huishoudelijke apparaten nodig voor reiniging, koelen en bereiden van voedsel en audio/video/telecommunicatie.

In de toekomst is het effect van energiebesparing duidelijk merkbaar bij de woninggebonden energiefuncties. Een toename van het energiegebruik door introductie van nieuwe energiefuncties (audio/video/telecommunicatie) speelt vooral bij de apparaatgebonden functies.

In dit hoofdstuk zullen we ingaan op de toename van energiegebruik die vooral wordt veroorzaakt door het apparaatgebonden elektriciteitsverbruik en de mogelijkheden van energiebesparing in de woningbouw.

De invloed van de planologie van een wijk op de energievraag blijft in deze studie buiten beschouwing. De reden hiervoor is de beperking van de wijkgrootte tot de grootte van een woonblok. De invloed van de planologie is echter aanzienlijk, vooral wanneer de wijkgebonden verkeersstromen worden meegenomen.

2.2 Verwachte ontwikkeling van het energiegebruik

Een uitgebreide beschouwing van de verwachte ontwikkeling van het energiegebruik wordt gegeven in bijlage A. Een belangrijke conclusie van de beschouwing is de toename van het elektriciteitsverbruik die per persoon nog sterker is dan per huishouden, vanwege de afname van de gemiddelde huishoudengrootte, zie ook tabel 2.1.

Tabel 2.1 Ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik

<i>Gegevens Nederland</i>	<i>1995</i>	<i>2010</i>
Huishoudelijk el. verbruik [PJ _e]	70,9	96,9
Aantal inwoners [$\times 10^6$]	15,5	16,5
Aantal huishoudens [$\times 10^6$]	6,529	7,580
Gemiddelde grootte huishouden [-]	2,37	2,18
Huish. el. verbruik per persoon [GJ _e] (kWh)	4,57 (1269)	5,87 (1630)
Huish. el. verbruik per huishouden [GJ _e] (kWh)	10,8 (3000)	12,8 (3556)

Tussen 1995 en 2010 is de verwachte toename van het elektriciteitsverbruik per huishouden een kleine 19%. Deze komt vooral voor rekening van het apparaatgebonden energiegebruik.

2.3 Mogelijkheden voor energiebesparing in de woningbouw

Het woninggebonden energiegebruik wordt onder meer bepaald door de eigenschappen van de woning, de comfortinstallaties, de hoeveelheid en soort (huishoudelijke) apparatuur, het bewonersgedrag en de comfortwensen van bewoners. Energiebesparing kan dan ook op verschillende manieren worden gerealiseerd. Bij het minimaliseren van de energievraag is het zinvol om alle besparingsopties in samenhang te beschouwen. Toegespitst op de woning zelf, inclusief verwarmings- en ventilatiesystemen, liggen de mogelijkheden voor energiebesparing nu en in de toekomst bij:

- Optimaal gebouwwontwerp: gebruik maken van passieve zonne-energie, compact bouwen, zonering;
- Beperking van transmissieverliezen: goede isolatie van vloeren, gevels, daken, kozijnen en glas;
- Toepassen van energiezuinige installaties en duurzame energiebronnen: gebalanceerde HR ventilatie, energie-opslag in bodem, gebruik van omgevingswarmte d.m.v. warmtepompen, lage temperatuur verwarming, actieve zonne-energie systemen, etc.;
- Toepassen van domotica.

Bij het ontwerp van een wijk of een woning is het van groot belang om woningen zodanig te oriënteren en vorm te geven dat optimaal gebruik wordt gemaakt van zonlicht voor verwarming en daglichttoetreding. Op woningniveau is hiervoor een goede keuze voor beglazing, isolatie en zonwering noodzakelijk. Het op de juiste wijze toepassen van serres en atria is tevens een van de mogelijkheden om passief gebruik te maken van zonne-energie.

Het energiebesparend effect van de dikte van een isolatiepakket is vooral in de eerste centimeters erg groot. Op een bepaald punt wegen de materiaalkosten echter niet meer op tegen de baten van energiebesparing en is het niet efficiënt om nog meer in isolatiemateriaal te investeren. Bovendien komt bij zeer grote diktes de praktische uitvoering in het geding. Het isoleren van gebouwdelen kent daarom praktische grenzen. In figuur 2.1 is te zien dat de energiebesparing relatief gezien steeds geringer wordt bij toenemende isolatiedikte.

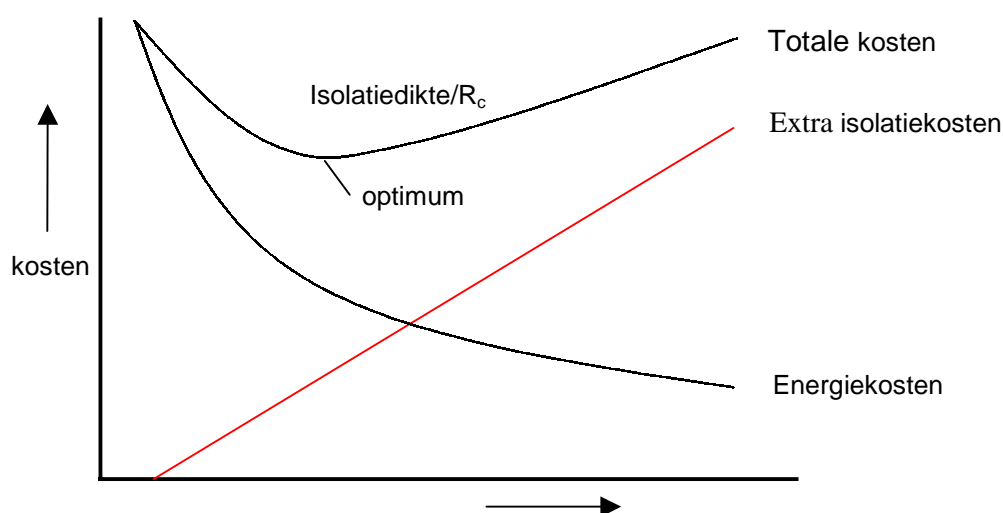


Fig. 2.1 Geschematiseerde invloed van isolatiedikte op energiekosten en totale kosten

De huidige minimaal vereiste isolatiewaarde R_c van 2,5 [m^2K/W] voor dichte delen van de gebouwschil wordt bereikt bij een isolatiedikte van circa zeven centimeter. Isolatie van ramen verdient bijzondere aandacht. Glas en kozijnen zijn namelijk al snel de zwakke schakels in het

geheel. Ook hiervoor geldt dat de kosten/baten analyse van extra goed isolerend (bijvoorbeeld drievoudig) glas bepalend is voor het wel of niet toepassen. Een innovatief isolatiemateriaal, bijvoorbeeld glas met vacuüm isolatie o.i.d., kan bij een gunstige prijsontwikkeling een verschuiving van het op dat moment geldend kostentechnisch optimum bewerkstelligen. Lagere prijzen voor isolatiemateriaal door verhoogde afzet alsmede stijgende energieprijzen geven eveneens een verschuiving naar grotere isolatiebehoefte.

Vaak wordt bij de realisatie van een woning alleen gekeken naar de initiële kosten. Investeren in energiebesparende opties wordt, zelfs bij zeer korte terugverdientijden, voor veel projectontwikkelaars en opdrachtgevers als niet interessant beschouwd. Ook voor de verwarmings- en ventilatie installaties geldt dat zij aanzienlijk kunnen bijdragen aan een energiezuinig gebruik van de woning.

Met de term domotica wordt het integraal aansturen van allerlei apparaten in een woning bedoeld. Gedacht kan worden aan het geautomatiseerd (weersafhankelijk, aanwezigheidsdetectie, etc.) bedienen van onder meer verlichting, verwarming, rolluiken, ventilatoren enz. Door het toepassen van domotica kan het gebruik van verschillende installaties voor verwarming, ventilatie en verlichting verminderd worden en beter op elkaar worden afgestemd.

Door een integrale afstemming is een extra besparing mogelijk in het stookseizoen en wordt een aangenaam klimaat in de zomer verkregen. Doordat de verschillende in de woning toegepaste apparatuur via hetzelfde aansturingssysteem werkt, kunnen ze ook met elkaar 'praten'. Hiermee wordt bijvoorbeeld het openen van een raam terwijl de verwarming aan staat voorkomen.

2.4 Noodzaak voor het terugdringen van de energievraag

Woningen worden gebouwd met een minimale levensduur van circa 50 jaar. Het minimaliseren van de energievraag door het realiseren van energiezuinige woningen is daarom van groot belang. Het energiegebruik van woningen in de toekomst wordt nu in grote mate bepaald door de huidige kwaliteit van nieuwbouw. Aangezien installaties een levensduur hebben van circa 15-20 jaar is het belangrijk om rekening te houden met het efficiënt toepassen van nieuwe, nog energiezuinigere apparaten. Dit betekent dat het bij voorkeur niet nodig moet zijn om woningen eerst na te isoleren alvorens een nieuwe (betere) installatie te kunnen plaatsen.

Ook bij huidige woningen met een EPC van 1,2 is nog steeds veel energiebesparing mogelijk. Door van diverse beschikbare besparingsmogelijkheden gebruik te maken, kan het energiegebruik voor ruimteverwarming en warm tapwater zelfs worden teruggebracht van circa 45 GJ naar circa 8 GJ per jaar, hetgeen overeenkomt met een aardgasbesparing van ca. 1000 m³ per jaar.

Energiebesparende technieken die, in eerste instantie economisch gezien niet of nauwelijks haalbaar lijken, kunnen door het gunstig effect op de resulterende benodigde capaciteit van installaties ook kostentechnisch interessant worden. Door het bereiken van een geringere benodigde capaciteit kan worden bespaard op de kosten van installaties.

Door het toepassen van thermische collectoren en zonnepanelen is het tegenwoordig mogelijk om nul-energie woningen te bouwen. Bij zo'n energiebalanswoning wordt op jaarbasis net zoveel energie verbruikt als er wordt opgewekt. Hierdoor zou de mogelijkheid tot verdere beperking van het energiegebruik misschien naar de achtergrond kunnen worden gedrukt. De woning gebruikt netto gezien geen energie, waardoor eventuele verspilling van energie niet direct merkbaar is. Ook bij nul-energie woningen is het van groot belang om de energievraag zo veel mogelijk te beperken. Dit maakt het ten eerste mogelijk om de energievoorziening zo veel mogelijk d.m.v. duurzame bronnen in te vullen. Ten tweede wordt de nog noodzakelijke inzet van fossiele brandstoffen bij tijdelijke energietekorten zo beperkt mogelijk te houden.

3. ENERGIEVRAAGPATRONEN HUISHOUDENS

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen energievraagpatronen van huishoudens worden afgeleid waarmee simulaties kunnen worden verricht. Het gaat daarbij uitsluitend om de energievraag van huishoudens (zowel woning als apparaatgebonden vraag), de vraag van de utiliteit (winkels, scholen e.d.) wordt hierbij niet meegeteld. De patronen zullen een benadering zijn van de energievraag van huishoudens in 1997.

Allereerst zullen diverse uitgangspunten worden bepaald (bijvoorbeeld de karakterisering van huishoudens, uitsplitsing van de elektriciteitsvraag). Vervolgens wordt nagegaan of de benodigde data al beschikbaar zijn in de vorm van meetgegevens of andere statistieken. Hieruit blijkt dat er over het algemeen weinig kennis is over de momentane elektriciteitsvraag van huishoudens. Daarom zullen aan de hand van verschillende gegevens die wel beschikbaar zijn door middel van een 'educated guess' de benodigde patronen worden geconstrueerd.

De energievraagpatronen voor ruimteverwarming vormen de uitzondering op de regel. Deze vraagpatronen zijn voor een aantal verschillende woningtypen berekend met het gebouw simulatiepakket TRNSYS.

3.2 Bepaling vraagpatronen huishoudens

3.2.1 Uitgangspunten

Huishoudens

Kenmerken van huishoudens die het elektriciteitsverbruik bepalen zijn o.a. inkomen, het aantal werkende mensen binnen het huishouden, leeftijden van deze personen en ook het aantal personen in het huishouden. Om een snelle karakterisering van de typen huishoudens in een wijk mogelijk te maken is hier gekozen voor het aantal personen per huishouden. Uit (BEK, 1997) blijkt dat van de daarin onderzochte kenmerken het aantal personen per huishouden de grootste spreiding in het elektriciteitsverbruik laat zien. In tabel 3.1 zijn deze waarden weergegeven, samen met de huishoudensamenstelling volgens het CBS (CBS, 1998). In de laatste categorie (5+) zijn alle huishoudens met 5 personen of meer samengenomen.

Tabel 3.1 Verbruik per huishouden in kWh/jaar³

<i>Huishoudengrootte [personen/huishouden]</i>	<i>Verbruik in 1997 [kWh/jaar] (BEK, 1997)</i>	<i>Samenstelling Nederlandse huishoudens in 1997 [%] (CBS '98)</i>
1	2020	32,3
2	3025	34,3
3	3830	12,8
4	4325	14,2
5+	4900 (schatting)	6,4
Gewogen gemiddelde	3280	100 %

³ Opmerking bij tabel 3.1: wanneer de cijfers van het CBS en het BEK '97 met elkaar worden gecombineerd blijkt dat het gewogen gemiddelde 3108 kWh/jaar bedraagt. Kennelijk hanteert het BEK een andere huishoudensamenstelling dan het CBS. In het vervolg zal hier gerekend worden met een verbruik van 3108 kWh per jaar voor een gemiddeld huishouden.

Verbruikspatronen

Voor de bovengenoemde 5 typen huishoudens moeten de verbruikspatronen worden bepaald. Deze patronen geven het verbruik per type huishouden weer als functie van de tijd. Voor een voldoende grote nauwkeurigheid wordt in de afgeleide patronen het verbruik per kwartier weergegeven. Een verbruik per 5 minuten voegt weinig detail toe, terwijl het aantal meetgegevens wel een factor 3 groter wordt, terwijl een patroon op uurbasis te weinig detail laat zien.

Het verbruik kan worden weergegeven in kWh/kwartier, of in kJ/kwartier. Het patroon kan ook als belastingpatroon worden weergegeven, met de belasting in kW als functie van de tijd. Is het patroon eenmaal bekend, dan kan het genormeerd worden ten opzichte van het gemiddelde. Een andere methode is het verbruik weer te geven als percentage van het maximaal verbruik.

Een verbruikspatroon van één huishouden heeft niet dezelfde vorm als een verbruikspatroon van een groep huishoudens. Niet in elk huishouden immers gebeurt alles op hetzelfde moment. Daarom zal een verbruikspatroon van groep huishoudens een gladdere vorm hebben dan het patroon van één huishouden. Bij de constructie van de verbruikspatronen is met dit effect rekening gehouden, de vorm van de patronen is afgeleid voor een verbruik van enige honderden huishoudens.

Methode

Het totaal jaarverbruik is bekend voor de vijf typen huishoudens. Dit jaarverbruik is te splitsen in verschillende toepassingsgebieden. Relevante kenmerken van toepassingsgebieden hierbij zijn:

- seizoensafhankelijkheid
- duidelijk verschil in dag/nachtpatroon
- in plaats van elektriciteit geschikt te maken voor een andere energiebron

Bij deze laatste categorie moet gedacht worden aan zogenaamde 'hot-fill' apparatuur: dit zijn voornamelijk apparaten gebruikt voor reiniging. Deze kunnen in plaats van het benodigde water elektrisch te verwarmen gebruik maken van water dat reeds is verwarmd door bijvoorbeeld een combiketel door middel van aardgas. Wanneer een huishouden hiertoe overgaat zal zowel het elektriciteitsvraagpatroon als het warmtevraagpatroon veranderen.

Aan de hand van de onderscheiden verbruiksgebieden in (BEK '97) moeten nu aan de hand van deze kenmerken de volgende verbruikspatronen worden geconstrueerd:

- Verwarming van tapwater (inclusief seizoensinvloed van warme/koude bodem)
- Verlichting (inclusief seizoensinvloed)
- Elektriciteit nodig voor reiniging:
 - wasmachine
 - vaatwasser
 - wasdroger
- Overig.

Het overig patroon kan gesplitst worden in een continu verbruik (zonder dag en nacht ritme, van bijvoorbeeld stand-by apparaten) en een patroon met een dag/nacht ritme, waarbij het verbruik 's nachts theoretisch nul is. Apparaten die af en toe aanslaan, zoals koelkasten e.d., zijn tevens opgenomen in het continue verbruik. Apparaten met een stand-by functie worden genoemd in BEK '97, samen met het bijbehorende stand-by verbruik. Het totaal verbruik hiervan wordt weergegeven in het toepassingsgebied overig continu (zie tabel 3.2).

De hoeveelheid elektriciteit nodig voor bereiding van voedsel en ruimteverwarming is zodanig laag ten opzichte van de andere verbruiksgroepen dat deze is opgenomen in het toepassingsgebied 'Overig niet-continu'.

Aan de hand van de gegevens in (BEK '97) kan nu bij deze toepassingsgebieden het bijbehorende jaarverbruik worden berekend:

Tabel 3.2 Onderscheiden toepassingsgebieden en het verbruik.

Huishoudengrootte:	1	2	3	4	5	Gemiddeld	
Totaal warm tapwater	4,5	6,8	9,0	10,8	12,5	7,3	[GJ/jaar]
waarvan elektrisch	115	201	288	374	460	226	[kWh/jaar]
Verlichting	384	560	651	714	797	552	
Reiniging	202	484	889	1128	1556	605	
Overig continu	607	820	922	971	961	795	
Overig niet-continu	721	966	1099	1146	1128	940	
TOTAAL elektriciteit	2029	3031	3849	4333	4902	3108	

Opmerkingen bij Tabel 3.2:

- Voor 1 en 2 persoonshuishoudens is het verbruik voor warm tapwater gegeven in BWK '97, de waarden voor de overige drie huishoudtypen zijn geschat met behulp van andere gegevens uit BWK '97. Gevolg is wel dat de gemiddelde waarde lager uitkomt. Volgens BWK '97 is dit 8,2 GJ per jaar.
- Volgens BEK '97 is het elektriciteitsverbruik voor elektrische verwarming van tapwater 246 kWh per jaar voor een gemiddeld huishouden.
- Het gemiddelde elektriciteitsverbruik voor verlichting volgens BEK '97 bedraagt 540 kWh per jaar.

3.2.2 Herkomst van data

Dagpatronen

In de literatuur is weinig bekend over het momentane elektriciteitsverbruik van huishoudens. In (Perrels, 1992) wordt een methode beschreven om door middel van sociaal-economische factoren verbruikspatronen van huishoudens te construeren. De benodigde kenmerken van huishoudens zijn echter van dien aard dat deze methode buiten het bestek van deze studie valt. Hierbij moet gedacht worden aan kenmerken zoals werkloosheid, huishoudensinkomen e.d. Bovendien zijn de gegevens in (Perrels 1992) inmiddels verouderd.

Empirische gegevens in de vorm van gemeten belastingen bestaan wel, echter zij zijn niet beschikbaar vanwege de (bedrijfskundige) vertrouwelijkheid ervan. Bovendien zijn deze meetreeksen waarschijnlijk niet representatief voor de Nederlandse huishoudenssituatie, aangezien deze metingen meestal in een enkele woonwijk zijn uitgevoerd.

Navraag bij verschillende instanties (Sep, EnergieNed, KEMA) naar beschikbare gegevens levert slechts één resultaat. In tabel 3.3 is dit weergegeven. Het is het gemiddelde dagbelastingpatroon op uurbasis van een gemiddeld huishouden in Nederland volgens EnergieNed. Onbekend is over welke periode het gaat en in wat voor eenheden de getallen zijn weergegeven. Opmerkelijk is dat op uur 5 de waarde van de gegevens hetzelfde is voor zowel werkdag, zaterdag als zondag.

Tabel 3.3 Patronen van EnergieNed, eenheden zijn onbekend. [EnergieNed, 1999]

Uur	werkdag	zaterdag	zon- en feestdag	gemiddeld
0	51	60	62	54
1	39	46	48	42
2	35	37	40	36
3	32	34	35	33
4	31	32	32	32
5	31	31	31	31
6	35	32	31	34
7	49	37	33	45
8	57	48	41	53
9	61	61	52	60
10	61	69	64	63
11	61	69	69	63
12	64	68	69	66
13	63	65	67	64
14	59	62	63	60
15	56	61	61	57
16	62	66	64	63
17	78	81	78	78
18	85	88	86	85
19	88	90	89	88
20	86	87	88	87
21	84	82	84	84
22	81	80	79	81
23	71	74	66	71

In tabel 3.3 zijn gemiddelde belastingpatronen weergegeven, met een onderscheid naar werkdag, zaterdag en zondag. In het jaarpatroon zal echter wel een verschil moeten zitten tussen bijvoorbeeld zomer en winter. Daardoor kan met deze gegevens geen jaarpatroon worden geconstrueerd.

Jaarpatroon

In (SST, 1999) wordt een jaarpatroon gegeven voor elektriciteitsverbruik in een gemiddeld huishouden in 1995 afkomstig van EnergieNed. Dit patroon is weergegeven in tabel 3.4. Navraag leert echter dat dit patroon niet bekend is bij EnergieNed. Desondanks zal dit patroon hier toch gebruikt worden aangezien dit het enige aanknopingspunt is.

Tabel 3.4 Genormeerd jaarpatroon voor elektriciteitsgebruik van Nederlandse huishoudens [SST, 1999]

Maand	Weegfactor
Januari	1,38
Februari	1,00
Maart	0,94
April	1,10
Mei	1,02
Juni	0,88
Juli	0,60
Augustus	0,80
September	1,00
Oktober	1,03
November	1,10
December	1,10
Gemiddeld	1,00

3.2.3 Constructie van patronen

De patronen die in bijlage B afgeleid worden (voor de functies warm tapwater, reiniging, verlichting en de functiegroepen overig continu en overig variabel) bestaan uit een reeks van 35040 cijfers (het aantal kwartieren in 1997). Deze cijfers stellen het verbruik voor in een bepaald kwartier (kWh/kwartier) ofwel de belasting (in kW). Aangezien 5 huishoudtypen worden onderscheiden zullen voor elke verbruikstoepassing 5 reeksen moeten worden geconstrueerd. Komt het verbruik in een reeks overeen met het verbruik zoals weergegeven in tabel 3.2, dan kan deze reeks worden genormeerd tot een reeks met gemiddelde 1. Om de oorspronkelijke reeks weer te verkrijgen hoeft de genormeerde reeks slechts vermenigvuldigd te worden met het gemiddelde verbruik per kwartier. Dit is het jaarverbruik gedeeld door het aantal kwartieren in een jaar. Op deze manier kan tevens rekening gehouden worden met een gewijzigd verbruik per toepassingsgebied.

De seizoensinvloed zoals weergegeven in tabel 3.4 komt tot uitdrukking in het overig niet-continu patroon. In de overige patronen is al een seizoensinvloed verwerkt (verlichting, warm tapwater) of geen seizoensinvloed verondersteld (reiniging).

3.2.4 Conclusies

In de literatuur is weinig bekend over het momentane elektriciteitsverbruik van huishoudens. Er zijn wel methoden beschikbaar om dit elektriciteitsverbruik te bepalen, deze zijn echter bewerkelijk en vergen eveneens een sociaal-economisch inzicht in het gedrag van huishoudens. De momentane elektriciteitsvraag van huishoudens is in diverse monitor projecten gemeten, echter deze meetgegevens worden niet representatief geacht voor de gemiddelde Nederlandse huishoudensituatie. Tevens zijn deze gegevens niet beschikbaar voor onderzoek, aangezien het hier om bedrijfsgevoelige informatie gaat.

Met behulp van diverse statistische gegevens is het toch mogelijk gebleken de momentane huishoudelijke elektriciteitsvraag in kaart te kunnen brengen. De op deze wijze geconstrueerde patronen blijken tot op zekere hoogte het consumptiegedrag van huishoudens m.b.t. elektriciteit goed weer te kunnen geven.

3.2.5 Literatuur

EnergieNed 1999	Fax met dagbelastingpatronen
CBS 1998	Jaarboek voor de statistiek, CBS 1998
BEK '97	Basisonderzoek Elektriciteitsverbruik Kleinverbruikers 1997
Perrels 1992	Proefschrift Adriaan Perrels
SST, 1999	Stroomversnelling, Stichting Toekomstbeeld der Techniek, Den Haag, 1999
NEN 5128, 1998	Nederlandse Norm NEN 5128, Energieprestatie van woningen en woongebouwen - Bepalingsmethode" van het Nederlands Normalisatie Instituut (tweede druk, december 1998).

3.3 Bepaling energievraagpatroon ruimteverwarming

De energievraagpatronen voor ruimteverwarming zijn berekend m.b.v. het gebouw simulatiepakket TRNSYS. Er zijn patronen berekend op basis van Novem referentie woningen met EPC 0,6 en Passieve Zonne Energie (PZE) woningen met EPC 0,3; zie ook tabel 3.5.

Tabel 3.5 Woningtypen waarvoor vraagpatronen voor ruimteverwarming zijn berekend

<i>Woningtype</i>	<i>EPC 0,6 (Novem)</i>	<i>EPC 0,3 (PZE woning)</i>
Tussenwoning	x	x
Hoekwoning		x
2-onder-1-kap woning	x	

De bouwkundige gegevens van de woningen en de uitgangspunten van de TRNSYS berekeningen zijn samengevat in bijlage C.

4. VERNIEUWENDE CONCEPTEN

4.1 Inleiding

De vernieuwende concepten van Lokale Duurzame Energiesystemen (LDE) zijn het produkt van een discussiebijeenkomst met een ECN-brede selectie van deskundigen. In het bijzonder is tijdens de discussie gesproken over de meest aansprekende vorm van een LDE, de Energie Neutrale Wijk met een netto 100% duurzame energievoorziening.

In dit hoofdstuk geven we de contouren van de vier meest aantrekkelijke concepten die na afloop van de bijeenkomst op papier stonden.

4.2 Systeemgrenzen

Een Lokaal Duurzaam Energiesysteem heeft in de eerste plaats een buitengrens, waarover energie met de omgeving wordt uitgewisseld. De buitengrens komt ruwweg overeen met de fysieke grens van de wijk.

De binnengrens omvat het energiefunctiedomein (zie fig.4.1). De eindgebruiksefficiënties geven het energetisch rendement aan, waarmee de energiefuncties vervuld worden.

Onder het eigenlijke energiesysteem vallen de conversiestappen die nodig zijn voor de beheersing van de energiestromen in de wijk en de winning van (duurzame) energie.

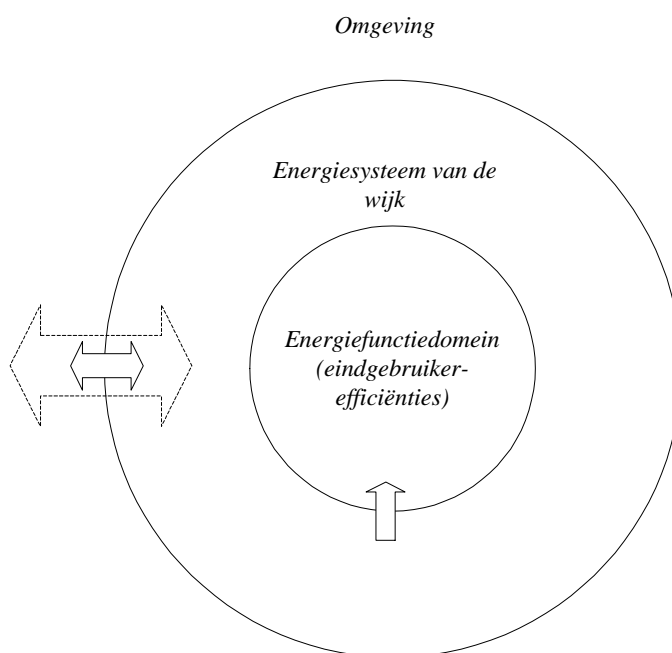


Fig. 4.1 Afgrenzing van een Lokaal Duurzaam Energiesysteem

4.2.1 Buitengrens

Afhankelijk van de uitvoering van het concept wordt energie met de omgeving uitgewisseld in de vorm van elektriciteit, warmte, gas/vloeibare brandstof en biomassa. Het belang van uitwisseling schuilt in de mogelijkheid momentane energietekorten aan te vullen uit landelijke netwerken en momentane overschotten te exporteren. De mate waarin de energiestromen over de

buitengrens aansluiten op de behoeften van de omgeving wordt in het kader van deze studie aangeduid met het begrip ‘synchroniteit’, zie §5.4.

4.2.2 Binnengrens

De binnengrens omvat de energiefuncties met de bijbehorende eindgebruikerefficiënties. Over de binnengrens gaan alleen de elektriciteits- en warmtestromen, die nodig zijn om het energiefunctiedomein naar behoren te laten functioneren. De temperatuur van de warmtestromen kan variëren van onder tot vele graden boven de omgevingstemperatuur.

Energiebesparing, de verbetering van het eindgebruiksrendement, speelt zich af in het energiefunctiedomein. In deze studie beschouwen we ook de passieve benutting van duurzame energie als een vorm van energiebesparing. De belangrijkste voorbeelden hiervan zijn de benutting van zonlicht en zonnewarmte door ‘bouwen’ op de zon.

Het belang van energiebesparing krijgt veel nadruk in deze studie, omdat een verlaging van de energievraag van grote invloed kan zijn op de uitvoering van een concept.

4.2.3 Een duurzaam (en energieneutraal) energiesysteem

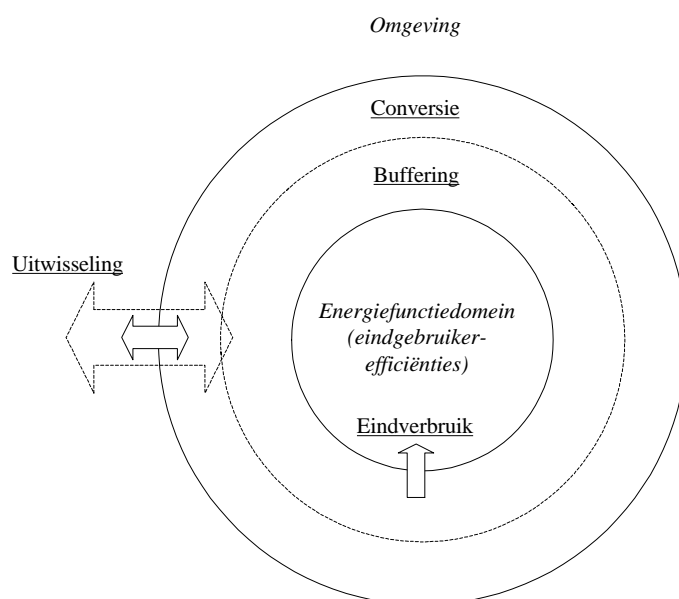
Het meest opvallende kenmerk van een Lokaal Duurzaam Energiesysteem is, dat er behalve verbruik ook op grote schaal productie is van (duurzame) energie, door de actieve benutting van zon, wind en omgevingswarmte. In de 100% duurzame vorm, de Energie Neutrale Wijk, zijn duurzame productie en eindverbruik op jaarbasis zelfs in evenwicht, er is netto geen uitwisseling.

Op ieder willekeurig moment kan daarentegen wel sprake zijn van uitwisseling. De grootte van de energiestromen is dan maximaal, wanneer in de wijk op geen enkele manier energie wordt gebufferd. Bij voldoende buffering kan in een energieneutrale wijk de uitwisseling teruglopen tot nul (autark). De hoeveelheid uitwisseling versus de grootte van de buffercapaciteit vormt daarmee een belangrijke keuze in de uitwerking van een energiesysteem.

4.2.4 Systeemaspecten

Samenvattend, kent het energiesysteem zelf de aspecten buffering en productie/conversie. Het systeem staat in relatie met de omgeving via het aspect uitwisseling (over de buitengrens) en in relatie tot de verschillende energiefuncties via het aspect eindverbruik (over de binnengrens), zie ook fig. 4.2.

De aspecten buffering & uitwisseling en productie & eindverbruik vullen elkaar twee aan twee aan. Het predikaat energieneutraal (100% duurzaam) zegt alleen iets over uitwisseling: op jaarbasis (minstens) is die nul. Dit komt overeen met evenwicht tussen eindverbruik en duurzame deel van de productie.



Uitwisseling: elektriciteit, warmte, gas en biomassa

Eindverbruik: elektriciteit, warmte

Fig. 4.2 Energiesysteem met de aspecten *Uitwisseling & Buffering en Productie & Eindverbruik*

4.3 Algemene principes

De discussies over de inrichting van lokale duurzame energiesystemen hebben een aantal algemene principes en inzichten opgeleverd die aansluiten op de voorkeursvolgorde in de 'Trias Energetica':

- Het belangrijkste principe is zonder twijfel energiezuinig bouwen en wonen, in de discussie samengevat met de uitdrukking 'De beste indiaan is een dode indiaan'. Maatregelen die onder deze noemer vallen, variëren van een doordachte planologie van de wijk en energiezuinig/zongericht bouwen tot verhoging van eindgebruikerefficiënties. Voor alle duidelijkheid, besparing gaat niet ten koste van het eindresultaat: comfort en leefbaarheid oftewel, de vervulling van energiefuncties.
- In een woonwijk is voor de vervulling van de energiefuncties in principe alleen behoefte aan elektriciteit en warmte met een relatief lage temperatuur. Het is de kunst op een zo efficiënt mogelijke manier aan deze behoeften te voldoen. Energiefuncties die inherent vragen om gas of biomassa komen in een wijk niet voor. Uiteindelijk vormen deze energiedragers altijd een tussenstap naar elektriciteit en warmte. De opwekking van warmte voor ruimteverwarming en tapwater is daarom een onderdeel van het energiesysteem.
- Lokale duurzame energieproductie is een gevolg van het streven naar meer duurzaamheid en een beperking van de CO₂ uitstoot. Duurzame productie is in dit verband productie waarvoor geen invoer van energie nodig is. De geijkte methoden zijn gebaseerd op zon, wind en lokale productie van biomassa. Warmtepompen kunnen een bijdrage leveren aan duurzame warmteopwekking, zie ook bijlage E.
- Continue afstemming van vraag en aanbod is een harde eis, waarin het systeem moet voorzien. Daarbij wordt gebruik gemaakt van lokale buffering, uitwisseling met landelijke netwerken en inzet van stuurbare energieconversiesystemen.

De onderlinge verhouding tussen buffering en uitwisseling is een belangrijk kenmerk van een energievoorzieningsconcept.

- Tenslotte wordt een concept gekenmerkt door de energiedragers die worden toegepast. In een woonwijk kunnen volgens de huidige inzichten vier verschillende soorten energiedragers ('energycurrencies'⁴) een rol spelen:
 - *elektriciteit*, direct gevraagd voor verschillende energiefuncties, 100% exergie
 - *warmte*, op verschillende temperatuurniveaus gevraagd voor de beheersing van het binnenklimaat en warm tapwater, hoe dan ook is de exergiewaarde laag
 - *gas/vloeibaar* (H_2 , *NG*, *SNG*, *methanol*, ...), niet direct nodig voor de vervulling van energiefuncties, energie in chemisch gebonden vorm met een hoge energiedichtheid, in principe 100% exergie, maar de mate waarin de exergie bruikbaar is, hangt af van de toegepaste conversietechnologie
 - *biomassa*, vaste stof, maar verder vergelijkbaar met gas en vloeibare brandstoffen

Al met al zijn de punten die een Lokaal Duurzaam Energiesysteem kenmerken:

- nadruk op minimaal verbruik c.q. minimale behoefte;
- (duurzame) productie;
- de schaalgrootte van de oplossingen;
- de afstemming van productie en verbruik door buffering, uitwisseling met de omgeving en stuurbare energieconversiesystemen;
- de keuze van dominante energiedragers en de opzet van de energieinfrastructuur.

4.4 Concepten

In grote lijnen zijn bij de discussiebijeenkomst vier interessante concepten voor energiesystemen uit de bus gekomen:

- A1 *Schoon fossiel met veel uitwisseling*: verder ontwikkeling van het traditionele systeem
- A2 *Schoon fossiel met beperkte uitwisseling*: tussenscenario
- A3 *Duurzaam (energieneutraal)*: radicaal vernieuwend
- B1 *Goedkope warmtelevering*: systeem gebaseerd op grootschalige levering van relatief goedkope warmte

4.4.1 A1 Schoon fossiel / veel uitwisseling

Van alle concepten staat '*schoon fossiel met veel uitwisseling*' het dichtst bij de bestaande praktijk. In dit concept wordt op grote schaal gebruik gemaakt van micro- en mini-W/K systemen, die gevoed worden met een fijn vertakt (aard)gasnet.

⁴ D.S. Scott, 'Energy Currencies', Int. J. Hydrogen energy, Vol. 19 No.3 pp. 199-201, 1994

AI Productie & eindverbruik		
<i>Productie</i>	<i>Categorie/component</i>	<i>Bijzonderheden</i>
Elektrisch	zon/PV	op plaatsen met relatief grote constante warmtevraag in woningen indien nodig
Elektrisch	wind/mini windturbine	
Elektrisch & warmte	mini-W/K	
Elektrisch & warmte	micro-W/K	
Warmte	zon/zonnecollector	
Biomassa	lokale teelt	
Gas	(hydro) vergassing vergisting	
<i>Eindverbruik</i>		
Op het eindverbruik wordt bezuinigd		

AI Energiedragers & infrastructuur		
<i>Energiedrager</i>	<i>Infrastructuur wijk</i>	<i>Uitwisseling</i>
Elektriciteit	fijnmazig net	aansluiting op landelijk net
Warmte	net, zo klein mogelijk, eventueel in de buurt van de mini-W/K installaties	geen uitwisseling
Biomassa	verzameling lokale productie bij centrale hydrovergassings – installatie	in principe geen uitwisseling
Gas (NG)	fijnmazig net	aansluiting op landelijk net

AI Buffering & uitwisseling		
<i>Buffering</i>	<i>Categorie/component</i>	<i>Bijzonderheden</i>
Elektrisch	warm water compact alternatief bunker	in combinatie met micro-W/K in combinatie met micro-W/K voldoende voor garantie van constante productie van de hydrovergasser
Warmte		
Warmte		
Biomassa		
<i>Uitwisseling</i>		
Uitwisseling van elektriciteit en gas vindt onbeperkt plaats via de aansluiting met de landelijk netten		

In de schoon fossiele wijk is de uitwisseling met landelijke netten groot, onder andere vanwege het gebrek aan opslagcapaciteit in de wijk zelf.

De eigen biomassaproductie wordt zo snel mogelijk omgezet in SNG, syngas of andere verbindingen die geschikt zijn voor het gasnet. De afstemming van de warmtevraag wordt vereenvoudigd door lokale warmtebuffering. In het algemeen geldt, dat de warmtevraag bepalend is voor het bedrijf van de W/K installaties. Zon/PV en waar mogelijk wind vormen in dit concept de basis van de duurzame elektriciteitsproductie.

4.4.2 A2 Schoon fossiel / beperkte uitwisseling

Het concept 'schoon fossiel met beperkte uitwisseling' zit qua karakter ergens tussen 'duurzaam' en 'schoon fossiel met veel uitwisseling' in.

A2 Productie & eindverbruik			
<i>Productie</i>	<i>Categorie/component</i>	<i>Bijzonderheden</i>	
Elektrisch Elektrisch Elektrisch & warmte	zon/PV wind/mini windturbine mini-W/K	op plaatsen met relatief constante warmtevraag indien nodig in combinatie met buffering	
Warmte Warmte Biomassa Gas	zon/zonnecollector elektrische warmtepomp lokale teelt (hydro) vergassing vergisting		
<i>Eindverbruik</i>			
Op het eindverbruik wordt bezuinigd			

A2 Energiedragers & infrastructuur		
<i>Energiedrager</i>	<i>Infrastructuur wijk</i>	<i>Uitwisseling</i>
Elektriciteit Warmte	fijnmazig net kleine plaatselijke netwerken waaieren uit van de mini-W/K installaties; netwerken liefst zo klein mogelijk	aansluiting op landelijk net geen uitwisseling
Biomassa	verzameling lokale productie bij centrale hydrovergassings – installatie	in principe geen uitwisseling
Gas (NG of H ₂)	net tot de lokaties van de mini- W/K en de hydrovergassings c.q. vergistingsinstallaties	aansluiting op landelijk net

A2 Buffering & uitwisseling		
<i>Buffering</i>	<i>Categorie/component</i>	<i>Bijzonderheden</i>
Elektrisch Warmte Warmte Warmte Biomassa	aquifer warm water compact alternatief bunker	in combinatie met warmtepomp in combinatie met warmtepomp in combinatie met warmtepomp voldoende voor garantie van constante productie van de hydrovergasser
Gas (H ₂)	tank	buffering NG in landelijk net
<i>Uitwisseling</i>		
Uitwisseling van elektriciteit en gas vindt plaats via de aansluiting met de landelijk netten, waarbij met name de buffercapaciteit van het landelijk gasnet interessant is.		

Om uitwisseling te beperken is buffering belangrijk in dit concept. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van waterstof, dat in een later stadium wordt omgezet in SNG, een stof die ook geschikt is voor het aardgasnet. De waterstofopslag kan de kiem vormen van een waterstofnetwerk tussen elektrolyse systemen en W/K installaties.

Een nadere (exergie)analyse moet uitsluitsel geven over de vraag naar de optimale verhouding tussen warmte uit W/K systemen en elektrische warmtepompen. De rol van zonnecollectoren lijkt in dit stadium hoogstens aanvullend.

4.4.3 A3 Duurzame energievoorziening (energieneutraal)

In het 'duurzame' concept is de energievoorziening van de wijk volledig gebaseerd op zon, wind en biomassa.

A3 Productie & eindverbruik		
<i>Productie</i>	<i>Categorie/component</i>	<i>Bijzonderheden</i>
Elektrisch	zon/PV	in combinatie met buffering in combinatie met buffering
Elektrisch	wind/mini windturbine	
Elektrisch & warmte	biomassa en W/K	
Warmte	zon/zonnecollector	
Warmte	elektrische warmtepomp	
Biomassa	lokale teelt	
<i>Eindverbruik</i>		
Op het eindverbruik wordt maximaal bezuinigd		

A3 Energiedragers & infrastructuur		
<i>Energiedrager</i>	<i>Infrastructuur wijk</i>	<i>Uitwisseling</i>
Elektriciteit	fijnmazig net	aansluiting op landelijk net
Warmte	productie zo dicht mogelijk bij eindverbruik; mogelijk kleine plaatselijke netwerken	geen uitwisseling
Biomassa	opslag lokale productie bij centrale biomassa en W/K installatie	beperkte uitwisseling mogelijk

A3 Buffering & uitwisseling		
<i>Buffering</i>	<i>Categorie/component</i>	<i>Bijzonderheden</i>
Elektrisch	redox/flow (elektrochemisch)	optie voor korte termijn opslag
Warmte	aquifer	in combinatie met warmtepomp
Warmte	compact alternatief	in combinatie met warmtepomp
Warmte	warm water	in combinatie met warmtepomp
Biomassa	bunker	vooral geschikt voor seizoensopslag
<i>Uitwisseling</i>		
Uitwisseling wordt zoveel mogelijk beperkt, maar is mogelijk via biomassa en de aansluiting op het landelijk elektriciteitsnet.		

In een uitvoering met voldoende buffercapaciteit (lange en korte termijn) kan de duurzame wijk volkomen autark bedreven worden. De afstemming van vraag en aanbod kan worden vereenvoudigd door invoering van systemen om de vraag te beïnvloeden.

4.4.4 B Goedkope warmtelevering

‘Goedkope warmtelevering’ is een concept dat qua karakter sterk afwijkt van het spectrum dat in de vorige drie paragrafen is geschetst, vanwege de overvloed van grote hoeveelheden laagwaardige rest- of aardwarmte. Energifuncties worden maximaal vervuld met warmte.

B Productie & eindverbruik		
<i>Productie</i>	<i>Categorie/component</i>	<i>Bijzonderheden</i>
Elektrisch	zon/PV	om laatste restje exergie uit de warmte te halen
Elektrisch	wind/mini windturbine	
Elektrisch	Organic Rankine Cycle (ORC)	
Biomassa	lokale teelt	
<i>Eindverbruik</i>		
Op het eindverbruik wordt bezuinigd		

B Energiedragers & infrastructuur		
<i>Energiedrager</i>	<i>Infrastructuur wijk</i>	<i>Uitwisseling</i>
Elektriciteit	fijnmazig net	aansluiting op landelijk net
Warmte	fijnmazig net	aansluiting op net (import)
Biomassa	centrale verzameling lokale productie	export

B Buffering & uitwisseling		
<i>Buffering</i>	<i>Categorie/component</i>	<i>Bijzonderheden</i>
Elektrisch	bunker	
Warmte		
Biomassa		
<i>Uitwisseling</i>		
Uitwisseling van elektriciteit en import van warmte vindt onbeperkt plaats via de aansluiting met de (landelijke) netten		

Elektriciteitsoverschotten worden teruggeleverd aan het landelijke net, tekorten worden aangevuld uit het net, waarbij de ORC's een afstemmende functie hebben. In feite wordt dan gebruik gemaakt van buffercapaciteit van het warmtenet.

5. SYSTEEMBEOORDELING

5.1 Inleiding

In hoofdstuk vier zijn de algemene concepten uitgewerkt voor de toekomstige energiesystemen van woonwijken. Wat duurzaamheid betreft, bieden de A2 en A3 concepten de meeste mogelijkheden. Dit zijn tegelijk ook de concepten die het best tot hun recht komen in wijken met een relatief lage warmtevraag. Voor toekomstige nieuwbouwwijken, die opvallen door een kleine warmtebehoefte, zijn daarom een aantal A2 en A3 concepten uitgewerkt voor verdere beoordeling.

De kern van de beoordeling is een quasi-statische analyse van de energiestromen in een concept energiesysteem met een simulatieprogramma op basis van Matlab/Simulink. De tijdsresolutie van de analyse is een kwartier, de tijdsduur een jaar. Met de uitkomsten van de analyse zijn vervolgens de kosten, duurzaamheid en synchroniteit van een systeem bepaald.

5.2 ‘Cases’

Ook in de toekomst houden alle woningen een aansluiting op het elektriciteitsnet. Een belangrijke nieuwe functie van het net is de uitwisseling van decentraal opgewekte (duurzame) elektriciteit.

In alle cases gaan we uit van een elektriciteitseindverbruik van 11,2 GJ (3116 kWh) per jaar. Ten opzichte van de verwachte groei tot 2010 (zie tabel 2.1) betekent dit een besparing van ruim 10%.

De belangrijkste verschillen tussen concept energiesystemen komen tot uitdrukking in de tweede energie aansluiting van de woningen. Die kan bestaan uit een bron van lage temperatuur warmte, een bron van hoge temperatuur warmte of een aansluiting op het gasnet. In tabel 5.1 zijn de concepten daarom ingedeeld aan de hand van de tweede energie aansluiting.

Tabel 5.1 Indeling van energiesystemen naar tweede energie aansluiting

	<i>Niet duurzaam</i>	<i>Beperkt duurzaam</i>	<i>Duurzaam</i>
Gasdistributie	0-systeem	A3-1	
Hoge Temp. warmtelevering		A2-1	A3-2
Lage Temp. warmtelevering		A2-2 (EPC 0,6) A2-2 (EPC 0,3)	A3-3 (EPC 0,6) A3-3 (EPC 0,3)
LT warmtelevering & H ₂ opslag			A2-3

Alle concept energiesystemen met beoordeling worden in detail gepresenteerd in bijlage F.

Het niet-duurzame 0-systeem is de traditionele energievoorziening met centrale elektriciteitsopwekking en decentrale warmteproductie met HR combi-ketels. Het A3-1 systeem is een variant, waarin het traditionele systeem is uitgebreid met een flink oppervlak PV (24 m²) en een behoorlijk zonneboiler (6 m²).

Ook in de varianten met Hoge Temperatuur (HT) warmtelevering vormt PV de basis voor duurzame elektriciteitsvoorziening. De hoge temperatuur warmte wordt in de A2-1 variant voor een deel opgewekt met mini-W/K systemen, terwijl dit in de duurzame A3-2 variant volledig gebeurt met zonnecollectoren en lange termijn warmtebuffering (aquifers). De HT warmte bereikt de woningen via een klein distributienetwerk (typisch op blokniveau).

Bij de varianten met Lage Temperatuur warmtelevering wordt nuttige hoge temperatuur warmte opgewekt met (elektrische) warmtepompen, die aan de koude kant zijn aangesloten op

een Lage Temperatuur warmtebron. De LT warmtebron kan, afhankelijk van de lokale situatie, bestaan uit lucht warmtewisselaars, bodem warmtewisselaars of een lage temperatuur warmtenet, dat gevoed wordt met warmte uit mini-W/K systemen, combi-zonnepanelen en aquifers. De LT varianten zijn doorgerekend voor woningen met de standaard EPC van 0,6 en woningen met een lagere warmtebehoefte voor ruimteverwarming, EPC 0,3.

De A2-3 variant is de meest futuristische van alle varianten. Qua uitvoering lijkt dit concept het meest op de A2-2 variant met als extra elektriciteitsopslag in de vorm van waterstofopslag. De A2-3 variant is echter 100% duurzaam met een minimum aan energieuitwisseling.

5.3 Duurzaamheid en uitstoot fossiele koolstof

De concept energiesystemen zijn doorgerekend voor één woonblok met identieke woningen en huishoudens (zie tabel 5.2 en §F.1).

Tabel 5.2 Opbouw Wijk

Aantal blokken	1	
Blok 1	Aantal woningen EPC Huishoudengrootte Tijdverdeling bewonersgedrag Temp. warm tapwater Temp. voor ruimteverwarming	40 0,6 ('base case') en 0,3 2 personen normaal met standaarddeviatie van 60 minuten 65 °C 65 °C 45 °C (bij lage temp. verwarming)

De biomassa die in de wijk wordt geproduceerd, wordt niet ter plaatse verwerkt, maar wordt wel toegerekend aan de lokale duurzame energieproductie. De grootte van de duurzame productie uit biomassa wordt voor 2015 geschat op 1,0 GJ (265 kWh) elektriciteit per woning per jaar en 1,1 GJ (36 Nm³) gas per woning per jaar, zie tabel D.7. Dit is minder dan 10% van het verwachte eindverbruik. Het hangt sterk van de infrastructuur en de toekomstige regelgeving af in hoeverre dit potentieel binnen de wijk zelf benut kan worden.

Duurzaamheid is gedefinieerd als de mate waarin het eindverbruik door lokale duurzame energieproductie wordt gedekt.

De C-uitstoot is de uitstoot zuivere koolstof van fossiele oorsprong in kilo's (in de werkelijkheid natuurlijk in de vorm van CO₂). De C-uitstoot wordt berekend met de EPL tabellen van de Novem (zie ook bijlage F).

De resultaten van de bepaling van de duurzaamheid en koolstof uitstoot zijn samengevat in tabel 5.3 en fig. 5.1 en 5.2.

Tabel 5.3 Duurzaamheid en jaarlijkse uitstoot van fossiele koolstof per woning

		Duurzaamheid [%]	Eindverbruik [GJ/woning.jaar]	C-uitstoot [kg/woning.jaar]
Gasdistributie	0-systeem	8,2	25,5	528
	A3-1*	71,7	25,5	129
HT warmtelevering	A2-1	51,4	25,5	261
	A3-2	107,1	25,5	0
LT warmtelevering	A2-2 (EPC 0,6)	57,6	25,5	285
	A3-3 (EPC 0,6)	108,2	25,5	0
	A2-2 (EPC 0,3)	58,2	21,3	258
	A3-3 (EPC 0,3)	113,7	21,3	0
LT warmtelevering & H ₂ opslag	A2-3	>100%	25,5	0

* Een hoger percentage duurzaamheid is binnen dit concept, zonder lange termijn warmteopslag, niet haalbaar.

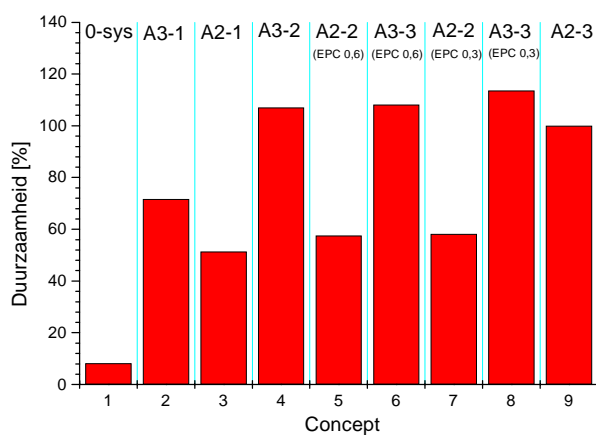


Fig. 5.1 Duurzaamheid van de verschillende concepten

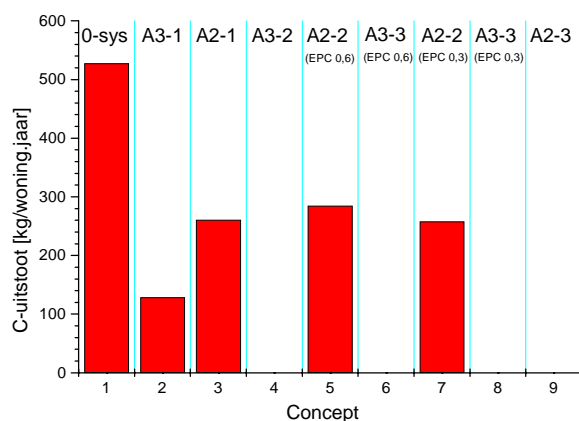


Fig. 5.2 C-uitstoot per woning voor de verschillende concepten

Verlaging van de EPC van 0,6 naar 0,3 heeft in ons geval alleen consequenties voor het eindverbruik voor ruimteverwarming. Omdat het energiegebruik voor de bereiding van warm tapwater in dit EPC-bereik dominant is, valt de totale verlaging van het eindverbruik tegen. Maatregelen die leiden tot een verlaging van de energiebehoefte voor warm tapwater zetten in deze context meer zoden aan de dijk.

5.4 Maatschappelijke 'synchroniteit'

In een concept voor een energieneutrale wijk wordt per jaar evenveel energie opgewekt als er in de huishoudens en wijkgebonden utiliteit wordt gevraagd. De energievraag zal zelden precies gelijk zijn aan wat er op datzelfde moment wordt opgewekt. Een overschot kan worden opgeslagen en worden gebruikt wanneer er minder dan de vraag wordt opgewekt, maar een overschot of tekort kan ook worden uitgewisseld met de rest van de samenleving. Net als in de huishoudens verandert de vraag in de maatschappij van minuut tot minuut. Het zou voordelig zijn wanneer de wijk energie over heeft op momenten dat de vraag in de maatschappij hoog is, en dat de wijk energie vraagt op momenten dat de maatschappij weinig vraagt. Om dit te kwantificeren is de term maatschappelijke synchroniteit ingevoerd, en een methode ontwikkeld om deze te bepalen. Deze is beschreven in bijlage G. Hierbij is gebruik gemaakt van een tijdreeks die de inkoop van een Nederlands distributiebedrijf in een recent jaar weergeeft.

In tabel 5.4 zijn de resultaten van de synchroniteitsberekeningen samengevat. De kosten voor elektriciteit en gas en de synchroniteiten zijn bepaald door de methode van bijlage G toe te passen met gemiddelde prijzen voor elektriciteit en gas van respectievelijk 6,5 cent per kilowattuur en 36 cent per kubieke meter van 31,7 MJ LHV (Stookwaarde).

Tabel 5.4 Synchroniteit van verschillende systemen en gemiddelde energieprijzen

	Systeem	Elektriciteit			Aardgas			
		Verbruik	Synchro niteit	Kosten	Verbruik	Synchro niteit	Gem.prijs	Kosten
		GJ	-	NLG/jaar	GJ	-	ct/m ³	NLG/jaar
Gasdistributie	0 (Ref.)	11,22	-1,04	210	15,91	-1,22	43,87	221
	A3-1	0,29	5,43	-29	13,60	-1,45	52,04	224
HT warmte levering	A2-1	-0,74	-1,22	-16	22,24	-1,05	37,94	267
	A3-2	0,29	5,43	-29				
LT warmte levering	A2-2	1,62	-0,87	25	18,78	-1,03	37,04	220
	A3-3	-0,08	-37,05	-52				

Aan de dimensieloze synchroniteitsfactor van elektriciteit op zichzelf is niet direct te zien of het systeem een goede of slechte synchroniteit heeft. De concepten A3-1 en A3-2, waarvan het elektrisch gedeelte identiek is, hebben een hoge positieve synchroniteitsfactor. Te zien is dat de concepten netto energie uit het net vragen, maar toch geld terugkrijgen, wanneer de elektriciteit op een elektriciteitsmarkt wordt aangeboden. Hier betekent de positieve synchroniteitsfactor dat de wijk op gunstige momenten vraagt en levert. Het concept A3-3 geeft echter met een klein productieoverschot en een zwaar negatieve synchroniteit een nog grotere financiële opbrengst voor de wijk te zien. Het hangt van het teken van het verbruik af hoe de synchroniteit gewaardeerd moet worden. Is het teken van verbruik en synchroniteit gelijk dan betekent een hogere absolute waarde van de synchroniteit dat het productiepatroon van de wijk beter met het vraagpatroon van de maatschappij interfereert. Bij een ongelijk teken van verbruik en synchroniteit vraagt en levert de wijk op ongunstige momenten. Naarmate de absolute waarde van de synchroniteitsfactor hoger is, is de synchroniteit ongunstiger.

De A3 concepten zijn concepten met een groot aandeel PV. Dit zijn ook de concepten met een negatieve elektriciteitsrekening. Dat betekent dat de opbrengst van de PV cellen in hoge mate synchroon is met de vraag naar elektriciteit in de maatschappij. Met andere woorden: de elektriciteit van PV komt vrij op momenten dat de samenleving die het meest nodig heeft.

De concepten met warmtekracht (de A2 concepten) worden gestuurd op de warmtevraag. Die is overdag laag, wanneer de maatschappij de hoogste energievraag heeft. De synchroniteit van de warmtekrachtconcepten kan worden verbeterd door de warmtekrachtinstallaties vooral overdag te laten werken, en de warmte in de buffer op te slaan voor gebruik 's avonds en de volgende ochtend.

Bij aardgas is de synchroniteit in één oogopslag duidelijker. Dat komt doordat hier geen teruglevering plaatsvindt. De kosten blijken goed met de synchroniteit overeen te komen, en er kan een gemiddelde prijs worden berekend die aangeeft of een concept al of niet warmte vraagt op momenten dat de vraag van de maatschappij hoog is. In de tabel is te zien dat de A2 concepten de laagste prijs per m³ betalen. Dat zijn de systemen met een warmtekrachtinstallatie. De lagere prijs betekent dat zij de meest gelijkmatige gasvraag hebben. De andere concepten gebruiken alleen gas voor pieklast, en de pieken vallen uiteraard op de momenten dat de landelijke vraag ook het grootst is. Deze concepten hebben een lagere synchroniteit en een hogere gemiddelde prijs per kubieke meter.

5.5 Ordegrootte kosten

De jaarkosten van de verschillende systemen zijn samengevat in tabel 5.5. De achtergronden van de quickscan zijn uitgewerkt in bijlage H.

Tabel 5.5 Jaarkosten van de verschillende systemen (gulden)

	<i>Systeem</i>	<i>Investing</i>	<i>Kapitaallast</i>	<i>O&M</i>	<i>Energie</i>	<i>Heffingen</i>	<i>Jaarkosten</i>
Gasdistributie	0 (Ref.)	6133	520	208	431	254	1413
	A3-1	24532	1832	452	195	42	2521
HT warmte levering	A2-1	34656	2883	786	250	98	4017
	A3-2	36691	2680	689	-29	-17	3323
LT warmte levering	A2-2	24052	2189	619	245	116	3169
	A3-3	37057	2943	688	-52	-22	3557

De voor de hand liggende uitkomst is, dat het referentiesysteem het goedkoopst is. Het goedkoopste A3 systeem is dat met de hulpbrander. Het hoge temperatuur aquifer systeem en het lage temperatuursysteem met de warmtepompen zijn duurder. Minder voor de hand liggend is dat de volledig duurzame A3 systemen goedkoper zijn dan het schoon fossiele systeem A2-1. De in 2010 nog steeds hoge kosten van de brandstofcel zullen daar debet aan zijn. Het A2-2 systeem is iets goedkoper dan de duurste A3 systemen.

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De conclusies en aanbevelingen spitsen zich toe op de ontwikkeling van de energievraag en de uitwerking van de concepten. Het uitgangspunt is steeds een nieuwbouwwijk anno 2010. De EPC van de woningen is 0,6 of lager.

6.1 Conclusies

Energievraag

- De energiebehoefte voor ruimteverwarming neemt in de toekomst (2010) sterk af door verdergaande energiebesparing.
- De energiebehoefte voor de bereiding van warm tapwater zal in de toekomst stabiliseren of toenemen, tenzij bijzondere besparingsmaatregelen worden genomen.
- Warm tapwater vormt in de toekomst het leeuwendeel van de warmtevraag.
- Het elektriciteitsverbruik vertoont een sterke neiging verder te stijgen. Naar verwachting neemt het huishoudelijk elektriciteitsverbruik met zo'n 20% toe tussen 1995 en 2010.

Biomassaproductie

- Uit de inventarisatie van de afval en biomassa stromen blijkt dat in de toekomst de wijkgebonden biomassa productie ongeveer 10% van het totale energiegebruik kan dekken. Van die 10% kan een deel lokaal verwerkt worden tot elektriciteit of secundaire brandstof.

Concepten

- Grootschalige toepassing van Warmte/Kracht en PV betekent dat uitwisseling van elektriciteit via een fijn vertakt distributienet mogelijk moet zijn.
- Bij beschouwing van de concepten is uitgegaan van een beperking van het elektriciteitsverbruik van 10% ten opzichte van de verwachte toename. Deze besparing is een gevolg van een grotere eindgebruikersefficiëntie, waarvoor de benodigde technologieën nog ontwikkeld of in gebruik genomen moeten worden.
- Thermische zonne-energie in combinatie met seizoensopslag, geeft uitzicht op een volledig duurzame warmtevoorziening. Wordt het collectorsysteem gedimensioneerd op de totale jaarlijkse vraag, dan is voor duurzame warmtevoorziening, de benodigde grootte van de seizoensopslag gemiddeld iets kleiner dan 10 GJ_{th} per woning. Met een lagere buffercapaciteit kan worden volstaan bij vergroting van het collectoroppervlak of bij niet volledig duurzame systemen.
- In een concept waarin mini-W/K installaties en hoge temperatuur zonnecollectoren een centrale rol spelen, is het tweede distributienetwerk een hoge temperatuur warmtenet. In dit geval is niet meer per woning een aansluiting op het aardgasnet noodzakelijk.

- Het is ook mogelijk, in plaats van hoge temperatuur, lage temperatuur warmte aan de woning toe te voeren. In de woning wordt deze warmte met behulp van een (elektrische) warmtepomp op het gewenste temperatuurniveau voor tapwater en ruimteverwarming gebracht. In deze studie is de aanwezigheid van een lage temperatuur netwerk verondersteld. De (duurzame) warmte in het lage temperatuur netwerk is afkomstig van combi-zonnepanelen, (bodem-) warmtewisselaars en eventueel mini-W/K systemen.
- In alle vernieuwende concepten neemt de warmtebehoefte sterk af. Dit heeft bij de concepten met een fijn vertakt aardgas net, gevolgen voor het aardgas verbruik per woning. In het referentieconcept is het aardgasverbruik door diverse isolatiemaatregelen, teruggebracht tot 502 Nm³/jaar. Door dit concept uit te breiden met een zonneboiler loopt het aardgasverbruik terug tot 315 Nm³/jaar.

Maatschappelijke synchroniteit

- De PV productie loopt in alle concepten in hoge mate synchron met het verloop van de maatschappelijke waarde van elektriciteit. PV levert daarmee (in eerste instantie) een bijdrage aan de bufferfunctie van het elektriciteitsnet. Pas bij een aanzienlijk aandeel PV in de elektriciteitsvoorziening wordt buffering van elektriciteit urgent.

Technologieën

- De belangrijkste technologieën die in veelbelovende concepten worden toegepast, zijn
 - PV;
 - micro-windturbines als aanvulling op PV;
 - zonnecombipanelen met lage temperatuur warmte productie;
 - zonnecollectoren;
 - kleinschalige hoge temperatuur warmtebuffering;
 - seizoensopslag van lage- of hoge temperatuur warmte (aquifers);
 - elektrische warmtepompen (in combinatie met lage temperatuur warmtedistributie en hoge temperatuur warmteopslag)
 - mini-W/K systemen

6.2 Aanbevelingen

- De energievraagpatronen die tijdens de studie zijn opgesteld, zijn welliswaar plausibel, maar zeker niet geverifieerd. Het is nuttig hier in de toekomst aandacht aan te besteden.
- In deze studie zijn de kosten berekend met behulp van het ‘Technologisch Raamwerk’. Hierin is de te verwachten toekomstige prijsontwikkeling niet meegenomen. Een goede vergelijking tussen de verschillende concepten is hierdoor niet mogelijk. Daarnaast zal, doordat de energieinfrastructuur tussen de concepten sterk varieert, ook de kosten van de infrastructuur in de vergelijking moeten worden betrokken.
- Er is een goede kans dat in de toekomst de behoefte aan koeling in de woning toeneemt. Hiermee moet bij het ontwikkelen van concepten voor het energiesysteem van een wijk rekening worden gehouden.

A. TOEKOMSTIGE ONTWIKKELING VAN HET ENERGIEGEBRUIK VAN HUISHOUDENS

In deze paragraaf wordt aan de hand van het GC scenario (Global Competition, opgesteld door het CPB) de ontwikkeling van het huishoudelijk energieverbruik tot 2010 bekeken.

Om een indruk te krijgen van deze ontwikkeling zal dit energieverbruik gesplitst moeten worden in een woning- en gedragscomponent. Een toekomstige woning met een lagere EPC-waarde houdt bijvoorbeeld in dat het energieverbruik nodig voor verwarming minder kan worden zonder dat het gedrag van de bewoners wijzigt. Aan de andere kant kan onafhankelijk van het type woning de hoeveelheid luxe huishoudapparatuur in een huishouden toenemen.

Het huishoudelijk energieverbruik zal daarom worden gesplitst in:

- woninggebonden energieverbruik
Hieronder wordt verstaan energiegebruik dat vooral samenhangt met het type woning: ruimteverwarming en ventilatie, bereiding van warm tapwater en verlichting.
- apparaatgebonden energieverbruik
Hieronder wordt verstaan energieverbruik dat samenhangt met huishoudelijke apparaten nodig voor reiniging, het koelen en bereiden van voedsel en audio/video/ telecommunicatie.

A.1 Woninggebonden energieverbruik

Het woninggebonden energieverbruik wordt vooral bepaald door het verbruik per woning en het totaal aantal woningen. Dit totaal aantal hangt weer af van het aantal inwoners in Nederland en de huishoudensgrootte. De ontwikkeling hiervan is weergegeven in tabel A.1.

Tabel A.1 Ontwikkeling van de totale bevolking, het aantal huishoudens en de gemiddelde gezinsgrootte volgens het GC scenario (Arkel, 1999)

	1995	2000	2010
Inwoners Nederland (mln.)	15,5	15,9	16,5
Aantal Huishoudens (×1000)	6529	6897	7580
Personen / huishouden	2,33	2,27	2,15
Aandeel 1-persoons hh.	32%	34%	37%
Aandeel 2-persoons hh.	30%	30%	32%
Aandeel meerpersoons hh.	38%	36%	31%

Als gevolg van de gezinsverduunning neemt het aantal huishoudens toe en het aantal personen per huishouden af. Hierdoor zal ook het aantal woningen toenemen, dit houdt ongeveer gelijke tred met het aantal huishoudens.

Ruimteverwarming en ventilatie

De toename van het aantal woningen zal meer dan gecompenseerd worden door het dalen van de gemiddelde energievraag voor ruimteverwarming per woning. De daling van het aardgasverbruik wordt enerzijds veroorzaakt doordat de gemiddelde nieuwbouwwoning in 2010 circa 30% zuiniger zal zijn dan een nieuwbouwwoning in 1995 en anderzijds door de grotere penetratie van HR-ketels tot boven de 70% in 2010. Het elektriciteitsverbruik neemt toe doordat in nieuwbouwwoningen vaker gebruik gemaakt wordt van mechanische ventilatie gecombineerd met (gebalanceerde) warmteterugwinning. Een tweede factor die hierbij een rol speelt is de geleidelijke toename van de penetratie van airconditioning. De vraag naar warmte in plaats van

aardgas of elektriciteit zal toenemen door een groter aandeel van stadsverwarming en andere collectieve warmtesystemen.

In tabel A.2 is de ontwikkeling van de energievraag voor ruimteverwarming en ventilatie weergegeven.

Tabel A.2 Ontwikkeling van het verbruik voor ruimteverwarming op nationale schaal volgens het GC scenario (Jeeninga, 1998; Arkel, 1999)

		1990	1995	2000	2010
Aardgas	PJ	304	300	290	292
Elektriciteit	PJ _e	5,7	5,9	7,5	7,9
Warmte	PJ _{th}	5,7	6,7	8,1	10,2
Olieproducten	PJ	4,9	3,5	2,7	1,4

Warm tapwater

De ontwikkeling van het energieverbruik voor warm tapwater wordt bepaald door de tapwatervraag en het type en rendement van het energieaanbodstelsel. De energievraag voor warm tapwater per woning zal toenemen door een grotere persoonlijke tapwatervraag. Het aandeel van de combiketel en de close in aanrechtboiler neemt sterk toe ten koste van het aandeel van de gasgeiser en de (grote) elektrische hoofdboiler. Het effect van hot-fill apparatuur op de ontwikkeling van de vraag naar warm tapwater is tot 2010 vrijwel verwaarloosbaar. In tabel A.3 zijn deze ontwikkelingen weergegeven.

Tabel A.3 Ontwikkeling van de energievraag voor warm tapwater en de warm tapwatervraag volgens het GC scenario (Arkel, 1999)

		1990	1995	2000	2010
Aardgas	PJ	66	79	83	85
Elektriciteit	PJ _e	5,4	6,3	7,5	8,7
Warmte	PJ _{th}	1,1	1,5	2,1	3,5
Olieproducten	PJ	1,6	1,6	1,3	1,2
Tapwatervraag per woning	l/dag	76	88	94	106

Verlichting

De energievraag voor verlichting bestaat uit een apparaatgebonden deel en een deel leefstijl ofwel verlichtingsbehoefte.

Het totale energieverbruik voor verlichting zal stijgen. Dit komt door de toename van het aantal huishoudens en een grotere verlichtingsbehoefte. De stijging in toename van de penetratie van energiezuinige verlichting (spaarlampen) is onvoldoende om dit te compenseren. In tabel 4 is de ontwikkeling van de energievraag voor verlichting weergegeven alsmede de verlichtingsbehoefte.

Tabel A.4. Ontwikkeling van de energievraag voor verlichting en de verlichtingsbehoefte volgens het GC scenario (Arkel, 1999)

	1990	1995	2000	2010
Vraag (PJ _e)	10,7	10,9	12,1	14,7
Behoefte (index)				
1-persoons hh.	100	110	122	149
2-persoons hh.	100	108	116	135
meerpersoons hh.	100	108	113	125

A.2 Apparaatgebonden energieverbruik

Het apparaatgebonden energieverbruik hangt samen met de penetratiegraad van de verschillende huishoudelijke apparaten. De verwachting is dat deze vooral zal toenemen voor de zwaardere apparaten zoals wasdrogers en vaatwassers. Tevens zal de penetratie toenemen van hot-fill apparatuur. Ook zal de penetratiegraad van bijvoorbeeld waterbedden en whirlpools stijgen. In deze paragraaf wordt de indeling aangehouden zoals in het begin van het hoofdstuk: onderscheiden wordt het energiegebruik voor reiniging en het overig energieverbruik.

Reiniging

In tabel A.5 is de verwachte ontwikkeling van de energievraag voor reiniging weergegeven. Hierin is hot-fill apparatuur opgenomen. Ook zijn enige penetratiegraden vermeld.

Tabel A.5 Ontwikkeling van de energievraag voor reiniging met penetratiegraden⁵ volgens het $GC_{leefstijl}$ scenario (Jeeninga, 1998).

	1990	1995	2000	2010
Penetratie wasmachine (%)	96%	97%	98%	99%
w.o. hot-fill (%)	0%	1%	3%	20%
Elektriciteitsverbruik wasmachine (PJ_e)	4,8	4,5	4,2	3,9
Gasverbruik wasmachine (PJ)	0,0	0,0	0,2	1,0
Penetratie wasdrogers (%)	30%	51%	70%	85%
w.o. gasgestookt (%)	0%	0%	2%	4%
Elektriciteitsverbruik wasdroger (PJ_e)	3,3	5,8	8,3	10,5
Gasverbruik wasdroger (PJ)	0,0	0,0	0,3	0,5
Penetratie vaatwasser (%)	10%	21%	42%	64%
w.o. hot-fill (%)	0%	0%	2%	8%
Elektriciteitsverbruik vaatwasser (PJ_e)	0,8	1,4	2,6	3,3
Gasverbruik vaatwasser (PJ)	0,0	0,0	0,1	0,5

Overig energieverbruik

Het overig energieverbruik is alle verbruik tezamen van de overige energiefuncties, zoals koelen, audio/video/telecommunicatie, persoonlijke verzorging en overige apparaten. In tabel A.6 wordt de verwachte ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik hiervan weergegeven.

Tabel A.6 Ontwikkeling van het overige energieverbruik van huishoudens volgens het $GC_{leefstijl}$ scenario in PJ_e (Jeeninga, 1998).

	1990	1995	2000	2010
Koelen/vriezen	11,6	13,2	13,1	16,3
Koken	5,7	6,7	7,7	7,7
Gas voor koken (PJ)	11,3	10,1	9,3	7,6
Audio/video/telecommunicatie	6,9	9,7	11,0	10,4
Hobby	0,3	0,8	1,2	1,7
Persoonlijke verzorging	2,5	3,5	5,1	11,2
w.o. waterbed	0,5	1,4	2,7	6,8
Overige apparaten	9,7	14,0	17,3	23,3

⁵ Aantal apparaten (penetratie) per huishouden

A.3 Totaal energieverbruik

In tabel A.7 is tenslotte de ontwikkeling van het totale energieverbruik van huishoudens weergegeven.

Tabel A.7 Ontwikkeling van het totale huishoudelijk energieverbruik volgens het GC_{leefstijl} scenario (Jeeninga, 1998)

	<i>1990</i>	<i>1995</i>	<i>2000</i>	<i>2010</i>
Elektriciteit (PJ _e)	60,0	70,9	81,0	96,9
Aardgas (PJ)	381	389	382	385

A.4 Literatuur

(Jeeninga, 1998)

H. Jeeninga, O. van Hilten *Bepaling bandbreedte in de ontwikkeling van het huishoudelijk elektriciteitsverbruik*, ECN-C--98-049, 1998

(Arkel, 1999)

W. G. van Arkel, H. Jeeninga, M. Menkveld, G.J. Ruijg *Energieverbruik van gebouwgebonden energiefuncties in woningen en utiliteitsgebouwen*, ECN-C--99-084, 1999

B. CONSTRUCTIE VAN PATRONEN

B.1 Inleiding

De patronen die hier afgeleid worden bestaan uit een reeks van 35040 cijfers (het aantal kwartieren in 1997). Deze cijfers stellen het verbruik voor in een bepaald kwartier (kWh/kwartier) ofwel de belasting (in kW). Aangezien 5 huishoudtypen worden onderscheiden zullen voor elke verbruikstoepassing 5 reeksen moeten worden geconstrueerd. Komt het verbruik in een reeks overeen met het verbruik zoals weergegeven in tabel 3.2, dan kan deze reeks worden genormeerd tot een reeks met gemiddelde 1. Om de oorspronkelijke reeks weer te verkrijgen hoeft de genormeerde reeks slechts vermenigvuldigd te worden met het gemiddelde verbruik per kwartier. Dit is het jaarverbruik gedeeld door het aantal kwartieren in een jaar. Op deze manier kan tevens rekening gehouden worden met een gewijzigd verbruik per toepassingsgebied.

De seizoensinvloed zoals weergegeven in tabel 3.4 komt tot uitdrukking in het overig niet-continu patroon. In de overige patronen is al een seizoensinvloed verwerkt (verlichting, warm tapwater) of geen seizoensinvloed verondersteld (reiniging).

B.2 Warm tapwater

De totale warmtevraag voor warm tapwater kan worden afgeleid uit (NEN 5128, 1998). Hierin wordt een standaard tappatroon gegeven. De patronen voor de vijf typen huishoudens kunnen worden verkregen door het (eenpersoons)patroon te vermenigvuldigen met het verbruik zoals weergegeven in tabel 3.2.

Het standaard tappatroon bestaat uit een behoefte aan warm tapwater in liters per minuut van water met een bepaalde temperatuur op bepaalde momenten. De benodigde hoeveelheid energie wordt nu bepaald aan de hand van de taphoeveelheid, het temperatuurverschil tussen het koude en het warme water en het rendement van het verwarmingsapparaat.

Voor de temperatuur van het koude water is de temperatuur van de bodem op 1 meter diepte aangehouden. Voor het rendement is 90% genomen. In figuur B.1 is het eenpersoons dagpatroon weergegeven van een gemiddelde dag in 1997.

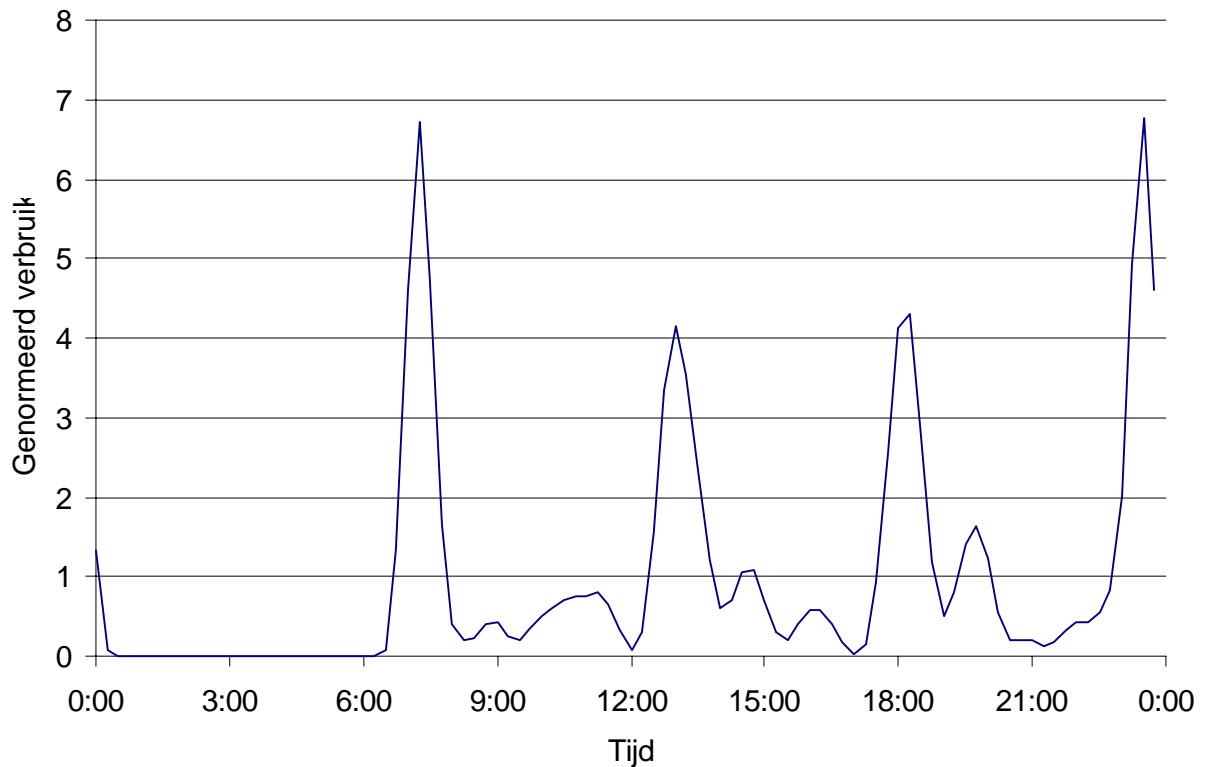


Fig. B.1 Dagpatroon voor warmtevraag voor verwarming van tapwater

B.3 Reiniging

Het verbruikspatroon van wasmachine, vaatwasser en wasdroger samen is geconstrueerd aan de hand van een gestileerd patroon. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- 's nachts is er nauwelijks een verbruik
- de belasting neemt 's ochtends sneller toe dan dat hij 's avonds afneemt
- bij kleine huishoudens is er 's middags een belastingdip
- naarmate de huishoudengrootte toeneemt zal het verbruik over een dag meer continu zijn
- het begin van de belastingtoename 's ochtends vindt zaterdags een uur later plaats dan op een werkdag, en zondags een uur later dan op zaterdag

De maximale (dagelijkse) belasting per huishoudentype is zo gekozen dat het totaal jaarlijkse verbruik overeenkomt met de waarden in tabel 3.2. Voor het uiteindelijke patroon zoals weergegeven in figuur B.2 is het verbruik genormeerd op de gemiddelde belasting.

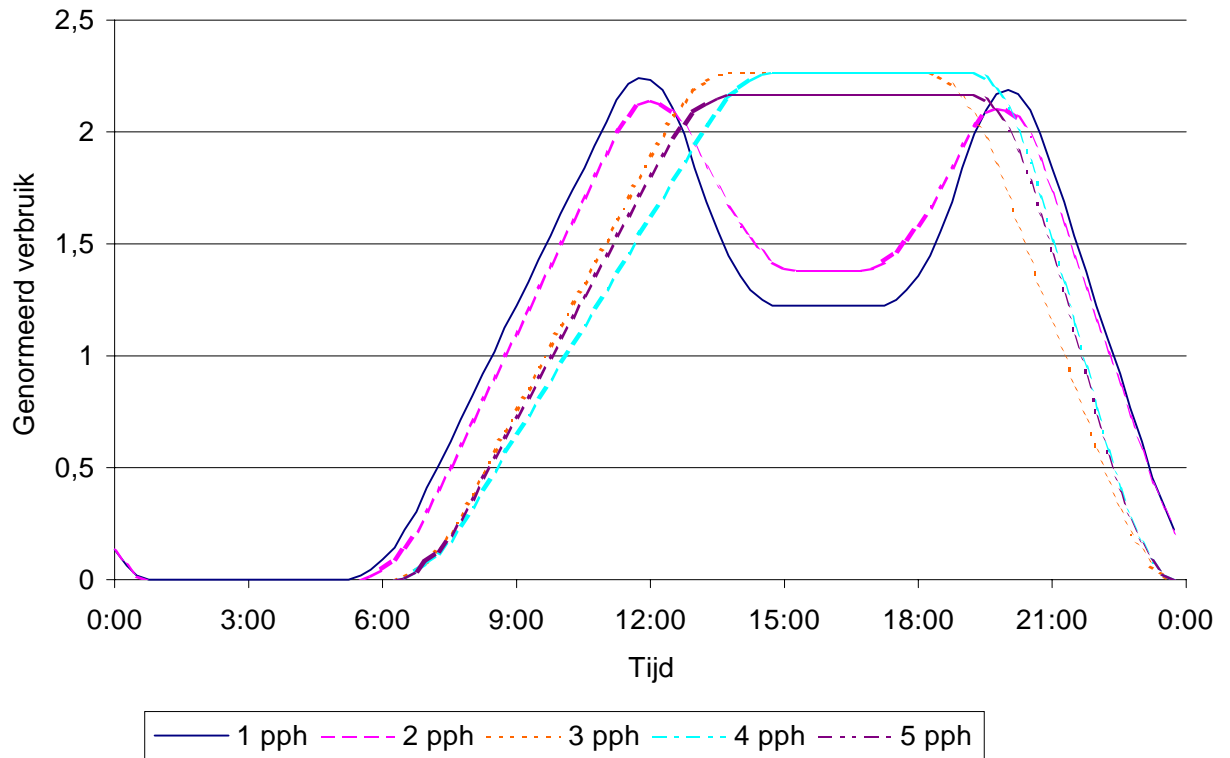


Fig. B.2 Verbruikspatroon voor reiniging op een gemiddelde werkdag

B.4 Verlichting

Het patroon voor verlichting is afgeleid van een opbrengsten curve van een PV cel. Daarbij is aangenomen dat er een verlichtingsbehoefte bestaat indien de output van deze cel minder is dan 10% van de maximum output. 's Nachts is er echter nauwelijks een verlichtingsbehoefte, daarom zijn voor deze behoefte dezelfde patronen aangehouden als voor reiniging. Wanneer deze twee patronen met elkaar worden gecombineerd en gedimensioneerd op het verbruik voor verlichting wordt het verlichtingspatroon verkregen. In figuur B.3 is dit patroon weergegeven.

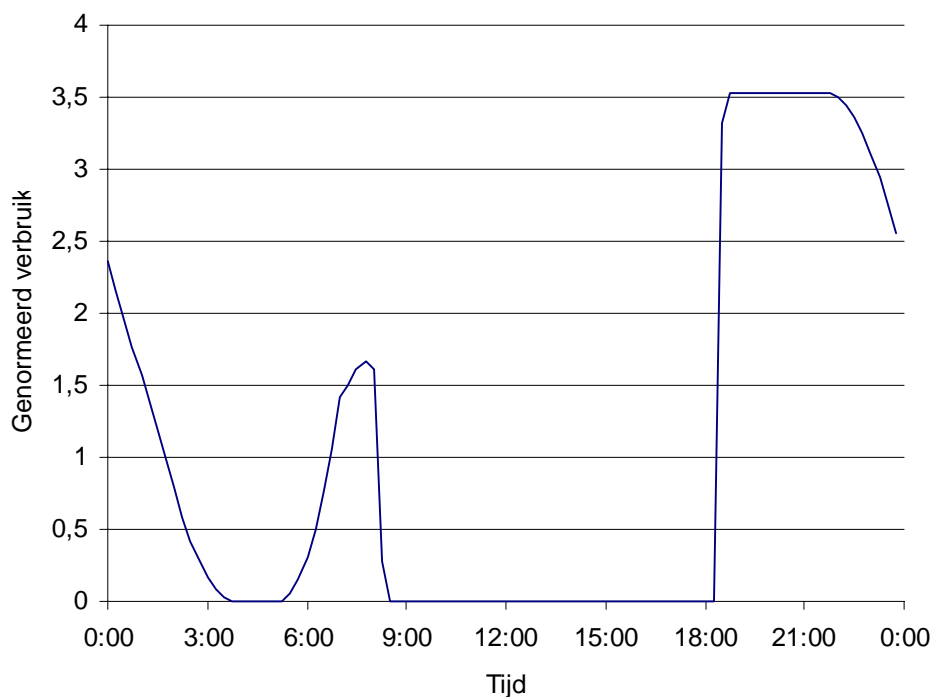


Fig. B.3 Verlichtingspatroon voor een werkdag in september

B.5 Overig continu

Het overig continu patroon is samengesteld uit het stand-by verbruik van verschillende elektrische apparaten aangevuld met het verbruik voor koeling. Voor een grote groep huishoudens kan dit verbruik continu worden verondersteld. Apparaten die stand-by elektriciteit verbruiken zijn bijvoorbeeld audio-visuele apparatuur en waterbedden.

Het dagpatroon en jaarpatroon geven een continue belasting weer. Het verbruik voor de verschillende huishoudtypen is afgeleid uit (BEK '97) zoals weergegeven in tabel 3.2.

B.6 Overig variabel

Voor het overig variabel patroon is een gestileerd dagpatroon geconstrueerd, met behulp van de uitgangspunten vermeld bij het patroon voor reiniging. Het verschil is dat het meeste verbruik bij deze toepassing in de avonduren plaatsvindt. Het jaarpatroon wordt nu gevonden door dit genormeerde patroon te vermenigvuldigen met het genormeerde jaarpatroon zoals weergegeven in tabel 3.4. In figuur B.4 is het overig continu en variabel patroon weergegeven voor een (gemiddelde) werkdag in februari.

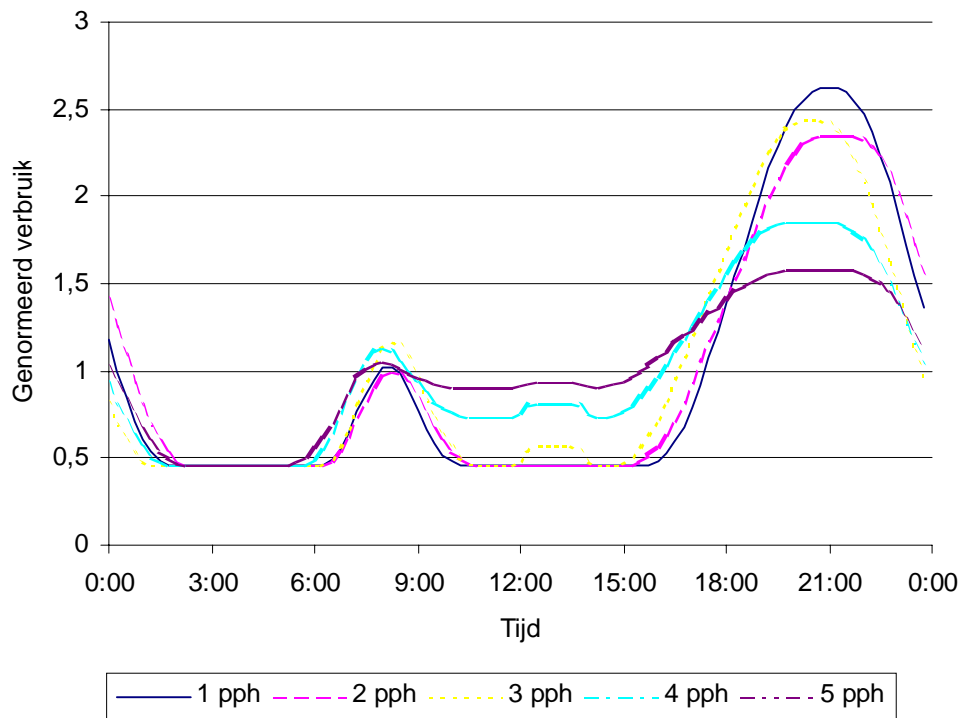


Fig. B.4 Overig verbruikspatroon

B.7 Totaal patroon

Wanneer de vorige patronen worden omgerekend naar verbruik in kWh/kwartier ofwel kW en vervolgens per huishoudtype worden opgeteld ontstaat het totaal patroon. Om een indruk te krijgen van dit totaalpatroon is in figuur B.5 een dag in mei weergegeven.

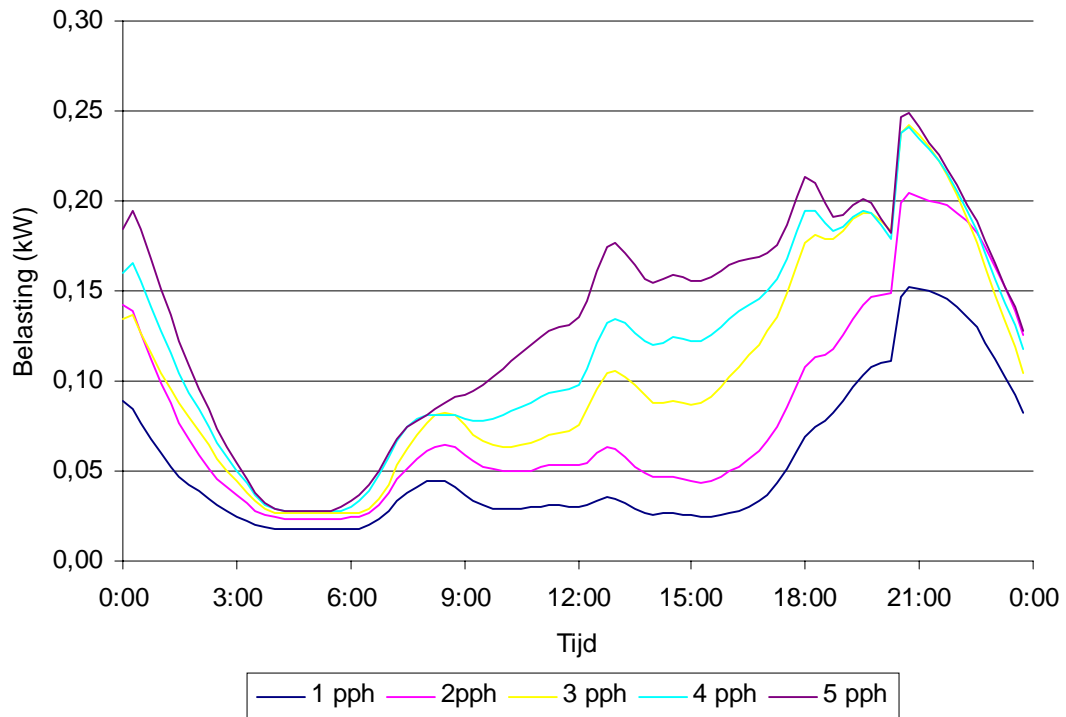


Fig. B.5 Totaalpatroon op een werkdag in de maand mei.

C. BEREKENING VAN PATRONEN VOOR RUIMTEVERWARMING

C.1 Novem referentiewoningen met EPC 0,6

De gebruikte woningen zijn Novem referentiewoningen, te weten een 2 onder 1 kapwoning en een tussenwoning. De EPC van beide woningen is 0,6.

C.1.1 Bouwkundige gegevens

De 2 onder 1 kapwoning is als volgt opgebouwd:

- Begane grond met woonkamer, open keuken, entree met toilet, oppervlakte ca. 50 m², inhoud ca. 135 m³;
- Eerste verdieping met 3 slaapkamers, overloop en badkamer, oppervlakte ca. 50 m², inhoud ca. 135 m³;
- Zolder met technische ruimte en berging, oppervlakte ca. 50 m², inhoud ca. 107 m³.

De tussenwoning is als volgt opgebouwd:

- Begane grond met woonkamer, open keuken, gang met toilet, oppervlakte ca. 44 m², inhoud ca. 119 m³;
- Eerste verdieping met 3 slaapkamers, overloop en badkamer, oppervlakte ca. 44 m², inhoud ca. 119 m³;
- Zolder met technische ruimte en berging, oppervlakte ca. 44 m², inhoud ca. 70 m³.

De gevels van de beide woningen zijn identiek en als volgt opgebouwd:

- Metselwerk (100 mm);
- Luchtpouw (35 mm);
- Isolatiemateriaal (160 mm);
- Kalkzandsteen (100 mm).

De Rc-waarde van de gevel is ca. 5,2 m² K/W.

Het dak van de beide woningen is identiek en als volgt opgebouwd:

- Dakpannen;
- Houten dakpandraagconstructie;
- Isolatiemateriaal (160 mm);
- Afwerking van multiplex.

De Rc-waarde van het dak is ca. 5,2 m² K/W is. Het dak van de 2 onder 1 kapwoning maakt een hoek van 45 graden met het horizontale vlak; bij de tussenwoning is deze hoek 37 graden.

De toegepaste vloer op de begane grond bestaat uit:

- Dekvloer (50 mm);
- Ribcassettevloer met 160 mm isolatie;

De Rc-waarde van de vloer is ca. 5.2 m² K/W.

De verdiepingsvloeren zijn opgebouwd uit:

- Dekvloer (50 mm)
- Kanaalplaat (180 mm);

De interne muren bestaan uit:

- Afwerklaag;
- Baksteen;
- Afwerklaag.

In diverse gevels is beglazing aangebracht. Het betreft HR++ glas met een U-waarde van 1,1 W/m² K en een zontoetredingsfactor van ca. 60 %.

In de onderstaande tabellen is informatie gegeven over de verdeling van de glasoppervlakken over de diverse gevels van de woningen.

<i>Verdieping</i>	<i>Glasopp. N [m²]</i>	<i>Glasopp. O [m²]</i>	<i>Glasopp. Z [m²]</i>	<i>Glasopp. W [m²]</i>
Begane grond	5,9	0	6,2	2,7
Eerste verdieping	5,1	0	5,1	1,7
Zolder	0	0	0,7	0

Tabel C.2 Verdeling van glas over de diverse gevels bij een 2 onder 1 kapwoning

<i>Verdieping</i>	<i>Glasopp. N [m²]</i>	<i>Glasopp. O [m²]</i>	<i>Glasopp. Z [m²]</i>	<i>Glasopp. W [m²]</i>
Begane grond	3,9	0	7,0	0
Eerste verdieping	1,7	0	6,4	0
Zolder	0	0	0,7	0

Tabel C.3 Verdeling van glas over de diverse gevels bij een tussenwoning

C.1.2 Interne warmtelast

Hieronder (tabel C.3) is de verdeling van de interne warmtelast over de dag weergegeven.

<i>Tijd</i>	<i>Interne Warmtelast woonzone [W/m²]</i>	<i>Interne warmtelast slaapzone en zolder [W/m²]</i>
07:00 uur - 16:00 uur	7	0
16:00 uur - 22:00 uur	20	0
23:00 uur - 07:00 uur	2	6

Tabel C.3 Verdeling van interne warmtelast over de dag

C.1.3 Infiltratie

Voor de infiltratie is er op iedere verdieping gerekend met een constante infiltratievoud van 0,24. Er is verondersteld dat er altijd infiltratie is.

C.1.4 Ventilatie

Ten aanzien van ventilatie is zowel op de begane grond, als op de eerste verdieping als op de zolder gerekend met een ventilatievoud van 0,55 gedurende de periode van 1 oktober tot 1 mei. Voor de periode van 1 mei tot 1 oktober is gerekend met een ventilatievoud van 0,4. Gedurende beide periodes is gerekend dat er alleen overdag (tussen 06:00 en 23:00 uur) wordt geventileerd.

C.1.5 Warmteterugwinning

Er is gerekend met een warmteterugwinningseenheid met een rendement van 90 %.

Warmteterugwinning wordt alleen gedurende het stookseizoen toegepast (tussen 1 oktober en 1 mei).

C.1.6 Temperatuurniveaus in de diverse vertrekken

Gedurende de nacht (tussen 0:00 en 6:00 uur) is in de woonzone (begane grond) van de woning gerekend met een temperatuur van 15 °C. Tussen 06:00 uur en 9:00 uur wordt de temperatuur geleidelijk verhoogd naar 19 °C. Tussen 17:00 en 22:00 uur is de temperatuur 20 °C. Tussen 22:00 uur en 0:00 uur zal de temperatuur geleidelijk dalen van 20 naar 15 °C.

In de slaapzone (eerste verdieping) en de zolder is van maandag tot en met vrijdag gerekend met een temperatuur van 10 °C gedurende de nacht (tussen 00:00 uur en 06:00). Tussen 06:00 en 09:00 uur wordt de temperatuur geleidelijk verhoogd naar 14 °C, terwijl de temperatuur tussen 22:00 en 00:00 uur geleidelijk zal dalen naar 10 °C.

In de weekeinden zal de temperatuur tussen 06:00 uur en 09:00 uur toenemen van 10 °C naar 19 °C. Tussen 17:00 uur en 22:00 uur zal de temperatuur toenemen naar 20 °C, terwijl de temperatuur tussen 22:00 uur en 00:00 uur geleidelijk zal dalen naar 10 °C.

C.1.7 Opmerking

De hierboven genoemde temperaturen zijn de zogenaamde gewenste temperaturen. Door de goede isolatie van het huis zal de temperatuur waarschijnlijk langzamer dalen dan volgens de hierboven genoemde schema's.

C.2 Woningen PZE project met EPC 0,3

De gebruikte woning is ontleend aan gegevens welke zijn verkregen bij het Passivhaus Instituut te Darmstadt, Duitsland. De woning bestaat uit de volgende verdiepingen:

C.2.1 Bouwkundige gegevens

De woning bestaat uit de volgende verdiepingen:

- Begane grond (woonkamer, keuken, gang, WC), oppervlakte ca. 44 m², inhoud ca. 119 m³;
- Eerste verdieping (slaapkamers, overloop en badkamer), oppervlakte ca. 44 m², inhoud ca. 119 m³;
- Zolder (technische ruimte met berging), oppervlakte ca. 110 m², inhoud ca. 123 m³.

De gevels van de woning zijn als volgt opgebouwd:

- Pleiserlaag (12,5 mm);
- Isolatiemateriaal (120 mm);
- Houtvezelplaat (22 mm);
- Isolatiemateriaal (115 mm);
- Houtvezelplaat (22 mm).

De totale geveldikte is 292 mm, terwijl de Rc-waarde ca. 6 m² K/W is.

Het dak van de woning is als volgt opgebouwd:

- Gipsplaat (20 mm);
- Isolatiemateriaal (190 mm);
- Houtvezelplaat (50 mm).

De totale dikte van het dak is 260 mm. , terwijl de RC-waarde ca. 6 m² K/W is. De daken maken een hoek van 37 graden met het horizontale vlak.

De toegepaste vloer op de begane grond bestaat uit:

- Parket (12 mm);
- Geluiddempende laag (30 mm);
- Beton (180 mm);
- Isolatiemateriaal (195 mm).

De totale dikte van de vloer is 417 mm, terwijl de RC-waarde ca. 6 m² K/W is.

De verdiepingsvloeren, alsmede de binnenmuren zijn gemaakt van:

- Houtvezelplaat (22 mm);
- Isolatiemateriaal (115 mm);
- Houtvezelplaat (22 mm).

In diverse gevels is beglazing aangebracht De U-waarde van het glas is 0,7 W/m² K, met een ZTA-waarde van ca. 40 %. In tabel C.4 is informatie gegeven over de verdeling van de glasoppervlakken over de diverse gevels van het huis.

<i>Verdieping</i>	<i>Glasopp. N [m²]</i>	<i>Glasopp. O [m²]</i>	<i>Glasopp. Z [m²]</i>	<i>Glasopp. W [m²]</i>
Begane grond	1,00	0	2,25	2,00
Eerste verdieping	3,00	0	2,00	0
Zolder	0	0	0,50	0

Tabel C.4 Verdeling glasoppervlakken over de diverse gevels van de PZE woning

C.2.2 Opmerking

Er zijn een tweetal simulaties gemaakt, te weten van een hoekwoning en een tussenwoning. In het geval van de tussenwoning zijn er alleen buitengevels op het Noorden en het Zuiden. Dit heeft tot gevolg dat er geen beglazing op het Westen aanwezig is.

Om de toetreding van zonlicht in de zomersituatie te beperken, en daarmee oververhitting te voorkomen, is er boven ieder raam op de Zuidgevel een overstek aangebracht. De lengte van dit overstek is identiek aan die van het raam, de diepte is 1 meter.

C.2.3 Interne warmtelast

Ten aanzien van de interne warmtelast in de woonzone is gerekend met een gemiddelde waarde van 6,0 W/m². Deze waarde is bepaald aan de hand van een rekenmodel van het Passivhaus Instituut. Voor de slaapzone is gerekend de waarden zoals deze zijn weergegeven in de EP berekeningen voor woningen. Hieronder is de verdeling van de interne warmtelast over de dag weergegeven.

<i>Tijd</i>	<i>Interne Warmtelast woonzone [W/m²]</i>	<i>Interne warmtelast slaapzone [W/m²]</i>
07:00 uur - 17:00 uur	5,3	0,0
17:00 uur - 23:00 uur	13,3	0,0
23:00 uur - 07:00 uur	1,3	6,0
Gemiddeld	6,0	2,0

Tabel C.5 Verdeling interne warmtelast over de dag

Ten aanzien van de zolder is aangenomen dat er geen warmtelast heerst.

C.2.4 Infiltratie

Voor de infiltratie is gerekend met een constante infiltratievoud van 0,042. Er is verondersteld dat er altijd infiltratie is.

C.2.5 Ventilatie

Ten aanzien van ventilatie is gerekend met een ventilatievoud van 0,4. Ter voorkoming van oververhitting wordt zogenaamde zomernachtventilatie in de woonzone toegepast. Zomernachtventilatie wordt toegepast als aan de onderstaande criteria is voldaan:

- De binnentemperatuur in de woonzone is gedurende de nacht (tussen 23:00 en 07:00 uur) hoger dan 20 °C.
- De buitentemperatuur is gedurende de nacht hoger dan 10 °C.

In geval van zomernachtventilatie wordt in de woonzone geventileerd met een extra ventilatievoud van 2, waardoor de totale ventilatievoud in de woonzone 2,4 is.

C.2.6 Warmteterugwinning

Er is gerekend met een warmteterugwinningseenheid met een rendement van 90 %. Deze unit wordt alleen gedurende het stookseizoen (tussen uur 6400 en 3000) gebruikt.

C.2.7 Temperatuurniveaus in de diverse vertrekken

In de woonzone is gerekend met een (minimum) temperatuur van 20 °C. In de slaapzone is gerekend met een minimum temperatuur van 16 °C, terwijl op de zolder een minimum temperatuur van 14 °C heerst.

De bovengenoemde temperaturen zijn minimum temperaturen. Tengevolge van zoninstraling en/of interne warmtelasten kunnen uiteraard overschrijdingen van deze temperaturen optreden.

In eerste instantie is geen nachtverlaging toegepast. Er zijn echter ook simulaties uitgevoerd met een temperatuur gedurende de nacht in de woonzone van 19, 18 en 16 °C. De (minimum) temperaturen in de slaapzone en de zolder veranderen niet.

C.2.8 Resultaten

De warmtevraag is berekend voor zowel een hoekwoning als een tussenwoning. Voor beide woningen is de warmtevraag bepaald zonder nachtverlaging en met

"nachtverlagingstemperaturen" van 19, 18 en 16 °C. In de onderstaande tabel zijn de resultaten weergegeven.

<i>Gegevens Hoekwoning</i>	<i>Geen nachtverl.</i>	<i>Nachtverl. 19 °C</i>	<i>Nachtverl. 18 °C</i>	<i>Nachtverl. 16 °C</i>
Warmtevraag per jaar [GJ]	5,3	4,8	4,7	4,7
Aantal m ³ aardgas per jaar	148	134	132	132
Aantal uur warmtevraag [-]	4643	4346	4224	4209
Piekvraag [kW]	1,2	1,6	2,0	2,5
Aantal overschrijdingsuren van 25 °C per jaar in woonzone	358	318	315	315

Tabel C.6.a Resultaten PZE-hoekwoning

<i>Gegevens Tussenwoning</i>	<i>Geen nachtverl.</i>	<i>Nachtverl. 19 °C</i>	<i>Nachtverl. 18 °C</i>	<i>Nachtverl. 16 °C</i>
Warmtevraag per jaar [GJ]	3,3	2,8	2,8	2,8
Aantal m ³ aardgas per jaar	92	78	78	78
Aantal uur warmtevraag [-]	4258	3979	3811	3798
Piekvraag [kW]	1,0	1,2	1,6	1,7
Aantal overschrijdingsuren van 25 °C per jaar in woonzone	166	154	152	152

Tabel C.6.b Resultaten PZE-tussenwoning

De warmtevraag voor deze twee typen woningen is weergegeven in een zogenaamde belastingduurkromme (fig. C.1 en C.2).

Jaarbelastingduurkromme warmtevraag PZE-hoekwoning

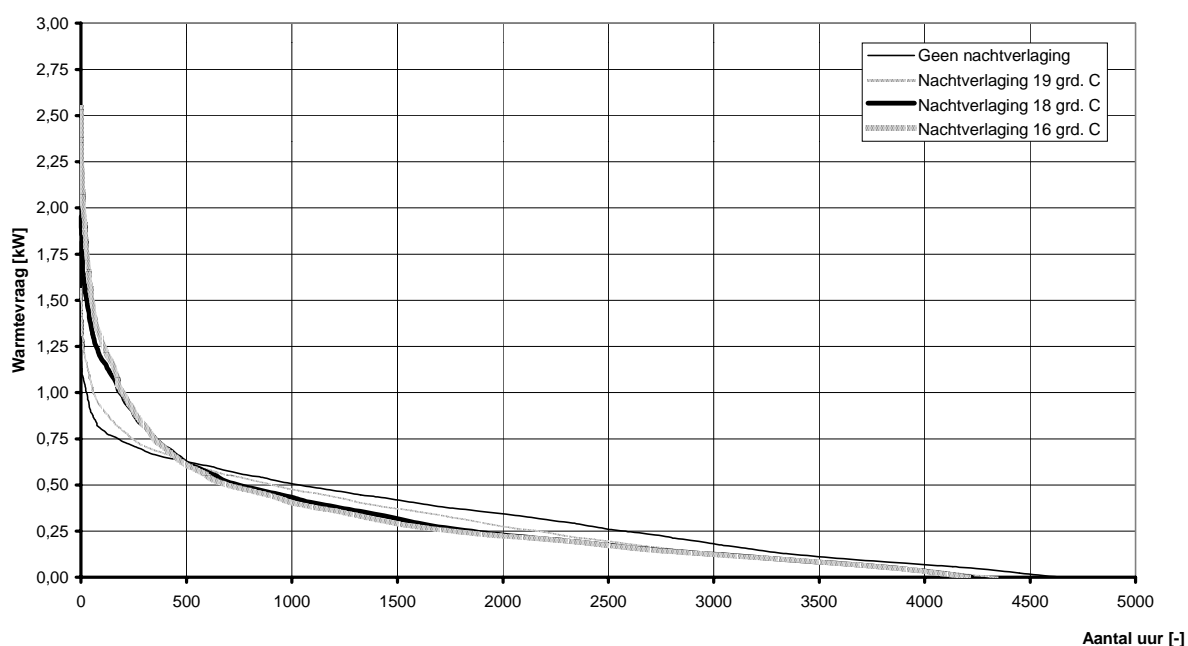


Fig. C.1 Jaarbelastingduurkromme warmtevraag PZE-hoekwoning

Jaarbelastingduurkromme warmtevraag PZE-tussenwoning

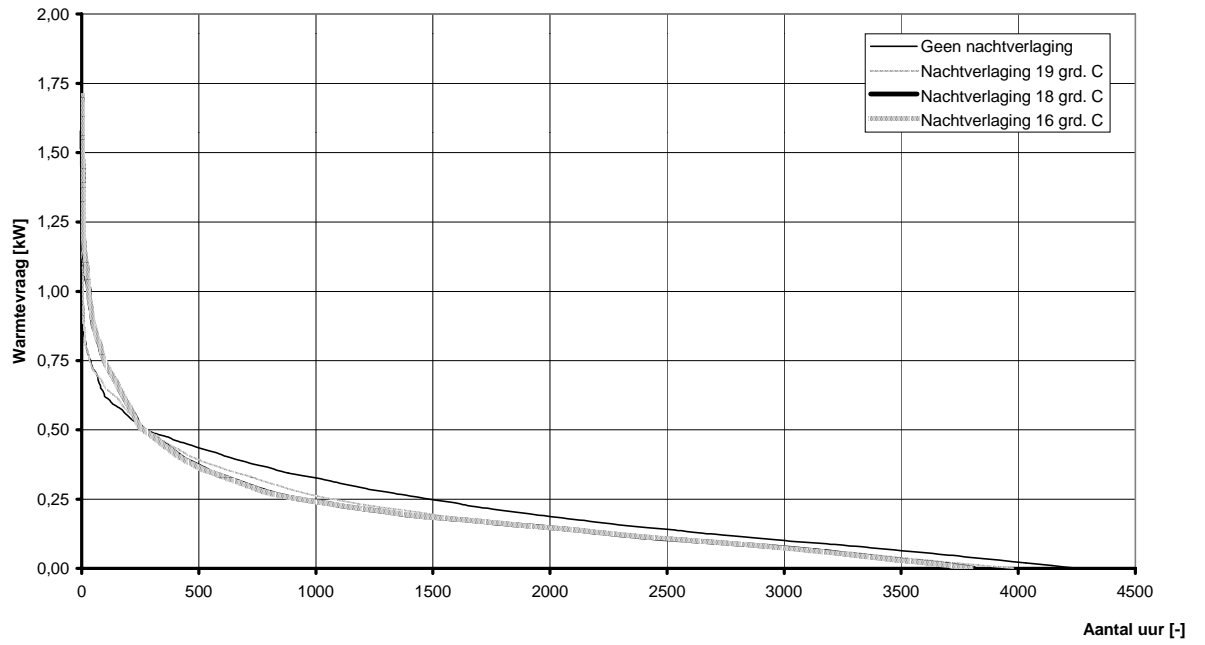


Fig. C.2 Jaarbelastingduurkromme warmtevraag PZE-tussenwoning

D. DUURZAME ENERGIE: EQUIVALENT VAN AFVAL EN BIOMASSA

D.1 Inleiding

Een energieneutrale woonwijk kan beschikken over een zekere hoeveelheid duurzaam opgewekte energie op basis van afval en biomassa. Het gaat om organisch huishoudelijk afval, stortgas, hout voor houtkachels, rioolwaterzuivering, vergisting van groente-, fruit- en tuinafval (gft), en verbranding van afval- en sloophout. De berekening van het potentieel gaat als volgt:

- Eerst wordt berekend hoeveel elektriciteit (GWh) er wordt opgewekt c.q. kan worden opgewekt op basis van de diverse reststromen.
- Daarna wordt deze opbrengst gedeeld door het aantal huishoudens in Nederland, zodat de energieopbrengst (kWh) per huishouden resteert.

Incidenteel wordt biomassa omgezet in substituuat aardgas (stortgas). Als een centrale of afvalverbrandingsinstallatie behalve elektriciteit ook restwarmte voor stadsverwarming levert, kan de vuistregel worden gehanteerd dat elke procentpunt minder elektrisch vermogen 6 procentpunten extra restwarmtevermogen oplevert. Deze rekenregel wordt hier gehanteerd.

Bij de schattingen en berekeningen treden de volgende complicaties op:

1. Bij huishoudelijk afval gaat de aandacht uit naar dat deel van het afval dat als duurzaam wordt aangemerkt. Plastics worden geproduceerd uit olieproducten en zijn dus niet duurzaam. Andere brandbare bestanddelen (papier), die ca. 50% van de verbrandingswaarde van huishoudelijk afval representeren, worden wél duurzaam geacht. Bij energieopwekking op basis van huishoudelijk afval moet dus een conversiefactor van 0,5 worden toegepast.
2. Sommige vormen van biomassa zijn grotendeels afkomstig van huishoudens, zoals gft, rioolslib, plantsoenafval en afval- en sloophout. Echter, reststromen uit de voedings- en genotmiddelenindustrie en mest kunnen niet aan huishoudens worden toegerekend.
3. Om economische redenen is het niet mogelijk afval en biomassa per wijk te benutten. Dit geldt zeker voor huishoudelijk afval, rioolwater en gft, maar ook bijna altijd voor afval- en snoeihout. Alleen een grote wijk in een bosrijke omgeving kan eigen snoeihout benutten.

Door de diverse bronnen van afval en biomassa te onderscheiden naar herkomst wordt voorkomen dat sommige biomassastromen ten onrechte aan huishoudens worden toegerekend.

D.2 Energie uit huishoudelijk afval

In 1997 werd door gemeenten ca. 4,9 mln ton huishoudelijk afval en grof huisafval ingezameld. Een deel hiervan betreft groente-, fruit- en tuinafval (gft). Op gft wordt later ingegaan. Van het overige huishoudelijk afval en grof huisafval werd in 1997 2,6 mln ton verbrand in afvalverbrandingsinstallaties (AVI's). Hiermee werd naar schatting 1240 GWh elektriciteit opgewekt, en tegelijkertijd ca. 1,8 PJ warmte geleverd⁶. Een groot deel van deze warmte wordt ingezet voor stadsverwarming. In 1998 werd ongeveer 10% meer afval verbrand dan in 1997⁷⁸. Aangenomen is dat AVI's in 1998 ook 10% meer afval van huishoudens hebben verwerkt. Gecombineerd met het aantal huishoudens (6,692 mln in 1998)⁹ en de bovengenoemde rekenregel voor restwarmte levert dit de hoeveelheid elektriciteit per huishouden in tabel D.1.

⁶ Afvalwerking in Nederland, gegevens 1997. Werkgroep Afvalregistratie, Afval Overleg Orgaan, juli 1998.

⁷ Statistisch Jaarboek 1999, CBS, 525.

⁸ Kerngegevens bio-energie in Nederland 1999, Informatiecentrum Duurzame Energie.

⁹ Statistisch Jaarboek 1999, CBS, 33.

Tabel D.1 *Energiewinning door verbranding van huishoudelijk afval in AVI's in 1998*

	<i>mln ton</i>	<i>PJ</i>	<i>GWh (netto)</i>	<i>kWh/huishouden</i>
Huishoudelijk afval	2,86	24,63		
Elektriciteit		4,94	1373	Ca. 205
Warmte		1,11		
Equivalentte elektriciteit		5,13	1424	Ca. 210

Bij tabel D.1 kan de volgende toelichting worden gegeven:

- De hoeveelheid huishoudelijk afval die aan AVI's werd geleverd, namelijk naar schatting 2,86 mln ton, komt overeen met 24,63 PJ op basis van de onderste verbrandingswaarde.
- De hoeveelheid restwarmte die hiermee kan worden geleverd voor stadsverwarming bedraagt naar schatting 1,11 PJ. Op basis van de bovengenoemde '6:1' vuistregel is deze hoeveelheid equivalent met ca. 0,18 PJ elektriciteit. De onderste regel van tabel D.1 geeft de hoeveelheid elektriciteit weer, aangenomen dat AVI's alleen elektriciteit zouden leveren.

In 1998 werd door AVI's ca. 210 kWh per huishouden opgewekt. De organisatie van afvalverbrandingsinstallaties in Nederland streeft naar een toename van de opbrengst van nuttige energie met 23%. Dat resulteert in 260 kWh per huishouden op langere termijn.

Er worden nu in tabel D.2 twee referentie jaren onderscheiden, namelijk 1998 en 2015, en er wordt onderscheid gemaakt naar nuttige energie en duurzaam opgewekte energie (elektriciteit).

Tabel D.2 *Nuttige energie en duurzame energie op basis van huisvuilverbranding, 1998 en 2015*

	<i>Nuttige energie</i>		<i>Duurzaam opgewekte energie</i>	
	<i>GWh</i>	<i>kWh/huishouden</i>	<i>GWh</i>	<i>kWh/huishouden</i>
1998	1424	210	712	105
2015	1750	260	875	130

In tabel D.2 is de hoeveelheid duurzame energie van AVI's equivalent met 50% van de nuttige energie. Ook is aangenomen dat de energieopwekking tussen 1998 en 2015 met 23% toeneemt.

D.3 Energie uit stortgas

Voor energiewinning uit stortgas worden gegevens uit ⁸ over 1998 gehanteerd. Tabel D.3 geeft hiervan een overzicht.

Tabel D.3 *Energiewinning uit stortgas in 1998*

	<i>PJ</i>	<i>mln m³</i>	<i>GWh</i>	<i>kWh/huishouden</i>
Winning		149 (stortgas)		
Benutting		120 (stortgas)		
'Aardgas'-productie	0,6	19 ('aardgas')		2,8 m ³ aardgas
Elektriciteit	0,5		151	23
Warmte	0,2			
Equivalentte elektriciteit			160	25

Per huishouden wordt 25 kWh opgewekt uit stortgas. Door afname van het storten daalt ook de productie van stortgas. Toch is voorlopig de waarde van 25 kWh per huishouden aangehouden.

D.4 Houtverbranding in huishoudens

In 1998 werd 1,3 mln ton hout gebruikt voor energieopwekking, waarvan 80% in huishoudens. Tabel D.4 geeft een schatting van de besparing op aardgas door houtverbranding in huishoudens.

Tabel D.4 Bespaarde hoeveelheid aardgas door houtverbranding in huishoudens in 1998

	Hoeveelheid	Energie-inzet	Bespaarde energie	
	Mln ton	PJ	PJ	m ³ aardgas per huishouden
Kachels	0,6	9,3	4,27	20
Open haard	0,4	6,7	1,78	8
Totaal	1,0	16,0	6,05	28

De energiebesparing in m³ aardgas is afhankelijk van het type installatie, zoals houtkachel, inbouwhaard of open haard. Open haarden hebben een zeer laag rendement. Volgens tabel D.4 levert het stoken van hout een besparing op van gemiddeld 28 m³ aardgas per huishouden. Voor energieneutrale wijken kunnen andere waarden gelden, afhankelijk van de gekozen technische opties. Hier is aangenomen dat de referentiewaarde van tabel D.4 geldig blijft.

D.5 Biogas op basis van rioolwaterzuivering en gft

Biogas op basis van rioolwaterzuivering en gft wordt in statistieken doorgaans samengevoegd. Tabel D.5 geeft een schatting van de hoeveelheid elektriciteit die hiermee wordt opgewekt⁸.

Tabel D.5 Energiewinning uit biogas afkomstig van rioolwaterzuivering en gft in 1998

	PJ	mln m ³ aardgas	GWh	kWh/huishouden
Rioolwaterzuivering	2,0			
Gft	0,1			
Totaal	2,1			
'Aardgas'-productie	0,95	30		4,5 m ³ 'aardgas'
Elektriciteit			86	13
Warmte	0,61			
Equivalent elektrische			114	17

De hoeveelheid elektriciteit per huishouden op basis van biogas (rioolwaterzuivering en gft) bedraagt 17 kWh, en de hoeveelheid 'aardgas' uit biogas ca. 4,5 m³.

Voor de periode tot 2015 is aangenomen er elk jaar een vergistingsinstallatie met een capaciteit van 115.000 ton gft bijkomt, zodat de capaciteit toeneemt tot 2 mln ton gft per jaar in 2015¹⁰. Ter vergelijking: in 1999 is bij Oudehaske (Friesland) een installatie in bedrijf gekomen met een capaciteit van 150.000 ton gft per jaar¹¹. Deze installatie kan alle gft van ca. 30 Friese gemeenten verwerken en ook nog 80.000 ton bedrijfsafval (het potentieel hiervan wordt niet meegenomen).

CEA ziet echter geen contracteerbaar potentieel voor vergisting van gft¹². Bij deze aanname van CEA kunnen de volgende kanttekeningen worden geplaatst:

- De investeringskosten voor compostering (de meest gebruikte techniek tot nu toe) zijn laag. De drempel om over te schakelen van composteren op vergisting van gft is dan ook hoog.
- Bij de afweging tussen compostering en vergisting van gft spelen diverse overwegingen een rol, zoals de kwaliteit van gft, van de compost c.q. van het restproduct bij vergisting, de

¹⁰ De huidige capaciteit van composterings- en vergistingsinstallaties is 1,59 miljoen ton gft per jaar.

¹¹ Stroom, 15 oktober 1999, 5.

¹² P.A.M. Arts et al: Bio-massterclass. CEA, Rotterdam, juni 1999.

vergoeding voor de opgewekte energie, enz. Bij een beleid gericht op ontwikkeling van duurzame energie (groene stroom, enz.) wordt vergisting van gft economisch interessant.

De hoeveelheid vergiste gft zou dus kunnen toenemen van ca. 50.000 ton/jaar in 1998 tot 2 mln ton/jaar in 2015. Tabel D.6 geeft voor 1998 en 2015 het potentieel van biogas uit rioolwater en gft.

Tabel D.6 *Energiewinning uit biogas afkomstig van rioolwaterzuivering en gft in 1998 en 2015*

	Hoeveelheid gft	Equivalent energie biogas ¹³	'Aardgas'-productie		Elektriciteitsproductie	
	1000 ton	PJ	mln m ³	m ³ per huishouden	GWh	kWh/huishouden
1998	50	2,1	30	4,5	114	17
2015	2000	3,7	30	4,5	200	30

D.6 Elektriciteitsopwekking op basis van afval- en sloophout

In vier kolengestookte centrales wordt (binnenkort) ca. 300 kt afval- en sloophout en andere reststoffen van voornamelijk huishoudelijke oorsprong (rioolslib) meeverbrand of vergast. Het equivalente vermogen van deze vier projecten (Gelderlandcentrale, Amercentrale, Maasvlaktecentrale, Hemwegcentrale) bedraagt ca. 80 MW. Uitgaande van een aantal vollasturen van 7000 per jaar, bedraagt de elektriciteitsproductie op basis van deze afval- en biomassastromen ca. 560 GWh, wat overeenkomt met 80 kWh per huishouden.

D.7 Samenvatting

In totaal zijn vijf hoofdstromen van afval en biomassa geëvalueerd. De bijdrage die deze stromen kunnen leveren aan een energieneutrale wijk wordt weergegeven in tabel D.7.

Tabel D.7 *Duurzame energie-equivalent van huishoudelijke afval- en biomassastromen en berekening van het equivalent per huishouden*

	1998				2015			
	Duurzame energie-opwekking		Equivalent per huishouden		Duurzame energie-opwekking		Equivalent per huishouden	
	Elektr. GWh	Gas mln m ³	Elektr. kWh	Gas m ³	Elektr. GWh	Gas mln m ³	Elektr. kWh	Gas m ³
Afvalverbranding	712		105		875		130	
Stortgaswinning	160		25		160		25	
Rioolwaterzuivering en vergisting gft	114		17		200		30	
Bijstoken hout e.d.	560		80		560		80	
Totaal elektriciteit	1550		230		1800		265	
Totaal 'aardgas'		230		28		240		36

In 1998 wordt ca. 230 kWh per huishouden op een duurzame manier opgewekt. Daarnaast wordt door het stoken van hout in houtkachels e.d. ca. 28 m³ aardgas per huishouden bespaard, en wordt anderszins een hoeveelheid biogas geproduceerd uit stortgas, rioolwater en gft die equivalent is met ca. 8 m³ aardgas.

¹³ De biogasproductie heeft betrekking op die van rioolwaterzuivering (constant verondersteld) en gft-vergisting.

Voor het jaar 2015 wordt verwacht dat de elektriciteitsproductie in AVI's met ca. 23% toeneemt. Ook wordt een sterke toename verwacht van vergisting van gft (bij gericht duurzame energiebeleid). Daardoor kan de duurzame elektriciteitsopwekking per huishouden toenemen tot 265 kWh per jaar; houtverbranding en biogas leveren ca. 36 m³ aardgas(-besparing) per jaar.

E. ENERGIECONVERSIETECHNOLOGIEËN

Het energievoorzieningssysteem van een wijk bestaat uit ketens van conversietechnologieën die gericht zijn op de productie en buffering van de energiedragers elektriciteit, warmte, gas/vloeibare brandstoffen en biomassa (hfd. 4).

De energieconversietechnologieën die in een wijk een bijdrage kunnen leveren, zijn:

<i>Energieconversietechnologieën (1)</i>			
<i>productie/buffering</i>	<i>Categorie</i>	<i>Component</i>	<i>schaalgrootte</i>
Elektrisch	PV	PV	vanaf 10 W _p
Elektrisch	Wind	Windturbine	vanaf 10 kW _p
Elektrisch	Buffering	Redoxflow batterij	lange termijn; GJ _e schaal
		Vliegwiel	korte termijn; tot ±10 MJ _e
Elektrisch & warmte	micro-W/K	SPFC	1 woning; tot ±3 kW _e
		Stirling	„
Elektrisch & warmte	mini-W/K	Gasmotor	1 woonblok; tot ±100 kW _e
		Gasturbine	„
		SOFC	„

<i>Energieconversietechnologieën (2)</i>			
<i>productie/buffering</i>	<i>Categorie</i>	<i>Component</i>	<i>schaalgrootte</i>
Warmte	Ketel	Hout	vanaf ±1 kW _{th}
		Gas	„
		etc.	„
Warmte	Zonnecollectoren	Paneel	vanaf ±1 kW _{th}
		‘Winnerway’	vanaf ±100 kW _{th}
Warmte	Warmtepompen	Elektrische WP	vanaf ±1 kW _{th}
		Gas WP	„
		SDHP	„
		Warmtetransformator	„
Warmte	Buffering	Aquifer	seizoensopslag;
		Bouwmassa	dagopslag
		Watervat	korte termijn; tot ±100 MJ _{th}
		Compacte alternatieven	„

<i>Energieconversietechnologieën (3)</i>			
<i>productie/buffering</i>	<i>Categorie</i>	<i>Component</i>	<i>schaalgrootte</i>
Gas/vloeibaar	H ₂ productie	Elektrolyse	vanaf ±1 kW _e
Gas/vloeibaar	Syngasproductie	Vergassing	vanaf 1 MW _{th}
Gas/vloeibaar	SNG productie	Hydrovergassing	vanaf 1 MW _{th}
		Vergisting	vanaf ±1 kW _{th}
Gas/vloeibaar	Methanol	Methanolsynthese	vanaf ±10 MW _{th}
Gas/vloeibaar	Opslag	Tank	GJ schaal
		Pijpleiding	MW schaal
Biomassa	Teelt	Groenafval	vanaf 0 MW _{th}
Biomassa	Opslag	Bunker	seizoensopslag; op GJ schaal

F. UITWERKING ‘CASES’

F.1 Inleiding

In de loop van de studie zijn een aantal energievoorzieningssystemen gedefinieerd en doorgerekend met een quasi-statisch simulatieprogramma op basis van Matlab/Simulink (‘Topics’). Het gaat hierbij om duurzame (A3-x) varianten, met PV maar zonder aansluiting op het gasnet, overgangsvarianten(A2-x) met een rol voor gas en een duurzame variant (A2-3) met waterstofproductie voor lange termijn energieopslag.

Ter vergelijking is het traditionele systeem doorgerekend als een referentie (0-)systeem. In deze systeemopzet heeft elke woning aansluiting op het landelijk elektriciteits- en gasnet. De warmteproductie wordt in elke woning verzorgd door CV-combiketels.

De wijk (het woonblok) waarvoor de simulaties uitgevoerd zijn, is gegeven in tabel F.1.

Aantal blokken	1	
Blok 1	Aantal woningen EPC Huishoudengrootte Tijdverdeling bewonersgedrag Temp. warm tapwater Temp. voor ruimteverwarming	40 0,6 (‘base case’) 2 personen normaal met standaarddeviatie van 60 minuten 65 °C 65 °C 45 °C (bij lage temp. verwarming)

De wijk bestaat uit één woonblok van 40 woningen met een EPC van 0,6. Ter vergelijking zijn de energiesystemen ook voor 40 woningen met EPC 0,3 doorgerekend.

De simulaties houden in, dat voor een heel jaar elk kwartier de energiestromen en de bufferniveaus in een energiesysteem bepaald worden. De energievraag wordt voorgesteld door de energievraagpatronen die tijdens de studie zijn opgesteld, zie hfd. 3. In deze fase is alleen gerekend met de totale elektriciteitsvraag van een woning/huishouden, de energievraag voor warm tapwater en de vraag voor ruimteverwarming. Meer gedetailleerde vraagpatronen, uitgesplitst naar energiefunctie categorie, zijn wel opgesteld en beschikbaar voor toekomstige studies.

Om kunstmatige vraagpieken te voorkomen (niet iedereen staat tegelijk op), zijn de elektriciteits- en warm-tapwater-vraagpatronen voor de verschillende huishoudens iets in de tijd verschoven. Het totale vraagpatroon van veertig huishoudens is de som van veertig identieke patronen die in de tijd verschoven zijn volgens een normaalverdeling met een standaarddeviatie van 60 minuten.

In dit verslag van de berekeningen worden de volgende uitkomsten gepresenteerd:

- een overzicht van de energiestromen op jaarbasis;
- een kentel voor het fossiel energiegebruik (gebaseerd op de C-factor uit de EPL¹⁴);
- duurzaamheid uitgedrukt in een percentage;
- kentallen van kritische onderdelen.

¹⁴ Energie Prestatie op Lokatie, tabellen en rekenschema verkrijgbaar bij NOVEM

F.2 Het 0-systeem (referentie)

Beschrijving energiesysteem

<i>Aspect</i>	<i>Functie</i>	<i>Categorie/component</i>	<i>Bijzonderheden</i>
Elektriciteit	productie distributie uitwisseling eindverbruik	uit biomassa fijnmazig net in de hele wijk landelijk net vraagpatroon huishouden	vnl. buiten wijk alleen invoer
Warmte	productie eindverbruik	CV-combiketel op gas vraagpatroon warm tapwater vraagpatroon ruimteverwarming	
Gas	productie uitwisseling eindverbruik	uit biomassa met landelijk gasnet vraagpatroon CV combiketel	vnl. buiten wijk alleen invoer

Bedrijf energiesysteem

- CV-combiketel
thermisch rendement: 90 %

Energiestromen per woning op jaarbasis

<i>Elektriciteit</i>	<i>kWh</i>	<i>GJ</i>
Productie uit biomassa (duurzaam, buiten wijk, tabel D.7)	265	1,0
Inkoop van net	3116	11,2
Eindverbruik	3116	11,2

<i>Warmte (65 °C)</i>	<i>GJ</i>
Productie (met combiketel)	14,3
Eindverbruik	14,3

<i>Gas</i>	<i>GJ</i>
Productie biogas (duurzaam) (vergisting & vergassing, tabel D.7)	1,1
Uit net	14,8
Vraag	15,9

- De hoeveelheid fossiel koolstof (B)¹⁵ die vrij komt bij de energievoorziening van deze woning is:

$$B = C_{\text{gas}}E_w + C_{\text{el}}E_{\text{el}} = 15 \times 14,8 + 30 \times 10,2 = 528 \text{ kg koolstof}$$

- Het referentieconcept is voor 8,2% duurzaam:

$$\text{Duurzaamheid} = \frac{\text{Bio el.} + \text{Biogas}}{\text{Eindverbruik (El. + Warmte)}} \times 100\% = \frac{2,1}{25,5} \times 100\% = 8,2\%$$

F.3 Het A3-1 systeem

Beschrijving energiesysteem

Tabel F.3; Energiesysteem A3-1; EPC 0,6			
<i>Aspect</i>	<i>Functie</i>	<i>Categorie/component</i>	<i>Bijzonderheden</i>
Elektriciteit	productie distributie uitwisseling eindverbruik	PV uit biomassa fijnmazig net in de hele wijk landelijk net vraagpatroon huishouden	vnl. buiten wijk
Warmte	productie buffering eindverbruik	zonnecollector piekbrander Hoge Temperatuur in huis vraagpatroon warm tapwater vraagpatroon ruimteverwarming	'zonneboiler'
Gas	productie uitwisseling eindverbruik	uit biomassa met landelijk gasnet vraagpatroon piekbrander	vnl. buiten wijk alleen invoer

Bedrijf energiesysteem

Voor het hierboven beschreven energiesysteem hebben we de volgende bedrijfscondities aangenomen:

- PV
 - oppervlak: 40x28 m²
 - rendement: 9,7 % (zuidoriëntatie)
- zonnecollectoren
 - oppervlak: 40x6 m²
 - rendement: 45 % (temperatuur 65 °C)
- brander
 - vermogen: 20 kW
 - thermisch rendement: 90 %

¹⁵ C_{gas} en C_{el} zijn afkomstig uit de EPL tabellen van NOVEM

- ketel (warmteopslag)
grootte: 50 MJ
rendement: 100 %

Energiestromen per woning op jaarbasis

Tabel F.3.a; Energiesysteem A3-1; EPC 0,6		
<i>Elektriciteit</i>	<i>kWh</i>	<i>GJ</i>
PV productie (duurzaam)	3035	10,9
Directe levering PV	493	1,8
Teruglevering aan net (PV)	2542	9,2
Biomassa productie (duurzaam, buiten wijk, tabel D.7)	265	1,0
Inkoop van net	2623	9,4
Eindverbruik	3116	11,2

Tabel F.3.b; Energiesysteem A3-1; EPC 0,6	
<i>Warmte (65 °C)</i>	<i>GJ</i>
Productie zonnecollector (duurzaam)	5,3
Productie piekbrander	9,0
Eindverbruik	14,3

Tabel F.3.c; Energiesysteem A3-1; EPC 0,6	
<i>Gas</i>	<i>GJ</i>
Productie biogas (duurzaam) (vergisting & vergassing, tabel D.7)	1,1
Uit net	8,9
Vraag	10,0

- De hoeveelheid fossiel koolstof (B) die met de energievoorziening van deze woning is gemoeid komt overeen met :

$$B = C_{\text{gas}}E_w + C_{\text{el}}E_{\text{el}} = 15 \times 10 + 30 \times (-0,7) = 129 \text{ kg koolstof}$$

- Het A3-1 concept (EPC 0,6) is voor 71,7 % duurzaam:

$$\text{Duurzaamheid} = \frac{\text{PV} + \text{Bio el.} + \text{Duurzame warmte} + \text{Biogas}}{\text{Eindverbruik(El. + Warmte)}} \times 100\% = \frac{18,3}{25,5} \times 100\% = 71,7\%$$

F.4 Het A3-2 systeem

Beschrijving energiesysteem

Tabel F.4; Energiesysteem A3-2; EPC 0,6			
<i>Aspect</i>	<i>Functie</i>	<i>Categorie/component</i>	<i>Bijzonderheden</i>
Elektriciteit	productie distributie uitwisseling eindverbruik	PV uit biomassa fijnmazig net in de hele wijk landelijk net vraagpatroon huishouden	vnl. buiten wijk
Warmte	productie buffering distributie uitwisseling eindverbruik	zonnecollectoren Op hoge temperatuur in aquifer hoge temp. waterleidingnet met gasnet via centrale piekbrander vraagpatroon warm tapwater vraagpatroon ruimteverwarming	invoer warmte
Gas	productie uitwisseling eindverbruik	vergisting en (hydro-)vergassing van biomassa met landelijk gasnet met biomassaastroom vraagpatroon centrale piekbrander	invoer biomassa
Biomassa	productie uitwisseling	wijkgebonden groen (en afval) met gasnet via vergisting en vergassing	uitvoer biomassa

Bedrijf energiesysteem

Voor het hierboven beschreven energiesysteem hebben we de volgende bedrijfscondities aangenomen:

- PV
oppervlak: 40x28 m²
rendement: 9,7 % (zuidoriëntatie)
- zonnecollectoren
oppervlak: 40x14 m²
rendement: 45 % (temperatuur 65 °C)
- aquifer
rendement: 60 %
grootte: 40x9 GJ

Energiestromen per woning op jaarbasis

Tabel F.4.a; Energiesysteem A3-2; EPC 0,6		
<i>Elektriciteit</i>	<i>kWh</i>	<i>GJ</i>
PV productie (duurzaam)	3035	10,9
Directe levering PV	493	1,8
Teruglevering aan net (PV)	2542	9,1
Productie uit biomassa (duurzaam, vnl. buiten wijk, tabel D.7)	265	1,0
Inkoop van net	2623	9,4
Eindverbruik	3116	11,2

Tabel F.4.b; Energiesysteem A3-2; EPC 0,6	
<i>Warmte (65 °C)</i>	<i>GJ</i>
Zonnecollector productie	20,9
Directe levering (duurzaam)	2,8
Naar buffer	18,1
Uit buffer (duurzaam)	11,5
Eindverbruik	14,3

In de aquifer blijft een forse hoeveelheid warmte achter die uiteindelijk verloren gaat.

Tabel F.4.c; Energiesysteem A3-2; EPC 0,6	
<i>Gas</i>	<i>GJ</i>
Productie biogas (duurzaam) (vergisting & vergassing, tabel D.7)	1,1
Naar net	1,1
Vraag	0,0

- Er is geen fossiele koolstof (B) nodig voor de energievoorziening van een woning/huishouden in dit blok. (B=0)
- Het A3-2 concept is voor 107,1 % energieneutraal:

$$\text{Duurzaamheid} = \frac{\text{PV} + \text{Bio el.} + \text{Duurzame warmte} + \text{Biogas}}{\text{Eindverbruik(El. + Warmte)}} \times 100\% = \frac{27,3}{25,5} \times 100\% = 107,1\%$$

F.5 Het A3-3 systeem

Beschrijving energiesysteem

Tabel F.5; Energiesysteem A3-3; EPC 0,6			
<i>Aspect</i>	<i>Functie</i>	<i>Categorie/component</i>	<i>Bijzonderheden</i>
Elektriciteit	productie distributie uitwisseling eindverbruik	PV uit biomassa fijnmazig net in de hele wijk landelijk net vraagpatroon huishouden	(combipaneel)
Warmte Lage temp. (15°C)	productie buffering distributie eindverbruik	zonnecollector omgeving op lage temperatuur in aquifer lage temp waterleidingnet Warmtepompen	(combipaneel) (warmtewisselaar)
Tussen temp. (45°C)	productie buffering eindverbruik	Warmtepomp ruimteverwarming opslagvat bij warmtepomp vraagpatroon ruimteverwarming	
Hoge temp. (65°C)	productie buffering eindverbruik	Warmtepomp warm tapwater opslagvat bij warmtepomp vraagpatroon warm tapwater	
Gas	productie uitwisseling eindverbruik	vergisting en (hydro)-vergassing van biomassa met landelijk gasnet met biomassastroom vraagpatroon centrale mini-W/K	uitvoer gas invoer biomassa
Biomassa	productie uitwisseling	wijkgebonden groen (en afval) met gasnet via vergisting en vergassing	uitvoer biomassa

Bedrijf energiesysteem

Voor het hierboven beschreven energiesysteem hebben we de volgende bedrijfscondities aangenomen:

- combipanelen
oppervlak: 40x38 m²
elektrisch rendement: 9.7 % (zuid oriëntatie)
thermisch rendement: 50 % (temperatuur 20 °C)
- aquifer
rendement: 60 %
grootte: 40x7,5 GJ

- elektrische warmtepomp voor ruimteverwarming
lage temperatuur: 15°C
hoge temperatuur: 45°C
COP: 4,7
capaciteit buffer: 50 MJ warmte
- elektrische warmtepomp voor warm tapwater
lage temperatuur: 15°C
hoge temperatuur: 65°C
COP: 2
capaciteit buffer: 50 MJ warmte

F.5.1 Energiestromen per woning op jaarbasis; EPC 0,6; systeem A3-3

<i>Elektriciteit</i>	<i>kWh</i>	<i>GJ</i>
PV productie (duurzaam)	4119	14,8
Directe levering PV	643	2,3
Teruglevering aan net (PV)	3476	12,5
Productie uit biomassa (duurzaam, buiten wijk, tabel D.7)	265	1,0
Inkoop van net	3477	12,5
Vraag	4120	14,8
eindverbruik huishouden	3116	11,2
vraag WP ruimteverwarming	339	1,2
vraag WP warm tapwater	665	2,4

<i>Warmte (15 °C)</i>	<i>GJ</i>
Zonnecollector productie	63,2
Directe levering (duurzaam)	2,1
Uit buffer (duurzaam)	8,6
Naar buffer	61,1
Vraag	10,7

Er is per saldo een groot overschot aan lage temperatuur warmte van 15°C.

<i>Warmte (45 °C)</i>	<i>GJ</i>
Productie warmtepomp	7,0
Eindverbruik ruimteverwarming	7,0

<i>Warmte (65 °C) per woning</i>	<i>GJ</i>
Productie warmtepomp	7,3
Eindverbruik warm tapwater	7,3

<i>Gas</i>	<i>GJ</i>
Productie biogas (duurzaam) (vergisting & vergassing, tabel D.7)	1,1
Naar net	1,1
Vraag	0,0

- Er is geen fossiele koolstof (B) nodig voor de energievoorziening van een woning/huishouden in dit blok. (B=0)
- Het A3-3 concept (EPC 0,6) is voor 108,2 % energieneutraal:

$$\text{Duurzaamheid} = \frac{\text{PV} + \text{Bio el.} + \text{Duurzame warmte} + \text{Biogas}}{\text{Eindverbruik(El. + Warmte)}} \times 100\% = \frac{27,6}{25,5} \times 100\% = 108,2\%$$

F.5.2 Energiestromen per woning op jaarbasis; EPC 0,3; systeem A3-3

<i>Elektriciteit</i>	<i>kWh</i>	<i>GJ</i>
PV productie (duurzaam)	4119	14,8
Directe levering PV	698	2,5
Teruglevering aan net (PV)	3421	12,3
Productie uit biomassa (duurzaam, buiten wijk, tabel D.7)	265	1,0
Inkoop van net	3216	11,6
Vraag	3914	14,1
eindverbruik huishouden	3116	11,2
vraag WP ruimteverwarming	133	0,5
vraag WP warm tapwater	665	2,4

<i>Warmte (15 °C)</i>	<i>GJ</i>
Zonnecollector productie	63,2
Directe levering (duurzaam)	1,7
Uit buffer (duurzaam)	5,4
Naar buffer	61,5
Vraag	7,1

Er is per saldo een groot overschot aan lage temperatuur warmte van 15 °C.

Tabel F.5.h; Energiesysteem A3-3; EPC 0,3	
<i>Warmte (45 °C)</i>	<i>GJ</i>
Productie warmtepomp	2,8
Eindverbruik ruimteverwarming	2,8

Tabel F.5.i; Energiesysteem A3-3; EPC 0,3	
<i>Warmte (65 °C) per woning</i>	<i>GJ</i>
Productie warmtepomp	7,3
Eindverbruik warm tapwater	7,3

Tabel F.5.j; Energiesysteem A3-3; EPC 0,3	
<i>Gas</i>	<i>GJ</i>
Productie biogas (duurzaam) (vergisting & vergassing, tabel D.7)	1,1
Naar net	1,1
Vraag	0,0

- Er is geen fossiele koolstof (B) nodig voor de energievoorziening van een woning/huishouden in dit blok. (B=0)
- Het A3-3 concept (EPC 0,3) is voor 113,7 % energieneutraal:

$$\text{Duurzaamheid} = \frac{\text{PV} + \text{Bio el.} + \text{Duurzame warmte} + \text{Biogas}}{\text{Eindverbruik(El. + Warmte)}} \times 100\% = \frac{24,0}{21,3} \times 100\% = 113,7\%$$

F.6 Het A2-1 systeem (Schoon fossiel met beperkte uitwisseling)

Beschrijving energiesysteem

Tabel F.6; Energiesysteem A2-1; EPC 0,6			
<i>Aspect</i>	<i>Functie</i>	<i>Categorie/component</i>	<i>Bijzonderheden</i>
Elektriciteit	productie distributie uitwisseling eindverbruik	PV mini-W/K systeem uit biomassa fijnmazig net in de hele wijk landelijk net vraagpatroon huishouden	vnl. buiten wijk
Warmte	productie buffering distributie uitwisseling eindverbruik	zonnecollector mini-W/K systeem Op hoge temperatuur in aquifer hoge temp waterleidingnet met gasnet via mini-W/K vraagpatroon warm tapwater vraagpatroon ruimteverwarming	invoer warmte
Gas	productie uitwisseling eindverbruik	vergisting en (hydro)-vergassing van biomassa met landelijk gasnet met biomassastroom vraagpatroon centrale mini-W/K	invoer biomassa
Biomassa	productie uitwisseling	wijkgebonden groen (en afval) met gasnet via vergisting en vergassing	uitvoer biomassa

Bedrijf energiesysteem

Voor het hierboven beschreven energiesysteem hebben we de volgende bedrijfscondities aangenomen:

- Mini-W/K installatie (SOFC systeem):
 - maximaal vermogen: 100 kW (gasverbruik op LHV basis)
 - elektrisch rendement: 45%
 - warmte rendement: 40% (temperatuur 65 °C)
 - elektriciteitsvolgend (consequentie: geen invoer van elektriciteit)
- PV
 - 40x5 m²
 - rendement 9,7 %
- zonnecollectoren
 - 40x6 m²
 - rendement 45% (temperatuur 65 °C)
- aquifer
 - rendement: 60%
 - grootte: 40x9 GJ

Energiestromen per woning op jaarbasis

Tabel F.6.a; Energiesysteem A2-1; EPC 0,6		
<i>Elektriciteit</i>	<i>kWh</i>	<i>GJ</i>
PV productie (duurzaam)	542	2,0
Directe levering PV	336	1,2
Teruglevering aan net (PV)	206	0,8
Productie uit biomassa (duurzaam, buiten wijk, tabel D.7)	265	1,0
Mini-W/K productie	2780	10,0
Inkoop van net	0	0
Eindverbruik	3116	11,2

Tabel F.6.b; Energiesysteem A2-1; EPC 0,6	
<i>Warmte (65 °C)</i>	<i>GJ</i>
Zonnecollector productie (duurzaam)	9,0
Mini-W/K productie	8,9
Directe levering	9,2
Naar buffer	8,7
Uit buffer	5,1
Eindverbruik	14,3

Tabel F.6.c; Energiesysteem A2-1; EPC 0,6	
<i>Gas</i>	<i>GJ</i>
Productie biogas (vergisting & vergassing, tabel D.7)	1,1
Uit net	21,1
Vraag	22,2

- De hoeveelheid fossiel koolstof (B) die met de energievoorziening van een woning/huishouden in dit blok is gemoeid komt overeen met:

$$B = C_{\text{gas}}E_w - C_{\text{el}}E_{\text{el}} = 15 \times 21 - 30 \times (0,8 + 1,0) = 261 \text{ kg koolstof}$$

- Het A2-1 concept is voor 51,4 % duurzaam:

$$\text{Duurzaamheid} = \frac{\text{PV} + \text{Bio el.} + \text{Duurzame warmte} + \text{Biogas}}{\text{Eindverbruik(El. + Warmte)}} \times 100\% = \frac{13,1}{25,5} \times 100\% = 51,4\%$$

F.7 Het A2-2 systeem

Beschrijving energiesysteem

Tabel F.7; Energiesysteem A2-2; EPC 0,6			
<i>Aspect</i>	<i>Functie</i>	<i>Categorie/component</i>	<i>Bijzonderheden</i>
Elektriciteit	productie distributie uitwisseling eindverbruik	PV mini W/K systeem uit biomassa fijnmazig net in de hele wijk landelijk net vraagpatroon huishouden	combipaneel SOFC vnl. buiten wijk
Warmte Lage temp. (15°C)	productie buffering distributie eindverbruik	zonnecollector omgeving op lage temperatuur in aquifer lage temp waterleidingnet Warmtepompen	combipaneel warmtewisselaar
Tussen temp. (45°C)	productie buffering eindverbruik	Warmtepomp ruimteverwarming opslagvat bij warmtepomp vraagpatroon ruimteverwarming	
Hoge temp. (65°C) (lokaal)	productie buffering eindverbruik	Warmtepomp warm tapwater opslagvat bij warmtepomp vraagpatroon warm tapwater	
Hoge temp. (65°C) (centraal)	productie eindverbruik	mini-W/K systeem utiliteit/bedrijf in wijk	SOFC
Gas	productie uitwisseling eindverbruik	vergisting en (hydro)-vergassing van biomassa met landelijk gasnet met biomassastroom vraagpatroon centrale mini-W/K	invoer biomassa
Biomassa	productie uitwisseling	wijkgebonden groen (en afval) met gasnet via vergisting en vergassing	uitvoer biomassa

Bedrijf energiesysteem

Voor het hierboven beschreven energiesysteem hebben we de volgende bedrijfscondities aangenomen:

- Mini-W/K installatie (SOFC systeem):
 - maximaal vermogen: 40 kW (gasverbruik op LHV basis)
 - elektrisch rendement: 60%
 - warmte rendement: 33% (temperatuur 65 °C, warmte wordt 'ergens' centraal gebruikt)
 - elektriciteitsvolgend, max. el. vermogen 24 kW, min. el. vermogen 7,2 kW.

- combipanelen
oppervlak: 40x5 m²
elektrisch rendement: 9,7 %
thermisch rendement: 50% (temperatuur 20 °C)
- aquifer
rendement: 75%
grootte: 40x7 GJ
- elektrische warmtepomp voor ruimteverwarming
lage temperatuur: 15°C
hoge temperatuur: 45°C
COP: 4,7
capaciteit buffer: 50 MJ warmte
- elektrische warmtepomp voor warm tapwater
lage temperatuur: 15°C
hoge temperatuur: 65°C
COP: 2
capaciteit buffer: 50 MJ warmte

F.7.1 Energiestromen per woning op jaarbasis; EPC 0,6; systeem A2-2

Tabel F.7.a; Energiesysteem A2-2; EPC 0,6		
<i>Elektriciteit</i>	<i>kWh</i>	<i>GJ</i>
PV productie (duurzaam)	542	2,0
Directe levering PV	355	1,3
Teruglevering aan net (PV)	187	0,7
Productie uit biomassa (duurzaam, buiten wijk, tabel D.7)	265	1,0
Mini-W/K productie	3123	11,2
Directe levering mini-W/K	2833	10,2
Teruglevering aan net (mini-W/K)	290	1,0
Inkoop van net	932	3,3
Vraag	4120	14,8
eindverbruik huishouden	3116	11,2
vraag WP ruimteverwarming	339	1,2
vraag WP warm tapwater	665	2,4

Tabel F.7.b; Energiesysteem A2-2; EPC 0,6	
<i>Warmte (15 °C) (duurzaam)</i>	<i>GJ</i>
Zonnecollector productie	8,3
Tekort*	2,4
Vraag	10,7

*Het tekort aan lage temperatuur (in dit geval duurzame) warmte van 15 °C voor de warmtepompen wordt aangevuld uit de omgevingslucht. In de winter kan ook de hoge temperatuur warmte uit de SOFC (dan warmtevolgend) worden ingezet.

Tabel F.7.c; Energiesysteem A2-2; EPC 0,6	
Warmte (45 °C)	GJ
Productie warmtepomp	7,0
Eindverbruik ruimteverwarming	7,0

Tabel F.7.d; Energiesysteem A2-2; EPC 0,6	
Warmte (65 °C) per woning	GJ
Productie warmtepomp	7,3
Eindverbruik warm tapwater	7,3

Tabel F.7.e; Energiesysteem A2-2; EPC 0,6	
Warmte (65 °C) bij mini-W/K	GJ
Productie mini-W/K (in totaal)	247
Vraag	?

Tabel F.7.g; Energiesysteem A2-2; EPC 0,6	
Gas	GJ
Productie biogas (duurzaam) (vergisting & vergassing, tabel D.7)	1,1
Uit net	17,6
Vraag	18,7

- De hoeveelheid fossiel koolstof (B) die met de energievoorziening van een woning/huishouden in dit blok is gemoeid komt overeen met:

$$B = C_{\text{gas}}E_w - C_{\text{el}}E_{\text{el}} = 15 \times 17,6 + 30 \times (3,4 - 1,0 - 1,0 - 0,7) = 285 \text{ kg koolstof}$$

- Het A2-2 concept (EPC 0,6) is voor 57,6 % duurzaam:

$$\text{Duurzaamheid} = \frac{\text{PV} + \text{Bio el.} + \text{Duurzame warmte} + \text{Biogas}}{\text{Eindverbruik(El. + Warmte)}} \times 100\% = \frac{14,7}{25,5} \times 100\% = 57,6\%$$

In de formule voor energie neutraliteit is in de post eindverbruik de hoge temperatuurwarmte van de mini-W/K niet opgenomen. Wat er met deze warmtestroom wordt gedaan valt op dit moment buiten ons perspectief

F.7.2 Energiestromen per woning op jaarbasis; EPC 0,3; systeem A2-2

Tabel F.7.h; Energiesysteem A2-2; EPC 0,3		
<i>Elektriciteit</i>	<i>kWh</i>	<i>GJ</i>
PV productie (duurzaam)	542	2,0
Directe levering PV	355	1,3
Teruglevering aan net (PV)	187	0,7
Productie uit biomassa (duurzaam, buiten wijk)	265	1,0
Mini-W/K productie	3151	11,3
Directe levering mini-W/K	2899	10,4
Teruglevering aan net (mini-W/K)	252	0,9
Inkoop van net	660	2,4
Vraag	3914	14,1
eindverbruik huishouden	3116	11,2
vraag WP ruimteverwarming	133	0,5
vraag WP warm tapwater	665	2,4

Tabel F.7.i; Energiesysteem A2-2; EPC 0,3	
<i>Warmte (15 °C) (duurzaam)</i>	<i>GJ</i>
Zonnecollector productie	8,3
Overschot*	1,2
Vraag	7,1

*Het overschot aan lage temperatuur (in dit geval duurzame) warmte van 15°C wordt geloosd.

Tabel F.7.j; Energiesysteem A2-2; EPC 0,3	
<i>Warmte (45 °C),</i>	<i>GJ</i>
Productie warmtepomp	2,8
Eindverbruik ruimteverwarming	2,8

Tabel F.7.k; Energiesysteem A2-2; EPC 0,3	
<i>Warmte (65 °C) per woning</i>	<i>GJ</i>
Productie warmtepomp	7,3
Eindverbruik warm tapwater	7,3

Tabel F.7.l; Energiesysteem A2-2; EPC 0,3	
<i>Warmte (65 °C) bij mini-W/K</i>	<i>GJ</i>
Productie mini-W/K (in totaal)	247
Vraag	?

<i>Tabel F.7.m; Energiesysteem A2-2;</i>	
<i>Gas</i>	<i>GJ</i>
Productie biogas (duurzaam) (vergisting & vergassing, tabel D.7)	1,1
Uit net	17,8
Vraag	18,9

- De hoeveelheid fossiel koolstof (B) die met de energievoorziening van een woning/huishouden in dit blok is gemoeid komt overeen met:

$$B = C_{\text{gas}}E_w - C_{\text{el}}E_{\text{el}} = 15 \times 17,8 + 30 \times (2,4 - 1,0 - 0,9 - 0,7) = 258 \text{ kg koolstof}$$

- Het A2-2 concept (EPC 0,3) is voor 58,2 % duurzaam:

$$\text{Duurzaamheid} = \frac{\text{PV} + \text{Bio el.} + \text{Duurzame warmte} + \text{Biogas}}{\text{Eindverbruik(El. + Warmte)}} \times 100\% = \frac{12,4}{21,3} \times 100\% = 58,2\%$$

In de formule voor energie neutraliteit is in de post eindverbruik de hoge temperatuurwarmte van de mini-W/K niet opgenomen. Wat er met deze warmtestroom wordt gedaan valt op dit moment buiten ons perspectief

F.8 Het A2-3 systeem (Schoon fossiel met beperkte uitwisseling)

Beschrijving energiesysteem

Het A2-3 systeem komt overeen met het A2-2 systeem op één aspect na: overtollige zonnestroom wordt niet teruggeleverd aan het net, maar wordt omgezet in waterstof. De waterstof wordt afgezet via een gasnet of opgeslagen in een buffer en is geschikt als brandstof voor het mini-W/K systeem. In deze variant wordt 0,68 GJ waterstof per woning per jaar geproduceerd.

Qua structuur is de opzet van het A2-3 systeem gelijk aan energievoorzieningsysteem van een volledig energieneutrale en autarke wijk met seizoensopslag van warmte en elektriciteit. In het geval van een autarke wijk, zou het aandeel (combi-)zonnepanelen natuurlijk sterk vergroot worden.

G. DE SYNCHRONITEIT VAN DE PRODUCTIE VAN ELEKTRICITEIT IN DE WIJK MET DE VRAAG BUITEN DE WIJK

G.1 Inleiding

In deze bijlage wordt een korte beschrijving gegeven van de gebruikte methode om de synchroniteit te bepalen van tekorten of overschotten aan elektriciteit in de beschouwde wijk met de vraag in de rest van de maatschappij, en enige resultaten van het gebruik van de methode. Tot slot worden nog enige verdere gebruiksmogelijkheden van de methode aangegeven.

G.2 Probleemstelling

De momentane productie van elektriciteit in de woonwijk zal zelden gelijk zijn aan de momentane vraag, ook al zal het mogelijk zijn om op jaarbasis de productie gelijk aan de vraag te krijgen. De momentane ongelijkheid impliceert dat er buffering nodig is. In dit project wordt ervan uitgegaan dat de beschouwde wijk een elektrische verbinding met het landelijke elektriciteitsnet heeft. Het gevolg is dat het mogelijk is, dat momentane overschotten of tekorten in de wijk samenvallen met respectievelijk een hoge of lage vraag naar elektriciteit in andere sectoren van de maatschappij. Wanneer de productie van elektriciteit in de wijk “in fase” is met de vraag naar stroom in de rest van de maatschappij, is de behoefte om te bufferen minimaal en de synchroniteit van de elektriciteit maximaal. Mogelijk kan er met deze aanpak een antwoord gegeven worden op de vraag of er met buffering van elektriciteit voordelen te behalen zijn.

De momentane prijs van elektriciteit op een spotmarkt zou de beste reflectie zijn van de synchroniteit van de elektriciteit. Liberalisatie van de markt voor elektriciteit staat echter nog in de kinderschoenen en een spotmarkt is nog maar net operationeel. Daarom is bij gebrek aan empirische gegevens een vervangende methode nodig, die best een beetje primitief mag zijn.

G.3 Doelstelling

Het kwantificeren van de mate van synchroniteit van een overschot of vraag van elektriciteit van de wijk met de vraag in de rest van de maatschappij. Dit levert een indicatie voor de prijs van elektriciteit. Hiermee moeten de verschillende concepten met elkaar vergeleken worden op het punt synchroniteit van afname en productie van elektriciteit met de landelijke vraag. Uiteindelijk kan dit aangeven of er buffering van elektriciteit nodig zal zijn.

G.4 Afbakening

Een aspect dat in het kader van deze studie te ver voert is de programmaverantwoordelijkheid. Bij de huidige wijze van organiseren van de elektriciteitsmarkt moet een aanbieder of vrager van elektriciteit vooraf aangeven hoeveel elektriciteit hij op ieder moment van de komende of volgende dag zal gaan leveren of afnemen. Wanneer de daadwerkelijk geleverde of afgenomen hoeveelheid elektriciteit daarvan afwijkt is sprake van onbalans, en wordt de betreffende partij met extra kosten geconfronteerd. Omdat het voor een individuele aanbieder van elektriciteit uit wind of PV vrijwel onmogelijk is zijn opbrengt van uur tot uur te voorspellen, zal hij vaker in onbalans zijn en dus hoge kosten hebben. Voor alle aanbieders van elektriciteit uit zon en wind gezamenlijk is de voorspelbaarheid een stuk groter. Er zal dus nog iets bedacht moeten worden om deze tekortkoming van het huidige systeem te compenseren, waarbij gedacht kan worden aan een extra spotmarkt waar stukjes onbalans onderling verhandeld kunnen worden.

In dit project wordt er van uit gegaan dat de marktprijs van kwartier tot kwartier kan veranderen en dat de markt volledig ontwikkeld is.

G.5 Werkwijze

Uitgangspunt van de bepaling van de synchroniteit van de elektriciteit van een concept is of er in de maatschappij een hoge of een lage vraag naar elektriciteit is op momenten dat de wijk stroom levert of afneemt. De synchroniteit wordt bepaald aan de hand van een synchroniteit (Sync), die bestaat uit het somproduct over een jaar van momentane vraagfactoren (mvrg) gedurende het jaar en de energie die de wijk momentaan vraagt of aan de buitenwereld levert, gedeeld door het totale jaarlijkse energieverbruik.

$$E_{sync} = \sum_{jaar} mvrg * E_{el}$$

Om te schetsen hoe de momentane vraagfactor mvrg wordt bepaald is figuur 1 toegevoegd, waarin voor één dag geschetst wordt hoe de mvrg tot stand komt. Er is voor de weergave van één dag gekozen omdat weergave van het volle jaar onduidelijk is. De mvrg van elektriciteit wordt bepaald door de fractie van het beschikbare vermogen die daadwerkelijk op dat moment benut wordt. Deze fractie wordt bepaald door het momentaan door de maatschappij gevraagde vermogen (Mvraag) te delen door de op dat moment beschikbare productiecapaciteit (Pcap). Deze blijkt bij de gekozen uitgangspunten altijd groter dan de vraag te zijn.

$$mvrg = C * \frac{Mvraag}{Pcap}$$

Het momentaan gevraagde vermogen is in het voorbeeld weergegeven door de lijn “Mvraag”. De beschikbare productiecapaciteit wordt weer bepaald door het totaal geplaatste stuurbare productie vermogen (fossiel en biomassagestookt) te verminderen met niet beschikbaar vermogen (in onderhoud, te hoge riviertemperaturen etcetera), en hierbij het op dat moment beschikbare vermogen van windenergie, PV en warmtevraaggestuurde warmtekrachtinstallaties op te tellen.

$$Pcap = (Pstook - Pond + Pwind + Pzon + Pwkk)$$

In het voorbeeld is het beschikbare fossiele vermogen (Pstook – Pond) constant verondersteld op 2,0. Het PV vermogen is weergegeven als een halve sinus. Dit is een aardige gestileerde weergave van de werkelijkheid. Het patroon voor wind is in dit voorbeeld volkomen fictief. Er is een vier maal herhaalde sinus aangenomen.

De beschikbare capaciteit wordt weergegeven door de lijn “Pcap”, de bovenste lijn in figuur G.1. De door deling van “Mvraag” en “Pcap” ontstane factor (“Mvraag/Pcap”) wordt vermenigvuldigd met een constante (C) die een zodanige waarde heeft dat het jaargemiddelde van de momentane vraag factoren mvrg gelijk aan 1 is.

Het resultaat is weergegeven als “mvrg”. Het valt op dat deze het verloop van Mvraag min of meer volgt. De afwijking is het grootst wanneer Pcap het hoogst is. Dit is midden op de dag wanneer de opbrengst van PV maximaal is. Wanneer de gecombineerde opbrengst van zon en wind gelijk aan nul is, is de synchroniteit gelijk aan Mvraag.

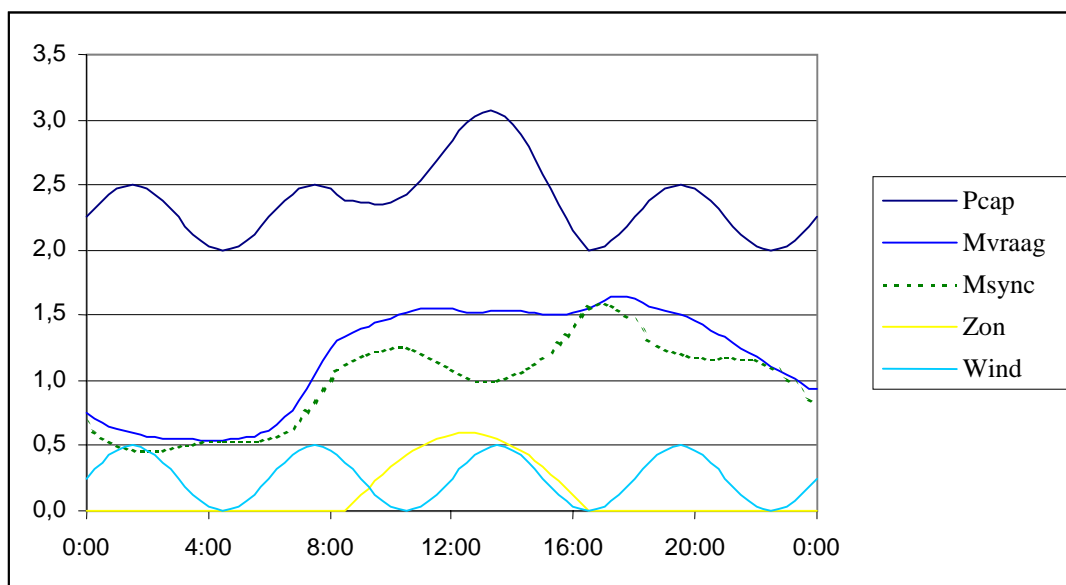


Fig. G.1 Voorbeeld van 1 dag

G.5.1 Bepaling van de tijdreeks van mvrg

Voor het momentaan door de maatschappij gevraagde vermogen Mvraag zal in eerste instantie gebruik worden gemaakt van een recent inkooppatroon van een Nederlands distributiebedrijf. Het is als vraagpatroon op basis van kwartierwaarnemingen bij ECN bekend. De schaal is zodanig gekozen dat de som van de kwartierhoeveelheden elektriciteit 426,6 PJ bedraagt. Dit is de totale elektriciteitsvraag in 2010 volgens het European Coordination scenario [ECN 97]. Er is voor dit scenario gekozen omdat het op dit moment het meest populaire scenario is voor verkenningen op de middellange termijn. In een later stadium kan de methode uit het proefschrift van Perrels [Perrels 92] gebruikt worden bij het bepalen van een maatschappelijk vraagpatroon.

De beschikbare vermogens van centrale en decentrale opwekking van elektriciteit met verbrandingsprocessen, zon en wind worden ook ontleend aan het EC scenario [ECN 97]. Het met fossiele brandstoffen of biomassa gestookte vermogen is verdeeld in twee groepen: warmtevraaggestuurd vermogen en continu beschikbaar vermogen. Warmtekrachtvermogen dat jaarrond een deel van het etmaal beschikbaar is wordt verondersteld continu beschikbaar te zijn. Het wordt namelijk ingeschakeld op die momenten van de dag dat de vraag het grootst is. Met dagbuffering van warmte wordt gezorgd dat ook de warmte beschikbaar is op het gevraagde moment. Het totaal opgestelde continu beschikbare vermogen bedraagt in 2010 volgens het EC scenario 19144 MWe. Deze waarde wordt gedurende het jaar constant gesteld. In het bijgevoegde voorbeeld is de continu beschikbare capaciteit gelijk aan 2 gesteld. Hierbij wordt het momentane vermogen van zon en wind en warmtevraaggestuurd vermogen opgeteld om te komen tot de totale beschikbare productiecapaciteit. Hoe het warmtegestuurde vermogen wordt behandeld volgt na zon en wind.

Het momentane vermogen dat geleverd wordt door zonnepanelen (PV) is bepaald aan de hand van zoninstralingstijdreeksen die horen bij het referentieweer dat gebruikt wordt bij de simulatie van de woningen. Voor de bepaling van het momentane vermogen van zonne-energie zijn de zoninstralingsreeksen gebruikt van de richtingen zuidoost, zuid en zuidwest, omdat vrijwel alle zonnepanelen deze oriëntatierichtingen zullen hebben. Via een PV modelletje zijn de zoninstralingsreeksen omgezet naar PV vermogens, en zijn de reeksen voor de verschillende

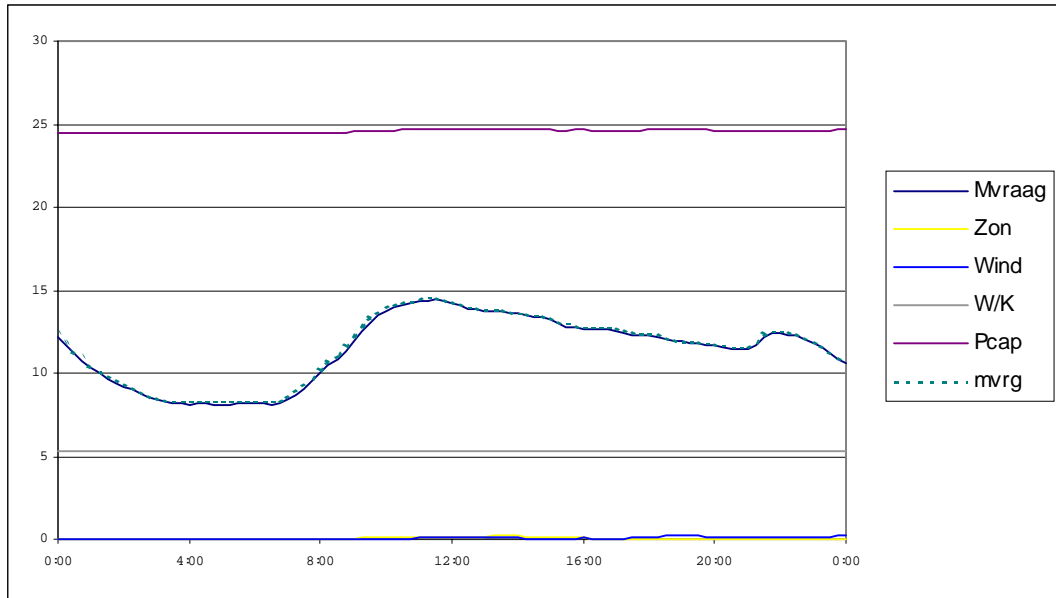
oriëntaties opgeteld tot één tijdreeks. Vervolgens zijn alle waarden van de tijdreeks gedeeld door de hoogste waarde, zodat een genormeerd patroon ontstond. Het momentane vermogen kan nu bepaald worden door de momentane waarde uit de tijdreeks te vermenigvuldigen met het geïnstalleerde PV vermogen. Dat bedraagt in 2010 volgens het EC scenario [ECN 97] 198 MWe. In het bijgevoegde voorbeeld is de productie van PV weergegeven als een sinus van zonsopkomst tot zonsondergang, met een maximum van 0,6.

Het momentane windvermogen is ook bepaald aan de hand van de tijdreeks van het referentieweer. De windsnelheidstijdreeks van het referentieweer is geldig voor een hoogte van enkele meters boven het maaiveld. Uit de literatuur is bekend dat de windsnelheid op grotere hoogte lineair samenhangt met de windsnelheid dicht aan de grond. De gehele tijdreeks is met een zodanige factor vermenigvuldigd dat de gemiddelde windsnelheid 7,5 m/s bedraagt. Vervolgens is bij deze tijdreeks het vermogen gezocht uit een vermogen-windsnelheidstabel van een molen die ontworpen is voor een gemiddelde windsnelheid van 7,5 m/s. Deze tijdreeks is gedeeld door een factor waardoor de hoogst voorkomende waarde gelijk aan 1 is. Het momentane vermogen van alle molens samen wordt weer bepaald door de waarden uit de tijdreeks te vermenigvuldigen met het landelijk geïnstalleerde windvermogen. Dat bedraagt in 2010 volgens het EC scenario [ECN 97] 1225 MWe. In de bijgevoegde figuur is als voorbeeld van de opbrengst van wind een sinus genomen die een aantal malen op de dag varieert van 0 naar 0,5.

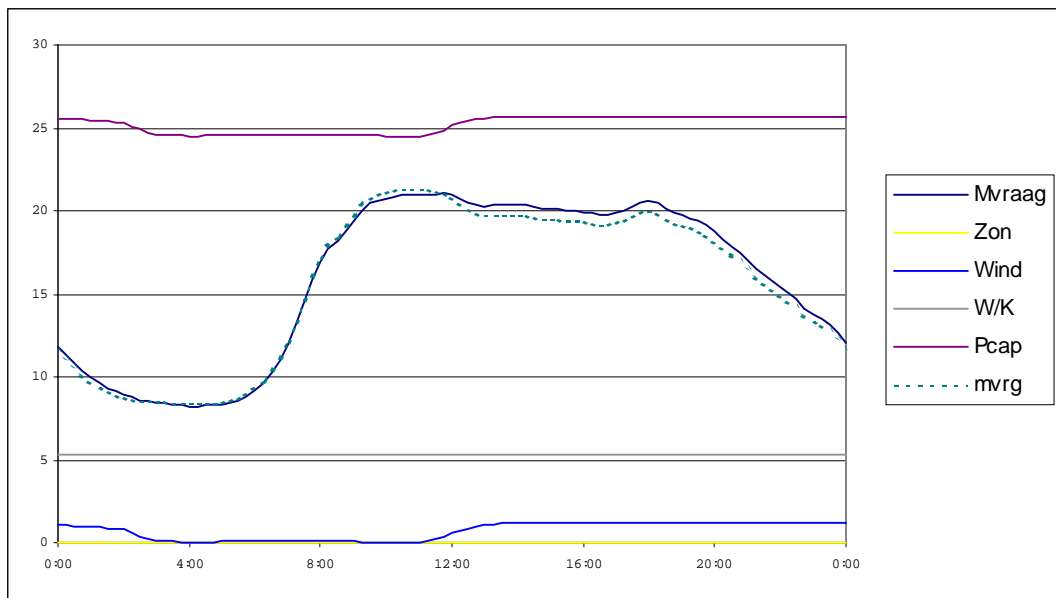
Er zijn meerdere manieren mogelijk om te kijken naar de bijdrage van warmtevraaggestuurd warmtekrachtvermogen in de totale productiecapaciteit. Een eerste redenering is: als de synchroniteit van elektriciteit (en daarmee de prijs) maar hoog genoeg wordt zullen exploitanten van warmtekrachtinstallaties hun installaties in bedrijf stellen, ongeacht of er warmtevraag is of niet. Desnoods wordt de warmte “gedumpt”. De consequentie van deze redenering is dat het warmtevraaggestuurd vermogen ten allen tijde volledig meetelt in Pcap. Een tweede redenering is: welke fractie van het warmtevraaggestuurde vermogen beschikbaar is wordt bepaald aan de hand van de warmtevraag van de betreffende dag. Er wordt verondersteld dat de warmtevraag evenredig is met de gemiddelde etmaaltemperatuur. Er wordt verondersteld dat op de dag met de laagste temperatuur dit vermogen volledig aangesproken wordt, terwijl het op dagen waarop de etmaalgemiddelde temperatuur boven 18 graden is dit vermogen niet meer aangesproken wordt, en hiertussen lineair verdeeld op grond van het etmaalgemiddelde. Het blijkt dat deze redenering ertoe leidt dat op sommige momenten Mvraag hoger is dan Pcap. In de praktijk zal dit niet voorkomen, dus is deze redenering niet zo goed. Het zal er op neerkomen dat beide redeneringen ten dele geldig zijn. Het volle vermogen zal beschikbaar zijn tot het aantal vollasturen van de w/k installaties onder de 6 tot 8 uur komt. Dan zal het maximaal beschikbare vermogen afnemen, maar in ieder geval niet zo laag dat het totaal beschikbare vermogen beneden het gevraagde vermogen daalt. Voor deze studie lijkt deze aanpak te ver te gaan.

Het totaal opgestelde warmtevraaggestuurde vermogen bedraagt in 2010 volgens het EC scenario 5351 MWe. Voor het bepalen van de tijdreeks voor mvrg wordt deze waarde opgeteld bij het continu beschikbare vermogen. In het bijgevoegde voorbeeld (figuur G.1) is de warmtevraaggestuurde warmtekracht buiten beschouwing gelaten.

In de nu volgende figuur is het resultaat van dag 230 (18 augustus, een zondag) weergegeven. Het is de dag met de hoogste opbrengst van PV. Er kan worden vastgesteld dat de sterke daling van mvrg midden op de dag die in het voorbeeld te zien was in werkelijkheid ook in 2010 nog niet geconstateerd zal worden omdat er zeer weinig netgekoppeld PV vermogen is in vergelijking met het thermisch opwekvermogen. De mvrg is midden op de dag hoger dan in het voorbeeld, en volgt de maatschappelijke vraag bijna zonder afwijkingen. De opbrengst van wind is klein, en heeft ook nauwelijks invloed.



De invloed van de wind is duidelijker zichtbaar in de volgende figuur. Dit is de situatie van dag 44 (13 februari, een dinsdag).



De dag is zonloos en begint met veel wind, de vraagfactor is lager dan de vraag. Rond drie uur 's nachts gaat de wind liggen. Pcap daalt ook, en de vraagfactor stijgt boven de vraag uit. Dit duurt tot rond twaalf uur 's middags. Dan steekt de wind weer op en daalt de vraagfactor ten opzichte van de vraag.

In de beide figuren is zichtbaar dat de vraagfactor in de ochtend het hoogst is. Dit blijkt algemeen geldig te zijn voor doordeweekse dagen. In de weekenden valt het moment met de hoogste waarde 's avonds, maar is dan lager dan doordeweeks. Dit betekent dat stroom uit PV over het algemeen geleverd wordt op momenten dat de waarde ervan hoog is.

In de voorgaande alinea's is besproken hoe het momentaan door de maatschappij gevraagde vermogen en het beschikbare productievermogen zijn bepaald. Het quotiënt van het gevraagde en beschikbare vermogen is bepalend voor de vraagfactor. Deze factor wordt weer genormeerd door vermenigvuldiging met een factor die zodanig gekozen wordt dat het jaargemiddelde van

de reeks weer gelijk aan 1 is. De tijdreeks van deze vraagfactoren wordt vervolgens gebruikt bij het berekenen van de synchroniteit van het beschouwde concept.

G.5.2 Berekenen van de synchroniteit van de elektriciteit van een concept

Uit de simulaties van een beschouwd concept wordt voor ieder kwartier van het jaar berekend hoeveel elektriciteit de wijk in- of uitgaat. Ingaande stromen worden positief gerekend, uitgaande stromen negatief. Voor ieder moment van het jaar wordt de grootte van de stroom vermenigvuldigd met de maatschappelijke vraag factor “mvrg” die voor dat moment geldt. De som van deze producten is de synchroniteit van het beschouwde concept. De uitkomst heeft de dimensie kJ/jaar. Deze dimensie is op zich betekenisloos, zodat het wenselijk is de uitkomst dimensieloos te maken. Dit wordt gedaan door de uitkomst te delen door de netto jaarsom van in- en uitgaande elektriciteit.

$$Sync = -\frac{E_{sync}}{\sum_{jaar} E_{el}} = -\frac{\sum_{jaar} mvrg * E_{el}}{\sum_{jaar} E_{el}}$$

Er is voorzichtigheid geboden bij het delen door de jaarsom, omdat deze som bij een strikt energieneutraal concept gelijk aan nul is. Er wordt toch voor deze wijze van berekenen gekozen. Het is bijvoorbeeld ook mogelijk, omdat anders de synchroniteitsfactor van de bijna energieneutrale concepten aan nul nadert, en het dan minder goed mogelijk is de synchroniteit te vergelijken. Verder heeft de hier gekozen berekeningswijze een relatie met de gemiddelde prijs die voor de door het concept geproduceerde of gevraagde elektriciteit moet worden betaald.

Het resultaat van de deling is negatief genomen, omdat E_{sync} bij toenemende synchroniteit negatiever wordt. Dit laatste wordt veroorzaakt door de keuze dat elektriciteit die aan de wijk toegevoerd wordt positief gerekend wordt. De jaarsom van de elektriciteit zal bij de meeste concepten positief zijn. Vermenigvuldiging met -1 levert dan een positievere waarde van Sync bij een betere synchroniteit.

G.6 Verdere toepassingsmogelijkheden van het synchroniteit model.

De momentane vraagfactor “mvrg” geeft aan welk deel van de beschikbare productiecapaciteit benut wordt, en is daarmee een maat voor de schaarste aan elektriciteit. Een logische volgende stap is dan de vraagfactor te benutten als invoer voor een model dat de momentane elektriciteitsprijs op een geliberaliseerde elektriciteitsmarkt te berekenen, rekening houdend met toenemende marginale kosten van de opwekking van elektriciteit. De methode biedt een handvat voor analyse van prijsvorming op zo’n markt.

G.7 Discussie

De hiervoor geschetste methode gaat uit van een vaststaand vraagpatroon, waar de opwekking zich bij aanpast, iedere speler binnen de vrijheidsgraden die zijn opweksysteem hem biedt. Er is echter meer aan de hand. Op een geliberaliseerde markt zullen ook elektriciteitsvragers zijn die hun vraag zo veel mogelijk zullen aanpassen aan de waarde van elektriciteit. Het vraagpatroon zal daardoor veranderen. De methode voorziet hierin niet, en daarom wordt dit een primitieve methode van simulering van een spotmarkt genoemd. Het is waarschijnlijk wel mogelijk om in de verandering van het vraagpatroon onder invloed van een spotmarkt te voorzien, en misschien al beschikbaar. Zo niet, dan kan het onderwerp zijn voor een volgende studie.

Een zwak punt van het bepalen van het momentane landelijk vermogen van zon- en windenergie aan de hand van het referentieweer is dat de tijdreeks geldig is voor één plaats (De Bilt), en dat er dus geen rekening gehouden kan worden met regionale weersverschillen. Bij windenergie

speelt dit wat minder dan bij zon, waar iedere wolk direct leidt tot grote verschillen in vermogen. De onnauwkeurigheid van deze werkwijze lijkt echter acceptabel omdat er op deze manier wel uitspraken te doen zijn over productiecapaciteit in de “omgeving” van de te beschouwen woonwijk. Het voordeel is dat de opbrengsten van wind en PV samenhangen met de vraagpatronen van de woningen.

Een concept dat elektriciteit over houdt op momenten dat de momentane synchroniteitfactor hoog is en tekort heeft als deze factor laag is zal een grotere synchroniteit krijgen dan een concept dat energie tekort heeft wanneer de momentane synchroniteit hoog is. Helaas is het zo dat een concept wat over het jaar meer energie gebruikt dan een ander concept een lagere synchroniteit krijgt, ook als het verbruik optreedt op momenten dat de momentane waarde laag is. Daar moet nog iets voor bedacht worden.

G.8 Literatuur

[Perrels 92] Dr. A.H. Perrels; Modelling Momentary Electricity Demand. An Application to the Netherlands; Vrije Universiteit Amsterdam 1992.

[ECN 97] ECN – Energieonderzoek Centrum Nederland, ECN-Beleidsstudies; Bijlage met energietabellen basisscenario's Nationale Energie Verkenningen 1995-2020; Petten, september 1997

H. QUICKSCAN KOSTEN

In deze studie heeft vooral een vergelijking van systemen op technische gronden plaatsgevonden. Concepten zijn gedimensioneerd, en zijn daarna met een referentieconcept vergeleken op de punten fossiel koolstof, duurzaamheidsfractie, en synchroniteit met maatschappelijke vraag naar elektriciteit. Het belangrijkste criterium voor toepasbaarheid van een concept is echter nog altijd kosten en baten. Hoewel het niet hoofddoel van de studie is, zal in dit hoofdstuk toch getracht worden een indruk van kosten en baten van de verschillende concepten anno 2010 te krijgen.

H.1 Methodiek

Van de in de energiesystemen aanwezige onderdelen zijn verwachtingen voor investerings- en onderhoudskosten bepaald voor het jaar 2010, alsmede de verwachte levensduur. De jaarlijkse onderhoudskosten zijn gegeven als percentage van de investeringskosten. De kapitaalslasten zijn bepaald door het berekenen van de annuïteit horende bij een rente van 5% en een looptijd gelijk aan de verwachte levensduur. Uiteindelijk worden de systemen vergeleken op totale jaarlijkse lasten. Deze worden berekend door de kapitaallasten, onderhoudskosten en energiekosten bij elkaar op te tellen.

H.2 Investeringskosten, onderhoudskosten en levensduur

De investeringen in de verschillende componenten die in een lokaal duurzaam energiesysteem voorkomen zijn samengevat in tabel 1 in de bijlage van dit hoofdstuk plus hun onderhoudskosten en levensduur. Hierin zijn de verwachte investeringskosten weergegeven in de jaren 2000, 2010 en 2020. Ze zijn bepaald door de investeringskosten in 2000 te schatten en jaarlijks met een constant percentage te verminderen. De schattingen zijn geïjkt met zo recent mogelijke kostencijfers uit gerealiseerde projecten of catalogusprijzen van toeleveranciers.

De kosten van de infrastructuur zijn niet in de tabel gezet omdat ze van systeem tot systeem kunnen verschillen. Verder zijn deze kosten constant in de tijd verondersteld. Met behulp van het Technologisch Raamwerk van ECN zijn voor elk systeem de infrastructuurkosten geschat.

H.3 Energiekosten

Voor de verschillende systemen zijn de energiekosten bepaald door rekening te houden met de eerder beschreven synchroniteit van de geproduceerde of verbruikte energie met de vraag in de maatschappij. Wanneer de maatschappelijke vraagfactor van elektriciteit 1 is is de prijs van elektriciteit op 6,5 ct/kWh gesteld. Dat is de gemiddelde elektriciteitsprijs op de APX in de eerste 2 maanden van het bestaan van de spotmarkt. Wanneer de maatschappelijke vraagfactor van aardgas 1 is, is de prijs van gas op 36 ct/m³ gesteld. Dit is ongeveer de huidige prijs die energiedistributiebedrijven betalen voor gas dat zij aan kleinverbruikers doorleveren, exclusief heffingen.

H.4 Energieheffing

De heffing op aardgas kan negatief zijn wanneer de wijk niet op het gasnet aangesloten is. Het gas dat geproduceerd wordt met het afvalwater wordt aan derden verkocht, waarbij de energieheffing ten goede komt aan de exploitant van de biogasinstallatie. Dit komt direct of

indirect aan de waterzuivering ten goede. Er wordt verondersteld dat dit weer aan de wijk wordt doorgegeven in de vorm van een lagere verontreinigingsheffing.

H.5 Jaarkosten

De jaarkosten van de verschillende systemen zijn samengevat in onderstaande tabel.

<i>Jaarkosten van de verschillende systemen</i>						
<i>Systeem</i>	<i>Investering</i>	<i>Kapitaallast</i>	<i>O&M</i>	<i>Energie</i>	<i>Heffingen</i>	<i>Jaarkosten</i>
0 (Referentie)	6133	520	208	431	254	1413
A3-1	24532	1832	452	195	42	2521
A3-2	36691	2680	689	-29	-17	3323
A3-3	37057	2943	688	-52	-22	3557
A2-1	34656	2883	786	250	98	4017
A2-2	24052	2189	619	245	116	3169

De voor de hand liggende uitkomst is het referentiesysteem het goedkoopst is. Het goedkoopste A3 systeem is dat met de hulpbrander. Het hoge temperatuur aquifer systeem en het lage temperatuursysteem met de warmtepompen zijn duurder. Minder voor de hand liggend is dat de volledig duurzame A3 systemen goedkoper zijn dan het schoon fossiele systeem A2-1. De in 2010 nog steeds hoge kosten van de brandstofcel zal daar debet aan zijn. Het A2-2 systeem is iets goedkoper dan de dure A3 systemen.

H.6 Literatuur

[Feber 99] M.A.P.C. de Feber, D.J. Gielen et al.; Biomass for Greenhouse Gas Emission Reduction. Task 7: Energy Technology Characterisation; ECN Petten 1999.