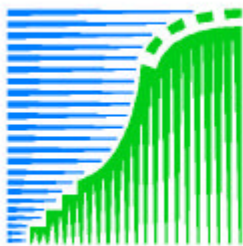


Op zoek naar de grens

Een analyse van het gasverbruik per uur op
vruchtgroente- en rozenbedrijven gemeten in koude periode

P. Ravensbergen
J. Benninga
C.J.M. Vernooy

Productschap  Tuinbouw



**landbouw, natuurbeheer
en visserij**

Projectcode 64420

November 2002

Rapport 2.02.14

LEI, Den Haag

Het LEI beweegt zich op een breed terrein van onderzoek dat in diverse domeinen kan worden opgedeeld. Dit rapport valt binnen het domein:

- Wettelijke en dienstverlenende taken
- Bedrijfsontwikkeling en concurrentiepositie
- Natuurlijke hulpbronnen en milieu
- Ruimte en Economie
- Ketens
- Beleid
- Gamma, instituties, mens en beleving
- Modellen en Data

Op zoek naar de grens; Een analyse van het gasverbruik per uur op vruchtgroente- en rozenbedrijven gemeten in koude periode
Ravensbergen, P., J. Benninga en C.J.M. Vernooy
Den Haag, LEI, 2002
Rapport 2.02.14; ISBN 90-5242-776-3; Prijs €12,25 (inclusief 6% BTW)
58 p, fig, tab, bijl.

In dit onderzoek zijn de belangrijkste invloeden op het gasverbruik op uurbasis op bedrijfsniveau gekwantificeerd in de koudste periode van het jaar. Hierdoor wordt het mogelijk om het gasverbruik per uur bij extreme koude te schatten. Dit is nodig omdat in de geliberaliseerde markt de maximale hoeveelheid gas per uur voor een belangrijk deel de kosten voor het aardgas bepaalt.

Belangrijkste factoren die het maximumgasverbruik per uur bepalen zijn het verschil in buiten- en binnentemperatuur (delta T), de windsnelheid en instraling. De spreiding tussen de bedrijven is groot, ondermeer als gevolg van verschillen in bedrijfskenmerken. Door het gebruik van energieschermen wordt het gasverbruik per uur met gemiddeld 37% verlaagd. In vergelijking met de vruchtgroentebedrijven hebben de rozenbedrijven met assimilatiebelichting en eigen w/k-installatie een gemiddeld 24% hoger gasverbruik per uur.

Overdag verlaagt de instraling het gasverbruik. Voor bedrijven met een scherminstallatie, die 's nachts wel schermen en overdag niet, valt bij extreme koude het maximumgasverbruik per uur overdag.

Er is een model ontworpen om het gasverbruik per uur te schatten. Deze schatting kan voor de ondernemer als basis dienen voor de berekening hoe te kunnen anticiperen op de vernieuwde tariefstructuur.

Bestellingen:

Telefoon: 070-3358330

Telefax: 070-3615624

E-mail: publicatie@lei.wag-ur.nl

Informatie:

Telefoon: 070-3358330

Telefax: 070-3615624

E-mail: informatie@lei.wag-ur.nl

© LEI, 2002

Vermenigvuldiging of overname van gegevens:

- toegestaan mits met duidelijke bronvermelding
- niet toegestaan



Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO-NL) van toepassing. Deze zijn gedeponereerd bij de Kamer van Koophandel Midden-Gelderland te Arnhem.

Inhoud

	Blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1. Inleiding	15
1.1 Aanleiding	15
1.2 Doelstelling	16
1.3 Beschikbare informatie	16
1.4 Afbakening	17
1.5 Opbouw van het rapport	17
2. Materiaal en Methode	18
2.1 Verschillen in gasverbruik per uur	18
2.2 Analysemethode	18
2.3 Meetperiode	21
2.4 Keuze en selectie van bedrijven	21
2.5 Bedrijfskenmerken	22
2.6 Correcties op gasverbruik	25
3. Resultaten	27
3.1 Weersomstandigheden in de winter van 2001/2002	27
3.2 Bedrijveselectie	28
3.3 Kwaliteit van data	28
3.4 Analyses per vruchtgroente bedrijf	29
3.4.1 Inleiding	29
3.4.2 Analyse nachtperiode	30
3.4.3 Analyse dagperiode	33
3.4.4 Samenvatting	35
3.5 Analyses per rozenbedrijf	36
3.5.1 Inleiding	36
3.5.2 Analyse nachtperiode	37
3.5.3 Analyse dagperiode	40
3.5.4 Samenvatting	40
3.6 Analyses over alle bedrijven heen	41
3.6.1 Inleiding	41
3.6.2 Analyse	42
3.6.3 Validatie van het model	44

	Blz.
4. Discussie	45
4.1 Opbouw van het model	45
4.2 Variabele belichtingscapaciteit	46
4.3 Validatie van het model	47
5. Conclusie	48
5.1 Analyse individuele bedrijven	48
5.2 Analyse over alle bedrijven heen	49
6. Aanbevelingen	51
Literatuur	53
Bijlagen	
1 Overzicht uitkomsten van de bedrijfskenmerken	55
2 Uitkomst van de stepwise regressie analyse over alle bedrijven heen	56
3 Bovengrens model over alle bedrijven heen	57
4 Model zonder belichtingscapaciteit	58

Woord vooraf

In de Europese Unie zijn afspraken gemaakt om te komen tot liberalisering van de energiemarkten. Dit brengt een belangrijke verandering in tariefstructuur met zich mee. De verbruikte energie en diensten (capaciteit en transport) zijn in de toekomst gescheiden kostencomponenten. In de vernieuwde tariefstructuur wordt het maximumgasverbruik per uur een belangrijke factor voor de aardgaskosten. Het denken in gasverbruik per uur is compleet nieuw voor de glastuinbouw en inzicht hierin ontbreekt.

Het LEI heeft van het Productschap Tuinbouw opdracht gekregen om de belangrijkste invloeden op het gasverbruik op uurbasis op bedrijfsniveau te kwantificeren in de koudste periode van het jaar. Hierdoor wordt het mogelijk om het gasverbruik per uur bij extreme koude te schatten. Er is gestreefd naar een model dat ook toepasbaar is voor bedrijven, die niet meten en die niet meedoen in dit onderzoek, om op basis van de specifieke bedrijfskenmerken het gasverbruik per uur te schatten. Het model dient als basis om de hoeveelheid gas vast te stellen die nodig is om de kas op gewenste teelttemperatuur te houden. Rekening houdend met anticipatiemogelijkheden om dit gasverbruik per uur te verlagen, kan de uiteindelijke contractcapaciteit worden bepaald.

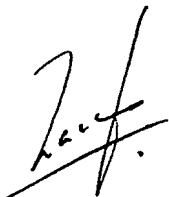
Deze studie is gefinancierd door Productschap Tuinbouw, het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij en de Gasunie. Deze waren vertegenwoordigd in de begeleidingscommissie, respectievelijk de heer P. van der Struijs, mevrouw J. Mourits en de heren R. Wilbrink en K. Dijkstra.

Het onderzoek is uitgevoerd door P. Ravensbergen (projectleider), J. Benninga en C.J.M. Vernooy. Inhoudelijke begeleiding is geleverd door N.J.A. van der Velden, W. Dol, F. Bouma en O. Hietbrink. Organisatorische begeleiding is geleverd door N.S.P. de Groot. Ondersteunende activiteiten zijn uitgevoerd door A.W. van Vliet en de stagiaires S. Dingemans en D. Pronk.

Westland Energie Services (WES) heeft de gegevens op de bedrijven verzameld en aangeleverd. Gedurende de meetperiode is er heel wat heen en weer gemailld, gebeld en gepraat om het project tot een goede afronding te krijgen. De dank gaat uit naar de heer W. van der Veen, evenals naar de heren P. van Marion en P. Bouwman van WES.

Andere betrokken organisaties bij de uitvoering van dit project zijn PPO Plant te Naaldwijk, Essent Energie te Zwolle en Meteo Consult te Wageningen.

Tot slot een woord van dank naar de 32 deelgenomen bedrijven, die veel tijd en energie gestoken hebben bij het installeren en monitoren van de meetapparatuur en hun bedrijf open hebben gesteld voor dit onderzoek.



Prof.dr.ir. L.C. Zachariasse
Algemeen Directeur LEI B.V.

Samenvatting

Inleiding

De aardgasmarkt in Nederland wordt geliberaliseerd. Per 1 januari 2002 zijn de afnemers boven de 835.000 m³ per jaar vrij in de keuze van de gasleverancier en het rijksoverheidsbeleid is voornemens om uiterlijk in 2004 de afnemers onder die grens vrij te maken. De vrijmaking gaat gepaard met een vernieuwde tariefstructuur. In plaats van een min of meer vaste prijs per m³ aardgas, zoals tot 2002 in rekening werd gebracht, wordt in de vrije markt de prijs voor het aardgas opgesplitst in een deel voor de commodity (het aardgas) en een deel voor de diensten (capaciteit en transport).

De kosten voor de dienstencomponent komen vooral voort uit de met het energiebedrijf af te sluiten contractcapaciteit voor een tuinbouwbedrijf. De contractcapaciteit, is de maximale hoeveelheid aardgas die per uur afgenomen mag worden. Het denken over energiegebruik en energiebesparing was in de glastuinbouw tot op heden niet gericht op de uren met een hoog gasverbruik.

Hoge gasverbruiken per uur worden veroorzaakt door bij extreme buitenomstandigheden de kas op gewenste temperatuur te houden. Dit gasverbruik is voor elk bedrijf verschillend, omdat per bedrijf de kenmerken verschillen (scherm, dichtheid kas, ketelrendement, beschuttingsgraad, enzovoort). Een groter temperatuurverschil binnen en buiten de kas (aangeduid als delta T) zal het gasverbruik per uur vergroten.

Er zijn drie ingangen om het maximaal gasverbruik per uur vast te stellen (Van der Velden et al., 2001):

1. het gasverbruik dat nodig is om bij extreme buitenomstandigheden de kas op gewenste teelttemperatuur te houden. Dit gasverbruik is voor elk bedrijf verschillend, omdat per bedrijf de kenmerken verschillen (scherm, dichtheid kas, ketelrendement, beschuttingsgraad, enzovoort);
2. het maximumgasverbruik van alle gasverbruikende apparatuur gezamenlijk. In feite is dit is de technische begrenzing. De ervaring leert dat op de meeste bedrijven er sprake is van een overcapaciteit;
3. het gasverbruik dat nodig is om het verwarmingssysteem op de maximaal ingestelde temperatuur te houden. Dit kan worden bepaald op basis van het verwarmend oppervlak (vo) van de verwarmingsbuizen, de maximaal ingestelde buistemperatuur en de ingestelde teelttemperatuur. Deze begrenzing is minder hard dan de tweede. Een ondernemer kan besluiten om de buistemperatuur te verhogen in extreme situaties, indien het gewas dat toelaat. Hierdoor wordt het gasverbruik per uur verhoogd.

De laagste van deze ingangen geeft het maximale benodigde gasverbruik per uur aan, want het heeft geen zin meer gas te begroten dan dat werkelijk nodig is. Ingangen 2 en 3 kunnen op een bedrijf redelijk eenvoudig worden vastgesteld. Dit geldt niet voor ingang 1: hiervoor zijn metingen noodzakelijk en hierop is dit onderzoek gericht.

In opdracht van Productschap Tuinbouw (PT) met medefinanciering van de Gasunie en het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV) is in de winter van 2001 en 2002 een meetprogramma uitgevoerd om het gasverbruik per uur in extreme (koude) situaties te kwantificeren.

Het vaststellen van de uiteindelijke contractcapaciteit is een combinatie van bovengenoemde ingangen met de mogelijkheden van het bedrijf om op extreme situaties te anticiperen en met de eisen die de ondernemer stelt aan de minimaal te accepteren teelttemperatuur, de duur ervan en de inschatting hoe koud het zal worden in zijn gebied. Risicoperceptie speelt hierbij een belangrijke rol.

Doelstelling

De doelstelling van het onderzoek is: 'het kwantificeren van de belangrijkste invloeden op het gasverbruik op uurbasis op bedrijfsniveau in de koudste periode van het jaar'.

Een vervolgstap is dat door het kwantificeren van de relatie(s) tussen het gasverbruik per uur en de oorzakelijke variabelen, het mogelijk wordt om het gasverbruik per uur bij extreme koude te schatten. Er wordt gestreefd naar een model dat ook toepasbaar is voor bedrijven die zelf hun gasverbruik niet van uur tot uur meten en die niet meedoen in dit onderzoek. Zij moeten met het model op basis van hun specifieke bedrijfskenmerken het gasverbruik per uur kunnen schatten. De uiteindelijke doelstelling is, dat de tuinder een maximum benodigd gasverbruik per uur kan bepalen, dat past bij zijn bedrijf, teelt en strategie.

Methode

Er hebben 32 energie-intensieve glastuinbouwbedrijven aan dit onderzoek meegewerkt. Hiervan was de helft vruchtgroentebedrijven en de andere helft belichtende rozenbedrijven.

De glastuinbouw is een ruimteverwarmende sector. Het hoogste gasverbruik wordt verwacht bij de koudste buitentemperatuur: in de winter dus. Daarom is alleen in de winter gemeten.

Het gasverbruik per uur is afhankelijk van directe en indirecte factoren. Directe factoren zijn de weersomstandigheden, zoals temperatuur, de windsnelheid, de instraling. Bij de factor temperatuur gaat het niet alleen om buitentemperatuur, maar ook om binnentemperatuur of gewenste teelttemperatuur. Dit temperatuurverschil tussen binnen en buiten de kas wordt de delta T genoemd. Indirecte factoren op het gasverbruik per uur zijn allerlei bedrijfskenmerken.

Om de verschillen in gasverbruik per uur te verklaren uit weersomstandigheden en bedrijfskenmerken zijn de volgende elementen per uur op elk bedrijf gemeten: gasverbruik van ketel(s) en w/k-installatie(s), warmtebuffertemperatuur, schermgebruik (zowel dek als gevel), raamstand, gerealiseerde binnentemperatuur, gerealiseerde buitentemperatuur, buistemperatuur aanvoerleiding, windsnelheid, windrichting, stralingssom en neerslag. Om een zo zuiver mogelijk beeld te krijgen dat doorgetrokken kan worden naar een situatie met extreme koude, zijn alleen die waarnemingen geselecteerd, waarbij de ramen gesloten zijn.

De volgende aanvullende bedrijfsgegevens zijn verzameld en/of berekend: oppervlakte kas, geveloppervlakte, kasdekoppervlakte, gevelisolatie, dekiisolatie, leeftijd van de kas, beschuttingsgraad, rendement verwarmingsinstallatie, brandercapaciteit, belichtingsintensiteit en buffercapaciteit.

De analyse is uitgevoerd met behulp van multiple regressieanalyse. De analyse is opgedeeld in twee stappen:

1. analyse van de relatie tussen gasverbruik per uur, delta T en windsnelheid per bedrijf. Vervolgens is met deze relatie het gasverbruik per uur voor elk bedrijf afzonderlijk geschat in extreme situaties;
2. analyse van de relatie tussen gasverbruik per uur, weersomstandigheden en bedrijfskenmerken over alle bedrijven heen. Vervolgens is met deze relatie het gasverbruik per uur in extreme situaties geschat voor een aantal voorbeeldsituaties.

Met deze aanpak kan de *gezamenlijke* invloed van de verschillende factoren op het gasverbruik worden vastgesteld. Het is niet mogelijk om de invloed van de *afzonderlijke* variabelen vast te stellen, want de gevonden regressievergelijking moet als één geheel worden beschouwd. De reden hiervoor is dat de variabelen invloed op elkaar uitoefenen. Een validatie van het model is uitgevoerd door geschatte gasverbruiken per uur te vergelijken met de gerealiseerde gasverbruiken in dezelfde uren.

Resultaten van de analyse per individueel bedrijf afzonderlijk

Het verschil in temperatuur tussen binnen en buiten de kas (delta T), de windsnelheid en de instraling leveren de grootste verklaring voor het gasverbruik per uur, wanneer afzonderlijke bedrijven worden geanalyseerd. In de nacht kon 15-66% van de verschillen in gasverbruik in de koudste periode worden verklaard uit de variatie in delta T en windsnelheid. Overdag wordt het percentage verklaring iets groter (19-83%) door naast delta T en windsnelheid de variabele instraling toe te voegen.

Zoals tabel 1 laat zien zijn de verschillen in het geschatte maximumgasverbruik per uur tussen de bedrijven groot. Deze verschillen ontstaan door specifieke bedrijfskenmerken zoals de isolatiegraad van het scherm, geveloppervlakte in relatie tot de bedrijfsoppervlakte, enzovoort.

's Nachts wordt door het gebruik van energieschermen in de nacht wordt een verlaging van het maximumgasverbruik per uur gerealiseerd van gemiddeld 37% ten opzichte van de ongeschermdede situatie. Op bedrijven met schermgebruik wordt de invloed van de windsnelheid getemperd. In vergelijking met de vruchtgroentebedrijven hebben de rozenbedrijven met assimilatiebelichting en eigen w/k-installatie gemiddeld 24% hoger gasverbruik per uur in de nacht.

Overdag verlaagt de instraling het gasverbruik. Toch valt voor bedrijven met een scherminstallatie, die 's nachts wel schermen en overdag niet, valt bij extreme koude het maximumgasverbruik per uur overdag. Er zijn te weinig gegevens verzameld van bedrijven die overdag schermen om statistisch betrouwbare uitspraken te doen.

Tabel 1 Overzicht van geschatte maximumgasverbruiken (in m³/uur per ha) gemiddeld per bedrijf voor vruchtgroente- en rozenbedrijven, onderverdeeld naar bedrijven met een gesloten scherm en zonder scherm (tussen haakjes: minimum- en maximumwaarden)

	Nacht		Overdag	
	delta T = 25°C wind = 3 m/s	delta T = 30°C wind = 6 m/s	delta T = 25°C wind = 3 m/s instraling=80 W/m ²	delta T = 30°C wind = 6 m/s instraling=120 W/m ²
Vruchtgroente zonder scherm (6 bedrijven)	208 (189-232)	258 (229-294)	165 (114-220)	193 (102-260)
Vruchtgroente met scherm (10 bedrijven)	134 (120-164)	163 (148-199)		
Roos zonder scherm (5 bedrijven)	261 (237-299)	327 (289-373)	160 (76-191)	167 (66-233)
Roos met scherm (9 bedrijven)	160 (119-195)	204 (143-260)		

Resultaten van de analyse over alle bedrijven heen

Voor een schating van het gasverbruik per uur per ha over alle bedrijven heen is een model ontwikkeld waarbij de volgende factoren het verbruik bepalen:

$$\text{Gasha} = 22,1 + 0,83 * \text{Belcap} - 1,26 * \text{Dekisol} + 6,0 * \text{deltaT} + 3,8 * \text{Wind} + 67,5 * \text{Glasgev} + 0,83 * \text{Leeftkas} - 0,22 * \text{Gevisol}$$

$$R^2_{\text{adj}} = 71\%$$

Waarbij: Gasha = gasverbruik per uur (m³/uur.ha)
 Belcap = belichtingscapaciteit (W/m²)
 Dekisol = dekiisolatie (%schermisotatie*%sluiting scherm)
 delta T = delta T (°C)
 Wind = windsnelheid (m/s)
 Glasgev = glasfactor gevel (geveleoppervlak gedeeld kasoppervlak)
 Leeftkas = 2002 minus gemiddelde bouwjaar
 Gevisol = gevelisotatie (%schermisotatie*%sluiting scherm)

De resultaten het model zijn geïllustreerd aan de hand van een aantal sterk uiteenlopende praktijksituaties (tabel 2). De keuze van delta T en windsnelheid zijn gekozen voor extreme buitenomstandigheden De keuze voor de bedrijfskenmerken zijn uiterste waarden die voorkwamen in de groep van deelnemende bedrijven.

Tabel 2 *Schattingen van het gasverbruik per uur per ha van het model bij extreme weersomstandigheden en bepaalde bedrijfskenmerken*

	Situatie 1	Situatie 2	Situatie 3	Situatie 4	Situatie 5	Situatie 6
Belichtingscapaciteit (W/m ²)	30	45	0	0	0	0
Dekisolatie (% schermisolatie * % sluiting_scherm)	40	40	37,5	37,5	0	0
Delta T (°C)	30	30	30	30	30	30
Windsnelheid (m/s)	6	6	6	6	6	6
Glasgevel (geveleppervlak tov totaal kasoppervlak)	0,09	0,12	0,09	0,12	0,09	0,12
Leeftijd Kas (2002 - gemiddeld bouwjaar)	4	8	4	8	4	8
Gevel isolatie (% schemisolatie * % sluiting_scherm)	20	40	20	40	20	40
<i>Gasverbruik (m³/uur.ha)</i>	<i>204</i>	<i>218</i>	<i>183</i>	<i>184</i>	<i>230</i>	<i>231</i>

Het gebruikte model schat het gasverbruik per uur met een betrouwbaarheid van 95%. Dat betekent dat er altijd een afwijking kan zijn van de geschatte uitkomst. Om in extreme weersituaties (delta T = 30°C en windsnelheid = 6 m/s) binnen de betrouwbaarheidsgrens aan de veilige kant te zitten, zal er maximaal 40 m³/uur.ha bij de uitkomst van het model opgeteld moeten worden. Dat onderstreept dat het model van dienst kan zijn bij de schatting van het maximumgasverbruik, maardat de ondernemer uiteindelijk zelf zijn keus moet maken op basis van eigen inzichten!

Aanbevelingen

1. *Validatie van model met data van bedrijven buiten de huidige doelgroep*
Het is belangrijk om het gevonden model te valideren met data van bedrijven, die niet aan dit onderzoek hebben meegewerkt, bijvoorbeeld andere belichtende bedrijven (chrysant of lelie) of bedrijven met energie-extensievere teelten. Bij gebruik van het model is het verstandig de uitkomst te vergelijken met registratiegegevens van het betreffende bedrijf. Bijvoorkeur dient een bedrijfseigen model geschat te worden, zoals in dit onderzoek per bedrijf ook is gebeurd.
2. *Gebruik van warmtebuffer tijdens milde winter*
Met gegevens uit dit onderzoek kan het buffergebruik, afhankelijk van de buitensomstandigheden, in kaart worden gebracht. Dit levert, in aanvulling op de studies over anticipatiemogelijkheden op de geliberaliseerde aardgasmarkt, informatie over het gebruik van warmtebuffer als mogelijkheid om energie te besparen.
3. *Bijdrage van belichting en de inzet van w/k-installaties aan warmtebehoefte*
Door het belichten kan op rozenbedrijven een deel van het gasverbruik niet in verband worden gebracht met het verwarmen van de kassen. Het is mogelijk dat een

deel van de energie uit de w/k-installatie geen bijdrage levert aan het verwarmen van de kassen. Het verdient aanbeveling om na te gaan wat hiervan de oorzaak is.

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

De Nederlandse overheid heeft in Europees verband besloten de energiemarkten voor elektriciteit en aardgas te liberaliseren. In 2002 is de liberalisering gerealiseerd voor bedrijven met een gasverbruik hoger dan 835.000 m³ uiterlijk. Het is waarschijnlijk dat de aardgasmarkt voor de bedrijven met een gasverbruik lager 835.000 m³ uiterlijk in 2004 geliberaliseerd wordt.

Door de liberalisering van de gasmarkt wordt de tariefstructuur voor het aardgas gewijzigd. Tot 2002 werd er een min of meer vaste prijs per m³ aardgas in rekening werd gebracht. In de vrije markt wordt de prijs voor het aardgas opgesplitst in een deel voor de commodity (het aardgas) en een deel voor de diensten (capaciteit en transport). Voor de glastuinbouw betekent de invoering van de vernieuwde tariefstructuur een stijging van de kosten voor het aardgas (Van der Velden et al., 1999). De contractcapaciteit, overeengekomen met het energiebedrijf, bepaalt voor een belangrijk deel de kosten voor het aardgas in de nieuwe tariefstructuur. Deze contractcapaciteit is de maximale hoeveelheid aardgas die per uur afgenomen mag worden. Dit is de aanleiding voor dit onderzoek. Alle ondernemers die straks vrij komen (of al vrij zijn), zullen voor hun bedrijf een contractcapaciteit moeten vaststellen.

Het inzicht in het afnamepatroon is momenteel beperkt. Het denken over energiegebruik en energiebesparing was in de glastuinbouw tot op heden niet gericht op de uren met een hoog gasverbruik. Dit onderzoek probeert de invloeden op het gasverbruik per uur in de koudste periode van het jaar te kwantificeren, zodat het bouwstenen oplevert voor de ondernemer in het maken van de keuze van zijn maximumgasverbruik per uur.

Hoge gasverbruiken per uur worden veroorzaakt door bij extreme buitenomstandigheden de kas op gewenste temperatuur te houden. Dit gasverbruik is voor elk bedrijf verschillend, omdat per bedrijf de kenmerken verschillen (scherm, dichtheid kas, ketelrendement, beschuttingsgraad, enzovoort). Een groter temperatuurverschil binnen en buiten de kas (delta T) zal het gasverbruik per uur vergroten.

Er zijn drie ingangen om het maximaal gasverbruik per uur vast te stellen (Van der Velden et al., 2001):

1. het gasverbruik dat nodig is om bij extreme buitenomstandigheden de kas op gewenste teelttemperatuur te houden. Dit gasverbruik is voor elk bedrijf verschillend, omdat per bedrijf de kenmerken verschillen (scherm, dichtheid kas, ketelrendement, beschuttingsgraad, enzovoort);
2. het maximumgasverbruik van alle gasverbruikende apparatuur gezamenlijk. In feite is dit is de technische begrenzing. De ervaring leert dat op de meeste bedrijven er sprake is van een overcapaciteit;
3. het gasverbruik dat nodig is om het verwarmingssysteem op de maximaal ingestelde temperatuur te houden. Dit kan worden bepaald op basis van het verwarmend oppervlak (vo) van de verwarmingsbuizen, de maximaal ingestelde buistemperatuur en de ingestelde teelttemperatuur. Deze begrenzing is minder hard dan de tweede. Een on-

dernemer kan besluiten om de buistemperatuur te verhogen in extreme situaties, indien het gewas dat toelaat. Hierdoor wordt het gasverbruik per uur verhoogd.

De laagste van deze ingangen geeft het maximale benodigde gasverbruik per uur aan, want het heeft geen zin meer gas te begroten dan dat werkelijk nodig is. Ingangen 2 en 3 kunnen op een bedrijf redelijk simpel worden vastgesteld. Dit geldt niet voor ingang 1: hiervan zijn metingen noodzakelijk en hierop is dit onderzoek gericht.

Het is daarom belangrijk dit gasverbruik per uur te kwantificeren. In opdracht van Productschap Tuinbouw (PT) met medefinanciering van de Gasunie en het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV) in de winter van 2001 en 2002 een meetprogramma uitgevoerd om het gasverbruik per uur in extreme (koude) situaties te kwantificeren.

Het vaststellen van de contractcapaciteit is een combinatie van bovengenoemde ingangen en mogelijkheden om het gasverbruik per uur te verlagen (=anticipatiemogelijkheden). Onderzoek naar anticipatiemogelijkheden is al deels uitgevoerd en duurt nog voort. Vooral de eisen die de ondernemer stelt aan minimaal te accepteren teelttemperatuur, de duur ervan en de inschatting hoe koud het zal worden in zijn gebied, zijn belangrijk om te komen tot een contractcapaciteit. Risicoperceptie speelt hierbij een belangrijke rol.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van het onderzoek is: 'het kwantificeren van de belangrijkste invloeden op het gasverbruik op uurbasis op bedrijfsniveau in de koudste periode van het jaar'.

Een vervolgstap is dat door het kwantificeren van de relatie(s) tussen het gasverbruik per uur en de oorzakelijke variabelen, het mogelijk wordt om het gasverbruik per uur bij extreme koude te schatten. Hierbij speelt de inschatting van de ondernemer een belangrijke rol. Er wordt gestreefd naar een model dat ook toepasbaar is voor bedrijven, die niet meten en die niet meedoen in dit onderzoek, om op basis van de specifieke bedrijfskenmerken het gasverbruik per uur te schatten. Bedrijven kunnen ook zelf meten op hun bedrijf. In een vakbladartikel van Benninga en Van der Velden (2001) staat beschreven hoe ze dat het beste kunnen doen.

De uiteindelijke doelstelling is, dat de tuinder een maximum benodigd gasverbruik per uur kan bepalen, die past bij zijn bedrijf, teelt en strategie. Dit rapport beoogt daar een bouwsteen voor te zijn.

1.3 Beschikbare informatie

Er zijn nauwelijks gegevens over gasverbruik per uur. Wel zijn er veel gegevens beschikbaar over het gasverbruik op week- of maandbasis verzameld (bijvoorbeeld DART-onderzoek). Slechts van één praktijkevaluatie over het gebruik van warmtebuffers in de tomaten- en paprikateelt (augustus 1997 tot en met november 1998) zijn urengegevens van

35 bedrijven aanwezig (De Zwart et al., 2000). Benodigde gegevens per uur, zoals over het wel of niet open zijn van de ramen en het scherm en informatie over buitentemperaturen en windsnelheid ontbraken, echter uit de beschikbare gegevens kon echter wel globale informatie worden verkregen. Vooruitlopend op het meetprogramma is daarom met de beschikbare informatie een pilot-analyse uitgevoerd. De aanbevelingen zijn meegenomen in dit onderzoek. Van deze pilot-analyse is een interne LEI-notitie verschenen (Benninga et al., 2001) en een vakbladartikel geplaatst in *Groente en Fruit* en in het *vakblad voor de Bloemisterij* (Benninga en Van der Velden, 2001).

Een onderzoek in 1983 uitgevoerd door het LEI op 44 tomatenbedrijven heeft qua opzet veel raakvlakken met dit onderzoek (Van Rijssel, 1983). Zo is het gasverbruik per week verklaard uit buitenomstandigheden en is onderzocht wat de invloed is van diverse bedrijfskenmerken en energiebesparende maatregelen op het gasverbruik per week. Dit laatste is een groot verschilpunt met dit onderzoek, waar het gaat om de verklaring van het gasverbruik per uur. Bovendien is het onderzoek bijna 20 jaar geleden uitgevoerd. De verwachting is dat de huidige generatie kassen een ander aardgasverbruik per uur hebben, vooral door de grotere dichtheid.

1.4 Afbakening

- De doelgroep van dit onderzoek zijn bedrijven met een aardgasverbruik van boven de $50 \text{ m}^3/\text{m}^2$.jaar. Deze bedrijven kunnen in de categorie energie-intensief geplaatst worden. Afhankelijk van hun glasoppervlakte, maken deze bedrijven een grote kans om boven de grens van 835.000 m^3 te komen, zodat ze vanaf 1.1.2002 volgens de vernieuwde tariefstructuur afgerekend worden. Bedrijven met een lager energieverbruik per vierkante meter per jaar, zijn geen doelgroep voor dit onderzoek en worden buiten beschouwing gelaten.
- Wat de mogelijke maatregelen (anticipatiemogelijkheden) zijn ter verlaging van de piek en hoe groot dat effect is, wordt niet meegenomen in dit onderzoek, maar in bpend onderzoek (Van der Velden et al., 2001).

1.5 Opbouw van het rapport

In hoofdstuk 2 'Materiaal en methode' wordt de opzet van het onderzoek weergegeven. De resultaten van de analyse in hoofdstuk 3 te vinden. In hoofdstuk 4 worden de uitkomsten bediscussieerd. De conclusies zijn in hoofdstuk 5 weergegeven, gevolgd door de aanbevelingen in hoofdstuk 6. Het rapport wordt besloten met een literatuurlijst en een viertal bijlagen.

2. Materiaal en methode

2.1 Verschillen in gasverbruik per uur

Het gasverbruik per uur is afhankelijk van directe en indirecte factoren. Directe factoren zijn de weersomstandigheden, zoals temperatuur, de windsnelheid, de instraling (Van Rijsel, 1983). Bij de factor temperatuur gaat het niet alleen om buitentemperatuur, maar ook om binnentemperatuur of gewenste teelttemperatuur. Dit temperatuurverschil tussen binnen en buiten de kas wordt de delta T genoemd. Indirecte factoren op het gasverbruik per uur zijn allerlei bedrijfskenmerken, bijvoorbeeld:

- teeltomstandigheden in de kas (luchtvochtigheid, CO₂, belichtingscapaciteit, enzovoort);
- warmtedoorgangscoefficiënt van de kas. Dit is de maat voor het warmteverlies door straling en convectie (Kool, 1998). Een bedrijf met scherm en/of gevelisolatie heeft een lagere warmtedoorgangscoefficiënt dan een bedrijf zonder;
- energieopwekking en -voorziening (rendement van verwarmingsinstallatie, ketels, condensor, w/k, buffer, warmte van derden, enzovoort);
- lengte/breedte/hoogte verhouding en bedrijfsgrootte;
- lekverliezen: Omdat lekverliezen van een kas moeilijk gemeten kunnen worden, is een andere grootte gebruikt, die hier een maat voor zou kunnen zijn, namelijk gemiddelde leeftijd van de kas. De veronderstelling is dat nieuwe kassen dichter zijn dan oude kassen;
- beschuttingsgraad van de kassen.

2.2 Analysemethode

Het is de bedoeling om het gasverbruik per uur te verklaren door de invloed van weersomstandigheden en van bedrijfskenmerken. Het gas wordt door de ketel omgezet in warmte. Afhankelijk van de warmtevraag in de kas wordt er meer of minder gas verstoekt. Om de gasvraag te koppelen aan de warmtevraag is het nodig om alleen die waarnemingen te selecteren dat de ramen gesloten zijn. Daarbij komt dat bij extreme koude, de ramen ook dicht zijn.

De analyse is uitgevoerd met behulp van multiple regressie analyse. De analyse is opgedeeld in twee stappen:

1. het schatten van het gasverbruik per uur voor elk bedrijf afzonderlijk;
2. het schatten van het gasverbruik per uur over alle bedrijven heen.

Ad 1 Het schatten van het gasverbruik per uur voor elk bedrijf afzonderlijk

Voor het schatten van het gasverbruik per uur per bedrijf afzonderlijk, heeft het geen zin om de specifieke bedrijfskenmerken mee te nemen, omdat die voor dat bedrijf onverander-

lijk zijn. Het betreft hier alleen de invloeden van de weersomstandigheden (delta T, windsnelheid en instraling).

Een analyse per bedrijf afzonderlijk is uitgevoerd om drie redenen:

1. een controle van de data van de individuele bedrijven op fouten en afwijkingen;
2. het inzichtelijk maken van verschillen tussen bedrijven;
3. de afzonderlijke deelnemers uit het onderzoek krijgen een verslag van de analyse van hun bedrijf.

De nacht- en de dagperiode zijn afzonderlijk geanalyseerd, vanwege de instraling overdag. Indien een bedrijf een scherm heeft, is in de nacht een analyse met het scherm volledig gesloten gedaan, als ook een analyse met volledig open scherm bij voldoende bruikbare gegevens.

De gedaante van een mogelijke regressievergelijking *in de nacht* is:

$$\text{Gasha} = f(\text{DT}, \text{wind}) = \text{constante} + a_1 * \text{DT} + a_2 * \text{wind} + e_i$$

Waarbij: Gasha = gasverbruik (m³) per uur per ha
DT = delta T (°C)
wind = windsnelheid (m/s)
a₁, a₂ = coëfficiënten
e_i = storingsterm

Overdag heeft de straling een belangrijke invloed heeft op de warmtevraag. De algemene gedaante van de regressievergelijking is *overdag*:

$$\text{Gasha} = f(\text{DT}, \text{wind}, \text{is}) = \text{constante} + a_3 * \text{is} + a_4 * \text{DT} + a_5 * \text{wind} + e_i$$

Waarbij: Gasha = gasverbruik (m³) per uur per ha
is = instraling (W/m²)
DT = delta T (°C)
Wind = windsnelheid (m/s)
a₃, a₄, a₅ = coëfficiënten (verwachting is dat a₁ negatief is)
e_i = storingsterm

Het doel van het onderzoek is het schatten van het gasverbruik per uur en niet het verklaren van de afzonderlijke variabelen. Daardoor dient de regressievergelijking als geheel te worden beschouwd. De invloed van een afzonderlijke variabele op het gasverbruik per uur kan niet zonder de invloed van de constante of van een andere variabele uit de totale regressievergelijking worden afgeleid.

De mate van verklaring van het gasverbruik per uur door de variabelen wordt uitgedrukt in de R²_{adj} (%). Met de t-toets is bepaald of de relatie statistisch significant is (Snedecor et al., 1980).

Ad 2 *Het schatten van het gasverbruik per uur over alle bedrijven heen*

Bij de start van het onderzoek was het de gedachte om het gasverbruik per uur te verklaren door de weersomstandigheden (delta T, windsnelheid en instraling). Als tweede stap was het de bedoeling om de invloed van elk bovengenoemde weersomstandigheid apart te verklaren door de bedrijfskenmerken.

Uit analyses met data van de winter 2000/2001 bleek dat de invloed van de windsnelheid afhankelijk is van de delta T: namelijk hoe groter de delta T, hoe groter de invloed van de windsnelheid op het gasverbruik per uur. Het is daardoor niet mogelijk om de afzonderlijke invloed van de delta T of van de windsnelheid op het gasverbruik per uur door de bedrijfskenmerken te verklaren. Om deze reden is gekozen voor het model om het gasverbruik per uur te schatten uit een gezamenlijke verklaring van delta T, windsnelheid, instraling en de verschillende bedrijfskenmerken.

De analyse is alleen voor de nacht uitgevoerd. De algemene gedaante van de regressievergelijking *in de nacht* is:

$$\text{Gasha} = f(\text{DT}, \text{Wind}, \text{BK}) = \text{constante} + a_6 * \text{DT} + a_7 * \text{Wind} + a_i * \text{BK}_i + e_i$$

Waarbij: Gasha = gasverbruik (m³) per uur per ha
DT = delta T (°C)
Wind = windsnelheid (m/s)
BK_i = verschillende individuele bedrijfskenmerken
a₆, a₇, a_i = coëfficiënten
e_i = storingsterm

Om de individuele bedrijfsfactoren van alle bedrijven even zwaar mee te laten wegen, is per bedrijf een selectie gemaakt uit de volledige dataset per bedrijf, waarbij een gelijk aantal uren per bedrijf zijn genomen.

De volgende manieren zijn gebruikt om de waarnemingen te selecteren:

1. at random selectie;
2. selectie van waarnemingen uit de 6 koudste nachten, waarbij op variatie van de delta T en de windsnelheid is gelet;
3. idem 2, maar nu een selectie uit de totale dataset.

Een validatie van het model is uitgevoerd door geschatte gasverbruiken per uur te vergelijken met de gerealiseerde gasverbruiken in andere uren. Dit zijn uren geweest die niet zijn gebruikt voor de berekening van het model. Ze zijn wel van dezelfde bedrijven. Vervolgens is met de F-toets bepaald of het model betrouwbaar genoeg is (Snedecor et al., 1980). Een vuistregel uit de statistiek zegt dat bij een normale verdeling, 95% van de waarnemingen een geringere afwijking heeft dan twee keer de standaardafwijking van de geschatte waarde (Stelling van Chebychev). Dit houdt in dat bij een geschat gasverbruik per uur voor de veiligheid wordt aanbevolen twee keer de standaardafwijking er bij te tellen, als 95% betrouwbaarheid wordt nagestreefd.

Hierbij moet worden opgemerkt dat het te vinden model vermoedelijk nauwkeuriger wordt als de delta T en de windsnelheid groter zijn. Eventuele naijleffecten van de ketel spelen dan niet mee.

2.3 Meetperiode

De glastuinbouw is een ruimteverwarmende sector. Het hoogste gasverbruik wordt verwacht bij de koudste buitentemperatuur: in de winter dus. Daarom is alleen in de winterperiode gemeten. Er is gemeten van 1 januari 2001 tot 1 april 2001 en van 15 november 2001 tot 15 maart 2002. Dit onderzoek neemt in eerste instantie alleen de 2^e meetperiode mee en slechts indien nodig worden meetgegevens van 2001 meegenomen.

2.4 Keuze en selectie van bedrijven

De geselecteerde bedrijfsgroepen van dit onderzoek zijn de vruchtgroente- en de rozenbedrijven. Het vaststellen van de grootte van de steekproef is gebaseerd op:

- de statische voorbeschouwing;
- de uitkomst van de pilot-analyse;
- de ervaring bij ander onderzoek c.q. praktijkevaluaties (Van der Sluis et al., 1995; Verhoeven et al., 1995; Van der Sluis et al., 1992; Nawrocki et al. 1991, Zwart et al. 1999).

Gesteld is dat de minimale grootte van het benodigde aantal bedrijven is per bedrijfsgroep 15 moet zijn. In totaal is de grootte van de steekproef dus minimaal 30 bedrijven.

Van onderzoek technisch oogpunt zijn de volgende aspecten meegenomen bij de selectie van bedrijven:

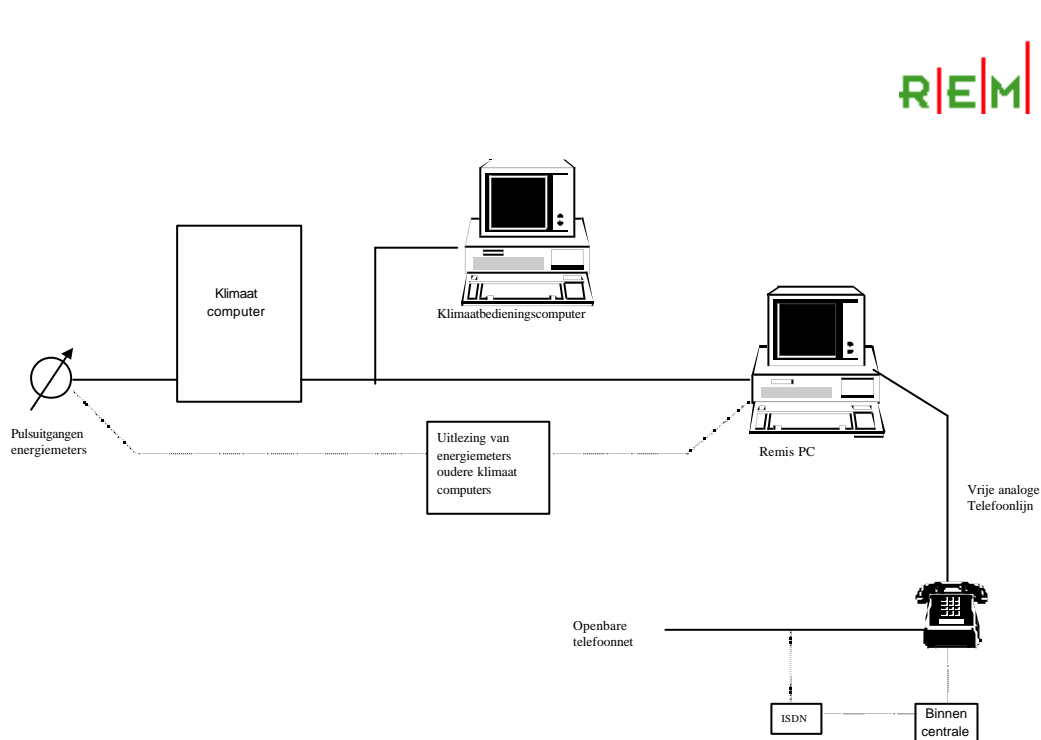
- Zoveel mogelijk bedrijven in Noordoost-Nederland, want daar is de te verwachten buitentemperatuur lager.
- volledig 1 gewas;
- geschiktheid klimaatcomputer om de metingen uit te voeren;
- geschiktheid gasmeter voor aansluiting pulsaansluiting;
- geen gebruik warmte van derden of levering van warmte aan derden;
- niet te kleine maximum brandercapaciteit; anders is er geen volledig lineair verband tussen gasverbruik en delta T;
- voorkeur 1 ketel per bedrijf;
- evenredige verdeling geschermd en ongeschermd bedrijven bij vruchtgroente;
- evenredige verdeling belichtingscapaciteit bij rozenbedrijven.

2.5 Bedrijfskenmerken

Om het gasverbruik per uur te verklaren door weersomstandigheden en bedrijfskenmerken zijn de volgende elementen per uur op elk bedrijf gemeten:

- | | |
|---|-----------------------|
| 1. Gasverbruik ketel(s) | (m ³ /uur) |
| 2. Gasverbruik w/k | (m ³ /uur) |
| 3. Buffertemperatuur | (°C) |
| 4. Gemiddelde schermgebruik (zowel dek als gevel) | (% dicht) |
| 5. Gemiddelde raamstand | (% open) |
| 6. Gerealiseerde gemiddelde binnentemperatuur | (°C) |
| 7. Gerealiseerd gemiddelde buitentemperatuur | (°C) |
| 8. Gemiddelde buistemperatuur aanvoerleiding | (°C) |
| 9. Windsnelheid | (m/s) |
| 10. Windrichting | (° (graden)) |
| 11. Stralingssom | (W/m ²) |
| 12. Neerslag | (ja/nee) |

De metingen zijn geregistreerd met een registratiepakket genaamd REMIS. Dit pakket is ontwikkeld door Westland Energie. REMIS bestaat uit een aparte PC, UPS (=batterij voor noodstroom) en modem, die gekoppeld is aan de klimaatcomputer van de tuinder (zie figuur 2.2).



Figuur 2.2 Schematische weergave van het REMIS-registratiepakket

Elke 5 minuten worden de gegevens per afdeling van de klimaatcomputer naar REMIS gestuurd, waarna de gegevens via de modem minimaal 1 maal per week worden uitgelezen door Westland Energie en in een databestand worden opgeslagen. De gegevens worden dan van afdelingsniveau naar bedrijfsniveau en van 5 minuut gegevens naar urengegevens verwerkt, en in een Excel bestand geplaatst. Dit is gebeurd op basis van gewogen gemiddelden per afdelingsgrootte. Die bestanden zijn verstuurd naar het LEI, waar de analyse heeft plaatsgevonden.

Belangrijk aandachtspunt is de betrouwbaarheid van de metingen van de klimaatcomputer, want de analyse vindt met deze metingen plaats. Van elk bedrijf zijn in 2001 de meetboxen en het weerstation ter plaatse gecheckt op afwijkingen door het PBG. Voor de controle van de metingen van het weerstation van de ondernemer in het seizoen 2001/2002, zijn weergegevens per uur opgevraagd van lokale weerstations in Zestienhoven, Marknesse, Hoogeveen en Volkel.

Gasmeting

Het gasverbruik per uur is gemeten door de gasmeter te koppelen aan de klimaatcomputer. Dit is gedaan met een pulsteller op de gasmeter. Daarvoor is eerst de gasmeter voorzien van een pulscontact. Voor de bedrijven in het Westland is dat verzorgd door Westland Energie. Voor bedrijven in Noord-Nederland is dat gedaan door Essent Energie. De klimaatcomputer fabrikant heeft een stuk software geleverd om de pulsen in te lezen door de klimaatcomputer en de installateur heeft de koppeling tussen de gasmeter en de klimaatcomputer gemaakt.

Er heeft een controle plaatsgevonden per bedrijf of de pulsmeter synchroon loopt met de werkelijke gasmeterstand door op minimaal 2 tijdstippen de gasmeter uit te lezen en te vergelijken met de pulstellingen in die periode.

Bijna alle hoofdgasmeters van de bedrijven waren voorzien van een volumeherleidingsmeters (EVHI), die het gasverbruik corrigeren voor druk- en temperatuurverschillen. De meeste gasmeters voor de w/k-installaties waren niet voorzien van een EVHI meter. Het gasverbruik van deze meters is door de onderzoekers gecorrigeerd voor temperatuur en druk.

Tot slot is het gasverbruik per uur gecorrigeerd voor calorische waarde, die per maand door de Gasunie per regio wordt vastgesteld.

Bedrijfskenmerken

Naast de gegevens die per uur worden gemeten, wordt de gegevensverzameling van de bedrijven gecompleteerd met een vragenlijst voor elke tuinder, die gedurende de meetperiode is verzameld. Deze lijst is gebruikt om de verschillende bedrijfskenmerken in kaart te hebben. De volgende bedrijfsgegevens zijn verzameld en berekend:

- oppervlakte kas (m^2): dit is het beteelbare oppervlak, dat wordt verwarmd (inclusief paden en opslag, exclusief de bedrijfsruimte);
- glasfactor gevel: dit is geveloppervlakte gedeeld door de kasoppervlakte. Tien procent geveloppervlakte geeft een glasfactor gevel van 0,10. In de glasfactor gevel zit de lengtebreedte verhouding van het bedrijf, de goothoogte en de geveloppervlakte, die door bedrijfsgebouwen zijn afgeschermd, verwerkt;

- glasfactor dek: dit is de oppervlakte van het glas in het kasdek gedeeld door de kasoppervlakte;
- gevelisolatie (%): gemiddelde isolatiepercentage van de gevel vermenigvuldigd met sluitingspercentage van het isolerend materiaal (100% is dicht). Indien een gevel een vaste isolatie heeft (vast scherm, dubbel glas of coating) is de sluiting op 100% gezet. Bij een beweegbaar scherm is het sluitingspercentage meegenomen. Heeft de gevel een scherm met een isolatiegraad van 35% en het is volledig gesloten (100%), dan is de gevelisolatie $100\% \text{ van } 35\% = 35\%$. Het kan voorkomen dat bedrijven een vaste isolatie hebben en een beweegbaar scherm. Dan zijn beide naar verhouding meegenomen;
- dekiisolatie (%): gemiddelde isolatiepercentage van het dek vermenigvuldigd met het sluitingspercentage van het isolerend materiaal (100% is dicht). De meeste bedrijven hebben een beweegbaar scherm in het dek. Heeft het scherm een isolatiewaarde van 40% en is het voor de helft gesloten dan is de isolatiegraad van het dek $50\% \text{ van } 40\% = 20\%$;
- leeftijd van de kas: 2002 minus het gemiddelde bouwjaar. Het gemiddeld bouwjaar (jaar) is een gewogen gemiddelde van het bouwjaar per afdeling;
- beschuttingsgraad (beoordelingscijfer).

Deze is bepaald door de mate van bedekking van de gevelzijde door een object, de doorlatendheid van het object en de afstand van de gevel van het object (Creemers et al., 1983; World Meteorological Organization, 1964).

Voor de bepaling van de beschuttingsgraad zijn we uitgegaan van de volgende punten:

1. objecten op meer dan 50 meter afstand hebben geen invloed;
2. alle objecten worden als massief gezien;
3. afstand van object wordt als een lineair effect gezien op beschuttingsgraad, ervan uitgaande dat objecten ongeveer 3 m hoog zijn.

De gebruikte methode om de beschuttingsgraad vast te stellen is als volgt:

1. bepaal de bedekkinggraad van het object tov de gevel per gevel (0-100%);
2. hoe verder de afstand hoe minder het effect van beschutting. Trek voor de volgende afstanden de volgende procentpunten ervan af:
 - 0 - 5 m: 0%
 - 5 - 10 m: 10%
 - 10-20 m: 20%
 - 20-30 m: 30%
 - 30-40 m: 40%
 - 40-50 m: 50%
3. bereken het gewogen gemiddelde voor het hele bedrijf naar ratio gevellengete. Omdat de koudste perioden in Nederland meestal vergezeld gaan door een Oostenwind, is 'beschuttingsgraad oost' apart opgenomen, naast volledige beschuttingsgraad (= beschuttingsgraad totaal).

- rendement verwarmingsinstallatie (% op onderwaarde). Deze is samengesteld uit de samenvoeging van het rendement van de verwarmingsketel en van de condensor. Het rendement van de verwarmingsketel (% op onderwaarde) is uit de jaarlijkse onderhoudsgegevens opgenomen, waarbij het rendement van de brander in hoogste stand is

meegenomen (Hoog Toeren Hoog), omdat de ketel op het hoogste vermogen draait op het koudste moment. Voor het rendement van de condensor (% op onderwaarde) is een normatief rendement genomen per type condensor:

* Rendement enkelvoudige condensor op retour: 5%

* Rendement enkelvoudige condensor op apart net: 7%

* Rendement combicondensor: 10%

(Nawrocki en Van der Velden, 1991)

- Brandercapaciteit (m^3/uur): dit is het maximale gasverbruik van de brander(s);
- Belichtingsintensiteit (W/m^2): gewogen gemiddelde van geïnstalleerd vermogen van de assimilatielampen per kasoppervlakte naar afdeling;
- Buffercapaciteit (m^3/ha): totale volume van alle warmtebuffers gedeeld door kasoppervlakte.

2.6 Correcties op de gasmeting

Er is een directe relatie tussen gasverbruik en warmtevraag in de kas. Er kan een kleine vertraging zijn in de tijd tussen het daadwerkelijk gasverbruik en de warmtevraag. Dit komt door de omzetting van gas in warmte in de ketel. Afhankelijk van de waterinhoud van het systeem is die vertraging meer of minder. In het algemeen is deze vertraging beperkt en/of ieder uur nagenoeg gelijk, zodat hiervoor niet wordt gecorrigeerd.

Door de toepassing van de warmtebuffer wordt de directe relatie tussen warmtevraag en gasverbruik verstoord: immers, indien er geen warmtevraag is en wel warmte wordt geproduceerd, dan wordt de buffer gevuld of als er wel warmtevraag is zonder gasverbruik, dan wordt de buffer geleegd. Voor de inzet van de buffer moet het gasverbruik per uur dus worden gecorrigeerd.

Correctie voor de warmtebuffer

Een warmtebuffer is een grote tank met water. Het water is opgedeeld in 2 denkbeeldige lagen: de onderste laag bevat relatief koud water (temperatuur tussen de 40 en 70°C, afhankelijk van de retourtemperatuur van het verwarmingsnet) en de bovenste laag warm water (circa 90°C). Een goede buffer heeft een vrij scherpe of kleine grenslaag tussen beide. Die grenslaag beweegt omhoog en omlaag, afhankelijk van het legen of vullen van de buffer. De temperatuur van de buffer wordt gemeten met een aantal temperatuurvoelers. Het aantal temperatuurvoelers is verschillend per bedrijf en varieert van 4 tot 10. De gemiddelde buffertemperatuur per moment is vastgesteld door de temperatuur per voeler te vermenigvuldigen met het volume wat die voeler representeert en het totaal te delen door het gehele volume. Het verschil in gemiddelde temperatuur tussen het begin en het einde van een uur is het verschil in legen of vullen van de buffer. Uit de warmteleer kan worden berekend dat een verandering in temperatuur van 1 m^3 water met 1°C overeenkomt met 0,132 m^3 aardgasequivalenten¹ (exclusief warmteverlies uit warmtebuffer). Het verschil in gemiddelde buffertemperatuur tussen een uur kan zo vertaald worden naar hoeveel aardgasequivalenten dat de buffer is 'in- of uitgegaan'. Indien er warmte de buffer in is gegaan, is

¹ De verandering van de dichtheid van water door verschil in temperatuur is niet meegerekend.

overeenkomstige aardgasverbruik van het werkelijk gemeten aardgasverbruik in dat uur afgetrokken. Als er warmte aan de warmtebuffer is onttrokken, is dit bij het werkelijk gemeten aardgasverbruik opgeteld.

Correctie voor w/k op de rozenbedrijven

In de meeste gevallen is er één hoofdgasmeting, waarop zowel het gasverbruik van de ketel als w/k wordt gemeten. De w/k heeft daarnaast een eigen meter. Het gasverbruik van de ketel wordt dan bepaald door het w/k-gas van de hoofdgasmeting af te trekken. Meestal is de w/k-gasmeter een eenvoudige meter zonder EVHI-correctie. Het w/k gas zal dus voor druk en temperatuur moeten worden gecorrigeerd. Voor druk is dat mogelijk, voor temperatuur niet, omdat er geen temperatuursmeting is van het gas op de w/k gasmeter.

Correctie voor elektriciteitsgebruik voor assimilatiebelichting en warmte van derden

Indien er additionele elektriciteit uit het net wordt gebruikt voor assimilatiebelichting of indien er warmte van derden wordt gebruikt, is de hoeveelheid energie die hiervan de kas in gaat, omgerekend naar m^3 aardgasequivalenten en bij het gasverbruik opgeteld. Alle verbruiken voor het verwarmen van de kassen worden in m^3 per ha per uur omgerekend.

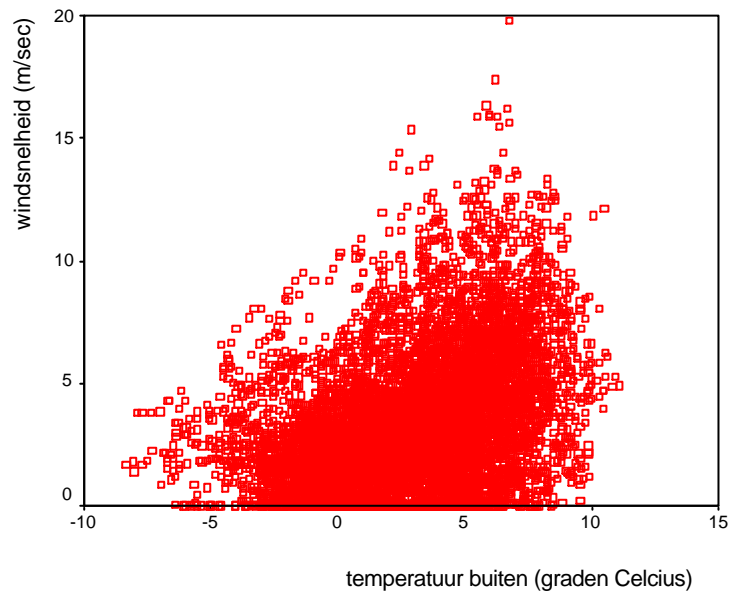
3. Resultaten

3.1 Weersomstandigheden in de winter van 2001/2002

De winter van 2001/2002 is vrij zacht geweest. Er zijn geen vorstdagen geweest, laat staan een langdurige vorstperiode. Wel zijn er enkele wolkenloze winternachten geweest, die gekenmerkt zijn door matige vorst in de nacht met weinig of geen wind. Bij temperaturen onder het vriespunt heeft het in weinig uren harder gewaaid dan gemiddeld 5 m/sec (zie onderstaande figuur 3.1).

De uren met de laagste buitentemperaturen vallen normaliter in de vroege ochtend-uren als het nog donker is. Meestal zijn dan de ramen en (eventueel) het scherm van de kas gesloten.

De laagste temperaturen per uur (tot -8°C) zijn gerealiseerd in het oosten (Klazierven en Limburg) en de windsnelheden waren in het westen (Westland) wat hoger. Hoogste gemeten windsnelheid per uur was bijna 20 m/s. In perioden met hogere buitentemperaturen waren de windsnelheden gemiddeld hoger (figuur 3.1.).



Figuur 3.1 Gemiddelde buitentemperatuur per uur ($^{\circ}\text{C}$) uitgezet tegen de gemiddelde windsnelheid in dat uur (in m/sec) in de onderzochte periode 2001/2002 op de onderzochte groentebedrijven

3.2 Bedrijveselectie

Er zijn 32 bedrijven geselecteerd: 16 rozen- en 16 groentebedrijven, waarvan 9 tomaat, 2 komkommer en 5 paprika. Van de groentebedrijven lagen er 12 in het Westland, 1 in Limburg en 3 in Noord-Nederland. Van de rozenbedrijven lagen er 8 in het Westland en 8 in Noord-Nederland. Door allerlei uiteenlopende redenen zijn van een aantal bedrijven geen gegevens verzameld. Tegen het einde van het meetseizoen zijn er twee groentebedrijven aan de groep toegevoegd als extra deelnemers. Beide lagen in de regio Westland. Bij één van hen was een kleine w/k installatie van het nutsbedrijf aanwezig, waarvan helaas geen gasmeting beschikbaar was. Omdat de momenten van het draaien van deze w/k installatie vast lagen, is het gasverbruik gecorrigeerd voor deze uren.

Samenvattend zijn er analyses uitgevoerd van 30 bedrijven: het zijn 16 groentebedrijven (10 bedrijven met scherm (3 tomaat, 2 komkommer, 5 paprika) en 6 tomatenbedrijven zonder scherm). Van 1 bedrijf zijn de data van 2000/2001 gebruikt. Verder zijn er van 14 rozenbedrijven (13 scherm en 1 geen scherm) analyses uitgevoerd. Van 3 bedrijven zijn de data van 2000/2001 gebruikt.

3.3 Kwaliteit van data

Gasmeter ijkingen

Van elk bedrijf zijn minimaal 2 ijkingen gedaan door de ondernemer, om te checken of de gasmeting van Remis gelijk is aan de meting op de gasmeter. Op 6 bedrijven werd een afwijking gevonden, veroorzaakt door de verwerking van het pulssignaal uit de EVHI-meter door de klimaatcomputer. Eén bepaald type klimaatcomputer had de meeste afwijkingen met een bepaalde vaste factor. De Remis gasmeting is daarna gecorrigeerd met deze factor.

Weergegevens bedrijven

De ijkingen van de meetboxen in het eerste kwartaal van 2001 liet zien dat er bij slecht een enkel bedrijf een kleine afwijking is. De metingen van buitenomstandigheden van de glastuinbouwbedrijven lieten daarentegen grote afwijkingen zien met de ijkmetingen. Daarom zijn voor de winter van 2001/2002 de buitenmetingen van de glastuinbouwbedrijven vergeleken met lokale weerstations. Dit heeft ertoe geleid dat voor 1 bedrijf de gehele dataset van de buitenmetingen is vervangen door een ander bedrijf dat in de buurt lag.

Dataverzameling en bewerking

Het ordenen van data alsmede het controleren op fouten bleek een enorme klus. Het proces werd bemoeilijkt door het ontbreken van data over bepaalde perioden (enkele uren tot enkele dagen), doordat de koppeling tussen Remis en de klimaatcomputer niet functioneerde. Verder bleken er door diverse redenen fouten of ontbrekende data in de datasets voor te komen, waardoor hele bedrijven uitvielen (bijvoorbeeld door ontbreken juiste buffermeting) of analyses opnieuw uitgevoerd moesten worden met gecorrigeerde data.

Uitkomst van de bedrijfskenmerken

In bijlage 1 staat een overzicht van de waarden van de verschillende bedrijfskenmerken: minimum, maximum, gemiddelde en standaardafwijking. Er is een onderscheid gemaakt in waarden van de gehele dataset (met een aantal filters) en van de 24 geselecteerde waarnemingen per bedrijf. Beide komen goed met elkaar overeen.

Grenswaarden

Voor de analyse zijn niet alle waarnemingen bruikbaar. De volgende begrenzingswaarden zijn vastgelegd:

- de nacht is begrensd op een lichtinstraling van kleiner dan 10 W/m^2 ;
- de dag is begrensd bij een stralingsom per uur groter dan 40 W/m^2 ;
- gasverbruiken per ha per uur die lager waren dan 40 m^3 zijn buiten beschouwing gelaten. Als bovengrens is 400 m^3 gehanteerd. Waarden van meer dan 400 m^3 zijn technisch gezien onmogelijk en kunnen als meetfouten worden gezien;
- omdat de analyse zich richt op de koudste periode is een begrenzing op de delta T gezet. Alleen die waarnemingen zijn meegenomen met een delta T groter dan 10°C ;
- uit de analyses van vorig jaar en ook uit dit jaar, blijkt dat het toegepaste buffercorrectie wisselend uitpakt. Er kunnen afwijkingen zijn bij de berekening van de gemiddelde warmte-inhoud van de buffer door bijvoorbeeld afwijkingen van de buffervoelers, te weinig voelers per buffer, warmteverlies uit de buffer, enzovoort. Door het beperken van de bufferinzet tot plus of min 10 m^3 gasequivalenten per uur, blijkt de verklaring van de verschillen in gasverbruik te verbeteren en blijven er voldoende analyse-uren over, ook koude uren;
- regen is niet als variabele meegenomen in de modellen. Neerslag blijkt een factor te zijn die voor temperaturen onder het vriespunt moeilijk in de regressievergelijking is in te passen. Met name op de koudste momenten - wanneer de buitentemperatuur beneden het vriespunt duikt - zijn geen waarnemingen met neerslag beschikbaar. Het is niet duidelijk of neerslag in de vorm van sneeuw of ijs een andere uitkomst van de regressievergelijking tot gevolg heeft. Door het ontbreken van uren onder het vriespunt met neerslag is besloten om neerslag buiten de regressie te houden.

3.4 Analyses per vruchtgroentebedrijf

3.4.1 Inleiding

In eerste instantie zijn regressieberekeningen uitgevoerd voor de afzonderlijke bedrijven. Dat is gedaan voor de nacht en de dag met gesloten ramen. Hierbij is voor de nacht onderscheid gemaakt tussen de tien groentebedrijven met een beweegbaar scherm, dat op koude momenten voor 100% wordt gesloten, en de zes bedrijven zonder scherm.

In de analyses wordt het gecorrigeerde gasverbruik, dat per uur daadwerkelijk wordt ingezet voor het verwarmen van de kassen, in verband gebracht met de factoren die van invloed zijn op het gasverbruik tijdens de koudste uren.

De belangrijkste factoren die invloed kunnen hebben op de verschillen in gasverbruik per bedrijf zijn: het temperatuurverschil tussen binnen en buiten de kas (delta T in $^\circ\text{C}$) en

de windsnelheid (m/s). Nagegaan wordt in welke mate deze factoren het gasverbruik van de afzonderlijke bedrijven in de koudste periode beïnvloeden.¹

3.4.2 Analyse nachtperiode

In de volgende overzichten zijn de regressies van de individuele bedrijven weergegeven. In de regressies wordt getracht het gasverbruik te verklaren met de variabelen delta T en windsnelheid. Het aantal analyseerbare uren per bedrijf blijkt sterk uiteen te lopen van 115 tot 843 uurwaarnemingen per bedrijf.

Nacht, geen scherm en ramen dicht

Voor deze situatie verklaren delta T en windsnelheid voor de uiteenlopende bedrijven 15-66% ($=R^2_{\text{adj}} \cdot 100\%$) van de verschillen in gasverbruik. Door de bufferwerking te begrenzen op 10 m³ aardgasequivalent vullen of legen kon in alle gevallen bij de bedrijven zonder scherm een regressievergelijking met een hogere mate van correlatie worden verkregen.

In tabel 3.1 zijn de regressievergelijkingen van de afzonderlijke bedrijven weergegeven. De coëfficiënten van de afzonderlijke bedrijven kunnen niet zondermeer met elkaar vergeleken, onder andere omdat de constante verschillend is.

Voor de afzonderlijke bedrijven is het gasverbruik berekend vanuit de verschillende regressievergelijkingen bij een delta T van 25 graden en een windsnelheid van 3 m/s en bij een delta T van 30 graden met een windsnelheid van 6 m/s.

Tabel 3.1 Overzicht van regressievergelijkingen van groentebedrijven zonder schermgebruik, waarbij het gasverbruik per uur tijdens de nacht met gesloten luchtramen wordt verklaard uit delta T (>10°C) en windsnelheid (m/s). Voor 2 situaties zijn de geschatte maximumgasverbruiken per uur per ha berekend.

Bedrijf-nummer	R ² _{adj}	Regressievergelijking			Geschatte gasverbruik in m ³ /uur.ha	
		coëfficiënt constante	coëfficiënt delta T	coëfficiënt windsnelheid	delta T = 25 ⁰ C windsnelheid = 3m/s	delta T = 30 ⁰ C windsnelheid = 6m/s
1 a)	0,54	2,4	7,6	3,5	203	252
2 a)	0,66	-15,6	9,1	3,9	222	279
3 a)	0,61	-13,3	9,2	5,3	232	294
6 a)	0,61	-4,6	8,1	3,7	210	261
7 a)	0,15	39,8	5,4	4,4	189	229
8 a)	0,47	25,4	6,3	2,8	192	232
Gemiddelde					208	258

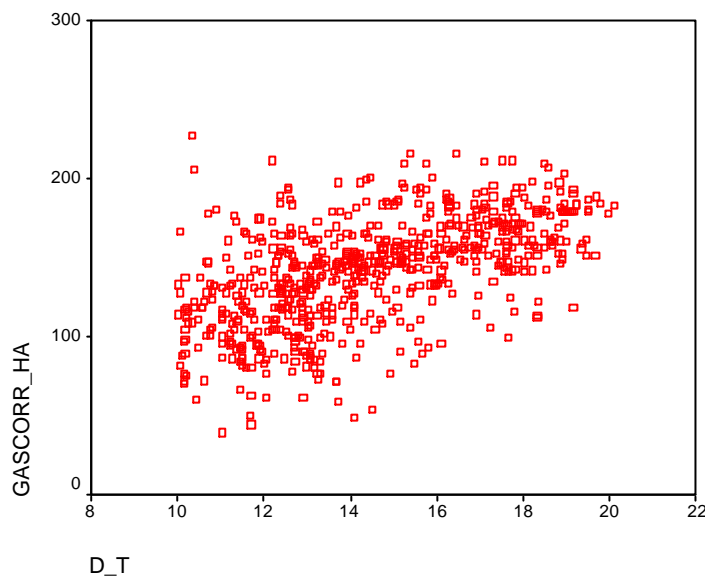
a) = deze bedrijven gaven de hoogste R²_{adj} bij toepassing van bufferbegrenzing van ±10 m³/uur.ha.

¹ Alleen de coëfficiënten met een betrouwbare t-waarde worden weergegeven in alle tabellen.

Bij een delta T van 25 graden en een windsnelheid van 3 m/s bedraagt het geschatte gasverbruik per uur per ha gemiddeld voor alle bedrijven 208 m^3 (spreiding $189\text{-}232 \text{ m}^3/\text{uur.ha}$) en bij een delta T van 30 graden en een windsnelheid van 6 m/s 258 m^3 (spreiding $229\text{-}294 \text{ m}^3/\text{uur.ha}$). De verschillen tussen de bedrijven wordt verklaard door de verschillen in bedrijfsomstandigheden.

Het is lastig om een vergelijking uit tabel 3.1 grafisch weer te geven, vanwege 3 dimensies. Daarom is ter illustratie in figuur 3.2 is het gasverbruik per uur per ha grafisch uitgezet tegen alleen de delta T in de nacht van bedrijf 2. De regressievergelijking voor dit bedrijf is als volgt:

$$\text{Gasverbruik/uur.ha} = -15,6 + 9,1 * \text{delta T} + 3,9 * \text{windsnelheid}$$



Figuur 3.2 Grafische weergave van het gecorrigeerde gasverbruik ($\text{m}^3/\text{uur.ha}$) bij bedrijf 2 en het temperatuurverschil tussen binnen en buiten de kas (delta T in $^{\circ}\text{C}$) (geen scherm)

In figuur 3.2. is te zien dat de delta T niet boven de 20 graden uitkomt. De delta T is niet zo groot. De reden is dat op dit ongeschermd (tomaten)bedrijf men bij temperaturen onder het vriespunt de binnentemperatuur in de kassen gelijkmatig liet dalen met de buitentemperatuur. Dat gebeurde ook bij de meeste andere ongeschermd bedrijven. Dit kan 2 oorzaken hebben:

- 1 het is een teeltmaatregel; de ondernemer laat de nachttemperatuur (tijdelijk) wegzakken. De vraag is voor hoeveel nachten de ondernemer dit accepteert en hoe ver de binnentemperatuur mag wegzakken;
- 2 het gasverbruik/uur.ha is begrensd. Waarschijnlijk is er hier sprake van een maximum buis begrenzing of een begrenzing door zijn contractcapaciteit. In beide gevallen wordt de teelttemperatuur en daarmee de delta T begrensd.

Nacht met gesloten scherm en ramen dicht

In tabel 3.2 staat een overzicht van de regressievergelijkingen voor bedrijven met scherm. Met gesloten schermen is het gasverbruik per uur aanzienlijk lager dan bij geopende schermen. In de regressievergelijkingen met gesloten schermen zijn de coëfficiënten van de delta T veel gematigder dan in de situatie zonder energieschermen. Door het schermgebruik blijkt ook de invloed van de wind af te nemen. Bij 6 van de 10 bedrijven blijkt de windfactor significant en een verbetering van de regressie op te leveren.

Tabel 3.2 Overzicht van regressievergelijkingen van groentebedrijven met gesloten energie schermen, waarbij het gasverbruik per uur tijdens de nacht met gesloten luchtramen wordt verklaard uit delta T ($>10^{\circ}\text{C}$) en windsnelheid. Voor 2 situaties zijn de geschatte maximumgasverbruiken per uur per ha berekend.

Bedrijf- nummer	R^2_{adj}	Regressievergelijking			Geschatte gasverbruik in $\text{m}^3/\text{uur.ha}$	
		coëfficiënt constante	coëfficiënt delta T	coëfficiënt windsnelheid	delta T = 25°C windsnelheid = 3m/s	delta T = 30°C windsnelheid = 6m/s
4 a)	0,57	-11,9	5,1	2,8	124	158
5	0,34	15,8	4,9		138	163
9	0,34	-11,5	7,0		164	199
10 a)	0,57	0,2	4,6	1,6	120	148
11 a)	0,28	43,7	3,7	1,5	141	164
12	0,40	-6,0	5,9		142	171
13	0,49	-9,9	5,2	1,8	126	157
14	0,49	-1,8	5,3		131	155
15	0,25	19,8	4,3	1,0	130	155
16 a)	0,60	4,8	4,8	1,4	129	157
Gemiddelde					134	163

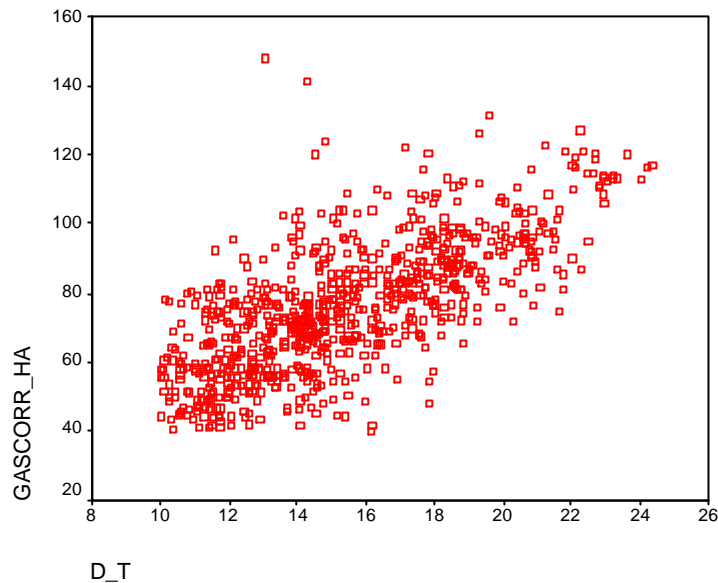
a) = deze bedrijven gaven de hoogste R^2_{adj} bij toepassing van bufferbegrenzing.

Wanneer vanuit de regressievergelijkingen gasverbruiken worden berekend voor de situaties met delta T 25 graden en windsnelheid 3 m/s en delta T 30 graden en 6 m/s wind, dan blijkt het gemiddelde gasverbruik over alle geschermden bedrijven gemiddeld 134 m^3 per uur per ha (spreiding $120\text{-}164 \text{ m}^3/\text{uur.ha}$) respectievelijk 163 m^3 per uur per ha (spreiding $148\text{-}199 \text{ m}^3/\text{uur.ha}$) te bedragen.

Worden de gemiddelde geschatte gasverbruiken per uur van bedrijven met en zonder scherm met elkaar vergeleken (tabel 3.1 en 3.2), dan is het gasverbruik per uur per ha voor een geschermd bedrijf ongeveer 36% lager vergeleken met een ongeschermd bedrijf.

In figuur 3.3 is als voorbeeld het gasverbruik per uur per ha grafisch uitgezet tegen alleen de delta T voor bedrijf nummer 10 met gesloten scherm in de nacht. De windsnelheid is voor de verduidelijking van de illustratie niet weergegeven. De regressievergelijking is als volgt:

$$\text{Gasverbruik/uur.ha} = 0,2 + 4,6 * \text{delta T} + 1,6 * \text{windsnelheid}$$



Figuur 3.3 Grafische weergave van het gecorrigeerde gasverbruik ($m^3/\text{uur.ha}$) bij bedrijf 10 en het temperatuurverschil tussen binnen en buiten de kas (D_T in $^{\circ}C$) (bedrijf met gebruik van beweegbaar scherm)

3.4.3 Analyse dagperiode

Overdag wordt het gasverbruik beperkt door de instraling en de buitentemperaturen zijn ook minder laag dan in de nacht. Voor het bepalen van het hoogste gasverbruik per uur is de dagperiode minder interessant. Bij extreme koude worden de laagste buitentemperaturen in de vroege ochtenduren gerealiseerd, wanneer de instraling nog helemaal geen rol speelt. Tijdens de onderzoeksperiode waren in alle gevallen de uren net voor 9.00 uur de koudste uren.

Toch kan het voorkomen dat een bedrijf overdag meer gas verbruikt dan tijdens de nacht. Dat is als het scherm bij extreme koude toch wordt geopend!

Tabel 3.3 Overzicht van regressievergelijkingen van groentebedrijven zonder schermgebruik, waarbij het gasverbruik per uur overdag met gesloten luchtramen wordt verklaard uit instraling, delta T en windsnelheid. Voor 2 situaties zijn de geschatte maximumgasverbruiken per uur per ha berekend

Bedrijf- nummer	R ² _{adj}	c	Regressievergelijking			Geschatte gasverbruik in m ³ /uur.ha	
			coëfficiënt instraling	coëfficiënt delta T	coëfficiënt windsnelheid	straling = 80 W/m ² delta T = 25°C windsnelheid=3 m/s	straling = 120 W/m ² delta T = 30°C windsnelheid=6 m/s
1	0,22	46,9	-0,17	4,6	2,8	157	181
2	0,28	10,5	-0,23	7,3	5,3	191	234
3	0,35	33,0	-0,34	8,0	4,6	220	260
6	0,19	-6,5	-0,26	7,8	5,6	185	230
7	0,21	30,6	-0,30	3,9	7,0	125	154
8	0,34	-1,1	-0,29	9,1	3,5	214	258
5	0,28	23,6	-0,20	6,9		180	207
10	0,27	21,1	-0,23	5,2	3,0	142	168
14	0,70	136,9	-0,29			114	102
16	0,31	57,3	-0,16	3,2		124	134
Gemiddelde						165	193

In tabel 3.3. staat een overzicht van de regressievergelijkingen van de groentebedrijven voor de situatie overdag, waarbij het scherm niet gebruikt is of niet aanwezig was.

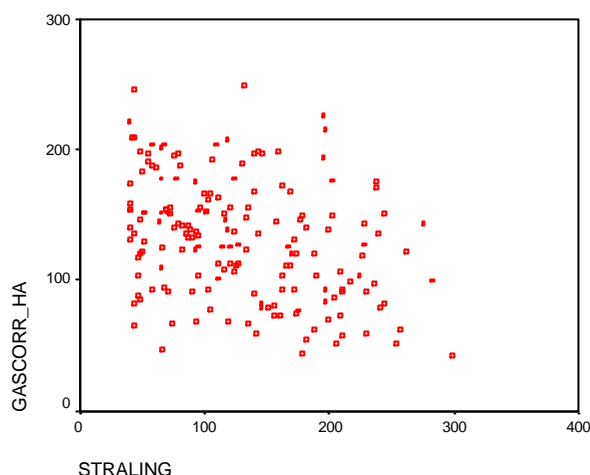
Bij zes groentebedrijven met beweegbare schermen gaf geen enkele factor een significante bijdrage aan de verklaring van het gasverbruik in de koudste periode overdag. Wanneer op bedrijven het beweegbare scherm overdag tijdelijk wordt dichtgetrokken, dan blijven veelal geen factoren meer over die een betrouwbaar verband met het gasverbruik geven.

Bij een bedrijf komt alleen de instraling als betrouwbare variabele in de regressievergelijking voor. Op de andere 9 bedrijven komen instraling, delta T en meestal ook windsnelheid als de belangrijkste significante factoren naar voren.

In figuur 3.4 is als voorbeeld het gasverbruik per uur per ha grafisch uitgezet tegen alleen de instraling voor bedrijf (nr. 3) zonder scherm overdag. De delta T en windsnelheid zijn voor de verduidelijking van de illustratie niet weergegeven. De regressie vergelijking is als volgt:

$$\text{Gasverbruik/uur.ha} = 33,0 - 0,34 \text{ instraling} + 8,0 * \text{delta T} + 4,6 * \text{windsnelheid}$$

Er is grote spreiding door de invloed van delta T en windsnelheid op het gasverbruik per uur.



Figuur 3.4 Grafische weergave van het gecorrigeerde gasverbruik ($m^3/uur.ha$) bij bedrijf 3 (bedrijf zonder scherm) uitgezet tegen instraling (W/m^2) overdag

3.4.4 Samenvatting

delta T (het verschil in temperatuur tussen binnen en buiten de kas) en windsnelheid hebben in de nacht een grote invloed op het gasverbruik per uur van afzonderlijke groentebedrijven. Overdag komt daar de instraling nog bij.

Afzonderlijke analyses zijn uitgevoerd voor bedrijven zonder schermen en bedrijven waar de schermen in de koudste periode gesloten waren. Bij beide groepen kon ongeveer 15-66% van de verschillen in gasverbruik in de koudste periode worden verklaard uit de variatie in delta T en windsnelheid. De verschillen tussen de bedrijven worden veroorzaakt door de bedrijfsomstandigheden van de individuele deelnemers.

Nacht:

Ongeschermden vruchtgroentebedrijven laten 's nachts gasverbruiken per uur zien, die bij een delta T van $25^{\circ}C$ en een windsnelheid van 3 m/s, uiteenlopen van 189 tot 232 $m^3/uur.ha$ (ingevuld in de vergelijkingen). Het gemiddelde gasverbruik per uur is bij dit uitgangspunt 208 $m^3/uur.ha$. Bij een delta T van $30^{\circ}C$ en een windsnelheid van 6 m/s loopt dit uiteen van 232 tot 294 $m^3/uur.ha$. Gemiddelde gasverbruik per uur is 258 $m^3/uur.ha$.

Geschermden vruchtgroentebedrijven laten 's nachts gasverbruiken per uur zien die bij een delta T van $25^{\circ}C$ en een windsnelheid van 3 m/s uiteenlopen van 120 tot 164 $m^3/uur.ha$ (ingevuld in de vergelijkingen). Gemiddelde gasverbruik per uur is 134 $m^3/uur.ha$. Bij een delta T van $30^{\circ}C$ en een windsnelheid van 6 m/s loopt dit uiteen van 148 tot 199 $m^3/uur.ha$. Gemiddelde gasverbruik per uur is 163 $m^3/uur.ha$.

Door het gebruik van energieschermen wordt het gasverbruik per uur verlaagd met gemiddeld 36% ten opzichte van ongeschermden bedrijven. In de regressievergelijkingen van de geschermden bedrijven zijn de coëfficiënten van delta T en windsnelheid op een wat lager niveau dan van de niet geschermden bedrijven. De factor windsnelheid blijkt soms niet meer betrouwbaar. Het scherm blijkt dus temperend te werken op zowel het effect van del-

ta T als van de windsnelheid op het gasverbruik. De invloed van de wind wordt dus bij gesloten scherm te klein om te kwantificeren.

Dag:

Overdag laten ongeschermd vruchtgroentebedrijven gasverbruiken per uur zien die bij een straling van 80 W/m^2 en een delta T van 25°C en een windsnelheid van 3 m/s uiteen lopen van 114 tot $220 \text{ m}^3/\text{uur.ha}$. Gemiddelde gasverbruik per uur is $165 \text{ m}^3/\text{uur.ha}$. Bij een straling van 120 W/m^2 en een delta T van 30°C en een windsnelheid van 6 m/s loopt dit uiteen van 102 tot $260 \text{ m}^3/\text{uur.ha}$. Gemiddelde gasverbruik per uur is $193 \text{ m}^3/\text{uur.ha}$.

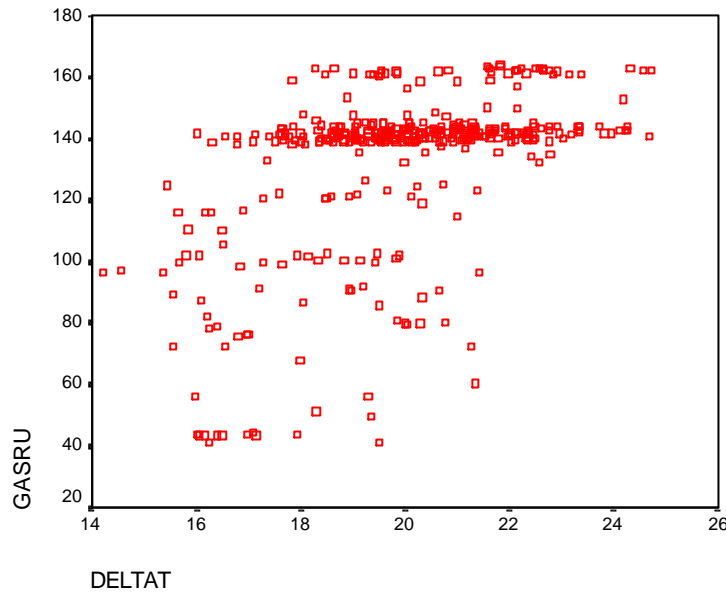
Overdag is de instraling meestal de sterkste factor voor de verklaring van het gasverbruik. Bij het toenemen van de instraling gaat ook de buitentemperatuur weer stijgen. Toch wil dat niet zeggen dat het gasverbruik overdag altijd lager is. Tijdens de nacht wordt het energiescherm gesloten. Wanneer het scherm overdag open is, kan het gasverbruik per uur dus hoger uitvallen dan gedurende de nacht.

3.5 Analyses per bedrijf bij roos

3.5.1 Inleiding

Het gasafnamepatroon van rozenbedrijven met belichting wijkt af van het afnamepatroon van vruchtgroentebedrijven door de invloed van belichting en de inzet van de w/k-installatie daarbij. Tot een bepaalde delta T is het gasverbruik constant als de w/k-installatie in vollast draait. De hoogte van dit gasverbruik is afhankelijk van het vermogen en het rendement van de w/k. Als de warmtevraag groter is dan door de w/k kan worden verzorgd, dan zal afhankelijk van onder andere de delta T, het gasverbruik per uur toenemen, vergelijkbaar met vruchtgroentebedrijven (Benninga et al., 2002). In figuur 3.5 is duidelijk te zien dat het gasverbruik van de w/k installatie $140 \text{ m}^3/\text{uur.ha}$ bedraagt. Bij kleinere delta T's wordt er dus eigenlijk teveel warmte geproduceerd dan nodig is voor die betreffende delta T. Indien er een warmtebuffer aanwezig is, wordt die warmte in de buffer opgeslagen. Het gasverbruik is voor dit buffergebruik gecorrigeerd.

Belichtende rozenbedrijven doseren over het algemeen, ook in de wintermaanden, CO_2 via de ketel. Dit gebeurt dan in de uren dat de belichting aan is. Het totale gasverbruik in deze uren zal daarom hoger liggen dan alleen nodig is voor het laten draaien van de w/k. CO_2 wordt dus in de winter bij lage delta T gedoseerd, als er voor de warmtevraag, de ketel geen gas zou hebben verbruikt. In figuur 3.5 is het CO_2 niveau maximaal $20 \text{ m}^3/\text{uur.ha}$ (= het verschil tussen 160 en $140 \text{ m}^3/\text{uur.ha}$)



Figuur 3.5 Karakteristiek van het gasverbruik van de hoofdgasmeter per uur per ha (=GASBU), uitgezet tegen het temperatuursverschil binnen en buiten de kas (delta T) voor een geschermd rozenbedrijf. Het gasverbruik is niet gecorrigeerd voor de warmtebuffer.

Veel belichtende rozenbedrijven beschikken over een scherm, een gevelscherm en een warmtebuffer, wat veel invloed heeft op het gasafname-patroon. Het scherm is in de meeste gevallen en zeker bij lagere buitentemperaturen 's nachts gesloten en afhankelijk van de buitentemperatuur en de straling, meestal overdag geopend. Warmtebuffers worden gevuld als de w/k in vollast draait en er minder warmtevraag is dan er warmte door de w/k wordt geleverd. Tijdens de vier uur durende donkerperiode en in uren met veel warmtevraag wordt deze warmte weer aan de warmtebuffer onttrokken.

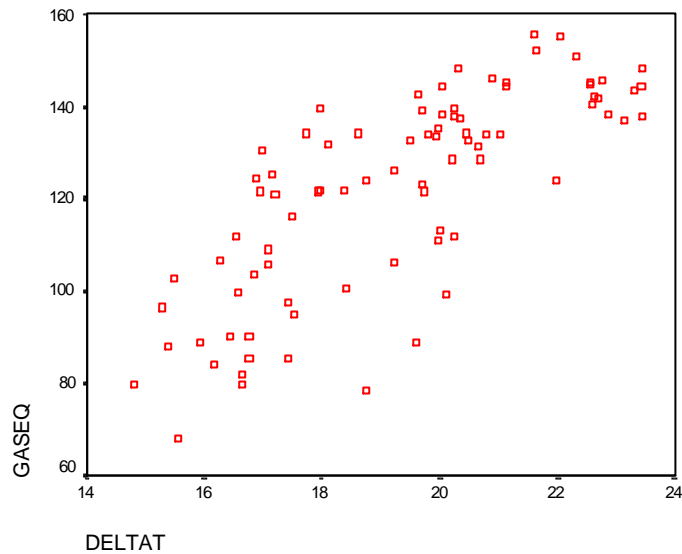
3.5.2 Analyse nachtperiode

Het omrekenen van de temperatuurstijging of -daling van de warmtebuffer naar een reëel gasverbruik heeft tot gevolg dat het gasverbruik per uur van individuele bedrijven volgens een opgaande lijn verloopt in relatie tot de delta T.

Bij de analyse per bedrijf is ervan uitgegaan de w/k zonder condensor een rendement op onderwaarde heeft 90% en met condensor 95%. Dit houdt in dat het warmteverlies op basis van het w/k-gasverbruik is berekend en afgetrokken van het totale gasverbruik. In een LEI-onderzoek (Verhoeven et al., 1995) naar rendementen van w/k installaties, was het hoogste vastgestelde rendement 92% (met condensor) en het laagste 80%. Omdat de technische ontwikkeling niet stilgestaan heeft, zijn de rendementen, waarvan uitgegaan is in dit onderzoek, iets hoger dan in het onderzoek van Verhoeven et al.

Voor zover mogelijk zijn van bedrijven met scherm twee regressievergelijkingen bepaald: één met het scherm voor 100% gesloten en één met het scherm volledig geopend. In figuur 3.6 is als voorbeeld het gasverbruik per uur per ha grafisch uitgezet tegen de delta T voor bedrijf met een gesloten scherm in de nacht. De regressievergelijking is als volgt:

$$\text{Gasverbruik/uur.ha} = -18,0 + 7,3 * \text{delta } T \quad (R^2_{\text{adj}} = 58\%)$$



Figuur 3.6 De delta T uitgezet tegen het gasverbruik per uur per ha, gecorrigeerd voor warmtebuffergebruik van een bedrijf met gesloten scherm

Analyse uren met geopend scherm in de nacht

Een overzicht van de regressievergelijkingen van 5 bedrijven met geopend scherm in de nacht staat in tabel 3.4. Van de rozenbedrijven heeft slechts 1 bedrijf geen scherm. De waarnemingen van de andere 4 bedrijven zijn dus in de nacht dat ze niet geschermd hebben, dus in nachten dat het buiten niet (erg) koud is geweest. Hierdoor is de delta T ook niet groot.

De rest van de bedrijven had te weinig uren met het scherm volledig open, bij andere bedrijven heeft de analyse geen betrouwbare vergelijking opgeleverd.

Tabel 3.4 Regressievergelijkingen van 5 rozenbedrijven met geopend scherm in de nacht, waarbij het gasverbruik per uur verklaard is door delta T en windsnelheid. Voor 2 situaties zijn de geschatte maximumgasverbruiken per uur per ha berekend.

Bedrijf	R^2_{adj}	Constante	Coëfficiënt delta T	Coëfficiënt windsnelheid	Geschatte gasverbruik ($m^3/uur.ha$) bij:	
					delta T=25 °C windsnelheid=3 m/s	delta T=30 °C windsnelheid=6 m/s
17	0,36	-10,9	10,8	9,8	288	372
18	0,30	-9,0	9,1	7,3	240	308
20	0,26	1,9	11,4	4,0	299	368
23	0,25	27,7	8,1	3,1	240	289
24	0,27	-12,4	9,5	4,0	237	297
Gemiddelde					261	327

n.b. w/k-gascorrectie is 10% en 5% indien rookgascondensator op de w/k is aangesloten.

Deze vijf bedrijven laten geschatte gasverbruiken per uur zien die bij een delta T van 25 °C en een windsnelheid van 3 m/s uiteen lopen van 237 tot 299 m³/uur.ha (ingevuld in de vergelijkingen). Het gemiddelde gasverbruik is 261 m³/uur.ha. Bij een delta T van 30°C en een windsnelheid van 6 m/s loopt dit uiteen van 289 tot 373 m³/uur.ha. Het gemiddelde gasverbruik is dan 327 m³/uur.ha.

Analyse uren met gesloten scherm in de nacht

Een aantal bedrijven hebben hun scherm gedurende de gehele onderzoeksperiode op een geringe kierstand gehouden. Voor deze bedrijven is daarom uitgaan van alle uren met een schermstand van meer dan 99%. Gevolg hiervan is wel dat het gasverbruik per uur iets wordt overschat. Tabel 3.5 toont de regressievergelijkingen.

Tabel 3.5 Regressievergelijkingen van negen rozenbedrijven met gesloten scherm in de nacht, waarbij het gasverbruik is verklaard door delta T en windsnelheid. Voor 2 situaties zijn de geschatte maximumgasverbruiken per uur per ha berekend.

Bedrijf	R ² _{adj}	Constante	Coëfficiënt delta T	Coëfficiënt windsnelheid	Geschatte gasverbruik (m ³ /uur.ha) bij:	
					delta T=25°C windsnelheid=3 m/s	delta T=30°C windsnelheid=6 m/s
18	0,48	-28,9	7,3		154	190
19 a)	0,58	-18,0	7,3		165	201
21 a)	0,25	-27,2	7,9	7,4	193	254
22 a)	0,23	-1,5	4,8		119	143
23	0,54	-42,5	7,7	5,2	166	220
24	0,36	-18,6	6,5	1,9	150	188
25	0,24	-89,7	9,2	4,4	154	213
26	0,35	5,8	5,4		141	168
28	0,58	-55,0	9,2	6,5	195	260
Gemiddelde					160	204

a) Een scherm dat 99% -100% gesloten is geweest;

Voor een aantal bedrijven is de vergelijking met alleen delta T als verklarende variabele de meest betrouwbare gebleken, voor andere bedrijven is de windsnelheid een statistisch betrouwbare tweede verklarende variabele gebleken.

Deze negen bedrijven (tabel 3.5) laten gasverbruiken per uur zien die bij een delta T van 25 en een windsnelheid van 3 m/s uiteenlopen van 119 tot 195 m³/uur.ha (gemiddeld 160 m³/uur.ha). Bij een delta T van 30°C en een windsnelheid van 6 m/s loopt dit uiteen van 143 tot 260 m³/uur.ha (gemiddeld 204 m³/uur.ha).

3.5.3 Analyse van de dagperiode

Het hoogste gasverbruik per uur zal tijdens extreme buitenomstandigheden alleen tijdens de dagperiode optreden, omdat het scherm geopend is. Vandaar dat van de rozen bedrijven voor de uren overdag regressievergelijkingen zijn bepaald met een geopend scherm. Bovendien geven veel bedrijven met gesloten scherm overdag geen betrouwbare vergelijking of zijn te weinig analyseerbare uren beschikbaar. Ten opzichte van de nachtperiode is de straling als verklarende variabele aan de regressievergelijkingen toegevoegd.

Tabel 3.6 Regressievergelijkingen per bedrijf overdag, waarbij het gasverbruik per uur is verklaard door straling, delta T en windsnelheid. Voor 2 situaties zijn de geschatte maximumgasverbruiken per uur per ha berekend.

Bedrijf	R^2_{adj}	Con- stante	Coëffi- ciënt straling	Coëffi- ciënt delta T	Coëffi- ciënt wind snelheid	Geschatte gasverbruik ($\text{m}^3/\text{uur.ha}$) bij:	
						straling=80 W/m^2 delta T=25°C windsnelheid=3 m/s	straling=120 W/m^2 delta T=30°C windsnelheid=6 m/s
17	0,34	91,9	-0,28	3,5	4,3	170	189
18	0,18	14,8	-0,28	7,3	5,3	191	232
19	0,83	24,4	-0,55	7,6	6,5	190	225
21	0,45	183,0	-0,52			141	121
22	0,65	96,4	-0,25			76	66
23	0,34	83,7	-0,84	6,4		177	175
24	0,45	103,5	-0,30	2,9		152	155
25	0,22	17,8	-0,32	6,9	7,7	188	233
26	0,63	104,6	-0,60	3,9		154	150
28	0,61	161,5	-0,33			159	122
Gemiddelde						160	167

n.b. 100% geopend scherm; $R^2_{\text{adj}} > 0,15$.

Deze 10 bedrijven (tabel 3.6) laten gasverbruiken per uur zien die bij een straling van 80 W/m^2 en een delta T van 25°C en een windsnelheid van 3 m/s uiteen lopen van 76 tot 191 $\text{m}^3/\text{uur.ha}$ (gemiddeld 160 $\text{m}^3/\text{uur.ha}$). Bij een straling van 120 W/m^2 en een delta T van 25°C en een windsnelheid van 3 m/s loopt dit uiteen van 66 tot 233 $\text{m}^3/\text{uur.ha}$ (gemiddeld 167 $\text{m}^3/\text{uur.ha}$). Het opwarmend vermogen van de straling komt in de verschillende regressievergelijkingen verschillend tot uitdrukking.

3.5.4 Samenvatting

Net als bij de groentebedrijven hebben het verschil in temperatuur tussen binnen en buiten de kas (delta T) en de windsnelheid in de nacht een grote invloed op het gasverbruik per uur van afzonderlijke groentebedrijven in de nacht. Overdag komt daar de instraling bij.

Afzonderlijke analyses zijn uitgevoerd voor bedrijven zonder schermen en bedrijven waar de schermen in de koudste periode gesloten waren. Bij beide groepen kon ongeveer 25-58% van de verschillen in gasverbruik in de koudste periode worden verklaard uit de variatie in delta T en windsnelheid. De verschillen tussen de bedrijven worden veroorzaakt door de bedrijfsomstandigheden van de individuele deelnemers, zoals de geveloppervlakte in relatie tot de bedrijfsoppervlakte.

Nacht:

Ongeschermd rozenbedrijven laten 's nachts gasverbruiken per uur zien die bij een delta T van 25 °C en een windsnelheid van 3 m/s uiteen lopen van 237 tot 299 m³/uur.ha (ingevuld in de vergelijkingen). Gemiddelde gasverbruik per uur is 261 m³/uur.ha. Bij een delta T van 30°C en een windsnelheid van 6 m/s loopt dit uiteen van 289 tot 373 m³/uur.ha. Gemiddelde gasverbruik per uur is dan 327 m³/uur.ha.

Geschermd rozenbedrijven laten 's nachts gasverbruiken per uur zien die bij een delta T van 25°C en een windsnelheid van 3 m/s uiteen lopen van 119 tot 195 m³/uur.ha (ingevuld in de vergelijkingen). Gemiddelde gasverbruik per uur is 160 m³/uur.ha. Bij een delta T van 30°C en een windsnelheid van 6 m/s loopt dit uiteen van 143 tot 260 m³/uur.ha. Gemiddelde gasverbruik per uur is dan 204 m³/uur.ha.

Het verschil tussen geschermd en ongeschermd in de nacht is 37% als de regressievergelijkingen van dezelfde bedrijven worden vergeleken (bedrijf 18 en 24) en is 41% als de gemiddelden van gesloten scherm en geopend/geen scherm worden vergeleken.

Dag:

Overdag laten ongeschermd rozenbedrijven gasverbruiken per uur zien die bij een straling van 80 W/m² en een delta T van 25°C en een windsnelheid van 3 m/s uiteen lopen van 76 tot 191 m³/uur.ha. Gemiddelde gasverbruik per uur is 160 m³/uur.ha. Bij een straling van 120 W/m² en een delta T van 30°C en een windsnelheid van 6 m/s loopt dit uiteen van 66 tot 233 m³/uur.ha. Gemiddelde gasverbruik per uur is dan 167 m³/uur.ha.

De invloed van de straling overdag zorgt ervoor dat het gasverbruik per uur overdag lager is dan in de nacht door het geopend scherm. Als het scherm 's nachts gesloten en overdag geopend is, hangt het verschil af van de coëfficiënt voor straling van een bedrijf en de instraling op een zeker uur. Het is niet denkbeeldig dat het maximumgasverbruik bij een geopend scherm overdag wordt bereikt.

3.6 Analyse over de bedrijven heen

3.6.1 Inleiding

De 'at random' methode (zie par. 2.2) bleek niet geschikt voor analyse, omdat de frequentie verdeling van waarnemingen per bedrijf niet hetzelfde is: het aantal waarnemingen met grote delta T's kan voor een bedrijf heel laag zijn, bijvoorbeeld door een slechte koppeling tussen Remis en de klimaatcomputer of door vervanging van de klimaatcomputer in het winterseizoen of door teeltwisseling.

In dit onderzoek heeft de beperking van het aantal waarnemingen plaatsgevonden volgens twee andere manieren, namelijk een selectie uit de 6 koudste nachten en een selectie uit de totale dataset, waarbij op variatie van delta T en windsnelheid is gelet. De uitkomst van de twee manieren zijn met elkaar vergeleken en met de analyse van alle beschikbare datasets, om te zien of er een stabiel model ontstond. Dat bleek het geval te zijn, zodat uiteindelijk van deze 2 datasets 1 dataset is gemaakt door willekeurige selectie. Met deze dataset zijn de analyses uitgevoerd.

3.6.2 Analyse

De mogelijkheden voor de samenstelling van een model zijn welhaast onuitputtelijk. Er leiden meerdere wegen naar Rome. Het doel van het model is dat er zo goed mogelijk een schatting gedaan wordt van het gasverbruik per uur. De mate van verklaring is daarbij meegenomen, maar is geen doel op zichzelf. Het model moet aan de volgende eisen voldoen:

1. de variabelen moeten volgens de theorie logisch zijn;
2. het model dient praktisch bruikbaar te zijn, waardoor de eenvoud van het model een belangrijk criterium is.

Gekozen is voor een modelvorm waarbij het gasverbruik per uur in de nacht wordt geschat door delta T en windsnelheid plus een aantal bedrijfskenmerken.

Welke bedrijfskenmerken in het onderzoek zijn opgenomen en hoe groot de verschillen tussen bedrijven zijn, staat beschreven in paragraaf 2.3.

Het model ziet er als volgt uit:

$$Gasha = 22,1 + 0,83 * Belcap - 1,26 * Dekisol + 6,0 * deltaT + 3,8 * Wind + 67,5 * Glasgev + 0,83 * Leeftkas - 0,22 * Gevisol$$

Waarbij: Gasha = gasverbruik per uur (m³/uur.ha)
 Belcap = belichtingscapaciteit (W/m²)
 Dekisol = dekiisolatie (% schermisolatie * % sluiting_schermb)
 Delta T = delta T (°C)
 Wind = windsnelheid (m/s)
 Glasgev = glasfactor gevel (geveleoppervlak tov totaal oppervlak)
 Leeftkas = 2002 minus gemiddelde bouwjaar
 Gevisol = gevelisolatie (% schermisolatie * % sluiting_schermb)

De R²_{adj} is 71%. De t-waarden voor de variabelen zijn respectievelijk: 16,8; -24,3; 21,1; 11,5; 2,6; 4,7; -3,9. Dit geeft aan dat de variabelen alle significant zijn. Het model zelf is ook bij een betrouwbaarheidsdrempel van 95% significant gezien de hoge waarde van de toetsingsgrootte (F-toets) van 234. Hoe het model stap voor stap tot stand is gekomen staat in bijlage 2.

Inhoud van het model

Het model is een mix van weersomstandigheden (delta T en windsnelheid) en bedrijfskenmerken. Opvallend is dat de belichtingscapaciteit er zo sterk uit komt, terwijl alleen de rozenbedrijven belicht worden. In de vergelijking tussen rozen- en vruchtgroentegewassen bleek al dat de gasverbruiken per uur in de nacht bij roos hoger liggen dan bij vruchtgroente. Variabelen die niet in het model terecht zijn gekomen, zijn bijvoorbeeld rendement van verwarmingsinstallatie, beschuttingsgraad en glasfactor dek (=dekoppervlak gedeeld door kasoppervlak).

Tot wat voor resultaten het model leidt, is geïllustreerd aan de hand van in het model ingevulde praktijksituaties (tabel 3.7). De keuze van delta T en windsnelheid zijn gekozen voor extreme buitenomstandigheden. De keuze voor de bedrijfskenmerken zijn uiterste waarden die voorkwamen in de groep van deelnemende bedrijven (zie bijlage 1).

Tabel 3.7 Schattingen van het gasverbruik per uur per ha van het model bij extreme weersomstandigheden en bepaalde bedrijfskenmerken.

	Situatie 1	Situatie 2	Situatie 3	Situatie 4	Situatie 5	Situatie 6
Belichtingscapaciteit (W/m ²)	30	45	0	0	0	0
Dekisolatie (% schermisolatie * % sluiting scherm)	40	40	37,5	37,5	0	0
Delta T (°C)	30	30	30	30	30	30
Windsnelheid (m/s)	6	6	6	6	6	6
Glasgevel (geveleoppervlak tov totaal kasoppervlak)	0,09	0,12	0,09	0,12	0,09	0,12
Leeftijd Kas (2002 - gemiddeld bouwjaar)	4	8	4	8	4	8
Gevel isolatie (% schemisolatie * % sluiting scherm)	20	40	20	40	20	40
<i>Gasverbruik (m³/uur.ha)</i>	<i>204</i>	<i>218</i>	<i>183</i>	<i>184</i>	<i>230</i>	<i>231</i>

Toepassing in de praktijk

Het bovengenoemde model is een gemiddeld schattingsmodel van het gasverbruik per uur per ha met een betrouwbaarheid van 95%. Binnen een bepaalde onder- en bovengrens kan het gasverbruik per uur met 95% zekerheid worden geschat. We hebben dus één gemiddeld model en twee modellen die de onder- en bovengrens markeren. Bij het schatten van het maximumgasverbruik gaat het naast het gemiddelde model vooral om de bovengrens. In bijlage 3 is het model gegeven dat deze bovengrens markeert.

Het resultaat is dat bij dezelfde uitgangspunten als in tabel 3.7 het geschatte gasverbruik per uur voor deze bovengrens maximaal ongeveer 40 m³/uur.ha hoger ligt dan bij het oorspronkelijke (gemiddelde) model. Die spreiding kan wijzigen, indien er andere uitgangspunten worden gekozen.

Let wel: dan nog is er een kans van 2,5% dat het gasverbruik per uur hoger is dan de uitkomst van het model. Het is daarom altijd de verantwoordelijkheid van de ondernemer

zijn maximumgasverbruik vast te stellen. Dit model kan hem daarbij van dienst zijn, echter de keuze zal hijzelf moeten maken op basis van eigen inzichten!

Bij toepassing van dit model op belichtende bedrijven behoeft geen rekening te worden gehouden met het rendementsverlies van de w/k-installatie.

3.6.3 Validatie van het model

De controle van het model is uitgevoerd door willekeurig 4 uur per bedrijf te selecteren. Van deze uren is het geschatte gasverbruik vergeleken met het werkelijk gemeten gasverbruik. De controle is twee keer uitgevoerd bij dezelfde bedrijven voor verschillende uren. De standaardafwijking van het geschatte gasverbruik door het model is $20,5 \text{ m}^3/\text{uur.ha}$. Bij validatie 1 bleek 5% van de uren een afwijking te hebben die groter was dan $40 \text{ m}^3/\text{uur.ha}$. Bij validatie 2 (andere uren) was dit 6%. Dit komt nagenoeg overeen met de stelling dat 5% buiten het gemiddelde plus of min 2 keer de standaardafwijking valt (Verdooren 1973; stelling van Chebychev). Hierbij moet de kanttekening wordt gemaakt dat een 'echte' validatie wel op deze wijze uitgevoerd wordt, maar met andere bedrijven dan die ten grondslag hebben gediend voor het model.

4. Discussie

In dit hoofdstuk komen de volgende vragen aan bod:

- waarom is het model zoals het is?
- waarom zit de variabele belichtingscapaciteit zo sterk in het model?
- zijn er alternatieven?
- hoe kan het model gebruikt worden?

4.1 Opbouw van het model

Het gevonden model is een zogenaamd additief model, dat wil zeggen dat de verschillende variabelen apart en lineair zijn toegevoegd. Het model suggereert onafhankelijkheid tussen variabelen, terwijl dat niet het geval hoeft te zijn. De ene variabele kan de andere variabele beïnvloeden. In het algemeen is het zo dat bij regressieanalyse twee variabelen die sterk samenhangen niet in hetzelfde model kunnen zitten: de onderlinge correlatie mag niet te groot zijn. Hiervoor is ook getoetst.

Een voorbeeld van twee variabelen die elkaar beïnvloeden, zijn de windsnelheid en de leeftijd van de kassen. Een vooronderstelling is dat een oudere kas meer lekverlies van warmte heeft dan een jonge kas. Tevens geldt dat er meer lekverlies is als het harder waait ten opzichte van een situatie met weinig wind. Daarentegen blijft de kasleeftijd altijd dezelfde. Dit lijkt op een inconsequentie in het model. In de praktijk blijft het model goed werkbaar, ook met deze inconsequentie. Het feit dat de kasleeftijd als één van de laatste variabelen aan het model is toegevoegd, met een geringe verhoging van de R^2_{adj} (bijlage 2), geeft aan dat de samenhang tussen windsnelheid en kasleeftijd vrij gering is geweest. Dit hoeft niet op te gaan bij extremere buitenomstandigheden. Mogelijk zouden meer samengestelde variabelen het model nog betrouwbaarder maken, hoewel de intercorrelatie dan weer een rol kan spelen.

Een ander voorbeeld is de invloed van de temperatuur en de windsnelheid die elkaar beïnvloeden: het effect van windsnelheid is groter bij een grotere delta T. In de analyse zijn verschillende samengestelde variabelen van wind en delta T onderzocht, echter deze bleken geen verbetering van het model te geven. Ook is het effect van de windsnelheid via verschillende exponentiële verbanden geprobeerd in het model te brengen, echter ook hier gold geen verbetering. Indien er geen verbetering optrad, is het uitgangspunt geweest om het model zo eenvoudig mogelijk houden, zodat de toepassing in de praktijk eenvoudig wordt.

4.2 Variabele belichtingscapaciteit

Bij de variabele belichtingscapaciteit kan men zich afvragen waarom deze variabele zo sterk in het model naar voren komt. Is het mogelijk dat andere variabelen een betere verklaring geven? Dat is in dit onderzoek ook onderzocht.

Zo is de variabele belichtingscapaciteit vervangen voor een gewasvariabele: voor elk gewas een andere variabele. Een andere optie is de belichtingscapaciteit te vervangen voor w/k-capaciteit. Hoewel beide alternatieven een significante bijdrage hadden aan de verklaring van het gasverbruik, gaven deze alternatieven geen verbetering van het model. Met belichtingscapaciteit (in W/m^2) wordt waarschijnlijk toch het best aangesloten bij de warmte die via het belichten in de kassen komt.

Om de belichtingscapaciteit uit de vergelijking te kunnen houden moet op het gasverbruik voor het verwarmen van de kassen 25% van het w/k-gasverbruik worden afgetrokken. Deze werkwijze is gevolgd voor model 2, waarvoor uiteindelijk niet is gekozen (zie bijlage 4). Belangrijkste reden is een lagere $R^2_{adj.}$ (62%). Verder vallen de variabelen geveloppervlak ten opzichte van totaal glasoppervlak en gevelisolatie uit de vergelijking.

Hieronder volgen een aantal mogelijke verklaringen voor de 25% aanpassing:

- uit onderzoek van het LEI (Verhoeven et al., 1995) blijkt dat het rendement van w/k installaties gemiddeld 86% (variatie van 79-92%) op onderwaarde bedraagt. Hiervan bestaat gemiddeld 53% uit thermisch energie en 33% uit elektrisch energie. Dit betekent een gemiddeld rendementsverlies van 14%;
- een deel van opgewekte elektriciteit van de w/k wordt niet nuttig gebruikt. Een deel van de elektriciteit wordt omgezet in licht. Een ander deel in warmte. Zowel voor de warmte als het licht geldt dat niet alles in nuttige warmte wordt omgezet;
- de meting van de w/k-gasmeter heeft in de meeste gevallen geen EVHI. De correctie heeft wel plaatsvonden voor druk maar niet voor temperatuur, omdat die meting niet voor handen was. Gezien het feit dat vrijwel alle w/k-gasmeters in het ketelhuis of schuur staan, waar de temperatuur ongeveer $20^{\circ}C$ is, en de meeste hoofdgasmeters buiten staan, dus bij bodemtemperatuur, kan er hier sprake zijn van een afwijking;
- verschillen tussen geïnstalleerd vermogen van de lampen en werkelijk vermogen kan de oorzaak zijn van een overschatting van de invloed van het geïnstalleerd vermogen. Het is bekend dat lampen verouderen en door het verouderen meer energie opnemen.

Extra controle op alleen rozenbedrijven ter verificatie

Eigenlijk is het aantal rozenbedrijven veel te gering om een aparte multiple regressie analyse uit te voeren. Dit is toch gedaan om te onderzoeken of de factor belichtingscapaciteit ook in deze analyse als een betrouwbare factor naar voren komt. Er blijkt zeer veel overeenkomst met het model dat over alle bedrijven heen werd geschat. Een hogere belichtingscapaciteit op rozenbedrijven gaat samen met een hoger gasverbruik. Dit is een indicatie aan dat het model op dit punt stabiel is en dat het hogere gasverbruik per uur in de nacht op rozenbedrijven direct gerelateerd is aan het belichten.

4.3 Gebruik van het model

Een betrouwbaarheid van 100% is in het algemeen een utopie bij modellen. De R^2_{adj} van het model, is 71%. Dit geeft aan dat 29% van de verschillen in gasverbruik per uur worden bepaald door factoren die niet in het onderzoek zijn opgenomen en/of factoren die (te) onnauwkeurig zijn bepaald. Het is dan ook logisch dat de validatie verschillen tussen geschat en gerealiseerd gasverbruik te zien geven. Daarom dient bij de toepassing van het model een onzekerheidsmarge in acht te worden genomen (paragraaf 3.6.2). Dit kan op twee manieren:

1. tel bij de uitkomst van het model (=het geschatte maximumgasverbruik per uur) 40 m³ op;
2. ga uit van het zogenaamde bovengrensmodel (zie bijlage 3).

Bovenstaande maakt duidelijk dat het model een indicatie geeft van gasverbruik per uur. Nauwkeuriger zou zijn om gegevens van de bedrijven zelf te meten en daarmee het gasverbruik per uur per ha te schatten. Echter ook dan blijft er sprake van een onnauwkeurigheid, omdat bijvoorbeeld niet is gemeten in een zeer koude periode of bij een bepaalde windsnelheid. Het in dit onderzoek gevonden model kan als een extra controle of check gebruikt worden bij het bepalen van het gasverbruik per uur per ha onder bepaalde weerscondities.

5. Conclusie

5.1 Analyse individuele bedrijven

Het verschil in temperatuur tussen binnen en buiten de kas (delta T), de windsnelheid en de instraling leveren de grootste verklaring voor het gasverbruik per uur, wanneer afzonderlijke bedrijven worden geanalyseerd. In de nacht kon 15-66% van de verschillen in gasverbruik in de koudste periode worden verklaard uit de variatie in delta T en windsnelheid. Overdag wordt percentage verklaring iets groter (19-83%) door naast delta T en windsnelheid de variabele instraling toe te voegen.

Zoals tabel 5.1 laat zien zijn de verschillen in geschatte maximumgasverbruik per uur tussen de bedrijven zijn groot. Deze verschillen ontstaan specifieke bedrijfskenmerken zoals de isolatiegraad van het scherm, geveloppervlakte in relatie tot de bedrijfs-oppervlakte, enzovoort.

Tabel 5.1 Overzicht van geschatte gasverbruiken per uur per ha (inclusief minimum- en maximumwaarde) voor individuele vruchtgroente- en rozenbedrijven, onderverdeeld naar bedrijven met een scherm en zonder

	Nacht		Overdag	
	delta T = 25°C wind = 3 m/s	delta T = 30°C wind = 6 m/s	delta T = 25°C wind = 3 m/s instraling=80 W/m ²	delta T = 30°C wind = 6 m/s instraling=120 W/m ²
Vruchtgroente zonder scherm (6 bedrijven)	208 (189-232)	258 (229-294)	165 (114-220)	193 (102-260)
Vruchtgroente met scherm (10 bedrijven)	134 (120-164)	163 (148-199)		
Roos zonder scherm (5 bedrijven)	261 (237-299)	327 (289-373)	160 (76-191)	167 (66-233)
Roos met scherm (9 bedrijven)	160 (119-195)	204 (143-260)		

Nacht:

Op bedrijven met schermgebruik wordt de invloed van de windsnelheid getemperd. De factor windsnelheid blijkt dan voor een aantal bedrijven niet meer betrouwbaar. Door het gebruik van energieschermen in de nacht wordt een verlaging van het maximumgasverbruik per uur gerealiseerd van gemiddeld 37% t.o.v. de ongeschermd situatie.

In de nacht blijkt het gemiddelde geschatte gasverbruik per uur bij rozenbedrijven hoger te zijn dan bij vruchtgroentebedrijven (tabel 5.1). Dit geldt zowel voor de situatie met gesloten, als met geopend scherm, echter er zijn behoorlijk grote verschillen tussen bedrijven met hetzelfde gewas en dezelfde scherm situatie. In vergelijking met de vruchtgroentebedrijven hebben de rozenbedrijven met assimilatiebelichting en eigen w/k-installatie gemiddeld 24% hoger gasverbruik per uur in de nacht.

Overdag:

Er zijn te weinig gegevens verzameld van bedrijven die overdag schermen om statistisch betrouwbare uitspraken te doen over de verklaring van het gasverbruik per uur door delta T, windsnelheid en instraling.

Overdag verlaagt de instraling het gasverbruik. Maar voor bedrijven met een scherminstallatie, die 's nachts wel schermen en overdag niet, valt bij extreme koude het maximumgasverbruik per uur overdag.

5.2 Analyse over alle bedrijven heen

Het gevonden model om het gasverbruik per uur per ha te schatten over alle bedrijven heen, ziet er als volgt uit:

$$Gasha = 22,1 + 0,83 * Belcap - 1,26 * Dekisol + 6,0 * deltaT + 3,8 * Wind + 67,5 * Glasgev + 0,83 * Leefkas - 0,22 * Gevisol$$

Waarbij: Gasha = gasverbruik per uur (excl. w/k-rendementscorrectie) (m³/uur.ha)
Belcap = belichtingscapaciteit (W/m²)
Dekisol = dekiisolatie (%schermisotatie*%sluiting scherm)
Delta T = delta T (°C)
Wind = windsnelheid (m/s)
Glasgev = glasfactor gevel (geveleoppervlak ten opzichte van kasoppervlak)
Leefkas = 2002 minus gemiddelde bouwjaar
Gevisol = gevelisotatie (%schermisotatie*%sluiting scherm)

Het bovengenoemde model is een schattingsmodel van het gasverbruik per uur per ha met een betrouwbaarheid van 95%. Dat betekent dat er altijd een afwijking kan zijn van de geschatte uitkomst. Om in extreme weersituaties (delta T = 30°C en windsnelheid = 6 m/s) binnen de betrouwbaarheidsgrens aan de veilige kant te zitten, zal er maximaal 40 m³/uur.ha bij de uitkomst van het model opgeteld moeten worden. Let wel, dan nog is er een kans van 2,5% dat het gasverbruik per uur hoger kan zijn dan het geschatte model. Het is altijd de verantwoordelijkheid van de ondernemer zijn maximumgasverbruik vast te stel-

len. Dit model kan daarbij van dienst zijn, echter de keuze zal de ondernemer zelf moeten maken op basis van eigen inzichten!

6. Aanbevelingen

1. Validatie van model met data van bedrijven buiten de huidige doelgroep
Het is belangrijk om het gevonden model te valideren met data van bedrijven, die niet aan dit onderzoek hebben meegewerkt, bijvoorbeeld andere belichtende bedrijven (chrysant of lelie) of bedrijven met energie-extensievere teelten. Bij gebruik van het model, om het maximumgasverbruik van bedrijven te schatten, is het verstandig de uitkomst te vergelijken met registratiegegevens bij minder extreme weersomstandigheden van het betreffende bedrijf. Bijvoorkeur dient een bedrijfseigen model geschat te worden, zoals in dit onderzoek per bedrijf ook is gebeurd. Voor manieren hoe te meten voor bedrijven, wordt verwezen naar artikelen van Van der Velden en Benninga (2001), die op de website www.tuinbouw.nl staan.
2. Gebruik van warmtebuffer tijdens milde winter
Met gegevens uit dit onderzoek kan het buffergebruik, afhankelijk van de buitenomstandigheden, in kaart worden gebracht. Dit levert, in aanvulling op de studies over anticipatiemogelijkheden op de geliberaliseerde aardgasmarkt, informatie over het gebruik van warmtebuffer als mogelijkheid om energie te besparen.
3. Bijdrage van belichting en de inzet van w/k-installaties aan warmtebehoefte
Door het belichten kan op rozenbedrijven een deel van het gasverbruik niet in verband worden gebracht met het verwarmen van de kassen. Het is mogelijk dat een deel van de energie uit de w/k-installatie geen bijdrage levert aan het verwarmen van de kassen. Het verdient aanbeveling om na te gaan wat hiervan de oorzaak is.

Literatuur

Benninga, J. & N. van der Velden, 'Extreem lage buitentemperaturen komen regelmatig voor'. In: *Vakblad voor de Bloemisterij* 22 (2000).

Benninga, J., R. Bakker, N. van der Velden, *Pilot-analyse aardgasverbruiken per uur op bedrijven met tomaat en paprika*. Interne LEI-notitie. Den Haag, 2001.

Benninga, J., N. van der Velden, 'Nu meten, straks weten. Bepaal uw maximumgasverbruik per uur voor u een contract afsluit'. In: *Vakblad voor de Bloemisterij* 2 (2001), pp. 36-38.

Benninga J., N. van der Velden, J. Nienhuis, *Anticipatiemogelijkheden glastuinbouw liberalisering aardgasmarkt* - Tussenrapportage Roos. Interne LEI-notitie, Den Haag, 2002.

Creemers. M.R., P.H.H. Leijendeckers, M.C.M. van Maarschalkerwaart, J.E. Rijnsdorp en Sj. Tysma, *Polytechnisch zakboekje*. Koninklijke PBNA, Arnhem, 1983: pp.145-159.

Kempkes, F., 'Nieuwe gaswet noodzaakt tot goed beeld gasafname'. In: *Groente en Fruit* 18 augustus 2000.

Kool, E., 'Super economische kas komt in zicht'. In: *Groente en Fruit*, vakdeel Glasgroente, 2 oktober 1998.

KWIN 1999-2000. PBG, Naaldwijk, 2000.

Nawrocki, K.R. en N.J.A. van der Velden, *Gebruiksrendementen aardgasgestookte ketels in de glastuinbouw; gissen is missen, meten is (z)weten*. Nota 91-55. IMAG, Wageningen, 1991.

Rijssel, E. van, *Stoken met voorbedachte raden*. LEI-DLO, Den Haag, 1983.

Ruiter, H.W. de, A.A. Rijsdijk, *Normering van meetnauwkeurigheden van klimaatmetingen in praktijkkassen*. Rapport 101. PBG, Naaldwijk, 1997.

Snedecor, G.W., W.G. Cochran, *Statistical Methods*. Iowa State University, VS, 1980, Seventh Edition.

Sluis, B.J., van der, K.R. Nawrocki, N.J.A. van der Velden. *Dekkingsgraden van restwarmte in de glastuinbouw*. Publicatie 4.133. LEI-DLO, Den Haag, 1992.

Sluis, B.J. van der, A.A. Rijdsijk, G.P.A. van Holsteijn, N.J.A. van der Velden, *Het gebruik van energieschermen bij tomaat*. Publicatie 4.138. LEI-DLO, Den Haag, 1995.

Velden, N.J.A. van der, J. Benninga & J. Nienhuis, *Analyse anticipatiemogelijkheden liberalisering aardgasmarkt vruchtgroente*. LEI, Den Haag, 2001.

Velden, N.J.A. van der, A.P. Verhaegh, R. Bakker en A. van der Knijff, *Liberalisering van de aardgasmarkt; Verkenning glastuinbouw*. Rapport 1.99.07. LEI, Den Haag, 1999.

Verdooren, L.R., *Elementaire statistiek*. Vakgroep wiskunde LUW, Wageningen, 1973.

Verhoeven, A.T.M., F.L.K. Kempkes en N.J.A. van der Velden, *Warmte/krachtinstallaties in de glastuinbouw; Gebruiksrendementen en dekkingsgraden*; Publicatie 4.137. LEI-DLO, Den Haag, 1995.

World Meteorological Organization. *Windbreaks and shelterbelts*. Technical note No. 59. WMO - N. 147.TP.70. Geneva, 1964.

Zwart, H.F., G.L.A.M. Swinkels, C.J.M. Vernooij, *Praktijkevaluatie van het gebruik van warmtebuffers in de tomaten- en paprikateelt*. IMAG, Wageningen 2000.

Bijlage 1 Overzicht van de bedrijfskenmerken

Overzicht met de waarden van de bedrijfskenmerken van alle bedrijven met en zonder scherm, in de nacht met gesloten ramen en bufferbegrenzing op 10 m³, zonder en met reductie van het aantal waarnemingen (24 waarnemingen geselecteerd per bedrijf)

	7.060 waarnemingen				672 waarnemingen			
	minimum	maximum	gem.	std.afw.	minimum	maximum	gem.	std.afw.
Gascorr_ha (m ³ /uur.ha)	40,0	350,0	122,1	45,0	42,0	259,5	126,8	38,1
DT (°C)	10,0	27,7	15,9	3,2	10,1	26,9	16,6	3,4
Windsnelheid (m/s)	0,0	19,8	3,0	2,5	0,0	16,3	3,4	2,7
Instraling (W/m ²)	0,0	10,0	0,8	1,6	0,0	9,7	0,8	1,6
glasfactor_gevel (m ² /m ²)	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0
glasfactor_dek (m ² /m ²)	1,0	1,1	1,1	0,0	1,0	1,1	1,1	0,0
Dekisolatie (%)	0,0	50,0	20,3	18,9	0,0	50,0	23,7	18,6
Gevelisolatie (%)	0,0	69,0	33,3	15,9	0,0	69,0	40,1	19,0
Beschutting_oost	10,0	95,0	56,2	25,3	10,0	95,0	55,9	26,1
Beschutting_totaal	25,0	92,0	57,9	19,5	25,0	92,0	55,8	18,6
leeftijd_kassen (2002 - gem. bouwjaar)	2,0	29,0	10,2	7,0	2,0	29,0	10,3	6,4
Temperatuur buiten (°C)	-8,5	11,0	2,0	3,5	-7,9	11,0	1,1	3,4
gasbuffer_ha (m ³ /uur.ha)	-10,0	10,0	0,1	4,4	-10,0	10,0	0,1	4,7
buffercap_ha (m ³ /ha)	0,0	194,0	96,2	35,6	0,0	194,0	102,4	38,4
rend_verw.inst (% o.w.)	98,1	105,0	100,8	1,7	98,1	105,0	101,0	1,8
belicht_cap (W/m ²)	0,0	61,4	12,7	18,2	0,0	61,4	17,1	20,4

Bijlage 2 Uitkomst van de stepwise regressie analyse over alle bedrijven heen

Model

	Constante	Belcap	Dekisol	Delta T	Wind	Glasgev	Leeftijd kas	Gevisol	R^2_{adj}
Model 1	110,3	0,97							0,27
Model 2	132,6	1,00	-0,96						0,49
Model 3	61,6	0,91	-1,36	4,9					0,64
Model 4	31,7	0,88	-1,37	6,0	3,6				0,69
Model 5	20,1	0,85	-1,35	6,0	3,6	103,2			0,70
Model 6	15,0	0,77	-1,32	6,1	3,9	86,0	0,51		0,70
Model 7	22,1	0,83	-1,26	6,0	3,8	67,5	0,83	-0,22	0,71

Bijlage 3 Bovengrens model over alle bedrijven heen

Model voor *bovengrens* geschatte gasverbruik per uur binnen betrouwbaarheidsgrens van 95%:

$$Gasha = 34,2 + 0,93 * Belcap - 1,36 * Dekisol + 6,6 * deltaT + 4,7 * Wind + 120,0 * Glasgev + 1,18 * Leefkas - 0,33 * Gevisol$$

Waarbij: Gasha = gasverbruik per uur (excl. w/k-rendementscorrectie) (m³/uur.ha)
Belcap = belichtingscapaciteit (W/m²)
Dekisol = dekisolatie (%schermisolatie*%sluiting_scherm)
Delta T = delta T (°C)
Wind = windsnelheid (m/s)
Glasgev = glasfactor gevel
Leefkas = 2002 minus gemiddelde bouwjaar
Gevisol = gevelisolatie (%schermisolatie*%sluiting_scherm)

De coëfficiënten van dit bovengrensmodel zijn bepaald door bij de coëfficiënten van het oorspronkelijke (gemiddelde) model hun standaardafwijking maal 1,96 te tellen (Snedecor and Cochran 1982, Verdooren 1973). Het resultaat is dat bij dezelfde uitgangspunten als in tabel 3.7 het geschatte gasverbruik per uur voor deze bovengrens ongeveer 40 m³/uur.ha hoger ligt dan bij het oorspronkelijke (gemiddelde) model.

Bijlage 4 Model zonder belichtingscapaciteit

Dit model is ontstaan door het gasverbruik van de w/k te corrigeren, totdat de belichtingscapaciteit er niet meer significant in voor komt. Dit gebeurde bij een vermindering van 25% op het w/k gas. Het model ziet er als volgt uit:

$$Gasha = -189,3 - 1,3 * DekIsol + 5,8 * delta T + 3,6 * Wind + 0,67 * LeeftKas + 197,8 * GlasDek$$

$$R^2_{adj} = 0,62$$

t-waarden resp.: -28,4; 22,5; 12,3; 5,7; 3,9

Waarbij: Gasha = gasverbruik per uur (waarbij correctie van 25% van het WK-gasverbruik op totale gasverbruik in mindering is gebracht) (m³/uur/ha)
 DekIsol = dekiisolatie (= % s schermisolatie * % sluitingscherm)
 Delta T = delta T (°C)
 Wind = windsnelheid (m/s)
 Leeftkas = leeftijd kas (=2002 minus gemiddeld bouwjaar)
 GlasDek = glasfactor dek (=oppervlakte glasdek/oppervlak kasoppervlak)

De 25% wk-rendement-correctie op het wk-gasverbruik is bepaald door trial and error.

Tabel A Schattingen van het gasverbruik per uur per ha van het model zonder belichtingscapaciteit bij bepaalde ingevulde uitgangspunten

	Situatie 1	Situatie 2	Situatie 3	Situatie 4	Situatie 5	Situatie 6
Dekisol.	40	40	37,5	37,5	0	0
Delta T	30	30	30	30	30	30
Wind	6	6	6	6	6	6
Leeft. kas	4	8	4	8	4	8
Glasdek	1,05	1,10	1,05	1,10	1,05	1,10
Gasverbruik (m ³ /uur/ha)	165	177	168	180	217	229

Tabel B Overzicht van de opbouw van de coëfficiënten met STEPWISE analyse

	Constante	Dekisol	Delta T	Wind	Leeft.kas	Glasdek	R ² _{adj}
Model 1	135,7	-0,92					0,31
Model 2	65,9	-1,31	4,7				0,53
Model 3	38,3	-1,31	5,7	3,4			0,60
Model 4	29,7	-1,26	5,7	3,6	0,62		0,61
Model 5	-189,3	-1,29	5,8	3,6	0,67	197,8	0,62