



Microgrid voor “de Wijk van Morgen”

Erwin Gerards
Laurent Schijns

versie	aangemaakt door	aard wijziging	kenmerk	status
2	Erwin Gerards Laurent Schijns		12-6-2009	Definitief



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 2 van 140

datum 12 juni 2009

Aard van verslag

Afstudeerscriptie

Titel

Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

Onderzoeksvraag Laurent Schijns

"ontwerp een opslagsysteem dat overschotten en tekorten kan bufferen voor het microgrid van "de Wijk van Morgen"

Onderzoeksvraag Erwin Gerards

"ontwerp een microgrid wat op termijn autonoom kan opereren t.o.v. het openbare elektriciteitsnet voor "de Wijk van Morgen"

Auteur

Laurent Schijns
Hoenderstraat 20
6269BS Margraten

Erwin Gerards
Wissengrachtweg 31
6336 TG Hulsberg

Opdrachtgever

Hogeschool Zuyd
Faculteit Techniek
Afdeling Elektrotechniek

Bedrijfsbegeleider

Ir. D. Geldtmeijer
innovator

Stagebegeleider

Ir. H.W.H. Theunissen

Uitgever

Enexis
Minckelerstraat 2
6372 PP Landgraaf

Datum verschijnen

12-6-2009



HOGESCHOOL ZUYD



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 3 van 140

datum 12 juni 2009

Voorwoord Erwin Gerards

Dit afstudeerverslag is tot stand gekomen in het kader van de opleiding Elektrotechniek aan de Hogeschool Zuyd te Heerlen. In 2006 is door de Hogeschool Zuyd de ambitie uitgesproken om een research- en innovatiecentrum voor bouw en nieuwe energie op te zetten. Dit heeft geleid tot het project "de Wijk van Morgen". In dit project worden vier energieneutrale gebouwen gerealiseerd. Niet alleen de Faculteit Bouwkunde en de opleiding Werktuigbouwkunde zijn hierbij betrokken, maar sinds februari 2009 ook de opleiding Elektrotechniek. Laurent en ik zijn de eerste studenten die in de periode van 9 februari tot 12 juni gewerkt hebben aan een deelopdracht die is voortgekomen uit dit project.

Tijdens mijn achttien weken durende stage bij de afdeling Innovatie van Enexis heb ik een onderzoek uitgevoerd naar een microgrid voor "de Wijk van Morgen" dat op termijn autonoom kan opereren t.o.v. het openbare elektriciteitsnet. Dit afstudeerverslag is daarvan het resultaat. Terugkijkend op de afstudeerperiode ben ik tevreden dat ik deze opdracht als afsluiting van onze opleiding Elektrotechniek heb gekozen. Hoewel ik met veel plezier aan dit onderzoek en dit afstudeerverslag heb gewerkt, kan ik niet ontkennen dat het schrijven van dit verslag een langer en soms moeizamer proces is geweest dan gedacht. Ook gezien de omvang van deze opdracht en de ontwikkelingen op dit gebied is het onmogelijk een volledige opdracht af te leveren.

Graag wil ik een aantal mensen bedanken die mij tijdens dit proces hebben geholpen, begeleid en gesteund. Een eerste dankwoord gaat uit naar mijn stagebegeleider dhr Geldtmeijer voor zijn plezierige ondersteuning en vooral opbouwende kritieken. Daarnaast wil ik mijn stagebegeleider van school, dhr Theunissen, dhr Overbeeke van Emforce en dhr Haytema van Nedap bedanken voor de bijdrage aan dit onderzoek. Natuurlijk wil ik ook alle collega's van Asset Management bedanken voor hun getoonde interesse in dit onderzoek en de prettige werkomgeving waarin ik de afgelopen maanden heb mogen werken. En Laurent Schijns niet te vergeten voor de prettige samenwerking bij deze opdracht waar ik terecht kon met alle ideeën, theorieën en feedback.



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 4 van 140

datum 12 juni 2009

Voorwoord Laurent Schijns

Tijdens mijn studie heb ik veel interesse gekregen in de techniek achter nieuwe vormen van energie opwekking en opslag. De bekende methoden (gascentrales, kolencentrales etc.) zijn afhankelijk van fossiele grondstoffen die volgens verschillende onderzoeken niet meer in grote hoeveelheden aanwezig zijn. Hierdoor moet er worden overgeschakeld naar een andere vorm of vormen van energie opwekking.

Vanuit het lectoraat Nieuwe Energie van de Hogeschool Zuyd is het initiatief "De Wijk van Morgen" ontstaan. Hier worden deze nieuwe duurzame technieken onderzocht en gedemonstreerd voor de daadwerkelijke wijken van morgen. Gedurende achttien weken heb ik onderzoek gedaan aan opslagsystemen ter bevordering van autonoom bedrijf op de afdeling Innovatie van Enexis waarvan dit rapport de eindschrijving van het afstudeeronderzoek vormt.

In dit rapport wordt aangetoond hoever het met de huidige technologie mogelijk is om autonoom bedrijf van "de Wijk van Morgen" te realiseren. Maar omdat dit een zeer actueel onderwerp is, zullen hier veel innovaties plaats vinden waardoor dit rapport snel gedateerd kan zijn.

Bij deze wil ik mijn collega Erwin Gerards bedanken met wie ik in goede samenwerking mijn afstudeeropdracht heb kunnen uitvoeren. Ook een woord van dank aan Enexis BV voor hun begeleiding bij dit afstudeeropdracht. Speciaal mijn begeleider dhr D. Geldtmeijer voor zijn adviezen, commentaar en ondersteuning tijdens mijn onderzoek. Tevens wil ik dhr. H. Theunissen bedanken voor zijn ondersteuning en een speciaal woord van dank aan mijn ouders, mijn moeder voor de steun, mijn vader voor het vaak zeer belangrijk advies.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 5 van 140

datum 12 juni 2009

Summary

At this moment the energy market is in transition. One of the main causes for this transition is global warming and the dropping amount of fossil fuel reserves. Above all this, the privatisation of the energy market has sped up the process. Because of this development customers can choose their own energy supplier. For these reasons the industry has been forced to develop new technologies to facilitate energy supply. Specifically in the last couple of years the main transition has been in the development of renewable energy systems. This means that people are able to produce their own power, but this comes at a price. The load on the main grid changes dramatically, thus the protection of this grid needs to be adapted. An abundance of solar and wind energy will produce an energy peak on the main grid. When this happens consumer installations or even the main grid can be damaged. This is why the structure of the main grid has to change. This is where energy storage and energy management come into play.

At the "Hogeschool Zuyd" this has led to project "de Wijk van Morgen". This "neighbourhood" will be built at the business park Avantis. These four buildings, together with the multifunctional centre, will boast an innovative use of technology and design that will be fitted with renewable energy sources. The main focus of this report is the development of a microgrid with energy storage that can be operated autonomously for "de Wijk van Morgen".

Research has shown that the term microgrid is not defined. A Delft university study shows that a microgrid is characterised as an off the grid working smartgrid. Smartgrid literally means that energy flow is directed in a smart way. All of this is done separate from the main grid.

The next phase of the research was to compare 4 different concepts for microgrids. Each concept was based on a different structure, thus giving each one its specific application. The first concept was not a possible solution because there were no manufacturers who complied with this concept. The second concept had the most familiar and reliable components, which made it a serious option. The third concept was the most innovative concept but is not a real option because at the moment there are no applicable systems. The fourth concept was based upon a direct current structure. But the use of direct current in this system compared to alternating current had many disadvantages.

For every concept research was done for suppliers and manufacturers. During this research it became clear that this subject is still being investigated and complete systems for "de Wijk van Morgen" are not available yet.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 6 van 140

datum 12 juni 2009

Meanwhile research was done into energy storage and energy consumption. This was needed to calculate the possibility of autonomous use of "de Wijk van Morgen". First it was calculated how much energy was produced by the pv and wind facilities. A conclusion of these calculations was that the wind turbines did not generate enough energy to compensate for their investment. This resulted in an advice not to proceed with obtaining wind turbines for "de Wijk van Morgen".

The energy consumption was calculated from quarter profiles. These profiles were divided in different kinds of consumption. A few of these profiles were: urban profile, office profile, and different kinds of factory profiles. In these profiles it was determined how much energy was going to be used in a specific hour, in a specific month. With these profiles one could calculate the energy consumption of every building. Then it was possible to determine how much surplus energy would be available for storage by subtracting the energy consumption from the energy development. By doing this one was able to determine if it was possible to operate autonomously. It turned out that the energy generation by the solar systems was not sufficient to operate autonomously or even "energy neutral". Even storing this surplus of energy would not be profitable because most storage systems suffer from self discharge.

All these conclusions were bundled in a design for "de Wijk van Morgen". This design is based on concepts two and three, taking the timeline of construction in mind. The idea for "de Wijk van Morgen" is to construct one building each year. This principle has been implemented in this design to keep the microgrid innovative and open for new technologies and budgets. This makes it possible to exhibit a broad diversity of systems.

With this research, a foundation has been made for future students, so they can investigate upcoming technologies and storage systems for "de Wijk van Morgen". Some of the interesting subjects that need further research are:

- Keeping an eye on future developments on the products mentioned in this report;
- Implementing experience and expertise collected from other pilot projects into this project;
- Further research on power balancing in an autonomous grid;
- Research on short circuit situations in an autonomous grid;
- Research on applying custom-made inverters;
- Market research into microgrids in combination with energy storage systems;
- Possibility to implement a bio-diesel generator;
- Appliance of a system with intelligent load balancing;
- Research on the legal requirements for renewable energy systems in an autonomous energy network;
- Research on energy storage in the water basins in "de Wijk van Morgen";
- Calculating and implementing the use of electric vehicles.

Samenvatting

De energiemarkt bevindt zich op dit moment in een transitie. Een van de belangrijkste oorzaken is een toename van het broeikaseffect. Daarnaast worden de voorraden fossiele brandstoffen steeds minder. Bovendien heeft de liberalisering van de energiemarkt hier ook een doorbraak aan gegeven. Hierdoor kan de klant zelf bepalen voor welke energiemaatschappij hij kiest. Al deze oorzaken dragen bij om nieuwe technologieën te ontwikkelen om het elektriciteitsnet in te richten. De laatste jaren zijn de decentrale opwekkers sterk in opkomst. Dit betekent dat de energie steeds korter bij de gebruiker wordt opgewekt. Het lokaal opwekken van energie heeft echter ook nadelen. Elektriciteitsnetten worden op een andere manier belast en moeten daardoor anders beveiligd worden. Bovendien zijn decentrale opwekkers veelal stochastische bronnen. Dit wil zeggen dat ze bij een aanzienlijk aanbod van zon of wind een flinke piek creëren op het openbare elektriciteitsnet. Om deze reden zijn vraag en aanbod zelden in een lijn. De energievoorziening staat dus voor een aanzienlijke verandering. Hierbij spelen opslagsystemen en energiemanagementsystemen een grote rol.

Op de Hogeschool Zuyd heeft dit geleid tot het project "de Wijk van Morgen". "De Wijk van Morgen" wordt gerealiseerd op het bedrijventerrein Avantis. De vier gebouwen van deze wijk zullen samen een innovatiecentrum voor duurzame technieken gaan vormen en worden voorzien van zonnepanelen en andere vernieuwende energiebronnen. De onderzoeksvraag die ten grondslag ligt aan dit onderzoek is het ontwerpen van een microgrid met bijbehorend opslagsysteem dat autonoom kan opereren t.o.v. het openbare elektriciteitsnet voor "de Wijk van Morgen".

Uit onderzoek is gebleken dat de wereld het nog oneens is over de precieze definitie van een microgrid. Op de TU in Delft is gebleken dat een microgrid zich kenmerkt als een smartgrid in eilandbedrijf. De letterlijke vertaling van een smartgrid is wel duidelijk. Een elektriciteitsnetwerk waar de energiestromen "slim" worden gestuurd. Bovendien kan dit netwerk autonoom opereren t.o.v. het openbare elektriciteitsnet.

In een volgende fase zijn verschillende concepten voor microgrids met elkaar vergeleken. Elk concept gebaseerd op een andere structuur en kent daardoor een specifieke toepassing. Voor het eerste concept zijn geen fabrikanten te vinden die op deze wijze het energiemanagement coördineren. Het tweede concept daarentegen is opgebouwd uit bekende en betrouwbare componenten en is daardoor een serieuze optie. Concept drie is de meest innovatieve oplossing. Het aanbod toepasbare systemen blijkt echter nog beperkt. Het creëren van een goede spanningshuishouding en balanshandhaving zijn hierbij belangrijke aandachtspunten. Het vierde concept is gebaseerd op een gelijkspanningsnet. Het gebruik van gelijkspanning kent in deze toepassing echter meer nadelen dan wisselspanning en valt daardoor af voor verder onderzoek.



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 8 van 140

datum 12 juni 2009

Per concept is gekeken naar producten en fabrikanten. Het aanbod bleek echter beperkt. Hierdoor is het op dit moment niet mogelijk om voor "de Wijk van Morgen" een volledig, functioneel ontwerp te maken. Iedereen zit op dit gebied nog in een ontwikkelfase.

Gelijktijdig met dit deelonderzoek is gekeken naar buffering en verbruik van energie. Om autonoom bedrijf van "de Wijk van Morgen" te realiseren moet er enige vorm van opslag geboden worden. In dit onderzoek is bekeken hoeveel energie er opgewekt wordt door een PV-systeem en door de wind turbines gelegen op "de Wijk van Morgen". Dit moest onderzocht worden om te achterhalen of er genoeg energie opgewekt wordt om autonoom bedrijf te kunnen bewerkstelligen. Uit dit deelonderzoek is gebleken dat de geplande windturbines (skystream 3,7) te weinig energie opwekken om rendabel te zijn. Hieruit volgde een aanbeveling om niet door te gaan met plaatsen van windturbines in "de Wijk van Morgen".

Het verbruik is berekend aan de hand van kwartierprofielen. Dit is verdeeld een in woon- en kantoor- en bedrijvenprofiel. Met deze gegevens zijn de gebouwen (voor zover er gegevens bekend waren) in Excel verwerkt tot dagprofielen per maand. Hiermee is het mogelijk precies te berekenen wat er in een uur verbruikt wordt door de gehele "Wijk van Morgen".

Door de gegevens van verbruik en opwek met elkaar te combineren is berekend wat er op bepaalde momenten aan overschot van energie opgeslagen kan worden. Dit resulteert in een gemiddeld getal van 11231 kWh. Dit overschot is niet toereikend om de tekorten van het gehele jaar te voorzien. Om het hele jaar door autonoom te kunnen functioneren, moet er nog meer (door de verliezen in de opslag systemen) dan $(3836,15 + 11231,65 =)$ 15067.15 kWh aan energie worden opgewekt. Ook het opslaan van dergelijk vermogen is niet rendabel, omdat de meeste van deze systemen last hebben van zelfontlading, waardoor veel vermogen verloren gaat.

Uiteindelijk zijn alle bevindingen en ervaringen gecombineerd tot een systeemontwerp voor "de Wijk van Morgen". Hierbij zijn de mogelijkheden van de concepten twee en drie samengevoegd. Aangezien getracht wordt elk jaar een gebouw te realiseren zal het enige tijd duren alvorens de wijk in zijn geheel klaar is. Daarom is er een ontwerp gemaakt dat ook op lange termijn nog steeds vernieuwend en duurzaam is. Steeds opnieuw rekening houdend met de op dat moment beschikbare technologieën en budgetten. Op deze manier zal er tegen het einde van de realisatietermijn een microgrid ontstaan waarbij een diversiteit aan verschillende systemen aantoonbaar is.



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 9 van 140

datum 12 juni 2009

Met deze afstudeeropdracht is een goede start gemaakt met onderzoek naar technologieën en toepassingen op het gebied van microgrids en opslagsystemen voor "de Wijk van Morgen". Hieruit zijn diverse onderwerpen naar voren gekomen die interessant zijn voor volgende studenten.

- Het volgen van ontwikkelingen in technologieën en producten beschreven in dit rapport;
- Ervaringen en evaluaties andere pilotprojecten verwerken in het microgrid voor "de Wijk van Morgen";
- Verdiepen in balanshandhaving en spanningshuishouding in autonome netwerken;
- Onderzoek naar kortsluitsituaties in een autonoom elektriciteitsnet;
- Verdiepen in de mogelijke toepassingen van custom made inverters;
- Marktonderzoek naar microgrids i.c.m. nieuwe opslagtechnologieën;
- Mogelijkheden voor het toepassen van een noodstroomaggregaat i.c.m. biodiesel;
- Toepassingen van systemen met intelligente afstemming op vraag en aanbod;
- Verdieping in juridische aspecten betreffende decentrale opwekkers en realisatie van een autonoom elektriciteitsnetwerk;
- Meer onderzoek naar de waterbuffers die in de wijk van morgen aanwezig zijn;
- Dit onderzoek nogmaals uitvoeren door iemand met statistische achtergrond waarin ook elektrisch rijden is inbegrepen.



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"
pagina 10 van 140
datum 12 juni 2009

Inhoudsopgave

VOORWOORD ERWIN GERARDS	3
VOORWOORD LAURENT SCHIJNS	4
SUMMARY	5
SAMENVATTING	7
INHOUDSOPGAVE	10
1 INLEIDING	13
1.1 Enexis	14
1.2 De afdeling innovatie	15
2 AFSTUDEEROPDRACHT	17
2.1 Onderzoeksvraag Erwin Gerards	17
2.2 Onderzoeksvraag Laurent Schijns	18
2.3 Uitgangspunten van het onderzoek	18
3 MICROGRIDS	19
3.1 Waarom een microgrid?	19
3.2 Definitie "microgrid"	19
3.3 Toekomstvisie	20
4 SYSTEEMCONCEPTEN MICROGRID	21
4.1 Ontwerpcriteria	21
4.2 Wetgeving; Juridische aspecten	22



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 11 van 140

datum 12 juni 2009

4.3	Beschrijving concept 1	25
4.4	Beschrijving concept 2	28
4.5	Beschrijving concept 3	33
4.6	Beschrijving concept 4	37
4.7	Conclusie	41
5	ENERGIEVERBRUIK	42
5.1	Uitleg verbruik	42
5.2	Verbruikersprofiel/kwartierwaardes	42
5.3	Wonen/werk patroon	43
5.4	Invloeden elektrisch rijden	44
5.5	Conclusie	44
6	ENERGIEOPWEKKING	45
6.1	Decentrale opwekking	45
6.2	Wind energie	49
6.3	Zonne-energie	51
6.4	Conclusie	53
7	AUTONOOM BEDRIJF	54
7.1	De kosten van een systeem met lood accu's:	56
7.2	Conclusie	58
8	OPSLAGSYSTEMEN	59
8.1	Vliegwiel	59
8.2	Waterstof	61



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 12 van 140

datum 12 juni 2009

8.3	Elektrochemische opslag in oplaadbare batterijen	64
8.4	Waterbekkens	67
8.5	Supercondensatoren	68
8.6	Conclusie	69
9	SYSTEEMONTWERP VOOR DE TOEPASSING IN "DE WIJK VAN MORGEN"	70
9.1	Combinatie van alle deelresultaten in het systeemontwerp	70
9.2	Kostenraming microgrid voor "de Wijk van Morgen"	71
10	CONCLUSIES & AANBEVELINGEN	73
10.1	Conclusies	73
10.2	Aanbevelingen	74
11	LITERATUURLIJST	75
12	WOORDENLIJST	76
13	INHOUD-BIJLAGEN	79
14	BIJLAGEN ALGEMEEN	80



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 13 van 140

datum 12 juni 2009

1 Inleiding

De energiesector staat voor een grote verandering. Dit komt omdat het aandeel duurzame vaak decentrale opwekking de laatste jaren sterk in opkomst is. Naar verwachting zal deze opwekking de komende jaren blijven toenemen. Redenen hiervoor zijn het broeikaseffect, het opraken van fossiele brandstoffen en de liberalisering van de energiemarkt.

Ontwikkelingen aan de decentrale opwekkingstechnologieën en energie management systemen gaan in een gestaag tempo verder. Lokale afstemming op vraag en aanbod in een intelligente combinatie met energieopslag zal een goede vooruitgang zijn in niet stuurbare energieopwekking. Dit is dan ook de reden dat er steeds meer pilot projecten worden gestart die betrekking hebben op deze onderwerpen.

"De Wijk van Morgen" is één van deze projecten en is ontstaan vanuit de Hogeschool Zuyd. In dit project wordt voorzien vier energieneutrale gebouwen te realiseren. Om op deze manier een demonstratie omgeving voor duurzame energie te realiseren. In september 2009 wordt gestart met de bouw van de eerste woning. Dit verslag is geschreven voor een ieder die geïnteresseerd is in ontwikkelingen op het gebied van duurzame energie, opslagmethoden, microgrids en energie management systemen.

Dit afstudeerverslag is een gezamenlijk rapport waarin de resultaten van beide onderzoeken zijn samengevoegd. De conclusies en bevindingen per afstudeerder zijn onderverdeeld in de volgende hoofdstukken en paragrafen:

Erwin Gerards Hoofdstuk :3, 4, 6.1, 9

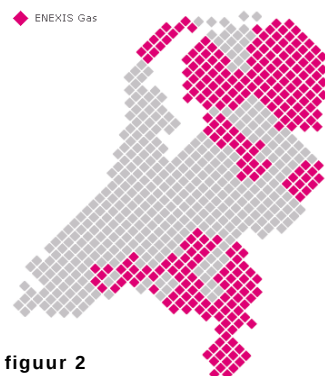
Laurent Schijns Hoofdstuk :5, 6.2, 6.3, 6.4, 7, 8

1.1 Enexis

Het bedrijf Enexis is ontstaan uit de splitsing van Essent. Deze splitsing is noodzakelijk door een wetwijziging, waarin is vastgelegd dat de traditioneel verticaal geïntegreerde energiebedrijven gesplitst moeten worden in twee zelfstandige bedrijven: een productieleveringsbedrijf en een netwerkbedrijf.



figuur 1



figuur 2

Gezien de marktwaarde van de merknaam Essent heeft het netwerkbedrijf een nieuwe naam gekregen. Enexis is als netwerkbedrijf verantwoordelijk voor de aanleg, het beheer en de ontwikkeling van de elektriciteit- en gasnetwerken in verschillende regio's.

De verschillende regio's zijn onderverdeeld in verschillende netdelen. Voor elektriciteit zijn er 5 verschillende netdelen:

Provincie	Standplaats
Friesland & Groningen	Leeuwarden
Limburg	Landgraaf
Brabant-oost	Den Bosch
Brabant-West	Breda
Overijssel	Zwolle

Tabel 1

Enexis is opgebouwd uit verschillende hoofdafdelingen. Deze staan afgebeeld in het organogram in Bijlage 9 Organogram.

Asset Management

Dit afstudeeronderzoek is uitgevoerd binnen de afdeling Innovatie welke onderdeel is van Asset Management. Assets is de Engelse term voor eigendommen. Wat bij Enexis het gas- en elektriciteits distributienetwerk betekent. Asset Management maakt het mogelijk om een optimaal investeringsniveau te realiseren dat past bij een aanvaardbaar risicoprofiel waardoor Enexis winstgevend blijft. Dat houdt in dat er niet meer maar ook niet minder wordt geïnvesteerd om het netwerk op een door de Asset Owner (de directie) vastgelegd niveau te houden. Binnen Enexis wordt Asset Management uitgevoerd middels het met PAS55 gecertificeerde Risk Based Asset Management proces.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 15 van 140

datum 12 juni 2009

De hoofdafdeling Asset Management is onderverdeeld in vijf verschillende afdelingen:

- Asset Informatie Centrum
- Innovatie
- Projecten
- Strategie Ontwikkeling
- Strategie Realisatie

Het Asset Informatie Centrum is verantwoordelijk voor het beheer van de systemen die de bedrijfsmiddelenregistratie bevatten. Zij zorgt ervoor dat in deze systemen datgene wordt vastgelegd opdat de organisatie haar werk kan doen. Zij bewaakt ook de kwaliteit van deze data. De afdeling Strategie Ontwikkeling (SO) heeft de risicopositie in beeld van de distributienetwerken. Zij ontwikkelen beleid om deze risicopositie te verlagen en/of gelijk te houden. Dit beleid wordt geïmplementeerd door de afdeling Projecten binnen de afdeling Strategie Realisatie en de regio's van Infra Services. Daarnaast is de afdeling Projecten actief in advisering bij inkoop- en ontwikkeltrajecten.

De afdeling Strategie Realisatie past het geïmplementeerde beleid toe op het netdeel waar ze actief is. Strategie Realisatie kent afdelingen naar de in Tabel 1 genoemde netdelen. Een netdeel volgt de voortgang van het jaarplan in de regio waar ze actief is. De afdeling Strategie Ontwikkeling evalueert uitgevoerd beleid vervolgens om te toetsen of het gewenste resultaat bereikt is en of dat bijsturing noodzakelijk is. De werkzaamheden van de afdeling Innovatie worden toegelicht in paragraaf 1.2.

1.2 De afdeling innovatie

Deze afdeling is een relatief jong (oprichting in 2008). In het proces wordt zij soms afgebeeld voorafgaand aan SO. Volwassen innovaties zouden middels beleid (opgesteld door SO) hun weg moeten vinden in de organisatie. In de praktijk zijn de verschillende afdelingen van Asset Management steeds in meer of mindere mate betrokken bij de ontwikkeling van innovaties.

De afdeling Innovatie kent drie werkprocessen die vastgelegd zijn:

- Het zoeken en registreren van nieuwe ideeën en het beoordelen van deze ideeën.
- Het uitvoeren van het daadwerkelijke innovatieproject.
- Het evalueren van het innovatieproject .

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 16 van 140

datum 12 juni 2009

Bij het behandelen van innovaties worden deze getoetst aan drietal speerpunten waarop Enexis' afdeling Innovatie zich focust. Deze speerpunten zijn:

– Energietransitie en verduurzaming

Zowel het elektriciteits- als het gasnetwerk bevinden zich op dit moment aan het begin van een transitie. Dit komt door de toenemende integratie van decentrale opwekkers zoals; WKK's, windturbines, zonnepanelen enz. Vooralsnog is niet duidelijk welke "nieuwe" vorm de energie-infrastructuren gaan krijgen. Onderzoek en projecten hieromtrent vinden plaats binnen dit speerpunt.

– Toestandbepaling assets

Enexis beschikt over een redelijk tot goed netwerk. Dit blijkt uit de hoge betrouwbaarheid van de elektriciteitsvoorzieningen. De toestand van dit netwerk wordt bepaald door de kwaliteit van de bedrijfsmiddelen. Op enig moment zijn deze bedrijfsmiddelen aan het einde van hun levensduur en dus aan vervanging toe. Innovatie doet onderzoek naar technieken die er toe bijdragen om de toestand van deze middelen in kaart te brengen. Hiermee kan het optimale vervangingsmoment worden gevonden voor individuele componenten.

– Productiviteitsverbetering door techniek

Werkzaamheden m.b.t. onderhoud en storingen, aanleg en vervanging van de installaties en componenten van de elektriciteit- en gasnetwerken wordt gedaan door uitvoerend personeel. Veelal werkzaam bij de afdeling Infra Services van Enexis. De gemiddelde leeftijd van de werknemers is vrij hoog en de komende jaren zullen dan ook veel personen het bedrijf verlaten. Innovatie zoekt naar middelen en technologieën om de werkzaamheden van deze personen te vergemakkelijken, te versnellen en te versoepelen. Hierdoor wordt, deels, de uitstroom van deze medewerkers opgevangen.

(bron PvA innovatie)



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 17 van 140

datum 12 juni 2009

2 Afstudeeropdracht

Begin 2006 hebben de Faculteit Bouwkunde en Techniek van de Hogeschool Zuyd de ambitie uitgesproken een "research- en innovatiecentrum voor bouw en nieuwe energie" te realiseren op het grensoverschrijdende bedrijventerrein Avantis. Hier staat duurzaamheid centraal.

Het centrum (de Wijk van Morgen) wordt dé demonstratie-omgeving voor nieuwe ontwikkelingen op het gebied van duurzaam bouwen en duurzame energievoorziening voor de gebouwde omgeving.

2.1 Onderzoeksvraag Erwin Gerards

Binnen het totale ontwerp van het microgrid wordt er gefocust op het ontwerpen van een microgrid dat autonoom kan opereren t.o.v. het openbare elektriciteitsnet. Het opslagsysteem zal door Laurent Schijns onderzocht/ontworpen worden. De onderzoeksvraag die ten grondslag ligt aan dit onderzoek luidt:

*"Ontwerp een microgrid wat op termijn autonoom kan opereren
t.o.v. het openbare elektriciteitsnet voor de Wijk van Morgen"*

Bij deze opdracht is er gestart met een vergelijkingsonderzoek naar verschillende soorten structuren voor microgrids. De conclusies hieruit zullen leiden tot een aanbeveling voor het ontwerp van het microgrid voor de Wijk van Morgen.

Daarnaast wordt er gekeken naar de producten, systemen en leveranciers die er al op de markt zijn. Je kunt hierbij denken aan systemen voor de aansluiting van een zon-PV systeem en windmolens op het microgrid. Een belangrijk aandachtspunt is het stabiel houden van het microgrid.

De combinatie van bovenstaande activiteiten zal leiden tot een systeemontwerp en kostenraming voor het microgrid in "de Wijk van Morgen".

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 18 van 140

datum 12 juni 2009

2.2 Onderzoeksvraag Laurent Schijns

Men wil in "de Wijk van Morgen" ook gebruik maken van "nul-energie" woningen. Een "nul-energie" woning is zodanig ontworpen en uitgerust, dat deze zelf voldoende energie opwekt uit hernieuwbare lokale bronnen, zodat er netto over het jaar gerekend geen energie uitgewisseld wordt. Met energie neutraal als uitgangspunt zou het mogelijk moeten zijn om autonoom te kunnen zijn t.o.v. het openbare elektriciteitsnetwerk. Mijn bijdrage aan het onderzoek van het autonoom bedrijven van "de Wijk van Morgen" is:

"Het onderzoek naar een of meerdere buffers die overschotten en tekorten kan opvangen."

Omdat bij het toepassen van duurzame hernieuwbare energiebronnen zoals PV- en windenergie, vraag en aanbod zelden in lijn zijn met elkaar zal enige vorm van opslag geboden moeten worden.

2.3 Uitgangspunten van het onderzoek

Als uitgangspunt voor dit onderzoek zal de Wijk van Morgen bestaan uit:

- **3 modelwoningen** aangesloten op een microgrid. De woningen bestaan allen uit twee eenheden, een woongedeelte en een kantoor gedeelte. Woningen zijn voorzien van zon-PV installatie. Het totaal geïnstalleerd **indicatief vermogen is 7000 Watt piek**.
- **Een multifunctioneel** centrum aangesloten op het microgrid voorzien van zon-PV installatie, indicatief **8500 Watt piek**, en een inhoud van ongeveer 1000 m³.
- **3 windturbines** (skystream 3,7). Over de exacte locatie van deze windmolens is niets bekend. Deze kunnen aan de zijkant van een huis worden bevestigd maar ook losstaand op een paal worden gemonteerd. **Indicatief max. vermogen 2,4 kW per turbine**.
- **Bij ieder gebouw 1 oplaadpunt voor elektrisch aangedreven auto's** (deze kunnen gezien worden als stuurbare belasting)

3 Microgrids

De energiesector staat voor een grote verandering door de het aandeel decentrale opwekkers die de laatste jaren sterk in opkomst zijn. In de toekomst zal de bijdrage van decentrale opwekking alleen maar toenemen. Redenen hiervoor zijn het broeikaseffect, het opraken van fossiele brandstoffen en de liberalisering van de energiemarkt. Lokale afstemming op vraag en aanbod in een intelligente combinatie met energieopslag zal een goede vooruitgang zijn in niet stuurbare energieopwekking.

3.1 Waarom een microgrid?

"Microgrids" bieden een mogelijke oplossing om kleinschalige DCO's op grote schaal te integreren in laagspanningsnetten. Vroeger was dit een thema voor hobbyisten, nu worden er grootschalige researchprogramma's aan gewijd. Het bestaande elektriciteitsnet is niet ontworpen om een groot aantal kleine opwekkers van elektriciteit (PV zonnecellen, WKK, windturbines e.d.) aan te sluiten. Naarmate het gebruik van deze toestellen toeneemt, komt de stabiliteit van het elektriciteitsnet in het gedrang. (bron KHLim)

3.2 Definitie "microgrid"

Opvallend is dat de wereld het nog niet eens is over de precieze definitie van een microgrid. Onder andere uit onderzoek op de TU Delft is gebleken dat een microgrid zich kenmerkt als een smartgrid in eilandbedrijf. In een smartgrid worden de energiestromen "slim" geregeld. De term "slim" wordt door fabrikanten ook verschillend geïnterpreteerd. Sommige fabrikanten regelen de energiestromen "slim" door managementapparatuur. Terwijl een andere leverancier een smartgrid "slim" coördineert door het gebruik van een softwareapplicatie.

Kenmerken van een "slimme" infrastructuur:

- tweerichtingsverkeer (bidirectioneel);
- toepassing van ICT technologie/ netwerk;
- gebruik van slimme meters;
- integratie van vermogenselektronica met slimme regelalgoritmen;
- nieuwe opslag technologieën;
- sturing van het energienetwerk tot aan verbruikersapparaten;
- betere afstemming op vraag en aanbod ter plekke;
- efficiëntere indeling netcapaciteit.

Een Microgrid is een deelnet dat zich normaliter bevindt aan de secundaire zijde van de MS/LS- trafo van bijvoorbeeld een wijk of winkelcentrum. Het kan zowel gekoppeld zijn met het openbare elektriciteitsnet maar ook in eilandbedrijf (autonoom) bedreven worden. Het kan bestaan uit WKK's, zonnepanelen, brandstofcellen, maar ook uit toestellen voor energieopslag zoals vliegwielen, supercaps en batterijen.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 20 van 140

datum 12 juni 2009

Een microgrid beschikt niet alleen van een apart geregeld elektriciteitsnet maar kan ook worden voorzien van een apart systeem voor de warmtevoorziening in gebouwen. Componenten in een dergelijk netwerk kunnen zijn:

- opwekkers,
- verbruikers,
- energieopslagsysteem,
- energiemanagement units,
- kabels en leidingen.

De verbruikers in een microgrid zullen soms ook regelbaar zijn omdat ook in eilandbedrijf evenwicht gecreëerd moet worden tussen het geleverde vermogen en het gevraagde vermogen. Ten opzichte van het openbare elektriciteitsnet gedraagt het microgrid zich als een decentraal gecontroleerde eenheid. Doordat een microgrid met zijn opwekkers en belastingen soms naadloos kan overschakelen van netkoppeling naar autonoombedrijf en vice versa is het in staat het distributienet te ontlasten tijdens zware belasting en te ondersteunen na een storing.

Door opwekkers en verbruikers op kleine schaal aan elkaar te koppelen kunnen de gebruikers zelf zeggenschap uitoefenen over hun energievoorziening. Daarnaast bestaat de mogelijkheid om een gebouw te voorzien van systemen waarmee grootverbruikers zoals wasmachines en vaatwassers bijv. ingeschakeld worden op het gunstigste moment van de dag. Waarbij ook rekening wordt gehouden dat de bewoner géén comfort verlies heeft door deze energiebesparende snufjes. Daarmee krijgen de bewoners ook beter zicht op hun energieverbruik en kunnen dus ook energiebesparende maatregelen treffen.

3.3 Toekomstvisie

Het decentraal opwekken van energie kent een enorme groei. In de toekomst zal het aantal decentrale opwekkers verdubbelen of zelfs verdrievoudigen. Hierdoor zal het aandeel decentrale opwekkers in het totale productievermogen toenemen. Het grootste aandeel decentrale opwekkers zijn op dit moment de gasgestookte wkk's. In de toekomst zal het aandeel zonnepanelen, windturbines en biomassa installaties voor een flinke groei zorgen. Dit komt door de vele ontwikkelingen op het gebied van deze technieken. Uiteindelijk zullen economische, planologische en andere redenen de omvang van de het totale productievermogen van de decentrale opwekkers bepalen.

4 Systeemconcepten microgrid

4.1 Ontwerpcriteria

Om tot een uiteindelijk ontwerp te komen voor "de Wijk van Morgen" worden er 4 concepten opgesteld en met elkaar vergeleken. Uit deze vergelijking volgt een uiteindelijke aanbeveling voor "de Wijk van Morgen" en hierop zal het uiteindelijke ontwerp gebaseerd worden. De belangrijkste uitgangspunten zijn die van "de Wijk van Morgen". Deze staan vermeld in (paragraaf 2.3). Daarnaast zijn er een aantal criteria geformuleerd waaraan een microgrid minstens aan moet voldoen.

- Betrouwbaar
 - o Uiteraard is dit een van de belangrijkste doelstellingen. Een systeem kan nog zo innovatief en perfect lijken als blijkt dat het niet betrouwbaar is krijgen mensen er geen vertrouwen in.
- Innovatief
 - o Dit is een totaal nieuwe ontwikkeling op dit gebied. Er is nog weinig van bekend dus wordt gezocht naar nieuwe ideeën.
- Investering
 - o Sommige factoren zijn afhankelijk van de besteedbare budgetten.
- Universeel
 - o Er wordt getracht een systeem te ontwerpen dat in meerdere projecten toepasbaar is.
- Uitbreidbaar
 - o Naar de toekomst gekeken is de kans groot dat een wijk wordt uitgebreid met meerdere gebouwen. Ook dit criteria is dus van belang om mee te nemen bij het ontwerpen van een concept.
- Redundant
 - o Niemand staat te wachten op een energievoorziening die helemaal plat gaat als er één onderdeel in het net faalt. Daarom is het noodzakelijk cruciale componenten redundant uit te voeren.
- Levensduur
 - o Als er geïnvesteerd wordt in dure systemen gaat men er van uit dat deze ook een lange levensduur hebben. Bepaalde systemen met veel elektronica zijn vaak relatief duur in aanschaf en hebben maar een beperkte levensduur van 9 á 10 jaar.
- Onderhoud
 - o Onderhoud moet beperkt blijven. Terugkerend onderhoud blijft kosten met zich meebrengen.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 22 van 140

datum 12 juni 2009

- Leveringskwaliteit
 - o Energie die wordt teruggeleverd aan het openbare elektriciteitsnet moet aan een aantal eisen voldoen. Deze staan in paragraaf 4.2 verder uitgewerkt.

4.2 Wetgeving; Juridische aspecten

Installaties die energie leveren aan het openbare elektriciteitsnet moeten aan een aantal voorwaarden voldoen. Alle aangeslotenen zijn verplicht om hinder op het openbare net te voorkomen. De kwaliteit van de spanning die deze voorzieningen leveren zijn vastgelegd in artikel 2.1.5.5 van de NetCode. (Bron Netcode)

Elektrische installaties en de daarop aangesloten toestellen veroorzaken via het net van de netbeheerder geen ontoelaatbare hinder. In afwijking van het in 2.1.5.7, 2.1.5.8, 2.2.4.16 en 2.2.4.17 bepaalde kan de netbeheerder de aangeslotene aanschrijven tot het treffen van zodanige voorzieningen dat de ontoelaatbare hinder ophoudt, dan wel voor een door hem te bepalen aantal uren de aangeslotene verbieden om door hem aan te wijzen toestellen en motoren te gebruiken.

De NetCode is voor iedereen beschikbaar en te vinden op de site van de energiekamer. In deze NetCode staat precies beschreven aan welke eisen de spanning moet voldoen.

Frequentie

Frequentievariaties zijn op dit moment nog niet aan de orde. Decentrale opwekkers zijn niet in staat om de frequentie van het openbare elektriciteitsnet te beïnvloeden omdat het elektriciteitsnet een oneindig sterk net is.

Harmonische

In de Netcode is ook vastgelegd wat de totale harmonische vervorming mag zijn. Harmonische stromen zijn stromen met veelvouden van de netfrequentie en ontstaan door niet-lineaire componenten. (paragraaf 6.1)

Alleen door metingen te verrichten kan bepaald worden of deze vervorming binnen de vastgestelde grenzen blijft.

Flicker (snelle spanningsvariaties)

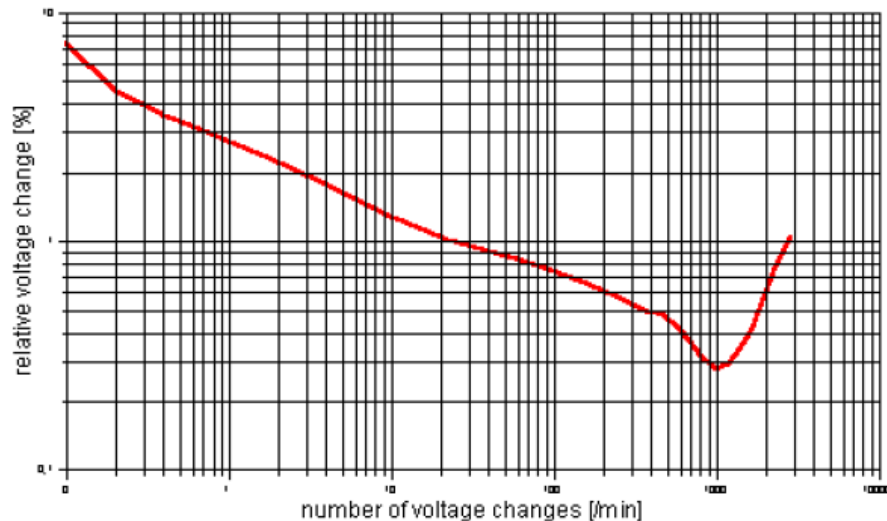
Naast het meten van harmonische vervorming kan ook worden gemeten hoeveel snelle spanningsvariaties mogen optreden. Het aantal toelaatbare spanningsvariaties die een aangesloten klant mag veroorzaken staan weergegeven in de grafiek op de volgende bladzijde.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 23 van 140

datum 12 juni 2009

flickercurve according to IEC 1000-3-7



figuur 3 flickercurve

Asymmetrie

Asymmetrie zorgt nu nog niet voor problemen. Decentrale opwekkers zijn driefasig aangesloten op het ms-net en vormen dus een symmetrische invoeding.

Langzame spanningsvariaties

Langzame spanningsvariaties zijn wel belangrijke aandachtspunten.

- Deze kunnen ontstaan bij het in- en uitschakelen van de decentrale opwekkers.
- Hoge spanningen in normaal bedrijf veroorzaakt door invoeding van decentrale opwekkers.
- Spanningsvariaties bij het afvallen van decentrale opwekkers.

Overdrachtspunt

Het overdrachtspunt van een installatie is het punt daar waar het openbare elektriciteitsnet en de achterliggende installatie met elkaar gekoppeld is. In een huisinstallatie ligt deze grens bij de kWh-meter. De netbeheerder is verantwoordelijk voor het elektriciteitsnet tot en met dit punt. De netbeheerder moet aan een aantal voorwaarden voldoen voor de leveringskwaliteit van de elektriciteit. In de vorige alinea staat beschreven aan welke voorwaarden de aangesloten moeten voldoen.



HOGESCHOOL ZUYD



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 24 van 140

datum 12 juni 2009

De eigenaar van het gebouw is verantwoordelijk voor de installatie achter het overdrachtspunt. De netbeheerder heeft dus totaal geen verantwoordelijkheid over de installatie achter dit punt. Bij de toepassing in "de Wijk van Morgen" geldt dit dus ook. Ook al is er hier sprake van een wijk en niet van een enkel gebouw. Het overdrachtspunt van deze wijk zal zijn daar waar de aftakking gemaakt wordt op het openbare elektriciteitsnet. Achter dit punt is de eigenaar (de installateur) verantwoordelijk voor de door hem opgeleverde installatie. Op het moment dat de netbeheerder de klant van spanning voorziet zal de installateur een verklaring ondertekenen waaruit blijkt dat de door hem geïnstalleerde installatie aan alle richtlijnen voldoet. Als de oorzaak in het geval van een storing achter het overdrachtspunt blijkt te zitten zal deze persoon aansprakelijk worden gesteld.

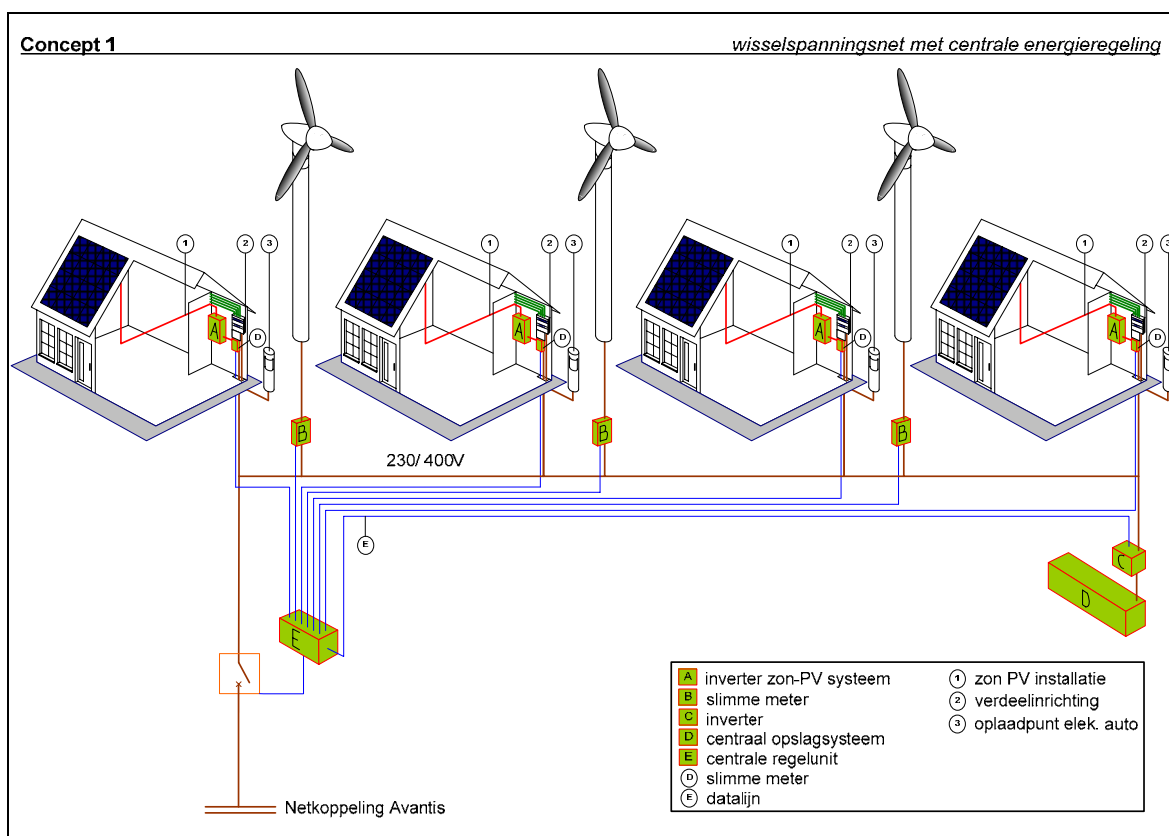
rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 25 van 140

datum 12 juni 2009

4.3 Beschrijving concept 1

"wisselspanningsnet met centrale energieregeling"



figuur 4 Beschrijving Concept 1

Het eerste ontwerp is gebaseerd op een systeem dat geregeld wordt vanuit een centrale regelunit. In figuur 5 is dit weergegeven. Deze regelunit is hét apparaat dat op wijkniveau alle parameters bewaakt en zo nodig coördineert. Elke woning wordt hierbij voorzien van een unit waarbij de zon PV installatie, de verdeelinrichting en het microgrid op wordt aangesloten. Deze unit zet gelijkspanning afkomstig van de zonnepanelen om in een nette wisselspanning. Daarnaast wordt deze unit aangestuurd door de centrale besturing die er voor zorgt dat alle procesparameters bewaakt worden. Deze unit controleert de juiste frequentie, fasespanningen en fasehoek. Zo nodig worden eventuele afwijkingen bijgesteld.

In dit ontwerp worden overschotten en tekorten in de vermogensbalans opgevangen door één opslagsysteem dat centraal gekoppeld is aan het microgrid. Ook het laad- en ontladproces wordt bewaakt door de centrale regelunit.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 26 van 140

datum 12 juni 2009

De windturbines worden via een omvormer aan het net gekoppeld. Deze unit biedt ook een mogelijkheid om het energieverloop te registreren.

Op het moment dat er een tekort is aan vermogen moet het netwerk gekoppeld worden aan het openbare net. Dit kan alleen als alle procesparameters van beide netwerken gelijk zijn. Daarom moeten beide elektriciteitsnetten met elkaar gesynchroniseerd worden. De verbinding wordt gerealiseerd via een vermogensschakelaar die aangestuurd wordt vanuit de centrale unit. Bij het omschakelen naar eilandbedrijf verbreekt deze vermogensschakelaar de verbinding met het openbare net en draait het netwerk weer volledig autonoom.

Beschrijving toepasbare systemen

Uit verdieping blijkt dat er geen producten en fabrikanten op de markt zijn die op deze wijze een microgrid regelen. Dit concept valt door deze reden af voor verder onderzoek.

Netkoppeling

Alvorens een autonoom net parallel geschakeld mag worden aan het openbare elektriciteitsnet zal het autonome net aan een aantal voorwaarden moeten voldoen. Het autonome net moet gesynchroniseerd worden. Zomaar omschakelen is absoluut niet toelaatbaar omdat er dan grote vereffeningstromen ontstaan tijdens het parallel schakelen. Deze vereffeningstromen richten grote schade aan componenten. Daarom moeten diverse parameters bijgeregeld worden. Dit betekent concreet dat:

- de frequentie van de spanningen gelijk moet zijn aan 50 Hz;
- de grootte van de spanningen gelijk moet zijn. Deze ligt ook vast;
- de fasehoek moet correct zijn.

Stabiliteit en balans

Hierin zijn twee situaties te onderscheiden. Als de schakelaar gesloten is zullen de frequentie, spanningen en fasehoek gelijk zijn aan die van het openbare elektriciteitsnet. Dit net is immers zo sterk en is niet zomaar te beïnvloeden.

Een volgende situatie die kan voor komen is het volledig autonoom bedrijven van het microgrid. Daarbij zullen verschillende parameters geregeld worden. Deze parameters worden bijgeregeld door de inverter die naast het opslagsysteem is weergegeven. Hierin is het werkelijke vermogen P en het blindvermogen Q te onderscheiden. Het schijnbare vermogen is dat vermogen dat een gebruiker schijnbaar verbruikt of het vermogen dat een opwekker opwekt en is samengesteld uit het werkelijke- en blindvermogen. Deze vermogensbalans in het grid wordt gecreëerd door het opslagsysteem. (Bijlage 4 blindvermogen)

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 27 van 140

datum 12 juni 2009

Het zal duidelijk zijn dat door de toename van blindvermogen in een net het kortsluitvermogen ook zal toenemen. (bron Wildi, Theodor) Om verliezen en verhoogde kortsluitvermogens te beperken is het noodzakelijk het blindvermogen zo kort mogelijk bij de verbruikers te compenseren. Met een windturbine bijvoorbeeld, is het mogelijk om het blindvermogen in dit autonome net te beïnvloeden.

Voordelen

- een uitgebreid energiemanagement systeem;
- ruimtebesparend;
- energieregistratie per oplaadpunt;
- financieel gezien zal dit systeem een stuk gunstiger liggen. Er is geen uitgebreide netkoppeling nodig daardoor blijven dure inverters bespaart.
- centrale energieopslag.

Nadelen

- geen fabrikanten die dergelijk concept ondersteunen;
- de redundantie van dit systeem is minimaal;
- het meet- en regelsysteem is in verhouding tot andere ontwerpen veel complexer;
- hogere investeringskosten door toepassing elektronica;
- uitbreiding is relatief lastig;
- lage betrouwbaarheid doordat het een nieuw systeem is;
- opslagsysteem neemt veel ruimte in beslag.

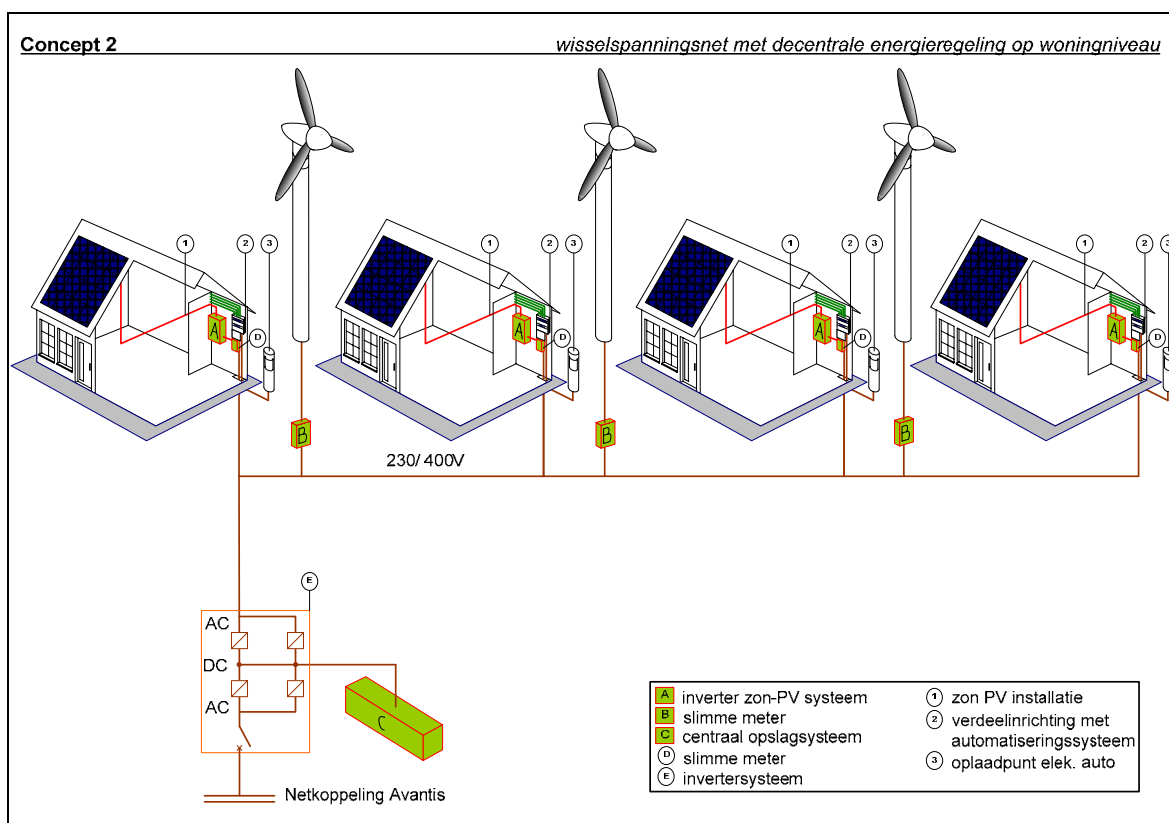
rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 28 van 140

datum 12 juni 2009

4.4 Beschrijving concept 2

"wisselspanningsnet met decentrale energieregeling op woningniveau"



Figuur 5 Beschrijving Concept 2

In dit ontwerp (figuur 6) wordt elk gebouw voorzien van een apart systeem. Deze installatie bestaat uit een inverter, verdeelinrichting met een geïntegreerd energiemanagementsysteem en een "slimme" kWh meter. De inverter zet de gelijkspanning opgewekt door de zonnepanelen om in een wisselspanning die geschikt is voor het microgrid. De verdeelinrichting behoort tot een onderdeel van een normale huisinstallatie. Daarnaast wordt elke woning voorzien van een slimme kWh meter. Deze meter is voorzien van 4 telwerken en een uitgebreide verbruiksregistratie.

De netkoppeling wordt gerealiseerd door 4 inverters. 2 Inverters zijn in principe genoeg om de wijk autonoom te kunnen (ont)koppelen. In dit concept is gekozen voor 4 inverters om redundantie te garanderen. De wisselspanning van het openbare elektriciteitsnet wordt omgezet in een gelijkspanning en vervolgens weer geïnverteerd naar een wisselspanning. Daardoor is het niet noodzakelijk om alle procesparameters synchroon te regelen om koppeling met het openbare elektriciteitsnet te realiseren. Het (ont)koppelen met het

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 29 van 140

datum 12 juni 2009

openbare net is op deze manier eenvoudiger en vereist geen extra synchronisatie-apparatuur.

Ook dit ontwerp wordt voorzien van één centraal opslagsysteem. Dit opslagsysteem wordt aangesloten tussen beide inverters. Door deze toepassing kan het batterijmanagement systeem toegevoegd worden aan de regeling van de inverters. De windturbines worden bij dit ontwerp aangesloten via standaard inverters.

Zon PV inverter

Er zijn verschillende fabrikanten die inverters leveren voor een zon-PV installatie. Deze inverter zet de gelijkspanning opgewekt door de zonnepanelen om in een bruikbare wisselspanning. Er is sprake van een zogenaamde DC-AC koppeling. De meeste inverters zijn voorzien van een transformator. Door het gebruik van een transformator wordt een zogenaamde galvanische scheiding gecreëerd. Deze galvanische scheiding zorgt dus voor een scheiding tussen twee stroomvoerende elektrische circuits en dient als veiligheidsmaatregel tegen mogelijk onveilige stromen die kunnen ontstaan door een defect. (bron SMA)

beveiliging

De netimpedantie is een karakteristieke waarde van het elektriciteitsnet. Deze waarde wordt bepaald door alle aangesloten voedende componenten, onderdelen, leidingen en verbruikers. Als de voeding van het netgedeelte door uitschakeling wegvalt, vervalt het voedende component en verandert dus de netimpedantie. Om te voorkomen dat de inverters ongewenst blijven invoeden op het autonome net wordt deze impedantie dus gemeten. In geval van een drastische verandering van de impedantie wordt de omvormer los gekoppeld van het net.

Overspanning

Ingebouwde elektronica moet beschermd worden tegen spanningspieken die bijvoorbeeld kunnen ontstaan bij blikseminslag. De componenten die hiervoor worden gebruikt zijn varistoren. Dit zijn elektronische componenten waarbij de weerstand afhankelijk is van de spanning. De varistoren zorgen voor een beperking van de overspanning door overvloedige stroom te geleiden naar aarde. Een nadeel van varistoren is dat ze sterk leiden aan veroudering door interne weerstandsverandering. Deze interne weerstand wordt bewaakt en indien nodig zal er een storingsmelding worden weergegeven.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 30 van 140

datum 12 juni 2009

Verdeelinrichting met een geïntegreerde energiemanagement functie.

Binnen dit ontwerp mag een huisautomatiseringssysteem niet ontbreken. Meerdere fabrikanten vestigen de aandacht op dit principe. Meer uitleg is te vinden in Bijlage 5.

Slimme meter

Een slimme meter is een op afstand uitleesbare elektriciteits- en/ of gasmeter. Aangezien de wijk van morgen geen gasaansluiting krijgt, wordt hier alleen gekeken naar een slimme kWh meter. (bron NTA 8130) Deze elektriciteitsmeter bevat in totaal 4 telwerken. Twee telwerken meten het energieverbruik van de bewoner bij een normaal en laag tarief. De andere twee telwerken meten de energielevering voor normaal en laag tarief door de klant. Het tijdsinterval van deze meting kan worden ingesteld van 15 min en groter. Bij elke meting wordt een datum- en tijdstempel per energierichting vastgelegd. Via een communicatiepoort heeft de klant zelf de mogelijkheid inzicht te krijgen op het verloop van zijn energieverbruik. Deze meter maakt het dus mogelijk om vaker en beter geïnformeerd te worden over het verbruik, waardoor de bewoner energiebesparende maatregelen kan treffen.

Netkoppeling

De netkoppeling in dit concept wordt gerealiseerd door het integreren van vier inverters, twee AC-DC en twee DC-AC inverters. Een AC-DC inverter zet de wisselspanning van het openbare net om in een gelijkspanning. AC staat voor alternating current (wisselstroom) en DC is de aanduiding voor direct current (gelijkstroom). De gelijkspanning wordt vervolgens weer geïnverteerd in een wisselspanning d.m.v. een DC-AC omvormer. Op deze manier ontstaat een netkoppeling waarbij er geen "harde" koppeling gemaakt wordt en synchroniseren dus niet noodzakelijk is. De combinatie van één AC-DC omvormer met één DC-AC inverter volstaat om het microgrid te koppelen aan het openbare net. Echter is dan redundantie niet gewaarborgd. De opstelling met vier inverters kan in het ergste geval twee defecte inverters verwerken.

Om dit probleem te verhelpen is het belangrijk om de verbinding n-1 veilig te maken. Dit wil zeggen dat op het moment van een defect aan een van deze omvormers de verbinding altijd via één andere verbinding gehandhaafd blijft. Het is alleen de vraag of het noodzakelijk is om de netkoppeling 100% n-1 uit te voeren of dat het voldoende is om een 50% n-1 veilige situatie te creëren. 100% n-1 betekent dat alle componenten in dezelfde capaciteit dubbel zijn uitgevoerd. Het is duidelijk dat 50% n-1 staat voor een circuit waarbij de componenten voor de helft van het volledige vermogen zijn gedimensioneerd. Als de verbinding voor de helft wordt gedimensioneerd is dit een stuk goedkoper. Aangezien deze inverters een behoorlijk doorslag geven in de investering is dit een goede aanbeveling. Mocht er in het geval van een storing een omvormer defect raken is het niet mogelijk om het volledige vermogen te verwerken in de resterende 2 omvormers. In dit geval is men dus beperkt in het vermogenstransport en moet het energieverbruik of de energieopwekking gereduceerd worden.

Erwin Gerards

Laurent Schijns

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 31 van 140

datum 12 juni 2009

Stabiliteit en balans

Zoals in de vorige alinea stond beschreven is in dit concept synchroniseren niet van belang omdat beide wisselspanningen "gescheiden" zijn door een gelijkspanning. Uit onderzoek is gebleken dat er geen standaard inverters op de markt zijn voor dergelijke toepassing. Dit worden "custom made" omvormers, dus speciaal gespecificeerd voor deze toepassing. Dhr Overbeeke heeft de inverters ontworpen en gebouwd die in het eerste microgrid van Nederland zijn toegepast. (bron interview EMforce). De inverters zijn speciaal ontworpen voor deze toepassing. Wellicht is een dergelijk principe bruikbaar in "de Wijk van Morgen". (bron van Voorden, Arjan Marco) De juiste spanning en frequentie wordt hier gegenereerd en gecoördineerd. Het werkelijke vermogen wordt in balans gebracht door het opgewekte en verbruikte vermogen op elkaar af te stemmen. De blindvermogen sturing is ook geïntegreerd binnen de invertereenheid.

In de schematische weergave is te zien dat overschotten en tekorten worden opgevangen door een opslagsysteem dat op wijkniveau is gekoppeld. Als de keuze wordt gemaakt om de wijk te voorzien van accu's als opslagsysteem bestaat de mogelijkheid om een batterijmanagementsysteem te integreren. Met een dergelijk systeem is de toestand van de batterijen duidelijk te monitoren.

De investering per gebouw blijft op zich beperkt. Er wordt gebruik gemaakt van een innovatieve verdeelinrichting gecombineerd met een "slimme" meter. Daarnaast wordt elk gebouw voorzien van een standaard zon-PV omvormer. De totale investering is relatief groot omdat de vier inverters een flinke doorslag geven in de kostencalculatie.

Voordelen

- zeer betrouwbaar netwerk;
- inzicht in eigen energieverbruik;
- visualisatie van installatie op pc of internet;
- gebruik van standaard zon-PV inverters;
- simpele koppeling met het openbare net;
- redundante netkoppeling;
- makkelijke integratie van het opslagsysteem;
- wisselspanningnet;
- eenvoudige netstructuur;
- relatief makkelijke spanningshuishouding;
- vergt weinig onderhoud;
- betrouwbaar voor de klant;
- geen complexe regeleenheid;
- uitbreiding is mogelijk.



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 32 van 140

datum 12 juni 2009

Nadelen

- geen uitgebreid energiemanagement systeem;
- gebouwen zijn niet via een datanetwerk met elkaar gekoppeld;
- 4 inverters zijn niet goedkoop;
- geen registratie per oplaadpunt;
- onderhoud/ toezicht inverters (imago);
- opslagsysteem neemt veel ruimte in beslag;
- niet de aller nieuwste techniek.

Uitgebreide beschrijvingen en een begroting van dit concept zijn te vinden in Bijlage 5.

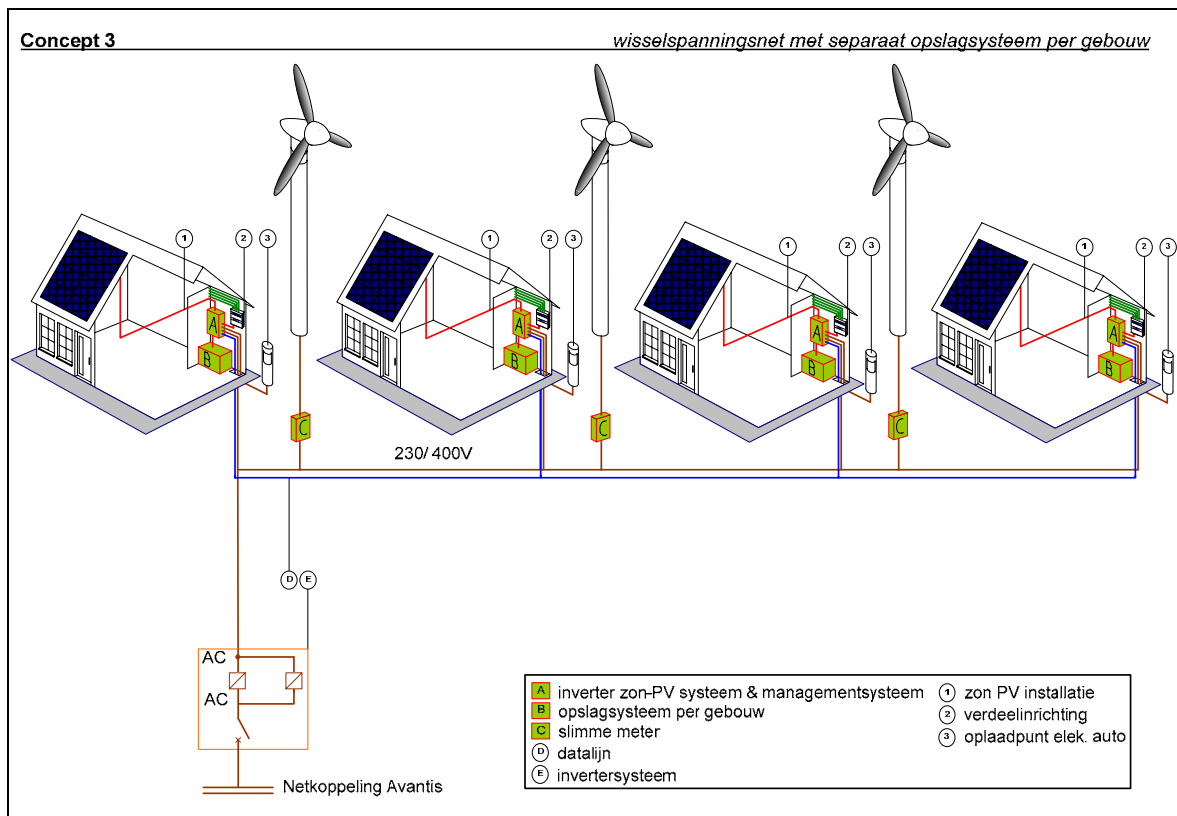
rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 33 van 140

datum 12 juni 2009

4.5 Beschrijving concept 3

"wisselspanningsnet met separaat opslagsysteem per gebouw"



Figuur 6 Beschrijving Concept 3

Uniek aan dit ontwerp is de decentrale opslag per gebouw. Er is bewust gekozen voor een apart systeem per gebouw. (zie figuur 7) In elk gebouw komt een eenheid waarop de verdeelinrichting, de zonnepanelen, het opslagsysteem, het grid en een datalijn wordt aangesloten. In deze unit is een inverter geïntegreerd die de gelijkspanning omzet en geschikt maakt voor direct gebruik of opslag in het opslagsysteem. Het mooie aan dit ontwerp is dat units van hetzelfde type aan elkaar gekoppeld kunnen worden met een datalijn. Op deze manier kan optimaal gebruik worden gemaakt van de energieoverdracht. Een tekort aan energie kan worden opgevangen door energie van de "buren" te gebruiken. Uiteraard wordt de uitwisseling van deze energie geregistreerd en later verrekend.

Ook bij dit ontwerp wordt de netkoppeling gerealiseerd met twee inverters. Deze inverters maken het mogelijk het grid en het openbare net aan elkaar te koppelen. Één inverter is genoeg voor deze toepassing. Een tweede inverter wordt parallel geschakeld en is alleen nodig om redundantie te waarborgen. Het is dus niet nodig beide inverters voor de totale capaciteit dubbel uit te voeren. Om de investering te beperken is het mogelijk om de

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 34 van 140

datum 12 juni 2009

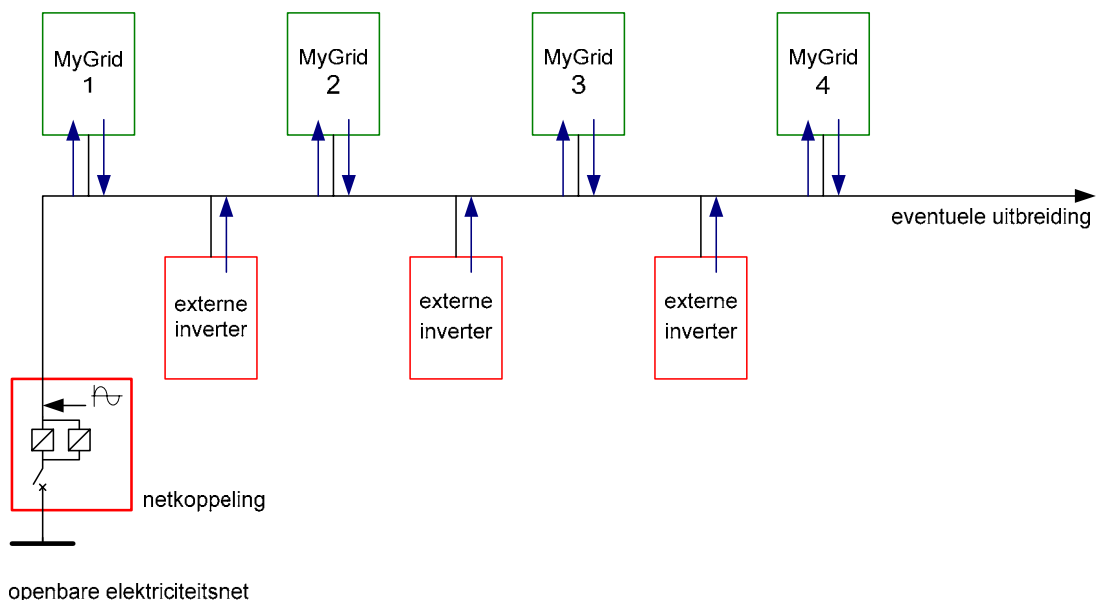
capaciteit van de omvormers te verdelen en niet volledig dubbel uit te voeren. Mocht er een storing optreden en een inverter defect raken blijft de netkoppeling toch gewaarborgd. Men is op dat moment echter iets beperkt in de energieoverdracht. Dit concept beschikt niet over een centraal opslagsysteem maar een separaat opslagsysteem in elk gebouw.

Dit betekent minder energieverlies en de opgeslagen energie kan optimaler benut worden. Doordat de energieopslag per gebouw wordt verdeeld is er geen extra ruimte nodig in de wijk om dit systeem te installeren.

Verschillende fabrikanten zijn bezig met de ontwikkeling van producten of hebben al concepten op de markt gebracht. In Bijlage 6 Systemen toepasbaar op concept 3) staan de functies per systeem uitgebreid omschreven. De MyGrid van Nedap is een voorbeeld van een totaal nieuw innovatief concept en kent vele toepassingen. Om de mogelijkheden te verduidelijken is dit systeem dan ook als voorbeeld gebruikt.

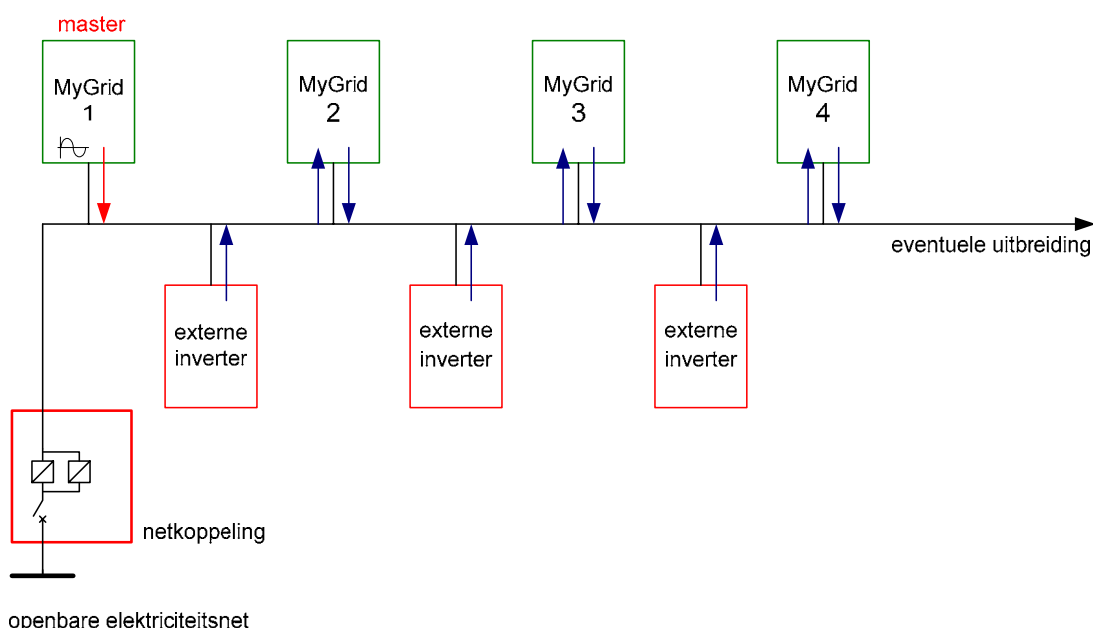
Netkoppeling

Om meer duidelijkheid te krijgen in de mogelijkheden van de netopbouw zijn de verschillen in onderstaande afbeeldingen weergegeven. In beide situaties wordt de (ont)koppeling met het openbare net gevormd door een inverter. Het enige verschil is dat in de eerste situatie het net gevormd wordt door een inverter die ook de netkoppeling realiseert. In de tweede situatie wordt het net gevormd door één managementunit die als "master" fungeert.



Figuur 7 Netkoppeling

In figuur 7 wordt het autonome net gevormd door de inverter die ook de netkoppeling tot stand brengt. Alle MyGrids die vervolgens op het autonome net worden aangesloten krijgen een bidirectionele functie. Dit wil zeggen dat ze zowel energie uit het net kunnen opnemen als energie kunnen terugleveren. Omdat alle units in staat zijn energie op te nemen uit het net is het ook mogelijk andere inverters te integreren binnen het autonome grid. Energie die door deze inverters aan het grid wordt toegevoerd kan direct worden opgenomen door een van de MyGrid boxen. Er ontstaat echter een andere situatie als het net niet wordt gevormd door de centrale invertereenheid. In onderstaande afbeelding is deze situatie weergegeven.



Figuur 8 Netkoppeling met Master

Hierbij wordt het net gevormd door één van de MyGrid's. Deze unit fungeert als "master" en vormt het net. De master heeft daarbij een unidirectionele functie en alle andere mygrid's functioneren bidirectioneel. Deze master is niet in staat het hele microgrid in zijn geheel te (ont)koppelen met het openbare elektriciteitsnet. Dit moet nog steeds gebeuren via een op maat samengestelde inverter. Deze manier van netkoppeling is door deze reden dus geen optie.

Stabiliteit en balans

Er kan een vervelende situatie ontstaan wanneer externe inverters in het grid worden opgenomen. Als deze inverters vermogen invoeden op het grid moet dit vermogen ook direct ergens in het grid worden opgenomen. Alleen de bidirectionele inverters zijn hier toe in staat. Stel dat dit vermogen niet wordt opgenomen in het grid zal de master er grote hinder van ondervinden. De master is niets anders dan een spanningsbron en zorgt voor een constant signaal op het autonome net. Het vermogen dat door andere inverters wordt

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 36 van 140

datum 12 juni 2009

geïmplementeerd kun je zien als een stroombron. Er kan dus een situatie ontstaan waarbij deze "stroombronnen" gaan invoeden op een spanningsbron. Dit voorval kan op twee manieren worden voorkomen. De makkelijkste manier is het uitsluiten van andere inverters op het grid. Een tweede en iets complexere manier is er voor zorgen dat het vermogen dat wordt toegevoerd ook in zijn geheel wordt opgenomen door de andere verbruikers. Hierbij is een extra regelkring noodzakelijk.

Samengevat heeft dit systeem de volgende voor- en nadelen:

Voordelen

- redelijk betrouwbaar netwerk;
- alles geïntegreerd in één systeem;
- uitgebreid energiemanagement systeem;
- ieder gebouw heeft een volledig eigen systeem;
- opslag per gebouw; dus ruimtebesparing in de wijk;
- in de toekomst energieregistratie per oplaadpunt;
- simpele koppeling met het openbare net;
- communicatie met andere gebruikers van hetzelfde systeem;
- innovatieve toepassing.

Nadelen

- nieuwe techniek, grote kans op storingen;
- groot ruimtebeslag;
- één unit per gebouw;
- betrouwbaarheid elektronica (alles wordt immers geregeld vanuit één unit);
- forse investering (zowel per gebouw als voor de hele wijk);
- beperkte toepassing door ontwikkelingen.

De functionaliteiten en toepassingen van systemen voor dit concept zijn verder uitgewerkt in Bijlage 6 Systemen toepasbaar op concept 3). In deze bijlage is ook een kostencalculatie van dit systeem te vinden.

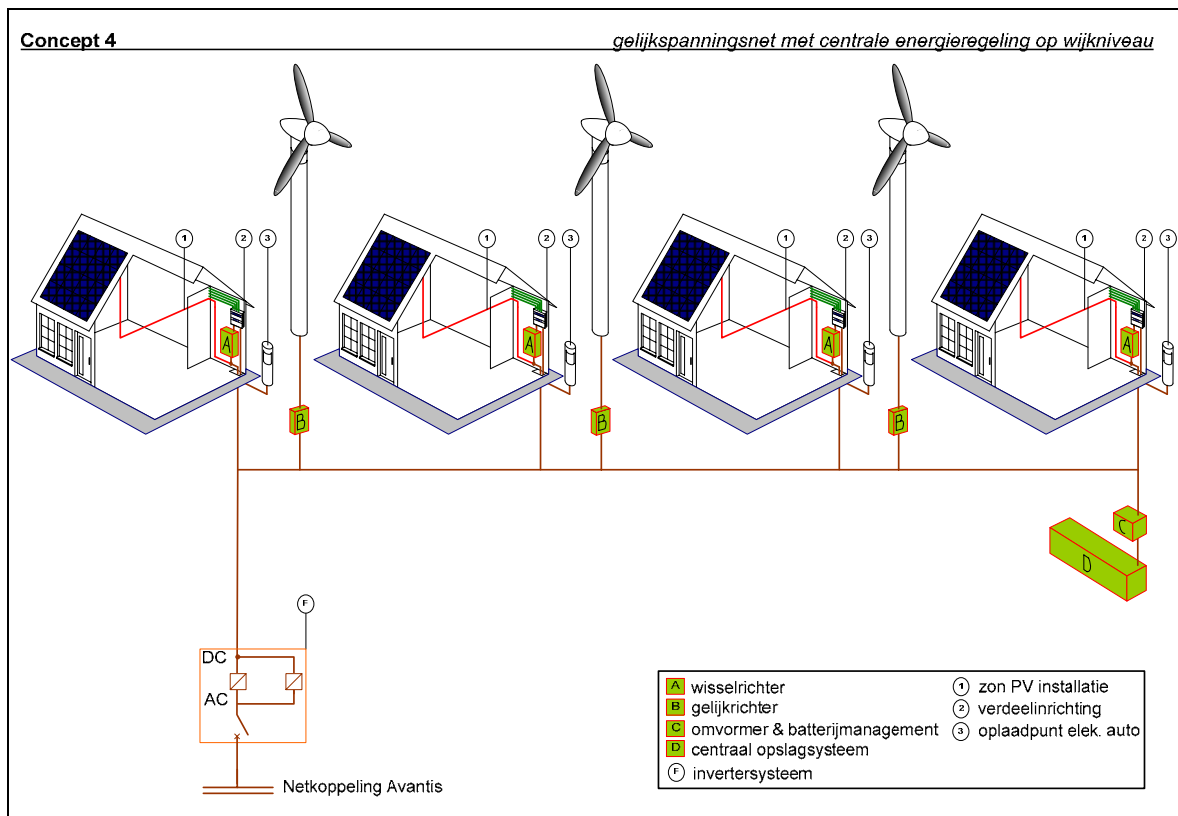
rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 37 van 140

datum 12 juni 2009

4.6 Beschrijving concept 4

"gelijkspanningsnet met centrale energieregeling op wijkniveau"



figuur 9 Beschrijving Concept 4

Het laatste concept is een netwerk bedreven op een gelijkspanning. Zie figuur 10. Om een reëel oordeel te kunnen geven is dit concept meegenomen in de vergelijking. Mede omdat de mogelijkheid onderzocht wordt om gelijkstroom in ms-netten toe te passen. Hiermee kunnen kortsluitstromen worden beperkt en de transportcapaciteit worden verhoogd. De onderdelen in de vermogenslektronica zijn de laatste jaren gestaag verbeterd, waarbij veel nieuwe technologieën zijn geproduceerd. Eerder onderzoek om een dubbel netwerk (dual grid) in een woning toe te passen bleek niet relevant te zijn. (bron Welling, Bas) Deze grote vooruitgang komt door de verbetering en komst van halfgeleideren. Door deze ontwikkelingen worden de componenten steeds goedkoper. Halfgeleideren worden verwerkt in elektronische schakelingen. Pulserende elektronische schakelingen worden gevormd door elementen die duizend tot een miljoen keer per seconde schakelen. Door de tijdsduur van de schakelpuls te variëren is het mogelijk de gemiddelde waarde van de spanningen en de stroom te veranderen. De signalen worden vervolgens nog gefilterd waardoor er zeer nette spanningen en stromen ontstaan. De voeding kan zich aanpassen aan het opgenomen vermogen. Dit gebeurt door

Erwin Gerards

Laurent Schijns

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 38 van 140

datum 12 juni 2009

het meten van de uitgangsspanning en de puls-pauze verhouding aan te passen. Door deze terugkoppeling ontstaat een voeding met een zeer hoog rendement. Rendementen van deze schakelende voedingen liggen rond de 98%.

Als hoofd onderdeel om een eilandbedrijf te realiseren zijn er twee inverters nodig. Één inverter is in principe genoeg, de tweede inverter is alleen nodig als reserve of capaciteitsverdeling. Het idee hierachter is dat de gelijkspanning opgewekt door de zonnepanelen niet geïnverteerd wordt maar direct geleverd wordt aan het microgrid. De meeste zon-PV inverters hebben een spanningsbereik voor het aansluiten van de zonnepanelen. Het spanningsbereik varieert bijvoorbeeld tussen 320VDC en 500VDC. Dit is een mogelijkheid wanneer het microgrid bedreven wordt op een spanningsniveau van 325V. (bron VEI)

- Dit komt overeen met de piekwaarde van de 230 V wisselspanning. In veel apparaten wordt een wisselspanning eerst gelijkgericht en vervolgens weer omgezet in een regelbare wisselspanning voor de aansturing van de motoren. Een voorbeeld van dergelijke toepassing is een wasmachine. Deze hogere DC spanning zal hoofdzakelijk dienen voor het voeden van hogere vermogenslasten.

Het concept van een DC-net zou de efficiëntie van de elektriciteitsdistributie in een huis en eventueel in een wijk toch kunnen verhogen.

- Veel toestellen werken op een gelijkspanning. Deze gelijkspanning wordt gemaakt met een schakelende voeding ofwel met een transformator die rechtstreeks met het net gekoppeld is. Bij beide mogelijkheden treden stand-by verliezen op.
- Bij een aantal toestellen wordt de netspanning eerst gelijkgericht en vervolgens weer omgezet in een regelbare wisselspanning waarvan de amplitude en de frequentie gevarieerd kan worden. Als een gelijkspanningsnet wordt toegepast kan deze gelijkrichterstep overgeslagen worden. Hierdoor dalen de verliezen en stijgt het rendement.
- In een gelijkspanningsnet is er geen reactief vermogen. Het grootste deel van de elektriciteit wordt omgezet in mechanische energie, warmte en licht bijvoorbeeld. Een klein deel van de elektrische energie is reactief vermogen dat nodig is om magnetische en elektrische velden op te bouwen. Deze magnetische en elektrische velden zijn nodig om bijvoorbeeld een motor te laten draaien. Juist dit reactieve vermogen zorgt voor een extra verliespost. Hierdoor wordt de stroom groter en wordt het overgebrachte vermogen groter. Een grotere stroom betekent warmteontwikkeling en dit resulteert in een lager rendement.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 39 van 140

datum 12 juni 2009

- Het skineffect is een verschijnsel dat alleen voorkomt in geleiders waarin een wisselstroom loopt. Elektrische stroom door een geleider wekt een magnetisch veld op. Dit magnetisch veld wekt een tegenspanning op in dezelfde geleider en gaat daardoor verandering van de stroom tegen. Aangezien deze wisselflux zijn oorzaak tegenwerkt is deze in het midden van de geleider tegenwerkend en aan de rand werkt ze mee. Hierdoor zullen de elektronen makkelijker aan de buitenkant van de geleider voortbewegen t.o.v. de kern. De weerstand van de geleider zal sterk toenemen als de frequentie wordt verhoogd. Dus zal de stroom door de buitenkant van de geleider lopen. Hoe hoger de frequentie des te groter dat dit effect wordt. In toepassingen waarbij hoogfrequente signalen getransporteerd worden kunnen dan ook holle geleiders toegepast worden. (bron TOB cursus)
- Het rendement van vele kleine AC-DC omzetters is beduidend lager dan het rendement van één enkele hoger vermogen gelijkrichter.
- In de toekomst zal het aandeel decentrale energie opwekkers toenemen. Het integreren van deze bronnen in het net dient zo efficiënt mogelijk te gebeuren. In een gelijkspanningsnet kan dit veel voordeliger omdat deze energiebronnen een gelijkspanning genereren

Netkoppeling

Het gelijkspanningsnet wordt gekoppeld met het 230 V wisselspanningsnet door middel van een gelijkrichter. Bij het kiezen van een het type gelijkrichter spelen verschillende factoren een rol. Zo kan men voor een unidirectionele gelijkrichter kiezen, waarbij het vermogen in alleen van het wisselspanningsnet naar het gelijkspanningsnet kan lopen. Bij energietekort kan dus alleen vermogen uit het openbare net opgenomen worden.

Een bidirectionele gelijkrichter kan vermogensstromen in beide richting aan. Zeker als een aantal decentrale energiebronnen zijn aangesloten op het gelijkspanningsnet en een overschot aan energie ontstaat kan het interessant zijn om vermogenstransport naar het wisselspanningsnet toe te staan. Een bidirectionele gelijkrichter is vergeleken met een unidirectionele gelijkrichter wel veel duurder.

Stabiliteit en balans

De stabiliteit in dit systeem is een stuk eenvoudiger. Van blindvermogen is geen sprake omdat het net bedreven wordt op een gelijkspanning. Het werkelijke vermogen zal centraal afgestemd worden op vraag en aanbod binnen het net.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 40 van 140

datum 12 juni 2009

Samengevat kun je over een gelijkspanningsnet de volgende voor- en nadelen concluderen:

Voordelen

- makkelijke integratie andere systemen;
- geen verliezen door blindvermogen;
- voorkomen van conversie;
- goedkopere investering;
- geen skin effect;

Nadelen

- hogere verliezen;
- dure vermogenselektronica nodig;
- geen goede optie bij een grote toepassing;
- gebruik van robuustere installatiematerialen;
- afstemming systemen aan elkaar;
- groter risico betreffende veiligheid;
- storingen in de vermogenselektronica (schakelende voeding);
- apparaten functioneren op gelijkspanning moeilijk te verkrijgen.

Enkele beschrijvingen van dit concept en een bijbehorende begroting zijn uitgewerkt in Bijlage 7 Systemen toepasbaar op concept 4)

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 41 van 140

datum 12 juni 2009

4.7 Conclusie

Het eerste concept biedt op dit moment geen oplossing. Aangezien er geen producten zijn die de wijze van energiemanagement op deze manier ondersteunen. Bovendien is deze manier van coördineren onbetrouwbaar en de redundantie is niet gewaarborgd. Dit concept heeft dus meer nadelen dan voordelen. Het tweede concept daarin tegen biedt een betere optie. Door het gebruik van reguliere componenten is dit concept eenvoudig en betrouwbaar. Voor zowel het tweede en derde concept wordt de netkoppeling gevormd door een invertereenheid. In beide situaties moet deze speciaal samengesteld worden en geeft daardoor een flinke doorslag in het kostenplaatje. Concept drie is de meest innovatieve oplossing en gebaseerd op de nieuwste duurzame technologieën op dit moment. Het aanbod van toepasbare componenten is echter nog beperkt. Vooral als het gaat om systemen voor de netkoppeling, balanshandhaving en spanningshuishouding in het microgrid. Bovendien is het niet mogelijk om een microgrid te creëren met componenten van dezelfde leverancier. Het vierde concept is gebaseerd op een gelijkspanningsnet en daardoor niet onderhevig aan blindstroom en het skin-effect. Nadelen zijn de verliezen en de veiligheid in een gelijkspanningsnet. Ondanks de ontwikkelingen en opkomst van de vermogenslektronica is de mogelijkheid toch beperkt. Hieruit is af te leiden dat het eerste en vierde concept geen reële oplossing bieden. Daardoor zijn de concepten twee en drie gecombineerd in het uiteindelijke systeemontwerp voor "de Wijk van Morgen".

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 42 van 140

datum 12 juni 2009

5 Energieverbruik

5.1 Uitleg verbruik

Het verbruik van een van de panden die gebouwd worden in de "Wijk van Morgen" is zeer afhankelijk van de toepassing. Van een gebouw dat gebruikt wordt als kantoor waar de werktijden liggen tussen 8 uur en 5 uur zal dit patroon ook in het verbruik terug komen. Dit verbruik zal sterk afwijken van het verbruik van een gezinswoning. Dit heeft het meeste gebruik in de avond uren als men terug komt van het werk. Om hier meer inzicht in te krijgen zijn verschillende methoden toegepast.

5.2 Verbruikersprofiel / kwartierwaardes

Om te kunnen achterhalen hoe het verbruik van elk gebouw is moeten er "profielen" worden opgesteld. In een profiel staat hoe het energie verbruik verloopt in de tijd voor elk soort gebruik.

Deze profielen zijn opgesteld door het analyseren van "kwartierwaardes". Dit zijn getallen die gelijk staan aan het totale verbruik per kwartier, per dag, in een jaar. Alle waardes bij elkaar opgeteld geeft als uitkomst 1000. Hierdoor kunnen deze getallen met elke waarde van kWh worden vermenigvuldigd om te achterhalen wat er in een specifiek kwartier verwacht wordt wat het verbruik is.

Voorbeeld verbruikt vermogen in 1 kwartier:

$$E = \frac{\text{kwartierwaarde} * \text{jaarverbruik}(kWh)}{1000}$$
$$E = \frac{0.0126 * 3000}{1000} = 0.0378kWh$$

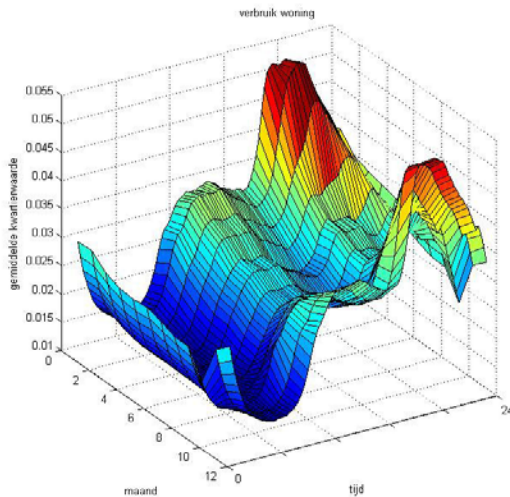
Vergelijking 1

Voor elk kwartier van iedere dag van het jaar zijn hier waardes van gegeven. Dit komt omdat elke dag anders is. Om toch waardes uit te krijgen waar mee gewerkt kan worden, zijn er gemiddeldes voor elke maand berekend per profiel.

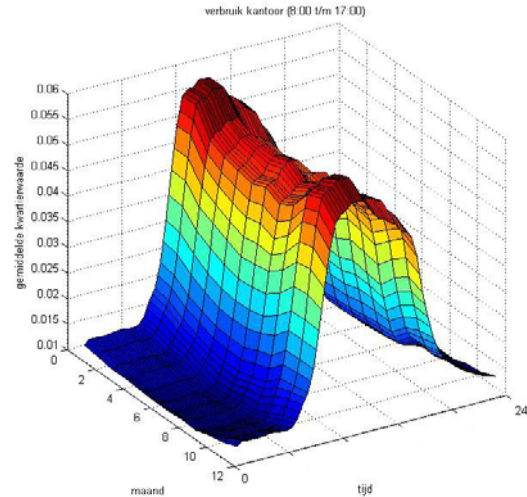
rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 43 van 140

datum 12 juni 2009



Figuur 10 Verbruik woning

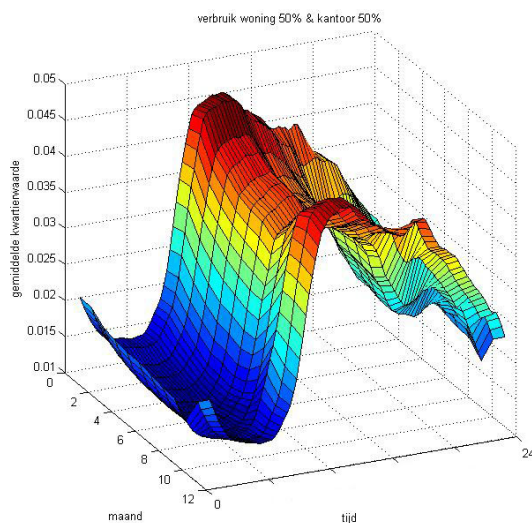


Figuur 11 Verbruik kantoor (werktijden)

Zoals afgebeeld verschilt het verbruik van een kantoor enorm van het verbruik van een woning. Wat ook opvalt, is dat een woning in de zomermaanden minder verbruikt dan in de wintermaanden.

5.3 Wonen / werk patroon

Van de meeste gebouwen die in de Wijk van Morgen komen te staan is het gebruik nog niet vastgelegd. Dit maakt het berekenen van het verbruik niet makkelijker. Er is van het gebouw genaamd "de knik" wel bekend waar het verbruik op gebaseerd is. Dit wordt een pand met zowel een woonhuis als kantoor. Dit brengt een probleem met zich mee. De patronen die berekend en onderzocht zijn, waren allemaal gebaseerd op 1 soort verbruik en niet een combinatie van de twee verschillende patronen. Hiervoor moeten de patronen in een schaalverdeling ondergebracht worden.



Figuur 12 Verbruik woning + kantoor

Bijvoorbeeld: een kantoor met 5 werknemers en een gezin. Hierdoor zou men kunnen stellen dat het totale verbruik van het pand voor 50% veroorzaakt wordt door het kantoor gedeelte en 50% door de bewoners. Waardoor een totaal nieuw patroon ontstaat. Om deze mogelijkheden open te houden is er gebruik gemaakt van verschillende applicaties zoals Excel en matlab om berekeningen uit te voeren. Maar omdat er voor het verbruik van de overige gebouwen heel weinig bekend is zijn hier schattingen over gemaakt.



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 44 van 140

datum 12 juni 2009

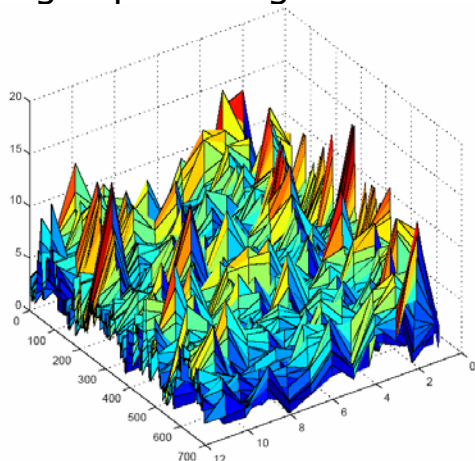
5.4 Invloeden elektrisch rijden

De wijk van Morgen wordt een demonstratie model voor toekomstige technieken. Hierdoor wil men ook het onderwerp elektrisch rijden behandelen. Op het moment van schrijven is echter nog te weinig bekend over een patroon van laden en ontladen van een elektrisch voertuig. Door het ontbreken van deze informatie is deze daarom niet meegenomen in de verschillende patronen. Verder onderzoek wordt aanbevolen.

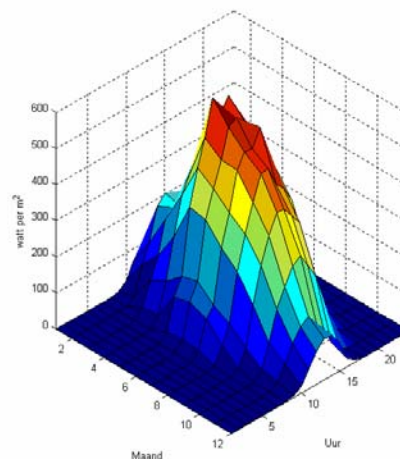
5.5 Conclusie

Door gebruik te maken van de kwartier waardes kon er berekend worden wat het verbruik van ieder gebouw zou zijn. Hiervoor moest er wel meer informatie bekend zijn van de verschillende gebouwen. Deze is verkregen door verschillende presentaties van de studenten bouwkunde die de gebouwen hadden ontworpen. In Bijlage 14 (Uitgangspunten gebouwen) staan de verschillende uitgangspunten vermeld.

6 Energieopwekking



figuur 13 Windsnelheden in 2008



figuur 14 Zon door het jaar 2008

Inleiding

Bij het berekenen van een opslagsysteem moeten er twee gegevens bekend zijn. Deze zijn het opgewekte vermogen en het verbruikte vermogen. Als deze twee van een constante waarde zouden zijn was het alleen nodig om een berekening uit te voeren voor één situatie, hetgeen helaas nooit zal voorkomen. Door de toepassing van wind- en zonne-energie zal het opgewekte vermogen in de tijd variëren (zie figuur 13 & figuur 14). Dit geldt ook voor het verbruikte vermogen. Om te onderzoeken of deze twee vermogens met elkaar in overeenstemming zijn moet eerst onderzocht worden hoe ze ontstaan.

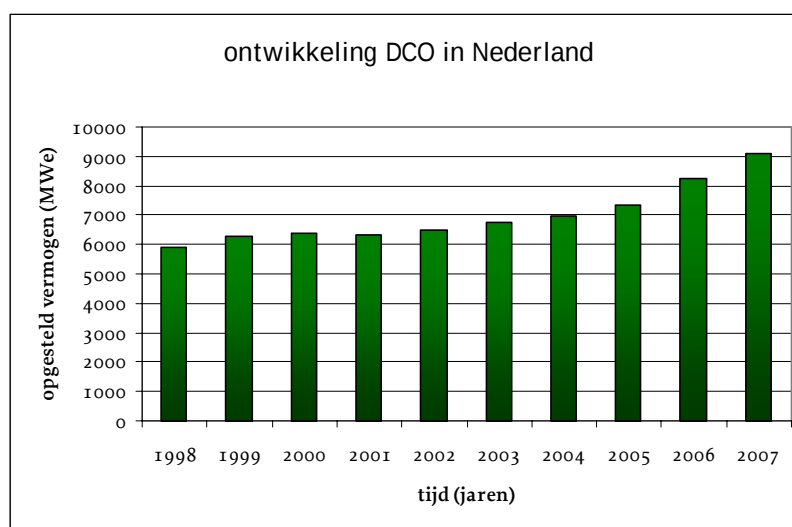
6.1 Decentrale opwekking

Het aandeel duurzame en decentrale opwekking is de laatste jaren sterk toegenomen. Volgens verwachting zal deze opwekking de komende jaren flink toenemen als gevolg van nationale en internationale doelstellingen. Voorbeelden van deze doelstellingen is het broeikaseffect, de voorraad van fossiele brandstoffen is sterk aan het verkleinen en de liberalisering van de energiemarkt. Ontwikkelingen aan de decentrale opwekkingstechnologieën gaan ook verder. Bovendien zijn er sterke ontwikkelingen in energieopwekking via zonnepanelen, kleinschalige wind, microwarmtekracht en brandstof technologie. Als het aandeel decentrale opwekking sterk blijft toenemen, zal inpassing in het huidige elektriciteitsnet steeds moeilijker worden. Zowel de elektriciteitsvraag als de decentrale opwekking zal flink toenemen. Lokale afstemming op vraag en aanbod in een intelligente combinatie met energieopslag zal een goede vooruitgang zijn in niet stuurbare energieopwekking. Als er een groot aantal van deze kleine opwekkers worden opgenomen in het net zal de stabiliteit van het elektriciteitsnet in gedrang komen.

Voordelen decentrale opwekking

Decentrale energie wordt dus lokaal opgewekt. Bijvoorbeeld bij tuinders, kantoorgebouwen, woonhuizen en bedrijfspanden. Eigenschappen die decentrale opwekkers kenmerken zijn:

- klein in formaat;
- grote aantallen;
- (soms) niet regelbaar;
- aangesloten op distributienet.



Figuur 15 ontwikkeling DCO in Nederland

De meeste energie die hierbij wordt opgewekt wordt ter plaatse ook weer verbruikt. Dit in tegenstelling tot enkele grote centrales die voor het hele land aanzienlijke hoeveelheden elektriciteit produceren. Deze decentrale opwekkers zorgen voor een klein deel van onze energiebehoefte. Het opwekken op deze manier heeft een aantal voordelen:

- Het is schone energie
 - o Decentrale duurzame energie wordt voor een groot deel uit duurzame bronnen opgewekt. Voorbeelden hiervan zijn zonnepanelen, windturbines en warmtepompen. Deze bronnen halen energie direct uit de omgeving en zetten deze om in elektriciteit of warmte. Bij het opwekken van deze energie komt geen CO₂ vrij. Deze bronnen zijn onuitputtelijk en dus echt duurzaam.
- Verliezen beperken
 - o Door de traditionele infrastructuur gaat bij de opwekking en het transport van de energie veel energie verloren. Doordat bij decentrale opwekking de

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 47 van 140

datum 12 juni 2009

opwekking ter plekke gebeurt, is er vrijwel geen transport. Hierdoor blijft het verlies beperkt en zal het rendement stijgen.

- Betrouwbaar
 - o Doordat bij decentrale energie grote aantallen systemen energie opwekken in plaats van een paar centrales kunnen stroomstoringen ook worden beperkt. Elk gebouw voorziet zich echter zelf in zijn eigen behoefte. Uitval van een kleine opwekker wordt direct opgevangen door andere omliggende decentrale opwekkers. Daardoor kunnen spanningsuitvalen direct worden opgevangen.
- Betaalbaar
 - o De afhankelijkheid van de stijgende olieprijs neemt af omdat de energie lokaal uit duurzame bronnen wordt opgewekt. Met een eigen decentrale systeem neemt de afhankelijkheid dus af.

Nadelen decentrale opwekking

Deze zijn te onderscheiden in algemene nadelen en technische nadelen.

Algemene nadelen

- Onzekerheid over de opkomst
 - o Door de toename van de elektriciteitsvraag zal het productievermogen toenemen. De groei van deze elektriciteitsvraag is onzeker en ook de verdeling van de opkomst van decentrale opwekkers. Hierdoor wordt het inzicht in capaciteit, spanningshuishouding en beveiliging steeds complexer.
- Transport van grote vermogens
 - o Vaak worden decentrale opwekkers geplaatst in buitengebieden. Wkk's bijvoorbeeld worden geplaatst bij tuinders en windparken vaak ver van de bewoonde omgeving. De opgewekte vermogens moeten via een lange weg worden getransporteerd. Soms is de infrastructuur in deze gebieden niet toereikend, in zo'n geval worden er voorzieningen getroffen. Niet alle kabels die in deze gebieden liggen zijn geschikt en zullen dus vervangen moeten worden. Daarnaast kunnen deze grote vermogens voor problemen zorgen in de HS/MS transformatoren. Deze problemen kunnen opgelost worden door uitbreidingen van het net te realiseren of door het verhogen van het spanningsniveau.
- Capaciteitsbewaking in twee richtingen
 - o Decentrale opwekkers leveren niet constant energie terug naar het openbare net. Er moet echter wel rekening mee worden gehouden dat er op

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 48 van 140

datum 12 juni 2009

een bepaald piekmoment maximaal wordt terug geleverd. De capaciteit moet dus in twee richting worden bewaakt. De netbeheerder zal hiervoor voorzieningen moeten treffen.

Technische problemen die ontstaan: (bron senternovem)

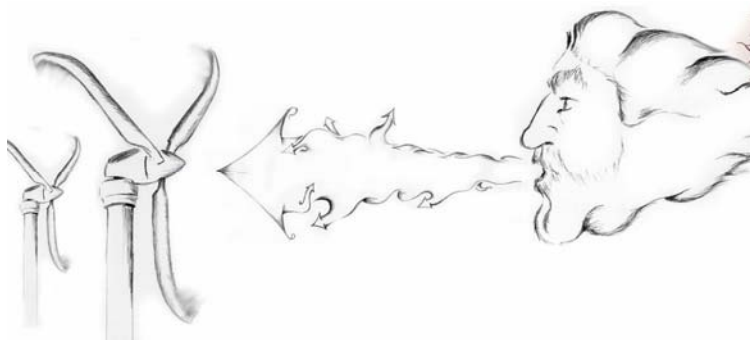
- Spanningsproblemen
 - o Door het in- en uitschakelen van grote decentrale vermogens ontstaan spanningsfluctuaties op het openbare elektriciteitsnet.
- Vergroting van de kortsluitstromen
 - o Grote decentrale vermogens betekent grotere kortsluitstromen. Deze zijn wel afhankelijk van de plaats waar de decentrale opwekker wordt opgenomen en de plek waar de kortsluiting plaatsvindt.
- Harmonische vervorming (netvervuiling)
 - o Er gaan stromen lopen met veelvoud van de netfrequentie. Daardoor zal de netfrequentie veranderen. Gevolgen die ontstaan:
 - De grondvorm van de netspanning kan veranderen;
 - Nulleiders die te veel stroom voeren ;
 - Extra warmte- en rendementsverlies in motoren en transformatoren.
- Onjuiste werking van bestaande beveiligingen
 - o Bij decentrale opwekking is er sprake van energiestromen in twee richtingen ofwel bidirectioneel transport. Niet alle beveiligingscomponenten zijn geschikt voor deze toepassing
- Overbelasting van componenten
 - o Doordat er veel decentrale opwekkers op het net worden aangesloten kunnen er op een pieksituatie grote stromen geïnjecteerd worden in het net. Niet alle componenten zijn bestand tegen deze hoge vermogens. Een van deze zwakke schakels in het net is de transformator bijvoorbeeld. Deze moet bestand zijn tegen het vermogen dat het gebied inkomt minus het vermogen dat het gebied uitgaat.
- Netstabiliteit
 - o oplossing moeten gezocht worden in lokale energieopslag, vermogenelektronica en regelalgoritmen.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 49 van 140

datum 12 juni 2009

6.2 Wind energie



Figuur 16 Wind

Totstandkoming

Windenergie wordt al toegepast sinds de tijd dat men is begonnen met zeilvaart. De zeilen werden in de masten gespannen om de energie van de wind te gebruiken om het schip voort te stuwten.

Rond de ontdekking van de windmolen is nog onduidelijkheid, maar sommige bronnen noemen China als herkomst van de windmolen, de andere noemen Perzië als herkomst. Waarschijnlijk sinds de 12e eeuw heeft gebruik van de windmolen in West-Europa opgang gemaakt. De windmolens die toen werden gebouwd werden hoofdzakelijk gebruikt voor het malen van graan, het pompen van water en het zagen van hout. In Nederland ging het gebruik van windmolens met grote stappen voorwaarts tijdens de inpoldering en de droogmakerijen in de 17^{de} eeuw.

De werking van een windturbine staat uitgelegd in Bijlage 11 Werking windturbine.



figuur 17 Windmolen

Toepassing in de wijk van morgen

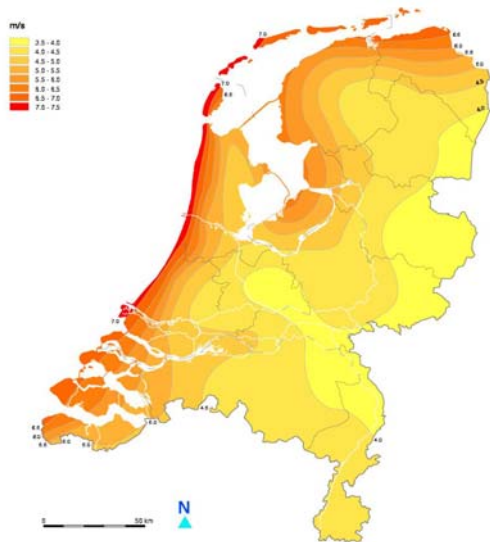
De locatie waar de wijk van morgen wordt gebouwd is Zuid-Limburg. Op deze locatie wil men 3 windmolens van het merk skystream 3,7 plaatsen. Deze zijn ontwikkeld voor toepassing in de buurt van bewoonde / bebouwde omgevingen (afstand tot gebouwen +/- 250meter).

Om inzicht te krijgen wat voor vermogen er door de windmolen (het meest) wordt opgewekt kan er gebruik worden gemaakt van een Raleigh-distributie. Hiermee kan een berekening worden gemaakt hoe groot de kans is op verschillende windsnelheden rond de gemiddelde windsnelheid.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 50 van 140

datum 12 juni 2009



Figuur 18 Windkaart Nederland

$$P(r) = \frac{\pi \cdot r \cdot e^{-\pi^2 / (4\mu^2)}}{2\mu^2}$$

$$P(r) = \frac{\pi \cdot r \cdot e^{-\pi^2 / (4 \cdot 4^2)}}{2 \cdot 4^2}$$

μ = gemiddelde snelheid

r = snelheid om de kans bij te berekenen

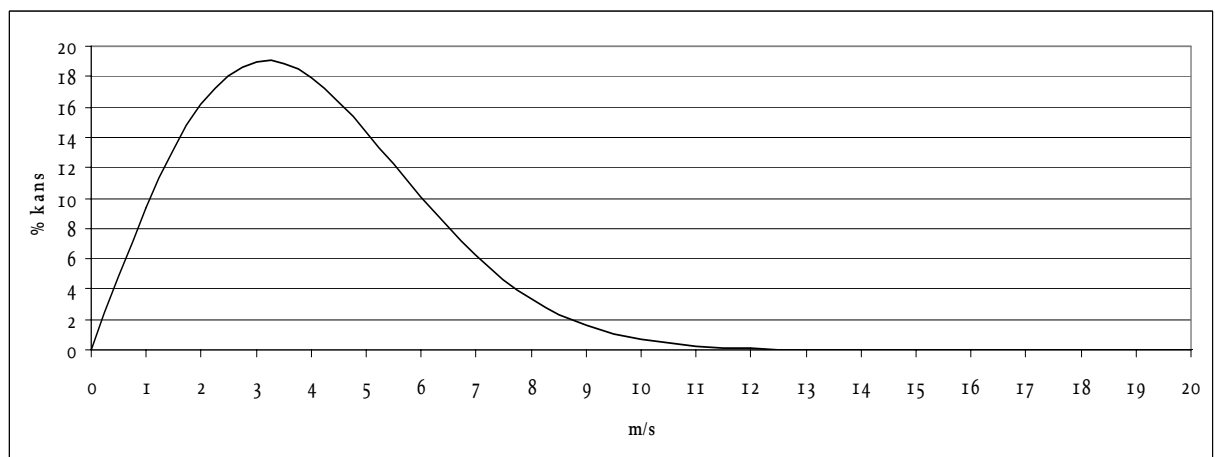
P = Kans (probability)

Om deze distributie toe te kunnen passen moeten er een paar gegevens van tevoren bekend zijn. Onder andere de gemiddelde windsnelheid op de locatie waar de windmolens staan opgesteld.

Zoals in de afbeelding hiernaast (Bijlage 10 Wind KNMI) is te zien is de gemiddelde windsnelheid op voorhand 4 m/s. Deze gegevens zijn gebaseerd op meetgegevens die KNMI verzameld heeft op een hoogte van 10 meter vanaf het maaiveld.

Als we deze gegevens invullen in de Rayleigh-distributie invullen krijgen we het volgende:

Waaruit de volgende grafiek is verkregen:



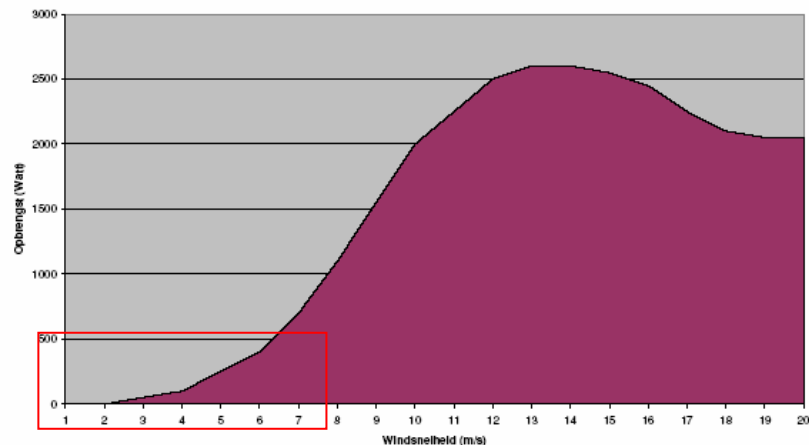
Figuur 19 Rayleigh-distributie 4 m/s

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 51 van 140

datum 12 juni 2009

In de grafiek valt af te lezen dat windsnelheden tussen 3 en 4 m/s het meest voorkomen. Als we met deze gegevens in het achterhoofd naar de vermogens/windsnelheid kromme van de skystream kijken (bron: duurzame energie thuis) is te constateren dat de skystream zelden tot nooit zijn maximale vermogen zal leveren.



Figuur 20 Vermogenskromme skystream 3,7

6.3 Zonne-energie

Totstandkoming

De zon is een ster die enorme hoeveelheden energie doet uitstralen naar aarde. De zon bestaat vooral uit waterstof, die door de enorme temperatuur en druk in de kern verandert in een andere stof, helium, en enorme hoeveelheden energie (kernfusie).

Zonne-energie wordt al miljarden jaren toegepast. Een blad is een levende zonnecentrale. Het groene chlorofyl in het blad zet lichtenergie om in chemische energie (fotosynthese), in de vorm van verbindingen tussen atomen en druivensuiker (glucose). Ook Miljoenen jaren geleden stonden er enorme bossen in zonnige, warme moerassen. Plantenresten die van de bomen waren afgevallen of afstierven werden langzaam geplet en veranderden in steenkool. In zee zakten miljarden kleine diertjes na hun dood naar de bodem. Deze werden bedekt en veranderden op de zelfde manier in olie of gas. Wanneer we deze fossiele brandstoffen nu gebruiken, is dat zonne-energie van heel lang geleden.

Zonne-energie kan op verschillende manieren worden opgevangen. In dit verslag wordt alleen het PV paneel behandeld. De werking van deze panelen staat beschreven in Bijlage 12 Werking zonne-energie.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

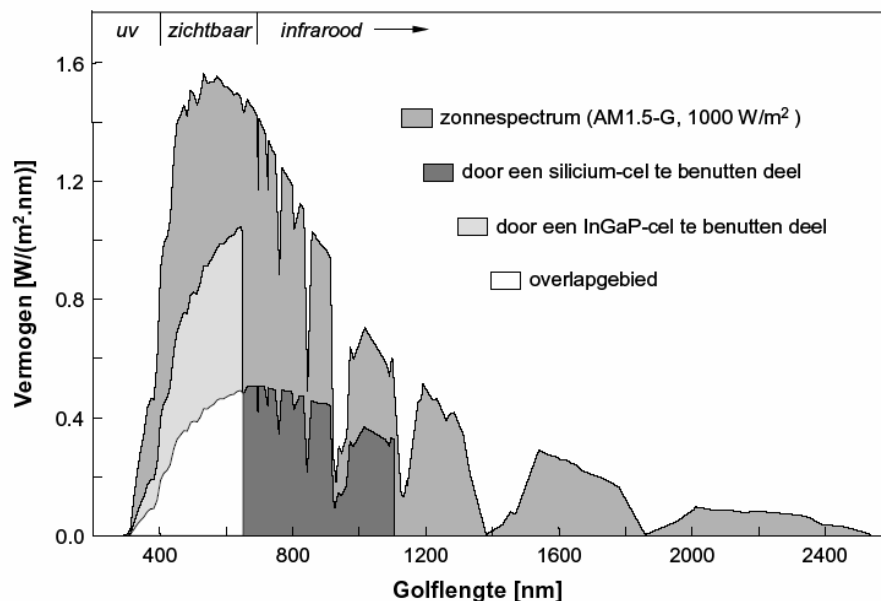
pagina 52 van 140

datum 12 juni 2009

Toepassing in de wijk van morgen

De hoeveelheid energie die door de zon wordt opgewekt is van groot belang om te weten. Door verschillende soorten simulatie pakketten is te achterhalen hoeveel het opgewekte vermogen zal bedragen. Omdat er tijdens dit onderzoek geen simulatie programma voor zonne-energie ter beschikking was is er naar een alternatief gezocht. Dit alternatief was een weerstation enkele kilometers verwijderd van de wijk van morgen (zie Bijlage 13 Locatie weerstation). Hier werden verschillende gegevens gemeten, waaronder de opbrengst van de zon in W/m^2 . Hieruit kon veel exacter bepaald worden wat er per maand aan energie opgewekt zou worden.

De toegepaste meetsensor was van het type Davis die een meetbereik had tussen de 400 tot 1100 nanometers. Dit is niet het gehele spectrum, maar de tegenwoordig verkrijgbare PV-cellen zitten exact in dat bereik. (zie onderstaande afbeelding bron Research Institute for Materials (KUN))



Figuur 21 lichtspectrum t.o.v. meetbereik

De data die is verkregen van dit weerstation waren uitgedrukt in gemiddelde uurwaardes van elke dag door het hele jaar heen.

Deze verkregen data is per maand geanalyseerd. Hieruit zijn de minimum en maximum waardes gehaald (worstcase en bestcase). Door de data van 1 maand per uur te middelen zijn de gemiddelde waardes verkregen (averagecase). Deze waardes zijn vermenigvuldigd met het aantal m^2 PV wat er gedocumenteerd was door de studenten van bouwkunde van de geplande gebouwen in "de Wijk van Morgen". Helaas zit hier een probleem. Omdat de wijk van morgen een omgeving is waar ondernemers en overheden samen een inspirerende omgeving creëren, gaat dit ten koste van het ontwerp en productie proces.

Erwin Gerards

Laurent Schijns

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 53 van 140

datum 12 juni 2009

Elk gebouw wordt door de bouwkunde 1 voor 1 ontworpen, bekeken, en beoordeeld. Dit proces is tot nu toe alleen voor 1 gebouw afgerond ("De Knik"). Voor de overige gebouwen moest er een schatting worden gedaan. Deze schattingen zijn gemaakt aan de hand van de grote van het gebouw "de Knik". Deze schattingen staan vermeld in Bijlage 14 Uitgangspunten gebouwen.

Rendement PV in de berekeningen van "de Wijk van Morgen"

Het rendement van de verschillende PV-panelen is uitgerekend aan de hand van enkele vuistregels. Rendement pv-paneel (14%) * Rendement inverter (90%) * rendement installatie (80%) = 10% rendement.

6.4 Conclusie

Uit de vermogenskromme van de skystream 3,7 valt te concluderen dat de skystream 3.7 een maximaal vermogen opwekt bij een windsnelheid van 13 m/s. Maar uit de Rayleigh-distributie blijkt dat de skystream zelden tot nooit deze windsnelheid zal mee maken in "de Wijk van Morgen" en het vermogen gemiddeld niet meer dan 100 Watt zal zijn per windmolen. Hierdoor is het advies om de kosten van de molen te besparen en deze te investeren in een andere duurzame bron.

Voor het berekenen van de opbrengst van de zonnepanelen moesten er schattingen gemaakt worden. Aan de hand van het ontwerp voor "de Knik" zijn de schattingen voor de overige gebouwen gemaakt.

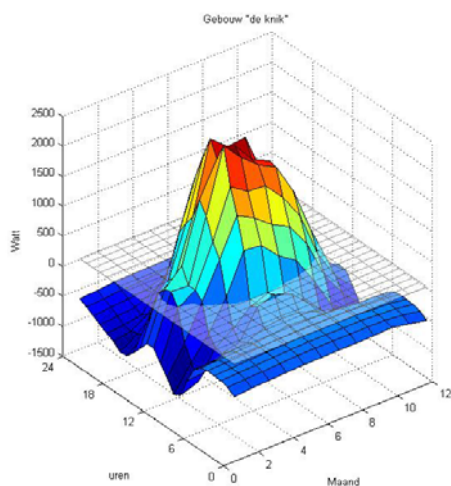
rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 54 van 140

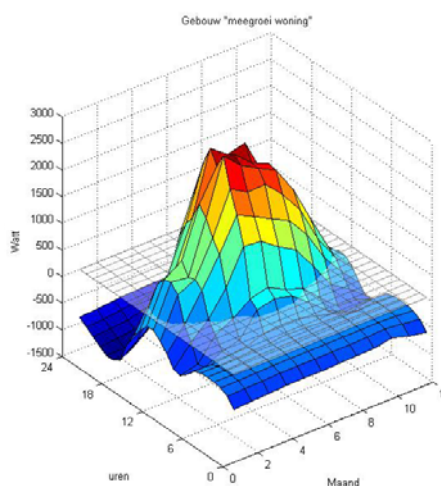
datum 12 juni 2009

7 Autonoom bedrijf

Om te achterhalen hoe groot het buffersysteem moet worden, moet er eerst worden uitgerekend hoeveel energie er overblijft voor buffering. Dit is gedaan door het verbruikte vermogen van het opgewekte vermogen af te trekken. Hiervoor zijn verschillende situaties mogelijk. Maximaal verbruik met minimaal opwekking, of het tegenovergestelde (minimaal verbruik en maximaal opwekking) en alle situaties ertussen in. Door gebruik te maken van Excel & matlab zijn 9 situaties berekend. Van de verschillende gebouwen zijn grafieken getekend. Deze zijn gemaakt voor de situatie waar de meeste kans op is. Deze zijn afgebeeld in figuur 23 t/m 26.



figuur 22 "De Knik"

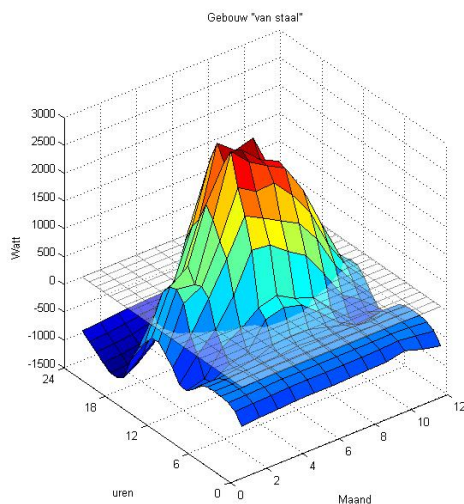


figuur 23 "Meegroe Woning"

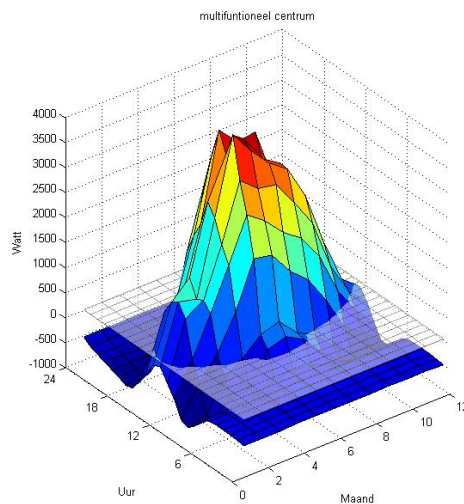
rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 55 van 140

datum 12 juni 2009



figuur 24 "Staal"



figuur 25 "Multifunctioneel Centrum"

Alles wat boven de nul lijn ligt is overschot. Alles wat onder de nul lijn ligt is tekort. In de ideale situatie zou het overschot het tekort moeten afdekken (energie nul) of zelfs nog overcapaciteit leveren om de verliezen te compenseren.

Deze grafieken zijn gemaakt met een gemiddelde situatie. Dit houdt in dat er gemiddeld opgewekt vermogen wordt geproduceerd en gemiddeld vermogen wordt verbruikt.

De 9 situaties die kunnen voorkomen zijn:

- minimale opwekking & maximaal verbruik (Worstcase);
- minimale opwekking & gemiddeld verbruik;
- minimale opwekking & minimaal verbruik;
- gemiddelde opwekking & maximaal verbruik;
- gemiddelde opwekking & gemiddeld verbruik (average case);
- gemiddelde opwekking & minimaal verbruik;
- maximale opwekking & Maximaal verbruik;
- maximale opwekking & gemiddeld verbruik;
- maximale opwekking & minimaal verbruik (best case).

In Bijlage 15 Maand Totaal cases zijn de 2 meest extreme situaties vermeld en de situatie waar de meeste kans op is. Worstcase (minimaal opwek – maximaal verbruik), average case (gemiddeld opwek – gemiddeld verbruik), en bestcase (maximale opwek – minimaal verbruik). Dit berekend over het gehele jaar levert de volgende tabel op (Bijlage 16 Jaar totaal):

	opwek	verbruik	overschot	
Worstcase	0	-41439	-41439	kWh
Average case	11232	-15068	-3836	kWh
Bestcase	30573	-10485	20088	kWh

Hieruit blijkt dat er in average case in een jaar 3836,15 kWh te kort aan energie wordt opgewekt. Dit moet extra worden opgewekt wil men "de Wijk van Morgen" geheel energie neutraal bedrijven. Dat wil zeggen dat alle gebouwen samen evenveel energie opwekken als wat ze verbruiken. Om het hele jaar door autonoom te kunnen functioneren, moet er nog meer (door de verliezen in de opslag systemen & transport) dan $(3836,15 + 11231,65 =)$ 15067,15 kWh aan energie worden opgewekt.

Gemiddeld is er een vermogen van $(902 \text{ kWh} * \text{rendement } 15\% =)$ 135 kWh per jaar aan stralingsenergie beschikbaar in "de Wijk van Morgen" per m². De hoeveelheid m² die er extra moet komen te liggen in "de Wijk van Morgen" is $(3836,15 / 135 =)$ 28,3m² Om energie neutraal te functioneren. Dit geldt ook alleen als de gebouwen die nog in de planning minimaal het aantal m² aan pv-panelen hebben gemonteerd zoals in Bijlage 14 (Uitgangspunten gebouwen) is vermeld.

Maar een betere oplossing is het toepassen van een biodiesel aggregaat. Hierdoor hoeft het buffersysteem niet groter te worden maar kan dit aggregaat ingeschakeld worden op momenten dat de zon niet schijnt en energie tekort is waardoor er in de nacht ook energie opgewekt kan worden. Verder onderzoek hieraan is aan te raden.

Om autonoom bedrijf te realiseren komen de verliezen van het opslagsysteem ook nog erbij. Bijvoorbeeld een loodaccu heeft een zelfontlading van 16% per maand. Dit zou betekenen dat het overschot van de zomer al ver verdwenen zou zijn voordat het winter was.

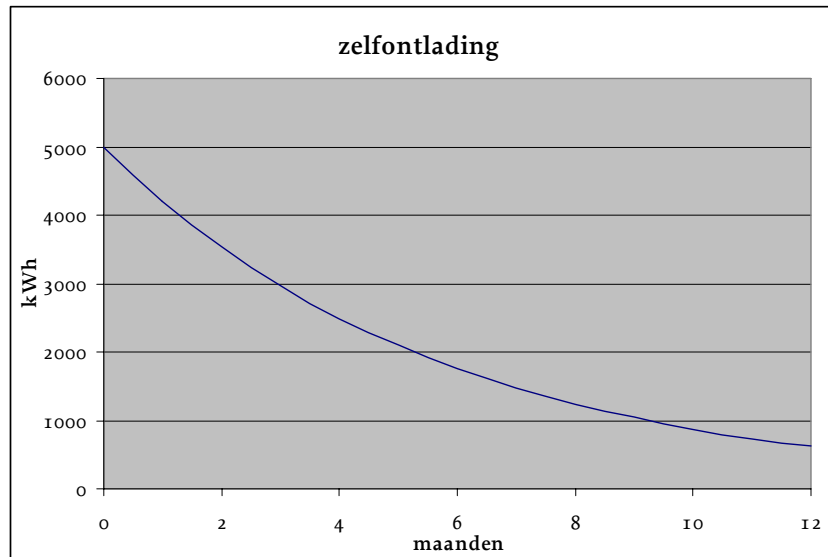
7.1 De kosten van een systeem met lood accu's:

Loodaccu systemen zijn een van de goedkoopste systemen die er op deze schaal beschikbaar zijn. Per kWh kosten deze tussen de 200 en 900 euro. Hoe groter de installatie hoe goedkoper het systeem. Ze zijn verkrijgbaar tussen de 1 en 40.000 kWh. In totaal moet er in de average case 11231,65 kWh aan energie worden opgeslagen. Dit is de totale hoeveelheid overschot (Excel sheet Bijlage 16 Jaar totaal). Dit opgewekte vermogen is over het gehele jaar verspreid, maar het meeste vermogen wordt opgewekt in de zomer maanden. De energie die in de zomer wordt opgewekt is al voor een deel verdwenen voordat het winter is. Dit komt door het lange tijdsbestek dat overschreden moet worden (16% verlies per maand). Als in de zomermaanden (21 juni tot 21 september) 5000 kWh aan overschot wordt opgewekt moet deze bewaard worden voor de momenten dat er tekorten zijn (wintermaanden/herfstmaanden). Door de zelfontlading komt de volgende karakteristiek:

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 57 van 140

datum 12 juni 2009



Figuur 26 Zelfontlading

Hieruit is af te lezen dat er van de energie die in de zomer is opgeslagen (in het buffer van loodaccu's) na de herfst (waar alle overschot meteen verbruikt worden) nog maar $(0.84^3) = 59,3\%$ over van de opgeslagen energie (2963.52 kWh). Hierdoor is een opslagsysteem gemaakt met lood accu's geen goede optie. Op spanning houden van loodaccu's is ook geen optie omdat dit principe ook vermogen(wat niet aanwezig is) nodig heeft.

Kosten opslag systeem:

De kosten van een opslag systeem is afhankelijk van de benodigde hoeveelheid, soort, en de hoeveelheid zelfontlading. Van een li-ion systeem is de zelf ontleding tussen de 5% en 10% (bron wikipedia, 01-EN). Als dit systeem zou worden toegepast zou in het ergste geval (10%) 3 maanden na opladen nog 72% van het opgeslagen vermogen in het accu systeem aanwezig. Volgens de berekeningen die nu gemaakt zijn is in een wintermaand (met het huidige aantal m^2 aan PV panelen) een tekort van 5061,92 kWh. Als ervoor gezorgd wordt dat dit aantal kWh in de winter nog in het opslagsysteem aanwezig zou moeten zijn moet er in de zomer een vermogen van $((5061,92/72) * 100 =) 7100$ kWh aan overschot worden opgewekt. Dit is helaas niet het geval. In de zomer maanden wordt +/- 5000 kWh opgewekt. Er zou dan 2100 kWh meer moeten worden opgewekt. Dit zou betekenen dat er bijna de helft meer aan PV zou moeten worden opgewekt, maar door het verder verhogen van het aantal m^2 PV panelen wordt de benodigde opslagcapaciteit kleiner. Dit omdat meer tekorten worden gecompenseerd.

Door de grote hoeveelheid tijd die overbrugd moet worden is het op het moment niet mogelijk om op een betaalbare/rendabele manier "de Wijk van Morgen" autonoom te bedrijven. Op het moment bedraagt het overschot 11231,65 kWh. Om dit op te slaan in het goedkoopste systeem (voor deze schaal loodaccu's) zou een investering zijn van



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 58 van 140

datum 12 juni 2009

$(11231,65 \text{ kWh} * 550 \text{ €/kWh} =) 6.2 \text{ Miljoen euro}$. Naarmate technologische ontwikkelingen vorderen (o.a. supercondensatoren) zal autonoom bedrijf binnen handbereik komen.

7.2 Conclusie

Gemiddeld genomen (average case) blijkt dat "de Wijk van Morgen" te weinig energie opwekt om zichzelf energie nul te noemen. Om dan de wijk ook nog autonoom te bedrijven moet er meer energie opgewekt worden onder andere door het inzetten van een biodiesel aggregaat. De huidige opslagsystemen hebben nog te veel last van zelfontlading waardoor het toepassen van deze gepaard gaat met veel verliezen.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 59 van 140

datum 12 juni 2009

8 Opslagsystemen

8.1 Vliegwiel

Een vliegwiel is eigenlijk een wiel met een flinke tot enorme massa waarin energie kan worden opgeslagen. Dit systeem werkt als volgt. Als er energie overschot is wordt deze aangeboden aan een elektromotor. Op de as van de elektromotor zit een wiel met een enorme massa. Om de energie in het vliegwiel uit te rekenen moet gebruik worden gemaakt van de formule voor kinetische energie van een massa m (in kg) en de snelheid (v) in m/s. Door deze formule aan te passen naar een vliegwiel wordt de volgende formule verkregen.

$$E = \frac{1}{4} m * v^2$$

Vergelijking 2 Bijlage 18 Werking vliegwiel

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

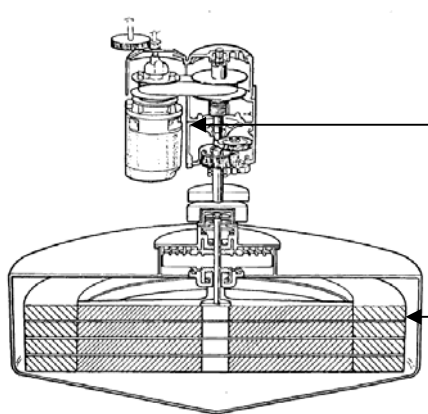
pagina 60 van 140

datum 12 juni 2009

Door de snelheid van het wiel te verdubbelen, kwadrateert de energie die is opgeslagen in het vliegwiel. Helaas kan dit niet oneindig worden gedaan. Vliegwielen worden vaak van beton of een speciaal composiet materiaal gemaakt. De stress die op deze materialen komen te staan worden ook steeds groter (door de centrifugale kracht). Als de snelheid waarmee ze rond draaien te hoog wordt zal het wiel uit elkaar spatten.

Door de massa van het wiel te vergroten zal de hoeveelheid energie die opgeslagen kan worden in het vliegwiel evenredig toenemen. Waardoor de totale omvang van het systeem alleen maar groter wordt.

Een vliegwiel heeft één groot nadeel. Als de energie eenmaal uit het vliegwiel is opgenomen moet deze weer opgeladen worden (weer op toeren komen). De energie die opgeslagen wordt in de meest gangbare systemen is niet toerijkend om als enige bron van energie opslag te functioneren. Wel is een vliegwiel een goed systeem om kortstondige belastingen op te vangen. Omdat de massa traagheid van een vliegwiel meteen is aan te spreken en er geen chemische reactie hoeft plaats te vinden.



Motor als er energie in het vliegwiel moet worden opgeslagen.
Generator als er energie uit het vliegwiel moet worden gehaald.

Het vliegwiel met koppeling om wrijvingsverliezen van de aangesloten tandwielkast en motor te voorkomen, zodat energie zo lang mogelijk blijft opgeslagen.

Figuur 27 Vliegwiel

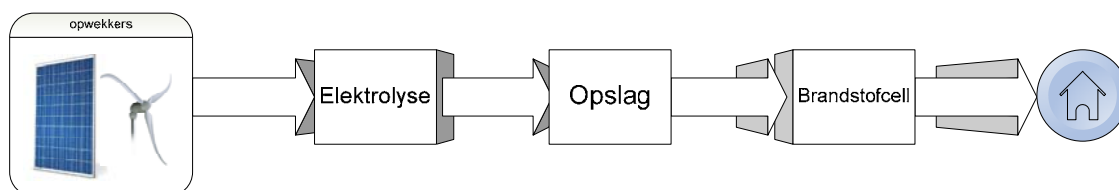
8.2 Waterstof

Inleiding

Waterstof is de laatste jaren veel in de belangstelling geweest. Dit omdat het tijdens verbranding een binding met zuurstof aangaat waaruit het molecuul H_2O ontstaat. Dit restproduct (water) is niet schadelijk voor het milieu. Sterker nog, dit is een van de meest voorkomende stoffen op aarde. Dit zou een ideale vervanger zijn voor de fossiele brandstoffen die tegenwoordig gebruikt worden. Ook omdat de energetische waarde van Waterstof veel hoger is als die van methaan gas.

Energieopslag met waterstof

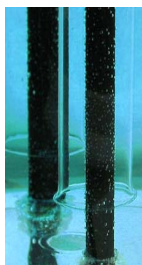
Om energieopslag met waterstof te realiseren moet het volgende proces bekeken worden.



Figuur 28 Waterstof proces

De energie die door de opwekkers wordt geproduceerd moet als eerste omgezet worden in waterstof. Dit kan op verschillende manieren. Door aardgas te bewerken of door elektrolyse. In "de Wijk van Morgen" is alleen elektrolyse mogelijk omdat hier geen gas aansluiting aanwezig is. De verkregen waterstof moet dan worden opgeslagen tot het moment dat de energie vraag weer toeneemt en de opwekkers dit niet kunnen leveren. Dan wordt de verkregen/opgeslagen waterstof in de brandstofcel omgezet naar bruikbare energie.

Elektrolyse



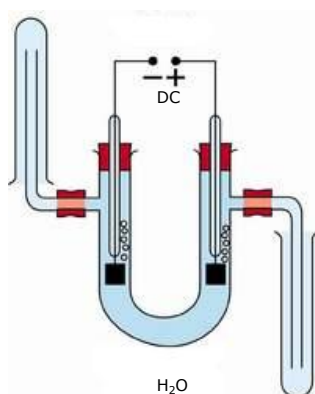
De algemene definitie voor elektrolyse luidt: Elektrolyse is de ontleding van een elektrolyt door middel van gelijkstroom. Hierbij vindt, in tegenstelling tot de reacties in een elektrochemische cel, een "gedwongen" overdracht van elektronen plaats. Met andere woorden, de (redox)reacties verlopen niet spontaan, maar worden geforceerd door een externe gelijkstroombron.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 62 van 140

datum 12 juni 2009

Dit proces kan als volgt worden afgebeeld:



M.b.v. 2 elektroden wordt er een stroom door het elektrolyt gestuurd. In dit elektrolyt zit een bepaalde hoeveelheid H_2O . Maar om de geleiding van de stroom te verbeteren wordt dit gemengd met een andere stof. Aan de kathode komt het waterstof vrij en aan de anode komt het zuurstof vrij.

Dit proces is zeer gevoelig voor verschillende factoren. Als de spanning te hoog wordt op de elektrodes zal niet alleen het H_2O reageren maar ook de bijgevoegde stof zal zich gaan ontleden. Hierdoor kan er aanslag optreden aan de elektrodes en kan het gewonnen waterstof niet gebruikt worden voor een brandstofcel omdat er te veel vervuiling in aanwezig is.

Figuur 29 Elektrolyse

De elektrodes zelf zijn ook van groot belang. Aan de constructie en materiaal waarvan deze zijn gemaakt zijn meerdere studies verricht. Hieruit bleek dat een constructie gemaakt van Platina de beste oplossing is. Omdat van alle metalen Platina het minst zou reageren met de bijgevoegde stof. Dit materiaal is duur en met het proces om dit te winnen uit de aardbodem gaat veel energie verloren.

Als het elektrolyse proces goed wordt uitgevoerd zal er puur waterstof en zuurstof ontstaan. Dit is dan eigenlijk de energie van de opwekkers omgezet in gas. Deze gasen zijn ook weer nodig in de brandstofcel om weer energie op te wekken. Daarom moeten ze worden opgeslagen tot op het moment dat de vraag van energie de hoeveelheid opgewekte energie overstijgt.

Opslag van waterstof

De opslag van waterstof kan op verschillende manieren. Bij omgevingstemperatuur is het niet mogelijk om waterstof vloeibaar op te slaan omdat het kookpunt van waterstof -252 graden Celsius bedraagt. Dit brengt veel problemen met zich mee. Omdat het in gasvorm aanwezig is zal het gemakkelijker ontsnappen. En doordat het waterstof in gasvorm opgeslagen moet worden, zal de inhoud waterstof in de tank (0.0899 gr/l) minder zijn dan als deze gevuld zou zijn met vloeibaar waterstof (71 gr/l). Hierdoor zullen er meer tanks moeten worden toegepast om dezelfde hoeveelheid energie op te slaan. Wel is het mogelijk waterstof onder druk op te slaan waardoor de dichtheid per liter ook groter wordt. Dit kan niet oneindig worden gedaan i.v.m. veiligheid.

Als men de totale overschot aan energie zou willen opslaan in waterstof zou dit een opslagtank van (zonder elektrolyse verliezen) (overschot $11232 \text{ kwh} \cdot 3,6 \text{ M=}$) $40,4 \text{ Gjoule}$ $40,4^9 / 10,8^6 = 3744 \text{ m}^3$ aan waterstof zijn.

Erwin Gerards

Laurent Schijns

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

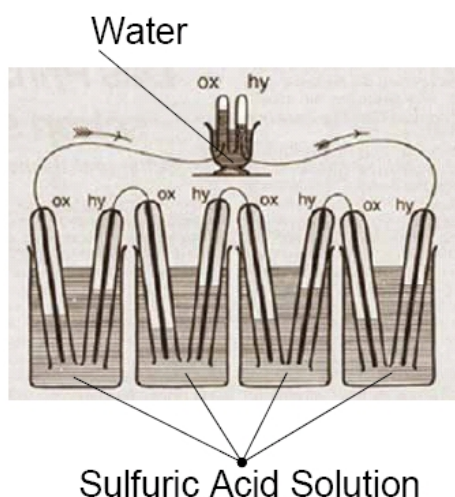
pagina 63 van 140

datum 12 juni 2009

Aan de opslagtanks worden speciale eisen gesteld. Omdat waterstof heel weinig energie nodig heeft om te ontsteken (0.027 mJ) mogen er geen vonk vormende delen in de buurt zijn. De waterstof opslag tank moet ook sterk genoeg zijn tegen krachten van buiten af. Dit zorgt ervoor dat de kosten verder worden opgedreven.

Op het moment dat er een tekort is aan energie moet er waterstof van de opslagtanks aan de brandstofcel(len) geleverd worden. Als waterstof vloeibaar zou worden opgeslagen zou er een expansie plaats vinden omdat brandstofcellen werken bij een temperatuur hoger dan 0 graden celcius. Hierbij gaat een hoop vermogen verloren.

De geschiedenis van de brandstofcel



Figuur 30 1ste brandstofcel

Het principe van de brandstofcel was in 1838 uitgevonden door de duitse chemicus Christian Friedrich Schönbein. Dit ontwerp werd uitgevoerd door de Engelsman William Grove. Hoewel een schets van deze techniek al in 1842 gepubliceerd werd, duurde het nog tot de jaren zestig van de 20e eeuw voor de brandstofceltechnologie kon worden ingezet.

Brandstofcellen werden met name door de Verenigde Staten gebruikt in de ruimtevaart om water en elektriciteit uit de beschikbare waterstof te maken. Hier werden echter zeer exotische en dus dure materialen gebruikt, en de brandstofcellen werkten uitsluitend op zeer zuivere waterstof. (bron wiki)

Verdere technologische ontwikkeling vanaf 1980, zoals het gebruik van Nafion® als elektrolyt, en reductie van de hoeveelheid benodigde platina, heeft het toepassingsgebied vergroot en de kosten verlaagt. De werking van de brandstofcel wordt in Bijlage 19 Werking brandstofcel) uitgelegd.

Als er alleen naar het vermogen wordt gekeken zou in "de wijk van morgen" een PEMFC installatie toegepast kunnen worden. Alleen zal de omvang van het totale systeem (elektrolyse - opslag - brandstofcel) een dermate groot oppervlakte nodig hebben dat het niet in de wijk van morgen kan worden toegepast.



Figuur 31 Brandstofcel

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 64 van 140

datum 12 juni 2009

Als we een enkele brandstofcel beschouwen is de aan de klemmen geleverde spanning ongeveer 0,6 V bij een stroomdichtheid van bv. 400 mA per cm² elektrodeoppervlak. De thermodynamische open kring klemspanning bedraagt ongeveer 1,23 V. Door een aantal ongewenste nevenreacties beperkt de nullast spanning zich tot ongeveer 0,95 V.

8.3 Elektrochemische opslag in oplaadbare batterijen

De belangrijkste onderdelen van een batterij zijn de positieve en de negatieve elektrodes, ofwel respectievelijk anode en kathode, en de elektrolyt. Tijdens het ontladen reageert het anodemateriaal met de elektrolyt, waarbij één of meer elektronen opgenomen worden. Deze elektronen komen als het ware via het aangesloten stroomcircuit uit de kathode. De kathode kan elektronen leveren doordat het kathodemateriaal eveneens met de elektrolyt reageert. Een batterij is oplaadbaar als de reacties tussen zowel anode en elektrolyt als kathode en elektrolyt omkeerbaar zijn. Tijdens opladen vindt dan de omgekeerde reactie plaats t.o.v. het ontladproces.

Enkele voorbeelden zijn:

- loodbatterij,
- nikkelcadmium batterij,
- natrium zwavel batterij,
- lithium batterij.

Loodaccu

Loodbatterij is de grootschalige toepassing van de welbekende loodaccu, meestal uitgevoerd als vlakkeplaat accu, maar in grotere toepassingen ook als buisjesplaat of 'rot-plate' accu. Elke cel heeft (in geladen toestand) een elektrode van fijn verdeeld zuiver lood (Pb) en een elektrode van loodoxide (PbO₂). Die zich bevinden in een elektrolyt van (ongeveer 37 massaprocent) zwavelzuur (H₂SO₄). Het elektrodemateriaal is aangebracht op loden platen zie zelf niet aan de elektrochemische processen bijdragen.
(bron H4 hulpsystemen)

De spanning die wordt opgewekt bedraagt 2.1 volt per cel. Om een hogere spanning op te wekken zullen er meerdere cellen met elkaar doorverbonden moeten worden (in serie schakelen).

Het laden van een enkele cel gebeurt op een spanning van 2,3 volt. Als een cel wordt overladen, of met een te hoge spanning geladen ontstaat knalgas, een explosief mengsel van zuurstof en waterstof.

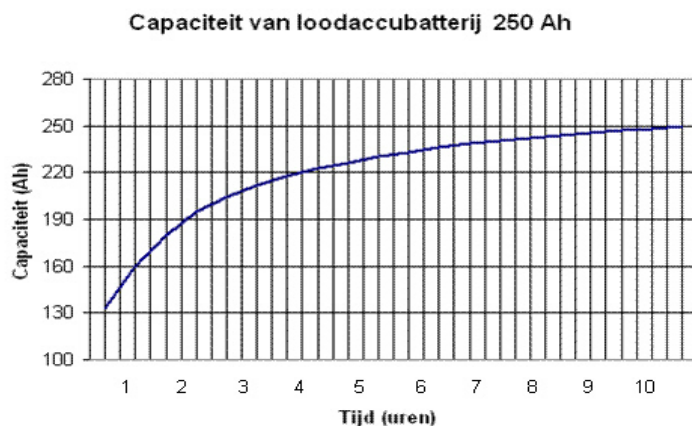
Een ander gevaar van deze accu's is de zeer corrosieve werking van zwavelzuur.

Bij loodaccu's zijn er ook nog verschillende typen. Enkele van deze zijn:

- Startaccu's (deze kunnen korte tijd hoge stroom leveren. Autoaccu's zijn startaccu's. Aanbevolen wordt om een startaccu niet verder dan 20% te ontladen. In auto's met een verbrandingsmotor wordt daaraan voldaan: na de hoge stroom om de automotor te starten wordt de accu snel weer opgeladen. Startaccu's hebben relatief veel en dunne loden platen. De capaciteit van een startaccu gaat sterk achteruit door sterk ontladen en weer laden, ten gevolg van sulfatering. Bij sulfatering ontstaat een harde, onoplosbare laag op de elektroden, die niet elektrisch geleidend is. Dit type accu's is de goedkoopste soort.
- Stationaire accu's of semi-tractie accu's (leveren een lagere stroom dan startaccu's, maar kunnen dieper ontladen worden, tot 50%. Deze accu's zijn beter tegen sulfatering bestand dan startaccu's)
- (vol-)tractie- accu's kunnen tot 80% ontladen worden, en hebben een langere levensduur (uitgedrukt in ontlad-laad-cycli) dan stationaire accu's. Echter, vol-tractie accu's zijn aanmerkelijk duurder dan stationaire accu's)
- Gel accu's (bevatten elektrolyt in gel-vorm, hierdoor zijn ze in elke positie toepasbaar)

Capaciteiten van loodaccu's en kortsluitstromen

De capaciteit van een accubatterij (een aan elkaar schakeling van cellen) wordt aangegeven in ampère-uur (Uh). Deze waarde geldt voor een volledig opgeladen accubatterij. Dit betekent dat in een bepaald aantal uren een bepaalde stroom uit de accubatterij kan worden afgenomen. Helaas kan dit niet in 1 keer uit een accubatterij worden onttrokken. Bij bijvoorbeeld een accubatterij van 250 Ah geldt dat gedurende 10 uur een stroom van $(250 / 10) 25$ Ampère mag lopen om het maximum vermogen uit de accubatterij te halen.



Figuur 32 Capaciteit van loodaccubatterij 250 Ah

Uit bovenstaande afbeelding is af te lezen dat als de loodaccubatterij sneller wordt leeg getrokken dan C10 dat dan niet meer de gehele capaciteit ter beschikking is.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 66 van 140

datum 12 juni 2009

Dit zorgt ervoor dat voor kortstondige zware belastingen meer accu systemen geplaatst moeten worden. Wat de kostenprijs verder opdrijft. (bron wikipedia)

De NiCd accu

De nickel cadmium accu wordt veel toegepast omdat het een bewezen technologie is. Door de gebruikte materialen is de energiedichtheid van de NiCd accu groter als die van de loodaccu. De grote nadelen echter zijn het geheugen effect en het gebruik van het giftige cadmium. Deze stof zorgt ervoor dat er vraagtekens bij de duurzaamheid van deze oplossing komen te staan.

De spanning die per cel wordt opgewekt bedraagt 1,2 Volt. Ook hier is in serie schakelen van cellen vaak toegepast (batterij).

Bij de alkalische accu doet de elektrolyt in tegenstelling tot de loodaccu niet mee aan het proces van laden en ontladen. Toch komt er bij het laden waterstof en zuurstof vrij (knaalgas). Hierdoor geldt dat de spanning waarmee een cel wordt opgeladen niet hoger mag zijn dan 1,42 volt. Een voordeel van een alkalische accu t.o.v de Loodaccu is dat deze geen last heeft van te hoge laadstromen.

Ook voor het ontladen van de alkalische accu geldt hetzelfde als voor de Loodaccu. De Capaciteit van de alkalische accu wordt aangegeven in Ah. Deze waarde is ook afhankelijk van de snelheid waarmee de cel wordt ontladen.

De laadmethodes van de Alkalische accu zijn hetzelfde als die van de loodaccu.

Natrium zwavel batterij

Door deze manier van opslag kan er wel 4 keer meer energie worden opgeslagen dan bij een loodzuur batterij (sinternovem, 2006). Maar door de hoge bedrijfstemperatuur moeten er wel speciale veiligheidseisen worden gesteld en goede isolatie toepassen. Deze hoge temperaturen (300 graden) zijn nodig om de elektroden (anode = zwavel & kathode = natrium) vloeibaar te houden.

Voor de wijk van morgen zou het wel een mogelijkheid zijn om dit accusysteem toe te passen, maar door de veiligheidseisen en hoge temperatuur is het niet de beste en meest praktische oplossing.

Lithium batterij

Lithium batterij heeft zijn opkomst gemaakt in de markt van draagbare toestellen. Deze vorm van energieopslag heeft geen last van "geheugen" effecten. Ook heeft dit type opslag een zeer hoog rendement dat bijna 100% benadert. Ook de zelfontlading van deze typen bedraagt minder dan 10% per maand.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 67 van 140

datum 12 juni 2009

Onder de lithium batterij zijn er verschillende typen dit is meestal door verschillende kathode materiaal.

LiCoO₂ = lithium kobalt zuurstof (de meest toegepaste vorm van lithium batterij)
 LiMn₂O₄ = lithium magnesium zuurstof (40% hogere energie dichtheid dan LiFePO₄)
 LiFePO₄ = lithium ijzer fosfaat (langere levensduur, veiliger, maar daardoor ook mindere capaciteit)(BMZ, 2006)

Dit type van opslag zou een goede optie zijn voor toepassing in de wijk van morgen. Door zijn geringe omvang en zijn grote energiedichtheid. Door het toepassen van lithium ijzer fosfaat is ook de veiligheid gewaarborgd.

li-ion	Manganese	Cobalt	Phosphate
Safety	+	- -	++
Cycle life	+	+	++
Power density	+	++	-
Long term cost	+	++	-
Temperature [°C]	-20 / 60	-20 / 60	-30 / 70

8.4 Waterbekkens

Waterbekkens zijn twee of meerdere grote plassen water met hoogte verschil. Dit hoogte verschil kan gebruikt worden om energie uit te winnen. Vallend water heeft kinetische energie. Deze energie is op te vangen door met het vallende water een generator aan te laten drijven. Bij overschotten gebeurt het tegenovergestelde. De generator wordt dan als motor bedreven en pompt het water naar hoger gelegen bekkens. Dit principe is goedkoop heeft geen last van "geheugen effect" of van zelfontlading (wel van verdamping). Dit is tevens ook toe te passen in de wijk van morgen maar dit alleen voor een klein vermogen. En niet om autonoom bedrijf te realiseren.

Om autonoom bedrijf te realiseren zijn enorme hoeveelheden water nodig die op een hoogte moeten worden geplaatst.

Voorbeeld:

$$P = \rho \cdot G \cdot H \cdot V$$

P = het gewenste vermogen (Watt)
 Rho = soortelijke massa
 G = Gravitatieconstante (9,81 m/s²)
 H = hoogte vanwaar de massa wordt losgelaten (m)
 V = volume debiet (liter/sec)

Erwin Gerards
 Laurent Schijns

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 68 van 140

datum 12 juni 2009

Als "de Wijk van Morgen" een tekort heeft van 3500 Watt moet er een hoeveelheid water van:

$$V = \frac{P}{\rho \cdot G \cdot H} = \frac{3500}{1000 \cdot 9.81 \cdot 10} = 36 \text{ liter / sec}$$

Dit betekend dat als een uur lang dit vermogen geleverd moet worden dat er een watertank van:

$$36 \cdot 3600 = 129600 \text{ liter}$$

op een hoogte van 10 meter moet worden geplaatst. Dit staat gelijk aan 130m³. Doordat dit soort vermogen veel gevraagd wordt tijdens winterdagen & lentedagen, is een watertank geen reële optie.

8.5 Supercondensatoren



Figuur 33 Supercondensator

De supercondensator is een verdere ontwikkeling op de condensator. Een condensator is een samenvoeging van 2 metalen platen en daar tussen een diëlectricum. Door een potentiaal verschil op de 2 platen te zetten kan zich een lading opbouwen. Deze kan zich ook heel snel weer ontladen zonder dat er explosiegevaar of hoge temperaturen optreden.

Het nadeel van deze manier van opslag is de hoge laadstroom en de hoge (gelijk) spanning. Volgens fabrikant EESOR werkt hun supercap op een spanning van 3500V DC (capaciteit van 52kWh)(bron OLiNo, 2006). Dit zorgt dat er specifieke inverters toegepast moeten worden. Ook het schakelen van deze spanningen vereist speciale vermogensschakelaars.

Op het moment zijn er commercieel nog geen supercaps verkrijgbaar die genoeg capaciteit hebben om als energieopslagsysteem te functioneren die de energie een half jaar vast kan houden.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 69 van 140

datum 12 juni 2009

De enige bekende gegevens van de EEstor supercap:

Soort	Opslag	Spanning	gewicht	Prijs
EEstor	52 kWh	3500V	180 kg	\$3200 - \$2100

Doordat de supercap nog niet commercieel verkrijgbaar is zal het toepassen van deze technologie op korte tijd niet mogelijk zijn in "de Wijk van Morgen".

8.6 Conclusie

Door de grote hoeveelheid tijd die overbrugd moet worden is het op het moment niet mogelijk om op een betaalbare/rendabele manier "de Wijk van Morgen" autonoom te bedrijven. Naarmate technologische ontwikkelingen vorderen (o.a. supercondensatoren) zal autonoom bedrijf een realistische optie worden.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 70 van 140

datum 12 juni 2009

9 Systeemontwerp voor de toepassing in "de Wijk van morgen"

9.1 Combinatie van alle deelresultaten in het systeemontwerp

Uit alle bevindingen en conclusies van deze vergelijking blijkt wel hoe intensief de wereld bezig is met studies en onderzoeken op het gebied van duurzame energie. Technologieën om vraag en aanbod beter op elkaar af te stemmen staan hierbij hoog in het vaandel.

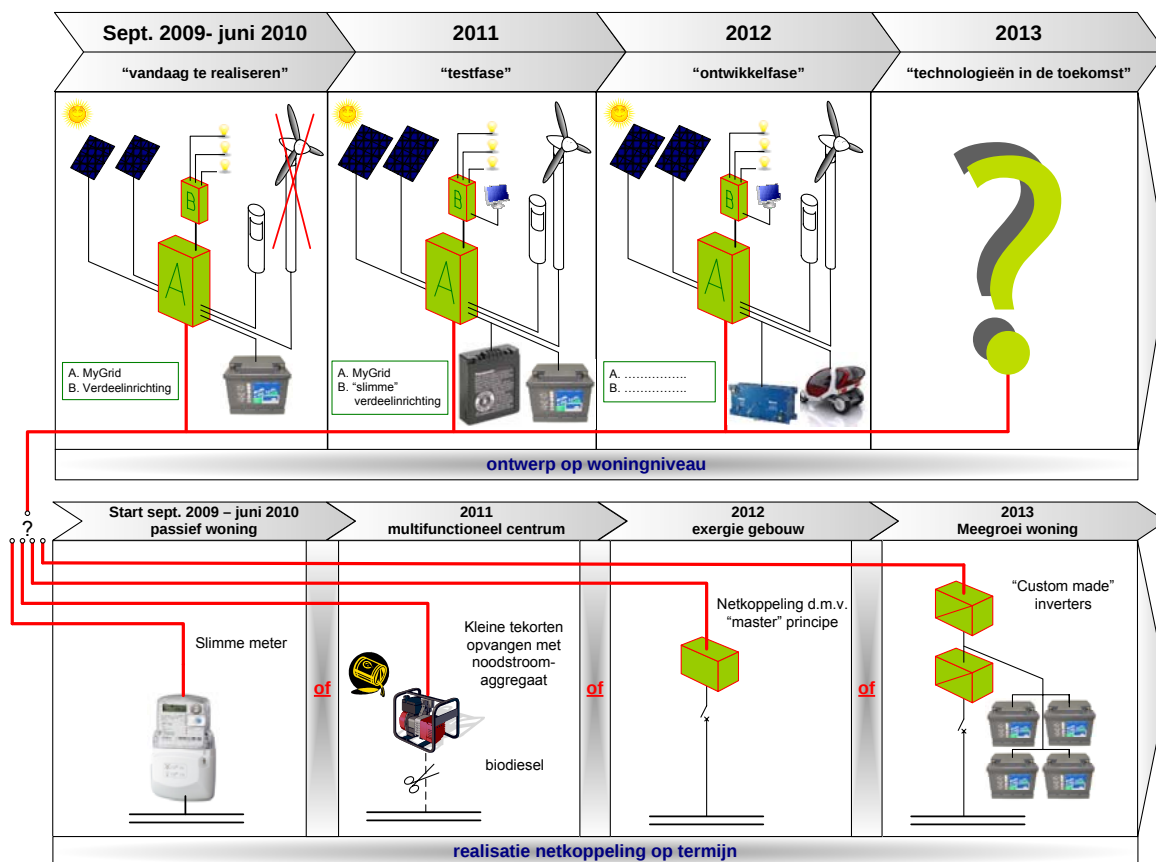
In september 2009 wordt gestart met de bouw van de eerste woning. Getracht wordt om medio juni 2010 deze woning op te leveren. Hierna wil men jaarlijks een nieuw gebouw realiseren. Daardoor zal de realisatie van de totale wijk zeker 4 jaar in beslag nemen. Het is van belang rekening te houden met dit feit. Er kan nu wel een ontwerp gemaakt worden maar dit zal na vier jaar sterk verouderd zijn. Zeker gezien de ontwikkelingen die zich op energiegebied voor doen. Ook in opslagmethoden is men nog erg beperkt. Daarnaast zijn er nog geen standaardsystemen beschikbaar om een netkoppeling mee te realiseren. Ook regeleenheden voor balanshandhaving in het microgrid moeten voor elke toepassing speciaal samengesteld worden. Al deze factoren samen hebben geleid tot het onderstaande systeemontwerp. Het uiteindelijke ontwerp bestaat uit een combinatie van de concepten 2 en 3. Door de nadelen en beperkingen zijn het eerste en vierde concept niet meegenomen in dit het ontwerp. Er wordt daarom geadviseerd om het eerste gebouw te voorzien van een vaste elektriciteitsaansluiting waarbij het energimanagement wordt geregeld door een MyGrid box. In Bijlage 8 Systeemontwerp is dit duidelijk te zien. Aangezien het realiseren van een gebouw ongeveer een jaar in beslag neemt kan in deze periode ook gekeken worden naar energietechnische ontwikkelingen.

Met dit ontwerp kan men elk jaar opnieuw kijken naar het beschikbare budget, de nieuwste producten en systemen en vervolgens integreren in "de Wijk van Morgen". Bovendien kunnen de ervaringen van eerder toegepaste systemen meegenomen worden in een volgende keuze. Na deze realisatietermijn ontstaat er een complete, duurzame en innovatieve energievoorziening.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 71 van 140

datum 12 juni 2009



(Verwijzing Bijlage 8)

9.2 Kostenraming microgrid voor "de Wijk van Morgen"

Omdat ervoor gekozen is een netontwerp te maken waarbij alle mogelijkheden voor de toekomst worden open gelaten is het onmogelijk een reële kostenraming op te stellen. Daarom is er alleen begroot wat de totale investering van het eerste gebouw zal zijn. Het totale ontwerp van dit gebouw komt neer op een bedrag van 17.300 euro. De specifieke bedragen per component zijn te vinden in de tabel op de volgende pagina. In dit bedrag zijn de zonnepanelen, het opslagsysteem, de windturbines en een schakelbare netkoppeling niet meegenomen. Mede omdat ze niet bij het microgrid behoren of per toepassing en type sterk variëren in prijs. Deze onderdelen behoren niet tot de installatie van het eerste gebouw en zijn sterk afhankelijk van de toekomstige toepassing en prijzen.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 72 van 140

datum 12 juni 2009

Investing gebouw "de knik"	Richtprijs	Per systeem:	Totaal:
Gebouw:			
regelunit (2x MyGrid type 3.7)	1 €/W	7400	7.400
		2x3.7 kW = 7,4kW	
verdeelinrichting + achterliggende installatie	3000 €/stuk	1	3.000
oplaadpunt	500 €/punt	1	500
Netkoppeling:			
slimme meter	300 €/stuk	1	300
Microgrid:			
Leidingen & toebehoren	500 €	1	500
Algemeen:			
aansluitkosten	800 €	1	800
		aansluiting 3x40A	
installatiekosten overige	4800 €	1	4.800
		3 weken 40 uur. (120 à 40 €/uur)	
Totaal geschatte investering:			17.300
Toelichting: * Maximaal te transporteren vermogen voor de hele Wijk is berekend op 25 kVA * aansluitwaarde: $S = 3 \cdot U \cdot I > I = 25000 : (3 \cdot 230) \approx 36,23A$. Dit resulteert in een aansluiting van 3x40 A * kosten MyGrid 1€/W (bron interview Nedap)			

Figuur 34

10 Conclusies & aanbevelingen

10.1 Conclusies

Over de precieze betekenis van een microgrid zijn de meningen verdeeld. De meest voor de hand liggende conclusie over de definitie van een microgrid beschrijft een microgrid als een smartgrid in eilandbedrijf. Uit alle pilotprojecten, researchprogramma's en themadagen die aan dit onderwerp gewijd worden blijkt wel dat de wereld een groei doorgaat op dit gebied.

In dit onderzoek zijn vier structuren vergeleken op werking, functionaliteit, betrouwbaarheid, toepasbare systemen, enz. Elk concept is gebaseerd op een andere structuur en kent daardoor een specifieke toepassing. Voor het eerste concept zijn geen fabrikanten te vinden die op deze wijze het energiemanagement coördineren. Het tweede concept daarentegen is opgebouwd uit bekende en betrouwbare componenten en is daardoor een serieuze optie. Concept drie is de meest innovatieve oplossing. Het aanbod toepasbare systemen blijkt echter nog beperkt. Het creëren van een goede spanningshuishouding en balanshandhaving zijn hierbij belangrijke aandachtspunten. Het vierde concept is gebaseerd op een gelijkspanningsnet. Het gebruik van gelijkspanning kent in deze toepassing echter meer nadelen dan wisselspanning en valt daardoor af voor verder onderzoek. **Door de snelle ontwikkeling en het beperkte aanbod van producten is men beperkt in het ontwerpen van een volledige en functioneel microgrid voor "de Wijk van Morgen".** Daarom is er gekozen voor een hybride oplossing door de concepten twee en drie te combineren in een systeemontwerp. In dit ontwerp is rekening gehouden met de snelle technologische ontwikkelingen, besteedbare budgetten en de realisatietermijn van de wijk.

Het autonoom bedrijven van de microgrid van "de Wijk van Morgen" is een mooie ambitie maar op het moment financieel niet haalbaar. De terugverdientijd van een opslagsysteem in welke vorm dan ook blijkt niet rendabel. Ook de oppervlakte die een opslagsysteem voor autonoom bedrijven van 4 gebouwen beslaat is op het moment zeer groot. Met als gevolg dat een dergelijk systeem prominent aanwezig zal zijn in "de Wijk van Morgen".

De extra investering die benodigd is om de verliezen van een opslagsysteem (zelfontlading, inverter verliezen, etc.) te compenseren brengt zeer hoge kosten met zich mee. Ook het toepassen van windmolens in "de Wijk van Morgen" is zowel financieel als energetisch niet rendabel. De windkracht in deze bebouwde omgeving is te laag om de windmolens terug te verdienen in hun opgegeven levensduur.

De energievoorziening staat dus voor een aanzienlijke verandering waarbij nog vele uitdagingen liggen voor toekomstige studenten.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 74 van 140

datum 12 juni 2009

10.2 Aanbevelingen

Alle ontwikkelingen in de toekomst leveren een sterke bijdrage aan de opbouw van het elektriciteitsnet. Door de toepassing in "de Wijk van Morgen" is het een aanbeveling naar toekomstige studenten om alle actuele ontwikkelingen in duurzame technologieën te volgen. Onderstaande onderwerpen kunnen daarbij een aanvulling zijn.

- Het volgen van ontwikkelingen in technologieën en producten beschreven in dit Rapport.
- Ervaringen en evaluaties andere pilotprojecten verwerken in het microgrid voor "de Wijk van Morgen".
 - o microgrid vakantiepark "de Bronsbergen" te Zutphen bijv.
- Verdiepen in balanshandhaving en spanningshuishouding in autonome netwerken.
- Onderzoek naar kortsluitsituaties in een autonoom elektriciteitsnet.
- Verdiepen in de mogelijke toepassingen van custom made inverters.
 - o (n.a.v. interview Emforce)
- Marktonderzoek naar microgrids i.c.m. nieuwe opslagtechnologieën.
- Mogelijkheden voor het toepassen van een noodstroomaggregaat i.c.m. biodiesel.
 - o Hoofdstuk 7
- Toepassingen van systemen met intelligente afstemming op vraag en aanbod.
- Verdieping in juridische aspecten omtrent decentrale opwekkers en realisatie van een autonoom elektriciteitsnetwerk.
- Meer onderzoek naar de waterbuffers die in de wijk van morgen aanwezig zijn.
 - o Hoofdstuk 8.4
- Dit onderzoek nogmaals uitvoeren door iemand met statistische achtergrond waarin ook elektrisch rijden is inbegrepen.
 - o Hoofdstuk 5.4
- Meer PV installeren in "de Wijk van Morgen".
 - o Hoofdstuk 5

Als laatste en algemene aanbeveling is het misschien relevant om meerdere studenten samen, dus in projectvorm te laten werken aan een van deze onderwerpen. Op deze manier kan er veel breder onderzocht worden en met een groep van gedachten en meningen worden gewisseld.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 75 van 140

datum 12 juni 2009

11 Literatuurlijst

- | | |
|----------------------------|---|
| (Current) | http://www.current.com |
| (SMA) | http://www.sma.de/ |
| (Gridpoint) | http://www.gridpoint.com/ |
| (interview NEDAP) | http://www.nedap-atrium.nl/
http://www.nedap-energysystems.com/
interview, 15-5-2009 |
| (interview EMforce) | http://www.emforce.nl
Interview, 21-4-2009 |
| (NedCode) | http://www.energiekamer.nl/ |
| (Holec) | http://www.xanurahome.nl/ |
| (powermatcher) | http://www.powermatcher.net/ |
| (Khlím) | http://www.khlím.be |
| (wikipedia, 01-EN) | http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_ion_battery |
| (BMZ, 2006) | Leading System Supplier for Intelligent Mobile Energy Solutions
http://www.bmzgmbh.de/html/downloads/BMZ%20Katalog_eng.2006.pdf |
| (sinternovem, 2006) | Opslag van elektriciteit: Status en toekomstperspectief voor Nederland
http://www.sinternovem.nl/mmfiles/Bijlagen%20Eindrapport%20Opslag%20Elektriciteit%207Sep06_tcm24-196374.pdf |
| (TOB cursus) | Essent |
| (bron H4 hulpsystemen) | Essent TOB cursus hoofdstuk 4. |
| (ECN, 2004) | Energietechnologieën in het kader van transitiebeleid
http://www.ecn.nl/ps/onderzoeksprogramma/transitietecnologieen/factsheetsenergietechnologieen/elektriciteitopslag/ |
| (Olino, 2006) | supercondensator
http://www.olino.org/articles/2006/10/11/supercondensator |
| (Wildi, Theodore) | Electrical Machines, Drives, and Power Systems. |
| (NTA 8130) | 2007 Slimme meters |
| (van Voorden, Arjan Marco) | Proefschrift |
| (PvA Innovatie) | plan van aanpak afdeling Innovatie |
| (Vei) | http://www.vei.be |
| Werking zonnecel | van zonnestraal tot zonnestroom
www.ecn.nl/fileadmin/ecn/units/zon/docs/psp00068.pdf |
| (duurzame energie thuis) | www.duurzameenergiethuis.nl |

Erwin Gerards

Laurent Schijns

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 76 van 140

datum 12 juni 2009

12 Woordenlijst

Woord	Afkorting	Betekenis
Liberalisering energiemarkt		Door opsplitsing van de netbeheerders en energieleveranciers kan de klant zelf bepalen waar hij zijn energie inkoopt.
Decentrale opwekkers	DCO	Kleine energie opwekkers die verspreid staan opgesteld
Stochastische bronnen		Energie bronnen die niet van constante levering zijn.
Custom made inverters		Op maat samengestelde omvormers.
Pilot project		Test project
Energie neutraal gebouw		Een gebouw dat evenveel energie produceert dan wat er verbruikt wordt.
KEMA		Energieconsultant en specialist op het gebied van keuring en certificatie
Warmte Kracht koppeling	WKK	Bij de traditionele manier van huisverwarming met gas werd het gas alleen gebruikt om water te verwarmen. Bij een WKK wordt de restwarmte gebruikt om een sterling motor aan te drijven. Deze motor drijft vervolgens een generator aan.
Zon PV	PV	Photo Voltaic (zonlicht naar spanning)
PV net		netwerk van zonnepanelen
Laagspanning	LS	1kV en lager
Middenspanning	MS	1 kV – 25 kV
Tussenspanning	TS	25 kV – 110 kV
Hoogspanning	HS	110 kV - 280 kV
Distributienet		elektriciteitsnet voor het transporteren van elektrisch vermogen

Erwin Gerards

Laurent Schijns



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 77 van 140

datum 12 juni 2009

Warmtepomp

Een compressor die het warmte verschil van verschillende lagen in de aarde gebruikt om een ander medium op te warmen.

Spanningshuishouding

Het "schoon" houden van de spanning

Kortsluitvermogen

Stroom die tijdens kortsluiting loopt vermenigvuldigd met de spanning op dat moment spanning op dat moment

Information & Communicatie Technologie

ICT Computer netwerken/ intranet/internet

Supercaps

Super condensator

Vereffeningstroom

De stroom die gaat lopen als 2 verschillende potentialen met elkaar in verbinding komen.

Synchroniseren

Het aan elkaar gelijk maken van twee verschillen

Direct Current

DC gelijkstroom

Alternating Current

AC wisselstroom

RMS-waarde

Effectieve waarde

Kinetische energie heeft

Bewegingsenergie die een lichaam doordat het beweegt.

Elektrolyt

Een elektrolyt is het medium dat de verbinding vormt tussen de twee polen (anode en kathode) van een elektrochemische energiedrager

Sulfatering

Er treedt een verharding van de accuplatten op wat blijvend capaciteitsverlies oplevert. Dit proces start reeds beneden een (rust)spanning van 11,4 volt, maar treedt ook op wanneer



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 78 van 140

datum 12 juni 2009

accu's nooit goed doorgeladen worden. Het is voor de levensduur van een accu zelfs van belang met enige regelmaat tot de eindspanning van 14,4 volt door te laden

Diëlectricum

Het isolatie materiaal in condensatoren

Ruwheidsklasse

Een getal waarin de ruwheid wordt weergegeven

Ruwheidslengte

Deze ruwheidslengte is een parameter voor de wrijving tussen de luchtstromen en het landoppervlak. Obstakels zoals huizen, bomen en kerktorens hebben invloed op deze wrijving; hoe meer wrijving, hoe meer de luchtvervuiling verdunt.

Rayleigh distributie

statistieke (kans) berekening

Phase Change Materials

PCM's Materialen die in aggregatietoestand energie opnemen of afgeven

Aggregatietoestand

De toestand waarin een stof zich bevind



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 79 van 140

datum 12 juni 2009

13 Inhoud-Bijlagen

Bijlage 1 referenties algemeen.....	80
Bijlage 2 Contactpersonen Erwin Gerards	84
Bijlage 3 Contactpersonen Laurent Schijns	86
Bijlage 4 blindvermogen	88
Bijlage 5 Systemen toepasbaar op concept 2	89
Bijlage 6 Systemen toepasbaar op concept 3	92
Bijlage 7 Systemen toepasbaar op concept 4	106
Bijlage 8 Systeemontwerp	108
Bijlage 9 Organogram	109
Bijlage 10 Wind KNMI	110
Bijlage 11 Werking windturbine	111
Bijlage 12 Werking zonne-energie	115
Bijlage 13 Locatie weerstation	120
Bijlage 14 Uitgangspunten gebouwen	121
Bijlage 15 Maand Totaal cases	122
Bijlage 16 Jaar totaal	134
Bijlage 17 Kosten van verschillende opslagsystemen	135
Bijlage 18 Werking vliegwiel	136
Bijlage 19 Werking brandstofcel	138

Erwin Gerards

Laurent Schijns



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 80 van 140

datum 12 juni 2009

14 Bijlagen algemeen

Bijlage 1 referenties algemeen

Websites

Producten

<http://www.current.com/pages/content.aspx?PageName=home>

<http://www.sma.de/>

<http://www.gridpoint.com/>

<http://www.nedap-atrrium.nl/>

<http://www.nedap-energysystems.com/>

<http://demo1.limesquaretest.nl/mygrid/index.php?language=nl>

<http://www.eaton.com/EatonNL/Electrical/index.htm>

<http://www.sinternovem.nl/sn/index.asp>

<http://www.emforce.nl>

<http://www.enexis.nl>

http://www.energiekamer.nl/nederlands/elektriciteit/regelgeving/secundaire_regelgeving/codes/technische_codes/index.asp

<http://www.xanurahome.nl/>

Microgrids

<http://www.leonardo-energy.org/drupal/book/export/html/4073>

Vakantiepark de Bronsbergen

<http://www.microgrids.eu/default.php>

<http://smartgridcity.xcelenergy.com/index.asp>

<http://www.powermatcher.net/>

Windturbine merk: SkyStream; type 3.7

http://www.aquagrizon.nl/index.php?option=com_content&task=view&id=30&Itemid=40

<http://www.skystreamwindgenerator.nl/skydownlsupp.htm>

Opslagsystemen

<http://www.elfa.nl/>

<http://www.mastervolt.com>

<http://www.sunlight.gr/product.asp?gid=4&cid=41&id=43&pd=72&lid=2>

Erwin Gerards

Laurent Schijns



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 81 van 140

datum 12 juni 2009

Zon- PV systemen

<http://www.energiebau.nl/>

Powermatcher

http://www.rijkertknoppers.nl/RKT_Stromen_5.html

<http://www.engineersonline.nl/MBM/engineers.nsf/htmlViewDocuments/1D97B9441F3FC466C1257559003AE17F>

http://www.vito.be/VITO/NL/HomepageAdmin/Home/Nieuws/Persbericht/persbericht_59.htm

Algemeen informatie

<http://www.energiegids.nl/home.tiles>

artikel november 2008 door Igor Kluin

artikel december 2008 door Teake Zuidema

<http://www.energiekamer.nl/nederlands/home/index.asp>

NedCode

<http://www.antarcticstation.org/index.php?found=1&rs=home&s=27&uid=257&lg=enl>

<http://www.olino.org/>

<http://www.energieportal.nl/Reviews/Groene-Energie/Waarom-duurzame-energie-niet-duurzaam-is-5007.html>

Elektrische auto's

<http://www.ececars.nl/>

Vliegwiel

<http://www.beaconpower.com/products/EnergyStorageSystems/index.htm#>

http://knowledgepublications.com/alcohol/rural_development_detail.htm

Accu's

<http://www.sunlight.gr/energy.asp?gid=5&lid=2>

http://www.dobbelaere-ae.be/v1/index.php?page=left_batterijen

<http://www.mpoweruk.com/>

http://www.bmz-gmbh.de/html/downloads/BMZ%20Katalog_eng.2006.pdf

Wind energie

<http://www.wasp.dk/Products/WAsP.html>

Statistiek

http://www.weibull.com/LifeDataWeb/lifedataweb.htm#characteristics_of_the_weibull_distribution.htm

Erwin Gerards

Laurent Schijns



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 82 van 140

datum 12 juni 2009

Passief huis

http://books.google.nl/books?hl=nl&lr=&id=7LDmZV3LoKoC&oi=fnd&pg=PA8&dq=eisen+passiefhuis&ots=rEGjm_B_mp&sig=bOZsrQSStJ7e1Emp-rch3_y5UQE

Leverancier UPS

<http://www.maasenergysystems.nl/PRODUCTEN/28/29>

Inverter systeem

http://www.mastervolt.com/index2.php?lang=2&cat_id=21&tekst_id=124

Werking opslagsystemen

<http://home.hccnet.nl/david.dirkse/energie/energie.html>

Autonome wijken

<http://www.leonardo-energy.org/drupal/book/export/html/4073>

Weerstation parkstad

<http://weerstation-parkstad.nl/wswin/index.html>

Wind onderzoek

http://www.nrel.gov/wind/smallwind/turbine_development.html

<http://www.skystreamwindgenerator.nl/>

<http://www.windmolensite.be/werking.html>

http://www.evelop.com/index.php?option=com_content&task=view&id=7&Itemid=25

http://www.ecowind.nl/index.php?option=com_content&task=view&id=28&Itemid=65

http://www.econcern.com/index.php?option=com_content&task=view&id=94&Itemid=69

Supercap

http://www.energystorage.org/tech/technologies_supercapacitor.htm

Zon energie

<http://mediatheek.thinkquest.nl/~lle0164/index.php?pagina=zon>

<http://home.scarlet.be/francis/De%20werking%20van%20de%20zonnecel.htm>



HOGESCHOOL ZUYD



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 83 van 140

datum 12 juni 2009

Opslagsystemen

http://www.senternovem.nl/mmfiles/Bijlagen%20Eindrapport%20Opslag%20Elektricititeit%207Sep06_tcm24-196374.pdf

http://nl.wikibooks.org/wiki/Alternatieve_energie/Energieopslag

<http://www.olino.org/articles/2006/10/15/elektriciteitsopslag>

<http://www.ecn.nl/en/ps/research-programme/transition-technologies/factsheets-energietechnologieen/elektriciteitopslag/>

Waterstofcel

http://www.intensys.com/index.php?article_id=3

Welling, Bas

Vossen, Gidi

Stageverslag

Presentatie HS Zuyd

Erwin Gerards

Laurent Schijns



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 84 van 140

datum 12 juni 2009

Bijlage 2 Contactpersonen Erwin Gerards

NEDAP

Naam: dhr. Anne Pieter Haytema
Email: annepieter.haytema@nedap.com
Toelichting: Productmanager MyGrid
Contact: Interview/ email
Telefoon: 054-4471825
Datum: 15-5-2009

Naam: dhr. Harm Haarlink
Email: harm.haarlink@nedap.com
Toelichting: MyGrid Concept
Contact: telefonisch/ email
Telefoon: 06-51722318

Naam: dhr. Jos van Duijn
Email: jos.vanduijn@nedap.com
Toelichting: Algemene vragen MyGrid
Contact: telefonisch
Telefoon: 054-4471825

Naam: dhr. Sander Leuftink
Email: sander.leuftink@nedap.com
Toelichting: MyGrid Concept
Contact: via email
Telefoon: 06-12940617

EMforce

Naam: Dr. Ir. Frank van Overbeeke
Email: vanoverbeeke@emforce.nl
Toelichting: info custom made inverters
Contact: interview/ email
Telefoon: 06-44488256
Datum: 21-4-2009



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 85 van 140

datum 12 juni 2009

Enexis

Naam: Mevr. Else Veldman
Email: Else.Veldman@enexis.nl
Toelichting: definitie microgrid
Contact: via email

ECN

Naam: dhr Guy Vekemans
Email: guy.vekemans@vito.be
Toelichting: powermatcher concept
Contact: via email

Naam: dhr Koen Kok
Email: j.kok@ECN.nl
Toelichting: powermatcher concept
Contact: via email



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 86 van 140

datum 12 juni 2009

Bijlage 3 Contactpersonen Laurent Schijns

Enexis

Naam	Dhr. Jos Luijten
Email	Jos.Luijten@enexis.nl
Telefoon	06-11371806

Naam	Mevr. Else Veldman
Email	Else.Veldman@enexis.nl
Telefoon	06-11957634

Weerstation Parkstad

Naam	Marcel
Email	info@weerstation-parkstad.nl
Telefoon	087-8745658

Ecofys

Naam	Drs. Ing. Yvonne de Bie
Email	Y.debie@ecofys.nl
Telefoon	06-52635204

Naam	Dhr. Jean Grassin
Email	j.grassin@ecofys.com
Telefoon	030-6623862

Eco-energy

Naam	Igor E. Heitz
Email	info@eco-energy.nl
Telefoon	00 31 (0)23 5371470

Duurzameenergiethuis.nl

Naam	Dhr. Frank Peetoom
Email	fj.peetoom@duurzameenergiethuis.nl
Tel	n.a.

Hogeschool Zuyd

Naam	Dhr. Rob Winthagen
Email	R.H.J.Winthagen@hszuyd.nl
Tel	06-46061605



HOGESCHOOL ZUYD



ENEXIS

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 87 van 140

datum 12 juni 2009

Naam	Dhr. T.M.H. Spiertz
Email	t.spiertz@hszuyd.nl
Tel	06-10100993

Leeuwenborgh opleidingen

Naam	Dhr. Laurens Schijns
Email	l.schijns@leeuwnet.nl
Tel	n.a.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 88 van 140

datum 12 juni 2009

Bijlage 4 blindvermogen

Blindvermogen komt alleen voor in wisselstroom netten waarbij de belasting niet geheel ohms is. Condensatoren en spoelen veroorzaken capacatieve en reactieve belastingen waardoor blindvermogen ontstaat. Blindstroom ontstaat dus doordat verbruikers stroom opnemen die niet in fase is met de spanning. Het blindvermogen wordt door verbruikers opgenomen maar ook weer afgegeven aan het net. Blindstroom die door het net loopt heeft een aantal nadelen.

- De blindstroom draagt niet bij aan het vermogen dat aan de belasting wordt geleverd maar wordt wel getransporteerd via dezelfde lijn of kabel. Daardoor draagt deze stroom wel bij aan de verliezen die ontstaan.
- Wanneer er blindstroom door het net loopt moeten componenten dus voor een groter vermogen worden gedimensioneerd.
- Variaties in blindvermogen hebben spanningsvariaties tot gevolg. Ten gevolge van een blindstroomvariatie en dus een blindvermogenvariatie ontstaat een spanningsvariatie u . Het is dus van belang deze schommelingen in een autonoom net te voorkomen. Ter verduidelijking is dit in formulevorm als volgt weergegeven.

$$\Delta u = \frac{\Delta Q}{S_k}$$

Vergelijking 3

Δu	=	spanningsvariatie
ΔQ	=	blindvermogenvariatie
S_k	=	kortsluitvermogen ter plaatse

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"
 pagina 89 van 140
 datum 12 juni 2009

Bijlage 5 Systemen toepasbaar op concept 2

Inverter zon-PV

Elke woning zal voorzien worden van deze inverter. In het multifunctionele centrum zal een inverter van het type Sunny Mini Central 9000 TL geïnstalleerd worden. (bron SMA)

Voordelen van de SMA inverters:

- de beste prijs-prestatieverhouding;
- wereldwijd hoogste rendement;
- makkelijke montage;
- optimaal koelsysteem;
- groot ingangsspanningsbereik;
- DC-aansluiting via Multi-contact stekkers;
- overspanningbeveiliging;
- ENS netbewaking;
- isolatieweerstandsmeting met foutweergave;
- optioneel Sunny Display;



Figuur 35 SMA inverter

Back-up systeem

Een ander veelzijdig product van SMA de sunny backup. Met dit systeem is stroomuitval verleden tijd. Het totale systeem is opgebouwd uit de volgende componenten:

- sunny backup;
- sunny backup omschakelunit;
- batterijpakket;
- wisselrichter.



Figuur 36 Sunny Back-up

Het batterijpakket wordt geladen door de energie die door de zonnepanelen wordt opgewekt. Bij stroomuitval schakelt de omschakelunit binnen 20ms om zodat de belasting van energie wordt voorzien uit het batterijpakket. De gelijkstroom uit de batterij wordt vervolgens omgezet door een wisselrichter in een geschikte wisselstroom. Vanaf dit moment fungeert de Sunny Backup als systeemmanager. Helaas is deze unit niet bruikbaar in onze toepassing doordat de tijd waarop het systeem volledig autonoom kan draaien maar enkele uren bedraagt.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 90 van 140

datum 12 juni 2009

Huisautomatiseringssysteem

Door een bepaalde structuur kunnen apparaten met elkaar communiceren. Met dit innovatieve pakket levert het bewoners aanzienlijke besparingen op dankzij voorgeprogrammeerde scenario's. Deze besparingen kunnen inzichtelijk worden gemaakt op een display of via een softwareapplicatie op een pc. Buiten de woning is ook toegang tot het systeem. Dankzij een goed beveiligde internet verbinding kan via een persoonlijk webportaal, mobiele telefoon of PDA apparaten en verlichting op afstand bediend worden. (bron holec)

Met een simpele druk op de knop kan het systeem in- of uit worden geschakeld. Als de bewoner de installatie op afwezig instelt voert het systeem direct een aantal acties uit. De verlichting gaat uit, de ventilatie krijgt een hogere stand en de thermostaat wordt verlaagd.



Figuur 37 Druk op de knop

Bij het indrukken van de knop "besparing uit" worden de stopcontacten voor grootverbruikers vrijgegeven. Deze mogelijkheid geeft de bewoner de vrijheid om vooraf ingestelde bewegingsscenario's uit te voeren. Op dit commando kunnen grootverbruikers zoals wasmachine, vaatwasser en wasdroger ingeschakeld worden. Daarnaast kunnen in een aparte stand deze verbruikers alleen ingeschakeld worden als het lage elektriciteitsstarief geldt.

De knop "sluipverbruik uit" zorgt er voor dat alle stopcontacten waarop stand-by apparatuur is aangesloten uitgeschakeld worden. Alle opladers worden dan in één handeling uitgezet. Het instellen van deze handelingen kan tot 7% energie besparen.

Functionaliteiten van het systeem:

- besturen van verlichting;
- bewegingsdetectie;
- schakelen van verwarming;
- inbraakbeveiliging;
- inbraakpreventie;
- brandbeveiliging;
- sms- of email melding;
- voordeur openen op afstand;
- cameratoezicht;
- toegangscontrole;
- personenalarmering.

Bedieningsmogelijkheden:

- afstandsbediening;
- via mobiele telefoon;
- via wandschakelaars;
- webportaal via internet;
- touchscreen;
- via pda.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 91 van 140

datum 12 juni 2009

Kostenplaatje concept 2

Investerings concept 2	Richtprijs	Per systeem:	Totaal:
Gebouw:			
inverter zon PV			
Sunny Mini Central 8000 TL	2700 €/unit	3	8.100
Sunny Mini Central 9000 TL	3000 €/unit	1	3.000
verdeelinrichting	2000 €/stuk	4	8.000
slimme meter	300 €/meter	7	2.100
oplaadpunt	500 €/punt	4	2.000
Windturbine:			
inverter	2000 €/unit	3	6.000
kWh meter	50 €/meter	3	150
Netkoppeling:			
inverter 1	500 €/kVA	12,5	6.250
inverter 2	350 €/kVA	12,5	4.375
inverter 3	350 €/kVA	12,5	4.375
inverter 4	350 €/kVA	12,5	4.375
Microgrid:			
Leidingen & toebehoren	5000 €	1	5.000
Algemeen:			
aansluitkosten	1000 €	1	1.000
onderhoudskosten		onbekend	
Totaal geschatte investering:			54.725
Toelichting: * berekening inverters: maximaal te transporteren vermogen over de aansluiting is in juni ongeveer 21000 W Om het schijnbare vermogen in VA te berekenen wordt een cosφ van 0,85 gehanteerd. hieruit volgt: $21000:0,85 \approx 25 \text{ kVA}$ om de kosten te drukken worden de inverters voor 50 % gedimensioneerd en niet volledig dubbel uitgevoerd. Daarom wordt gerekend met 12,5 kVA per inverter * aansluitwaarde: $S = 3 \cdot U \cdot I > I = 25000:(3 \cdot 230) \approx 36,23 \text{ A}$. Dit resulteert in een aansluiting van 3x40 A * begroting exclusief opslagsysteem			

Figuur 38 Kostenplaatje Concept 2

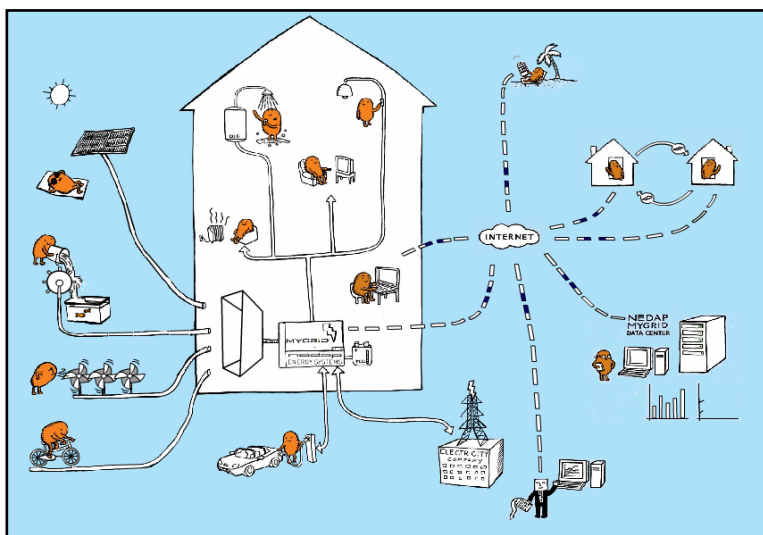
rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"
 pagina 92 van 140
 datum 12 juni 2009

Bijlage 6 Systemen toepasbaar op concept 3



Nedap: Mygrid

De MyGrid is één van de innovatieve producten die door de fabrikant Nedap is ontwikkeld. Nedap. Nedap is gevestigd in Groenlo en van oorsprong een Nederlandse apparaten fabriek. Ze zijn gericht op het ontwikkelen en leveren van innovatieve en duurzame oplossingen op het gebied van security en elektronische besturingen evenals automatisering-, beheer- en informatiesystemen voor organisaties. (bron interview Nedap)



Energie van verschillende energiebronnen kan gecombineerd worden. Met dit concept is het mogelijk zelf energie op te wekken, op te slaan, te delen met de burens en het verloop van de energievraag duidelijk te registreren. De MyGrid unit is via internet gekoppeld aan het Mygrid Data Center waar alle informatie over systeemstatus, huidig en historisch verbruik maar ook

de status van alle verbruikers kan worden geraadpleegd.

Figuur 39 Werking Mygrid

De klant kan dus zelf bepalen hoe hij met zijn energie omgaat en er vervolgens invloed op uitoefenen. In één oogopslag is duidelijk te zien hoe de energiehuishouding per woning er voor staat.

Met de MyGrid kun je zone- en of windenergie opwekken, gebruiken of opslaan. Opgeslagen energie kan op een later moment gebruikt worden of alsnog teruggeleverd worden aan het net als energie op dat moment te duur is.

De MyGrid kent veel varianten. De meeste systemen die gebruikt worden zijn modellen van 1, 2.5, 3.7 en 5 kW. Voor specifiekere toepassingen zijn er zwaardere uitvoeringen op de markt tot 30 kW. De prijsindicatie van dergelijk systeem ligt rond de één €/W.

Naast de intelligente omvormer voor de aansluiting van zonnepanelen is dit systeem ook voorzien van een omvormer voor de aansluiting van een windturbine. Op dit moment is alleen een windturbine van het merk Turby toepasbaar op dit systeem. Er lopen

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 93 van 140

datum 12 juni 2009

momenteel onderzoeken om het systeem universeler te maken zodat het in de toekomst ook geschikt is voor andere merken windturbines.

De fabrikant heeft aangegeven is dat het belangrijk is dat er geen andere inverters binnen het netwerk van de mygrid worden geïntegreerd. Een inverter is niets meer dan een stroombron. Deze stroombron levert een stroom afhankelijk van het aanbod van zon of wind. Echter de spanning in het net kan variëren als gevolg van de aangesloten belasting. Als de beveiliging in de verdeelinrichting wordt aangesproken door een fout in het circuit reageert de inverter op deze spanningsval en gaat de inverter in protectie.

MyGrid maakt het mogelijk om meerdere systemen aan elkaar te koppelen. Het spanningsniveau dat ze hierbij gebruiken is 230 VAC. Op deze manier kunnen huishoudens energie uitwisselen. Dit systeem bepaald zelf wanneer een woning of gebouw een tekort aan energie heeft en schakelt op het meest gunstigste moment.

Om meer duidelijkheid en inzicht te krijgen in de mogelijkheden van de Nedap MyGrid box heb ik vrijdag 15-5-2009 een afspraak gemaakt bij Nedap. Hier heb ik gesproken met de heer Anne Pieter Haytema, de productmanager van de MyGrid. De resultaten van dit interview zijn vervolgens verwerkt in de onderstaande productbeschrijving.



Figuur 40 Nedap stand



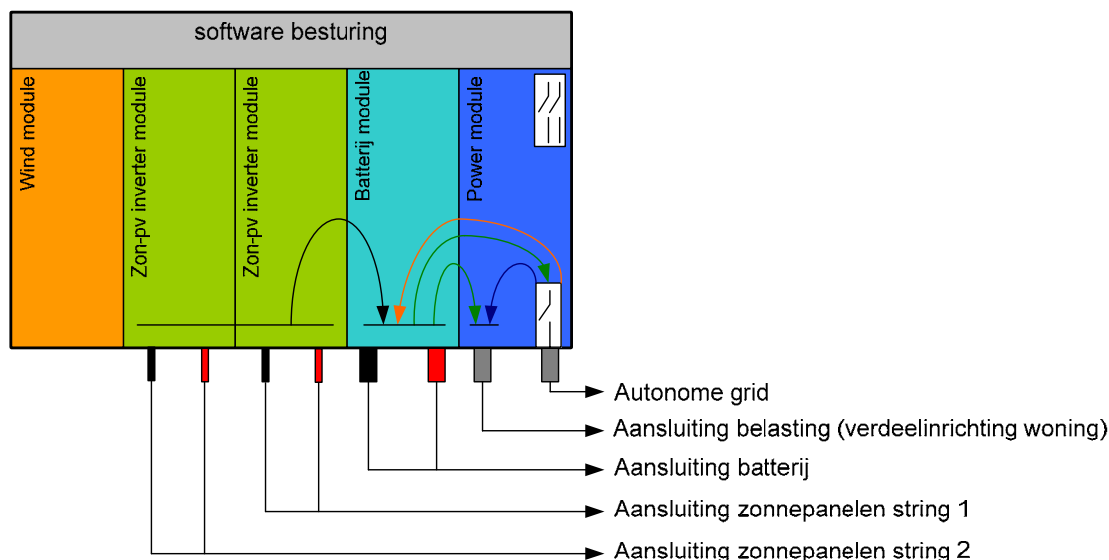
Figuur 41 Opslag gekoppeld aan de Mygrid

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 94 van 140

datum 12 juni 2009

Schematisch weergave van de MyGrid

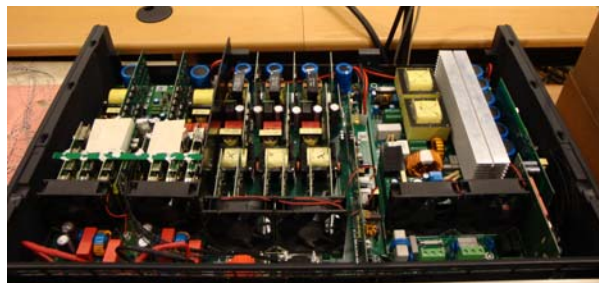


Figuur 42 Schema Mygrid

In bovenstaande afbeelding is de schematische weergave van het Nedap MyGrid concept weergegeven. De diverse modules zijn overzichtelijk naast elkaar geplaatst. Onderling communiceren deze via een 400 V gelijkspanningsbus.

Power module

De power module bevindt zich rechts in het apparaat en is de schakel tussen het elektriciteitsnetwerk en de MyGrid box. Deze module is voorzien van twee aansluitingen. Op één aansluiting wordt de belasting of verdeelinrichting van een gebouw aangesloten. De Mygrid wordt dus echt tussen de huisaansluiting en de verdeelinrichting gemonteerd. Een tweede aansluiting vormt de verbinding met het elektriciteitsnet. In de ze module is een relais opgenomen die bij kortsluiting in het net de unit direct afschakelt en op autonoombedrijf laat draaien. Bovendien beschikt deze module over twee potentiaalvrije contacten die softwarematig aangestuurd worden. Deze kunnen zo geprogrammeerd worden dat bij energietekort bijvoorbeeld een noodstroomaggregaat inschakelen.



Figuur 43 Powermodule Mygrid

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 95 van 140

datum 12 juni 2009

Opslagmethoden

Een batterijmodule maakt het mogelijk energie op te slaan in een accu. Deze module zorgt ervoor dat de accu met de juiste stroom en spanning wordt geladen en ontladen. Zowel loodaccu's als lithium/ion batterijen zijn toepasbaar op dit systeem. Omdat elke batterijtype met een andere curve wordt geladen en ontladen is een softwareaanpassing noodzakelijk. Daarom is het systeem zo ontworpen dat via een aanpassing in de software, de laad- en ontlaadcurve van de desbetreffende accu makkelijk gewijzigd kan worden. De accu moet aan een minimale accucapaciteit voldoen, omdat deze met een bepaalde laadstroom wordt geladen. Er zit echter geen grens aan de maximale accucapaciteit.

Opslagsystemen nemen aanzienlijke ruimte in beslag. Als een installatie niet is aangesloten op het openbare net moet de opgewekte energie toch ergens worden opgeslagen. Om ruimte te besparen wordt er onderzocht of het mogelijk is om overvloedige energie om te zetten in warmte en op een andere manier op te slaan, bijvoorbeeld in pcm's.

Bovendien is het ook mogelijk de accu van een elektrische auto te gebruiken als extra opslagcapaciteit. De software biedt de mogelijkheid aan te geven hoeveel energie uit de accu onttrokken mag worden. Het mag namelijk niet zo zijn dat de accu leeg is op het moment dat je de auto wilt gebruiken.

Invertermodule

In de inverter module wordt de gelijkspanning afkomstig van de zonnepanelen omgezet in een wisselspanning. Om de ingangsspanning van de module te beperken is ervoor gekozen de PV-installatie op te delen in twee strings. In de specificaties van dit product zijn de diverse typen units terug te vinden. Op dit moment is de grootste unit 5 kW en geschikt voor een Pv installatie van 5500 Wp. In de toekomst is uitbreiding mogelijk tot 30 kW. "de Wijk van Morgen" wordt voorzien van grotere PV-installatie die buiten het bereik van één inverter vallen. Een oplossing hiervoor is het combineren van twee units.

Windmodule

De laatste unit maakt een aansluiting van een windturbine ook nog mogelijk. Op deze manier wordt het systeem helemaal compleet. De enige windturbine die op dit moment geschikt is voor dit systeem, is de Turby. In de toekomst is het beslist mogelijk meerdere merken windturbines aan dit systeem te koppelen. De elektronica van de turbine en van de mygrid moet op elkaar afgestemd worden. Er wordt dan ook onderzocht op welke manier dit het beste gerealiseerd kan worden en welke type turbines hiervoor geschikt zijn.

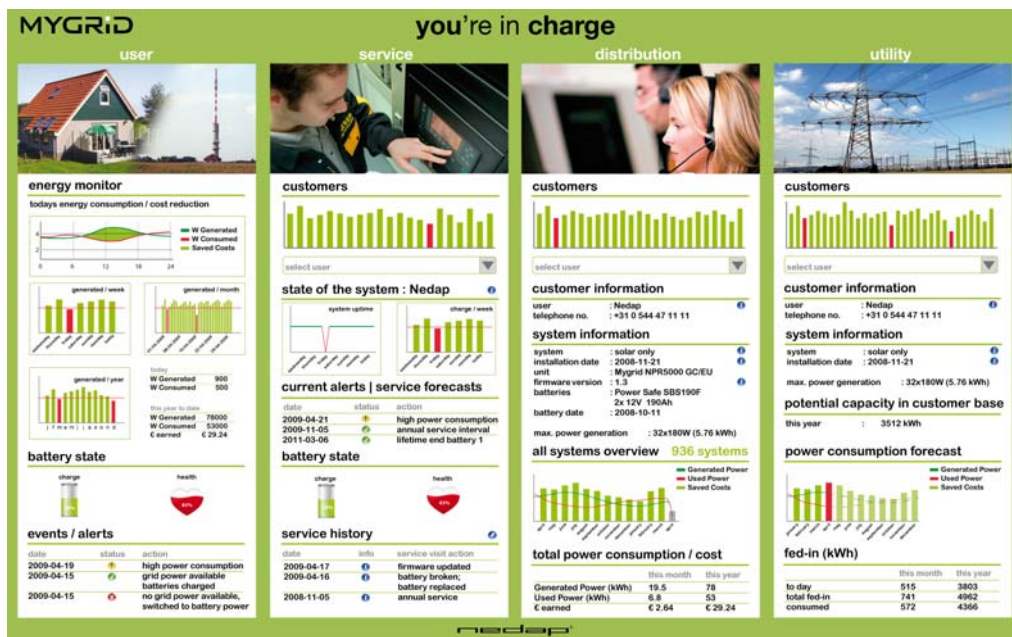
rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 96 van 140

datum 12 juni 2009

Dataoverdracht

Alle dataoverdracht wordt verzonden via internet en opgeslagen in een het datacenter van Nedap. Alle gegevens die in de mygrid box zijn verzameld, zoals het energieverbruik, energieopwek, accustatus en diverse andere gegevens worden overzichtelijk weergegeven. Onderstaande afbeelding is hier een voorbeeld van.



Figuur 44 Web applicatie

De bewoner heeft de mogelijkheid om op elk moment van de dag inzicht te krijgen in zijn energievoorziening. Indien nodig kan hij stappen ondernemen. Een dergelijke presentatie van de energievoorzieningen geeft niet iedere persoon een juiste indruk. Op welke manier kun je een bewoner echt bewust maken hoe het ervoor staat met zijn energieverbruik?

Hiervoor heeft Nedap iets eenvoudigs bedacht. Vooral kinderen leren op een simpele manier hoe ze effectiever kunnen omgaan met energie. Normaal geeft dit "usb konijn" meldingen als er nieuwe emailberichten zijn ontvangen. Nedap heeft het konijntje zo opgebouwd dat het zijn oren omhoog draait wanneer de bewoner juist omgaat met zijn energieverbruik. Hij draait zijn oren naar onder wanneer de klant niet bewust bezig is. Uit onderzoek blijkt dat vooral kinderen hier erg opletten en zich meteen iets afvragen als het konijn zo reageert.



Figuur 45

Eco-konijn

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 97 van 140

datum 12 juni 2009

Bovendien is op het display van het apparaat ook de actuele energiestatus af te lezen. De accu wordt geladen met een vermogen van 42 W uit het net en 157 W wordt geleverd door de zonnepanelen. In deze situatie kan het systeem 23 uur en 35 minuten autonoom draaien.



Figuur 46 Mygrid met belasting uitgeschakeld

Na het inschakelen van een haarföhn veranderd de waarde op het display direct. De föhn verbruikt 1461 W aan energie. Hiervan wordt 1397 W geleverd door het net en 146 W is afkomstig van de zonnepanelen. De autonomietijd blijft hierdoor gehandhaafd.



Figuur 47 Mygrid met belasting ingeschakeld

Netkoppeling

De mogelijkheden van de netkoppeling met dit systeem staan verder beschreven in paragraaf (verwijzing)in de kern van dit verslag.

Intelligent schakelen

Het schakelen van energieverblindings op het juiste moment is moment is een van de beste methoden om snel en bewust energie te besparen. Als de bewoner aangeeft wanneer hij graag zijn was gedraaid wil hebben of wanneer de vaatwasser gereed moet zijn worden de wandcontactdozen waarop deze apparaten zijn aangesloten softwarematig aangestuurd. De MyGrid kan hierbij rekening houden met het energieaanbod en actuele energieprijzen bijvoorbeeld. Op deze manier schakelt de MyGrid op het gunstigste moment van de dag. Mygrid combineert op dit moment het merk Plugwise met hun systeem. De plugwise wordt tussen het stopcontact en het apparaat gemonteerd. Hij is in staat het energieverbruik te meten en door te sturen naar een pc, waaruit vervolgens een overzichtelijk beeld ontstaat over het energieverbruik. Naast deze mogelijkheid is het in staat apparaten in- en uit te schakelen. En dit is net de optie die gecombineerd wordt met de MyGrid. Op deze manier is de MyGrid in staat apparaten op afstand te schakelen. Het enige nadeel is dat er telkens een schakelmodule zit tussen de apparaten. In de toekomst zal de mogelijkheid bestaan uit modules die in de wandcontactdoos worden gemonteerd en schakelen via een hoogfrequent signaal dat via de voedingslijn wordt verstuurd.

Erwin Gerards

Laurent Schijns

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 98 van 140

datum 12 juni 2009

CREATE AND CONTROL YOUR OWN ENERGY

MYGRID®

SOLAR INVERTER WITH INTEGRATED BACKUP POWER

Earn Money:

State of the art, high efficiency, grid connected solar inverter with backup

Keep working:

on solar or battery during grid failure, without interruption.

All in One:

compact, lightweight can be installed by one person.

High efficiency:

maximizes the efficiency of your PV installation and backup time.

Be informed:

display shows actual state of system and remaining time on current load.

Suitable for all:

for new installations or as add on to existing solar systems.



Keep going

In case of grid failure, current solar inverters disconnect from the grid and the generated power can not be used. It hurts in two ways because feed-in to the grid is not possible nor can the solar installation be used for own consumption. The MyGrid solar inverter with backup takes over within unnoticeable 20 msec and still provides power from solar or the backup battery, for your comfort and vital processes.

Keep going!

All in one solution

The MyGrid Solar inverter with backup is not just an add-on it is an all in one solution! It can be added to any existing inverter-operated system (on- or off-grid). But the unit can also take care of the full inverter and backup functionality and extend to 30 KVV. Due to state of the art technology and slim design, the MyGrid solar inverter with backup is easy to install and user-optimized. One person can handle the job! *All in one!*

Suitable for

All types of users, urban or rural, with existing or new installations who want to gain security, independence from the grid, clean solar energy, lower energy bills, legal compensation, better safety standards and protection, comfort and, for higher social involvement, like reducing their carbon footprint and making a sustainable difference. *Your Energy!*

Maximum efficiency

The unique, patented 400 V bus channels power directly to the users without having to go via lossy batteries. *High Efficiency!*

Be Independent!

nedap

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 99 van 140

datum 12 juni 2009

Specifications

Solar Inverter with Backup	5 KW	3,7 KW	2,5 KW	1 KW
AC / Energy Manager Module				
AC Input Range	180 - 265 Vac		Frequency 45 - 55 Hz	
Output Voltage in UPS/ Inverter / Grid mode	230 VAC ± 2%		Sine wave < 3% THD	
Switch Over Time	20 milliseconds			
Output Power Continuous Watts at 40 °C, P nom.	5000 VA	3750 VA	2500 VA	1000 VA
Frequency	50 Hz ± 0.04% crystal controlled			
Output Peak Power (5 seconds)	2 x P nom.			
Generator / Grid Support (adjustable)	6 – 25 A	4 – 16 A	3 – 12 A	2 - 6 A
Max. Efficiency (%)	97%			
Efficiency at Full Load	> 91%			
No-load Power Consumption	< 20 W		< 10 W	
Protection	Electronic, Fused			
Grounding Relay	Yes			
2 Relais (user programmable)	NO (250V 1 A)			
Connectivity	USB, Ethernet			
Battery Module				
Battery Voltage Range	18 – 30 Vdc			
Output Charge Current (max. continous)	125 A	75 A	50 A	25 A
Minmum Batt. Capacity	500 Ah	300 Ah	200 Ah	100 Ah
Max. Efficiency (%)	95%			
No-load Power Consumption	< 20 W		< 10 W	
Compatible Battery Types	Wet, Gel, AGM			
Opt. battery temperature sensor	Yes			
Short Circuit protection	Yes, electronic			
Galvanic Separation	Yes			
Solar Module				
Solar Voltage	100 - 600 Vdc			
MPP Voltage	100 - 450 Vdc			
Max. Input	5,5 kWp (2 x 15A)	4,1 kWp (2 x 10A)	2,7 kWp (1 x 15A)	1,1 kWp (1 x 7,5A)
Max. Efficiency (%)	98%			
MPP Efficiency	> 99%			
Galvanic Separation	Yes			
DC Disconnection	Yes			
Anti Islanding Protection	VDE 0126-1			
Nighttime Tare Losses	< 1 W			
Environmental				
Operating Temperature Range (full power)	0 °C to 40 °C (derating at temperatures from 40 °C)			
Storage Temperature	- 40°C to 70 °C			
Humidity	Maximum 95% non condensing			
Regulatory Approvals and Standards	CE			
Safety	EN 60335-1, EN 60335-2-29, EN 60950-1			
Emission	EN 50081-1, EN 55014, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3			
Immunity	EN 55014-2			
Mechanical				
Device Dimensions (W x H x D)	765 x 505 x 147 mm		544 x 505 x 147 mm	
Weight	20 kg		15 kg	
Protection Category	IP 23			

Who we are...

Nedap builds on decades of experience in the field of power supplies and power conversion.

Established in 1929 and since 1947 quoted on the Euronext stock exchange, is a reliable and strong Dutch company.

Nedap has subsidiaries in Belgium, France, Germany, Great Britain, Spain and the Netherlands and is characterized by a development-, entrepreneurship- and staffs' own responsibility-oriented open, innovative and creative culture.

P.O. Box 101
NL-7140 AC Groenlo, the Netherlands
T: +31 (0)544 471 841
www.nedap-mygrid.com / www.nedap.com



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 100 van 140

datum 12 juni 2009

Qurrent: Qbox

Qurrent heeft apparatuur ontwikkeld waarmee het in de toekomst mogelijk is lokale energie netwerken aan elkaar te koppelen. In dit lokale netwerk kunnen alle bewoners energie uitwisselen om zo het maximale rendement uit de zelf opgewekte energie te halen. Op deze manier kunnen pieken en dalen worden opgevangen binnen de lokale wijk voordat deze overschotten en tekorten worden gecompenseerd door het openbare elektriciteitsnet. (bron Qurrent)

De Qbox is een Lokaal Energie Netwerk (LEN) interface. Het vormt het hart van de elektriciteitsinfrastructuur binnen een gebouw en communiceert bovendien met omliggende gebouwen. Het gebruik van duurzame energiebronnen zal steeds belangrijker worden om CO2 emissies terug te dringen en energiekosten te beperken.



figuur 48 Q-box

De Qbox maakt het ook mogelijk om energie te delen met je burens. Hij meet het elektriciteitsverbruik en -productie en maakt het mogelijk capaciteiten te delen binnen de wijk. In dit regelproces verwerkt hij de actuele energietarieven, overheidssubsidies en eventuele persoonlijke voorkeuren.

Een andere functie van de Qbox is het schakelen van huishoudelijke apparaten. Je kunt bijvoorbeeld aangeven voor welke tijdstip de wasmachine zijn wasbeurt gereed moet hebben. De Qbox bepaald dan zelf op welk moment het gunstigste tijdstip is om de wasmachine te laten draaien. Buiten deze functie bevat de Qbox 4 schakelfuncties waarmee opwekkers, warmtepompen of andere systemen bestuurt en gemonitord kunnen worden.

Uit deze functies blijkt wel dat de Qbox de energiestromen zeer gedetailleerd meet. Deze gegevens worden naar de Qserver gestuurd waar alle gegevens worden bewaard. Vervolgens is het mogelijk om via hun website je eigen energiepatronen te analyseren.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 101 van 140

datum 12 juni 2009

Gridpoint: Energy Manager

Ook GridPoint is een fabrikant van systemen voor een intelligent netwerk. Met hun systemen is het mogelijk om meet- en regelsystemen te integreren samen met opslagsystemen en vernieuwende energiebronnen. De GridPoint Energy Manager is een centrale regelunit per gebouw. Vanaf deze unit worden alle geïntegreerde componenten bestuurd. Deze Energy Manager is in staat te communiceren met het gridpoint operation center. Dit operation center fungeert als een intelligente schakel tussen het proces en de uitwisseling van informatie binnen het netwerk. (bron Gridpoint)

De Energy Manager is dus een intelligente "schakel" binnen een gebouw dat gevraagde energie en geleverde energie controleert. Dit apparaat zal pieken die ontstaan bij het opwekken van energie d.m.v zon en wind gecontroleerd opslaan in het net gekoppelde opslagsystemen. Een andere functie van dit systeem is het gecontroleerd laden van een elektrische auto. Daardoor worden deze auto's geladen op het moment dat er lage tarieven gelden en er geen "spitsuur" is van energieverbruik.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 102 van 140

datum 12 juni 2009

ECN; powermatcher

Deze technologie is ontstaan door de opkomst van steeds meer decentrale opwekkers. Dit zijn sterk fluctuerende



stroombronnen die leiden tot een lastiger te beheren elektriciteitsnetwerk. Het wordt dus moeilijker om vraag en aanbod op elkaar af te stemmen. Om deze schommelingen zo efficiënt mogelijk te beperken is deze software ontwikkeld. De Powermatcher is een intelligent concept voor opwekkers, verbruikers en opslagsystemen. (bron Powermatcher)

Dit concept is een door het Energie Onderzoek Centrum Nederland (ECN) ontwikkelde softwaretechnologie. Dit softwareprogramma kan energie gebruikers aan- en uitschakelen op basis van een ingegeven profiel en de energieprijzen op de energiebeurs. Zo kan de klant bijvoorbeeld aangeven dat de wasmachine klaar moet zijn met zijn programma om 20.00u 's avonds. Waarbij de actuele energieprijs als stuursignaal gebruikt wordt. Het programma berekent hieruit de optimale energiebalans tussen het energie aanbod en de energievraag. Het dus eigenlijk een geavanceerde ICT technologie op het elektriciteitssysteem. Door de apparaten in het netwerk uit te rusten met intelligente software kunnen deze automatisch reageren op schommelingen in vraag en aanbod van elektriciteit.

Daarnaast ondersteunt de software intelligentie bij het laden van elektrische voertuigen. De PowerMatcher bepaalt hierdoor wanneer de oplader het beste stroom van het net kan halen. Deze software ziet automatisch wanneer de stroom goedkoop of duur is en of er veel of weinig aanbod is van stroom en schakelt de oplader pas in op het gunstigste moment. Op deze manier wordt er geprobeerd een zo gelijk mogelijke belasting te creëren op het net. Voor de fysieke schakeling is een ander apparaat nodig, bijv een MyGrid van Nedap. Op het moment van schrijven is deze technologie nog een concept. Echte projecten waaruit de functionaliteit blijkt zijn nog niet bekend.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

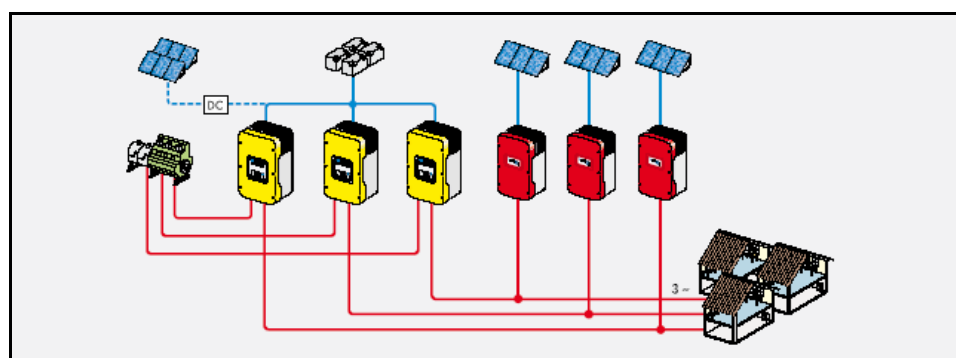
pagina 103 van 140

datum 12 juni 2009

SMA; Sunny Island

Het aansluiten van decentrale opwekkers op het netwerk kan niet zomaar. Om de opgewekte spanning gelijk te maken aan de spanning van het netwerk is een inverter nodig. SMA is een fabrikant die een breed programma van inverter heeft ontwikkeld. Met het door SMA ontwikkelde wisselrichter systeem is het mogelijk op een makkelijke manier wisselstroomvoorzieningen op te bouwen. Ideaal voor afgelegen vakantiewoningen, boerderijen of zelfs hele dorpen. Alle componenten van dit systeem zijn zorgvuldig op elkaar afgestemd en verzorgen zo een betrouwbare energievoorziening. Ook in de toekomst is er een mogelijkheid om dit systeem steeds verder uit te breiden. De Sunny Island is de belangrijkste bouwsteen in elk Sunny Island systeem. Samen met een batterijeenheid vormt dit apparaat een wisselspanningsnet. Zowel energieopwekkers als energieverbruikers kunnen vrij simpel in dit net worden geïntegreerd. De Sunny Island bewaakt alle regelprocessen om zo een goede stroomvoorziening vast te stellen. Het is mogelijk een Sunny Island in een één- of drie fasennet te installeren. Dit systeem omvat veelzijdige mogelijkheden alleen heeft het één groot nadeel. De Sunny Island is alleen geschikt voor volledig autonoom bedrijf. Dat wil zeggen dat er geen koppeling met het openbare net is. Bij een tekort aan energie wordt de belasting voorzien van energie door de aangesloten noodstroomaggregaat. De Sunny Island kan in geval van nood niet aan het net geschakeld worden. Dit is dan ook een groot nadeel. Om een maximale levensduur van de batterijopslag te garanderen is dit apparaat ook voorzien van een batterijmanagement.

Om de zonnepanelen en windturbines te integreren in dit systeem wordt er gebruik gemaakt van een SunnyBoy en een WindyBoy. Beide inverters zetten een gelijkspanning om in een wisselspanning die geschikt is om aansluiting op de Sunny Island mogelijk te maken. (bron SMA)



Figuur 49 Autonoom Grid



HOGESCHOOL ZUYD



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 104 van 140

datum 12 juni 2009

Bovendien kan de Sunny Island gecombineerd worden met een dieselaggregaat of een andere noodstroomvoorziening. Dit systeem kent dus zeer veelzijdige varianten en toepassingen.

Deze inverters worden toegepast in volledig autonome netwerken. Bij een tekort aan energie wordt het noodstroomaggregaat ingeschakeld. Dit zijn veelzijdige en betrouwbare inverters maar helaas niet geschikt voor de toepassing in "de Wijk van Morgen". Deze apparaten kunnen de netkoppeling namelijk niet realiseren, omdat ze niet in staat zijn het autarke netwerk te synchroniseren met het openbare net. Hieruit blijkt dat voor de toepassing in "de Wijk van Morgen" alleen custom made inverters geschikt zijn voor deze toepassing.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 105 van 140

datum 12 juni 2009

Kostenplaatje concept 3

Investering concept 3	Richtprijs	Per systeem:	Totaal:
Gebouw:			
regelunit	1 €/W	23500	23.500
		7x3.7 kW + 1x5kW = 23,5kW	
verdeelinrichting	1500 €/stuk	4	6.000
oplaadpunt	500 €/punt	4	2.000
Windturbine:			
inverter	2000 €/unit	3	6.000
kWh meter	50 €/meter	3	150
Netkoppeling:			
inverter1	500 €/kVA	12,5	6.250
inverter2	350 €/kVA	12,5	4.375
Microgrid:			
Leidingen & toebehoren	5000 €	1	5.000
Algemeen:			
aansluitkosten	1000 €	1	1.000
onderhoudskosten		onbekend	
Totaal geschatte investering:			54.275
Toelichting: * berekening inverters: maximaal te transporteren vermogen over de aansluiting is in juni ongeveer 21000 W Om het schijnbare vermogen in VA te berekenen wordt een cosφ van 0,85 gehanteerd. hieruit volgt: $21000:0,85 \approx 25 \text{ kVA}$ om de kosten te drukken worden de inverters voor 50 % gedimensioneerd en niet volledig dubbel uitgevoerd. Daarom wordt gerekend met 12,5 kVA per inverter * aansluitwaarde: $S = 3 \cdot U \cdot I > I = 25000:(3 \cdot 230) \approx 36,23 \text{ A}$. Dit resulteert in een aansluiting van 3x40 A * begroting exclusief opslagsysteem			

Figuur 50 Kostenplaatje concept 3

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

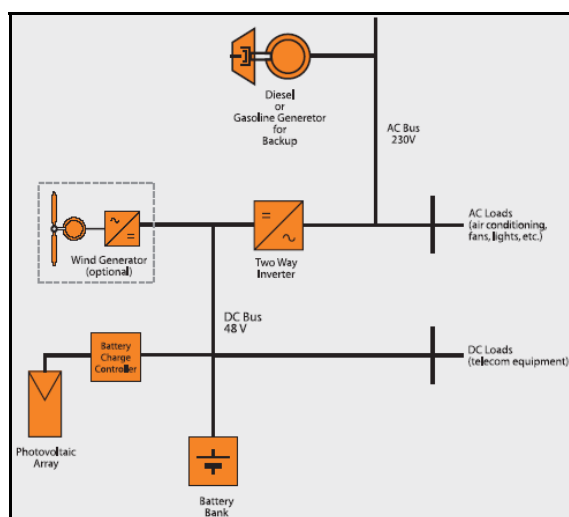
pagina 106 van 140

datum 12 juni 2009

Bijlage 7 Systemen toepasbaar op concept 4

Sunlight Creating Energy

Om een duidelijke afweging te maken in het vergelijkingsonderzoek is het 4^e concept in tegenstelling tot de eerste 3 concepten ontworpen op basis van een gelijkspanningsnet. Ook dit net heeft zo zijn voor- en nadelen. Een van de fabrikanten van dergelijke netwerken is het in Griekenland gevestigde Sunlight Creating Energy. Op basis van dit principe is het mogelijk een gelijkspanningsnet te realiseren. Alle componenten binnen dit netwerk worden gekoppeld via een elektriciteitsnet bedreven op een spanningsniveau van 48V. Bij toepassing in "de Wijk van Morgen" moet dit spanningsniveau veel hoger zijn omdat er anders teveel spanning verloren gaat. Op het moment dat het spanningsniveau wordt verhoogd betekent dit dat er andere inverters gebruikt moeten worden.



Figuur 51 sunlight Creating Energy

■ PV array	5.760 Wp	72 PV modules 80 Wp
■ Battery Bank	2.500 Ah /-48 Vdc	2 parallel strings of 24 series cells 120PzV1250 (1.250Ah / 2 Volt)
■ Inverter / charger	9 kVA inverting-6 kVA charging	Two inverters in parallel
■ Diesel genset	11 kVA one phase	

Figuur 52 Specificaties

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 107 van 140

datum 12 juni 2009

Kostenplaatje concept 4

Investering concept 4	Richtprijs	Per systeem:	Totaal:
Gebouw:			
inverter verdeelinrichting	3000 €/unit	4	12.000
verdeelinrichting	1500 €/stuk	4	6.000
Oplaadpunt	500 €/punt	4	2.000
Windturbine:			
omvormer	1500 €/unit	3	4.500
Opslagsysteem:			
batterijmanagement	4000 €/unit	1	4.000
Netkoppeling:			
inverter1	500 €/kVA	1	500
inverter2	350 €/kVA	1	350
Microgrid:			
Leidingen & toebehoren	5000 €	1	5.000
Algemeen:			
Aansluitkosten	1000 €	1	1.000
onderhoudskosten		onbekend	
Totaal geschatte investering:			35.350
Toelichting: * berekening inverters: maximaal te transporteren vermogen over de aansluiting is in juni ongeveer 21000 W aangezien dit een gelijkspanningsnet is, is er geen sprake van schijnbaar vermogen om de kosten te drukken worden de inverters voor 50 % gedimensioneerd en niet volledig dubbel uitgevoerd. Daarom wordt gerekend met 10,5 kW per inverter * aansluitwaarde: $S = 3 \cdot U \cdot I > I = 21000 : (3 \cdot 230) \approx 30,43 \text{ A}$. Dit resulteert in een aansluiting van 3x40 A * begroting exclusief opslagsysteem			

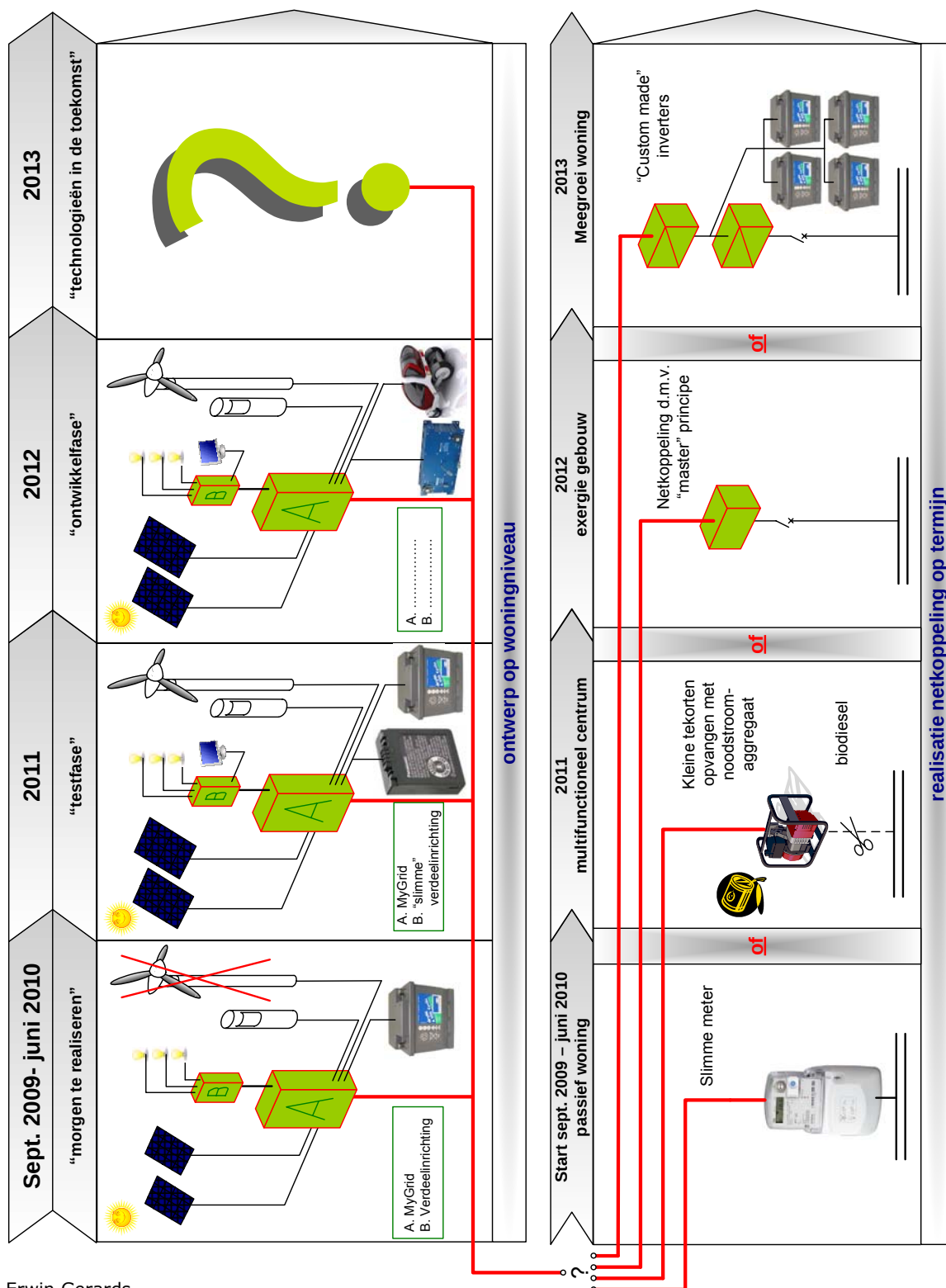
Figuur 53 Kostenplaatje concept 4

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 108 van 140

datum 12 juni 2009

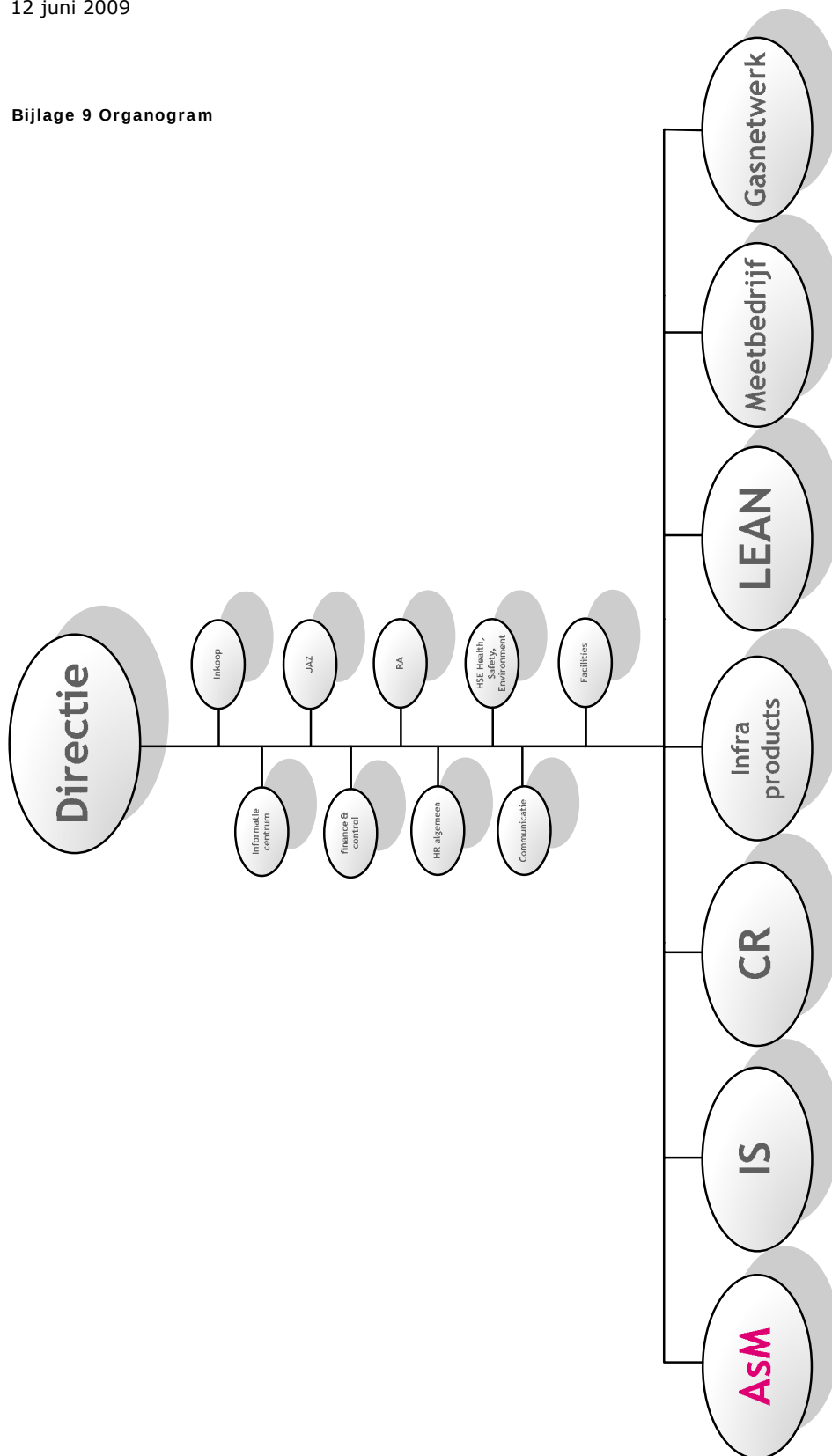
Bijlage 8 Systeemontwerp



Erwin Gerards
Laurent Schijns

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"
 pagina 109 van 140
 datum 12 juni 2009

Bijlage 9 Organogram

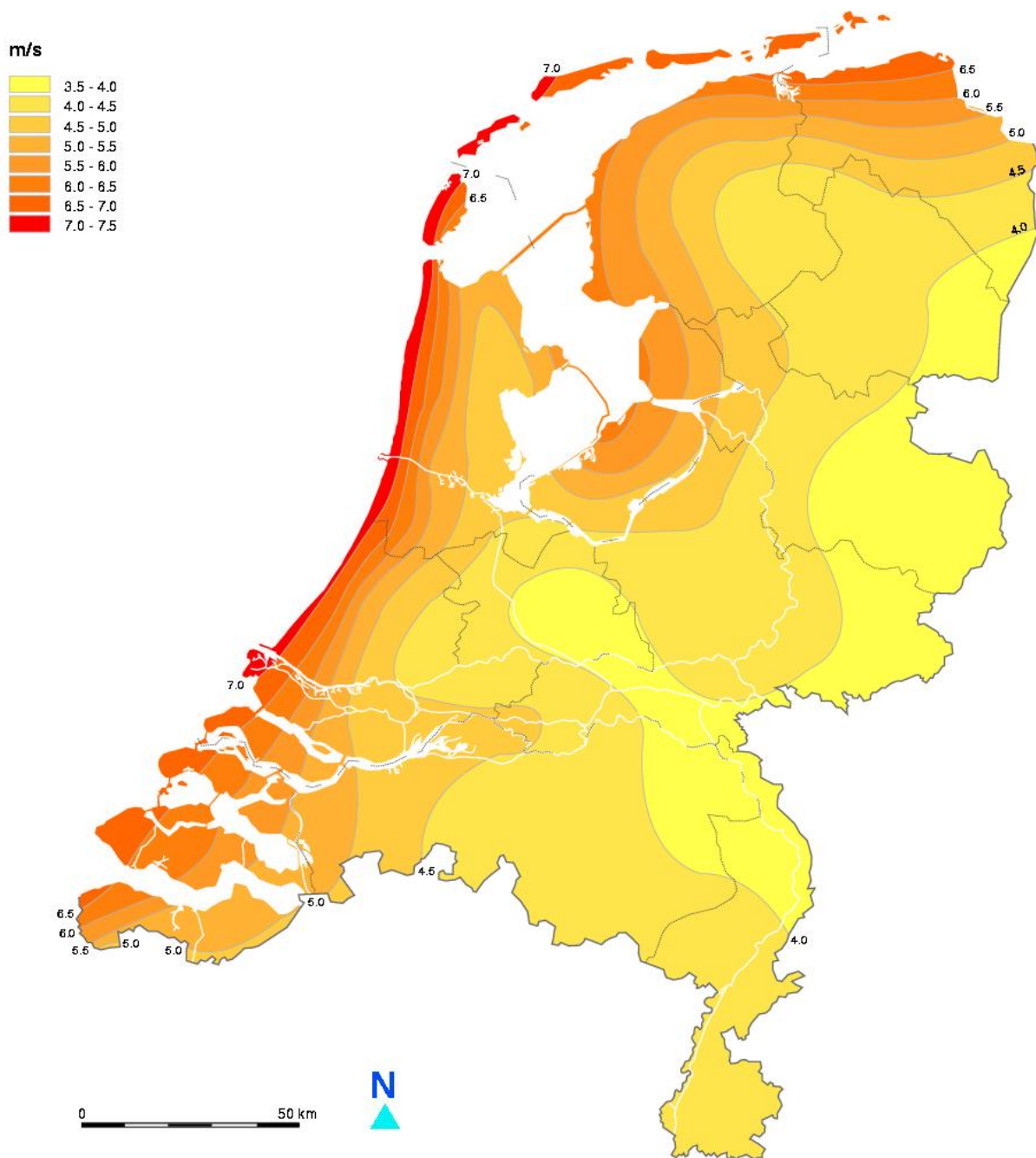


rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 110 van 140

datum 12 juni 2009

Bijlage 10 Wind KNMI



Erwin Gerards
Laurent Schijns

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 111 van 140

datum 12 juni 2009

Bijlage 11 Werking windturbine

Wind ontstaat in eerste instantie door de zon. De zonnestraling zorgt ervoor dat de lucht aan de evenaar zeer sterk wordt opgewarmd. Aan de Noord- en Zuidpool wordt nauwelijks verwarmd, omdat hier de zonnestraling erg vlak is. Warme lucht stijgt naar boven en stroomt richting de polen. Als de lucht koud wordt dan zakt deze weer naar beneden, waar ze door de warme lucht van de evenaar die naar boven stijgt als door een stofzuiger aangezogen wordt. De aardrotatie zorgt ervoor dat de warme lucht niet bij de polen terecht komt, want door de aardrotatie wordt de luchtmassa op het noordelijk halfrond naar rechts en op het zuidelijk halfrond naar links afgeleid. Door dit fenomeen ontstaan hoge en lage drukgebieden. De luchtverplaatsing van een hoge naar een lage drukgebied wordt wind genoemd. Op deze manier gezien ligt dus ook dit soort zonne-energie aan de oorsprong van de windenergie. Een windturbine gebruikt de kracht van de wind om een elektrische generator aan te drijven en zo elektriciteit op te wekken.

Deze kracht wordt op de zelfde manier ingezet als bij een vliegtuig. Dit principe heet lift.

Wanneer we een vleugelprofiel bekijken zien we dat de lucht die over het profiel stroomt een langere weg aflegt dan de lucht eronder. Er ontstaat bovenaan (de lijzijde) een onderdruk en aan de windzijde (de loefzijde) een overdruk. Dit drukverschil zorgt voor een resulterende opwaartse kracht loodrecht op de aanstromende(wind) richting: de liftkracht.

De doorsnede van een wiek of blad van een windturbine is ook een vleugelprofiel. Wanneer deze in de wind staat, ontstaat er ook een liftkracht die hier wordt omgezet in een mechanisch koppel.

Dit mechanisch koppel wordt op verschillende manieren op een generator gezet. Vroeger werd dit gedaan aan de hand van een tandwielkast. Dit wordt tegenwoordig steeds minder toegepast omdat aan dit mechanisch onderdeel vaker onderhoud moet worden gepleegd. Een windmolen is vaak hoog opgesteld en is ook krap gebouwd waardoor onderhoud en vervangen een zeer moeilijke taak kan zijn.

Tegenwoordig worden er ook windturbines geproduceerd zonder tandwielkasten. Deze direct drive turbines hebben speciale vermogenslektronica en een grote ringgenerator, die bij het relatief lage toerental van de rotor elektriciteit met de gewenste netfrequentie levert.

Het opgewekt vermogen van een windmolen is berekenbaar met de standaard formule voor kinetische energie:

$$p = \frac{1}{2}mv^2$$

Vergelijking 4

Erwin Gerards

Laurent Schijns

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 112 van 140

datum 12 juni 2009

Hierin is: P het vermogen in Nm/s of Watt
 m de luchtmassa in kg/s
 v de windsnelheid in m/s

De massa van de lucht door de rotor per seconde is te verklaren als volgt:

$$m = \rho \cdot A \cdot v$$

Vergelijking 5

Hierin is: ρ de dichtheid van de lucht in kg/m³ (=1,23)
 A de rotoroppervlakte in m²
 v snelheid van de lucht in m/s

Combineert men deze 2 formules dan krijgt men de volgende formule

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3$$

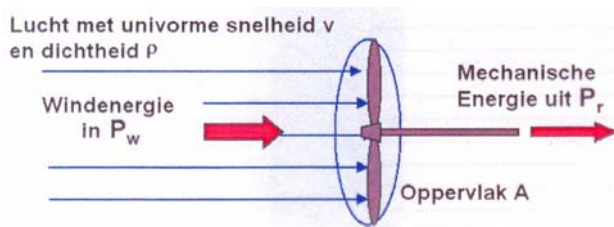
Vergelijking 6

Het as-vermogen dat de windmolen hieruit kan halen wordt bepaald door zijn aerodynamisch omzettingsrendement of C_p waarde (vermogenscoëfficiënt of molen rendement)

$$P = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

Vergelijking 7

C_p is de zogenaamde "power coëfficiënt". Deze wordt als volgt gedefinieerd:

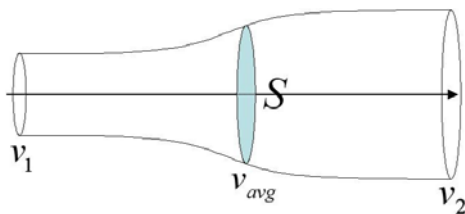


$$C_p = \frac{P_r}{P_w}$$

Figuur 54 Cp waarde

Vergelijking 8

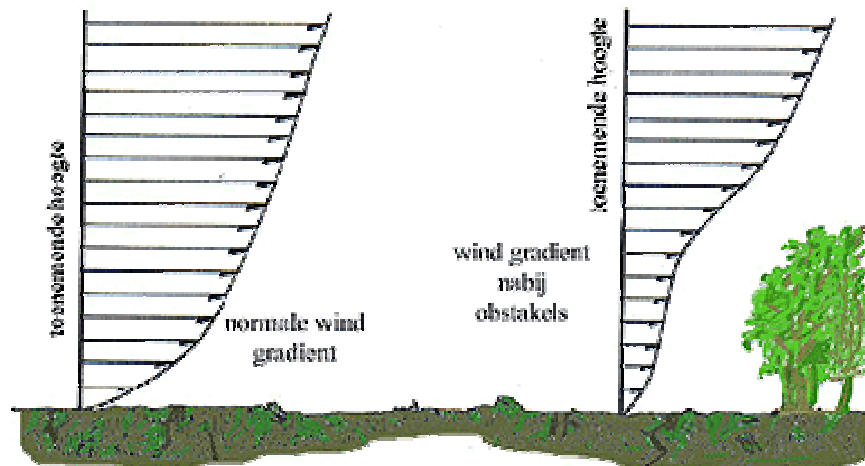
C_p is afhankelijk van het ontwerp van de rotor en zijn oriëntatie in de wind. Zijn theoretisch maximum is 0,59. Dit maximum is ook wel het de Betz limit genoemd.



Figuur 55 C_p waarde

Een wind turbine zal niet in staat zijn om alle wind die er doorheen gaat te stoppen. Zoals in de figuur hiernaast is te zien zal de lucht stroom zich verspreiden. Met andere woorden niet alle energie kan uit de wind worden gehaald.

Ook de hoogte van de windmolen heeft invloed op het vermogen van de windmolen. Omdat kort bij de aardkorst wind last heeft van wrijving en obstakels daalt de windsnelheid.



Figuur 56 Ruwheid

En omdat de snelheid van de wind heel veel invloed heeft op het opgewekte vermogen (v^3) zal het hoogte verschil ook terug komen in het vermogen van de windmolen. Dit komt tot uitdrukking in de volgende formule:

$$v = \frac{v_{ref} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)}$$

Hierin is v de snelheid op hoogte z , v_{ref} de snelheid op hoogte z_{ref} , en z_0 is de ruwheidslengte in windrichting.

Vergelijking 9

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 114 van 140

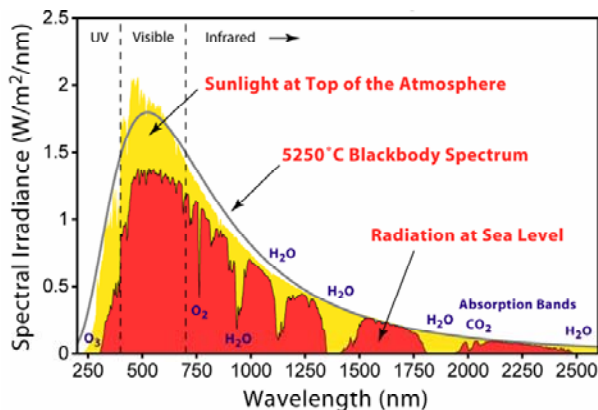
datum 12 juni 2009

landschapsoort	ruwheids klasse	ruwheids lengte (m)	Energie index (%)
wateroppervlak	0	0,0002	100
open terrein zoals betonnen wegen en gemaaid grasland	0,5	0,0024	73
landbouwgebieden zonder hekken en hagen. Alleen zachte ronde heuvels	1	0,03	52
landbouwgebieden met een paar huizen en maximaal 8 meter hoge hagen op ca. 1250 m	1,5	0,055	45
landbouwgebieden met een paar huizen en maximaal 8 meter hoge hagen op ca. 500 m	2	0,1	39
landbouwgebieden met veel huizen, heggen en maximaal 8 meter hoge hagen op ca. 250 m	2,5	0,2	31
Dorpen, kleine steden hoge hagen, bossen zeer ruw en oneven terrein	3	0,4	24
grotere steden en hoge gebouwen	3,5	0,8	18
zeer grote steden met hoge gebouwen en wolkenkrabbers	4	1,6	13

Tevens moet er rekening worden gehouden met de afstand van de windmolens onderling. Dit omdat de wind die door een windmolen wordt opgevangen en is gebruikt om energie op te wekken, turbulentie doet veroorzaken.

Bijlage 12 Werking zonne-energie

Werking



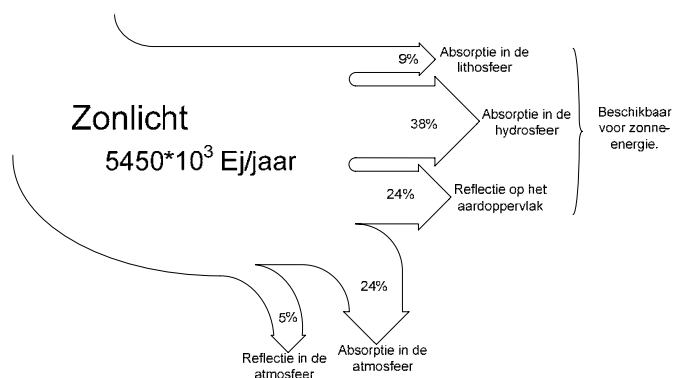
De zon straalt per m² ongeveer 1kw uit. Deze energie is verdeeld over het gehele lichtspectrum. Dit spectrum is hiernaast afgebeeld. Voordat het zonlicht door de atmosfeer van de aarde heen is heeft het nog zijn volle vermogen. Maar nadat het licht bij het zeeniveau terecht is gekomen is de hoeveelheid energie afgenomen door de verschillende stoffen die zich in de lucht bevinden.

Figuur 57 Zonspectrum

Deze overgebleven energie is te verdelen onder de volgende soorten:

- reflectie aan het aard oppervlak;
- opgenomen vermogen door water;
- vermogen opgenomen door de biosfeer en lithosfeer.

Deze energiesoorten zijn bruikbaar voor omzetting naar elektrische energie.



Figuur 58 energiewaarde Zonlicht

Dit betekent dat van de energie die van de zon wordt uitgestraald maar (9+38+24) 71% beschikbaar is voor omzetting.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 116 van 140

datum 12 juni 2009

Deze omzetting kan plaats vinden aan de hand van collectoren. Er zijn 2 verschillende soorten collectoren:

- De zonnecollector zet de energie van de zon om in warmte.
- Het PV paneel zet de energie van de zon om in elektrische energie.

In dit verslag wordt alleen het PV-paneel behandeld.

Een zonnecel zet de energie in zonlicht direct om in elektrische energie, dat wil zeggen in een spanning en een stroom. Elektrische stroom wordt verzorgd door negatief geladen elektronen die van de ene plaats naar de andere lopen. In metalen gaat dat gemakkelijk en daarom noemen we die geleiders. Zonnecellen worden gemaakt van halfgeleiders. De bekendste (en de oudste) is de kristallijnsilicium zonnecel. Een kenmerk van halfgeleiders is dat ze in vergelijking met metalen maar weinig beweeglijke elektronen hebben. Het bijzondere is echter dat door de absorptie van licht (bestaande uit energiepakketjes, ofwel fotonen) elektronen worden vrijgemaakt, die zich vervolgens kunnen verplaatsen. Daarbij blijft een eveneens beweeglijke lege plaats over, een positief geladen gat. Een dergelijk elektron (of eigenlijk: het elektrongat paar) draagt in feite de energie van het foton in zich en de kunst is om die energie uit de cel te krijgen. Daarvoor is het nodig het elektron en het gat van elkaar te scheiden voordat ze weer kunnen samengaan (recombineren). Door het elektron buiten de cel zijn energie te laten afgeven en daarna weer samen te brengen met het gat kan de cel nuttig werk doen.

Om de elektronen en gaten van elkaar te scheiden wordt in het silicium een scheidingslaag aangebracht. Die laag wordt gevormd op de overgang tussen twee soorten silicium: één met fosfor toegevoegd (n-type) en één met borium toegevoegd (p-type). Wanneer fosfor wordt ingebouwd in het silicium is per atoom één (beweeglijk) elektron over, bij borium is één elektron tekort, ofwel één gat over. Let wel: het materiaal als geheel blijft neutraal.

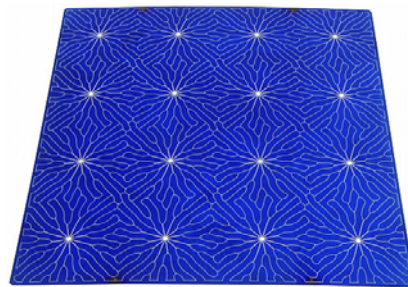
Op de overgang tussen beide gebieden (p-n overgang) ontstaat een dun laagje waarin de elektronen en gaten elkaar permanent compenseren en waar het n-type silicium positief en het p-type silicium negatief geladen is. Dit komt omdat de ingebouwde fosforatomen hun overbodige elektronen hebben afgestaan aan de dichtbij gelegen boriumatomen. De fosforatomen worden daardoor positief en de boriumatomen negatief geladen. In dat laagje heerst nu een elektrisch veld, dat op elektronen en gaten een tegengestelde kracht uitoefent. Dit veld is in staat om de gewenste scheiding te verzorgen van elektronen en gaten die door absorptie van licht zijn gemaakt. Zonder licht merken we aan de buitenkant van de zonnecel niets van de p-n overgang. Onder belichting zullen echter de vrijgemaakte elektronen door het elektrisch veld naar de voorzijde worden getrokken, terwijl de gaten aan de achterzijde blijven. Daardoor ontstaat een spanningsverschil. Wanneer we nu de voor- en achterzijde van de cel met elkaar verbinden kan er een stroom gaan lopen en kunnen we energie aftappen. Op de zonnecel wordt aan de voorkant en de achterkant een

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 117 van 140

datum 12 juni 2009

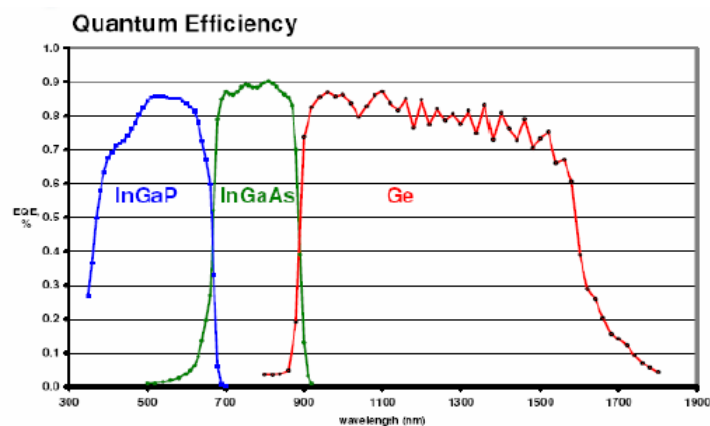
raster aangebracht van geleidend materiaal. De oppervlakte die door dit raster wordt ingenomen kan niet worden gebruikt om energie op te wekken omdat het silicium op die plekken bedekt is. Daarom is het ontwerp van dit raster ook een belangrijke factor wat het rendement aangaat. (te klein en er worden niet alle elektronen opgevangen, te groot en er wordt minder energie opgewekt). Hierdoor komen er verschillende soorten ontwerpen van PV-panelen.



Figuur 59 PV-cel (bron Solland Solar)

Rendement

Het rendement wordt bepaald door verschillende factoren, waarvan de materiaalsoort en de opstelling de belangrijkste 2 zijn.



Figuur 60 Quantum Efficiency

Verschillende soorten PV-cellen zijn er op de markt verkrijgbaar oa.:

- thin film silicium (tussen 6 & 9% rendement);
- wafer-based crystalline silicium (tussen 12 & 20% rendement);
- Etc.

Om het rendement van deze PV-cellen te verhogen kunnen tandem cellen worden toegepast. Hierin kan een groter lichtspectrum worden opgevangen waardoor er meer

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 118 van 140

datum 12 juni 2009

vermogen kan worden opgewekt. Het heeft alleen meerdere grote nadelen. Het productieproces is veel complexer, verder zou men zich kunnen afvragen of hierdoor grondstoffen niet wordt uitgeput (duurzaamheid).

Om recombinatie (het terugvallen van een elektron bij het oorspronkelijke atoom door tekort aan overgedragen energie) tegen te gaan, (hierdoor gaat vermogen verloren) moet het elektron meteen worden afgevoerd. Hierdoor moeten andere materialen worden toegepast. Enkele van deze materialen zijn Indium en Platina. Dit zijn schaarse metalen. Indium wordt toegepast in LCD schermen en in totaal is maar 0,25 van de miljoen deeltjes in de aardkorst een Indium deeltje. Hierdoor is de prijs van 1 kg Indium gestegen tot boven de €1000. Van het metaal platina is nog minder beschikbaar (0,003 per miljard deeltjes in de aardkorst) waardoor de kosten van 1 kilo platina bijna gelijk ligt aan die van goud wat de prijs van het paneel niet ten goede komt.

Ook de oriëntatie van de zonnepanelen is van belang bij het bepalen van het rendement. De optimale oriëntatie van een vrijstaand PV-systeem is meestal goed te realiseren. Bij een zonnestroom systeem voor een gebouw is het niet altijd mogelijk de panelen op het zuiden te plaatsen. Waar het dan op aankomt is een zo goed mogelijke hellingshoek te zoeken bij de beste oriëntatie. Is de oriëntatie oost of west, dan is met een dakhelling van 20° nog altijd 80 á 85% van het maximum haalbaar.

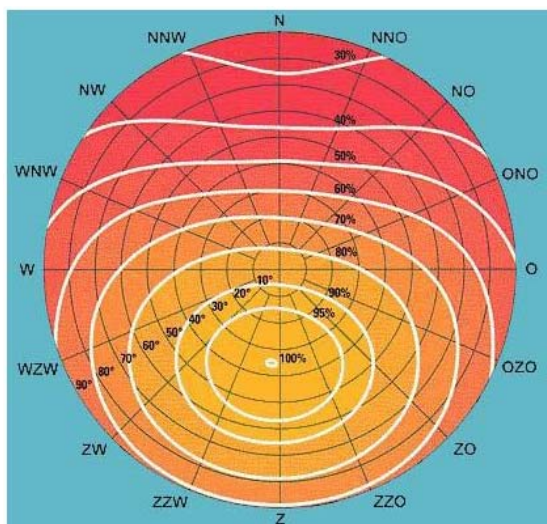
Om zoveel mogelijk van de zon te profiteren in de bebouwde omgeving, is het bij een PV installatie van belang om rekening te houden met oriëntatie en mogelijke hellingshoeken.

Op de instralingschijf kan worden afgelezen wat de opbrengst van een systeem is bij een bepaalde oriëntatie en hellingshoek. Deze wordt uitgedrukt in procenten van de maximaal haalbare instraling. De beste opbrengst wordt bereikt wanneer het systeem op het zuiden staat gericht onder een hoek van 36 graden met de horizontaal. (links de instralingschijf voor Nederland rechts de schijf voor België. Deze is bijgevoegd omdat de wijk van morgen meer in de richting van België zit dan het grootste deel van Nederland. Hieruit is ook op te merken dat het verschil van oriëntatie maar een paar graden zuidelijker is.)

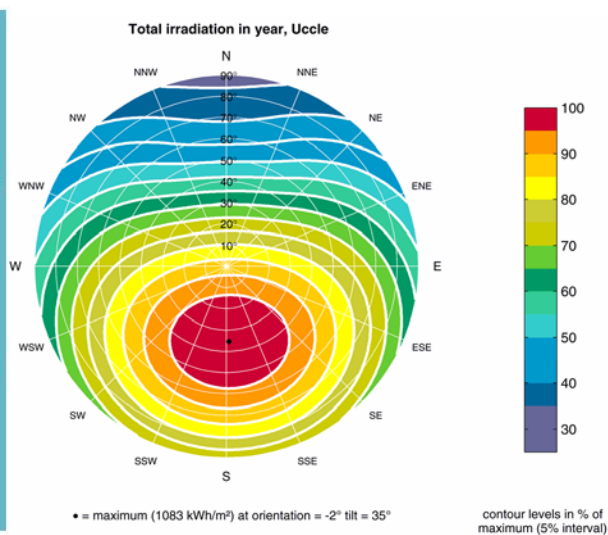
rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 119 van 140

datum 12 juni 2009



Figuur 61 Oriëntatie PV-cel NL



Figuur 62 Oriëntatie PV-cel BE

Ook is de temperatuur van de PV-cel van belang bij de opbrengst. Als een cel opwarmt zal de cel minder vermogen leveren.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 120 van 140

datum 12 juni 2009

Bijlage 13 Locatie weerstation



(bron maps.google.com)

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 121 van 140

datum 12 juni 2009

Bijlage 14 Uitgangspunten gebouwen

Gebouw 1		naam: knik			
Profiel 1:	Woning (enkel tarief)	→	geschat verbruik:	3000	kWh
Profiel 2:	Bedrijfstijd ≤ 2000 uur/jaar	→	geschat verbruik:	4108	kWh
Oppervlakte PV:	57,15	m ²			
Rendement PV systeem:	0,1	%			

Gebouw 2	(aannames)	naam: meegroeï woning			
Profiel 1:	Woning (enkel tarief)	→	geschat verbruik:	6000	kWh
Profiel 2:	N/A	→	geschat verbruik:	0	kWh
Oppervlakte PV:	54	m ²			
Rendement PV systeem:	0,1	%			

Gebouw 3	(aannames)	naam: gebouw van staal			
Profiel 1:	Woning (enkel tarief)	→	geschat verbruik:	6487	kWh
Profiel 2:	N/A	→	geschat verbruik:	0	kWh
Oppervlakte PV:	57	m ²			
Rendement PV systeem:	0,1	%			

Gebouw 4	(aannames)	naam: multifunctioneel centrum			
Profiel 1:	N/A	→	geschat verbruik:	0	kWh
Profiel 2:	Bedrijfstijd ≤ 5000 uur/jaar	→	geschat verbruik:	7000	kWh
Oppervlakte PV:	85	m ²			
Rendement PV systeem:	0,1	%			

Profielen zijn bepaald aan de hand van het opgegeven doel van de gebouwen
 Verbruik is bepaald aan de hand van de randvoorwaarden en presentaties van studenten bouw.
 Oppervlakte PV is bepaald aan de hand van documentatie en randvoorwaarden.



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 122 van 140

datum 12 juni 2009

Bijlage 15 Maand Totaal cases

Maand Januari

Minimaal Opwek Maximaal Verbruik						Gemiddeld Opwek Gemiddeld Verbruik						Maximaal Opwek Minimaal Verbruik					
	Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4	
0:00	-763	-890	-963	-563		0:00	-543	-648	-701	-520		0:00	-476	-549	-593	-489	
1:00	-718	-791	-855	-544		1:00	-465	-484	-524	-504		1:00	-423	-432	-467	-469	
2:00	-644	-641	-693	-536		2:00	-431	-415	-449	-494		2:00	-401	-389	-420	-455	
3:00	-583	-506	-547	-534		3:00	-423	-391	-423	-490		3:00	-398	-377	-408	-448	
4:00	-535	-435	-470	-532		4:00	-417	-385	-417	-487		4:00	-391	-373	-404	-443	
5:00	-553	-419	-452	-549		5:00	-446	-396	-428	-507		5:00	-400	-377	-408	-445	
6:00	-675	-485	-524	-632		6:00	-554	-447	-483	-581		6:00	-420	-391	-422	-474	
7:00	-973	-684	-739	-908		7:00	-807	-591	-639	-791		7:00	-440	-417	-451	-516	
8:00	-1415	-805	-871	-1124		8:00	-1128	-697	-754	-927		8:00	-404	-397	-431	-404	
9:00	-1636	-893	-965	-1236		9:00	-1195	-669	-727	-867		9:00	-178	-212	-238	25	
10:00	-1589	-843	-913	-1169		10:00	-988	-466	-512	-546		10:00	157	57	44	611	
11:00	-1569	-832	-902	-1119		11:00	-829	-320	-358	-316		11:00	785	620	639	1560	
12:00	-1555	-874	-947	-1114		12:00	-647	-193	-223	-94		12:00	908	740	766	1763	
13:00	-1473	-822	-892	-1015		13:00	-654	-207	-238	-152		13:00	769	626	646	1536	
14:00	-1489	-853	-924	-1079		14:00	-810	-370	-410	-411		14:00	644	509	523	1332	
15:00	-1468	-879	-951	-1105		15:00	-956	-552	-601	-681		15:00	42	-54	-73	426	
16:00	-1468	-1037	-1121	-1180		16:00	-1081	-816	-884	-897		16:00	-439	-556	-606	-244	
17:00	-1283	-1293	-1398	-1078		17:00	-1096	-1189	-1285	-933		17:00	-773	-1046	-1132	-518	
18:00	-1143	-1341	-1449	-971		18:00	-995	-1268	-1371	-862		18:00	-860	-1201	-1298	-570	
20:00	-1013	-1248	-1349	-833		20:00	-874	-1184	-1280	-757		20:00	-800	-1129	-1221	-559	
21:00	-945	-1147	-1240	-775		21:00	-798	-1087	-1175	-705		21:00	-752	-1049	-1134	-539	
22:00	-861	-1039	-1123	-723		22:00	-729	-991	-1072	-645		22:00	-696	-961	-1039	-518	
23:00	-816	-984	-1064	-590		23:00	-668	-892	-964	-545		23:00	-591	-775	-837	-503	
Opgeteld	-26254	-21086	-22812	-20816	Wh	Opgeteld	-18474	-15929	-17291	-14524	Wh	Opgeteld	-6386	-9342	-10269	-906	Wh
Tekort	-26254	-21086	-22812	-20816	Wh	Tekort	-18474	-15929	-17291	-14524	Wh	Tekort	-9692	-11893	-12888	-8160	Wh
Overschot	0	0	0	0	Wh	Overschot	0	0	0	0	Wh	Overschot	3306	2552	2619	7253	Wh
Totaal Tekort: -90967 Wh Overschot: 0 Wh						Totaal Tekort: -66218 Wh Overschot: 0 Wh						Totaal Tekort: -42633 Wh Overschot: 0 Wh					

Erwin Gerards

Laurent Schijns

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 123 van 140

datum 12 juni 2009

Maand Februari

Minimaal Opwek Maximaal Verbruik						Gemiddeld Opwek Gemiddeld Verbruik						Maximaal Opwek Minimaal Verbruik					
	Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4	
0:00	-563	-700	-757	-546		0:00	-516	-624	-675	-520		0:00	-463	-544	-588	-495	
1:00	-480	-527	-570	-534		1:00	-443	-471	-509	-507		1:00	-413	-430	-465	-480	
2:00	-441	-446	-482	-525		2:00	-415	-411	-444	-498		2:00	-392	-382	-413	-469	
3:00	-428	-409	-442	-520		3:00	-408	-391	-423	-494		3:00	-389	-373	-403	-464	
4:00	-423	-400	-432	-520		4:00	-404	-387	-418	-492		4:00	-385	-372	-402	-458	
5:00	-456	-408	-441	-546		5:00	-430	-395	-427	-513		5:00	-394	-374	-404	-462	
6:00	-596	-487	-526	-637		6:00	-537	-454	-491	-587		6:00	-415	-394	-426	-488	
7:00	-938	-696	-753	-912		7:00	-781	-596	-644	-782		7:00	-367	-372	-404	-411	
8:00	-1329	-770	-834	-1085		8:00	-1026	-616	-668	-818		8:00	-202	-258	-287	-57	
9:00	-1494	-817	-885	-1119		9:00	-775	-291	-326	-284		9:00	540	411	418	1152	
10:00	-1432	-754	-819	-1038		10:00	-524	-45	-67	93		10:00	786	680	703	1542	
11:00	-1403	-734	-799	-969		11:00	-28	425	431	818		11:00	1664	1512	1584	2802	
12:00	-1300	-689	-751	-853		12:00	175	580	595	1057		12:00	1818	1659	1740	3030	
13:00	-1290	-678	-738	-881		13:00	136	536	549	954		13:00	1686	1537	1611	2804	
14:00	-1316	-713	-775	-956		14:00	-28	373	378	680		14:00	1410	1292	1353	2364	
15:00	-1334	-779	-844	-1048		15:00	-398	-21	-38	68		15:00	727	641	664	1344	
16:00	-1268	-855	-926	-1058		16:00	-881	-605	-659	-721		16:00	-121	-234	-263	113	
17:00	-1151	-1148	-1241	-1048		17:00	-905	-943	-1021	-828		17:00	-515	-708	-770	-340	
18:00	-1043	-1319	-1426	-966		18:00	-939	-1212	-1310	-861		18:00	-768	-1058	-1144	-581	
20:00	-905	-1243	-1344	-836		20:00	-841	-1163	-1258	-759		20:00	-781	-1110	-1200	-593	
21:00	-803	-1118	-1208	-771		21:00	-769	-1068	-1155	-707		21:00	-734	-1028	-1111	-566	
22:00	-730	-1014	-1096	-697		22:00	-703	-973	-1052	-644		22:00	-675	-935	-1011	-530	
23:00	-689	-948	-1024	-564		23:00	-642	-871	-942	-544		23:00	-578	-763	-825	-511	
Opgeteld	-22799	-18997	-20569	-19539	Wh	Opgeteld	-12990	-10878	-11930	-7706	Wh	Opgeteld	212	-2782	-3320	7639	Wh
Tekort	-22799	-18997	-20569	-19539	Wh	Tekort	-13301	-12792	-13884	-11375	Wh	Tekort	-8420	-10515	-11393	-7511	Wh
Overschot	0	0	0	0	Wh	Overschot	311	1914	1954	3669	Wh	Overschot	8632	7733	8073	15150	Wh
Totaal Tekort: -81904 Wh Overschot: 0 Wh						Totaal Tekort: -51351 Wh Overschot: 0 Wh						Totaal Tekort: -37838,37 Wh Overschot: 39587,51 Wh					

Erwin Gerards

Laurent Schijns



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 124 van 140

datum 12 juni 2009

Maand maart

Minimaal Opwek Maximaal Verbruik						Gemiddeld Opwek Gemiddeld Verbruik						Maximaal Opwek Minimaal Verbruik					
	Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4	
0:00	-551	-676	-731	-548		0:00	-504	-611	-660	-522		0:00	-439	-534	-578	-479	
1:00	-465	-507	-549	-532		1:00	-433	-462	-500	-504		1:00	-390	-429	-464	-424	
2:00	-425	-424	-459	-524		2:00	-403	-400	-433	-495		2:00	-351	-378	-408	-405	
3:00	-409	-392	-424	-518		3:00	-394	-379	-410	-489		3:00	-339	-362	-391	-417	
4:00	-403	-386	-417	-518		4:00	-388	-375	-405	-488		4:00	-354	-359	-388	-422	
5:00	-442	-403	-436	-544		5:00	-415	-383	-414	-507		5:00	-370	-357	-386	-443	
6:00	-574	-478	-517	-636		6:00	-494	-421	-456	-553		6:00	-276	-260	-283	-299	
7:00	-851	-601	-651	-869		7:00	-594	-419	-456	-558		7:00	17	5	-4	145	
8:00	-1238	-694	-752	-1038		8:00	-565	-204	-231	-211		8:00	910	806	841	1544	
9:00	-1377	-728	-790	-1033		9:00	-413	11	-6	175		9:00	1634	1439	1507	2733	
10:00	-1398	-736	-799	-1061		10:00	44	460	469	864		10:00	2146	1960	2058	3530	
11:00	-1345	-680	-740	-964		11:00	165	583	599	1034		11:00	2484	2272	2388	3991	
12:00	-1228	-630	-688	-814		12:00	157	533	547	968		12:00	2829	2576	2711	4462	
13:00	-1168	-588	-643	-750		13:00	414	763	791	1303		13:00	2853	2632	2770	4526	
14:00	-1263	-673	-732	-927		14:00	139	498	511	871		14:00	2353	2145	2256	3770	
15:00	-1207	-648	-704	-907		15:00	19	349	353	642		15:00	2184	1973	2075	3505	
16:00	-1234	-813	-880	-1056		16:00	-565	-324	-360	-305		16:00	475	309	312	982	
17:00	-990	-906	-981	-964		17:00	-673	-689	-749	-580		17:00	-58	-278	-312	278	
18:00	-956	-1157	-1251	-981		18:00	-768	-961	-1041	-761		18:00	-377	-603	-658	-117	
20:00	-876	-1186	-1282	-861		20:00	-817	-1119	-1210	-769		20:00	-738	-1031	-1115	-536	
21:00	-798	-1088	-1176	-793		21:00	-749	-1034	-1118	-712		21:00	-693	-946	-1023	-498	
22:00	-718	-978	-1058	-718		22:00	-682	-934	-1009	-648		22:00	-575	-742	-803	-483	
23:00	-667	-908	-982	-578		23:00	-621	-837	-905	-548		23:00	-465	-597	-646	-420	
Opgeteld	-21532	-17549	-19011	-19076	Wh	Opgeteld	-9405	-7525	-8360	-3618	Wh	Opgeteld	11748	8247	8383	23983	Wh
Tekort	-21532	-17549	-19011	-19076	Wh	Tekort	-10342	-10723	-11629	-9475	Wh	Tekort	-6136	-7869	-8534	-5484	Wh
Overschot	0	0	0	0	Wh	Overschot	937	3197	3269	5857	Wh	Overschot	17884	16116	16916	29467	Wh
Totaal Tekort: -77168 Wh Overschot: 0 Wh						Totaal Tekort: -42168 Wh Overschot: 13260 Wh						Totaal Tekort: -28022 Wh Overschot: 80384 Wh					

Erwin Gerards

Laurent Schijns



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 125 van 140

datum 12 juni 2009

Maand april

12 Jan 2009

Minimaal Opwek Maximaal Verbruik						Gemiddeld Opwek Gemiddeld Verbruik						Maximaal Opwek Minimaal Verbruik					
	Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4	
0:00	-528	-647	-700	-534		0:00	-488	-590	-638	-501		0:00	-422	-510	-551	-420	
1:00	-445	-483	-522	-528		1:00	-418	-447	-484	-494		1:00	-376	-407	-440	-422	
2:00	-416	-415	-449	-522		2:00	-392	-387	-419	-486		2:00	-351	-365	-395	-415	
3:00	-404	-382	-413	-520		3:00	-383	-366	-395	-481		3:00	-340	-352	-380	-405	
4:00	-398	-370	-400	-519		4:00	-379	-362	-391	-479		4:00	-334	-352	-381	-404	
5:00	-424	-384	-415	-540		5:00	-399	-369	-399	-493		5:00	-336	-345	-373	-398	
6:00	-544	-447	-483	-632		6:00	-450	-380	-411	-520		6:00	-233	-233	-255	-236	
7:00	-826	-569	-615	-872		7:00	-513	-343	-375	-487		7:00	67	31	23	216	
8:00	-1218	-630	-683	-1006		8:00	-375	-30	-46	21		8:00	745	622	646	1284	
9:00	-1455	-768	-831	-1147		9:00	76	467	477	846		9:00	1785	1552	1628	2915	
10:00	-1333	-635	-691	-975		10:00	626	1004	1045	1682		10:00	2373	2143	2253	3810	
11:00	-1245	-563	-615	-862		11:00	850	1226	1280	2006		11:00	3043	2802	2950	4786	
12:00	-1251	-622	-677	-961		12:00	1197	1507	1578	2437		12:00	3535	3265	3441	5494	
13:00	-1007	-397	-439	-634		13:00	1394	1684	1766	2669		13:00	3506	3254	3430	5423	
14:00	-917	-315	-351	-519		14:00	1032	1352	1416	2132		14:00	3507	3265	3442	5429	
15:00	-976	-385	-424	-696		15:00	852	1149	1201	1804		15:00	3184	2960	3119	4935	
16:00	-961	-515	-562	-830		16:00	629	821	853	1383		16:00	2763	2514	2646	4326	
17:00	-757	-655	-712	-754		17:00	156	123	112	554		17:00	1223	982	1023	2125	
18:00	-627	-751	-816	-693		18:00	-256	-409	-452	-147		18:00	139	-71	-92	502	
20:00	-805	-1044	-1128	-850		20:00	-670	-873	-945	-683		20:00	-487	-665	-722	-415	
21:00	-771	-1010	-1092	-789		21:00	-727	-959	-1037	-714		21:00	-623	-855	-925	-518	
22:00	-721	-935	-1011	-704		22:00	-672	-898	-971	-642		22:00	-602	-828	-896	-487	
23:00	-668	-878	-950	-562		23:00	-611	-817	-884	-539		23:00	-531	-719	-778	-462	
Opgeteld	-19424	-14727	-15985	-17447	Wh	Opgeteld	-395	1445	1166	8423	Wh	Opgeteld	21075	17331	18021	36729	Wh
Tekort	-19424	-14727	-15985	-17447	Wh	Tekort	-7207	-7887	-8562	-7111	Wh	Tekort	-4794	-6058	-6579	-4582	Wh
Overschot	0	0	0	0	Wh	Overschot	6812	9332	9728	15534	Wh	Overschot	25869	23390	24600	41311	Wh
Totaal Tekort: -67582 Wh Overschot: 0 Wh						Totaal Tekort: -30767 Wh Overschot: 41406 Wh						Totaal Tekort: -22013 Wh Overschot: 115170 Wh					

Erwin Gerards
Laurent Schijns

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 126 van 140

datum 12 juni 2009

Maand mei

Minimaal Opwek Maximaal Verbruik						Gemiddeld Opwek Gemiddeld Verbruik						Maximaal Opwek Minimaal Verbruik					
	Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4	
0:00	-517	-629	-680	-531		0:00	-477	-584	-631	-504		0:00	-428	-511	-553	-455	
1:00	-435	-472	-510	-516		1:00	-401	-443	-479	-486		1:00	-375	-410	-443	-429	
2:00	-402	-405	-437	-512		2:00	-377	-388	-420	-479		2:00	-357	-371	-401	-420	
3:00	-389	-376	-406	-507		3:00	-370	-367	-397	-472		3:00	-350	-356	-385	-410	
4:00	-384	-370	-400	-505		4:00	-365	-360	-389	-470		4:00	-344	-351	-379	-407	
5:00	-407	-380	-411	-523		5:00	-370	-354	-383	-465		5:00	-258	-263	-286	-279	
6:00	-504	-420	-454	-616		6:00	-324	-268	-293	-368		6:00	-15	-29	-38	61	
7:00	-806	-546	-590	-900		7:00	-51	91	85	147		7:00	751	681	712	1207	
8:00	-1275	-680	-735	-1118		8:00	-117	212	210	347		8:00	846	729	760	1412	
9:00	-1491	-782	-845	-1254		9:00	735	1109	1158	1766		9:00	2350	2119	2229	3709	
10:00	-1473	-755	-817	-1229		10:00	1245	1611	1689	2547		10:00	2924	2687	2829	4605	
11:00	-1453	-722	-782	-1223		11:00	1646	2009	2111	3134		11:00	3622	3375	3558	5622	
12:00	-682	-35	-55	-175		12:00	2251	2543	2676	3958		12:00	4104	3825	4034	6319	
13:00	-810	-159	-184	-409		13:00	1961	2268	2386	3473		13:00	4041	3793	4002	6196	
14:00	-862	-198	-225	-489		14:00	2215	2517	2650	3854		14:00	3927	3691	3894	6040	
15:00	-909	-275	-307	-612		15:00	1870	2157	2269	3291		15:00	3562	3334	3516	5488	
16:00	-569	-95	-116	-260		16:00	1504	1687	1771	2650		16:00	3015	2754	2901	4690	
17:00	-687	-554	-604	-699		17:00	1079	1035	1078	1873		17:00	2353	2065	2170	3782	
18:00	-572	-656	-713	-688		18:00	-175	-296	-331	-85		18:00	453	250	248	968	
20:00	-622	-783	-848	-757		20:00	-490	-628	-682	-559		20:00	-192	-340	-376	-10	
21:00	-711	-900	-973	-799		21:00	-617	-777	-841	-684		21:00	-493	-627	-680	-417	
22:00	-688	-889	-961	-723		22:00	-644	-845	-914	-651		22:00	-611	-800	-865	-503	
23:00	-650	-863	-933	-570		23:00	-601	-804	-869	-543		23:00	-543	-712	-769	-476	
Opgeteld	-17945	-12725	-13834	-16442	Wh	Opgeteld	8808	10660	10946	20969	Wh	Opgeteld	28034	24416	25535	46658	Wh
Tekort	-17945	-12725	-13834	-16442	Wh	Tekort	-5699	-6580	-7138	-6072	Wh	Tekort	-3967	-4888	-5316	-3807	Wh
Overschot	0	0	0	0	Wh	Overschot	14507	17239	18083	27041	Wh	Overschot	32001	29304	30851	50465	Wh
Totaal Tekort: -60946 Wh Overschot: 0 Wh						Totaal Tekort: -25488 Wh Overschot: 76871 Wh						Totaal Tekort: -17978 Wh Overschot: 142621Wh					

Erwin Gerards

Laurent Schijns

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 127 van 140

datum 12 juni 2009

Maand juni

Minimaal Opwek Maximaal Verbruik						Gemiddeld Opwek Gemiddeld Verbruik						Maximaal Opwek Minimaal Verbruik					
	Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4	
0:00	-518	-652	-704	-527		0:00	-476	-589	-636	-505		0:00	-436	-524	-567	-475	
1:00	-427	-488	-528	-506		1:00	-396	-446	-482	-482		1:00	-371	-417	-450	-451	
2:00	-386	-411	-445	-497		2:00	-366	-386	-417	-473		2:00	-350	-369	-399	-438	
3:00	-374	-381	-411	-490		3:00	-360	-365	-395	-466		3:00	-346	-353	-381	-431	
4:00	-366	-368	-398	-486		4:00	-352	-359	-388	-457		4:00	-338	-348	-377	-422	
5:00	-383	-371	-401	-500		5:00	-323	-320	-347	-410		5:00	-269	-277	-301	-329	
6:00	-469	-393	-425	-566		6:00	-283	-235	-258	-316		6:00	-19	-44	-54	28	
7:00	-760	-528	-571	-867		7:00	36	170	169	259		7:00	930	857	899	1439	
8:00	-1094	-574	-623	-949		8:00	-16	299	302	464		8:00	1089	978	1024	1727	
9:00	-1292	-641	-696	-1047		9:00	704	1074	1121	1690		9:00	2368	2159	2271	3705	
10:00	-1292	-621	-675	-1045		10:00	1082	1448	1517	2277		10:00	3254	3025	3187	5072	
11:00	-1161	-469	-514	-845		11:00	1449	1819	1910	2830		11:00	3670	3449	3636	5675	
12:00	-1225	-593	-645	-1003		12:00	1940	2237	2352	3482		12:00	4288	4028	4249	6574	
13:00	-1231	-590	-642	-1018		13:00	2070	2356	2479	3636		13:00	4650	4383	4625	7093	
14:00	-1116	-469	-512	-873		14:00	1970	2272	2390	3482		14:00	4186	3957	4175	6405	
15:00	-683	-92	-114	-266		15:00	1813	2090	2197	3202		15:00	3916	3690	3893	5995	
16:00	-902	-426	-466	-758		16:00	1519	1695	1779	2668		16:00	3345	3087	3254	5138	
17:00	-551	-433	-476	-508		17:00	1107	1057	1101	1906		17:00	2613	2323	2442	4150	
18:00	-564	-643	-699	-698		18:00	113	-18	-37	328		18:00	598	396	403	1167	
20:00	-631	-783	-847	-802		20:00	-402	-542	-590	-456		20:00	-87	-231	-260	94	
21:00	-637	-787	-851	-799		21:00	-536	-669	-724	-635		21:00	-451	-575	-624	-426	
22:00	-648	-833	-900	-731		22:00	-616	-792	-857	-665		22:00	-584	-747	-807	-544	
23:00	-633	-850	-918	-577		23:00	-598	-796	-861	-550		23:00	-553	-722	-780	-505	
Opgeteld	-17946	-13130	-14261	-17127	Wh	Opgeteld	8829	10602	10887	20590	Wh	Opgeteld	31536	27977	29306	51132	Wh
Tekort	-17946	-13130	-14261	-17127	Wh	Tekort	-4974	-5914	-6430	-5633	Wh	Tekort	-3804	-4606	-5000	-4021	Wh
Overschot	0	0	0	0	Wh	Overschot	13802	16516	17317	26223	Wh	Overschot	35341	32583	34306	55152	Wh
Totaal Tekort: -62463 Wh Overschot: 0 Wh						Totaal Tekort: -22951 Wh Overschot: 73858 Wh						Totaal Tekort: -17432 Wh Overschot: 157382 Wh					

Erwin Gerards

Laurent Schijns



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 128 van 140

datum 12 juni 2009

Maand juli

Minimaal Opwek Maximaal Verbruik						Gemiddeld Opwek Gemiddeld Verbruik						Maximaal Opwek Minimaal Verbruik					
	Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4	
0:00	-503	-628	-679	-531		0:00	-468	-575	-622	-506		0:00	-435	-521	-563	-475	
1:00	-420	-480	-519	-511		1:00	-394	-442	-478	-484		1:00	-371	-416	-449	-455	
2:00	-385	-408	-441	-504		2:00	-366	-385	-417	-476		2:00	-351	-372	-402	-440	
3:00	-372	-380	-411	-495		3:00	-359	-367	-397	-467		3:00	-348	-357	-386	-431	
4:00	-366	-369	-399	-488		4:00	-354	-360	-389	-460		4:00	-340	-351	-380	-423	
5:00	-382	-371	-401	-504		5:00	-342	-338	-366	-442		5:00	-249	-257	-280	-295	
6:00	-463	-385	-416	-576		6:00	-301	-247	-270	-358		6:00	-75	-94	-107	-58	
7:00	-657	-425	-462	-762		7:00	-71	88	83	60		7:00	814	747	782	1264	
8:00	-996	-476	-518	-870		8:00	-236	122	117	93		8:00	693	612	637	1130	
9:00	-1104	-473	-517	-830		9:00	414	838	872	1227		9:00	2313	2129	2240	3587	
10:00	-1034	-391	-431	-718		10:00	858	1275	1334	1906		10:00	3030	2844	2997	4689	
11:00	-1012	-336	-373	-670		11:00	1428	1836	1929	2762		11:00	3589	3395	3580	5513	
12:00	-1043	-419	-460	-787		12:00	1698	2050	2154	3094		12:00	4088	3861	4073	6231	
13:00	-797	-173	-200	-422		13:00	1714	2070	2177	3086		13:00	4297	4071	4296	6528	
14:00	-734	-102	-123	-354		14:00	2006	2355	2479	3522		14:00	4374	4154	4384	6658	
15:00	-592	4	-11	-190		15:00	1550	1892	1990	2800		15:00	3784	3578	3775	5772	
16:00	-830	-350	-386	-666		16:00	1350	1587	1666	2403		16:00	3475	3226	3402	5296	
17:00	-891	-742	-803	-1029		17:00	818	819	850	1437		17:00	2537	2271	2389	3990	
18:00	-700	-759	-822	-911		18:00	0	-98	-121	118		18:00	634	454	465	1182	
20:00	-644	-771	-833	-859		20:00	-423	-535	-582	-533		20:00	-235	-356	-391	-140	
21:00	-630	-755	-816	-811		21:00	-537	-647	-701	-673		21:00	-422	-537	-584	-393	
22:00	-638	-808	-873	-734		22:00	-602	-760	-821	-676		22:00	-555	-707	-765	-519	
23:00	-627	-833	-901	-578		23:00	-582	-765	-828	-552		23:00	-528	-671	-726	-508	
Opgeteld	-16464	-11589	-12616	-15657	Wh	Opgeteld	6521	9014	9222	16569	Wh	Opgeteld	29802	26636	27901	48060	Wh
Tekort	-16464	-11592	-12616	-15657	Wh	Tekort	-5315	-5919	-6429	-5939	Wh	Tekort	-3908	-4707	-5120	-4137	Wh
Overschot	0	4	0	0	Wh	Overschot	11836	14933	15652	22508	Wh	Overschot	33710	31343	33021	52196	Wh
Totaal Tekort: -526329 Wh Overschot: 4 Wh						Totaal Tekort: -23603 Wh Overschot: 64929 Wh						Totaal Tekort: -17871 Wh Overschot: 150271 Wh					

Erwin Gerards
Laurent Schijns

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 129 van 140

datum 12 juni 2009

Maand augustus

12 jan 2009

Minimaal Opwek Maximaal Verbruik						Gemiddeld Opwek Gemiddeld Verbruik						Maximaal Opwek Minimaal Verbruik					
	Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4	
0:00	-509	-628	-679	-533		0:00	-468	-566	-612	-507		0:00	-432	-509	-550	-479	
1:00	-419	-469	-508	-513		1:00	-398	-439	-474	-488		1:00	-373	-403	-435	-457	
2:00	-388	-403	-436	-504		2:00	-369	-383	-414	-479		2:00	-354	-368	-397	-441	
3:00	-376	-375	-406	-495		3:00	-362	-365	-395	-470		3:00	-348	-355	-384	-434	
4:00	-371	-366	-396	-490		4:00	-360	-360	-390	-467		4:00	-345	-351	-380	-431	
5:00	-394	-374	-405	-519		5:00	-374	-361	-391	-484		5:00	-333	-336	-364	-430	
6:00	-492	-411	-444	-614		6:00	-398	-332	-361	-491		6:00	-186	-199	-218	-229	
7:00	-713	-447	-484	-811		7:00	-352	-168	-188	-350		7:00	445	403	418	711	
8:00	-984	-455	-495	-875		8:00	-346	14	2	-96		8:00	562	491	509	937	
9:00	-1095	-449	-491	-848		9:00	220	644	667	906		9:00	1838	1687	1773	2897	
10:00	-803	-160	-186	-395		10:00	701	1108	1158	1641		10:00	2657	2496	2628	4150	
11:00	-1142	-474	-519	-868		11:00	1117	1511	1584	2253		11:00	3552	3356	3538	5458	
12:00	-1147	-515	-562	-957		12:00	1549	1883	1979	2833		12:00	3817	3602	3799	5824	
13:00	-823	-195	-222	-477		13:00	1573	1921	2019	2850		13:00	3767	3566	3761	5749	
14:00	-1003	-350	-386	-761		14:00	1291	1664	1748	2424		14:00	3750	3567	3763	5719	
15:00	-872	-251	-281	-604		15:00	1172	1524	1600	2219		15:00	3510	3317	3498	5362	
16:00	-678	-174	-199	-431		16:00	1006	1263	1323	1898		16:00	3234	2998	3160	4941	
17:00	-738	-568	-618	-793		17:00	519	546	562	1008		17:00	1774	1550	1625	2858	
18:00	-571	-627	-681	-719		18:00	-110	-195	-223	-28		18:00	408	248	247	841	
20:00	-665	-808	-874	-851		20:00	-528	-638	-692	-661		20:00	-289	-402	-440	-221	
21:00	-702	-881	-952	-818		21:00	-629	-771	-834	-736		21:00	-517	-627	-679	-530	
22:00	-653	-835	-902	-730		22:00	-620	-789	-853	-666		22:00	-585	-742	-802	-547	
23:00	-621	-815	-881	-578		23:00	-578	-749	-810	-550		23:00	-526	-669	-723	-508	
Opgeteld	-16757	-11738	-12773	-15983	Wh	Opgeteld	2876	5473	5476	11112	Wh	Opgeteld	24984	22145	23148	40908	Wh
Tekort	-16757	-11738	-12773	-15983	Wh	Tekort	-6271	-6604	-7166	-6920	Wh	Tekort	-4328	-5135	-5573	-4709	Wh
Overschot	0	0	0	0	Wh	Overschot	9147	12077	12642	18032	Wh	Overschot	29312	27280	28721	45617	Wh
Totaal Tekort: -57250 Wh Overschot: 0 Wh						Totaal Tekort: -26961 Wh Overschot: 51898 Wh						Totaal Tekort: -19745 Wh Overschot: 130930 Wh					

Erwin Gerards

Laurent Schijns



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 130 van 140

datum 12 juni 2009

Maand september

Minimaal Opwek Maximaal Verbruik						Gemiddeld Opwek Gemiddeld Verbruik						Maximaal Opwek Minimaal Verbruik					
	Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4	
0:00	-517	-630	-681	-524		0:00	-463	-557	-603	-496		0:00	-390	-437	-472	-470	
1:00	-429	-469	-507	-512		1:00	-395	-430	-465	-482		1:00	-360	-378	-409	-452	
2:00	-387	-402	-435	-501		2:00	-366	-381	-412	-473		2:00	-347	-356	-385	-439	
3:00	-378	-377	-407	-496		3:00	-361	-365	-394	-465		3:00	-347	-355	-384	-430	
4:00	-382	-375	-406	-492		4:00	-361	-363	-392	-463		4:00	-341	-344	-372	-428	
5:00	-426	-407	-440	-518		5:00	-385	-373	-404	-484		5:00	-350	-346	-374	-435	
6:00	-592	-525	-568	-630		6:00	-482	-421	-455	-572		6:00	-336	-337	-365	-434	
7:00	-884	-649	-701	-915		7:00	-632	-449	-487	-668		7:00	-197	-201	-222	-223	
8:00	-1196	-684	-741	-1012		8:00	-671	-300	-331	-454		8:00	235	174	173	471	
9:00	-1345	-690	-749	-1079		9:00	-226	207	204	347		9:00	1293	1148	1201	2135	
10:00	-1333	-669	-726	-1054		10:00	298	717	743	1135		10:00	2233	2069	2175	3570	
11:00	-1231	-556	-607	-897		11:00	682	1093	1141	1704		11:00	2742	2560	2695	4280	
12:00	-1317	-665	-722	-1090		12:00	1021	1383	1448	2144		12:00	3045	2854	3007	4721	
13:00	-1112	-480	-526	-817		13:00	1040	1399	1466	2129		13:00	3141	2953	3112	4854	
14:00	-1091	-451	-494	-810		14:00	889	1258	1317	1896		14:00	2756	2598	2736	4286	
15:00	-1059	-458	-502	-786		15:00	757	1100	1150	1658		15:00	2866	2689	2833	4444	
16:00	-1015	-568	-620	-806		16:00	277	521	536	865		16:00	1899	1704	1789	3020	
17:00	-818	-693	-753	-804		17:00	-222	-206	-236	-33		17:00	479	295	295	997	
18:00	-784	-906	-982	-853		18:00	-421	-533	-582	-409		18:00	93	-88	-110	448	
20:00	-823	-1042	-1126	-887		20:00	-731	-930	-1005	-788		20:00	-598	-780	-844	-553	
21:00	-754	-965	-1043	-810		21:00	-709	-919	-993	-735		21:00	-664	-873	-943	-586	
22:00	-679	-879	-950	-725		22:00	-646	-843	-912	-659		22:00	-578	-745	-806	-538	
23:00	-628	-831	-899	-572		23:00	-577	-751	-812	-541		23:00	-471	-561	-606	-499	
Opgeteld	-20031	-15423	-16721	-18522	Wh	Opgeteld	-3298	-910	-1313	3478	Wh	Opgeteld	15479	12757	13194	27555	Wh
Tekort	-20031	-15423	-16721	-18522	Wh	Tekort	-8261	-8589	-9317	-8399	Wh	Tekort	-5305	-6286	-6823	-5669	Wh
Overschot	0	0	0	0	Wh	Overschot	4963	7679	8004	11877	Wh	Overschot	20783	19043	20017	33224	Wh
Totaal Tekort: -70697 Wh Overschot: 0 Wh						Totaal Tekort: -34566 Wh Overschot: 32523 Wh						Totaal Tekort: -24083 Wh Overschot: 93068 Wh					

Erwin Gerards

Laurent Schijns

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 131 van 140

datum 12 juni 2009

Maand oktober

Minimaal Opwek Maximaal Verbruik						Gemiddeld Opwek Gemiddeld Verbruik						Maximaal Opwek Minimaal Verbruik					
	Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4	
0:00	-591	-738	-798	-546		0:00	-446	-494	-534	-505		0:00	-380	-404	-437	-469	
1:00	-487	-533	-576	-530		1:00	-401	-409	-442	-494		1:00	-361	-363	-393	-461	
2:00	-432	-423	-458	-516		2:00	-384	-375	-406	-486		2:00	-353	-350	-379	-449	
3:00	-411	-386	-417	-511		3:00	-380	-367	-397	-479		3:00	-359	-356	-385	-439	
4:00	-415	-386	-417	-512		4:00	-385	-372	-402	-477		4:00	-357	-344	-372	-432	
5:00	-467	-441	-476	-534		5:00	-420	-407	-440	-493		5:00	-370	-357	-386	-437	
6:00	-675	-620	-670	-635		6:00	-560	-519	-561	-571		6:00	-380	-363	-393	-442	
7:00	-965	-721	-780	-920		7:00	-772	-610	-660	-754		7:00	-329	-330	-358	-330	
8:00	-1300	-777	-841	-1058		8:00	-943	-582	-632	-750		8:00	-55	-114	-132	145	
9:00	-1430	-756	-819	-1142		9:00	-747	-272	-305	-325		9:00	585	422	431	1156	
10:00	-1359	-683	-742	-1009		10:00	-336	151	143	305		10:00	1112	930	969	1945	
11:00	-1271	-591	-645	-858		11:00	-59	424	432	695		11:00	1714	1542	1617	2823	
12:00	-1352	-647	-705	-953		12:00	255	695	719	1081		12:00	2327	2174	2287	3720	
13:00	-1272	-609	-664	-899		13:00	400	815	847	1246		13:00	2362	2212	2327	3718	
14:00	-1405	-743	-805	-1129		14:00	199	623	644	937		14:00	1962	1830	1923	3119	
15:00	-1275	-623	-678	-955		15:00	4	382	388	636		15:00	1786	1639	1720	2880	
16:00	-1406	-852	-922	-1107		16:00	-505	-245	-278	-134		16:00	982	823	856	1700	
17:00	-1436	-1062	-1148	-1171		17:00	-743	-693	-754	-615		17:00	14	-162	-189	354	
18:00	-1215	-1200	-1297	-1087		18:00	-856	-1020	-1104	-794		18:00	-530	-754	-819	-332	
20:00	-927	-1186	-1282	-913		20:00	-809	-1027	-1111	-797		20:00	-735	-968	-1047	-615	
21:00	-843	-1086	-1174	-836		21:00	-736	-937	-1013	-736		21:00	-680	-882	-953	-582	
22:00	-758	-996	-1077	-768		22:00	-665	-847	-916	-667		22:00	-575	-706	-763	-535	
23:00	-699	-914	-988	-691		23:00	-550	-661	-715	-556		23:00	-452	-504	-545	-494	
Opgeteld	-23403	-18193	-19699	-20261	Wh	Opgeteld	-10707	-7842	-8681	-5579	Wh	Opgeteld	6224	3673	3561	14995	Wh
Tekort	-23403	-18193	-19699	-20261	Wh	Tekort	-11566	-10932	-11853	-10479	Wh	Tekort	-6619	-7899	-8569	-6565	Wh
Overschot	0	0	0	0	Wh	Overschot	859	3090	3172	4901	Wh	Overschot	12844	11572	12130	21560	Wh
Totaal Tekort: -81556 Wh Overschot: 0 Wh						Totaal Tekort: -44830 Wh Overschot: 12022 Wh						Totaal Tekort: -29652 Wh Overschot: 58106 Wh					

Erwin Gerards
Laurent Schijns



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 132 van 140

datum 12 juni 2009

Maand november

Minimaal Opwek Maximaal Verbruik						Gemiddeld Opwek Gemiddeld Verbruik						Maximaal Opwek Minimaal Verbruik					
	Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4			Gebouw 1	Gebouw 2	Gebouw 3	Gebouw 4	
0:00	-573	-695	-751	-539		0:00	-502	-590	-637	-497		0:00	-450	-508	-549	-484	
1:00	-487	-522	-564	-522		1:00	-432	-448	-485	-479		1:00	-407	-413	-447	-461	
2:00	-444	-436	-472	-512		2:00	-402	-390	-421	-470		2:00	-391	-378	-409	-449	
3:00	-429	-398	-430	-509		3:00	-394	-370	-400	-465		3:00	-384	-366	-396	-441	
4:00	-424	-390	-422	-508		4:00	-390	-364	-394	-463		4:00	-380	-362	-392	-433	
5:00	-470	-413	-447	-537		5:00	-421	-374	-404	-484		5:00	-382	-348	-377	-437	
6:00	-617	-499	-540	-634		6:00	-533	-435	-470	-560		6:00	-408	-376	-407	-467	
7:00	-957	-691	-747	-908		7:00	-776	-578	-626	-757		7:00	-402	-399	-433	-452	
8:00	-1372	-790	-855	-1116		8:00	-1002	-592	-642	-786		8:00	-177	-226	-252	-46	
9:00	-1538	-844	-914	-1148		9:00	-960	-470	-515	-579		9:00	221	105	95	657	
10:00	-1527	-822	-891	-1123		10:00	-738	-245	-277	-232		10:00	857	745	771	1619	
11:00	-1432	-722	-785	-982		11:00	-540	-53	-73	47		11:00	1139	1034	1078	1987	
12:00	-1503	-846	-917	-1110		12:00	-394	47	32	195		12:00	1547	1418	1485	2584	
13:00	-1477	-831	-900	-1123		13:00	-526	-87	-109	-56		13:00	979	901	939	1708	
14:00	-1476	-834	-903	-1146		14:00	-649	-211	-239	-258		14:00	664	613	634	1237	
15:00	-1464	-857	-927	-1160		15:00	-910	-500	-545	-682		15:00	-119	-141	-163	77	
16:00	-1448	-996	-1076	-1190		16:00	-1054	-779	-844	-906		16:00	-534	-612	-665	-454	
17:00	-1294	-1294	-1399	-1095		17:00	-1068	-1145	-1238	-925		17:00	-798	-1045	-1130	-599	
18:00	-1088	-1313	-1419	-986		18:00	-957	-1208	-1306	-846		18:00	-845	-1160	-1254	-609	
20:00	-937	-1236	-1336	-843		20:00	-832	-1113	-1203	-740		20:00	-760	-1031	-1115	-588	
21:00	-825	-1112	-1202	-779		21:00	-757	-1018	-1101	-688		21:00	-706	-950	-1027	-558	
22:00	-748	-1014	-1097	-706		22:00	-685	-923	-998	-624		22:00	-662	-889	-961	-519	
23:00	-698	-933	-1009	-568		23:00	-622	-819	-885	-524		23:00	-550	-690	-746	-494	
Opgeteld	-24236	-19800	-21422	-20664	Wh	Opgeteld	-16442	-13860	-15074	-12573	Wh	Opgeteld	-3767	-6210	-6941	1776	Wh
Tekort	-24236	-19800	-21422	-20664	Wh	Tekort	-16442	-13907	-15106	-12815	Wh	Tekort	-9174	-11026	-11944	-8093	Wh
Overschot	0	0	0	0	Wh	Overschot	0	47	32	242	Wh	Overschot	5407	4815	5003	9869	Wh
Totaal Tekort: -86123 Wh Overschot: 0 Wh						Totaal Tekort: -58271 Wh Overschot: 322 Wh						Totaal Tekort: -40327 Wh Overschot: 25094 Wh					

Erwin Gerards

Laurent Schijns

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 133 van 140

datum 12 juni 2009

Maand december

Minimaal Opwek Maximaal Verbruik						Gemiddeld Opwek Gemiddeld Verbruik						Maximaal Opwek Minimaal Verbruik					



rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 134 van 140

datum 12 juni 2009

Bijlage 16 Jaar totaal

Tekort WvM	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Worstcase	-90967	-81904	-77168	-67582	-60946	-62463	-526329	-57250	-70697	-81556	-86123	-90931
Average case	-66218	-51351	-42168	-30767	-25488	-22951	-23603	-26961	-34566	-44830	-58271	-68581
Bestcase	-42633	-37838	-28022	-22013	-17978	-17432	-17871	-19745	-24083	-29652	-40327	-47642
aantal dagen totaal	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31

Worstcase	-2820	-2293	-2392	-2027	-1889	-1874	-16316	-1775	-2121	-2528	-2584	-2819	-41439	kWh
Average case	-2053	-1438	-1307	-923	-790	-689	-732	-836	-1037	-1390	-1748	-2126	-15068	kWh
Bestcase	-1322	-1059	-869	-660	-557	-523	-554	-612	-722	-919	-1210	-1477	-10485	kWh

Overschot WvM	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Worstcase	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
Average case	0	0	13260	41406	76871	73858	64929	51898	32523	12022	322	0
Bestcase	0	39588	80384	115170	142621	157382	150271	130930	93068	58106	25094	10035
totaal												

Worstcase	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh
Average case	0	0	411	1242	2383	2216	2013	1609	976	373	10	0	11232	kWh
Bestcase	0	1108	2492	3455	4421	4721	4658	4059	2792	1801	753	311	30573	Kwh

het jaarberekend totaal overschot

Worstcase	-41439	kWh
Average case	-3836	kWh
Bestcase	20088	kWh

Erwin Gerards

Laurent Schijns

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 135 van 140

datum 12 juni 2009

Bijlage 17 Kosten van verschillende opslagsystemen

Technologie	Huidig cyclus rendement [%]	Toekomstig cyclus rendement [%]	Levensduur [jaar]	Investerings kosten vermogen [€/kW]	Investerings kosten capaciteit [€/kWh]	Onderhoudskosten [€/kWh.j]
pompaccumulatie, water	75	82	40	725	100	4
pompaccumulatie, lucht	70	75	40	425	60	1,5
loodaccu	75	77	5	250	225	1,5
flowbatterij: vanadium	82	85	15	2500	800	5
flowbatterij: PSB	70	80	15	1600	125	laag
flowbatterij: ZnBr	75	80	10	250	400	laag
natriumzwavel batterij	85	85	15	1700	250	onbekend
lithium batterij	92	94	onbekend	2500	1600	onbekend
nikkelcadmium batterij	62	66	20	250	1000	onbekend

(Bron: ECN, 2004 & H4 hulpsystemen)

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"
 pagina 136 van 140
 datum 12 juni 2009

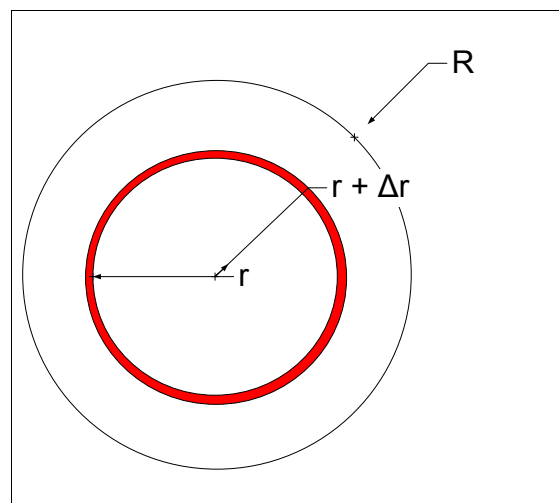
Bijlage 18 Werking vliegwiel

Om de energie in het vliegwiel uit te rekenen moet gebruik worden gemaakt van de formule voor kinetische energie van een massa m (in kg) en de snelheid (v) in m/s.

$$E = \frac{1}{2} m * v^2$$

Vergelijking 10

Probleem hierbij is, dat de snelheid van een massa afhankelijk is van de afstand tot het middelpunt waarom het vliegwiel draait. We beschouwen nu een cirkeltje met straal r en dikte Δr . (in de figuur aangegeven met rood)



figuur 63 Vliegwiel

We nemen aan, dat alle rode massa dezelfde snelheid heeft. Het materiaal heeft verder een dichtheid $\rho = \text{kg/m}^3$. De dikte van het wiel is d in meter. De massa van een schillete of afstand r van het draaipunt is dan

$$\Delta m = (2\pi r) * d * \Delta r * \rho$$

Vergelijking 11

Bij n aantal omwentelingen per seconde is de snelheid op afstand r van het midden

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 137 van 140

datum 12 juni 2009

$$v = (2\pi r) * n$$

Vergelijking 12

Gecombineerd is de energie in het schilletje op afstand r van het draaipunt:

$$\Delta E = 4\pi^3 * d * \rho * n^2 * r^3 * \Delta r$$

Vergelijking 13

Zodat

$$E = 4\pi^3 * d * \rho * n^2 \int_0^R r^3 dr$$

Vergelijking 14

Nu is de totale massa M van het wiel

$$M = \pi R^2 * d * \rho$$

Vergelijking 15

wat de formule vereenvoudigt tot

$$E = M * \pi^2 * n^2 * R^2$$
$$E = M * (\pi * n * R)^2$$

Vergelijking 16

Nu is de snelheid v van een punt op de omtrek

$$E = M * \pi^2 * n^2 * R^2$$
$$v = 2\pi * n * R$$

Vergelijking 17

Dit gecombineerd geeft

$$E = \frac{1}{4} m * v^2$$

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

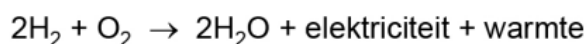
pagina 138 van 140

datum 12 juni 2009

Bijlage 19 Werking brandstofcel

De werking

Een brandstofcel is een elektrochemisch systeem waarin chemische energie direct wordt omgezet in elektriciteit zoals weergegeven in het onderstaande schema.



Figuur 64 Schematische Brandstofcel

De chemische energie die aanwezig is (door samenkomen van bv. waterstof en zuurstof of lucht) wordt via een elektrochemische weg omgezet in elektrische energie in de vorm van spanning en stroom zonder dat er een verbranding bij te pas komt. Naast de elektrische energie komt er tevens warmte en water vrij.

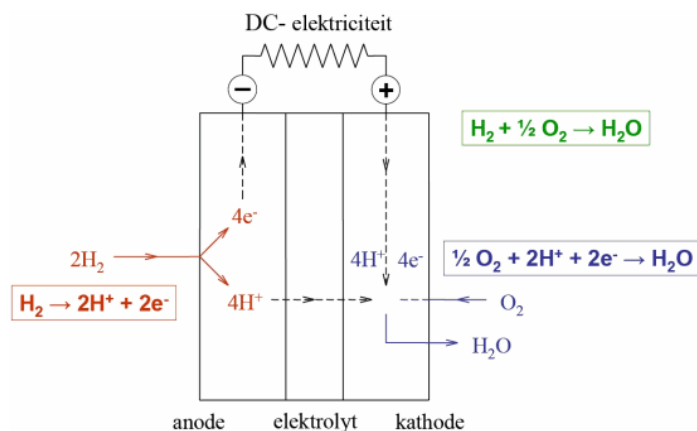
De brandstofcel zelf bestaat uit twee elektrodes (anode en kathode) en een elektrolyt tussen beide elektrodes. De elektrolyt heeft de eigenschap ionen te kunnen geleiden, maar geen geleider te zijn van elektronen.

In het geval van een brandstofcel met een zuur als elektrolyt vinden de volgende elementaire elektrochemische reacties plaats. Aan de anode vindt de reactie van de brandstof (bv. waterstof) plaats, dit houdt in dat waterstofmoleculen (H_2) gesplitst worden in 2 waterstofionen (2H^+) en twee elektronen (2e^-). De waterstofionen bewegen zich door het elektrolyt, en de elektronen verplaatsen zich via de aangesloten belasting naar de kathode. Tijdens dit proces worden aan de kathode van de brandstofcel zuurstofmoleculen (O_2) gereduceerd tot zuurstofionen (O^{2-}) onder opname van de elektronen die afkomstig zijn van de anode. Samen met de via de elektrolyt aangevoerde waterstofionen wordt in een zure brandstofcel aan de kathode water gevormd. In de meeste brandstofcellen kan aan de kathode lucht worden toegevoerd in plaats van zuivere zuurstof. Uit de lucht wordt dan enkel de zuurstof verbruikt.

rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 139 van 140

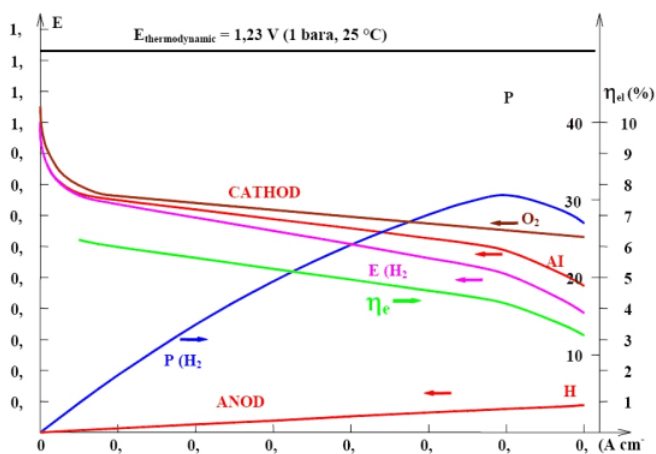
datum 12 juni 2009



Figuur 65 Scheikundige Weergave

Als we een enkele brandstofcel beschouwen is de aan de klemmen geleverde spanning ongeveer 0,6 V bij een stroomdichtheid van bv. 400 mA per cm² elektrodeoppervlak. De thermodynamische openkring klemspanning bedraagt ongeveer 1,23 V. Door een aantal ongewenste nevenreacties beperkt de nullast spanning zich tot ongeveer 0,95 V.

Om tot bruikbare spanningen en vermogens te komen zullen een aantal cellen in serie of parallel worden geschakeld. Het resultaat wordt een brandstofcel-stack genoemd. Zo levert bijvoorbeeld een stack bestaande uit 50 in serie geschakelde cellen (met per cel een werkzaam oppervlak van 400 cm²) een elektrisch vermogen van 4,8 kW (30 V bij 160 A) en een openkring- of nullast spanning van ongeveer 47,5 V.



figuur 66 Verschillende Materie

De karakteristiek of performance van een brandstofcel wordt onder andere weergegeven door een zogenaamde polarisatiecurve die het verband geeft tussen de klemspanning en de gegenereerde stroom, meestal uitgedrukt in de stroomdichtheid mA per cm² elektrodeoppervlak. Aan de hand van deze curven kunnen de specifieke elektrische vermogens en het elektrische rendement becijferd worden.

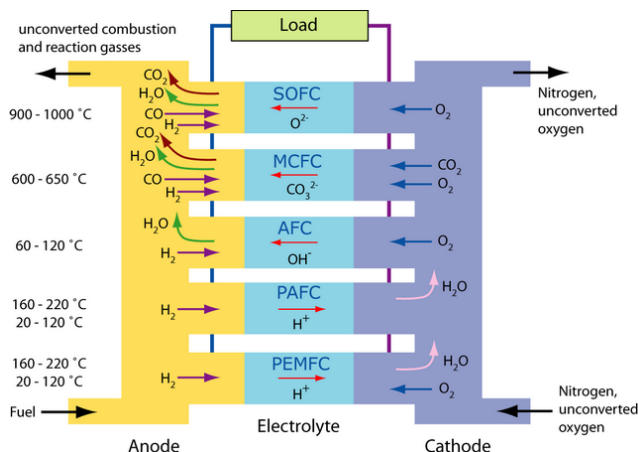
rapport afstudeerverslag - Microgrid voor "de Wijk van Morgen"

pagina 140 van 140

datum 12 juni 2009

Soorten

Brandstofcellen zijn er in verschillende soorten met verschillende eigenschappen en vermogen.



Figuur 67 Verschillende soorten

Hieronder zijn enkele verschillende typen brandstofcellen beschreven, van klein naar groot vermogen.

	DMFC	PEMFC	PAFC	AFC	MCFC	SOFC
Fuel cell type	Direct Methanol Fuel Cell	proton exchange membrane (a.k.a. polymer electrolyte membrane)	Phosphoric acid fuel cells	Alkaline Fuel Cell	Molten Carbonate Fuel Cells	Solid Oxide Fuel Cells
Electrolyte type	Polymeric ion exchange membrane	Polymeric ion exchange membrane	Immobilised liquid phosphoric acid	Immobilised alkaline salt solution	Immobilised liquid molten carbonate	Ceramic
Operating temperature (°C)	20 – 90	30 – 100	~220	50 – 200	~650	500 – 1000
Charge carrier	H ⁺	H ⁺	H ⁺	OH ⁻	CO ₃ ²⁻	O ²⁻
Power range (W)	1 – 100	1 – 100k	10k – 1M	500 – 10k	100k – 10M+	1k – 10M+

(bron wiki)

Zoals in bovenstaande tabel staat vermeld zijn brandstofcellen van groot vermogen ook van andere elektrolyt voorzien. Deze brandstofcellen werken ook op een andere temperatuur. Dit heeft als nadeel dat deze niet zo maar in of uit geschakeld kunnen worden.

Erwin Gerards

Laurent Schijns