

De toepassing van windenergie in glastuinbouwclusters

Analyse synchroniteit van windaanbod en elektriciteitsvraag

J.P.G. Huijs
H.F. de Zwart
F.L.K. Kempkes
N.J. van de Braak
J.J.G. Breuer



november 2000

Nota P 2000-79



De toepassing van windenergie in glastuinbouwclusters

Analyse synchroniteit van windaanbod en elektriciteitsvraag

J.P.G. Huijs
H.F. de Zwart
N.J. van de Braak
F.L.K. Kempkes
J.J.G. Breuer

november 2000

IMAG Nota P 2000-79

Financiering door: Novem bv en Productschap Tuinbouw

Samenvatting

In de glastuinbouw staan grote structurele veranderingen op stapel. In de toekomst zullen aaneengesloten gebieden worden gevormd bestaande uit een groot aantal glastuinbouwbedrijven, waarbij o.a. voordelen worden gezien m.b.t. de infrastructuur met een gezamenlijke energievoorziening voor deze bedrijven.

Toepassing van duurzame energie is een must voor de energievoorziening in de toekomst. Windenergie wordt algemeen als een belangrijke duurzame energie optie gezien.

In de agrarische sector staat met 50 MW_e ongeveer 12% van het totale Nederlandse windvermogen opgesteld. De turbines zijn vrijwel allemaal solitair opgesteld en hebben een relatief gering vermogen. In de glastuinbouw staan momenteel enkele windturbines opgesteld.

In deze studie zijn de mogelijkheden geanalyseerd voor de toepassing van windenergie in de glastuinbouw. Nagegaan is tevens of inzet van windturbines bij glastuinbouwclusters voordelen oplevert.

Als uitgangspunt is gekozen voor bedrijven (100 ha) met verschillende teelten. De samenstelling van de bedrijven is als volgt: tomaat (15 ha), paprika (15 ha), radijs (10 ha), roos met belichting (20 ha), fresia (10 ha), potplanten (15 ha), chrysant zonder belichting (10 ha) en chrysant met belichting (5 ha). Nagegaan zijn de effecten bij toepassing van een windturbine voor de afzonderlijke teelten alsmede de inzet in de elektriciteitsvoorziening voor de totale bedrijvencluster.

De berekeningen zijn gebaseerd op de inzet in het kustgebied.

Het elektriciteitsverbruik bij de geselecteerde gewassen varieert van ongeveer 6 kWh/m² tot 156 kWh/m² per jaar. Het jaarlijkse elektriciteitsverbruik voor tomaten, paprika, radijs, chrysant (zonder belichting) en potplanten is ongeveer gelijk (6 tot 7 kWh/m²) en kent een vlak maandverloop. De fresiateelt (grondkoeling) heeft een elektriciteitsverbruik, dat 5 tot 6 keer hoger ligt dan bij groentegewassen. De belichte teelten (40 W/m² elektrisch), roos en chrysant hebben een elektriciteitsverbruik, dat ongeveer een factor 20 hoger is dan gewassen in de glasgroenteteelt.

Voor 3 verschillende jaren (windrijk, windarm en een referentiejaar) is de elektriciteitsproductie berekend bij toepassing van een windturbine met een vermogen van 1.65 MW_e. Bij een "Ecostrøm Neutraal Windturbine Vermogen" (d.w.z. op jaarbasis is de elektriciteitsproductie van de windturbine gelijk aan de vraag van de teelt) zijn in het referentiejaar (1993) voor de genoemde bedrijven (100 ha) ruim 11 windturbines vereist.

Uit de berekeningen komt naar voren dat, uitgaande van een Ecostrøm Neutraal Windturbine Vermogen, er in de jaren '90, '91 en '93 op basis van de uurlijkse elektriciteitsproductie bij tomaat, paprika, radijs, chrysant (zonder belichting) en potplanten een dekking van 51 tot 56% van de elektriciteitsvraag kan worden gerealiseerd.

Bij fresia (grondkoeling) is de dekking op basis van uurlijkse vraag en aanbodwaarden het laagst (25%). Bij assimilatiebelichting van chrysanten en rozen bedraagt de dekking 34 tot 49%.

Door clustering van de eerder genoemde glastuinbouwteelten (100 ha) zou in het referentiejaar (1993) de dekkingsgraad op basis van de uurlijkse elektriciteitsproductie kunnen worden verhoogd van 41% naar 49%. In een windrijk jaar (1990) zou clustering van windvermogen de dekking verhogen van 47 naar 55% en in het windarm jaar (1991) van 37% naar 45%.

Bij opwekking in clusterverband is de dekkingsgraad afhankelijk van de samenstelling van de teelten van de bedrijven in de cluster. Voor de in dit rapport gekozen samenstelling van teelten wordt door clustering voor alle bedrijven samen een hogere dekkingsgraad gerealiseerd. Voor bepaalde teelten (tomaat, paprika, radijs, potplant en chrysant (zonder belichting)) levert deelname aan de genoemde cluster - door afname van de synchroniteit van vraag en aanbod - echter een lagere dekking op.

Clustering levert voordelen op indien de teelten binnen de cluster een complementair vraagpatroon hebben. Zo zal combinatie van belichte rozen (hoge elektriciteitsvraag in de winter en zeer laag in de zomer) gunstig zijn voor clustering met fresia (hoge elektriciteitsvraag in de zomer).

Inhoud

Samenvatting	2
Inhoud	3
1 Inleiding	4
2 Elektriciteitsproductie met windenergie	5
2.1 Algemeen.....	5
2.2 Windsnelheid	5
2.3 Windturbines	6
2.4 Elektriciteitsproductie.....	7
3 Elektriciteitsvraag	9
3.1 Algemeen.....	9
3.2 Klimaatinstellingen van de teelten.....	9
3.3 Cluster van bedrijven.....	9
3.4 Elektriciteitsvraag gewassen.....	10
4 Elektriciteitsdekking	12
5 Conclusies en aanbevelingen	15
6 Literatuur	16

1 Inleiding

Het convenant Glastuinbouw en Milieu (GLAMI) heeft als doelstelling om in 2010 van de totale energiebehoefte in de glastuinbouw 4% met duurzame energie op te wekken. Windenergie wordt door de overheid gezien als een belangrijke duurzame energiebron voor de toekomst. Uit een scenariostudie (volgens European Co-ordination EC-basis) is naar voren gekomen dat windenergie in 2010 in de glastuinbouw een energiebijdrage van 2,51 PJ per jaar kan leveren (De Lange en Van Dril, 1998). Aan windenergie wordt dan met een aandeel van ongeveer 45% van alle in deze sector opgewekte duurzame energie het grootste toepassingspotentieel toebedacht.

Eind 1998 bedroeg het totaal in Nederland opgestelde windvermogen 363 MW_e (van der Knijff, 1999). De overheid streeft naar een totaal windvermogen van 3000 MW_e in 2020, waarvan ongeveer de helft op het land geplaatst zal zijn.

In 1998 stond in de agrarische sector ongeveer 50 MW_e windvermogen opgesteld. De meeste windturbines staan opgesteld in de akkerbouw en veehouderij. In de glastuinbouw staan momenteel enkele kleinere turbines.

IMAG heeft onderzoek uitgevoerd om na te gaan in welke mate de benuttingsgraad van windenergie wordt beïnvloed door clustering van glastuinbouwbedrijven.

Om een gefundeerd antwoord op deze vraagstelling te verkrijgen is echter allereerst een verdere analyse van de elektriciteitsvraag van de kas en het elektriciteitsaanbod van windenergie uitgevoerd.

Het elektriciteitsverbruik op glastuinbouwbedrijven vertoont zeer grote verschillen (van Nieuwkoop, 1998).

Op bedrijven met assimilatiebelichting is het elektriciteitsverbruik 15 tot 20 maal hoger dan op bedrijven die niet belichten.

De vraag is gerezen in hoeverre er perspectieven zijn om middels windenergie in de elektriciteitsbehoefte van glastuinbouwbedrijven te kunnen voorzien. Hierbij speelt de afstemming van vraag en aanbod van elektriciteit een cruciale rol.

In het door IMAG uitgevoerde onderzoek zijn berekeningen uitgevoerd ten einde inzicht te verkrijgen in de bijdrage van met windturbines opgewekte elektriciteit aan de elektriciteitsbehoefte van een kas. De berekeningen zijn uitgevoerd voor 8 verschillende teelten. Bovendien is nagegaan of clustering van bedrijven tot een hogere dekkinggraad leidt.

Dit rapport geeft de resultaten van het onderzoek weer. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op in Nederland optredende windsnelheden en de daarbij horende elektriciteitsproductie met windturbines. In hoofdstuk 3 wordt de elektriciteitsvraag voor verschillende teelten nader geanalyseerd. In hoofdstuk 4 is de elektriciteitsdekking met windenergie berekend voor afzonderlijke teelten alsmede voor een clustering van bedrijven. En in hoofdstuk 5 tenslotte zijn de conclusies en aanbevelingen vermeld.

2 Elektriciteitsproductie met windenergie

2.1 Algemeen

Eind 1999 stonden in Nederland 1250 windturbines opgesteld met een totaal windvermogen van 409 MW_e en een elektriciteitsproductie van 645 GWh (Projectbureau Duurzame Energie, 2000). De vermeden fossiele brandstof bedroeg in 1999 ongeveer 5,3 PJ. Na bio-energie is windenergie momenteel de belangrijkste duurzame energie-optie.

In de agrarische sector stonden eind 1998 ongeveer 275 turbines (totaal 50 MW_e) opgesteld (van der Knijff, 1999). Het turbinevermogen in de agrarische sector is met gemiddeld 182 kW_e/turbine veel geringer dan bij andere toepassingen (gemiddeld 320 kW_e/turbine). Ongeveer 60 % van alle turbines in de agrarische sector zijn vóór 1990 geplaatst. Het vermogen van deze turbines is bijna altijd kleiner dan 80 kW_e. Recent geplaatste turbines jaren hebben meestal een vermogen van 500 kW_e of meer.

Ongeveer 85% van de windturbines in de agrarische sector zijn solitair opgesteld. Een beperkt aantal turbines staat in groepjes van 2 tot 3. Energiebedrijven zijn vaak eigenaar van de grotere windparken.

Op akkerbouwbedrijven staan de meeste turbines, gevolgd door melkveehouderijbedrijven. Verder staan er een aantal turbines op glastuinbouw-, bloembollen-, boomkwekerij- en pluimveehouderijbedrijven.

De meeste bedrijven leveren de opgewekte elektriciteit aan het openbare net. Op slechts een gering aantal bedrijven wordt de opgewekte elektriciteit direct in het bedrijf ingezet.

2.2 Windsnelheid

Nagegaan is in hoeverre er langjarige windsnelheidsgegevens beschikbaar zijn van een locatie, die als representatief voor de glastuinbouw kan worden aangemerkt.

Voor Schiphol en De Bilt zijn uurlijkse meetwaarden op 10 m hoogte beschikbaar over de periode 1990 – 1997 (KMNI, 1999). Schiphol wordt representatief voor de glastuinbouw geacht. Omdat de verschillen van uur tot uur groot zijn en de synchroniteit tussen vraag en aanbod centraal staat is in alle berekeningen gebruik gemaakt van urengegevens.

Om een indruk te geven van verschillen in windsnelheid voor verschillende locaties en jaren zijn in Tabel 2-1 de gemiddelde maandelijkse windsnelheden voor Schiphol voor de jaren 1990 (windrijk), 1991 (windarm) en 1993 (referentie) en voor De Bilt (1989–1999) op 10 meter hoogte weergegeven.

Tabel 2-1 Gemiddelde maandelijkse windsnelheid op 10 m hoogte in een windrijk jaar (1990), een windarm jaar (1991) en een gemiddeld jaar (1993) op Schiphol en de gemiddelde windsnelheid in De Bilt in de periode 1989-1999.

maand	Schiphol 1990 [m/s]	Schiphol 1991 [m/s]	Schiphol 1993 [m/s]	De Bilt 1989 – 1999 [m/s]
januari	7,57	6,23	8,50	4,32
februari	8,86	4,89	4,90	4,21
maart	6,51	4,79	5,48	4,07
april	5,57	5,90	5,09	3,57
mei	3,76	4,73	5,49	3,29
juni	3,96	5,65	4,13	3,14
juli	4,69	4,59	4,94	3,04
augustus	3,99	3,73	4,28	2,79
september	4,49	3,87	4,07	2,93
oktober	5,89	4,66	4,87	3,39
november	4,58	5,91	4,74	3,47
december	6,28	5,30	7,44	4,02
jaargemiddelde	5,51	5,02	5,34	3,52

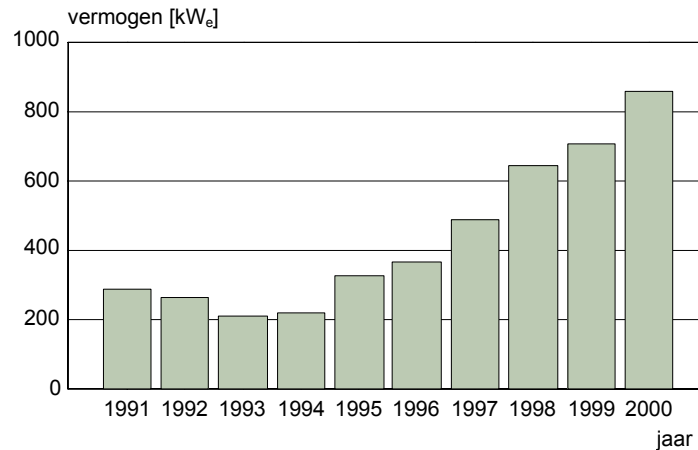
Uit de tabel kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De gemiddelde maandelijkse windsnelheid voor Schiphol vertoont van maand tot maand grote fluctuaties.
- In de winter is de gemiddelde windsnelheid groter dan in de zomer.
- Een windrijk en een windarm jaar verschillen in gemiddelde windsnelheid niet zoveel ten opzichte van een gemiddeld jaar (<6%).

- De langjarig gemiddelde windsnelheid op 10 meter hoogte is in Schiphol maar liefst 52% hoger dan de langjarige gemiddelde windsnelheid in De Bilt.

2.3 Windturbines

Het turbinevermogen van de in het laatste decennium geplaatste windturbines in Nederland is sterk toegenomen. In Figuur 2-1 is te zien dat het gemiddelde turbinevermogen van nieuw geplaatste molens in de jaren 1998 en 1999 meer dan het drievoudige was van dat in de jaren 1993 en 1994 (KEMA, 2000).



Figuur 2-1 Gemiddelde geïnstalleerde vermogens van in Nederland nieuw geplaatste windturbines (bron: KEMA)

Steeds vaker worden nieuwe turbines van meer dan 1 MW_e geplaatst. Zo werden begin 2000 bij Dronten 7 windturbines met een vermogen van 1,65 MW_e in bedrijf gesteld. Ook bij Almere komt binnenkort een windpark van 10 turbines met een vermogen van 1,65 MW_e per turbine gereed.

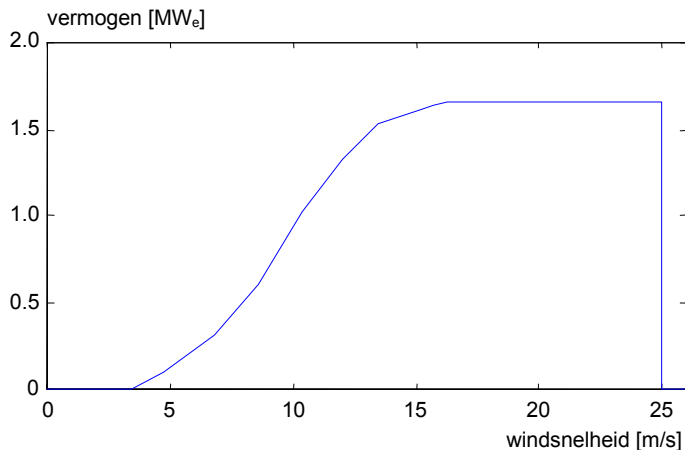
Momenteel zijn alle fabrikanten druk doende met de ontwikkeling van turbines met een nog groter vermogen. In Duitsland is begin februari 2000 een windturbine met een vermogen van 2,5 MW_e in bedrijf gesteld. Meerdere fabrikanten verwachten in 2001 of 2002 commerciële turbines te kunnen leveren met een vermogen van 4 tot 5 MW_e. Deze turbines zullen worden uitgerust met een rotor met een wiekdiameter van ongeveer 120 m en een ashoogte van circa 100 m.

Vrijwel alle turbines staan opgesteld in het westen en noorden van het land, met de grootste concentraties aan weerszijden van de afsluitdijk. In het zuiden en oosten staan momenteel vrijwel geen windturbines. Gezien de recente en in de toekomst te verwachten ontwikkelingen met betrekking tot turbinevermogens, is bij de berekeningen van de elektriciteitsproductie met windenergie uitgegaan van een turbine met een vermogen van 1,65 MW_e.

Onderstaand zijn de belangrijkste uitgangspunten weergegeven die in de berekeningen zijn gehanteerd. De gegevens zijn gebaseerd op technische prestaties van de Vestas V 66 (info fabrikant):

- Elektrisch vermogen, 1,65 MW_e.
- Rotordiameter, 66 m en bestrijkt een oppervlakte van 3.421 m².
- Ashoogte van de turbine, 67 m.

In Figuur 2-2 is de relatie tussen opgewekt vermogen en windsnelheid van deze turbine weergegeven.



Figuur 2-2 Relatie windsnelheid op ashoogte en opgewekt vermogen van de Vestas V 66 windturbine

Vanaf een windsnelheid van 4 m/s begint de turbine elektriciteit te produceren. Per jaar zijn er ongeveer 2000 uur met een windsnelheid < 4 m/s. Bij 17 m/s wordt het maximale vermogen van 1,65 MW_e bereikt. Bij windsnelheden hoger dan 25 m/s wordt de turbine stil gezet (ca. 15 uur per jaar).

2.4 Elektriciteitsproductie

De berekeningen van de elektriciteitsproductie zijn uitgevoerd op basis van uurlijkse windsnelheidsgegevens voor Schiphol in 1990 (windrijk) en 1991 (windarm) en 1993 (referentie) voor een Vestas V66–1,65 MW_e windturbine (KMNI, 1999).

Bij klimaatdata vermelde windsnelheden worden normaliter gemeten op de standaardhoogte van 10 m (U₂). Om de windsnelheid op de ashoogte van de windturbine te bepalen moet er een correctiefactor worden toegepast. Deze factor is afhankelijk van de ruwheid van het terrein en de hoogte waarnaar de windsnelheid moet worden getransponeerd (U₁). De Bilt en Schiphol hebben een terreinruwheidsfactor (Z₀) van respectievelijk 0,57 en 0,03.

Voor Schiphol is de correctiefactor voor een windturbine met een ashoogte van 67 m berekend met de volgende formule (Wieringa, 1983):

$$U_1/U_2 = \ln(Z_1/Z_0) / \ln(Z_2/Z_0) \rightarrow U_{67} = \ln(67/0.03) / \ln(10/0.03) = 1.328 * U_{10}$$

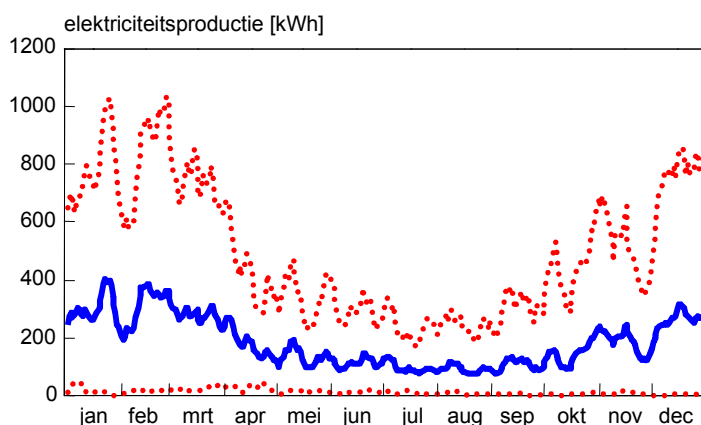
De windsnelheid op ashoogte (67 m) bedraagt in Schiphol 1,328 maal die op 10 m hoogte.

Tabel 2-2 laat zien dat de elektriciteitsproductie in de maanden van een jaar grote verschillen vertoont. Ook de productie per maand voor de 3 gekozen jaren laat grote verschillen zien. Toch is de jaarproductie in een windrijk jaar slechts 10% groter en in het windarme jaar 7% kleiner dan in het referentie (gemiddeld) jaar.

Tabel 2-2 Maandelijkse elektriciteitsproductie van een 1,65 MW_e windturbine met een ashoogte van 67 m voor Schiphol in een windrijk (1990), windarm (1991) en referentiejaar (1993)

	electriciteitsproductie (MWh)		
	1990 (windrijk)	1991 (windarm)	1993 (referentie)
januari	623	464	681
februari	670	293	248
maart	521	288	371
april	387	421	307
mei	153	260	361
juni	203	392	178
juli	296	256	308
augustus	214	159	227
september	249	185	183
oktober	429	277	288
november	252	422	261
december	477	352	622
totaal	4473	3770	4035

Om de verschillen in elektriciteitsproductie in de tijd te laten zien is in Figuur 2-3 een grafiek gegeven waarin de gemiddelde elektriciteitsproductie van een windmolen en de spreiding daarvan is weergegeven. In tegenstelling tot de vorige tabellen is de informatie in Figuur 2-3 gebaseerd op weergegevens voor De Bilt. Dit omdat alleen voor de Bilt gegevens over een langere periode voorhanden zijn. De opbrengstgegevens zijn weer gebaseerd op de 1,65 MW_e turbine. De spreiding is in beeld gebracht door het 10^{de} en 90^{ste} percentiel van de dagelijkse productie te berekenen. Het 10^e percentiel (onderste lijn) geeft het niveau waaronder de productie slechts één keer in de 10 jaar is te verwachten. Het 90^{ste} percentiel (de bovenste lijn) laat zien waarboven de productie slechts eens in de 10 jaar zal voorkomen.



Figuur 2-3 Daggemiddelde uurlijkse elektriciteitsproductie met een windturbine (vermogen 1,65 MW_e) met een ashoogte van 67 m voor de Bilt. De middelste lijn geeft de gemiddelde uurlijkse productie over de jaren 1989-1999 en de onderste lijn het 10^e en de bovenste het 90^{ste} percentiel in die periode

3 Elektriciteitsvraag

3.1 Algemeen

In dit hoofdstuk is het elektriciteitsverbruik voor afzonderlijke teelten en voor een cluster van bedrijven berekend. De berekeningen zijn uitgevoerd met het kasklimaatmodel KASPRO (De Zwart, 1996). De gekozen teelten en de samenstelling van de cluster van bedrijven (100 ha) komen overeen met de door PBG als representatief gekenmerkte gewassen voor toekomstige clusters van bedrijven (Bakker et al., 1998). Daarin zijn drie groentegewassen opgenomen namelijk tomaat, paprika en radijs. Voor de snijbloemensector zijn roos (met belichting), fresia en chrysant (met en zonder belichting) geselecteerd. Ook is de teelt van potplanten opgenomen.

3.2 Klimaatinstellingen van de teelten

Voor de berekening van de standaardverbruiksgegevens per teelt is gebruik gemaakt van het simulatiemodel KASPRO. Uitgangspunt is een moderne Venlo-kas met een hoge lichtdoorlatendheid. De klimaatregelaar die in het model gebruikt wordt is vergelijkbaar met in de praktijk gebruikelijke regelaars zodat het gesimuleerde kasklimaat op een zelfde manier gerealiseerd wordt als in de huidige tuinbouwpraktijk het geval is. De gegenereerde verbruiken gelden per m² en worden berekend door het totale verbruik van het bedrijf te delen door de betaalde oppervlakte.

Het elektriciteitsverbruik wordt gegeven als de hoeveelheid opgenomen elektriciteit (Watt per m²).

Het elektriciteitsverbruik van een modern tuinbouwbedrijf wordt bepaald door de apparatuur die afhankelijk van de teelt op een bedrijf aanwezig zijn. Dit zijn:

- branderventilator
- CO₂-ventilator
- transport- en circulatiepompen
- water(bron)pomp
- luchtingsmotoren
- belichting
- recirculatieventilatoren
- overige, o.a. koelcel, sorteermachine, compressor(en)

Voor deze elektriciteitsverbruikers geldt dat een aantal hiervan een (nagenoeg) vast verbruik heeft. Zo hebben de branderventilator, pompen en de overige verbruikers een elektriciteitsverbruik dat vrijwel gelijk blijft gedurende het jaar. Van andere, zoals de CO₂-ventilator en belichting, varieert het verbruik over het jaar.

De berekeningen van alle standaardteelten zijn gebaseerd op een zeer moderne tuinbouwkas die in de nabije toekomst als standaard verwacht mag worden. De kas heeft bijbehorende eigenschappen met betrekking tot lichtverlies, isolatie en ventilatie. Ten aanzien van de berekeningen met het simulatiemodel gelden nog de volgende eigenschappen:

- lengte/breedte-verhouding: 1
- goothoogte: 4,5 m
- dakhelling: 22,5 °
- kasdek: enkelglas
- gevels: dubbelglas
- oriëntatie kas (gootrichting): noord-zuid

De uitgangspunten voor afzonderlijke teelten zijn zeer recent door IMAG in overleg met gewasspecialisten van het PBG samengesteld en zijn in een onlangs door IMAG uitgevoerde studie uitgebreid beschreven (Swinkels, 2000).

3.3 Cluster van bedrijven

De cluster van bedrijven is samengesteld overeenkomstig de gewassen die in het onderzoek "Kas van de Toekomst" (Bakker et al., 1998) zijn geselecteerd. In deze cluster van 100 ha zijn groenten- (40 ha), snijbloemen- (45 ha) en potplantenbedrijven (15 ha) opgenomen.

Voor de groenteteelt zijn opgenomen de gewassen tomaat (15 ha), paprika (15 ha) en radijs (10 ha). De snijbloemeteelt is vertegenwoordigd door rozen met belichting (20 ha), fresia (10 ha), chrysant zonder belichting (10 ha) en chrysant met belichting (5 ha). Tenslotte zijn potplanten (15 ha) in de cluster opgenomen.

Tomaat 15 ha	Paprika 15 ha	Radijs 10 ha
Roos met belichting 20 ha	Fresia 10 ha	Chrysant zonder belichting 10 ha
Potplanten 15 ha		Chrysant met belichting 5 ha

Figuur 3-1 Teelten en arealen van de cluster van bedrijven.

3.4 Elektriciteitsvraag gewassen

De grote elektriciteitsverbruikende installaties in tuinbouwkassen zijn (in volgorde van jaarlijks verbruik) de assimilatiebelichting, de circulatiepompen, de aanjager van de brander, de CO₂-dosering en de meet- en regelapparatuur. Daarnaast wordt op het bedrijf elektriciteit gebruikt voor allerlei machines (koelcellen, snij- en sorteermachines, acculaders) en voor verlichting. Het verbruik dat met de klimatisering verband houdt is met een simulatiemodel, na te zijn gevoed met relevante parameters, goed te bepalen. Over de tweede categorie is echter weinig te zeggen, daar deze bijzonder bedrijfsspecifiek zijn.

Tabel 3-1 Elektriciteitsvraag van de teelten per maand voor een gemiddeld Nederlands jaar

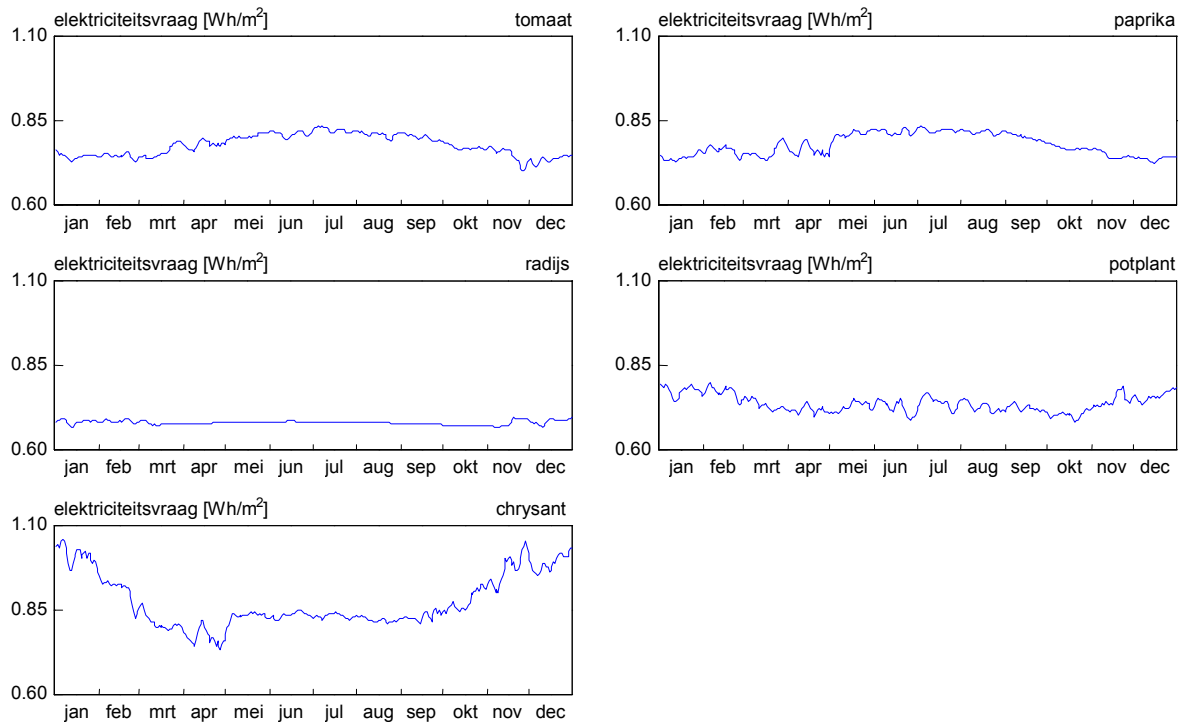
	elektriciteitsvraag in kWh/m ² (%)															
	tomaat		paprika		radijs		roos (belicht)		fresia		chrysant		chrysant (belicht)		potplant	
januari	0.56	(8)	0.55	(8)	0.51	(9)	23.36	(15)	0.45	(1)	0.76	(10)	15.54	(13)	0.58	(9)
februari	0.50	(7)	0.51	(7)	0.46	(8)	19.77	(13)	0.40	(1)	0.61	(8)	13.66	(11)	0.52	(8)
maart	0.56	(8)	0.56	(8)	0.50	(8)	17.19	(11)	0.44	(1)	0.61	(8)	8.58	(7)	0.55	(8)
april	0.56	(8)	0.55	(8)	0.49	(8)	14.19	(9)	0.42	(1)	0.55	(7)	6.84	(6)	0.52	(8)
mei	0.60	(9)	0.60	(9)	0.51	(9)	0.54	(0)	5.24	(14)	0.62	(8)	5.44	(5)	0.54	(8)
juni	0.58	(9)	0.59	(9)	0.49	(8)	0.51	(0)	8.44	(22)	0.60	(8)	4.97	(4)	0.52	(8)
juli	0.61	(9)	0.61	(9)	0.51	(9)	0.53	(0)	9.91	(26)	0.62	(8)	4.46	(4)	0.55	(9)
augustus	0.60	(9)	0.61	(9)	0.51	(8)	0.52	(0)	7.63	(20)	0.61	(8)	6.72	(6)	0.54	(8)
september	0.58	(8)	0.58	(8)	0.49	(8)	14.90	(10)	3.53	(9)	0.60	(8)	7.72	(6)	0.52	(8)
oktober	0.57	(8)	0.57	(8)	0.50	(8)	18.99	(12)	0.43	(1)	0.65	(9)	14.48	(12)	0.52	(8)
november	0.54	(8)	0.54	(8)	0.49	(8)	21.91	(14)	0.42	(1)	0.70	(9)	14.88	(13)	0.54	(8)
december	0.55	(8)	0.55	(8)	0.51	(9)	23.31	(15)	0.44	(1)	0.74	(10)	15.67	(13)	0.57	(9)
totaal	6.81	(100)	6.82	(100)	5.96	(100)	155.73	(100)	37.73	(100)	7.66	(100)	118.98	(100)	6.46	(100)

Uit Tabel 3-1 blijkt dat het elektriciteitsverbruik bij de geselecteerde gewassen varieert van ongeveer 6 kWh/m² tot 155 kWh/m² per jaar. Vooral de belichte teelten, roos en chrysant hebben een hoog elektriciteitsverbruik, dat ongeveer een factor 20 hoger is dan gewassen in de glasgroenteteelt. Ook de fresiateelt heeft een hoger elektriciteitsverbruik, dat 5 tot 6 keer hoger ligt dan bij groentegewassen. Het jaarlijkse elektriciteitsverbruik voor tomaten, paprika, radijs, chrysant (zonder belichting) en potplanten is ongeveer gelijk (6 tot 7 kWh/m²) en kent een vlak maandverloop. Het hoge verbruik bij de belichte teelten (roos en chrysant) is volledig toe te rekenen aan de assimilatiebelichting. Rozen worden in de maanden mei t/m augustus niet belicht. Bij de fresia wordt van

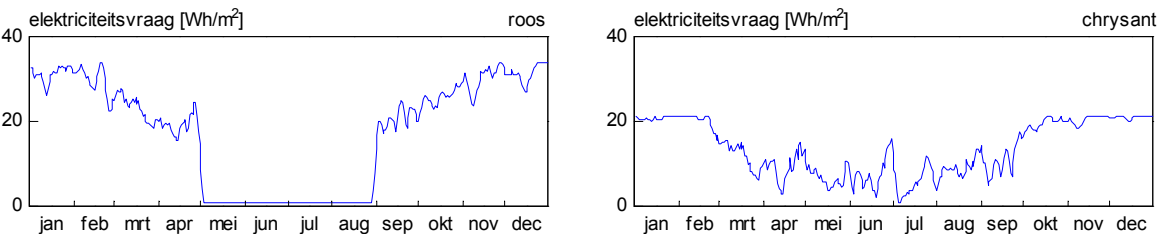
mei t/m september grondkoeling toegepast. Het elektriciteitsverbruik is daardoor in deze periode zeer hoog.

Om naast de tabellarische weergave ook een grafiek te tonen waaruit de dynamiek in de tijd kan worden afgelezen zijn in Figuur 3-2 daggemiddelde verbruiken van alle teelten weergegeven. Duidelijk zichtbaar is dat het patroon met uitzondering van het verbruik dat samenhangt met de assimilatiebelichting en de grondkoeling, grote overeenkomst vertoont. Verschillen in niveau liggen vrij consistent omdat het gebruik van de grote elektriciteitsverbruikers sterk samenhangt met de teeltintensiteit.

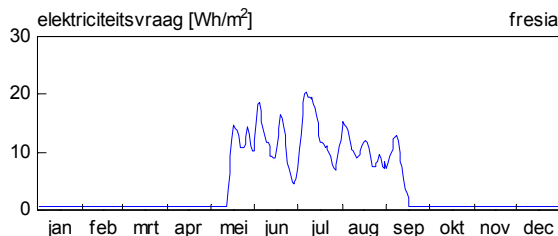
niet belichte teelten



belichte teelten



gekoelde teelt



Figuur 3-2 Daggemiddelde uurlijkse elektriciteitsvraag van de acht geselecteerde gewassen door het jaar heen, onderverdeeld naar niet belichte, belichte en gekoelde teelten.

4 Elektriciteitsdekking

In dit hoofdstuk is de bijdrage van windenergie aan de elektriciteitsvoorziening nagegaan. Daarbij is gekeken naar de gerealiseerde dekking met een windturbine voor de afzonderlijke teelten alsmede voor de in paragraaf 3.3 beschrevenen cluster van bedrijven.

Voor elke teelt is uitgerekend in welke mate de hoeveelheid elektriciteit die in het referentiejaar (1993) vanuit het openbare net moet worden ingekocht afneemt naarmate het geïnstalleerde windmolenvermogen (in W/m²) toeneemt. Naast de afname van de inkoop levert een toename van het geïnstalleerd vermogen in een netgekoppeld systeem een toename van de hoeveelheid elektriciteit die aan het net wordt geleverd. Bij een bepaald vermogen zal de hoeveelheid ingekochte elektriciteit overeenkomen met de hoeveelheid geleverde elektriciteit. Dit vermogen wordt het "Ecostrroom Neutrale Windturbine Vermogen" genoemd (ENWW). Op jaarbasis is de productie gelijk aan de vraag. Met een turbine boven dit vermogen wordt het betreffende tuinbouwbedrijf een netto producent van groene stroom. Onder dit vermogen blijft het bedrijf een netto consument van elektriciteit.

Per teeltgewas is het areaal berekend dat middels een windturbine (vermogen 1,65 MW_e) op jaarbasis in de elektriciteitsbehoefte kan worden voorzien. Uitgaande van teeltarealen in de bedrijvencluster is vervolgens het benodigde aantal windturbines bepaald om aan de jaarlijkse elektriciteitsvraag te voldoen (ENWW) op basis van het referentiejaar 1993.

Voor het referentiejaar (1993) en de windrijke en -arme jaren (respectievelijk 1990 en 1991, is de dekking berekend, indien wordt uitgegaan van uurlijkse vraag- en aanbodpatronen (Tabel 4-1).

Tabel 4-1 Dekkingsgraad elektriciteit voor 8 gewassen (al dan niet geclusterd) bij inzet van windturbines (gemiddeld jaar, 1993)

	aantal ha per turbine op jaarbasis electriciteits-vraag [-]	aantal turbines om areaal in cluster Ecostrroom Neutraal te voorzien [-]	dekking op basis van uurlijkse elektriciteitsproductie [-]		
			1993	1990	1991
tomaat	59	0.25	0.55	0.56	0.51
paprika	59	0.25	0.55	0.56	0.51
radijs	67	0.15	0.55	0.56	0.51
roos (met belichting)	3	7.72	0.42	0.49	0.37
fresia	11	0.93	0.25	0.25	0.25
chrysant	52	0.19	0.55	0.56	0.51
chrysant (met belichting)	3	1.47	0.37	0.42	0.34
potplant	62	0.24	0.55	0.56	0.51
totaal losse bedrijven	–	11.21	0.41	0.47	0.37
cluster	–	11.21	0.49	0.55	0.45

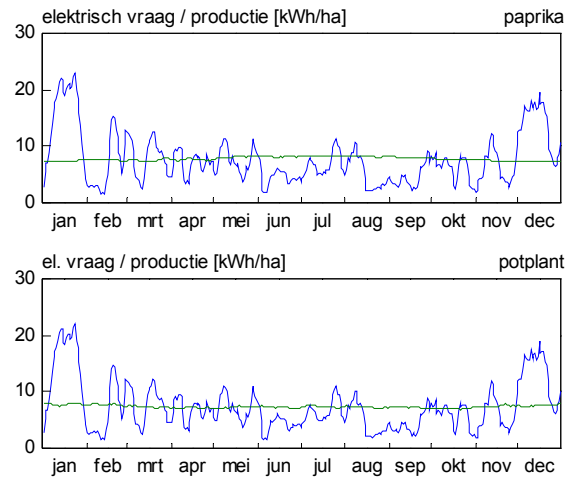
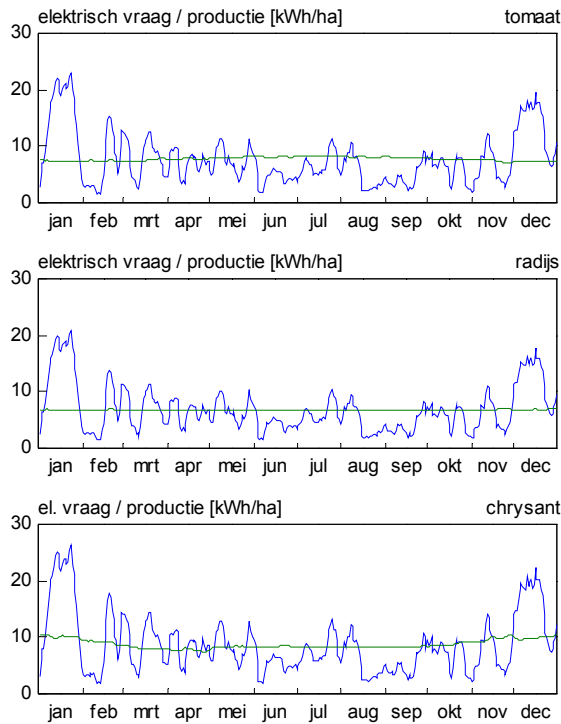
Uit Tabel 4-1 blijkt dat om aan de elektriciteitsvraag van het cluster Ecostrroom Neutraal te voldoen 11,21 windturbines nodig zijn. Teelten met belichting (rozen en chrysanten) vergen het meeste turbinevermogen. Ook komt naar voren dat bijvoorbeeld in 1993 bij tomaat 55% van de elektriciteitsvraag direct door de windturbine geleverd kan worden. 45% van de elektriciteitsvraag wordt indirect door de turbine geleverd via het openbaar elektriciteitsnet. Bij fresia kan slechts 25% van de elektriciteitsvraag direct door de windturbine worden geleverd. Deze geringe dekking bij deze teelt is het gevolg van het feit dat de piekvraag in de zomer (koeling) samen valt met een lage elektriciteitsproductie (geringe windsnelheid). Het blijkt dat teelten met een grote variatie in elektriciteitsvraag (belichte en gekoelde teelten) een lagere dekking hebben dan de overige teelten.

Voor alle bedrijven bij elkaar met een eigen windturbine wordt 41 % direct door de turbines geleverd. Indien de bedrijven worden geclusterd (gezamenlijk gebruik van alle windturbines) loopt dit percentage op tot 49% (1993). De dekkingsgraad van de cluster wordt beïnvloed door de arealen van de afzonderlijke gewassen. Door een andere keus van gewassen/arealen kan de dekkingsgraad van het cluster verbeterd worden. Ook zal combinatie van belichte rozen (hoge elektriciteitsvraag in de winter en zeer laag in de zomer) met fresia (hoge elektriciteitsvraag in de zomer) een duidelijk hogere dekkingsgraad opleveren, dan voor de afzonderlijke teelten geldt.

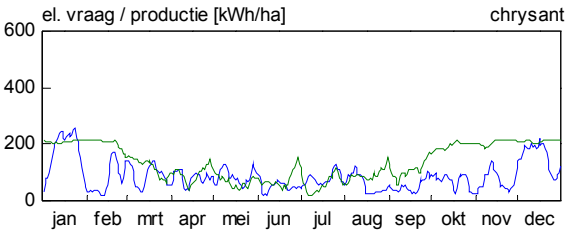
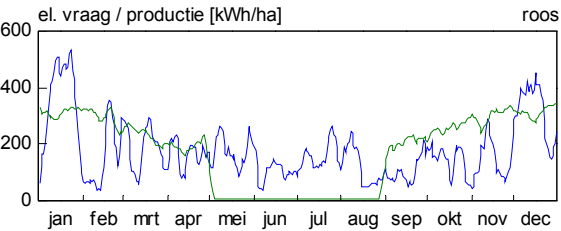
In Figuur 4-1 zijn de curven voor uurlijkse vraag en aanbod van elektriciteit voor de acht gewassen per ha afgebeeld. Voor het elektriciteitsaanbod is uitgegaan van het gemiddelde jaar 1993, waarbij per gewas het

ENWW het uitgangspunt is geweest. Het aantal daarbij behorende windturbines is overgenomen uit Tabel 4-1. Het elektriciteitsaanbod per ha per jaar van de windturbine is dan ook gelijk aan de elektriciteitsvraag per ha per jaar van de teelt.

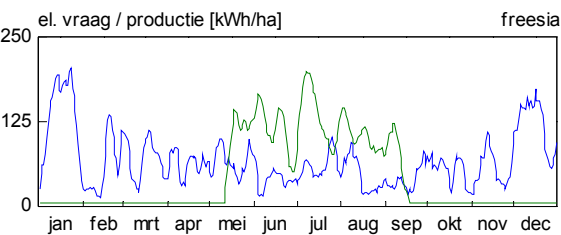
niet belichte teelten



belichte teelten

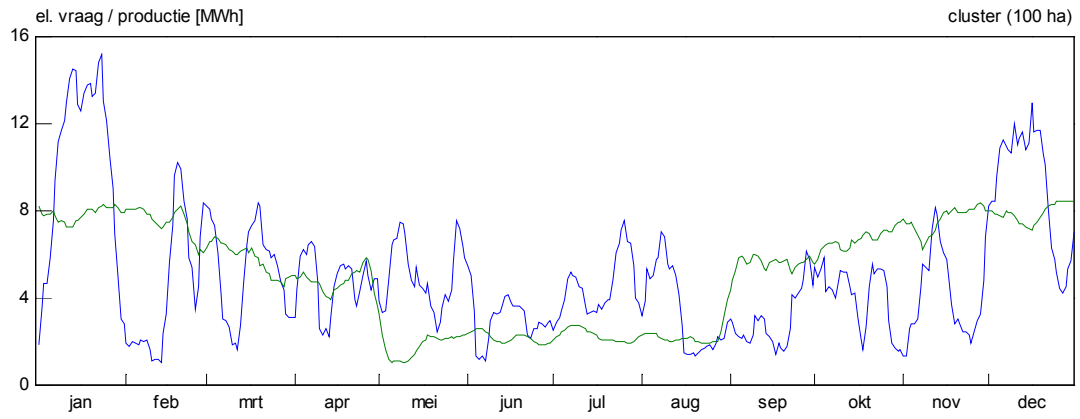


gekoelde teelt



Figuur 4-1 Uurlijkse vraag (groen) van elektriciteit voor alle acht gewassen per ha. en het aanbod (blauw) van elektriciteit per ha uit het gemiddelde jaar 1993, waarbij per gewas het ENWW als uitgangspunt is genomen.

In Figuur 4-2 is voor het gehele cluster (Figuur 3-1) de curven voor uurlijkse vraag en aanbod van elektriciteit afgebeeld. Voor het elektriciteitsaanbod is uitgegaan van het gemiddelde jaar 1993, waarbij voor het gehele cluster het ENWW het uitgangspunt is geweest. Het aantal daarbij behorende windturbines (11,21) is overgenomen uit Tabel 4-1



Figuur 4-2 De curven voor uurlijkse vraag en aanbod van elektriciteit voor het gehele cluster van 100 ha voorzien van 11,21 windturbines, waarbij voor het elektriciteitsaanbod is uitgegaan van het gemiddelde jaar 1993.

5 Conclusies en aanbevelingen

- Er is een tendens bij fabrikanten om steeds grotere windturbines te produceren ($> 1 \text{ MW}_e$). Windmolens die momenteel in de agrarische sector worden toegepast staan veelal solitair opgesteld en hebben een vermogen van gemiddeld ongeveer 180 kW_e .
- Omdat de gemiddelde windsnelheid in het kustgebied beduidend hoger is dan in het binnenland (in Schiphol referentiejaar 1993 ruim 50% hoger dan het langjarig gemiddelde in De Bilt), zullen de toepassingsmogelijkheden voor windenergie in glastuinbouwgebieden langs de kust gunstiger zijn dan in de andere centra.
- De elektriciteitsproductie met windturbines is in de winter 2 tot 3 keer hoger dan in de zomer. Ook kunnen de jaarlijkse verschillen in elektriciteitsproductie oplopen tot 20%.
- De jaarlijkse elektriciteitsvraag voor tomaat, paprika, radijs, chrysant (zonder belichting) en potplanten bedraagt 6 tot ruim 8 kWh per m^2 . Bij toepassing van grondkoeling (fresia) is ongeveer 38 kWh per jaar nodig, terwijl bij assimilatiebelichting van chrysanten en rozen respectievelijk 119 en 156 kWh per m^2 elektriciteit wordt gevraagd.
- Groentegewassen en potplanten hebben gedurende het jaar een vrij constante elektriciteitsbehoefte. Toepassing van assimilatiebelichting resulteert in een zeer hoge vraag in najaar, winter en voorjaar en een relatief zeer geringe vraag in de zomer. Grondkoeling leidt tot een zeer hoog verbruik in de zomer.
- Een windturbine (1.65 MW_e) kan per jaar voldoende elektriciteit produceren om aan de vraag van 50 tot ca. 70 ha glastuinbouw te voldoen (excl. assimilatiebelichting en grondkoeling). Bij toepassing van belichting en grondkoeling is de elektriciteitsproductie slechts voldoende voor resp. 3 en 11 ha per turbine.
- Om aan de elektriciteitsvraag op jaarbasis voor 100 ha glastuinbouw bestaande uit 20 ha rozen, 15 ha tomaten, 15 ha paprika, 10 ha radijs, 15 ha potplanten, 10 ha fresia en 15 ha chrysant (waarvan 5 ha met belichting) te kunnen voldoen zijn ruim 11 windturbines (1.65 MW_e) vereist.
- Indien een "Ecostrroom Neutraal Windturbine Vermogen" als uitgangspunt wordt gekozen d.w.z. op jaarbasis is de elektriciteitsproductie van de windturbine gelijk aan de vraag van de teelt, komen voor de diverse teelten grote verschillen naar voren m.b.t. de dekkingsgraad op basis van de uurlijkse elektriciteitsproductie/vraag verhouding. In de jaren '90, '91 en '93 zou bij tomaat, paprika, radijs, chrysant (zonder belichting) en potplanten meer dan 50% van de vraag direct door de windturbine geleverd kunnen worden. Bij toepassing van grondkoeling (fresia) bleek de dekking het laagst (25%), terwijl bij assimilatiebelichting van chrysanten en rozen 34 tot 49% middels de inzet van een windturbine direct in de behoefte zou kunnen voorzien.
- Door clustering van de eerder genoemde bedrijven (100 ha) zou in het referentiejaar (1993) de dekkingsgraad op basis van de uurlijkse elektriciteitsproductie kunnen worden verhoogd van 41% naar 49%.
- In een windrijk jaar (1990) zou clustering van windvermogen de dekking verhogen van 47 naar 55% en in het windarm jaar (1991) van 37% naar 45%.
- Hoewel bij clustering voor de gezamenlijke bedrijven een hogere dekkingsgraad wordt gerealiseerd, zal er voor individuele bedrijven (tomaat, paprika, radijs, potplant en chrysant (zonder belichting)) een lagere dekkingsgraad worden bereikt.
- De dekkingsgraad bij clustering is afhankelijk van de samenstelling van de teeltbedrijven in de cluster. Indien in de glastuinbouwcluster teelten met assimilatiebelichting zijn opgenomen, zal het inzetten van teelten met grondkoeling (fresia, alstroemeria) een positief effect hebben op de dekkingsgraad.

6 Literatuur

- Bakker J.C. et al., 1998. Kas van de Toekomst, in opdracht van de provincie Noord-Holland, Instituut voor Milieu en Agritechniek, (IMAG) Wageningen, eindrapportage, september 1998.
- De Lange T.J., en A.W.N. van Dril, 1998. Mogelijkheden voor toepassing van hernieuwbare energie in de glastuinbouw 1995 – 2010, ECN-Beleidstudies I - 98-038.
- De Zwart H.F., 1996. Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model, Thesis Landbouwuniversiteit Wageningen, ISBN 90-5485-533-9.
- KEMA, 2000. Windmonitor, Internetsite <http://www.kema.nl/>
- KMNI, 1999. Weerdatabestanden.
- Knijff van der A., 1999, Windenergie in de agrarische sector, Meewind of tegenwind? Landbouw-Economisch Instituut (LEI) Den Haag, rapport 2.99.08, juni 1999.
- Projectbureau Duurzame Energie, 2000. Internetsite windenergie
- Swinkels G.L.A.M. Huijs J.P.G. De Zwart H.F., 2000. Standaardteelten, Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG) Wageningen, IMAG rapport R...., 43 pag.
- Van Nieuwkoop P., Van der Velden, N.J.A. Verhaegh A.P., 1998. Elektriciteitsverbruik op glastuinbouwbedrijven, Landbouw-Economisch Instituut (LEI) Den Haag, mededeling 624, november 1998.
- Vestas, 2000. Product informatie, Internetsite http://www.vestas.dk/indexwelcome_uk.html
- Wieringa J. Rijkevoort P.J., 1983. Windklimaat van Nederland. KNMI De Bilt, Staatsuitgeverij 's-Gravenhage.