Gebruiksrendementen aardgasgestookte ketels in de glastuinbouw; gissen is missen, meten is (z)weten

K.R. Nawrocki
N.J.A. van der Velden

Intern verslag

SIGN: R1168-91/55
EX. NO: B
MLV:

NOTA 91-55
Oktober 1991

DLO-Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen
Mansholtlaan 10-12
Postbus 43, 6700 AA Wageningen,
Tel. 08370 - 76300
Telefax 08370 -25670

533001

WOORD VOORAF

De Nederlandse glastuinbouw is een energie-intensieve bedrijfstak. Mede vanuit milieu-overwegingen worden steeds meer eisen aan de omvang en wijze van energieverbruik gesteld. De overheid streeft, blijkens het Nationaal Milieubeleidsplan (Plus), de Structuurnota Landbouw en de Nota Energiebesparing naar een vermindering van de CO_2-uitstoot en een verbetering van de energie-efficiency. Met een aantal alternatieve energiebronnen, met name restwarmte en warmte/kracht-koppeling, kan brandstof worden bespaard, de CO_2-emissie worden gereduceerd en de energie-efficiency worden verbeterd.

Voor een bedrijfs-economische beoordeling van alternatieve energiebronnen heeft de efficiency waarmee het aardgas wordt verstookt een grote invloed. Dit verslag gaat over een onderzoek naar de gebruiksrendementen van aardgasgestookte ketels in de glastuinbouw.

Het onderzoek is uitgevoerd door het Landbouw-Economisch Instituut (LEI) en het Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG) in opdracht van de Nederlandse maatschappij voor energie en milieu (NOVEM). Het IMAG heeft de inbouw en controle van de meetapparatuur en de stookproeven voor haar rekening genomen. Het LEI heeft de meetresultaten verzameld en verwerkt. De analyse van de meetresultaten en de rapportage is gezamenlijk uitgevoerd. Bij de opzet van het onderzoek is overleg gepleegd met het VEG-Gasinstituut, het Nutsbedrijf Westland, het Nutsbedrijf Delfland en de leverancier van de meetapparatuur. De medewerking van de tuinders aan dit onderzoek is zeer waardevol gebleken. Voor hun bijdrage zijn wij erkentelijk.

De Directeur van het
Instituut voor Mechanisatie,
Arbeid en Gebouwen,

A.A. Jongebreur
Wageningen

De Directeur van het
Landbouw-Economisch
Instituut,

L.C. Zachariasse
Den Haag

Oktober 1991

INHOUD BLZ.

SAMENVATTING 5

1. INLEIDING 8

2. METHODE
2.1 Opzet onderzoek 10
2.2 Bedrijfskeuze 11
2.3 Wijze van meten 16
2.3.1 Momentane metingen 16
2.3.2 Gebruiksrendementen 17

3. RESULTATEN
3.1 Momentane metingen 23
3.2 Gebruiksrendementen 24
3.2.1 Meetresultaten 24
3.2.2 Regressie-analyse 27
3.2.3 Condensorrendement 30
3.2.4 Oorzaak "katterug" 31
3.2.5 Vaste verliezen 32
3.3 Onderlinge vergelijking 33
3.4 Gebruiksrendementen bij pieklast en gasbesparing 37
3.5 Andere bedrijfsituaties 40

4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN
4.1 Conclusies 44
4.2 Aanbevelingen 46

LITERATUUR 48

BIJLAGEN

SAMENVATTING

De Nederlandse glastuinbouw is een energie-intensieve bedrijfstak. De benodigde warmte wordt op de meeste bedrijven geproduceerd met aardgasgestookte ketels. De overheid streeft naar een vermindering van de CO_2-emissie en een verbetering van de energie-efficiency. Met een aantal alternatieve energiebronnen zoals restwarmte en w/k-koppeling kan brandstof worden bespaard, de CO_2-emissie worden gereduceerd en de energie-efficiency worden verbeterd. Voor de bedrijfs-economische beoordeling van deze alternatieve energiebronnen heeft het rendement waarmee het aardgas in de ketels wordt verstookt een grote invloed.

Alternatieve energiebronnen brengen hoge investeringen met zich mee en worden hierdoor in de praktijk meestal ingezet voor de basislast van de warmtebehoefte; de alternatieve bron heeft dan een beperkte capaciteit, treedt het eerst in werking en gaat het laatst uit. De gasketel verzorgt de pieklast en de CO_2-produktie voor het gewas. De hoogte van de investering wordt hierdoor beperkt en toch kan een groot deel van de jaarlijkse warmtebehoefte worden geleverd. Het aandeel in de jaarlijkse warmtebehoefte wordt de dekking genoemd. Het nadeel van het gebruik van de gasketel voor de pieklast is dat het rendement lager is dan bij volledig gasstook. Dit heeft tot gevolg dat de gasbesparing door de alternatieve warmtebron lager is dan de warmtedekking.

De doelstelling van dit onderzoek is het verkrijgen van inzicht in het gebruiksrendement van de gasketel zowel bij volledig gasstook als bij gebruik voor de pieklast. Hiervoor zijn op een twaalftal glastuinbouwbedrijven gedurende een jaar metingen verricht. Dit heeft plaatsgevonden op bedrijven met één ketel en zonder andere warmtebronnen. Per week is het gasverbruik en de warmteproduktie van de gasketel incl. eventueel een condensor gemeten.

In de glastuinbouw bestaan grote verschillen in bedrijfssituatie. Zo zijn er bedrijven met een hoog en een laag brandstofverbruik per m^2 en met en zonder rookgascondensor; tevens zijn er meerdere typen condensors in gebruik. De metingen zijn uitgevoerd op 4 bedrijfstypen; dit zijn bedrijven zonder condensor, met een enkelvoudige condensor op de retour, een enkelvoudige condensor op apart net en een combicondensor. Bij alle bedrijfstypen ligt het brandstofverbruik rond de 50 m^3 gas per m^2. Per bedrijfstype zijn drie bedrijven in onderzoek genomen. Met behulp van omrekeningen zijn de gebruiksrendementen bepaald in de overige situaties en bij gebruik van de ketel voor de pieklast. De omrekeningen worden uitgevoerd met de relatie tussen het gasverbruik en de warmteproduktie per week. Hiermee worden de verliezen bij het verstoken van aardgas in een ketel verdeeld naar vaste en variabele verliezen. De vaste verliezen per installatie blijken sterk uiteen te lopen. Getracht is de

oorzaak hiervan te achterhalen.

Uit de resultaten blijkt dat bij alle installaties het weekgebruiksrendement toeneemt bij een hogere warmteproduktie per week. Bij de helft van de installaties neemt het weekgebruiksrendement bij de hoogste warmteproduktie weer af. Een verklaring hiervoor is niet gevonden.

De vaste verliezen per installatie lopen uiteen van 30 tot 954 m^3 gas gemiddeld per week; ofwel 1.560 tot 49.608 m^3 per jaar. Dit blijkt samen te hangen met de omvang (capaciteit) van de ketel, de isolatiedikte van de ketel en het warm zijn van het expansievat. De vaste verliezen nemen omgekeerd evenredig af met de isolatie en evenredig toe met de capaciteit. Indien bij een ketelcapaciteit van 3 MW de dikte van de isolatie wordt vergroot van b.v. 4 naar 6 cm worden de vaste verliezen per week gemiddeld 318 m^3 kleiner. Bij een 1 MW grotere ketel zijn de vaste verliezen bij een isolatie van 4 cm 318 en bij een isolatie van 8 cm 159 m^3 per week groter. Een warm expansievat resulteert in een groter vast verlies van gemiddeld 169 m^3 per week. Dit laatste is waarschijnlijk te voorkomen door een juiste wijze van aansluiting.

Naast de vaste verliezen loopt het gasverbruik, nodig voor de produktie van een gigajoule (GJ) warmte, uiteen van 29,1 tot 33,9 m^3. Dit hangt samen met het gebruik van een condensor. Het gemiddelde per bedrijfstype is resp. 33,1, 30,8, 30,6 en 29,7 m^3 per GJ.

Het jaargebruiksrendement bij volledig gasstook bedraagt in de basissituatie (warmte-intensiteit 50 m^3 a.e. per m^2, ketelcapaciteit 3 MW, benodigde ketelcapaciteit 240 W per m^2), bij een ketelisolatie van 4 cm, geen condensor en een koud expansievat gemiddeld 90 en bij een isolatie van 8 cm 93,4% op onderwaarde (o.w.). Bij een condensor op de retour is dit resp. 96,3 en 100,6, bij een condensor op apart net 96,8 en 100,7 en bij een combicondensor 99,7 en 103,9. Het gebruik van een condensor en een dikkere ketelisolatie resulteert duidelijk in een hoger gebruiksrendement. De gevoeligheid van het gebruiksrendement voor veranderingen in de bedrijfssituatie is het grootst voor de warmtevraag en het geïnstalleerd vermogen per m^2.

Het jaargebruiksrendement van de condensor op apart net is gemiddeld 12,1%. Bij de tweede sectie van de combicondensor is dit 6,4%. Indien in het laagwaardige condensor-net hoogwaardige warmte wordt bijgemengd heeft dit een negatieve invloed op het condensorrendement.

Bij gebruik van de gasketel voor de pieklast is de warmteproduktie per week en daardoor het gebruiksrendement per week lager. Het jaargebruiksrendement is hierdoor eveneens lager. De mate waarin is afhankelijk van de hoogte van de vaste verliezen en dus vooral van de isolatie van de ketel. Het jaargebruiksrendement bij pieklast is in de basissituatie, een dekking door de alternatieve warmtebron van 70% en bij een

ketelisolatie van 4 cm 10,2 tot 13,1%-punt lager dan bij volledig gasstook. Bij een isolatie van 8 cm is dit 4,5 en 6,0%-punt. Bij een lagere warmtedekking wordt het verschil kleiner. De invloed van een verandering in de bedrijfssituatie is ook hier het grootst bij de warmtevraag en het geïnstalleerd vermogen per m^2.

Door een lager rendement van de gasketel bij gebruik voor de pieklast is er meer gas nodig voor de produktie van een eenheid warmte. De gasbeparing door de alternatieve warmtebron is daardoor lager dan de warmtedekking. Het verschil tussen de dekking en de gasbesparing bedraagt in de basissituatie, een dekking van 70% en bij een ketelisolatie van 4 cm gemiddeld 4,3%-punt. Bij een isolatie van 8 cm is dit 1,7%-punt. Dit wordt veroorzaakt doordat bij een dikkere ketelisolatie de vaste verliezen kleiner zijn en het rendement minder daalt.

Aanbevolen wordt de ketel, de leidingen van en naar de ketel en de verzamel- en verdeelstukken goed te isoleren, geen ketel met een grote overcapaciteit te gebruiken en het verwarmingssysteem zodanig uit te leggen dat het expansievat niet warm wordt. De vaste verliezen van de installatie kunnen hierdoor worden beperkt.

1. INLEIDING

In de Nederlandse glastuinbouw wordt de benodigde warmte voor het verwarmen van de kassen op het merendeel van de bedrijven geproduceerd met aardgasgestookte ketels. De warmtevoorziening kan ook plaats vinden met alternatieve energiebronnen zoals afval- en restwarmte, warmtepomp, warmte/kracht-koppeling enz. Voor de beoordeling van de economische haalbaarheid van deze alternatieven is het van groot belang inzicht te hebben in de efficiency waarmee het aardgas wordt verstookt.

Alternatieve energiebronnen brengen hoge investeringen met zich mee. Hierdoor zullen deze in de praktijk worden ingezet voor de basislast van de warmtebehoefte. Dit wil zeggen dat de alternatieve bron een beperkte capaciteit heeft maar wel het eerst in werking treedt, het laatste uitgaat en dus zo lang mogelijk in gebruik is. De gasketel verzorgt dan de pieklast en de CO_2-produktie. De hoogte van de investering in de alternatieve energiebron wordt hierdoor beperkt en toch kan een groot deel van de jaarlijkse warmtebehoefte worden geleverd. Het aandeel in de jaarlijkse warmtebehoefte wordt de dekking genoemd.

Een nadeel van de aanwending van een alternatieve bron in basislast is echter dat de efficiency van de gasketel bij gebruik voor de pieklast lager is dan bij volledig gasstook. Dit is het geval in de situatie bij DENAR-kas (Van der Velden, 1989). Er is dan meer gas nodig voor de produktie van een bepaalde hoeveelheid warmte. Dit heeft tot gevolg dat de gasbesparing door de alternatieve warmtebron lager is dan de dekking. DENAR-kas is echter maar een situatie. Inzicht in de efficiency van een gasketel bij zowel volledig gasstook als bij gebruik voor de pieklast op een grotere groep bedrijven is daarom gewenst.

Het gebruiksrendement is een maatstaf voor de efficiency waarmee het aardgas wordt verstookt. Onder het gebruiksrendement wordt verstaan het aandeel (%) van de toegevoerde energie in de vorm van de onderste verbrandingswaarde van de brandstof dat wordt omgezet in warmte die nuttig wordt aangewend voor het verwarmen van de kassen. De rendementen worden berekend op basis van de onderste verbrandingswaarde (o.w.) omdat bij de meeste alternatieve warmtebronnen eveneens met onderwaarde gerekend wordt. Naast het gebruiksrendement bestaat er een momentaanrendement waarmee het rookgaszijdig of waterzijdig rendement wordt bedoeld. Het verschil tussen het momentaan- en het gebruiksrendement is dat het momentaanrendement een momentopname is en het gebruiksrendement een gemiddelde waarde over een bepaalde periode b.v. een week of een jaar. We spreken dan van weekgebruiksrendement of jaargebruiksrendement. Bij het momentaan-rendement worden o.a. de verliezen die optreden in de periode dat de ketel geen warmte produceert buiten beschouwing gelaten (stilstandsverliezen). Bij het gebruiksrendement wordt hiermee wel rekening gehouden. De warmtevraag op een

glastuinbouwbedrijf vertoont gedurende het jaar grote verschillen. Inzicht in het jaargebruiksrendement is daarom gewenst.

De doelstelling van dit onderzoek is het verkrijgen van inzicht in het jaargebruiksrendement van aardgasgestookte ketels in de glastuinbouw. Zowel de situatie waarin met de gasketel volledig in de warmtebehoefte wordt voorzien als de situatie waarbij de gasketel de pieklast verzorgt, is hierbij van belang.

2. METHODE

2.1 Opzet onderzoek

Voor dit onderzoek zijn metingen verricht om het jaargebruiksrendement van aardgasgestookte ketels te kunnen bepalen. Het gasverbruik en de warmteproduktie van de stookinstallatie is op twaalf glastuinbouwbedrijven gedurende een heel jaar gemeten. De metingen zijn uitgevoerd in de periode september 1989 - september 1990. In deze periode was de buitentemperatuur in de winter relatief hoog. Het gasverbruik is gemeten met de op het bedrijf aanwezige gasmeter. Voor de warmteproduktie zijn warmtemeters geïnstalleerd. De standen van de meters zijn wekelijks geregistreerd door de tuinders.

In de glastuinbouw bestaan grote verschillen in bedrijfsituaties zoals teeltplan, teeltduur, teelttemperatuur, kastype, energiebesparende voorzieningen, gebruik rookgascondensor, enz. Indien de metingen uitgevoerd worden in al deze situaties zal op een zeer groot aantal bedrijven gemeten moeten worden. Dit brengt echter zeer hoge kosten met zich mee. Ter beperking van de kosten zijn de metingen uitgevoerd in een beperkt aantal situaties. Met behulp van omrekeningen worden de gebruiksrendementen bepaald in de overige situaties. Er blijkt een relatie te bestaan tussen de warmteproduktie per week en het gasverbruik per week. De omrekeningen worden uitgevoerd met behulp van deze relatie. De relatie wordt gekwantificeerd met lineaire regressie-analyse.

Bij het verstoken van aardgas in een ketel worden een viertal verliezen onderscheiden:
- startverliezen;
- schoorsteenverliezen;
- stralingsverliezen en
- ventilatieverliezen.

De startverliezen worden veroorzaakt door het voorspoelen van de ketel. Voor het starten moet de ketel gespoeld worden met "schone" verbrandingslucht om er zeker van te zijn dat bij het ontsteken van de vlam geen onverbrand gas in de ketel aanwezig is. Het is een maatregel om explosie bij het starten te voorkomen. De spoellucht die door de ketel stroomt wordt opgewarmd waardoor het startverlies ontstaat.

Schoorsteenverliezen ontstaan doordat de rookgassen met een hogere temperatuur dan die van de verbrandingslucht de ketel verlaten. Daarnaast kunnen er nog onverbrande delen in de rookgassen aanwezig zijn en de luchtovermaat kan te groot zijn.

Een stookinstallatie is ondanks de isolatie aan de buitenkant warm waardoor de omgevingslucht in het ketelhuis wordt opgewarmd; dit zijn stralingsverliezen. Ventilatieverliezen worden

veroorzaakt doordat ten tijde dat de brander buiten gebruik is leklucht door de ketel kan stromen (langs de niet geheel gesloten luchtklep) en warmte opneemt.

Schoorsteenverliezen zijn variabel met de warmteproduktie. Stralingsverliezen zijn vrijwel vaste verliezen, de installatie is immers altijd warmer dan zijn omgeving. De startverliezen zijn afhankelijk van het aantal keren dat de brander gestart wordt en zijn evenals de ventilatieverliezen niet volledig vast of volledig variabel.

De verliezen die optreden bij het verstoken van gas worden met de hiervoor genoemde relatie tussen het gasverbruik en de warmteproduktie per week verdeeld naar vaste en variabele verliezen (Van der Velden, 1989). De verschillen in vaste verliezen tussen de installaties blijken groot te zijn. De oorzaken hiervan worden geanalyseerd.

Naast de vaste verliezen bestaan er grote verschillen in bedrijfsomstandigheden. De meetresultaten worden daarom omgerekend naar gelijke bedrijfsituaties (brandstofintensiteit en capaciteit van de installatie) en gelijke (normatieve) vaste verliezen. Onderlinge vergelijking van de installaties wordt hierdoor mogelijk. De genoemde relatie tussen het gasverbruik en de warmteproduktie per week wordt hiervoor gebruikt. Dit geldt ook voor de berekening van het jaargebruiksrendement van de gasketel in gebruik voor de pieklast.

De capaciteit van de stookinstallatie en de oppervlakte glas zijn per bedrijf gemeten. De capaciteit is gemeten met een stookproef. Hierbij ontstaat tevens inzicht in het momentaanrendement en het regelbereik van de stookinstallatie.

2.2 Bedrijfskeuze

- Bedrijfsituaties

Van groot belang voor de bruikbaarheid van de resultaten van het onderzoek zijn de bedrijfsituaties waarin de metingen worden uitgevoerd. Volgens de structuurenquête bedraagt het aantal glastuinbouwbedrijven in Nederland in 1983/84 met een ketel ruim achtduizend. Deze bedrijven omvatten gezamenlijk ruim zeven duizend ha glas. De gemiddelde bedrijfsomvang bedraagt in 1988 ongeveer 9.700 m^2 glas. Gemiddeld per bedrijf wordt jaarlijks ongeveer 370.000 m^3 aardgas verbruikt (Van Noort, 1990).

In de glastuinbouw bestaan grote verschillen in bedrijfsituaties. Veel van deze situaties resulteren in verschillen in warmte-intensiteit (warmte-eenheden per m^2 kas). De brandstofintensiteit (m^3 a.e. per m^2) wordt beschouwd als een maatstaf voor de warmte-intensiteit. Een hogere brandstofintensiteit zal leiden tot een hoger gebruiksrendement omdat de vaste verliezen van de stookinstallatie (zie paragraaf 2.1) dan verdeeld worden over meer kubieke meters aardgas (warmte).

Naast de warmte-intensiteit zal het gebruik van een rookgascondensor grote invloed hebben op het gebruiksrendement van de stookinstallatie. Met een rookgascondensor worden de rookgassen uit de gasketel verder afgekoeld waarbij tevens waterdamp uit de rookgassen condenseert. Hierdoor wordt de latente warmte aan de rookgassen onttrokken waardoor het rendement hoger wordt (Meijndert, 1983).

In de praktijk worden drie typen condensors gebruikt, dit zijn:
- de enkelvoudige condensor op de retour;
- de enkelvoudige condensor op een apart net en
- de combicondensor.

Het eerste type is aangesloten op de retourleiding van het verwarmingssysteem in de kas naar de ketel. Het tweede type is aangesloten op een apart verwarmingsnet in de kas. Het derde type bestaat uit twee secties waarvan de eerste is aangesloten op de retour en de tweede op een apart net. Door het gebruik van een apart verwarmingsnet met een lage temperatuur worden de rookgassen sterker afgekoeld waardoor meer waterdamp condenseert en de brandstofbesparing extra groot is. De extra warmte komt beschikbaar bij een lage temperatuur (30-50°C) en wordt ook wel laagwaardige warmte genoemd. Uit onderzoek is gebleken dat de gemiddelde brandstofbesparing bij een groep tomatenbedrijven voor de verschillende condensortypen resp. 5, 11 en 15% bedraagt (Van Rijssel, 1983).

Bij de constructie van de condensor worden twee vormen onderscheiden; dit zijn een pijpen- en een lamellen-condensor. Verwacht wordt dat de invloed van de constructievorm op het gebruiksrendement niet groot is. Naar de constructievorm is daarom geen onderscheidt gemaakt.

In tabel 2.1 zijn de bedrijven met een ketel in de Nederlandse glastuinbouw ingedeeld naar condensortype en brandstofintensiteit. Het betreft hier gegevens van het seizoen 1983/84. Actuelere gegevens zijn niet beschikbaar. Uit de tabel blijkt dat op 55% van de bedrijven geen rookgascondensor, op 6% een enkelvoudige condensor op de retour, op 28% een enkelvoudige condensor op een apart net en op 11% een combicondensor is geïnstalleerd. Bij de bedrijven zonder condensor heeft ruim 80% een brandstofintensiteit die lager is dan 40 m^3 a.e. per m^2. Het aantal bedrijven zonder condensor met een hoge brandstofintensiteit is dus gering. De meeste bedrijven met een condensor hebben een relatief hoge brandstofintensiteit. Indien alleen de bedrijven met een brandstofintensiteit groter dan 40 m^3 a.e. per m^2 in beschouwing worden genomen bedragen de aandelen respectievelijk 33, 8, 42 en 17% en heeft dus 67% van de bedrijven eén condensor.

In de periode na 1983/84 is de brandstofintensiteit op de bedrijven toegenomen (Van der Velden et.al., 1990) maar de onderlinge verhoudingen in implementatiegraad tussen de

condensortypen is naar verwachting niet veel gewijzigd. Wel heeft zich een ontwikkeling voorgedaan waarbij op een deel van de bedrijven hoogwaardige warmte wordt bijgemengd in het laagwaardige condensornet. Dit wordt gedaan omdat op bepaalde plaatsen in het gewas meer warmte gewenst is (b.v. groeipijpen en matverwarming). Bijmengen verhoogt de temperatuur in het aparte net waardoor er minder condensatie in de condensor optreedt en de gasbesparing lager is.

Op 60% van de glastuinbouwbedrijven met een ketel werd in 1983/84 CO_2 gedoseerd. Indien de bedrijven met een brandstofintensiteit onder de 20 m^3 a.e. per m^2 buiten beschouwing worden gelaten bedraagt het aandeel 68%. In de jaren na 1983/84 is dit aandeel toegenomen en het zal in de toekomst verder stijgen.

Tabel 2.1 Verdeling van de Nederlandse glastuinbouwbedrijven met een ketel naar condensortype en brandstof-intensiteit 1)

type rookgas-condensor	brandstofintensiteit (m^3 a.e./m^2) 0-20	20-40	40-60	> 60	totaal
geen	2330	1372	577	217	4496 (55)
enkelvoudige op retour	69	206	158	26	459 (6)
enkelvoudige op apart net	361	948	888	120	2317 (28)
combi	145	326	359	62	892 (11)
totaal	2905 (36)	2852 (35)	1982 (24)	425 (5)	8164 (100)

1) tussen haakjes is verdeling naar condensortype in % vermeld
bron : structuurenquête CBS 1983/84, bewerking LEI

Van het gebruik van meerdere installaties per bedrijf, de overcapaciteit, het onderhoud en de isolatie zijn geen exacte cijfers bekend. Uit ervaring is bekend dat de meeste bedrijven één geïsoleerde vlampijpketel met beperkte overcapaciteit en één brander met een groot regelbereik in gebruik hebben.

De regeling van de brander bestaat uit een regeling van de verbrandingslucht en van de gastoevoer. De gastoevoer is bijna altijd modulerend geregeld. De verbrandingslucht wordt eveneens modulerend geregeld met een ventilator met een één- of een tweetoeren motor. Een ééntoeren motor werkt in één traject (b.v.

30 tot 100%). Een tweetoeren motor werkt in twee trajecten, b.v. van 10 tot 60% en 60 tot 100%. Dit heeft als voordeel dat het regelbereik groter wordt. Het gebruik van een brander met een groot regelbereik zal in de toekomst onder invloed van het doseren van CO_2 in perioden zonder warmtevraag verder toenemen.

- Keuzecriteria

Bedrijven met een geringe brandstofintensiteit zullen door het geringe warmteverbruik en de hoge investeringen die samengaan met de aanwending van alternatieve warmtebronnen niet snel in aanmerking komen voor de toepassing van een alternatieve energiebron. Hetzelfde geldt voor bedrijven met een kleine oppervlakte glas. Het is daarom minder interessant onderzoek te verrichten naar het gebruiksrendement op deze bedrijven.

De metingen hebben plaatsgevonden op de bedrijfstypen zoals vermeld in tabel 2.2. Door de keuze van deze bedrijven ontstaat inzicht in het gebruiksrendement bij de verschillende condensortypen. Gekozen is voor bedrijven met een brandstofintensiteit tussen de 45 en 55 m^3 gas per m^2 per jaar in het jaar 1988. De minimale bedrijfsgrootte wordt gesteld op 5.000 m^2 glas. Het gasverbruik van de deelnemende bedrijven bedraagt hierdoor minimaal 225.000 m^3 per jaar.

Tabel 2.2 Schema bedrijfstypering voor meting gebruiksrendementen

type rook-gascondensor	bedrijfs-type
geen	1
enkelvoudige op retour	2
enkelvoudige op apart net	3
combi	4

In het onderzoek zijn alleen bedrijven opgenomen die CO_2 doseren. Bedrijven met een warmte-opslagtank in combinatie met CO_2-dosering brengen problemen met de inbouw van de warmtemeter en een hoge meetfout door een kleine delta t bij de warmtemeting met zich mee (zie paragraaf 2.3). Op deze bedrijven zijn daarom geen metingen uitgevoerd. De resultaten zijn, eventueel na omrekening, wel bruikbaar voor deze bedrijfssituatie.

De ketels waarbij de metingen zijn verricht zijn vlampijpketels en de meeste branders hebben een groot regelbereik. De installaties zijn geïsoleerd en verkeren in een redelijke staat van onderhoud. De brander moet goed afgesteld zijn. De capaciteit van de ketel moet in overeenstemming zijn met de maximale warmtevraag van het bedrijf. Daarnaast moet de

Tabel 2.3 Kenmerken bedrijf en stookinstallatie per bedrijf.

bedr. nr.	kas-opp. (m^2)	ketel-cap. (MW)	bouwjaar ketel	bouwjaar brander	type rookgascondensor	condensornet (per 3,20 m kap)	condensornet capaciteit W/m^2) 1)	retar-ders	isolatie ketel r. (cm) 5)	isolatie ketel v.f. (cm) 5)	isolatie ketel a.f. (cm) 5)	twee-toeren brander
1.1	9.173	2,4	1964	1972	geen	-	-	ja	10	10 2)	10 2)	neen
1.2	8.559	2,4	oud	1974	geen	-	-	ja	7	7	7	neen
1.3	9.403	3,5	1974	1974	geen	-	-	ja	5	5	5	neen
2.1	13.578	4,6	1978	1978	retour/pijpen	-	-	ja	6	6	6 3)	ja
2.2	9.589	3,5	1978	1989	retour/lamellen	-	-	ja	7	0	7	ja
2.3	13.156	2,9	1988	1988	retour/lamellen	-	-	neen	6	0	6	ja
3.1	11.581	2,9	1974	1974	apart net/lamellen	4 x 25 mm p.e. 4)	17	ja	8	8	8	ja
3.2	9.446	2,3	1967	1978	apart net/pijpen	betonvloer 6)	23	neen	5	1	4	neen
3.3	6.302	1,6	1962	1972	apart net/pijpen	4 x 25 mm p.e.	26	neen	7	0	7	neen
4.1	13.884	2,9	1976	1986	combi/lamellen	4 x 25 mm p.e.	26	ja	5	0	0	ja
4.2	12.191	4,1	1974	1974	combi/lamellen	4 x 25 mm p.e.	26	neen	7	0	7	ja
4.3	10.699	2,9	1975	1975	combi/lamellen	4 x 25 mm p.e.	26	ja	5	0	5	ja

1) berekend bij een watertemperatuur van 50-45 °C;
bij bedrijf 3.2 (betonvloer) is een watertemperatuur van 30-25 °C aangehouden
2) voor de helft geïsoleerd
3) vlampijpdeur niet geïsoleerd
4) op 64% van het bedrijf
5) r. = romp
v.f. = voorfront
a.f. = achterfront
6) Bij bedrijf 3.2 wordt in het condensor-net bijgemengd;
de watertemperatuur wordt echter niet hoger dan 30°C waardoor dit
geen invloed heft op het condensorrendement.

capaciteit van de brander, de ketel, de condensor en het eventuele aparte verwarmingsnet voor de condensor met elkaar in overeenstemming zijn. De warmteproduktie op de bedrijven moet plaats vinden met één gasketel en er mogen geen alternatieve energiebronnen gebruikt worden. Bijmengen in het laagwaardige condensornet mag niet of maar in zeer korte periode (enkele weken per jaar) plaats vinden; de meetresultaten zijn anders moeilijk te gebruiken voor andere bedrijfsituaties.

Naast de produktie van warmte wordt met de stookinstallatie op een deel van de bedrijven gedurende een korte periode ook stoom geproduceerd voor ontsmetting van de grond of het substraat. De produktie van stoom zal niet worden overgenomen door de alternatieve warmtebron; de gasketel zal hiervoor gebruikt blijven worden. Bedrijven waar met de gasketel gestoomd wordt mogen aan het onderzoek deelnemen. Bij het bepalen van het gebruiksrendement wordt de periode waarin wordt gestoomd buiten beschouwing gelaten. Indien op een bedrijf met de ketel over een langere of meerdere periodes stoom wordt geproduceerd, wordt de meetperiode te kort en mag het bedrijf niet aan het onderzoek deel nemen.

Met de hiervoor beschreven criteria zijn willekeurig bedrijven gezocht die daaraan voldoen. Een overzicht van de kenmerken van de bedrijven en de installaties waar de metingen zijn uitgevoerd is gegeven in tabel 2.3. Per bedrijfstype (condensortype) zijn drie bedrijven in onderzoek genomen. In totaal zijn er op 12 bedrijven metingen uitgevoerd. Bij de bedrijfsnummering geeft het eerste getal het bedrijfstype aan en het tweede getal het volgnummer per bedrijfstype.

2.3 Wijze van meten

2.3.1 Momentane metingen

De capaciteit van de stookinstallaties is bepaald op basis van het momentaan-rendement en het gasverbruik per uur. We spreken daarom van netto-capaciteit. Dit is gedaan bij zowel de maximale als de minimale brandercapaciteit (grote en kleine vlam). De branderstand is hierbij handmatig ingesteld.

Voor het bepalen van het momentaan-rendement zijn tijdens een stookproef in de winter de volgende grootheden gemeten:
- de temperatuur van de verbrandingslucht en van de rookgassen;
- de zuurstofconcentratie in de verbrandingslucht en in de rookgassen en
- de koolmonoxydeconcentratie in de rookgassen.

Als verbrandingslucht is de lucht in het ketelhuis gemeten. De temperatuur van en de zuurstof- en koolmonoxyde-concentratie in de rookgassen is gemeten direct achter de ketel en voor de eventueel aanwezige rookgascondensor. Het momentaan-rendement is

vervolgens berekend met behulp van een computerprogramma dat gebaseerd is op gegevens uit een artikel in het blad "Gas" (Geersen, 1983). Een groter verschil tussen de temperatuur van de rookgassen en de verbrandingslucht resulteert hierbij in een lager rendement. Een groter verschil in zuurstof-concentratie betekent dat de verbranding plaats vindt met een grotere luchtovermaat en het rendement lager is. De koolmonoxyde-concentratie is een graadmeter voor onverbrande brandstofdelen. Een hogere concentratie leidt tot een lager rendement.

Het gasverbruik per uur is bepaald met de aanwezige gasmeter en een stopwatch. Zowel bij de maximum als de minimum branderstand is gedurende een periode van minimaal 20 minuten het gasverbruik gemeten. Het gasverbruik per uur is vervolgens berekend.

De maximum en minimum brandercapaciteit is het produkt van het momentaan-rendement en het gasverbruik per uur bij de betreffende branderstand en de onderste verbrandingswaarde van het aardgas. Het regelbereik van de brander is het quotiënt van de maximum en de minimum capaciteit.

2.3.2 Gebruiksrendementen

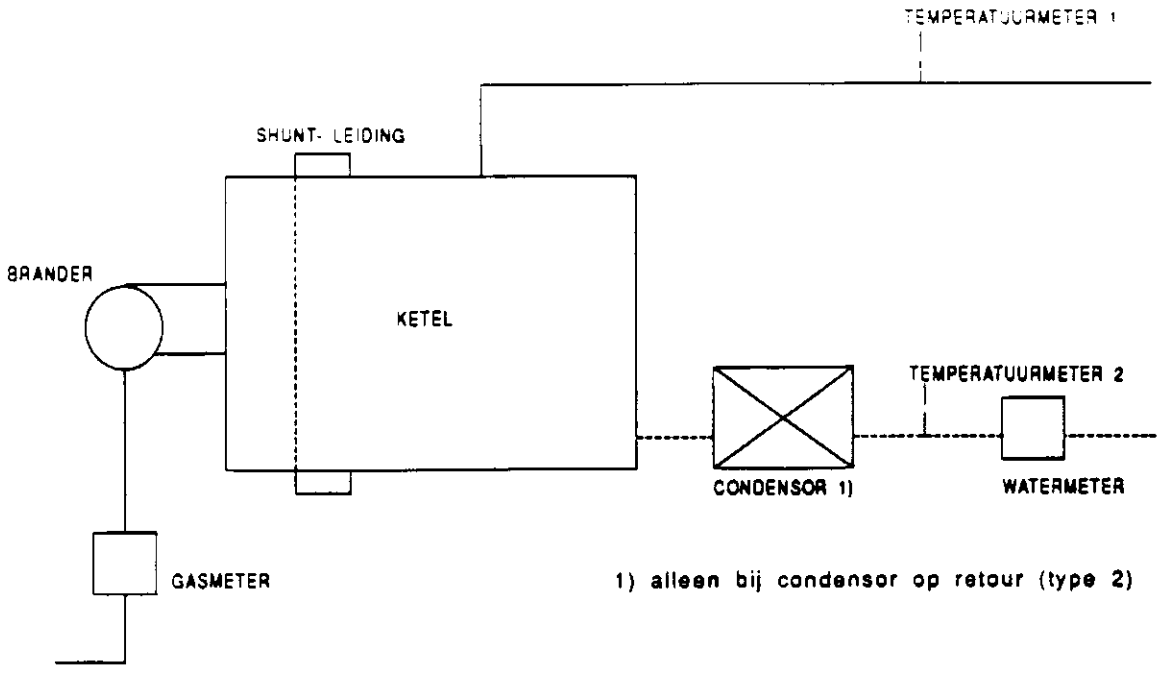
Voor het bepalen van het gebruiksrendement is per bedrijf wekelijks het gasverbruik van de brander en de warmtelevering van de ketel en eventueel van de rookgascondensor geregistreerd.

- Gas

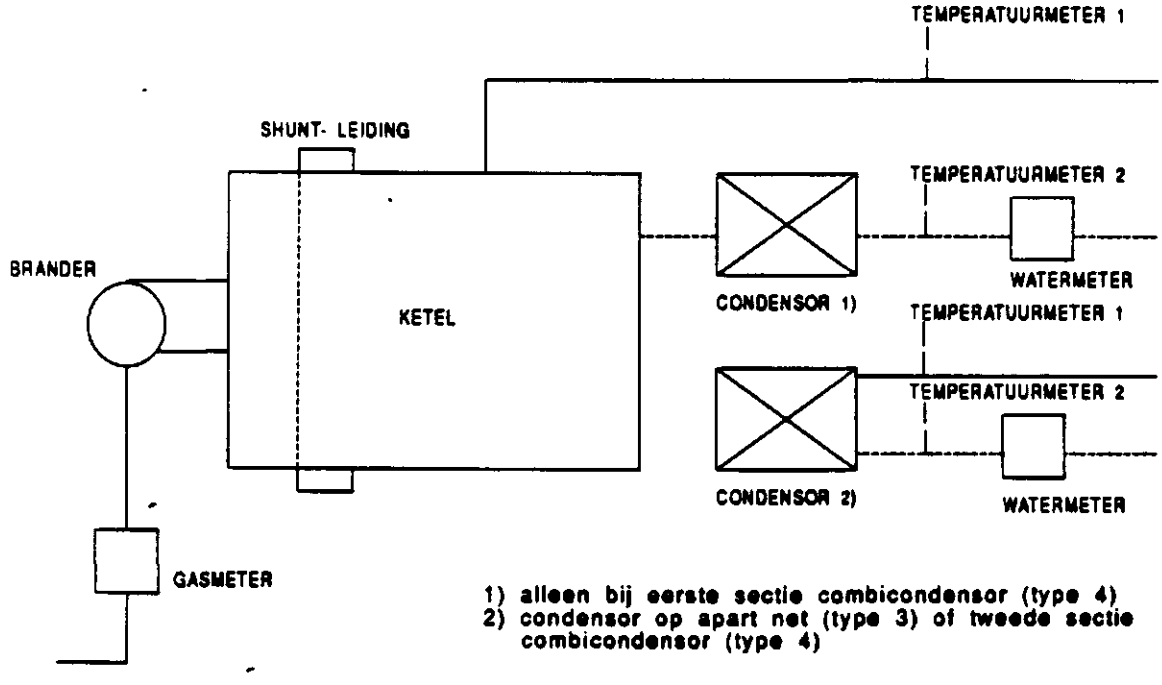
Het gasverbruik is geregistreerd met een gasmeter. Een gasmeter is op een glastuinbouwbedrijf aanwezig. Voor de betrouwbaarheid van de resultaten is het van belang dat dit een volumeherleidingsmeter is en dat het meetbereik overeenstemt met het regelbereik van de brander. Bij gebruik van een volumeherleidingsmeter behoeven de gemeten waarden niet gecorrigeerd te worden voor temperatuur en druk. Het gasverbruik wordt wel gecorrigeerd voor de calorische waarde waarbij het gemeten aardgas wordt omgerekend naar normatieve Groningse m^3 aardgas (onderste verbrandingswaarde = 31,65 MJ/m^3). Door gebruik van de aanwezige gasmeter hebben we te maken met de gebruikelijke meetfout. Hierover zijn geen meetrapporten voorhanden; wel bestaan er ijkgrafieken. Uit de ijkgrafieken blijkt dat binnen het meetbereik van de meter, het rekenkundig gemiddelde van de meetfout maximaal ongeveer 0,1% bedraagt. Voor het privé-gasverbruik van de tuinder (woning) moet een aparte gasmeter aanwezig zijn.

- Warmte

De door de ketel en eventueel rookgascondensor geproduceerde en aan het verwarmingssysteem afgegeven warmte wordt gemeten met een warmtemeter. Afhankelijk van het condensortype worden één of twee warmtemeters gebruikt. De warmtemeters bestaan uit een



figuur 2.1 Schematische weergave van de wijze van inbouw van de warmtemeters bij bedrijfstype 1 en 2



figuur 2.2 Schematische weergave van de wijze van inbouw van de warmtemeters bij bedrijfstype 3 en 4

watermeter incl. meetversterker, twee temperatuurmeters en een warmteteller. De watermeter registreert de hoeveelheid water (debiet) dat opgewarmd wordt en de temperatuurmeters het temperatuurverschil tussen het ingaande en uitgaande water. Met deze informatie bepaalt de warmteteller de gemeten warmte. Zowel de waterhoeveelheid als de gemeten warmte is wekelijks geregistreerd. Met deze informatie is de mate van opwarming van het verwarmingswater in de stookinstallatie (delta t) per week berekend.

- Plaatsing warmtemeter

De meters zijn ingebouwd zoals weergegeven in figuur 2.1 (bedrijfstypen 1 en 2) en in figuur 2.2 (bedrijfstype 3 en 4). De watermeter is geplaatst in de retourleiding van het verzamelstuk naar de ketel. Van de twee temperatuurmeters is er één geplaatst bij de watermeter en één in de aanvoerleiding van de ketel naar het verdeelstuk. De warmteproduktie wordt dus gemeten direct na de ketel. Op deze plaats is het temperatuurverschil tussen het ingaande en uitgaande water (delta t) het grootst, hetgeen van belang is voor de meetfout (zie "type warmtemeter en meetfout" verderop).

De delta t is op deze plaats gelijk aan het verschil tussen de ketelwatertemperatuur en de retourtemperatuur van het verwarmingswater uit de kas. Bij de grootste warmtevraag (vollast) bedraagt het temperatuurverschil ongeveer 15°C; op deze waarde wordt een verwarmingssysteem in de tuinbouw uitgelegd. Bij een kleinere warmtevraag wordt dit verschil groter. De ketelwatertemperatuur wordt bij een lagere warmtevraag lager maar komt niet onder de 60°C (dauwpunt). De retourtemperatuur daalt bij de laagste warmtevraag tot niet veel boven de teelttemperatuur of tot een ingestelde minimum buistemperatuur.

Bij de bedrijven met een condensor op de retour (bedrijfstype 2) is de meter geplaatst voor de condensor en wordt dus ook de warmte uit de condensor gemeten. Hetzelfde geldt voor de warmte uit de eerste sectie van de combicondensor (type 4). Bij de bedrijven met een condensor op een apart net (type 3) en bij de tweede sectie van de combicondensor (type 4) is voor het meten van de laagwaardige condensorwarmte een aparte warmtemeter nodig. Bij deze bedrijfstypen zijn dus twee warmtemeters geïnstalleerd.

Alle geproduceerde en aan het verwarmingssysteem afgegeven warmte moet worden gemeten. De ketelwaterciculatie door de shuntleiding mag niet belemmerd worden en deze waterstroom mag niet gemeten worden. Bij een viertal bedrijven met schuurverwarming aangesloten op de shuntleiding is deze omgezet op het verdeelstuk.

- Expansievat

Bij alle bedrijven in het onderzoek is een expansievat in het verwarmingssysteem opgenomen. Bij een aantal bedrijven is het vat

koud en bij een aantal warm en treden er warmteverliezen op. De plaats van aansluiting is eveneens verschillend. Bij een viertal bedrijven (1.2, 2.1, 3.2 en 4.3) is het expansievat aangesloten direct bij de ketel en tussen de temperatuurmeters van de warmtemeting en is het vat warm. Dit heeft tot gevolg dat er warmteverlies optreedt en dat dit verlies wordt meegenomen in het warmteverlies van de stookinstallatie. Bij de overige bedrijven is het expansievat aangesloten op het verdeel- of verzamelstuk of een transportleiding en dus in de warmtemeting en worden de eventuele warmteverliezen dus niet meegenomen in het warmteverlies van de stookinstallatie.

De warmteverliezen van het expansievat zijn vaste verliezen; de warmte-afgifte vindt immers continue plaats. Dit geeft de mogelijkheid om bij de analyse van de verschillen in vaste verliezen tussen de afzonderlijke stookinstallaties, de vaste verliezen van het expansievat te bepalen.

De verliezen van het expansievat zijn te voorkomen door deze op een zodanige wijze aan te sluiten dat het vat niet warm wordt; bij een aantal bedrijven is het expansievat immers koud. Het warmteverlies van het expansievat wordt daarom bij de onderlinge vergelijking van de installaties en de omrekening naar andere bedrijfsituaties en het rendement bij pieklast niet meegenomen in het totale verlies van de installatie. De invloed van een warm expansievat op het gebruiksrendement wordt wel getoond.

- Type warmtemeter en meetfout

De relatie tussen de warmteproduktie en het gasverbruik per week wordt gebruikt voor de omrekening van de resultaten naar situaties waarin niet gemeten wordt. Hierdoor worden hoge eisen gesteld aan de nauwkeurigheid van de metingen. Zoals hiervoor al beschreven bestaat een warmtemeter uit een watermeter incl. meetversterker, twee temperatuurmeters en een warmteteller. Elk onderdeel heeft zijn eigen meetfout.

De meetfout van de watermeter incl. meetversterker is constant. De meetfout van de temperatuurmeters is afhankelijk van het temperatuurverschil tussen het ingaande en uitgaande water (delta t). De warmteteller heeft een vaste meetfout. De maximale meetfout van het totale systeem is gelijk aan de som van de maximale fout van de afzonderlijke onderdelen.

Gekozen is voor een ALTOFLUX inductieve meetgever type M950, een microprocessor gestuurde meetversterker type SC100A, gepaarde Pt100 elementen type ITH 32 en een CALEC warmteteller type MCL. Volgens opgaaf van de leverancier bedraagt de meetfout van de watermeter incl. meetversterker 0,5% bij een stroomsnelheid tussen de 0,3 en 12 m/s. De twee temperatuurmeters hebben een absolute meetfout van 0,1°C. De relatieve meetfout is daardoor afhankelijk van de delta t. Bij meting achter de ketel is de delta t minimaal 15°C en is de meetfout maximaal 0,1/15 ofwel 0,67%. De meetfout van de warmteteller bedraagt 0,3% bij een absoluut temperatuurniveau tussen de 0 en de 200°C en een delta t

tussen de 2 tot 200°C. Bij de warmtemeter achter de ketel ligt het temperatuurniveau en de delta t altijd in dit traject.

De meetfout van het totale systeem bedraagt maximaal ± (0,5% + 0,67% + 0,3) = ± 1,47%. Gedurende een groot deel van het jaar is de delta t echter groter waardoor de gemiddelde meetfout kleiner is.

- Diameter watermeter en stroomsnelheid

Zoals hiervoor beschreven is de meetfout van de watermeter 0,5% bij een stroomsnelheid tussen de 0,3 en 12 m/s. Bij de keuze van de diameter van de watermeter is voor extra veiligheid een hogere minimum stroomsnelheid van 0,4 m/s aangehouden. De werkelijke stroomsnelheid wordt bepaald door de diameter van de watermeter en de omvang van de waterstroom (debiet). De diameter van de watermeter is gelijk aan de diameter van de leiding waarin deze is geïnstalleerd. De omvang van de waterstroom is afhankelijk van de totale warmtevraag op het bedrijf. De laagst voorkomende stroomsnelheid is berekend op basis van de minimum warmtevraag op het bedrijf en de leidingdiameter. De minimum warmtevraag is gebaseerd op een minimum buistemperatuur in de kas. De toegestane minimum stroomsnelheid is gesteld op 0,4 m/s. Indien de berekende minimum stroomsnelheid lager is, is de stroomsnelheid opgevoerd door het inbouwen van een leiding en een watermeter met een kleinere doorstroomopening. De grens van 0,4 m/s is gekozen omdat bij een hogere waarde de benodigde kleinere diameter resulteert in een te grote leidingweerstand in relatie tot de aanwezige pompcapaciteit.

Voor een goed functioneren van de warmtemeters is het tevens van belang dat in de watermeter geen turbulentie optreedt. De meter is hiervoor zodanig geïnstalleerd dat de instroomleiding over een lengte van minimaal 6 maal en de uitstroomleiding over een lengte van minimaal 3 maal de diameter van de watermeter recht is (geen bochten bevat) en er geen andere aansluitingen (leidingen en dompelbuizen van temperatuurmeters) binnen dit traject aanwezig zijn. De temperatuurmeter van de warmtemeter is daarom buiten dit traject geplaatst.

- Laagwaardige condensorwarmte

Het meten van de laagwaardige condensorwarmte vindt plaats direct achter de condensor (zie figuur 2.2). Voor het goed functioneren van een condensor wordt een zeer grote hoeveelheid verwarmingswater rondgepompt waardoor de delta t klein is. Een kleine delta t is ongunstig voor de meetfout. Het aandeel van de laagwaardige warmte in het totaal rendement van de stookinstallatie is echter klein waardoor de meetfout in het totaal rendement gering is.

Bij bedrijfstype 3 (enkelvoudige condensor op apart net) bedraagt de delta t gemiddeld over het jaar 1,2°C en bij bedrijfstype 4 (combicondensor) gemiddeld 1,1°C. De meetfout van de temperatuurmeters is hierdoor resp. 9,1% en 9,9%. Het aandeel

van de laagwaardige warmte in het rendement van de gehele installatie blijkt resp. gemiddeld 12,4 en 6,5% te bedragen waardoor de meetfout van de meting van de laagwaardige warmte in het rendement van de gehele stookinstallatie uitkomt op resp. 1,1% en 0,6%.

3. RESULTATEN

3.1 Momentane metingen

De belangrijkste resultaten van de momentane metingen op de afzonderlijke bedrijven zijn vermeld in tabel 3.1; dit zijn de metingen op een bepaald moment. Voor gedetailleerde resultaten wordt verwezen naar bijlage 1. Uit de gegevens blijkt dat de maximale capaciteit van de branders uiteen loopt van 3,4 tot 1,5 MW; per m^2 kas is dit 125 tot 337 W. De maximale capaciteit van 125 W per m^2 bij bedrijf 4.2 is laag. Ondanks het gebruik van een energiescherm kan de vraag worden gesteld of in strenge winters de capaciteit voldoende is. Dit geldt ook voor bedrijf 4.1 waar de maximale capaciteit 163 W per m^2 bedraagt. De bedrijven 1.1, 1.3, 3.1 en 3.3 hebben een hoge maximale capaciteit. Hier is sprake van een overcapaciteit.

De minimale capaciteit loopt eveneens sterk uiteen. Bij bedrijf 3.2 is deze met 13 W per m^2 het laagst en bij bedrijf 1.2 met 102 W per m^2 het hoogst. Een kleine minimum capaciteit is van belang voor het doseren van CO_2 over een lange periode. Bij een kleine capaciteit zal de ketelwatertemperatuur minder snel op de maximaal toegestane temperatuur zijn en kan de brander langer in de CO_2-behoefte voorzien. Het regelbereik varieert van 1:2 (bedrijf 1.2 en 4.2) tot 1:17 (bedrijf 3.2). De meeste installaties hebben een relatief groot regelbereik.

Tabel 3.1 Resultaten momentane metingen per bedrijf 2)

bedr. nr.	brandercapaciteit max. (MW)	brandercapaciteit min. (MW)	brandercapaciteit max. (W/m^2)	brandercapaciteit min. (W/m^2)	regel-bereik	rendement max.cap. (% o.w.) 1)	rendement min.cap. (% o.w.) 1)
1.1	2,80	0,73	305	79	1 : 4	95,4	97,4
1.2	2,01	0,87	235	102	1 : 2	93,5	98,2
1.3	3,17	0,49	337	52	1 : 6	94,4	95,5
2.1	3,43	0,38	252	28	1 : 9	96,5	98,0
2.2	2,01	0,20	209	20	1 : 10	96,7	97,8
2.3	2,96	0,41	225	31	1 : 7	94,9	98,2
3.1	3,41	0,46	295	40	1 : 7	94,7	98,2
3.2	2,05	0,12	217	13	1 : 17	93,3	95,3
3.3	1,74	0,23	276	37	1 : 7	93,0	97,6
4.1	2,27	0,56	163	40	1 : 4	96,2	97,3
4.2	1,53	0,77	125	63	1 : 2	93,4	96,3
4.3	2,65	0,65	248	61	1 : 4	94,9	96,6

1) o.w. = onderste verbrandingswaarde
2) excl. eventueel condensor

Het momentaan-rendement van de installaties (excl. condensor) varieert bij de maximum capaciteit van 93,0 tot 96,7% o.w. en bij de minimum capaciteit van 95,3 tot 98,2%. Bedrijf 3.2 heeft het laagste rendement. Bij de minimum capaciteit is het rendement bij alle bedrijven hoger dan bij de maximum capaciteit. De verschillen per bedrijf lopen uiteen van 1,1 tot 4,7%-punt.

3.2 Gebruiksrendementen

3.2.1 Meetresultaten

De meetresultaten van het gebruiksrendement van de stookinstallaties van de afzonderlijke bedrijven zijn vermeld in de bijlagen 2 t/m 13. Voor de bedrijfstypen 1 (ketel zonder condensor) en 2 (ketel met enkelvoudige condensor op de retour) is per bedrijf het gasverbruik, de warmteproduktie en het gebruiksrendement per week en de totalen over het gehele meetjaar vermeld. Voor de bedrijfstypen 3 en 4 is bovendien een verdeling gemaakt naar hoogwaardige en laagwaardige warmte. Voor bedrijfstype 3 (condensor op apart net) wordt door de ketel hoogwaardige en door de condensor laagwaardige warmte geproduceerd en spreken we dus van het gebruiksrendement van de ketel, van de condensor en van de gehele installatie. Voor bedrijfstype 4 (combicondensor) wordt door de ketel en de eerste sectie van de condensor hoogwaardige warmte geproduceerd en door de tweede sectie van de condensor laagwaardige warmte en spreken we dus van het gebruiksrendement van de ketel incl. de eerste sectie van de condensor, van de tweede sectie van de condensor en van de gehele installatie. Bij alle bedrijfstypen is eveneens de mate waarin het verwarmingswater in de stookinstallatie wordt opgewarmd (delta t) per warmtemeting per week vermeld.

De bijzonderheden gedurende de meetperiode zijn per bedrijf en per week aangegeven; dit is o.a. stomen, teeltwisseling, condensor buiten werking, ketelregeling defect en bijmengen in condensor-net. Bij bedrijf 1.3 en 4.2 zijn er problemen met de warmtemeter opgetreden waardoor de meetresultaten van een aantal weken niet betrouwbaar en niet vermeld zijn. Zoals in hoofdstuk twee reeds is vermeld, zijn de omstandigheden op de afzonderlijke bedrijven niet gelijk en is onderlinge vergelijking pas mogelijk na omrekening naar gelijke omstandigheden. De relatie tussen het gasverbruik en de warmteproduktie per week wordt hiervoor gebruikt. De weken met bijzonderheden zijn hierbij buiten beschouwing gelaten. De weken waarin door de ketel geen warmte wordt geleverd maar waarin wel gas wordt gebruikt om de ketel op temperatuur te houden vormen hierop een uitzondering. Dit is de periode waarin de teeltwisseling plaats vindt. Het gasverbruik in deze periode is nodig ter compensatie van de vaste verliezen (stand-by of op temperatuur houden van de installatie) en wordt

bij de regressie-analyse wel in beschouwing genomen.

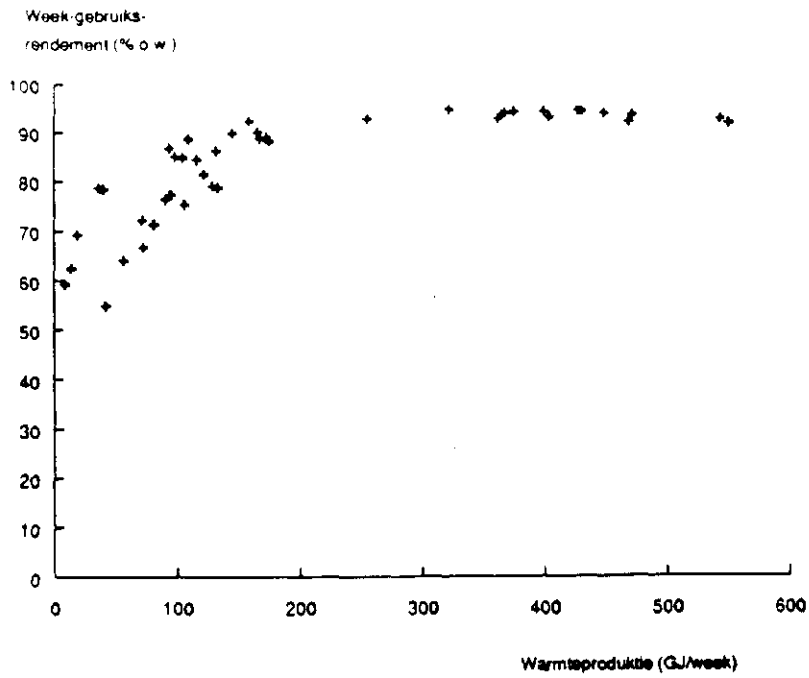
Bij bedrijf 4.1 is het rendement van de gehele installatie en van de tweede sectie van de condensor in de weken 49 t/m 51 en bij bedrijf 4.3 in de weken 48 t/m 50 wat lager. Bijmengen van hoogwaardige warmte in het condensor-net is hiervan de oorzaak. Dit wordt gedaan om in het begin van de teelt de substraatmatten op een hogere temperatuur te brengen.

Bij bedrijf 4.3 blijkt dat een defecte ketelregeling een verlaging van het rendement tot gevolg heeft. Door de ketelregeling wordt de temperatuur van het ketelwater binnen een bepaald traject geregeld op basis van de warmtevraag. Een defecte regeling resulteert in een hogere watertemperatuur. Dit heeft een negatieve invloed op het rendement omdat de rookgassen minder sterk worden afgekoeld en de vaste verliezen groter worden.

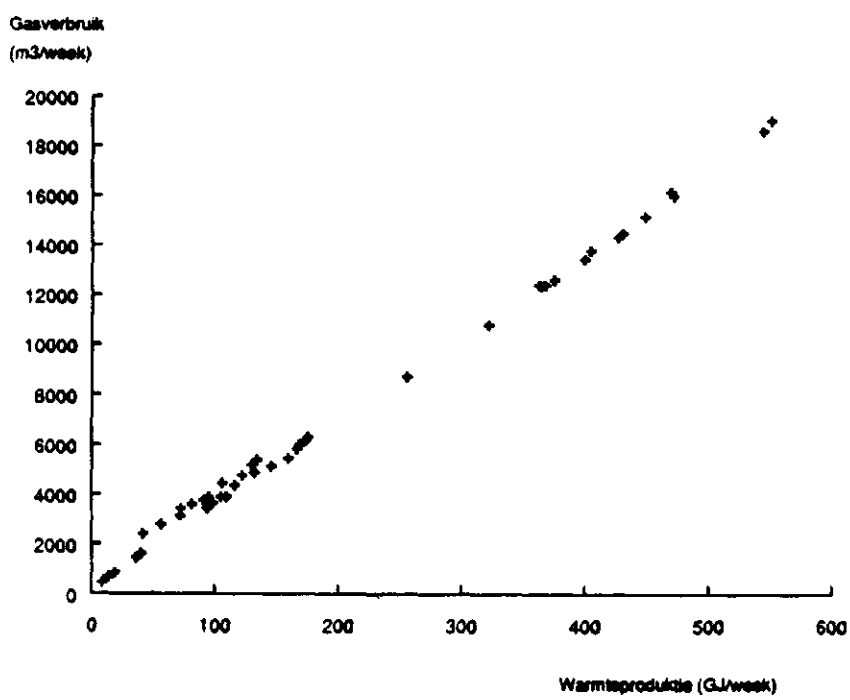
De delta t loopt bij bedrijfstype 1 uiteen van 12,5 tot 53,1°C en bij bedrijfstype 2 van 16,0 tot 43,6°C. Bij de hoogwaardige warmtemeting bij bedrijfstype 3 en 4 is dit resp. 21,0 tot 44,9 en 7,0 tot 45,8°C. De laagste waarde treffen we aan bij bedrijf 4.3; hier wordt een ringleiding gebruikt. Bij de laagwaardige warmtemeting loopt de delta t bij bedrijfstype 3 uiteen van 0,2 tot 2,2 en bij bedrijfstype 4 van 0,4 tot 2,5°C. Bij deze spreidingen zijn de weken met bijzonderheden buiten beschouwing gelaten.

In figuur 3.1 is als voorbeeld het verband weergegeven tussen het gebruiksrendement per week en de warmteproduktie per week van de installatie van bedrijf 1.2 (geen condensor). Uit de figuur blijkt dat het gebruiksrendement toeneemt bij een hogere warmteproduktie per week. Dit wordt veroorzaakt doordat bij een hogere warmteproduktie de vaste verliezen relatief kleiner worden. Bij een grotere warmtevraag ('s winters) ligt het rendement boven de 90% (o.w.); bij de laagste warmtevraag ('s zomers) daalt het rendement zeer sterk tot onder de 60%.

Dit verband vinden we ook bij de andere bedrijven, zie bijlage 14 t/m 24. Bij de bedrijven met een condensor ligt het rendement bij een hoge warmtevraag per week echter op een hoger niveau. Bij een aantal bedrijven (2.2, 2.3, 3.1, 3.3, 4.2 en 4.3) wordt het gebruiksrendement in de weken met de hoogste warmtevraag lager en heeft de figuur de vorm van en "katterug". Dit verschijnsel wordt in paragraaf 3.2.4 besproken.



Figuur 3.1 Verband gebruiksrendement en warmteproduktie per week bij bedrijf 1.2



Figuur 3.2 Relatie gasverbruik en warmteproduktie per week bij bedrijf 1.2

Bij bedrijf 3.2 vertoont het verband tussen het gebruiksrendement en de warmteproduktie per week een iets andere vorm (zie figuur b20.1 in bijlage 20). Het rendement neemt wel toe bij een hogere warmtevraag maar de "halve maan" is hier opgevuld. Een verklaring voor de afwijkende vorm is niet te geven. De "opvulling" blijkt plaats te vinden door de waarnemingen tot week 13 in 1990. Dit zou veroorzaakt kunnen worden doordat aan de installatie of op het bedrijf in deze week een verandering heeft plaats gevonden; dit is echter niet het geval.

Bij de bedrijven 3.1 en 4.3 hebben een aantal weken met een lage warmtevraag een hoog rendement (zie figuur b19.1 in bijlage 19 en figuur b24.1 in bijlage 24). Een verklaring hiervoor is eveneens niet gevonden; deze waarnemingen zijn daarom wel in beschouwing genomen bij de analyse.

3.2.2 Regressie-analyse

In figuur 3.2 is als voorbeeld de relatie weergegeven tussen het gasverbruik en de warmteproduktie per week van bedrijf 1.2. De waarnemingen liggen bijna op een rechte lijn en het aandeel in de variantie dat wordt verklaard (r^2) is zeer hoog (99,7%). De regressievergelijking bij deze lijn luidt als volgt:

$$Y_w = 574 + 32,66\ X_w \qquad (1)$$

Dit betekent dat het gasverbruik per week (Y_w) gelijk is aan een constante van 574 m^3 per week en het produkt van de richtingscoëfficiënt (32,66) en de warmteproduktie (GJ) per week (X_w). De constante van 574 per week geeft aan dat er gemiddeld 574 m^3 gas per week nodig is ter compensatie van de vaste verliezen. De richtingscoëfficiënt geeft aan dat voor de produktie van 1 GJ warmte naast de vaste verliezen gemiddeld 32,66 m^3 gas nodig is.

De vaste verliezen zijn bij bedrijf 1.2 gemiddeld 574 m^3 per week. Op jaarbasis is dit 52 x 574 ofwel 29.848 m^3; de installatie wordt meestal het gehele jaar gebruikt en/of op temperatuur gehouden. De vergelijking op jaarbasis wordt dan:

$$Y_j = 29.848 + 32,66\ X_j \qquad (2)$$

Met deze vergelijking worden de omrekeningen naar andere situaties gemaakt.

In de bijlagen 14 t/m 24 zijn de figuren van de andere bedrijven weergegeven. Bij bestudering van de figuren blijkt dat de lijnen van de bedrijven 2.2, 2.3, 3.1, 3.3, 4.2 en 4.3 een kleine knik vertonen. Deze bedrijven vertonen bij de relatie tussen het gebruiksrendement per week en de warmteproduktie per

week een "katterug"; dit veroorzaakt de knik.

Door het lagere rendement bij een hogere warmtevraag is het gasverbruik relatief groter. Hierdoor wordt de lijn aan de rechterkant "opgetild" (hefboomeffect) met als gevolg een lager snijpunt met de y-as. De waarde van het snijpunt wordt gezien als de hoogte van de vaste verliezen. Daar er geen relatie bestaat tussen het lagere rendement bij een hogere warmtevraag en de hoogte van de vaste verliezen wordt bij deze bedrijven het snijpunt met de y-as van de lijn voor de "knik" beschouwd als de hoogte van de vaste verliezen. De constante in de regressie-vergelijking wordt bij deze bedrijven op dit punt vastgezet. Het hefboomeffect wordt hierdoor uitgeschakeld.

In tabel 3.2 zijn de resultaten van de analyse van de meetresultaten van alle bedrijven weergegeven. Uit de tabel blijkt dat er grote verschillen bestaan in de hoogte van de vaste verliezen (constante). De laagste waarde is 30 en hoogste 1402 m^3 per week. De oorzaak van de grote spreiding wordt in paragraaf 3.2.5 behandeld.

Tabel 3.2 Resultaten regressie-analyse van de relatie gasverbruik per week t.o.v. de warmteproduktie per week, per bedrijf.

bedr. nr.	con-stante	richtings-coëfficiënt	r^2	t 1)	n 2)
1.1	1032	33,90	99,7	124,2	48
1.2	574	32,66	99,7	129,4	43
1.3	593	32,63	99,5	72,0	25
gem. type 1		33,1			
2.1	916	32,14	99,9	195,5	52
2.2	398	30,18	99,5	237,6	41
2.3	449	30,15	99,7	292,9	52
gem. type 2		30,8			
3.1	30	30,94	99,7	319,5	46
3.2	1402	31,40	98,3	54,1	51
3.3	230	29,49	99,8	350,7	51
gem. type 3		30,6			
4.1	954	29,10	99,4	90,9	49
4.2	825	29,85	99,5	247,8	27
4.3	737	30,02	99,5	229,8	23
gem. type 4		29,7			

1) t = t-waarde voor de t-toets
2) n = aantal waarnemingen

De richtingscoëfficiënt loopt uiteen van 29,1 tot 33,9. Dit betekent dat naast de vaste verliezen 29,1 tot 33,9 m^3 gas nodig is voor de produktie van één GJ warmte. Bij bedrijfstype 1 (zonder condensor) is dit 32,6 tot 33,9. Bij de bedrijven met condensor is de richtingscoëfficiënt lager en wordt er dus meer warmte uit het aardgas gehaald.

Bij bedrijfstype 2 (condensor op retour) loopt de richtingscoëfficiënt uiteen van 30,2 tot 32,1; bij type 3 (condensor op apart net) van 29,5 tot 31,4 en bij type 4 (combicondensor) van 29,1 tot 30,0. Gemiddeld bedraagt de richtingscoëfficiënt per bedrijfstype resp. 33,1, 30,8, 30,6 en 29,7. Dit betekent dat bij bedrijfstype 2 naast de vaste verliezen gemiddeld 2,3 m^3 (7%) minder gas nodig is voor de produktie van één GJ warmte. Bij type 3 is dit 2,5 m^3 (8%) en bij type 4 3,4 m^3 (10%). De verschillen tussen de afzonderlijke typen kunnen zowel veroorzaakt worden door een verschil in gebruiksrendement van de ketel als van de condensor. Ondanks dit en de overlapping van de resultaten per type is de tendens aanwezig dat by type 4 de meeste warmte uit het gas wordt gehaald, gevolgd door type 3 en type 2.

- Hoogwaardige en laagwaardige warmte

In tabel 3.3 zijn de resultaten vermeld van de regressie-analyse van de relatie tussen het gasverbruik per week en de hoogwaardige warmteproduktie per week van de bedrijfstypen 3 en 4. Hierbij is dus de laagwaardige warmte van de condensor bij bedrijfstype 3 en van de tweede sectie van de combicondensor bij bedrijfstype 4 buiten beschouwing gelaten. De richtingscoëfficiënt met laagwaardige warmte blijkt bij alle bedrijven lager te zijn dan zonder laagwaardige warmte. Het verschil is 12% bij bedrijfstype 3 en 6% bij type 4. Dit wordt veroorzaakt doordat met condensor meer warmte uit de rookgassen wordt gehaald.

De constante blijkt bij bedrijfstype 3 hoger en bij bedrijfstype 4 lager te zijn dan in de situatie met laagwaardige warmte al vormt bedrijf 4.3 hierop een uitzondering. Bij bedrijfstype 4 kan dit verklaard worden doordat de condensor evenals de ketel warmte afgeeft aan de lucht in het ketelhuis waardoor de vaste verliezen van de installatie inclusief condensor groter zijn. Bij bedrijfstype 3 mag dit ook worden verwacht en moet er dus iets anders aan de hand zijn.

Het rendement van de condensor bij bedrijfstype 3 is lager bij een hogere warmtevraag per week (zie paragraaf 3.2.3). Hierdoor is bij een hogere warmtevraag meer gas nodig voor de produktie van een eenheid warmte. De rechterkant van de regressielijn wordt hierdoor iets "opgetild" waardoor het snijpunt met de y-as lager komt te liggen. Bij bedrijfstype 4 wordt de lijn kennelijk niet "opgetild" en moet het condensorrendement bij een hogere warmteproduktie per week dus niet of minder dalen. Bedrijf 4.3 is

een uitzondering; het rendement van de tweede sectie van de combicondensor neemt bij dit bedrijf minder toe dan bij bedrijf 4.1 en 4.2 (zie bijlagen 21 t/m 24) waardoor ook hier het snijpunt met de y-as lager komt ter liggen. Het "optillen" door het lagere condensorrendement bij bedrijfstype 3 is minder dan het "optillen" door de "katterug" waardoor er geen "knik" in de lijn wordt teruggevonden.

De richtingscoëfficiënt is bij type 4 lager dan bij type 3. Dit wordt veroorzaakt doordat bij type 4 de hoogwaardige warmte, geproduceerd door de eerste sectie van de combicondensor, bij de analyse in beschouwing genomen is.

Tabel 3.3 Resultaten regressie-analyse van de relatie gasverbruik per week t.o.v. de hoogwaardige warmteproduktie per week, bij de bedrijfstypen 3 en 4.

bedr. nr.	constante	richtings-coëfficiënt	r^2	t
3.1	122	34,16	99,8	332,1
3.2	1639	36,18	98,0	49,1
3.3	284	33,59	99,7	309,3
gem. type 3		34,6		
4.1	908	30,99	99,4	88,6
4.2	668	32,15	99,0	177,5
4.3	802	32,06	99,3	187,3
gem. type 4		31,7		

3.2.3 Condensorrendement

Het rendement van de condensor bij de bedrijven 3.1, 3.2 en 3.3 is gemiddeld op jaarbasis resp. 9,9, 13,5 en 12,8% (zie bijlage 8 t/m 10). De weken met bijzonderheden zijn hierbij niet meegenomen. Het gemiddelde van bedrijfstype drie is 12,1%, dit is dus excl. bijmengen. Bij bedrijfstype 4 bedraagt het rendement van de tweede sectie van de combicondensor resp. 6,1, 7,2 en 5,9% (zie bijlage 11 t/m 13). Het gemiddelde van dit bedrijfstype is 6,4% (excl. bijmengen).

In de bijlage 19 t/m 21 is het condensorrendement per week t.o.v. de totale warmteproduktie per week van bedrijfstype 3 grafisch weergegeven. In de bijlagen 22 t/m 24 is dit gedaan voor bedrijfstype 4. Hier betreft het echter alleen het rendement van de tweede sectie van de combicondensor. Uit de figuren blijkt dat bij bedrijfstype 3 het condensorrendement afneemt bij een hogere warmteproduktie per week; al is deze relatie bij bedrijf 3.2 wat minder duidelijk aanwezig. De relatie kan verklaard worden

doordat bij een hoge warmteproduktie meer rookgassen worden geproduceerd waardoor de afkoeling in de condensor minder sterk is en er minder condensatie optreedt.

Bij bedrijfstype 4 neemt het rendement van de tweede sectie toe bij een hogere warmteproduktie. Dit kan verklaard worden doordat bij een hogere warmtevraag de retourtemperatuur van het verwarmingswater uit de kas hoger is en de rookgassen door de eerste sectie van de condensor minder sterk afgekoeld worden waardoor de tweede sectie meer warmte uit de rookgassen kan halen. Er vindt dus een verschuiving plaats van rendement van de eerste naar de tweede sectie. Dit stemt overeen met de beschrijving van de werking van de condensor (Meijndert, 1983). Niet duidelijk is of het totaal-rendement van de combicondensor toe- of afneemt bij een hogere warmtevraag.

3.2.4 Oorzaak "katterug"

Voor de verklaring van de oorzaak van de "katterug" is gezocht naar een verband tussen dit verschijnsel en andere kenmerken van de stookinstallatie of het bedrijf. Met de hierna genoemde variabelen is geen verband gevonden:

- capaciteit van de ketel per m^2 kas;
- capaciteit van de brander per m^2 kas;
- temperatuur van de rookgassen bij minimum en maximum capaciteit;
- zuurstofconcentratie in de rookgassen bij minimum en maximum capaciteit;
- momentaan-rendement bij minimum en maximum capaciteit;
- retarders in de ketel;
- verhouding capaciteit ketel en brander;
- regelbereik van de brander;
- bouwjaar van de brander en
- merk van de ketel en de brander.

Wel bestaat er een verband met het gebruik van een condensor. Een "katterug" komt niet voor bij installaties zonder condensor. Bij alle condensortypen blijkt echter één bedrijf voor te komen zonder "katterug". Bij de bedrijven 3.1 en 3.2 (condensor op apart net) vertoont de relatie tussen de warmteproduktie zonder condensor per week en het gebruiksrendement zonder condensor per week ook een "katterug". De "katterug" wordt dus niet in de condensor veroorzaakt. Het type condensor, de capaciteit en de constructievorm van de condensor (pijpen of lamellen) kan dus niet de oorzaak zijn. De vraag is nu of de condensor een "katterug" in de ketel veroorzaakt. Hiervoor is geen technische verklaring gevonden.

Naast het gebruik van een condensor is een verband gevonden met het toerengeregeld zijn van de brander. Zeven van de twaalf installaties hebben een toerenregeling; vijf hiervan vertonen een "katterug. Twee installaties met een toerenregeling hebben echter

geen "katterug" en één bedrijf zonder toerenregeling vertoont wel een "katterug". Tussen het gebruik van een toerenregeling en een condensor bestaat eveneens een verband (intercorrelatie).

Het lijkt er op dat er zowel een verband bestaat tussen het verschijnsel "katterug" en het bouwjaar van de ketel als het aanwezig zijn van retarders in de ketel. Deze "verbanden" zijn echter net niet statistisch betrouwbaar (eenzijdige overschrijdingskans 10%). Tussen het gebruik van een toerenregeling, het bouwjaar van de ketel en het aanwezig zijn van retarders bestaat eveneens een sterke intercorrelatie. Indien de bedrijven zonder condensor buiten beschouwing gelaten worden bestaat er geen statistisch betrouwbaar verband meer met deze variabelen. Een technische reden waarom één van deze variabelen de oorzaak kan zijn is niet gevonden.

Over de oorzaak van de "katterug" bestaat dus geen duidelijkheid. Het gebruik van een condensor en een toerenregeling op de brander geeft bij de statistische analyse wel de grootste verklaring.

3.2.5 Vaste verliezen

In paragraaf 3.2.2 is gebleken dat de vaste verliezen per installatie grote verschillen vertonen. De laagste waarde is 30 en de hoogste 1402 m^3 per week. Gezocht is naar de oorzaak hiervan.

De vaste verliezen blijken samen te hangen met de omvang en de isolatiedikte van de ketel en het wel of niet aangesloten zijn van een warm expansievat direct bij de ketel (buiten de warmtemeting; zie paragraaf 2.3.2). Als maatstaf voor de omvang van de ketel wordt de capaciteit van de ketel in MW gebruikt. De bedrijven 1.1 en 3.2 blijken een uitzondering te zijn. Bij bedrijf 1.1 kan dit verklaard worden doordat op de ketel een aantal zaken aanwezig zijn die uitsteken zoals grote haakse afsluiters en een stoomdom die niet of slecht geïsoleerd zijn; dit verhoogt de vaste verliezen. Voor bedrijf 3.2 is niet direct een verklaring te geven. Wel is het zo dat de grafische weergave van het gebruiksrendement en de warmteproduktie per week een wat afwijkende vorm laat zien (zie paragraaf 3.2.1 en figuur b20.1 in bijlage 20) en bij de resultaten van de momentane metingen (zie paragraaf 3.1) is dit bedrijf ook een uitzondering. Beide bedrijven zijn bij de analyse buiten beschouwing gelaten. Zonder deze bedrijven lopen de vaste verliezen uiteen van 30 tot 954 m^3 per week, dit is 1.560 tot 49.608 m^3 per jaar.

Het resultaat van de regressie-analyse naar de oorzaak van de verschillen in vaste verliezen tussen de bedrijven luidt:

$$Y = -182 + 1272 \times \frac{X_1}{X_2} + 169\ X_3 \qquad (3), \text{ waarin}$$

Y = het vaste verlies van de installatie incl. eventueel condensor (m^3 gas/week);
X_1 = de capaciteit van de ketel (MW);
X_2 = de gemiddelde dikte van de isolatie van de ketel (cm) en
X_3 = het wel (X_3=1) of niet (X_3=0) aangesloten zijn van het expansievat direct bij de ketel.

De bijbehorende statistische informatie is hierna vermeld :
r2 = 64,4%;
$t(x_1/x_2)$ = 3,79;
$t(x_3)$ = 1,35 en
n = 10.

Dit betekent dat een grotere omvang van de ketel (capaciteit) resulteert in grotere vaste verliezen en dat de vaste verliezen omgekeerd evenredig afnemen met de dikte van de isolatie. Indien bij een ketelcapaciteit van 3 MW de dikte van de isolatie wordt vergroot van b.v. 4 naar 6 cm, worden de vaste verliezen per week 1272 x 3/4 - 1272 x 3/6 = 954 - 636 = 318 m^3 per week kleiner. Bij een 1 MW grotere ketel zijn de vaste verliezen bij een isolatie van 4 cm 318 en bij een isolatie van 8 cm 159 m^3 per week groter. Een warm expansievat heeft gemiddeld 169 m^3 per week aan vaste verliezen. Bij deze laatste verklarende variabele is de t-waarde en dus de betrouwbaarheid lager (ongeveer 80%).

Met deze relatie wordt 64,4% van de verschillen in vaste verliezen tussen de installaties verklaard. De mate van isolatie heeft de grootste invloed op de hoogte van de vaste verliezen. Bij het gebruik van deze vergelijking dient rekening te worden gehouden met de spreiding in de gegevens van de afzonderlijke installaties. De dunste isolatie is 4 cm en de dikste 8 cm. De kleinste ketelcapaciteit is 1,6 MW en de grootste 4,6 MW. Bij berekeningen buiten deze trajecten moet enige voorzichtigheid worden betracht. De gemiddelde isolatiedikte van alle installaties is 6 cm en de gemiddelde ketelcapaciteit is 3,1 MW.

3.3 Onderlinge vergelijking

Uit het voorgaande is gebleken dat de vaste verliezen per installatie sterk uiteen lopen en dat dit veroorzaakt wordt door de omvang (capaciteit) en de isolatiedikte van de ketel en het

warm zijn van het expansievat. De omstandigheden op de bedrijven waar de metingen zijn uitgevoerd zijn eveneens verschillend (zie tabel 2.3). De gebruiksrendementen zijn daarom omgerekend naar gelijke kenmerken van de installatie en naar gelijke bedrijfsomstandigheden (basissituatie) zodat onderlinge vergelijking mogelijk wordt.

Bij de kenmerken van de installatie wordt uitgegaan van verschillende isolatiediktes (4, 6 en 8 cm) en een ketelcapaciteit van 3 MW. De vaste verliezen veroorzaakt door een warm expansievat worden niet in beschouwing genomen; door een juiste aansluiting is het immers mogelijk dit warmteverlies te voorkomen. Voor de bedrijfsomstandigheden wordt uitgegaan van een warmte-intensiteit van 50 m^3 a.e. per m^2 en een benodigde capaciteit van de stookinstallatie 240 W per m^2. Andere bedrijfsituaties komen aan bod in paragraaf 3.5. De berekeningswijze wordt hierna toegelicht met een voorbeeld.

<u>Voorbeeldberekening jaargebruiksrendement bij gelijke omstandigheden bij bedrijf 1.2</u>

uitgangspunten installatie:
capaciteit 3,0 MW
dikte isolatie 6 cm

uitgangspunten bedrijf:
warmte-intensiteit 50 m^3 a.e./m^2 (1582,5 MJ/m^2)
benodigde capaciteit 240 W/m^2

berekening:

De vaste verliezen van de installatie worden berekend door substitutie in vergelijking (3) (excl. expansievat) en bedragen

$$-182 + 1272 \times \frac{3}{6} = 454 \text{ m}^3 \text{ per week.}$$

Op jaarbasis is dit 454 x 52 = 23.608 m^3.

In vergelijking (2) (zie paragraaf 3.2.2) wordt de constante vervangen door de berekende of normatieve vaste verliezen en de vergelijking wordt dan:

$$Y_j = 23.608 + 32,66\ X_j \qquad (4)$$

De stookinstallatie is geschikt voor een bedrijf met een kasoppervlak van

$$\frac{3\ \text{MW}}{240\ \text{W/m}^2} = 12.500\ \text{m}^2.$$

De totale warmtevraag op dit bedrijf is
12.500 m^2 x 1582,5 MJ/m^2 = 19.781 GJ.

Substitutie in vergelijking (4) resulteert in een gasverbruik van 669.655 m^3 per jaar.

Het gebruiksrendement is dan

$$\frac{19.781\ \text{GJ}}{669.655\ \text{m}^3 \times 31,65\ \text{MJ/m}^3} \times 100\% = 93,3\%$$

De resultaten van de berekeningen van alle bedrijven zijn vermeld in tabel 3.4. Uit de tabel blijkt dat bij bedrijfstype 1 (geen condensor) het gebruiksrendement in de basissituatie bij een isolatiedikte van 4 cm varieert van 87,9 tot 91,2%; het gemiddelde is 90,1%. Bij een isolatiedikte van 8 cm loopt het rendement uiteen van 91,1 tot 94,6 en is het gemiddelde 93,4%. Bedrijf 1.1 heeft het laagste rendement; dit wordt veroorzaakt door de relatief hoge richtingscoëfficiënt bij de relatie tussen het gasverbruik en de warmteproduktie per week (zie tabel 3.2).

Bij de enkelvoudige condensor op de retour (bedrijfstype 2) loopt bij een isolatie van 4 cm het rendement uiteen van 92,5 tot 98,2% en bij een isolatie van 8 cm van 96,0 tot 102,2%. Bedrijf 2.1 heeft het laagste rendement; dit wordt veroorzaakt door de relatief hoge richtingscoëfficiënt (zie tabel 3.2). Gemiddeld bedraagt het rendement resp. 96,3 en 100,1%.

Bedrijfstype 3 (condensor op apart net) heeft bij een isolatie van 4 cm een rendement dat uiteen loopt van 94,5 tot 100,2% en gemiddeld 96,8% bedraagt. Bij een isolatie van 8 cm is dit resp. 98,2, 104,4 en gemiddeld 100,7%. Bedrijf 3.3 heeft het hoogste rendement; de relatief lagere richtingscoëfficiënt (zie tabel 3.2) is hier de oorzaak van.

Bij de combicondensor (type 4) is bij een isolatie van 4 cm de laagste waarde 98,6 en de hoogste 101,5% en bij een isolatie van 8 cm 102,6 en 105,8%. Het gemiddelde is resp. 99,7 en 103,9%. Bedrijf 4.1 heeft door de relatief lage richtingscoëfficiënt het hoogste rendement.

De isolatiedikte heeft een grote invloed op de hoogte van het gebruiksrendement. Het verschil in rendement bij een isolatie van 4 en 8 cm loopt uiteen van 3,4 tot 4,3%-punt. Tussen de bedrijven met en zonder condensor is duidelijk verschil aanwezig. Het

gemiddeld rendement bij type 2 is afhankelijk van de isolatie 6,2 tot 6,7%-punt hoger dan bij type 1. Het verschil tussen type 3 en type 1 is 6,7 tot 7,3%-punt en het verschil tussen type 4 en type 1 is 9,6 tot 10,5%-punt. Tussen een enkelvoudige condensor op de retour en op een apart net bestaan geen duidelijke verschillen; de resultaten overlappen elkaar. Het verschil tussen een

Tabel 3.4 Berekende jaargebruiksrendementen van de stookinstallaties per bedrijf bij volledig gas, gelijke bedrijfsomstandigheden en normatieve vaste verliezen bij verschillende isolatiediktes (% o.w.) 1)

bedr. nr.	isolatiedikte ketel (cm) 4	6	8
1.1	87,9	90,0	91,1
1.2	91,1	93,3	94,5
1.3	91,2	93,4	94,6
gem. type 1	90,1	92,3	93,4
2.1	92,5	94,8	96,0
2.2	98,1	100,7	102,1
2.3	98,2	100,8	102,2
gem. type 2	96,3	98,8	100,1
3.1	95,8	98,3	99,6
3.2	94,5	96,9	98,2
3.3	100,2	103,0	104,4
gem. type 3	96,8	99,4	100,7
4.1	101,5	104,3	105,8
4.2	99,1	101,8	103,2
4.3	98,6	101,2	102,6
gem. type 4	99,7	102,4	103,9

1) warmte-intensiteit = 50 m^3 a.e./m^2
(a.e. = aardgasequivalent (31,65 MJ))
benodigde capaciteit van de stookinstallatie = 240 W/m^2
capaciteit van de stookinstallatie = 3 MW
vaste verliezen exclusief expansievat

enkelvoudige condensor (type 2 en 3) en de combicondensor (type 4) is duidelijker en bedraagt 3 tot 4%-punt. Het hoogste rendement van type 3 is echter iets groter dan de laagste van type 4.

De resultaten van de berekende gebruiksrendementen bij gelijke omstandigheden incl. de vaste verliezen van een warm expansievat staan vermeld in bijlage 25. Hieruit blijkt dat bij een warm expansievat de jaargebruiksrendementen lager zijn dan bij een koud expansievat. Het verschil loopt uiteen van 1,0 tot 1,6%-punt.

3.4 Gebruiksrendement bij pieklast en gasbesparing

- Gebruiksrendement bij pieklast

Met de relatie tussen het gasverbruik en de warmteproduktie per week zijn ook de gebruiksrendementen van de afzonderlijke installaties bij gebruik voor de pieklast berekend. Een voorbeeldberekening is hierna gegeven; uitgegaan wordt van de relaties van bedrijf 1.2. De warmtedekking door de alternatieve warmtebron is gesteld op 70%; de gasketel neemt de resterende 30% (pieklast) voor zijn rekening. Naast het rendement bij pieklast is ook de gasbesparing door de alternatieve warmtebron berekend.

<u>Voorbeeldberekening jaargebruiksrendement van de gasketel bij gebruik voor de pieklast en de gasbesparing door de alternatieve warmtebron</u>

uitgangspunten:
warmtedekking alternatieve warmtebron 70%
De overige uitgangspunten zijn gelijk aan die bij de berekening van het gebruiksrendement bij gelijke bedrijfsomstandigheden en normatieve vaste verliezen van bedrijf 1.2 (zie paragraaf 3.3).

berekening:
De warmteproduktie door de gasketel bedraagt
19.781 GJ x (100% - 70%) = 5.934 GJ.

Substitutie in vergelijking (4) resulteert in een gasverbruik van 217.412 m^3 per jaar.

Het gebruiksrendement van de gasketel in gebruik voor de pieklast is dan

$$\frac{5.934 \text{ GJ}}{217.412 \text{ m}^3 \times 31{,}65 \text{ MJ/m}^3} \times 100\% = 86{,}2\%.$$

Het rendement bij pieklast is 93,3 - 86,2 = 7,1%-punt lager dan bij volledig gas.

De gasbesparing door de alternatieve warmtebron bedraagt

$$\frac{669.655\ m^3 - 217.412\ m^3}{669.655\ m^3} \times 100\% = 67,5\%.$$

De gasbesparing is 2,5%-punt lager dan de dekking.

De resultaten van de berekeningen van alle installaties zijn vermeld in tabel 3.5 en 3.6. Uit tabel 3.5 blijkt dat bij alle bedrijven het rendement bij pieklast lager is dan bij volledig gasstook (zie ook tabel 3.4). Bij gebruik van de gasketel voor de pieklast is de warmteproduktie per week lager. Bij een lagere warmteproduktie per week is het weekgebruiksrendement lager

Tabel 3.5 Berekende jaargebruiksrendementen van de stookinstallaties per bedrijf bij pieklast en het verschil t.o.v. volledig gasstook bij verschillende isolatiediktes (% o.w.) 1)

bedr. nr.	rendement pieklast			verschil t.o.v. volledig gas		
	isolatiedikte ketel (cm)			isolatiedikte ketel (cm)		
	4	6	8	4	6	8
1.1	77,7	83,4	86,6	10,2	6,6	4,5
1.2	80,1	86,2	89,6	10,9	7,1	4,9
1.3	80,2	86,3	89,7	11,0	7,1	4,9
2.1	81,2	87,5	91,0	11,3	7,3	5,0
2.2	85,5	92,5	96,4	12,6	8,2	5,6
2.3	85,6	92,6	96,5	12,6	8,2	5,6
3.1	83,8	90,5	94,2	12,0	7,8	5,4
3.2	82,8	89,3	93,0	11,7	7,6	5,2
3.3	87,1	94,4	98,5	13,1	8,6	5,9
4.1	88,1	95,5	99,7	13,4	8,8	6,0
4.2	86,3	93,4	97,4	12,8	8,4	5,8
4.3	85,9	92,9	96,9	12,7	8,3	5,7

1) warmte-intensiteit = 50 m^3 a.e./m^2
(a.e. = aardgasequivalent (31,65 MJ))
benodigde capaciteit van de stookinstallatie = 240 W/m^2
capaciteit van de stookinstallatie = 3 MW
dekking jaarlijkse warmtebehoefte door alternatieve bron = 70%
vaste verliezen excl. expansievat

waardoor het jaargebruiksrendement van de gasketel bij pieklast eveneens lager is. Tevens blijkt dat het rendement evenals bij volledig gas afhankelijk is van de dikte van de isolatie.

Het jaargebruiksrendement bij pieklast is bij een isolatie van 4 cm 10,2 tot 13,4%-punt lager dan bij volledig gasstook. Bij een isolatie van 6 cm is dit 6,6 tot 8,8%-punt en bij een isolatie van 8 cm 4,5 tot 6,0%-punt. Bij een betere isolatie daalt het rendement bij pieklast minder omdat de vaste verliezen kleiner zijn.

- Gasbesparing

Door een lager rendement bij pieklast is de gasbesparing door de alternatieve warmtebron lager dan de warmtedekking, bij pieklast heeft de gasketel immers meer gas nodig voor de

Tabel 3.6 Gasbesparing door alternatieve warmtebron en het verschil t.o.v. de warmtedekking per bedrijf bij verschillende isolatiediktes (% per jaar) 1)

bedr. nr.	gasbesparing			verschil t.o.v. de dekking		
	isolatiedikte ketel (cm)			isolatiedikte ketel (cm)		
	4	6	8	4	6	8
1.1	66,0	67,6	68,4	4,0	2,4	1,6
1.2	65,9	67,5	68,4	4,1	2,5	1,6
1.3	65,9	67,5	68,4	4,1	2,5	1,6
2.1	65,8	67,5	68,4	4,2	2,5	1,6
2.2	65,6	67,3	68,2	4,4	2,7	1,8
2.3	65,6	67,3	68,2	4,4	2,7	1,8
3.1	65,7	67,4	68,3	4,3	2,6	1,7
3.2	65,8	67,4	68,3	4,2	2,6	1,7
3.3	65,5	67,3	68,2	4,5	2,7	1,8
4.1	65,4	67,2	68,2	4,6	2,8	1,8
4.2	65,5	67,3	68,2	4,5	2,7	1,8
4.3	65,6	67,3	68,2	4,4	2,7	1,8

1) warmte-intensiteit = 50 m^3 a.e./m^2
(a.e. = aardgasequivalent (31,65 MJ))
benodigde capaciteit van de stookinstallatie = 240 W/m^2
capaciteit van de stookinstallatie = 3 MW
dekking jaarlijkse warmtebehoefte door alternatieve bron = 70%
vaste verliezen excl. expansievat

produktie van een eenheid warmte. De gasbesparing door de alternatieve warmtebron en het verschil met de dekking is vermeld in tabel 3.6. De gasbesparing loopt bij een isolatie van 4 cm uiteen van 65,4 tot 66,0%. Bij een isolatie van 6 cm is dit 67,2 tot 67,6% en bij 8 cm 68,2 tot 68,4%.

Het verschil tussen de dekking en de gasbesparing varieert bij een isolatiedikte van 4 cm van 4,0 tot 4,6%-punt. Bij een isolatie van 8 cm is dit resp. 1,6 tot 1,8%-punt. Dit wordt veroorzaakt doordat bij een dikkere isolatie de vaste verliezen kleiner zijn en het rendement bij pieklast minder daalt.

3.5 Andere bedrijfsituaties

Met de in de voorafgaande paragrafen beschreven resultaten kan het gebruiksrendement van gasgestookte installaties zowel in gebruik voor volledig gasstook als voor de pieklast in uiteenlopende situaties worden berekend. Voor inzicht in de gevoeligheid van het gebruiksrendement voor wijzigingen van bepaalde uitgangspunten zijn in deze paragraaf een aantal omrekeningen naar andere bedrijfsituaties gemaakt.

Naast de basissituatie (situatie A) zoals behandeld in de paragrafen 3.3 en 3.4 zijn voor alle condensortypen de volgende bedrijfsituaties in beschouwing genomen.

- Situatie A (basissituatie)
  De oppervlakte glas bedraagt 12.500 m^2.
  De warmtevraag is 50 m^3 a.e./m^2 ofwel 1582,5 MJ/m^2.
  Het geïnstalleerd warmteleverend vermogen is 240 W/m^2.
  De capaciteit van de stookinstallatie is hierdoor 3,0 MW.
  De dikte van de ketelisolatie bedraagt 6 cm.
  De vaste verliezen van de installatie bedragen hierdoor 454 m^3 aardgas per week ofwel 23.608 m3 per jaar.
  De warmtedekking door de alternatieve warmtebron op jaarbasis bedraagt 70%.

De overige situaties verschillen t.o.v. van situatie A op genoemde punten:

- Situatie B
  Het geïnstalleerd warmteleverend vermogen wordt 200 i.p.v. 240 W/m^2; de ketelcapaciteit bedraagt hierdoor 2,5 MW en de vaste verliezen 348 m^3 gas per week.

- Situatie C
  Het geïnstalleerd warmteleverend vermogen wordt 280 i.p.v. 240 W/m^2; de ketelcapaciteit bedraagt hierdoor 3,5 MW en de vaste verliezen 560 m^3 gas per week.

- Situatie D
  De warmtevraag wordt 30 i.p.v. 50 m^3 a.e./m^2.

- Situatie E
  De warmtevraag wordt 40 i.p.v. 50 m^3 a.e./m^2.

- Situatie F
  De warmtevraag wordt 60 i.p.v. 50 m^3 a.e./m^2.

- Situatie G
  De jaarlijkse dekking van de warmtebehoefte wordt 50 i.p.v. 70%.

- Situatie H
  De jaarlijkse dekking van de warmtebehoefte wordt 60 i.p.v. 70%.

- Situatie K
  De oppervlakte glas wordt 25.000 i.p.v. 12.500 m^2.
  De capaciteit van de stookinstallatie bedraagt hierdoor 6,0 MW.
  De stookinstallatie bestaat uit 2 ketels; één van 4 MW en één van 2 MW.
  De vaste verliezen bedragen hierdoor 646 m^3 per week.

- Situatie L
  Deze situatie is gelijk aan situatie K met het verschil dat het geïnstalleerd warmteleverend vermogen 200 i.p.v. 240 W/m^2 bedraagt.

- Situatie M
  Deze situatie is gelijk aan situatie K met het verschil dat het geïnstalleerd warmteleverend vermogen 280 i.p.v. 240 W/m^2 bedraagt.

Bij de resultaten is voor de situaties G en H alleen het gebruiksrendement bij pieklast van belang; bij volledig gasstook is dit gelijk aan situatie A.

- Resultaten volledig gas

In tabel 3.7 zijn de gemiddelde gebruiksrendementen bij volledig gas en verschillende bedrijfsituaties per condensortypen vermeld. Uit de resultaten blijkt dat een kleiner geïnstalleerd vermogen per m^2 (situatie B) resulteert in een verhoging van 0,7 tot 1,0 %-punt van het gebruiksrendement. Een groter vermogen (situatie C) resulteert in een verlaging van het rendement. Dit wordt veroorzaakt doordat bij een kleiner geïnstalleerd vermogen per m^2 de ketelcapaciteit en de vaste verliezen kleiner zijn; bij een grotere capaciteit is tegengestelde het geval.

Een kleinere warmtevraag resulteert in een lager gebruiksrendement en een grotere warmtevraag in een hoger gebruiksrendement. Bij een warmtevraag van 30 m^3 a.e. per m^2 (situatie D) is het gebruiksrendement 2,1 tot 2,5 en bij een warmtevraag van 40 m^3 a.e. per m^2 (situatie E) 0,8 tot 0,9 %-punt lager. Een warmtevraag van 60 m^3 a.e. per m^2 (situatie F) geeft een 0,5 tot 0,7 %-punt hoger rendement. Dit wordt veroorzaakt doordat bij een kleinere warmtevraag de vaste verliezen relatief (t.o.v. de warmtevraag) groter en bij een grotere warmtevraag relatief kleiner zijn.

De gebruiksrendementen op het grote bedrijf (situatie K, L en M) verschillen niet van die met dezelfde uitgangspunten op het kleine bedrijf (situatie A, B en C). Dit wordt veroorzaakt doordat de vaste verliezen (twee ketels) evenredig toenemen met de totale warmtevraag (dubbele oppervlakte).

Veranderingen in de warmtevraag per m^2 hebben dus de grootste invloed.

Tabel 3.7 Berekende jaargebruiksrendementen van een gasgestookte installatie bij volledig gasstook, verschillende bedrijfsituaties en condensortypen.

situatie	condensortype			
	geen	enk. op retour	enk. op apart net	combi
A.	92,3	98,8	99,4	102,4
B.	93,0	99,6	100,3	103,4
C.	91,5	97,9	98,5	101,5
D.	90,2	96,4	97,0	99,9
E.	91,5	97,9	98,5	101,5
F.	92,8	99,4	100,0	103,1
K.	93,0	99,6	100,3	103,4
L.	92,3	98,8	99,4	102,4
M.	91,5	97,9	98,5	101,5

- Resultaten pieklast-gas

De gemiddelde gebruiksrendementen per situatie en per condensortype bij het gebruik van de installatie voor de pieklast zijn vermeld in tabel 3.8. Uit de vergelijking van de resultaten in tabel 3.7 en 3.8 blijkt dat het rendement bij pieklast lager is. In de basissituatie (A) loopt dit uiteen van 7,0 tot 8,4%-punt. In de situatie met een kleiner geïnstalleerd vermogen (situatie B) is het verschil echter kleiner en bij een groter geïnstalleerd vermogen (situatie C) is het verschil groter. Dit wordt veroorzaakt doordat bij een kleiner vermogen de ketel en de vaste verliezen kleiner en bij een groter vermogen de ketel en de

vaste verliezen groter zijn.

Bij een kleinere warmtevraag per m^2 is het verschil groter en bij een groter warmtevraag kleiner. Een warmtevraag van 30 m^3 a.e. (situatie D) per m^2 resulteert in een 10,6 tot 12,8%-punt lager rendement; een warmtevraag van 40 m^3 a.e. per m^2 (situatie E) in een 8,4 tot 10,2 %-punt en een warmtevraag van 60 m^3 a.e. per m^2 (situatie F) in een 5,9 tot 7,3 %-punt lager rendement.

Een lagere warmtedekking resulteert in een kleiner verschil in rendement. In situatie G (dekking 50%) is het rendement 4,6 tot 5,6 %-punt en in situatie H (dekking 60%) is het rendement 3,1 tot 3,8 %-punt lager.

Bij het grote bedrijf (situatie K, L en M) is zowel het rendement bij volledig gas en bij pieklast gas gelijk aan de situatie met dezelfde uitgangspunten bij het kleine bedrijf (situatie A, B en C).

Veranderingen in de warmtevraag per m^2 hebben dus ook bij het verschil tussen het gebruiksrendement van de ketel in gebruik voor volledig gasstook en voor de pieklast de grootste invloed.

Tabel 3.8 Berekende jaargebruiksrendementen van een gasgestookte installatie in gebruik voor de pieklast bij verschillende bedrijfsituaties en condensortypen.

situatie	condensortype			
	geen	enk. op retour	enk. op apart net	combi
A.	85,3	90,9	91,4	94,0
B.	87,5	93,3	93,9	96,6
C.	83,2	88,5	89,0	91,4
D.	79,6	84,4	94,9	87,1
E.	83,1	88,3	88,8	91,3
F.	86,9	92,6	93,2	95,8
G.	87,7	93,5	94,1	96,8
H.	89,2	95,2	95,8	98,6
K.	87,5	93,3	93,9	96,6
L.	85,3	90,9	91,4	94,0
M.	83,2	88,5	89,0	91,4

4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1 Conclusies

- Momentaan rendement

Het momentaan rendement van de stookinstallaties (excl. condensor) is bij de maximum capaciteit lager dan bij de minimum capaciteit. Bij de maximum capaciteit loopt het rendement uiteen van 93,0 tot 96,7% en bij de minimum capaciteit van 95,3 tot 98,2% o.w..

- Gebruiksrendement

Het weekgebruiksrendement neemt bij alle installaties incl. eventueel condensor toe bij een hogere warmteproduktie per week. Dit wordt veroorzaakt doordat bij een hogere warmteproduktie de vaste verliezen relatief kleiner worden. Bij zes van de twaalf bedrijven neemt het gebruiksrendement in de weken met de hoogste warmteproduktie weer af en heeft de figuur de vorm van een "katterug". De oorzaak hiervan is niet duidelijk. Statistisch bestaat er een verband met het gebruik van een condensor en met een toerengeregelde brander maar een technische verklaring ontbreekt.

- Vaste en variabele verliezen

De vaste verliezen per installatie lopen uiteen van 30 tot 954 m^3 gas gemiddeld per week; ofwel 1.560 tot 49.608 m^3 per jaar. Dit blijkt samen te hangen met de omvang (capaciteit) en de isolatiedikte van de ketel en het warm zijn van het expansievat. Een grotere ketel resulteert in een groter vast verlies. De vaste verliezen nemen omgekeerd evenredig af met de isolatiedikte en evenredig toe met de capaciteit. Indien bij een ketelcapaciteit van 3 MW de dikte van de isolatie wordt vergroot van b.v. 4 naar 6 cm worden de vaste verliezen per week gemiddeld 318 m^3 kleiner. Bij een 1 MW grotere ketel zijn de vaste verliezen bij een isolatie van 4 cm 318 en bij een isolatie van 8 cm 159 m^3 per week groter. Een expansievat dat warm is heeft een vast verlies van gemiddeld 169 m^3 per week. Dit laatste is waarschijnlijk te voorkomen door een juiste wijze van aansluiting; er zijn immers bedrijven waar het expansievat koud is. De mate van isolatie van de ketel heeft de grootste invloed op de hoogte van de vaste verliezen.

Naast de vaste verliezen loopt het gasverbruik, nodig voor de produktie van een eenheid warmte, uiteen van 29,1 tot 33,9 m^3 per GJ. Dit hangt samen met het gebruik van een condensor. Bij de installaties zonder condensor loopt dit uiteen van 32,6 tot 33,9 m^3 per GJ. Bij een condensor op de retour is dit 30,2 tot 32,1, bij een condensor op een apart net 29,5 tot 31,4 en bij een combicondensor 29,1 tot 30,0 m^3 per GJ. Het gemiddelde per type is resp. 33,1, 30,8, 30,6 en 29,7 m^3 per GJ. De resultaten van de

afzonderlijke installaties per condensortypen overlappen elkaar.

- Condensorrendement

Het rendement van de condensor op apart net neemt af bij een hogere warmteproduktie per week. Dit wordt verklaard doordat bij een hogere warmteproduktie meer rookgassen worden geproduceerd waardoor de afkoeling in de condensor minder sterk is. Bij de tweede sectie van de combicondensor neemt het rendement toe bij een grotere warmteproduktie. Dit wordt verklaard doordat bij een hogere warmteproduktie de rookgassen in de eerste sectie van de condensor minder sterk afgekoeld worden waardoor de tweede sectie meer warmte uit de rookgassen kan halen. Er vindt dus een verschuiving plaats van de eerste naar de tweede sectie.

Het rendement van de condensor op een apart net op jaarbasis is gemiddeld 12,1%. Bij de tweede sectie van de combicondensor is dit 6,4%. Indien in het laagwaardige condensor-net hoogwaardige warmte wordt bijgemengd resulteert dit in een lager condensor-rendement.

- Jaargebruiksrendement

Het jaargebruiksrendement bij volledig gasstook loopt in de basissituatie (warmte-intensiteit 50 m^3 a.e. per m^2, ketelcapaciteit 3 MW, benodigde ketelcapaciteit 240 W per m^2), bij een ketelisolatie van 4 cm, geen condensor en een koud expansievat, uiteen van 87,9 tot 91,2% op onderwaarde. Bij een isolatie van 8 cm is dit 91,1 tot 94,6%. Gemiddeld is het rendement resp. 90,1 en 93,4%. De isolatiedikte heeft dus een grote invloed op het rendement.

Het gebruik van een condensor resulteert duidelijk in een hoger jaargebruiksrendement. Bij een condensor op de retour is het gebruiksrendement bij een isolatie van 4 cm gemiddeld 96,3 en bij 8 cm 100,6%. Bij een condensor op een apart net is dit resp. 96,8 en 100,7% en bij een combicondensor 99,7 en 103,9%. De resultaten van de afzonderlijke installaties per condensortype overlappen elkaar. Bij een isolatie van 8 cm loopt het rendement bij een condensor op de retour uiteen van 96,0 tot 102,2%, bij een condensor op een apart net van 98,2 tot 104,4% en bij de combicondensor van 102,6 tot 105,8%. De resultaten van de condensor op de retour en op een apart net verschillen niet veel. Het verschil met de combicondensor is duidelijker. Gemiddeld bedraagt bij een isolatie van 8 cm het verschil tussen de condensor op de retour en zonder condensor 6,7%-punt. Bij de condensor op een apart net is dit 7,3% en bij de combicondensor 10,5%-punt. Dit kan zowel veroorzaakt worden door een beter gebruiksrendement van de ketel als van de condensor.

De gevoeligheid van het gebruiksrendement voor veranderingen in de uitgangspunten is het grootst voor de warmtevraag per m^2, gevolgd door het geïnstalleerd vermogen per m^2. De invloed van de bedrijfsomvang is beperkt doordat er bij een groot bedrijf, grotere of meerdere ketels nodig zijn. Indien het expansievat

warm is, is het jaargebruiksrendement 1,0 tot 1,6%-punt lager.

- Rendement bij pieklast

Bij gebruik van de gasketel voor de pieklast is de warmteproduktie per week en daardoor het gebruiksrendement per week lager. Het jaargebruiksrendement is hierdoor eveneens lager. De mate waarin is afhankelijk van de hoogte van de vaste verliezen en dus vooral van de isolatie van de ketel. Het jaargebruiksrendement bij pieklast is in de basissituatie, bij een dekking door de alternatieve warmtebron van 70% en een ketelisolatie van 4 cm 10,2 tot 13,1%-punt lager dan bij volledig gasstook. Bij een isolatie van 8 cm is dit 4,5 tot 6,0%-punt.

De invloed van een verandering in de uitgangspunten op het verschil is het grootst bij de warmtevraag per m^2 gevolgd door het geïnstalleerd vermogen. De bedrijfsomvang heeft nagenoeg geen invloed. Bij een kleinere warmtedekking door de alternatieve energiebron wordt het verschil kleiner.

- Gasbesparing

Door een lager rendement van de gasketel bij gebruik voor de pieklast is er meer gas nodig voor de produktie van een eenheid warmte. De gasbesparing door de alternatieve warmtebron is daardoor lager dan de warmtedekking. Het verschil tussen de dekking en de gasbesparing varieert in de basissituatie, bij een dekking van 70% en een ketelisolatie van 4 cm van 4,0 tot 4,6%-punt. Bij een isolatie van 8 cm is dit 1,6 tot 1,8%-punt. Dit wordt veroorzaakt doordat bij een dikkere isolatie de vaste verliezen kleiner zijn en het rendement bij pieklast minder daalt.

4.2 Aanbevelingen

- Aanbevolen wordt de ketel, de leidingen van en naar de ketel en de verdeel- en verzamelstukken goed te isoleren en geen ketel met een grote overcapaciteit te gebruiken. De vaste verliezen van de installatie kunnen hierdoor worden beperkt.
- De verwarmingsinstallatie moet zowel in de kas als in het ketelhuis zodanig uitgelegd worden dat het expansievat niet warm wordt. In het ketelhuis is het van belang dat het expansievat niet direct wordt aangesloten op de ketel maar bij het verdeel- of verzamelstuk; op deze plaats is de variatie in druk in de tijd minder. Het vat moet niet boven in het ketelhuis worden geïnstalleerd maar op de vloer worden geplaatst; warm water is lichter en stroomt van nature naar boven. Tevens kan een verticale lus in de aansluitleiding worden gemaakt waardoor de natuurlijke stroming wordt tegengegaan. Wellicht heeft het type expansievat (stikstofdruk of luchtdruk) ook invloed. Bij een luchtdrukvat met compressor wordt de variatie in druk in het verwarmingssysteem gedeeltelijk gecompenseerd door een hogere

luchtdruk in het expansievat en ontstaat er minder stroming van en naar het vat. Bij een stikstofvat is dit niet het geval en de stroming van en naar het vat groter. Eventueel kan het expansievat worden geïsoleerd.

- De stookinstallatie moet van een ketelregeling zijn voorzien; dit heeft een positieve invloed op het rendement.
- Bijmengen van hoogwaardige warmte in een apart condensornet resulteert in een verlaging van het condensorrendement. Getracht moet worden dit te voorkomen. Indien b.v. in een groeipijpen-net hoogwaardige warmte gewenst is kan dit net in plaats van op de condensor direct op het verdeelstuk aangesloten worden en kan voor de condensor een ander verwarmingsnet met een lage watertemperatuur gebruikt worden. Is het gewenst de temperatuur van het gietwater in b.v. de substraatmat, -bak of -goot op een hoger niveau te brengen dan kan dit wellicht geheel of gedeeltelijk uitgevoerd worden d.m.v. gietwaterverwarming in plaats van bijmengen met hoogwardige warmte in het condensornet (matverwarming).

LITERATUUR

Benninga, J.
Leveringsvoorwaarden bij de toepassing van afval- en restwarmte
Den Haag, LEI, 1987, Mededeling 367

Geersen, Th.M.
"Rendement op basis van CO_2 of O_2"
Gas, 1983, nr 1, 25-29

Meijndert, J.
Rookgascondensors
Naaldwijk, PTOG, 1983, Informatiereeks No. 79

Nawrocki, K.R.
De relatie tussen CO_2-doseren en het brandstofverbruik bij het stoken met aardgas in de glastuinbouw
Wageningen, IMAG, 1984, rapport 62

Nawrocki, K.R.
Meting warmteoverdrachtscoëfficiënt voor convectie van verwarmingspijpen in kassen
Wageningen, IMAG, 1985, rapport 73

Noort, L. van
Rentabiliteit en financiering van de tuinbouw onder glas in Nederland over 1988
Den Haag, LEI, 1990, Periodiek Rapportage No. 15-88

Overman, Th. J.
"De invloed van cv-installatie en stookgedrag op het ketelrendement"
Gas, 1986, nr 4, 160-167

Rijssel, E. van
Stoken met voorbedachte rade; Verslag van een onderzoek naar de oorzaken van verschillen in brandstofverbruik bij de teelt van vroege stooktomaten
Den Haag, LEI, 1983, onderzoekverslag nr. 3

Velden, N.J.A. van der
Het gebruik van laagwaardige warmte in de glastuinbouw; Een bedrijfseconomische evaluatie
Den Haag, LEI, 1989, onderzoekverslag nr. 57

Velden, N.J.A. van der, V.P. Fonville en A.P. Verhaegh
Energie-efficiency en CO_2-emissie in de glastuinbouw
Den Haag, LEI, 1990, Publikatie 4.126

Bijlage 1 Resultaten momentane metingen per bedrijf bij maximum en minimum capaciteit van de stookinstallatie 1)

nr.	kas opp. (m^2)	rookgastemp. max. (°C)	rookgastemp. min. *	zuurstofgeh. max. (%)	zuurstofgeh. min.	rendement max. (% o.w.)	rendement min. **	gasverbruik max. (m^3/uur)	gasverbruik min.	brandercapaciteit max. (MW)	brandercapaciteit min.	brandercapaciteit max. (W/m^2)	brandercapaciteit min.	regel-bereik
1.1	9.173	122	60	1,7	7,2	95,4	97,4	334	85	2,80	0,73	305	79	1 : 4
1.2	8.559	145	48	4,6	6,6	93,5	98,2	245	101	2,01	0,87	235	102	1 : 2
1.3	9.403	134	73	3,5	11,0	94,4	95,5	382	58	3,17	0,49	337	52	1 : 6
2.1	13.578	89	49	3,5	7,8	96,5	98,0	404	44	3,43	0,38	252	28	1 : 9
2.2	9.589	86	54	3,5	6,9	96,7	97,8	236	23	2,01	0,20	209	20	1 : 10
2.3	13.156	134	50	1,5	5,6	94,9	98,2	355	47	2,96	0,41	225	31	1 : 7
3.1	11.581	123	47	4,3	6,9	94,7	98,2	410	53	3,41	0,46	295	40	1 : 7
3.2	9.446	154	84	4,0	9,5	93,3	95,3	250	15	2,05	0,12	217	13	1 : 17
3.3	6.302	167	59	3,1	6,2	93,0	97,6	213	27	1,74	0,23	276	37	1 : 7
4.1	13.884	93	70	4,1	4,5	96,2	97,3	268	65	2,27	0,56	163	40	1 : 4
4.2	12.191	140	89	5,9	5,3	93,4	96,3	186	92	1,53	0,77	125	63	1 : 2
4.3	10.699	118	75	3,9	6,3	94,9	96,6	318	61	2,65	0,65	248	61	1 : 4

* rookgastemperatuur direct na de ketel (voor de condensor)
** o.w. = onderste verbrandingswaarde

1) De koolmonoxide-concentratie is niet vermeld; deze is in alle situaties nul m.u.v. bedrijf 2.2, waar bij de minimum capaciteit een concentratie van 50 d.p.m. gemeten is.

Bijlage 2. Meetresultaten per week van bedrijf 1.1

weeknummer	gasverbruik (m^3)	warmteproduktie (GJ)	gebruiksrendement (% o.w.)	delta t (°C)
36	6242	139.65	70.7	41.4
37	5157	117.80	72.2	43.8
38	4981	103.91	65.9	35.5
39	7109	174.11	77.4	39.0
40	9191	238.86	82.1	34.2
41	11909	321.71	85.4	32.4
42	12227	336.64	87.0	32.5
43	10409	276.44	83.9	36.2
44	15742	400.88	80.5	26.5
45	21235	555.57	82.7	21.0
46	20430	587.35	90.8	19.8
47	22087	622.95	89.1	24.1
48	24192	690.12	90.1	21.6
49	20387	574.02	89.0	26.1
50	21874	611.70	88.4	25.4
51	22581	636.82	89.1	26.5
52	21723	620.83	90.3	27.3
9001	20924	590.68	89.2	28.2
9002	18572	526.42	89.6	32.8
9003	19832	560.64	89.3	29.7
9004	23093	655.75	89.7	24.1
9005	22127	621.74	88.8	25.1
9006	19280	544.62	89.3	28.0
9007	22219	617.04	87.7	23.7
9008	16618	449.43	85.4	31.3
9009	22173	611.04	87.1	20.2
9010	18196	502.68	87.3	27.7
9011	14869	392.06	83.3	30.0
9012	11859	321.37	85.6	35.3
9013	15141	416.93	87.0	27.1
9014	13156	362.11	87.0	29.4
9015	12801	360.58	89.0	27.1
9016	13816	382.67	87.5	29.1
9017	10267	282.36	86.9	34.6
9018	7394	194.22	83.0	37.8
9019	7962	211.85	84.1	32.8
9020	8837	235.91	84.3	38.8
9021	8538	230.65	85.4	36.2
9022	8837	244.11	87.3	34.1
9023	9489	256.85	85.5	37.4
9024	6985	174.94	79.1	43.1
9025	5699	133.67	74.1	41.8
9026	4826	113.54	74.3	43.1
9027	6943	177.30	80.7	41.5
9028	5944	143.17	76.1	45.1
9029	4867	116.02	75.3	43.4
9030	0	0.00	*	* 1)
9031	0	0.00	*	* 1)
9032	0	0.00	*	* 1)
9033	0	0.00	*	* 1)
9034	5253	127.28	76.6	44.9
9035	4100	88.05	67.8	47.2
Totaal	**648095**	**17655.04**	**86.1**	**27.9**

1) **Storing meetapparatuur.**

Bijlage 3. Meetresultaten per week van bedrijf 1.2

week-nummer	gasver-bruik (m^3)	warmte-produktie (GJ)	gebruiks-rendement (% o.w.)	delta t (^oC)
36	676	13.36	62.4	43.1
37	0	0.00	*	* 1)
38	459	8.61	59.2	15.8
39	843	18.44	69.1	12.9
40	1443	35.88	78.6	12.5
41	1600	39.67	78.3	13.3
42	0	0.00	*	* 2)
43	0	0.00	*	* 2)
44	0	0.00	*	* 2)
45	0	0.00	*	* 2)
46	3410	93.33	86.5	19.9
47	0	0.00	*	* 2)
48	0	0.00	*	* 2)
49	6164	173.04	88.7	26.3
50	5169	128.82	78.7	24.7
51	3647	97.93	84.8	19.5
52	3898	108.88	88.3	19.4
9001	13778	404.41	92.7	20.3
9002	14462	430.55	94.1	25.1
9003	0	0.00	*	* 3)
9004	0	0.00	*	* 3)
9005	16123	469.17	91.9	24.4
9006	15968	471.68	93.3	25.2
9007	19032	551.10	91.5	20.2
9008	13439	399.53	93.9	24.7
9009	18610	543.96	92.4	19.0
9010	15149	448.78	93.6	24.1
9011	12617	375.15	93.9	23.8
9012	10785	322.15	94.4	24.5
9013	14315	426.77	94.2	22.9
9014	12402	367.86	93.7	23.3
9015	12361	364.62	93.2	22.8
9016	12394	362.36	92.4	25.4
9017	8723	255.62	92.6	25.9
9018	6294	174.90	87.8	27.1
9019	5371	133.33	78.4	30.1
9020	5993	167.47	88.3	29.0
9021	5835	165.64	89.7	29.2
9022	5455	158.89	92.0	27.9
9023	4858	131.93	85.8	29.9
9024	5133	145.23	89.4	24.9
9025	3881	94.70	77.1	37.4
9026	3414	72.12	66.7	35.3
9027	4751	121.95	81.1	34.6
9028	4346	115.65	84.1	31.0
9029	3741	90.26	76.2	29.3
9030	3902	104.31	84.5	27.7
9031	2393	41.49	54.8	51.6
9032	3125	71.30	72.1	42.0
9033	2772	56.07	63.9	48.3
9034	4440	105.52	75.1	41.1
9035	3593	80.98	71.2	44.9
Totaal	**316764**	**8943.41**	**89.2**	**24.6**

1) **Ketel in onderhoud.**
2) **Teeltwisseling en/of stomen.**
3) **Storing meetapparatuur.**

Bijlage 4. Meetresultaten per week van bedrijf 1.3

week-nummer	gasver-bruik (m^3)	warmte-produktie (GJ)	gebruiks-rendement (% o.w.)	delta t (^oC)
36	3227	75.96	74.4	42.1
37	3193	73.52	72.7	41.2
38	2606	61.41	74.5	42.9
39	4307	106.13	77.8	39.6
40	7496	196.17	82.7	34.0
41	8368	217.61	82.2	40.0
42	7864	229.61	92.3	38.9
43	6901	186.00	85.2	41.0
44	10219	303.42	93.8	36.2
45	16205	485.52	94.7	30.5
46	12533	372.13	93.8	31.5
47	0	0.00	*	* 1)
48	0	0.00	*	* 1)
49	0	0.00	*	* 1)
50	0	0.00	*	* 1)
51	0	0.00	*	* 1)
52	0	0.00	*	* 1)
9001	0	0.00	*	* 1)
9002	0	0.00	*	* 1)
9003	0	0.00	*	* 1)
9004	0	0.00	*	* 1)
9005	0	0.00	*	* 1)
9006	0	0.00	*	* 1)
9007	0	0.00	*	* 1)
9008	0	0.00	*	* 1)
9009	0	0.00	*	* 1)
9010	0	0.00	*	* 1)
9011	0	0.00	*	* 1)
9012	0	0.00	*	* 1)
9013	0	0.00	*	* 1)
9014	0	0.00	*	* 1)
9015	0	0.00	*	* 1)
9016	0	0.00	*	* 1)
9017	0	0.00	*	* 1)
9018	0	0.00	*	* 1)
9019	0	0.00	*	* 1)
9020	0	0.00	*	* 1)
9021	2788	67.38	76.4	47.5
9022	3608	88.66	77.6	44.4
9023	4252	112.18	83.4	44.8
9024	2834	73.74	82.2	45.3
9025	3281	79.06	76.1	45.5
9026	2904	79.63	86.6	43.3
9027	3248	81.44	79.2	48.2
9028	1813	39.00	68.0	53.1
9029	1733	39.64	72.3	46.6
9030	674	10.52	49.3	50.7
9031	691	14.51	66.3	44.9
9032	1669	37.68	71.3	48.3
9033	1345	26.44	62.1	44.0
9034	3705	88.15	75.2	42.8
9035	0	0.00	*	* 2)
Totaal	**117466**	**3145.51**	**84.6**	**37.5**

1) **Storing meetapparatuur.**
2) **Deel van het bedrijf niet gestookt.**

Bijlage 5. Meetresultaten per week van bedrijf 2.1

week-nummer	gasverbruik (m^3)	warmteproduktie (GJ)	gebruiksrendement (% o.w.)	delta t (°C)
36	15586	448.72	91.0	28.8
37	14721	427.66	91.8	28.2
38	13470	386.70	90.7	28.9
39	16438	483.93	93.0	27.7
40	15905	466.69	92.7	27.8
41	15520	453.32	92.3	28.6
42	14609	430.03	93.0	29.4
43	15391	454.73	93.3	28.7
44	13445	394.86	92.8	27.1
45	489	0.05	0.3	11.9 1)
46	618	2.62	13.4	69.5 1)
47	1315	19.90	47.8	57.3 1)
48	2531	44.12	55.1	49.5 1)
49	20186	599.42	93.8	24.9
50	21612	645.55	94.4	22.2
51	18749	560.23	94.4	25.6
52	18162	538.61	93.7	27.5
9001	19078	563.23	93.3	26.2
9002	20711	619.47	94.5	24.0
9003	22881	682.59	94.3	24.6
9004	27416	821.87	94.7	21.7
9005	23311	694.76	94.2	23.6
9006	23188	693.19	94.5	23.1
9007	27107	807.77	94.2	21.6
9008	21861	656.14	94.8	23.4
9009	27112	803.86	93.7	22.7
9010	22181	657.10	93.6	25.5
9011	20538	615.88	94.7	25.1
9012	18781	559.91	94.2	26.1
9013	25216	758.08	95.0	22.1
9014	21936	655.89	94.5	23.8
9015	23540	706.31	94.8	22.2
9016	25451	764.11	94.9	22.7
9017	18707	566.80	95.7	26.2
9018	13987	410.36	92.7	29.1
9019	15499	449.80	91.7	30.4
9020	15102	447.98	93.7	32.4
9021	14661	433.89	93.5	32.4
9022	13713	403.66	93.0	32.5
9023	15044	446.34	93.7	33.5
9024	15753	466.82	93.6	34.1
9025	13422	391.55	92.2	33.9
9026	11769	337.34	90.6	35.4
9027	14354	418.60	92.1	34.9
9028	12617	356.87	89.4	35.5
9029	9641	257.57	84.4	36.3
9030	10454	290.19	87.7	36.2
9031	7909	186.28	74.4	34.4
9032	11220	318.70	89.7	32.7
9033	11879	330.03	87.8	31.6
9034	13338	387.62	91.8	30.6
9035	12045	341.75	89.6	30.6
Totaal	**840171**	**24659.45**	**92.7**	**26.5**

1) **Teeltwisseling.**

Bijlage 6. Meetresultaten per week van bedrijf 2.2

week-nummer	gasverbruik (m^3)	warmteproduktie (GJ)	gebruiksrendement (% o.w.)	delta t (^oC)
36	8098	251.88	98.3	42.9
37	7116	205.25	91.1	43.6
38	5702	156.72	86.8	43.6
39	8126	249.99	97.2	40.8
40	9847	303.48	97.4	34.8
41	9827	302.38	97.2	37.8
42	9348	287.91	97.3	29.8
43	8395	253.63	95.5	29.3
44	5852	180.46	97.4	27.6
45	0	0.00	*	* 1) 2)
46	0	0.00	*	* 1)
47	7870	242.68	97.4	19.7
48	18241	587.11	101.7	21.4
49	14850	494.23	105.2	31.1
50	17467	560.83	101.4	24.1
51	13468	441.76	103.6	27.9
52	16261	531.59	103.3	24.7
9001	18500	601.36	102.7	22.6
9002	15817	530.78	106.0	24.5
9003	17018	555.56	103.1	22.4
9004	18996	606.68	100.9	19.6
9005	18728	595.11	100.4	20.2
9006	18374	590.92	101.6	19.2
9007	21738	671.63	97.6	16.2
9008	13506	443.37	103.7	22.7
9009	19149	594.80	98.1	16.0
9010	15558	502.37	102.0	21.3
9011	13814	451.36	103.2	20.5
9012	11435	381.39	105.4	26.8
9013	16521	530.25	101.4	17.7
9014	15606	498.64	101.0	17.4
9015	15659	502.86	101.5	19.1
9016	17125	542.46	100.1	18.7
9017	11828	392.17	104.8	26.3
9018	7900	260.68	104.3	31.5
9019	9007	279.48	98.0	28.6
9020	9977	321.32	101.8	27.9
9021	9075	286.58	99.8	26.8
9022	7775	245.21	99.7	27.4
9023	9577	315.92	104.2	30.5
9024	9307	307.76	104.5	30.2
9025	8493	273.70	101.8	29.9
9026	5608	184.49	103.9	33.3
9027	8312	273.88	104.1	31.6
9028	6845	226.36	104.5	32.8
9029	5380	175.69	103.2	33.6
9030	6243	205.62	104.1	33.9
9031	4298	136.36	100.2	34.0
9032	6465	210.09	102.7	31.7
9033	6647	211.18	100.4	30.8
9034	7608	239.22	99.4	29.5
9035	6472	192.90	94.2	28.9
Totaal	**574828**	**18388.05**	**101.1**	**23.8**

1) **Teeltwisseling en/of stomen.**
2) **Nieuwe brander geïnstalleerd.**

Bijlage 7. Meetresultaten per week van bedrijf 2.5

week-nummer	gasver-bruik (m^3)	warmte-produktie (GJ)	gebruiks-rendement (% o.w.)	delta t (°C)
36	8008	260.01	102.6	28.0
37	6784	217.51	101.3	30.8
38	6142	195.98	100.8	30.7
39	8239	272.64	104.6	28.6
40	9801	326.03	105.1	27.6
41	11234	367.43	103.3	26.0
42	10669	347.94	103.0	27.2
43	10527	346.92	104.1	26.2
44	14629	479.00	103.5	23.7
45	16597	531.91	101.3	23.3
46	16277	526.71	102.2	22.2
47	17629	563.05	100.9	21.7
48	20543	653.76	100.5	20.7
49	17802	574.25	101.9	22.3
50	18424	578.97	99.3	22.0
51	16906	528.59	98.8	22.9
52	16775	532.38	100.3	22.1
9001	20016	631.03	99.6	20.3
9002	14460	467.53	102.2	23.6
9003	16047	513.24	101.1	22.6
9004	14463	459.61	100.4	23.2
9005	15116	472.83	98.8	23.6
9006	14879	478.32	101.6	24.8
9007	15541	487.18	99.0	23.3
9008	12003	389.24	102.5	25.5
9009	14054	441.00	99.1	23.7
9010	10940	352.62	101.8	27.2
9011	9848	319.28	102.4	27.5
9012	8505	280.50	104.2	27.9
9013	11060	360.30	102.9	25.4
9014	9788	313.62	101.2	25.6
9015	9297	298.02	101.3	26.6
9016	11251	356.54	100.1	25.4
9017	8100	255.67	99.7	27.4
9018	6218	194.70	98.9	27.9
9019	5670	171.68	95.7	27.5
9020	5282	166.01	99.3	30.2
9021	6096	193.90	100.5	28.2
9022	5493	173.48	99.8	27.7
9023	5919	186.40	99.5	30.6
9024	7530	243.42	102.1	29.7
9025	6328	203.92	101.8	29.6
9026	5428	174.31	101.5	29.3
9027	6920	224.88	102.7	27.4
9028	6637	214.22	102.0	26.6
9029	5019	156.45	98.5	27.6
9030	5231	162.81	98.3	28.7
9031	3799	113.25	94.2	31.8
9032	5534	176.17	100.6	28.2
9033	6110	196.82	101.8	28.7
9034	8680	285.04	103.8	26.8
9035	6399	207.51	102.5	29.1
Totaal	550649	17624.58	101.1	24.8

Bijlage 8. Meetresultaten per week van bedrijf 3.1

week-nummer	gasverbruik (m^3)	warmteproduktie hoogw. (GJ)	warmteproduktie laagw. (GJ)	warmteproduktie totaal (GJ)	gebruiksrendement hoogw. (% o.w.)	gebruiksrendement laagw. (% o.w.)	gebruiksrendement totaal (% o.w.)	delta t hoogw. (°C)	delta t laagw. (°C)
36	11277	306.45	37.96	344.41	85.9	10.6	96.5	33.3	1.2
37	11619	320.22	39.95	360.17	87.1	10.9	97.9	32.4	1.2
38	10928	300.13	37.94	338.07	86.8	11.0	97.7	32.0	1.2
39	11905	341.17	40.49	381.66	90.5	10,7	101.3	31.5	1.3
40	13253	378.04	43.51	421.55	90.1	10.4	100.5	32.0	1.3
41	12941	382.89	44.18	427.07	93.5	10.8	104.3	31.9	1.4
42	12885	377.08	43.95	421.03	92.5	10.8	103.2	31.8	1.3
43	12375	361.48	43.39	404.87	92.3	11.1	103.4	28.6	1.3
44	12970	371.76	46.54	418.30	90.6	11.3	101.9	29.5	1.5
45	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 1)
46	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 1)
47	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 1)
48	3809	99.55	15.48	115.03	82.6	12.8	95.4	44.2	1.5
49	13435	395.17	44.98	440.15	92.9	10.6	103.5	30.6	1.8
50	20331	595.30	62.94	658.24	92.5	9.8	102.3	28.4	2.0
51	18579	543.64	58.87	602.51	92.5	10.0	102.5	29.3	1.8
52	21326	632.03	65.22	697.25	93.6	9.7	103.3	29.9	2.0
9001	22574	672.51	68.61	741.12	94.1	9.6	103.7	26.1	2.1
9002	19125	578.58	63.31	641.89	95.6	10.5	106.0	31.1	1.9
9003	20466	610.69	63.43	674.12	94.3	9.8	104.1	28.0	2.0
9004	20604	605.91	62.15	668.06	92.9	9.5	102.4	27.6	2.0
9005	22511	655.33	64.33	719.66	92.0	9.0	101.0	28.5	2.0
9006	21193	621.87	61.14	683.01	92.7	9.1	101.8	28.9	2.0
9007	28131	803.08	70.49	873.57	90.2	7.9	98.1	27.4	2.2
9008	20502	606.95	59.34	666.29	93.5	9.1	102.7	30.7	1.9
9009	25482	731.22	64.86	796.08	90.7	8.0	98.7	27.4	2.1
9010	21461	633.85	61.78	695.63	93.3	9.1	102.4	29.5	1.9
9011	19018	563.33	56.30	619.63	93.6	9.4	102.9	32.4	1.8
9012	14707	442.89	47.64	490.53	95.1	10.2	105.4	31.4	1.5
9013	21565	636.31	61.76	698.07	93.2	9.0	102.3	31.4	2.0
9014	19809	569.11	55.32	624.43	90.8	8.8	99.6	31.0	1.8 2)
9015	20674	595.21	57.05	652.26	91.0	8.7	99.7	31.7	1.9 2)
9016	21750	624.47	59.40	683.87	90.7	8.6	99.3	32.4	1.9 2)
9017	15379	443.41	47.02	490.43	91.1	9.7	100.8	28.4	1.6
9018	11202	320.21	36.28	356.49	90.3	10.2	100.6	23.9	1.4
9019	10624	303.22	33.27	336.49	90.2	9.9	100.1	21.3	1.4
9020	13033	385.81	40.56	426.37	93.5	9.8	103.4	21.1	1.5
9021	11038	318.99	34.94	353.93	91.3	10.0	101.3	21.0	1.5
9022	9469	272.11	30.26	302.37	90.8	10.1	100.9	21.5	1.5
9023	10433	299.22	33.97	333.19	90.6	10.3	100.9	23.7	1.2
9024	11162	326.80	36.08	362.88	92.5	10.2	102.7	23.2	1.3
9025	8688	248.18	29.23	277.41	90.3	10.6	100.9	24.8	1.2
9026	6946	200.57	23.86	224.43	91.2	10.9	102.1	26.0	1.2
9027	8825	254.56	29.84	284.40	91.1	10.7	101.8	25.4	1.2
9028	8528	246.18	29.36	275.54	91.2	10.9	102.1	25.2	1.2
9029	5909	171.80	20.42	192.22	91.9	10.9	102.8	25.7	1.2
9030	6330	189.04	21.92	210.96	94.4	10.9	105.3	26.8	1.2
9031	4650	137.89	16.46	154.35	93.7	11.2	104.9	29.5	1.1
9032	5989	176.73	20.82	197.55	93.2	11.0	104.2	26.7	1.2
9033	6032	177.79	20.87	198.66	93.1	10.9	104.1	28.5	1.2
9034	5931	175.77	20.77	196.54	93.6	11.1	104.7	28.4	1.1
9035	5930	175.76	20.77	196.53	93.6	11.1	104.7	28.4	1.1
Totaal	693304	20180.26	2149.01	22329.27	92.0	9.8	101.8	28.5	1.6

1) **Teeltwisseling en/of stomen.**
2) **Zuiver CO_2-dosering met CO_2-ventilator.**

Bijlage 9. Meetresultaten per week van bedrijf 3.2

week-nummer	gasver-bruik (m^3)	warmteproduktie hoogw. (GJ)	warmteproduktie laagw. (GJ)	warmteproduktie totaal (GJ)	gebruiksrendement hoogw. (% o.w.)	gebruiksrendement laagw. (% o.w.)	gebruiksrendement totaal (% o.w.)	delta t hoogw. (°C)	delta t laagw. (°C)
36	5725	95.33	23.51	118.84	52.6	13.0	65.6	31.5	0.7
37	5112	80.72	20.98	101.70	49.9	13.0	62.9	30.8	0.6
38	4990	84.06	20.90	104.96	53.2	13.2	66.5	31.4	0.6
39	6731	114.92	27.58	142.50	53.9	12.9	66.9	31.9	0.8
40	8744	175.50	36.49	211.99	63.4	13.2	76.6	32.4	1.0
41	9153	177.84	37.68	215.52	61.4	13.0	74.4	32.9	1.1
42	9436	203.17	39.62	242.79	68.0	13.3	81.3	33.8	1.1
43	7980	138.02	32.87	170.89	54.6	13.0	67.7	32.2	0.9
44	10960	232.10	45.42	277.52	66.9	13.1	80.0	31.9	1.3
45	13716	332.70	56.92	389.62	76.6	13.1	89.8	33.1	1.6
46	13048	313.86	55.74	369.60	76.0	13.5	89.5	31.0	1.6
47	14172	348.49	59.61	408.10	77.7	13.3	91.0	32.6	1.7
48	15203	382.86	65.11	447.97	79.6	13.5	93.1	27.9	1.8
49	13491	321.33	58.72	380.05	75.3	13.8	89.0	29.0	1.6
50	13712	321.78	57.38	379.16	74.1	13.2	87.4	29.6	1.6
51	12359	265.25	51.26	316.51	67.8	13.1	80.9	31.1	1.4
52	14396	358.39	62.13	420.52	78.7	13.6	92.3	30.1	1.7
9001	15651	406.42	68.35	474.77	82.0	13.8	95.8	30.1	1.9
9002	14253	350.15	62.29	412.44	77.6	13.8	91.4	31.0	1.4
9003	14473	358.99	62.76	421.75	78.4	13.7	92.1	30.4	1.4
9004	14420	346.61	61.64	408.25	75.9	13.5	89.5	30.5	1.3
9005	13805	317.74	57.37	375.11	72.7	13.1	85.8	30.4	1.2
9006	12896	301.10	54.88	355.98	73.8	13.4	87.2	31.2	1.2
9007	15421	382.22	64.46	446.68	78.3	13.2	91.5	29.1	1.4
9008	10972	248.50	47.02	295.52	71.6	13.5	85.1	30.4	1.0
9009	14262	349.82	60.35	410.17	77.5	13.4	90.9	27.3	1.3
9010	11367	256.54	48.72	305.26	71.3	13.5	84.8	32.1	1.0
9011	10122	245.48	44.43	289.91	76.6	13.9	90.5	30.3	1.0
9012	8073	179.65	35.18	214.83	70.3	13.8	84.1	31.7	0.8
9013	11064	281.23	48.96	330.19	80.3	14.0	94.3	28.8	1.1
9014	9881	250.90	43.45	294.35	80.2	13.9	94.1	28.4	0.9
9015	10181	259.49	44.91	304.40	80.5	13.9	94.5	29.1	1.0
9016	10991	280.99	47.81	328.80	80.8	13.7	94.5	29.1	1.1
9017	6684	157.96	29.58	187.54	74.7	14.0	88.7	31.6	0.8
9018	5734	129.75	25.67	155.42	71.5	14.1	85.6	31.7	0.7
9019	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 1)
9020	6456	156.19	28.62	184.81	76.4	14.0	90.4	31.4	0.6
9021	5947	135.91	26.04	161.95	72.2	13.8	86.0	31.9	0.6
9022	5431	126.66	24.01	150.67	73.7	14.0	87.7	31.3	0.5
9023	5767	119.03	24.87	143.90	65.2	13.6	78.8	32.3	0.5
9024	6322	110.71	26.40	137.11	55.3	13.2	68.5	31.3	0.6
9025	5370	102.22	23.03	125.25	60.1	13.5	73.7	31.3	0.5
9026	4158	73.66	17.99	91.65	56.0	13.7	69.6	30.5	0.4
9027	6185	128.80	26.49	155.29	65.8	13.5	79.3	32.5	0.6
9028	5085	90.06	21.87	111.93	56.0	13.6	69.5	30.9	0.5
9029	4070	85.86	18.17	104.03	66.6	14.1	80.8	30.8	0.4
9030	4267	78.41	18.65	97.06	58.1	13.8	71.9	30.5	0.4
9031	2408	36.32	11.00	47.32	47.7	14.4	62.1	28.1	0.2
9032	3381	59.50	15.02	74.52	55.6	14.0	69.6	30.2	0.3
9033	3454	54.80	14.90	69.70	50.1	13.6	63.8	29.0	0.3
9034	5055	100.46	22.24	122.70	62.8	13.9	76.7	31.5	0.5
9035	3044	48.51	13.59	62.10	50.4	14.1	64.5	29.1	0.3
Totaal	**465578**	**10556.96**	**1992.64**	**12549.60**	**71.6**	**13.5**	**85.2**	**30.1**	**1.0**

1) **Test meetapparatuur.**

Bijlage 10. Meetresultaten per week van bedrijf 3.3

week-nummer	gasverbruik (m^3)	warmteproduktie hoogw.	warmteproduktie laagw.	warmteproduktie totaal	gebruiksrendement hoogw.	gebruiksrendement laagw.	gebruiksrendement totaal	delta t hoogw.	delta t laagw.
		(GJ)			(% o.w.)			(^oC)	
36	3956	109.30	15.82	125.12	87.3	12.6	99.9	34.8	0.9
37	4316	114.15	16.82	130.97	83.6	12.3	95.9	34.6	0.8
38	4023	109.62	15.94	125.56	86.1	12.5	98.6	30.9	0.8
39	4962	140.70	19.57	160.27	89.6	12.5	102.1	32.0	0.9
40	5588	160.35	22.15	182.50	90.7	12.5	103.2	32.1	0.9
41	5680	162.40	22.21	184.61	90.3	12.4	102.7	32.3	0.9
42	5384	154.90	21.39	176.29	90.9	12.6	103.5	32.3	0.9
43	5222	152.09	20.61	172.70	92.0	12.5	104.5	31.7	0.9
44	6333	184.58	24.49	209.07	92.1	12.2	104.3	31.7	1.0
45	7300	210.74	28.50	239.24	91.2	12.3	103.5	31.7	1.2
46	8222	243.04	32.35	275.39	93.4	12.4	105.8	29.4	1.2
47	8896	260.10	34.96	295.06	92.4	12.4	104.8	29.8	1.4
48	10224	299.01	40.15	339.16	92.4	12.4	104.8	27.6	1.6
49	7698	229.00	30.93	259.93	94.0	12.7	106.7	32.1	1.2
50	8188	237.29	31.96	269.25	91.6	12.3	103.9	31.1	1.3
51	7458	216.88	28.85	245.73	91.9	12.2	104.1	32.1	1.1
52	7785	230.20	30.95	261.15	93.4	12.6	106.0	31.7	1.3
9001	8863	262.38	35.08	297.46	93.5	12.5	106.0	31.2	1.4
9002	7852	235.57	31.66	267.23	94.8	12.7	107.5	31.9	1.3
9003	8362	247.83	33.85	281.68	93.6	12.8	106.4	30.9	1.3
9004	9449	277.03	37.80	314.83	92.6	12.6	105.3	29.3	1.5
9005	9928	285.32	39.25	324.57	90.8	12.5	103.3	28.1	1.6
9006	9916	288.99	39.76	328.75	92.1	12.7	104.7	26.8	1.7
9007	12419	352.33	48.10	400.43	89.6	12.2	101.9	26.2	2.0
9008	8168	238.47	33.04	271.51	92.3	12.8	105.0	27.4	1.4
9009	10622	300.76	42.42	343.18	89.5	12.6	102.1	27.1	1.9
9010	8134	234.66	33.48	268.14	91.2	13.0	104.2	28.7	1.4
9011	7195	208.65	30.10	238.75	91.6	13.2	104.8	28.3	1.4
9012	5632	162.48	23.65	186.13	91.2	13.3	104.4	30.2	1.2
9013	8094	232.19	34.18	266.37	90.6	13.3	104.0	28.7	1.6
9014	6673	189.44	27.82	217.26	89.7	13.2	102.9	28.7	1.4
9015	6793	192.80	28.32	221.12	89.7	13.2	102.9	28.9	1.4
9016	6933	190.41	29.40	219.81	86.8	13.4	100.2	32.3	1.5
9017	4227	114.22	17.71	131.93	85.4	13.2	98.6	36.3	1.0
9018	2998	83.67	12.68	96.35	88.2	13.4	101.5	36.0	1.1
9019	2994	84.74	12.39	97.13	89.4	13.1	102.5	35.7	1.2
9020	3665	102.93	15.17	118.10	88.7	13.1	101.8	36.5	1.1
9021	3003	83.62	6.63	90.25	88.0	7.0	94.9	36.8	1.2 1)
9022	2940	83.62	12.19	95.81	89.9	13.1	103.0	34.9	1.3
9023	3226	84.97	13.50	98.47	83.2	13.2	96.4	39.3	0.9
9024	3986	105.04	16.80	121.84	83.3	13.3	96.6	40.0	0.9
9025	2815	74.23	11.89	86.12	83.3	13.3	96.7	39.7	0.9
9026	3267	83.46	14.30	97.76	80.7	13.8	96.6	39.7	0.8
9027	3483	90.22	14.60	104.82	81.8	13.2	95.1	39.4	0.9
9028	3119	82.18	13.43	95.61	83.2	13.6	96.8	40.7	0.8
9029	2251	63.12	9.64	72.76	88.6	13.5	102.1	38.9	1.0
9030	2105	59.39	8.94	68.33	89.2	13.4	102.6	38.9	1.0
9031	1473	39.65	6.36	46.01	85.0	13.6	98.7	38.7	0.9
9032	1240	32.54	5.39	37.93	82.9	13.7	96.7	40.9	0.9
9033	1916	50.84	8.38	59.22	83.8	13.8	97.6	40.9	0.8
9034	2904	81.78	12.31	94.09	89.0	13.4	102.4	38.5	0.9
9035	2021	56.59	8.65	65.24	88.5	13.5	102.0	39.3	0.9
Totaal	299897	8570.47	1206.52	9776.99	90.3	12.7	103.0	31.0	1.2

1) **Condensor (tijdelijk) buiten werking.**

Bijlage 11. Meetresultaten per week van bedrijf 4.1

week-nummer	gasverbruik (m^3)	warmteproduktie hoogw. (GJ)	warmteproduktie laagw. (GJ)	warmteproduktie totaal (GJ)	gebruiksrendement hoogw. (% o.w.)	gebruiksrendement laagw. (% o.w.)	gebruiksrendement totaal (% o.w.)	delta t hoogw. (°C)	delta t laagw. (°C)
36	9369	267.77	16.03	283.80	90.3	5.4	95.7	42.9	0.7
37	9092	257.21	14.78	271.99	89.4	5.1	94.5	45.8	0.6
38	7461	205.06	12.08	217.14	86.8	5.1	92.0	45.3	0.5
39	10199	302.16	17.20	319.36	93.6	5.3	98.9	44.0	0.7
40	12489	373.66	22.23	395.89	94.5	5.6	100.2	39.2	0.9
41	12627	371.51	23.62	395.13	93.0	5.9	98.9	37.9	1.0
42	13817	415.14	26.51	441.65	94.9	6.1	101.0	35.8	1.1
43	11978	368.21	19.60	387.81	97.1	5.2	102.3	39.7	0.8
44	12040	357.29	20.87	378.16	93.8	5.5	99.2	40.3	0.8
45	2575	60.08	3.43	63.51	73.7	4.2	77.9	47.3	0.5 1)
46	412	1.98	0.00	1.98	15.2	0.0	15.2	28.7	* 1)
47	2776	33.83	2.96	36.79	38.5	3.4	41.9	69.1	0.3 1)
48	9619	214.64	11.20	225.84	70.5	3.7	74.2	51.0	0.5 1)
49	19423	600.59	25.52	626.11	97.7	4.2	101.8	40.0	1.1 2)
50	21332	655.54	35.69	691.23	97.1	5.3	102.4	34.3	1.5 2)
51	17531	547.52	29.66	577.18	98.7	5.3	104.0	38.1	1.2 2)
52	17673	549.61	36.40	586.01	98.3	6.5	104.8	36.6	1.5
9001	17483	541.39	35.26	576.65	97.8	6.4	104.2	38.6	1.5
9002	15075	474.30	28.07	502.37	99.4	5.9	105.3	41.3	1.2
9003	16630	516.38	33.50	549.88	98.1	6.4	104.5	37.2	1.4
9004	17837	549.39	35.31	584.70	97.3	6.3	103.6	33.9	1.5
9005	16626	514.40	32.85	547.25	97.8	6.2	104.0	34.8	1.4
9006	16797	516.16	33.77	549.93	97.1	6.4	103.4	33.7	1.4
9007	18221	558.19	38.06	596.25	96.8	6.6	103.4	32.6	1.6
9008	17595	535.40	37.80	573.20	96.1	6.8	102.9	30.9	1.6
9009	18069	547.86	38.59	586.45	95.8	6.7	102.5	23.5	1.6
9010	18794	569.77	40.78	610.55	95.8	6.9	102.6	28.7	1.7
9011	17168	507.36	38.36	545.72	93.4	7.1	100.4	26.4	1.6
9012	13860	423.02	29.16	452.18	96.4	6.6	103.1	31.4	1.2
9013	16206	486.27	34.68	520.95	94.8	6.8	101.6	29.1	1.5
9014	14619	432.60	31.70	464.30	93.5	6.9	100.3	27.9	1.3
9015	15086	447.13	32.60	479.73	93.6	6.8	100.5	29.3	1.4
9016	19962	590.30	45.26	635.56	93.4	7.2	100.6	20.9	1.9
9017	10090	298.86	21.07	319.93	93.6	6.6	100.2	28.6	0.9
9018	6345	189.38	12.62	202.00	94.3	6.3	100.6	34.4	0.5
9019	9275	273.95	18.85	292.80	93.3	6.4	99.7	28.2	0.8
9020	9761	291.03	19.85	310.88	94.2	6.4	100.6	31.8	0.9
9021	9047	265.33	19.21	284.54	92.7	6.7	99.4	29.5	0.8
9022	7994	236.39	16.26	252.65	93.4	6.4	99.9	29.6	0.7
9023	9738	285.51	18.84	304.35	92.6	6.1	98.7	35.0	0.8
9024	11015	328.54	20.79	349.33	94.2	6.0	100.2	38.1	0.9
9025	9349	270.31	18.00	288.31	91.4	6.1	97.4	29.5	0.8
9026	7002	199.32	13.10	212.42	89.9	5.9	95.9	42.5	0.6
9027	10622	313.66	20.79	334.45	93.3	6.2	99.5	38.2	0.9
9028	8730	260.00	16.46	276.46	94.1	6.0	100.1	39.2	0.7
9029	6598	192.10	12.32	204.42	92.0	5.9	97.9	40.7	0.5
9030	6188	174.62	11.31	185.93	89.2	5.8	94.9	40.3	0.5
9031	4350	97.81	7.76	105.57	71.0	5.6	76.7	42.8	0.3
9032	6691	189.96	11.66	201.62	89.7	5.5	95.2	42.1	0.5
9033	6826	197.34	10.72	208.06	91.3	5.0	96.3	38.3	0.5
9034	8224	252.17	13.78	265.95	96.9	5.3	102.2	42.1	0.6
9035	6398	180.26	10.07	190.33	89.0	5.0	94.0	39.0	0.4
Totaal	614688	18288.26	1176.99	19465.25	94.0	6.0	100.1	33.7	1.0

1) Teeltwisseling.
2) Bijmengen hoogwaardige warmte in condensor-net.

Bijlage 12. Meetresultaten per week van bedrijf 4.2

week-nummer	gasverbruik (m^3)	warmteproduktie hoogw. (GJ)	warmteproduktie laagw. (GJ)	warmteproduktie totaal (GJ)	gebruiksrendement hoogw. (% o.w.)	gebruiksrendement laagw. (% o.w.)	gebruiksrendement totaal (% o.w.)	delta t hoogw. (°C)	delta t laagw. (°C)
36	11068	320.93	21.85	342.78	91.6	6.2	97.9	28.6	0.7
37	12226	362.86	24.25	387.11	93.8	6.3	100.0	27.4	0.8
38	10472	304.44	19.40	323.84	91.9	5.9	97.7	29.6	0.6
39	14319	427.58	29.80	457.38	94.3	6.6	100.9	23.9	0.9
40	14644	441.80	29.72	471.52	95.3	6.4	101.7	25.9	0.9
41	13574	408.42	26.24	434.66	95.1	6.1	101.2	26.9	0.8
42	13018	390.58	24.25	414.83	94.8	5.9	100.7	28.7	0.7
43	13395	402.53	25.28	427.81	94.9	6.0	100.9	27.7	0.7
44	13869	412.03	27.55	439.58	93.9	6.3	100.1	26.1	0.9
45	19226	552.77	47.02	599.79	90.8	7.7	98.6	21.1	1.4
46	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 1)
47	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 1)
48	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 1)
49	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 1)
50	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 1)
51	18280	530.66	42.27	572.93	91.7	7.3	99.0	22.3	1.2
52	19204	558.87	45.21	604.08	91.9	7.4	99.4	23.3	1.2
9001	19215	573.57	46.25	619.82	94.3	7.6	101.9	23.0	1.3
9002	19400	563.18	46.58	609.76	91.7	7.6	99.3	21.0	1.3
9003	20873	590.78	53.79	644.57	89.4	8.1	97.6	19.4	1.5 3)
9004	22212	618.02	61.80	679.82	87.9	8.8	96.7	18.5	1.7 3)
9005	25696	704.93	77.73	782.66	86.7	9.6	96.2	18.5	2.2 3)
9006	23108	647.67	65.78	713.45	88.6	9.0	97.6	18.9	1.9 3)
9007	30384	832.66	97.81	930.47	86.6	10.2	96.8	19.9	2.7 3)
9008	16642	488.62	42.57	531.19	92.8	8.1	100.8	21.7	1.3 3)
9009	25113	703.67	75.58	779.25	88.5	9.5	98.0	21.5	1.7 3)
9010	18483	538.51	45.24	583.75	92.1	7.7	99.8	21.3	1.7
9011	16793	503.45	38.56	542.01	94.7	7.3	102.0	22.9	1.1
9012	14416	447.96	31.84	479.80	98.2	7.0	105.2	24.1	1.0
9013	19330	563.30	49.86	613.16	92.1	8.1	100.2	20.9	1.5
9014	19021	553.42	48.80	602.22	91.9	8.1	100.0	20.6	1.4
9015	19209	557.33	50.67	608.00	91.7	8.3	100.0	19.7	1.5
9016	19768	572.93	52.39	625.32	91.6	8.4	99.9	20.9	1.5
9017	13927	425.67	28.32	453.99	96.6	6.4	103.0	25.0	0.8
9018	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 2)
9019	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 2)
9020	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 2)
9021	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 2)
9022	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 2)
9023	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 2)
9024	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 2)
9025	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 2)
9026	7195	207.23	11.51	218.74	91.0	5.1	96.1	38.6	0.4
9027	9131	271.29	15.10	286.39	93.9	5.2	99.1	35.5	0.5
9028	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 2)
9029	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 2)
9030	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 2)
9031	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 2)
9032	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 2)
9033	7643	229.12	12.90	242.02	94.7	5.3	100.0	35.3	0.5
9034	9747	295.54	16.80	312.34	95.8	5.4	101.3	32.4	0.6
9035	7574	214.55	12.23	226.78	89.5	5.1	94.6	35.9	0.5
Totaal	558174	16216.87	1344.95	17561.82	91.8	7.6	99.4	22.7	1.2

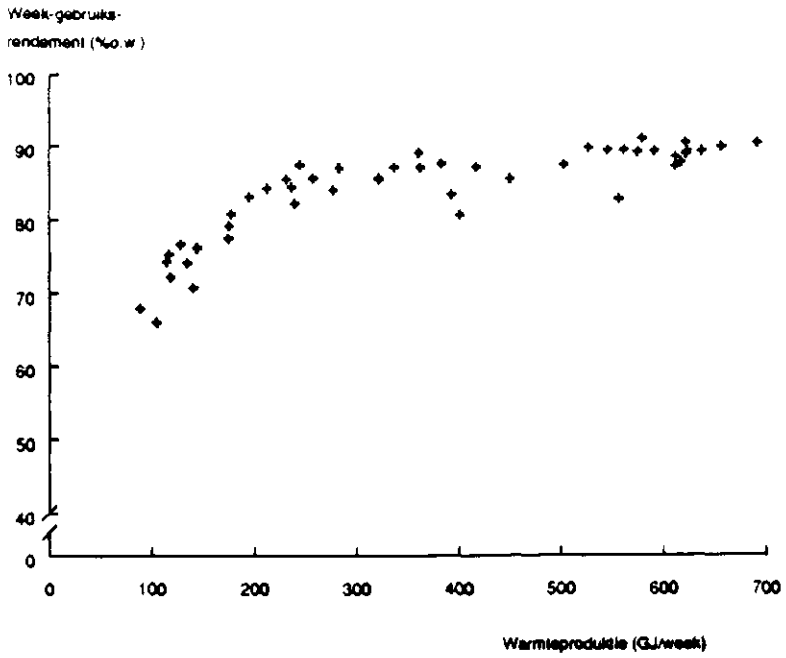
1) Teeltwisseling en/of stomen.
2) Storing meetapparatuur.
3) Condensor verstopt.

Bijlage 13. Meetresultaten per week van bedrijf 4.3

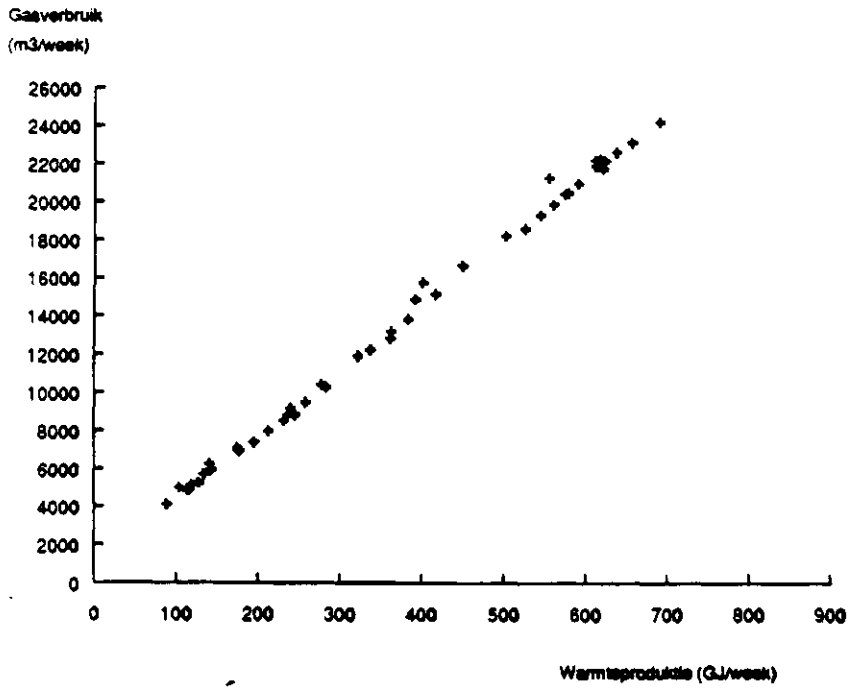
week-nummer	gasver-bruik (m^3)	warmteproduktie hoogw. (GJ)	warmteproduktie laagw. (GJ)	warmteproduktie totaal (GJ)	gebruiksrendement hoogw. (% o.w.)	gebruiksrendement laagw. (% o.w.)	gebruiksrendement totaal (% o.w.)	delta t hoogw. (°C)	delta t laagw. (°C)
36	9935	286.51	16.09	302.60	91.1	5.1	96.2	7.5	0.7
37	9119	258.10	15.61	273.71	89.4	5.4	94.8	7.0	0.7
38	8117	225.56	14.21	239.77	87.8	5.5	93.3	7.0	0.7
39	11318	336.02	18.66	354.68	93.8	5.2	99.0	7.5	0.8
40	11223	334.48	18.23	352.71	94.2	5.1	99.3	8.2	0.9
41	14345	351.63	36.80	388.43	77.4	8.1	85.6	13.8	1.7 1)
42	13075	319.82	35.50	355.32	77.3	8.6	85.9	14.3	1.8 1)
43	7369	181.88	20.57	202.45	78.0	8.8	86.8	10.2	1.3 2)
44	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 2)
45	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 2)
46	0	0.00	0.00	0.00	*	*	*	*	* 2)
47	15809	465.60	7.38	472.98	93.1	1.5	94.5	22.4	2.1 3)
48	20235	608.68	29.76	638.44	95.0	4.6	99.7	22.3	1.5 5)
49	15063	460.86	21.52	482.38	96.7	4.5	101.2	18.9	1.2 5)
50	15691	478.40	22.83	501.23	96.3	4.6	100.9	14.3	1.5 5)
51	13475	408.54	24.10	432.64	95.8	5.7	101.4	12.3	1.4
52	14793	449.11	27.24	476.35	95.9	5.8	101.7	12.7	1.5
9001	15504	465.57	27.88	493.45	94.8	5.7	100.6	12.6	1.5
9002	13993	422.51	24.73	447.24	95.4	5.6	101.0	12.8	1.5
9003	17107	514.85	31.51	546.36	95.1	5.8	100.9	13.9	1.7
9004	18849	564.87	36.10	600.97	94.7	6.1	100.7	13.4	1.9
9005	18524	556.50	36.14	592.64	94.9	6.2	101.1	13.5	1.9
9006	18777	555.08	38.19	593.27	93.4	6.4	99.8	14.0	2.0
9007	23716	691.30	49.85	741.15	92.1	6.6	98.7	15.1	2.5
9008	14671	438.26	29.84	468.10	94.4	6.4	100.8	13.4	1.8
9009	22026	649.20	46.30	695.50	93.2	6.6	99.8	14.4	2.3
9010	17823	531.54	35.46	567.00	94.2	6.3	100.5	13.4	1.8
9011	14736	442.22	28.41	470.63	94.8	6.1	100.9	12.5	1.4
9012	11269	348.24	20.21	368.45	97.6	5.7	103.3	12.1	1.1
9013	18044	539.73	38.59	578.32	94.5	6.8	101.3	13.1	1.8
9014	14099	425.06	29.63	454.69	95.3	6.6	101.9	12.7	1.6
9015	12626	367.96	27.30	395.26	92.1	6.8	98.9	18.8	1.5 1)
9016	14692	432.57	32.80	465.37	93.0	7.1	100.1	20.6	1.7 1)
9017	10928	311.36	22.68	334.04	90.0	6.6	96.6	27.8	1.0 1)
9018	4546	123.84	8.78	132.62	86.1	6.1	92.2	30.5	0.8 1)
9019	9622	276.03	19.24	295.27	90.6	6.3	97.0	27.5	1.1 1)
9020	8512	241.98	16.72	258.70	89.8	6.2	96.0	29.5	1.1 1)
9021	9017	256.32	17.61	273.93	89.8	6.2	96.0	27.3	1.0 1)
9022	7972	222.88	15.45	238.33	88.3	6.1	94.5	26.3	1.0 1)
9023	9273	266.19	18.55	284.74	90.7	6.3	97.0	27.0	1.2 1)
9024	10197	294.10	20.34	314.44	91.1	6.3	97.4	26.7	1.2 1)
9025	8318	243.84	11.92	255.76	92.6	4.5	97.2	15.6	1.4 1)
9026	6824	212.70	11.81	224.51	98.5	5.5	104.0	10.3	0.9
9027	9658	292.70	18.08	310.78	95.8	5.9	101.7	11.6	1.1
9028	7990	244.47	14.02	258.49	96.7	5.5	102.2	11.5	0.9 1)
9029	6354	198.83	10.83	209.66	98.9	5.4	104.3	11.5	0.8 1)
9030	7619	251.13	9.54	260.67	104.1	4.0	108.1	11.3	0.6 1)
9031	4225	134.31	6.47	140.78	100.4	4.8	105.3	10.3	0.8 1)
9032	6526	201.09	10.34	211.43	97.4	5.0	102.4	10.2	0.7 1)
9033	6509	199.22	10.84	210.06	96.7	5.3	102.0	8.8	0.7 1)
9034	8098	241.31	13.75	255.06	94.1	5.4	99.5	7.8	0.8 1)
9035	5757	168.23	10.72	178.95	92.3	5.9	98.2	10.0	0.9 4)
Totaal	593968	17491.18	1109.13	18600.31	93.0	5.9	98.9	13.4	1.3

1) Ketelregeling defect; 2) Teeltwisseling, en/of stomen.
3) Condensor (tijdelijk) buiten werking.
4) Deel van het bedrijf niet gestookt.
5) Bijmengen hoogwaardige warmte in condensor-net.

Bijlage 14 Figuren bedrijf 1.1

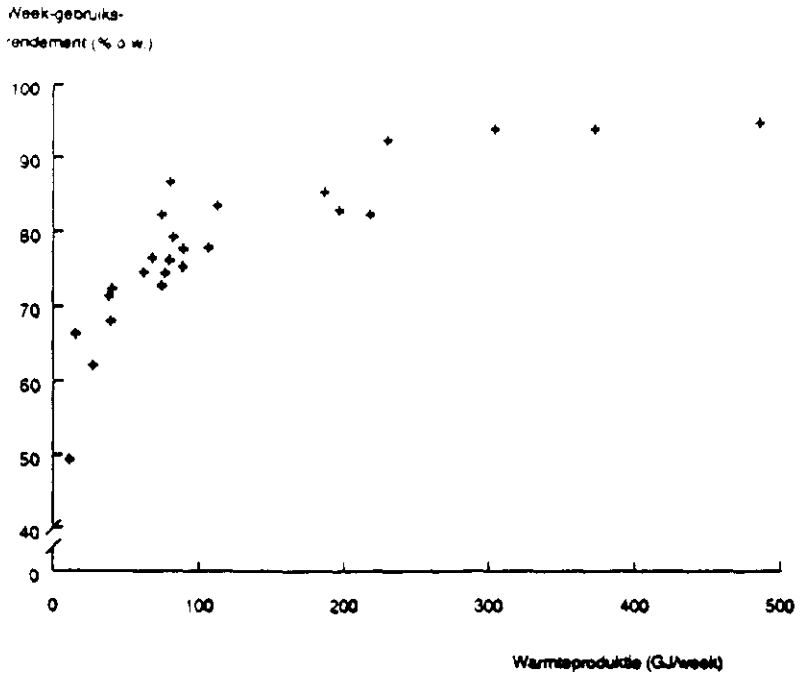


Figuur bl4.1 Verband gebruiksrendement en warmteproduktie per week bij bedrijf 1.1

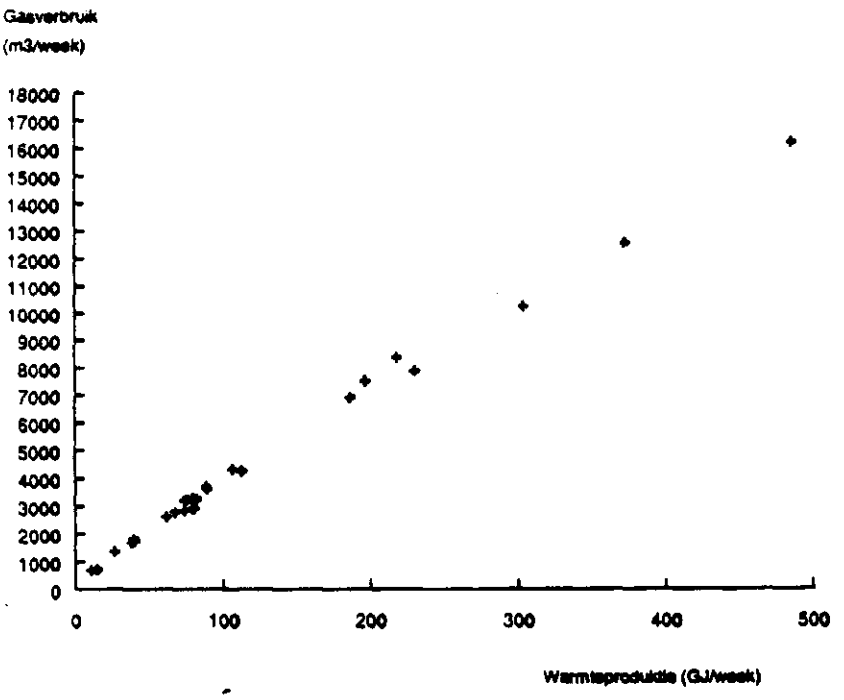


Figuur bl4.2 Relatie gasverbruik en warmteproduktie per week bij bedrijf 1.1

Bijlage 15 Figuren bedrijf 1.3

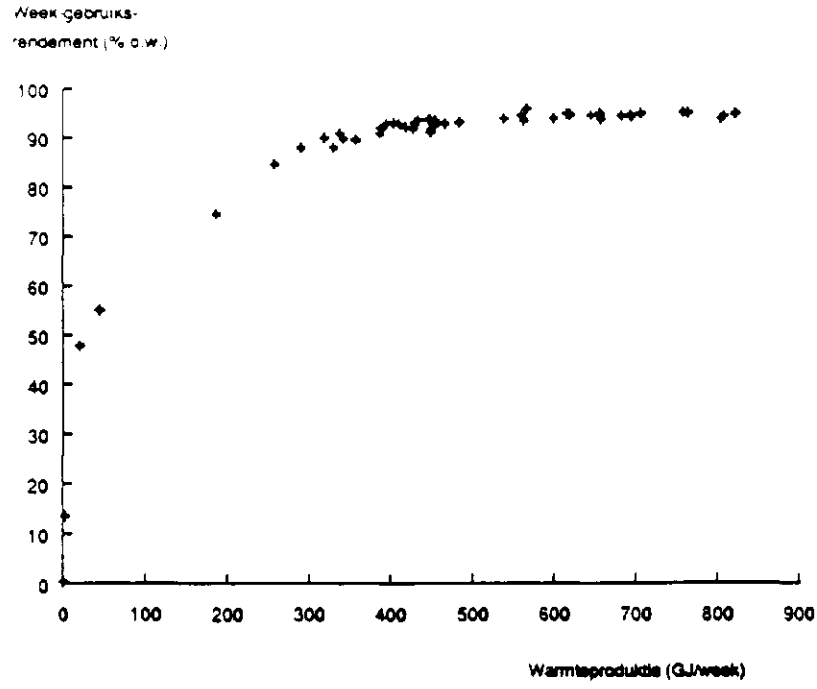


Figuur bl5.1 Verband gebruiksrendement en warmteproduktie per week bij bedrijf 1.3

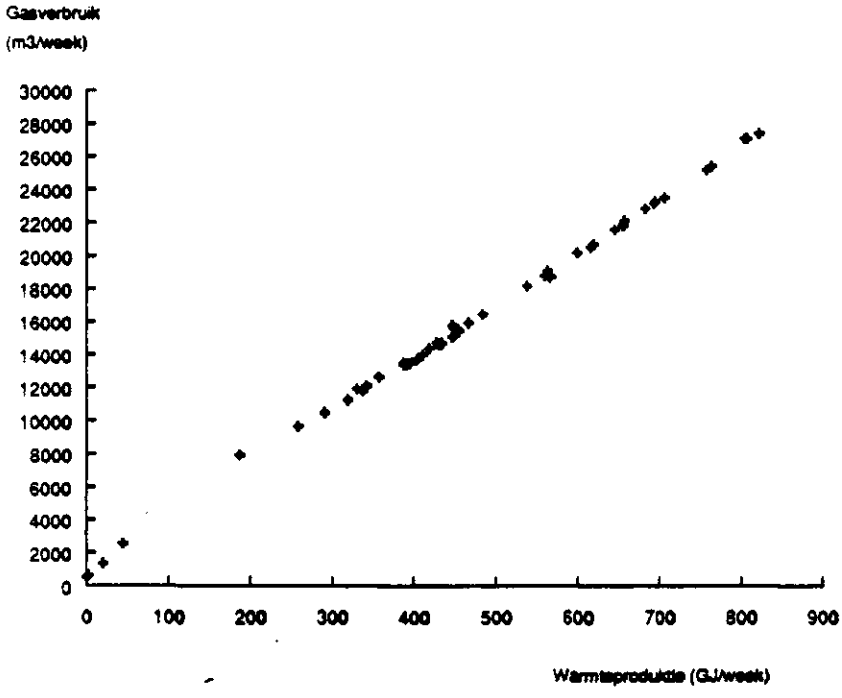


Figuur bl5.2 Relatie gasverbruik en warmteproduktie per week bij bedrijf 1.3

Bijlage 16 Figuren bedrijf 2.1

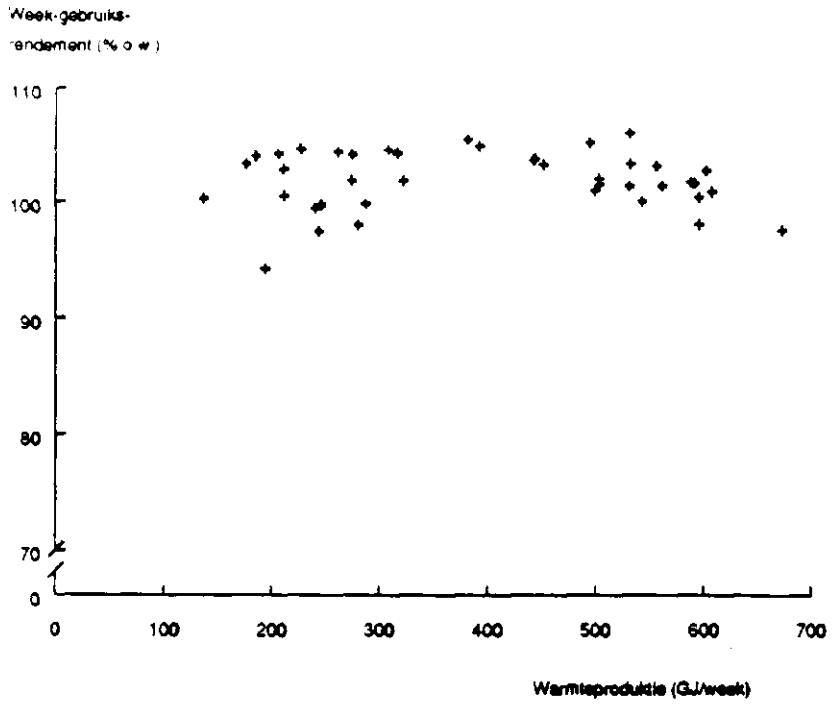


Figuur b16.1 Verband gebruiksrendement en warmteproduktie per week bij bedrijf 2.1

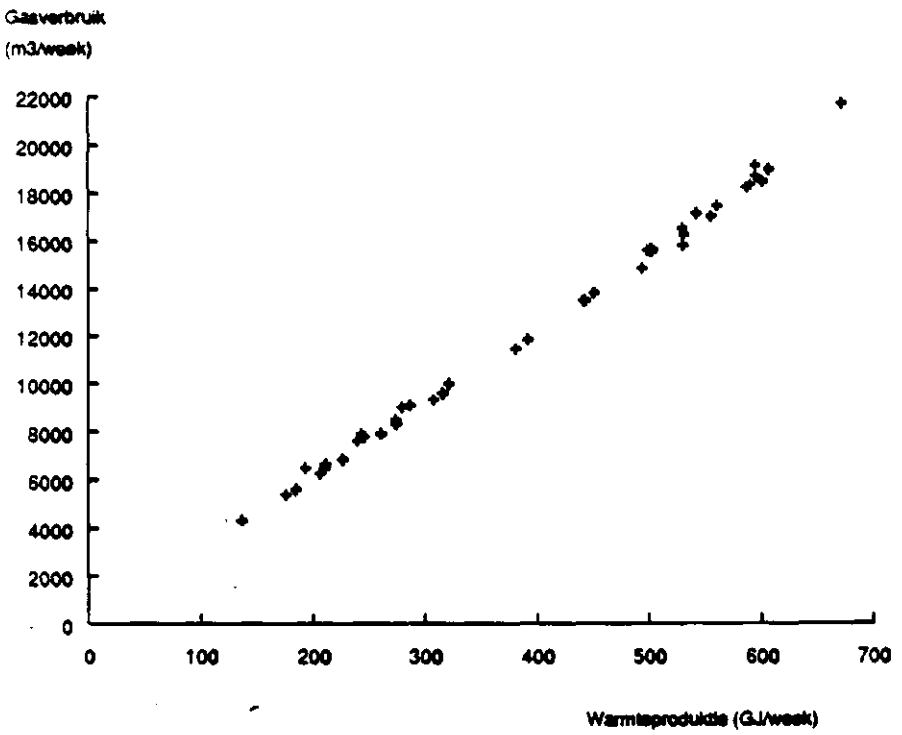


Figuur b16.2 Relatie gasverbruik en warmteproduktie per week bij bedrijf 2.1

Bijlage 17 Figuren bedrijf 2.2

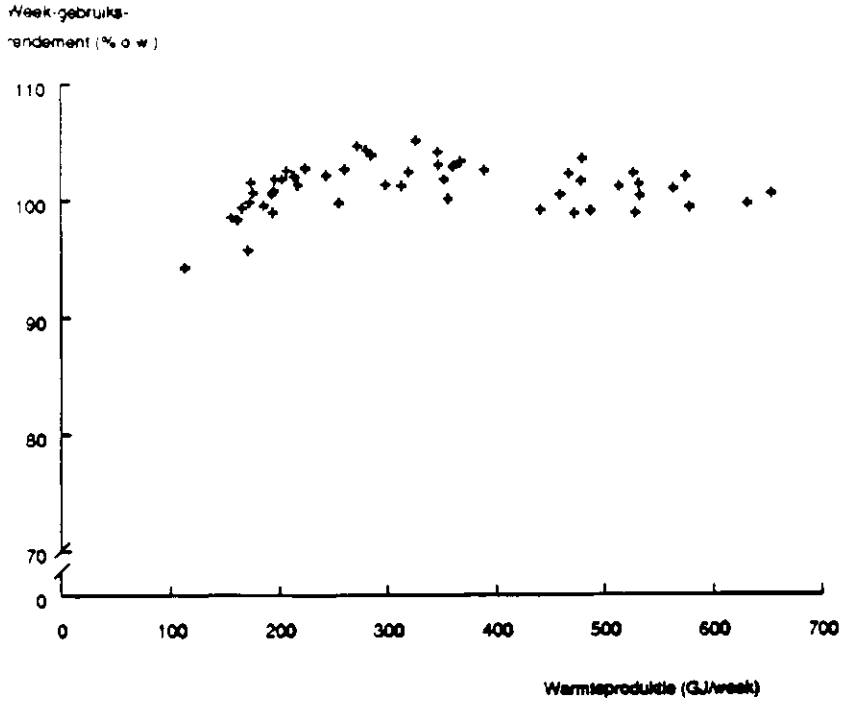


Figuur b17.1 Verband gebruiksrendement en warmteproduktie per week bij bedrijf 2.2

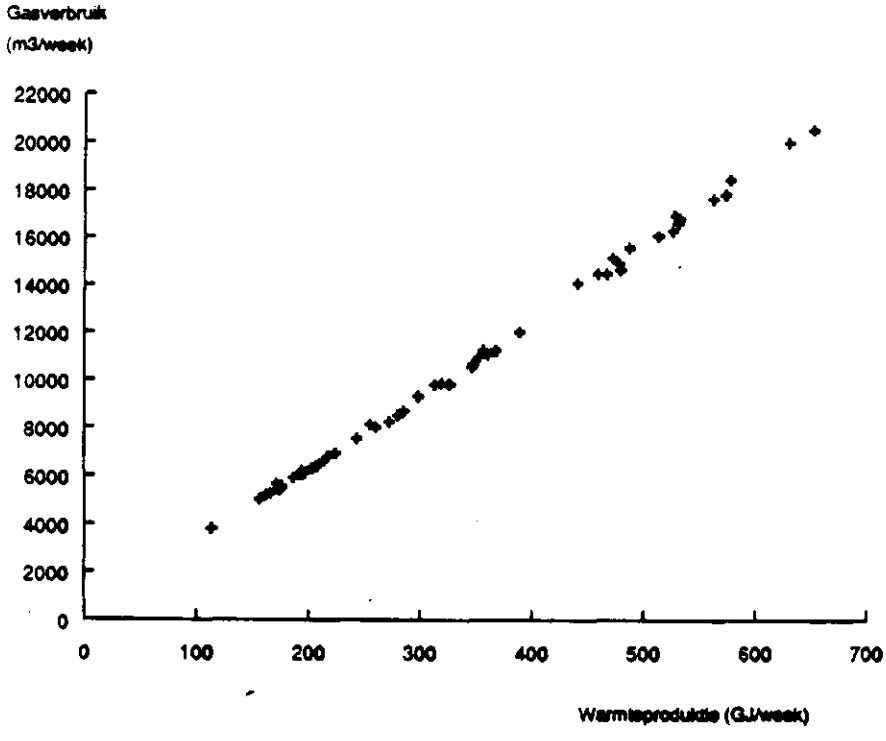


Figuur b17.2 Relatie gasverbruik en warmteproduktie per week bij bedrijf 2.2

Bijlage 18 Figuren bedrijf 2.3

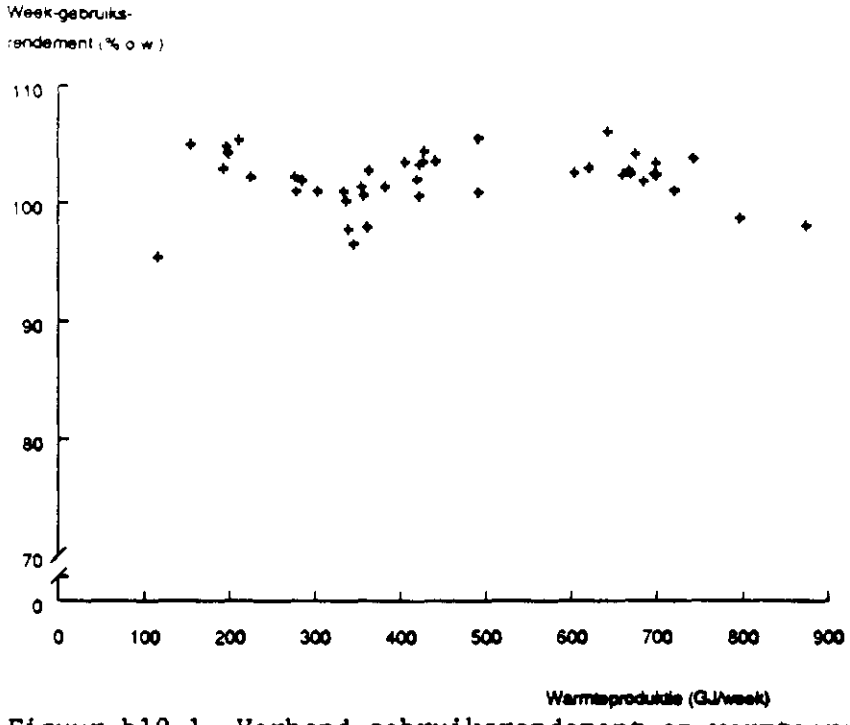


Figuur b18.1 Verband gebruiksrendement en warmteproduktie per week bij bedrijf 2.3

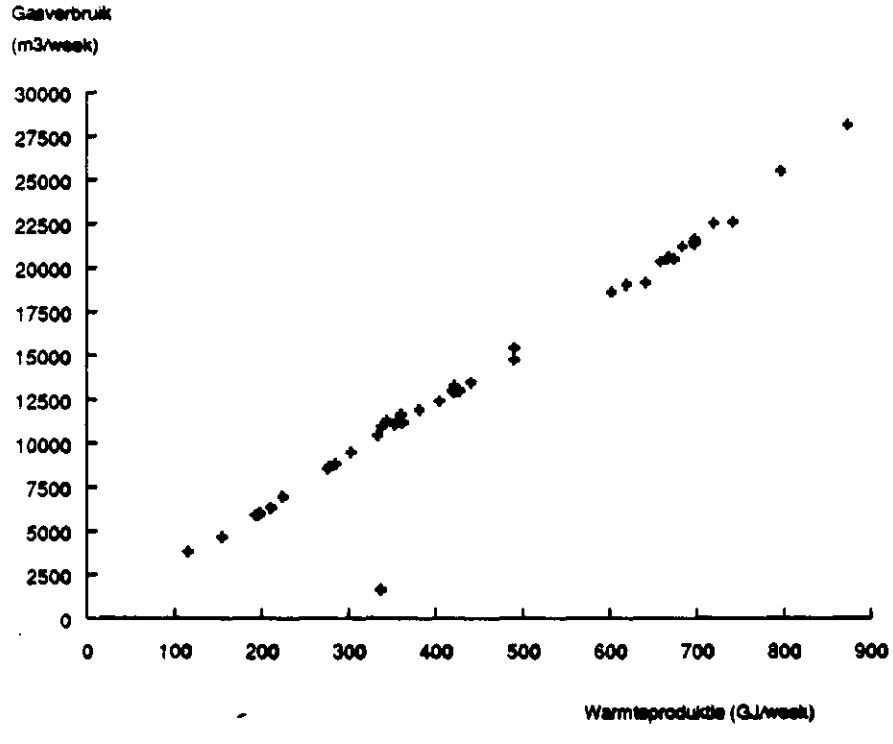


Figuur b18.2 Relatie gasverbruik en warmteproduktie per week bij bedrijf 2.3

Bijlage 19 Figuren bedrijf 3.1

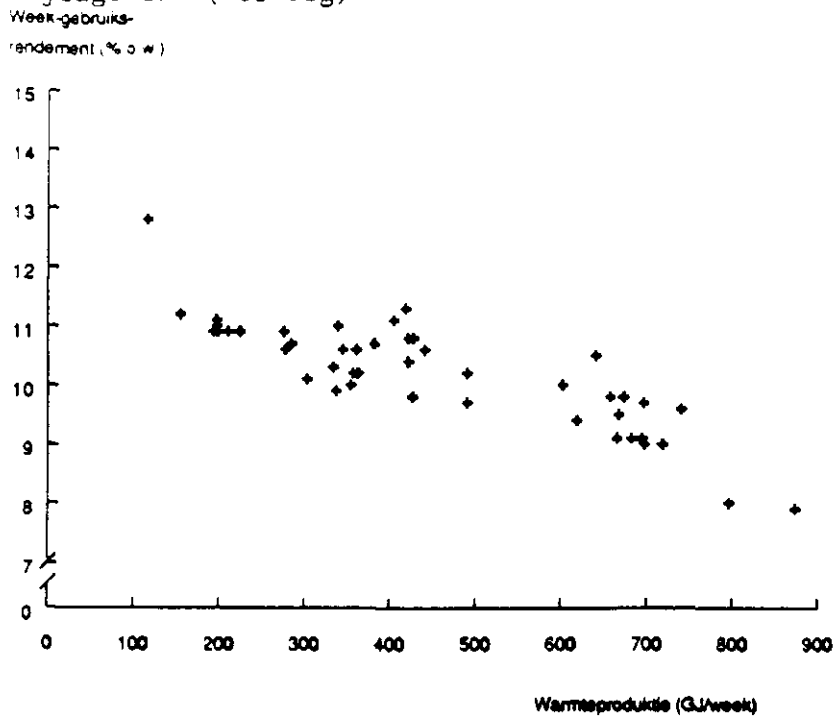


Figuur b19.1 Verband gebruiksrendement en warmteproduktie per week bij bedrijf 3.1



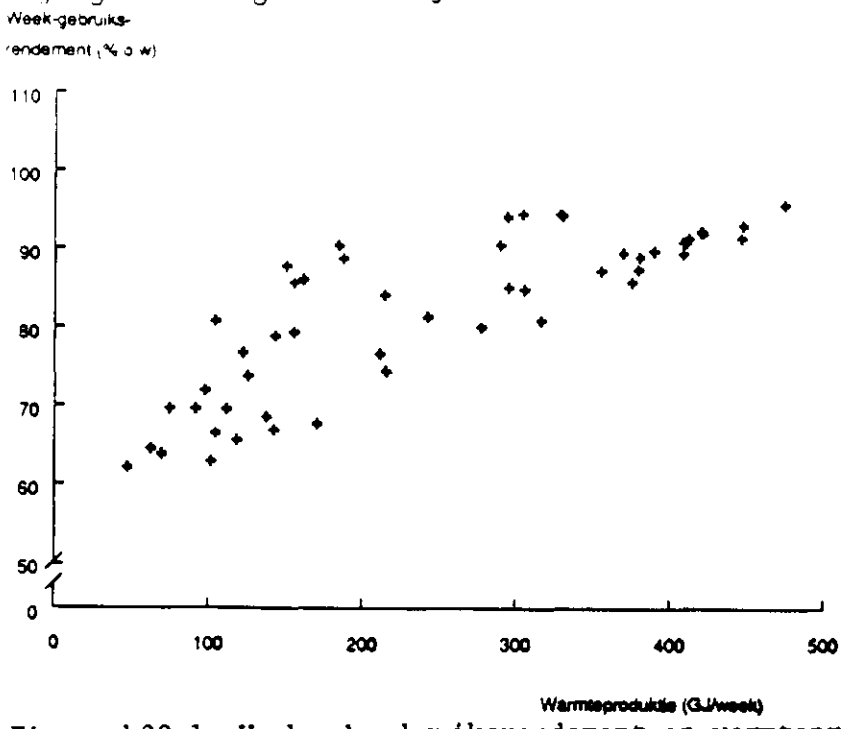
Figuur b19.2 Relatie gasverbruik en warmteproduktie per week bij bedrijf 3.1

Bijlage 19 (vervolg)

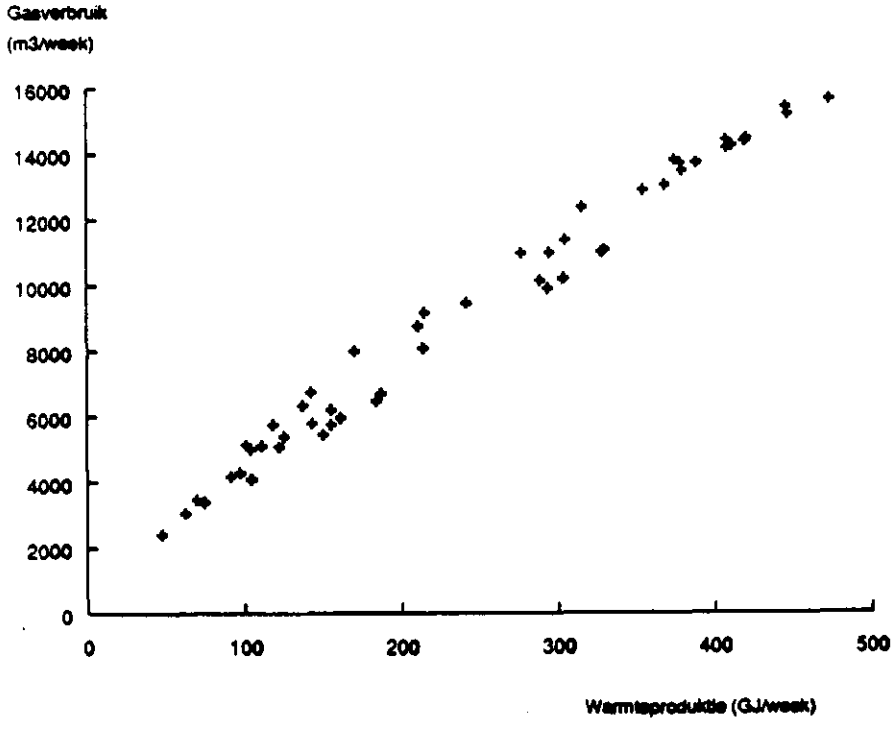


Figuur b19.3 Verband gebruiksrendement condensor en warmteproduktie gehele installatie per week bij bedrijf 3.1

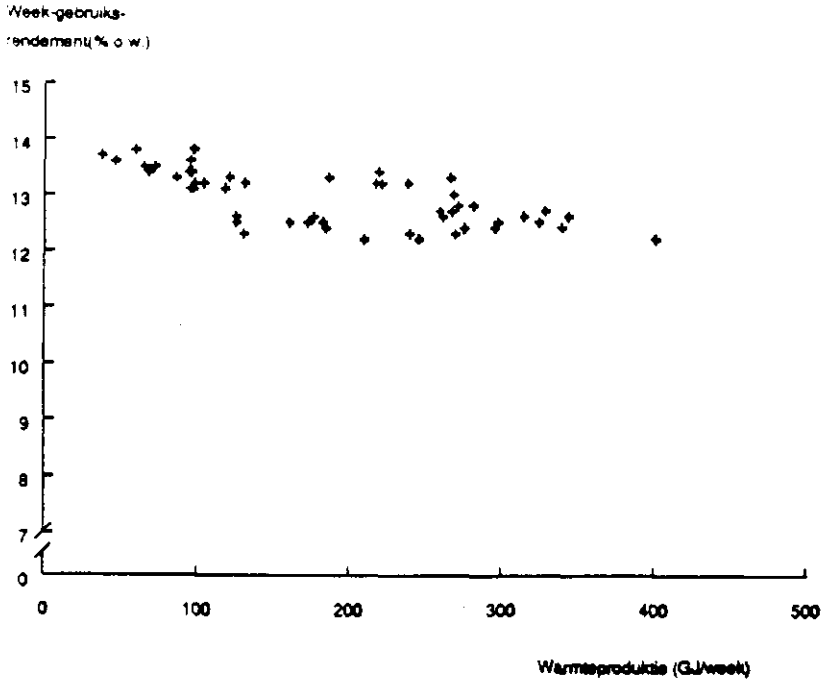
Bijlage 20 Figuren bedrijf 3.2



Figuur b20.1 Verband gebruiksrendement en warmteproduktie per week bij bedrijf 3.2.

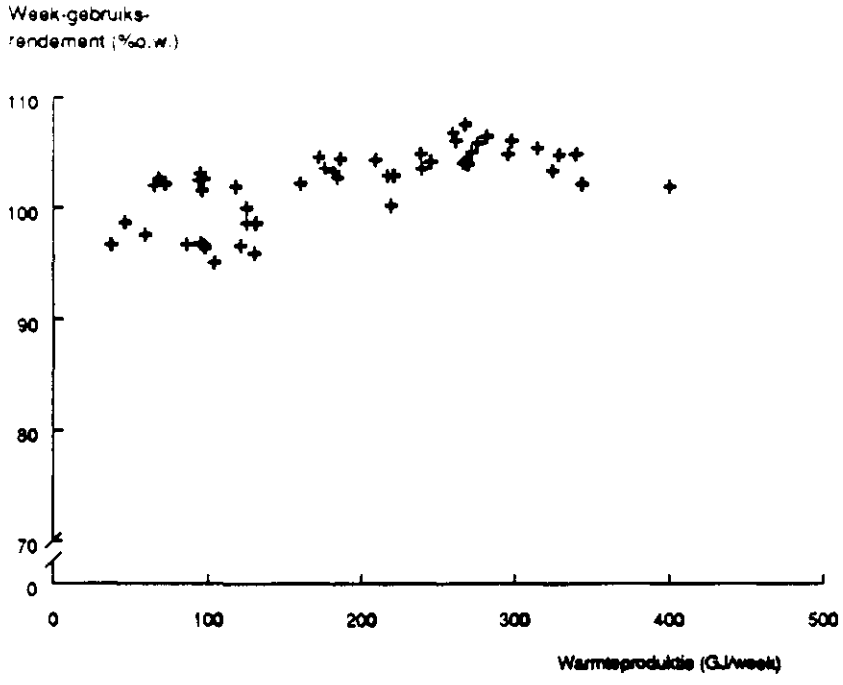


Figuur b20.2 Relatie gasverbruik en warmteproduktie per week bij bedrijf 3.2

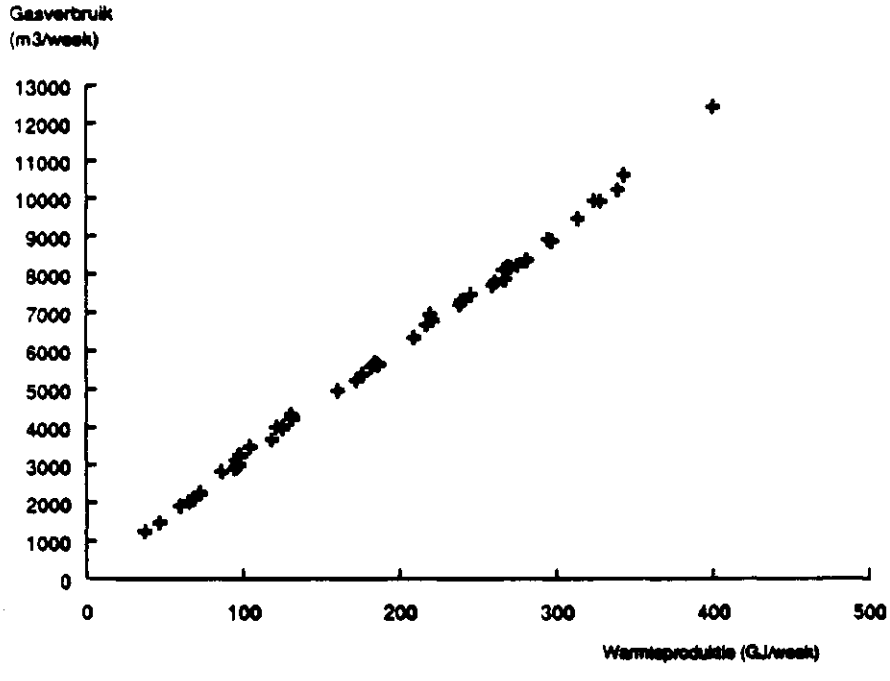


Figuur b20.3 Verband gebruiksrendement condensor en warmteproduktie gehele installatie per week bij bedrijf 3.2

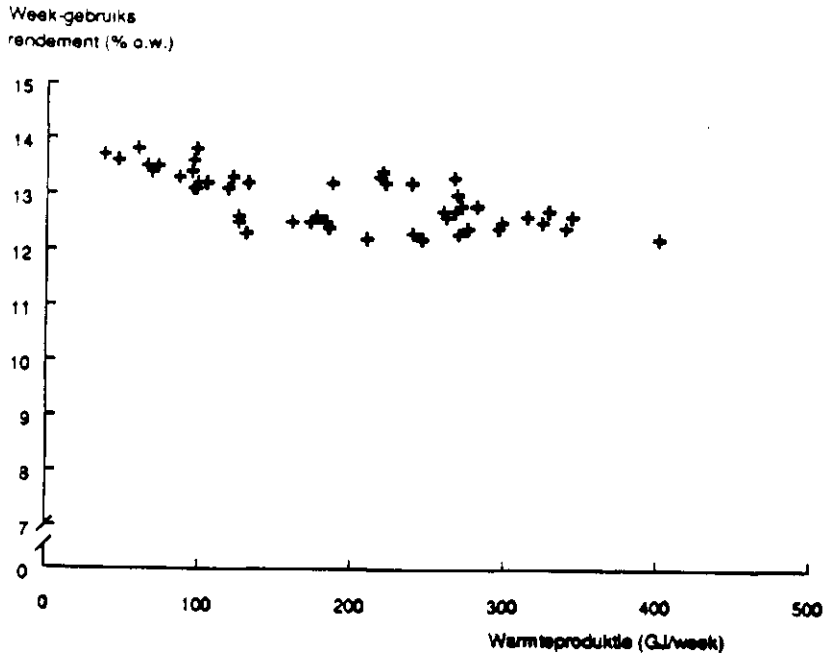
Bijlage 21 Figuren bedrijf 3.3



Figuur b21.1 Verband gebruiksrendement en warmteproduktie per week bij bedrijf 3.3

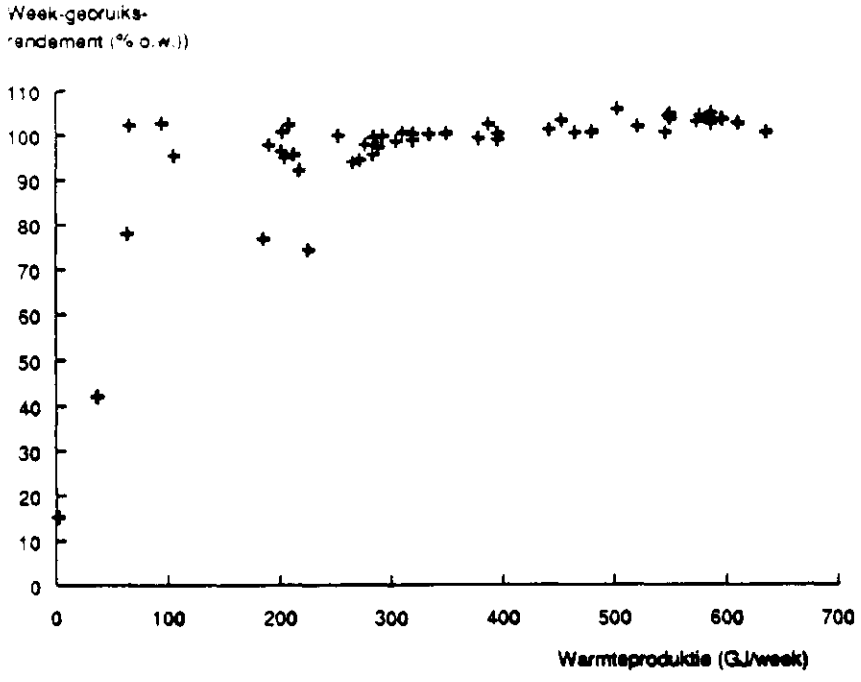


Figuur b21.2 Relatie gasverbruik en warmteproduktie per week bij bedrijf 3.3

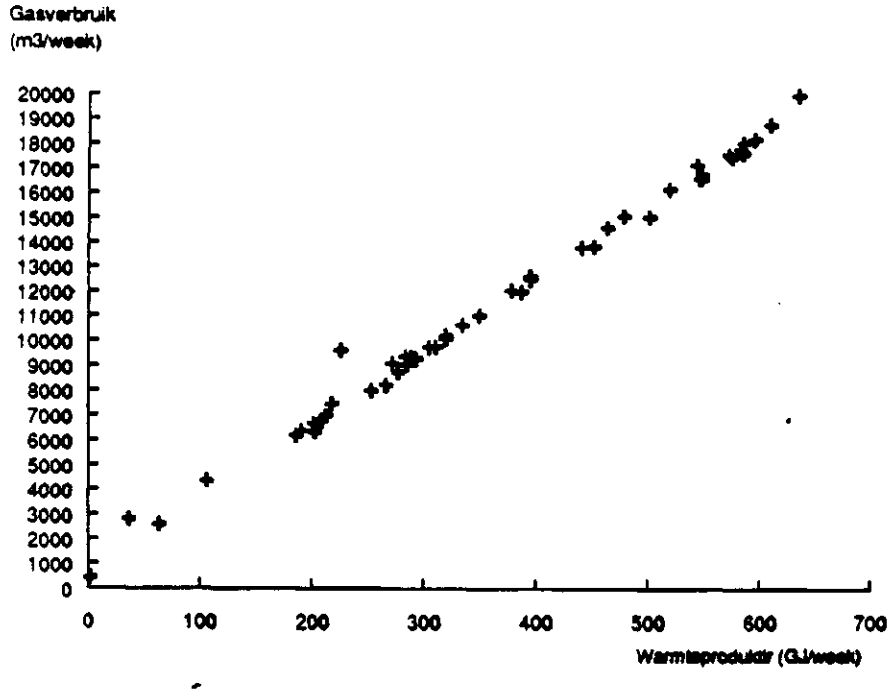


Figuur b21.3 Verband gebruiksrendement condensor en warmteproduktie gehele installatie per week bij bedrijf 3.3

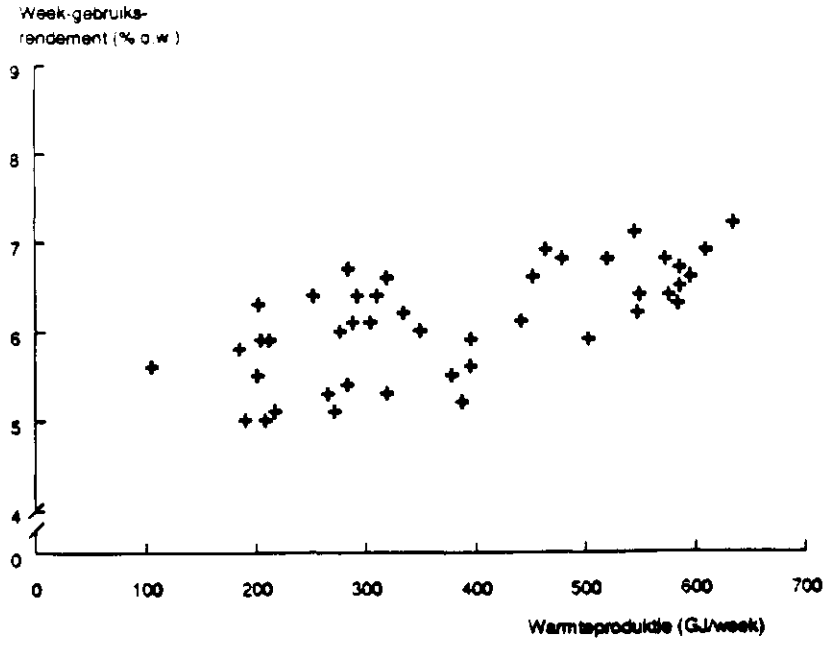
Bijlage 22 Figuren bedrijf 4.1



Figuur b22.1 Verband gebruiksrendement en warmteproduktie per week bij bedrijf4.1

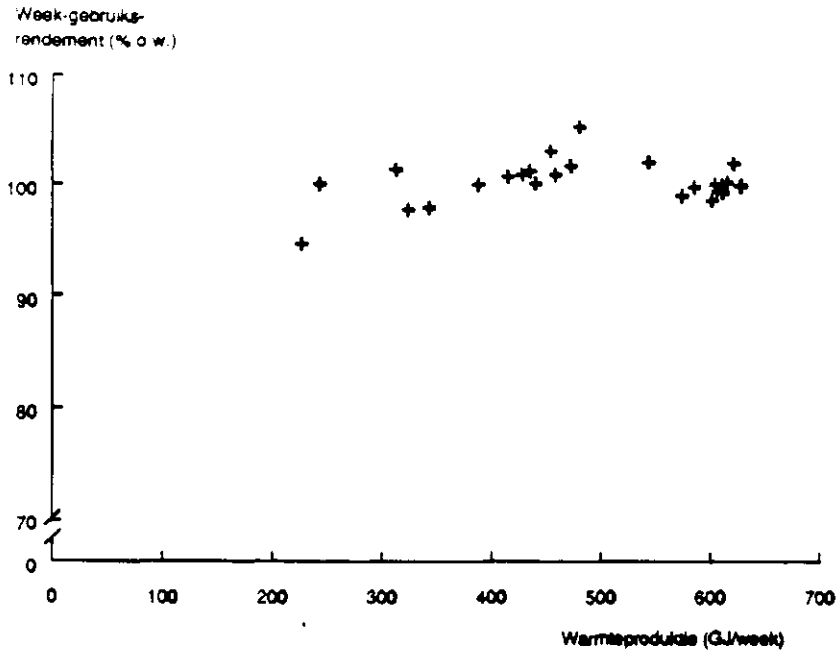


Figuur b22.2 Relatie gasverbruik en warmteproduktie per week bij bedrijf 4.1

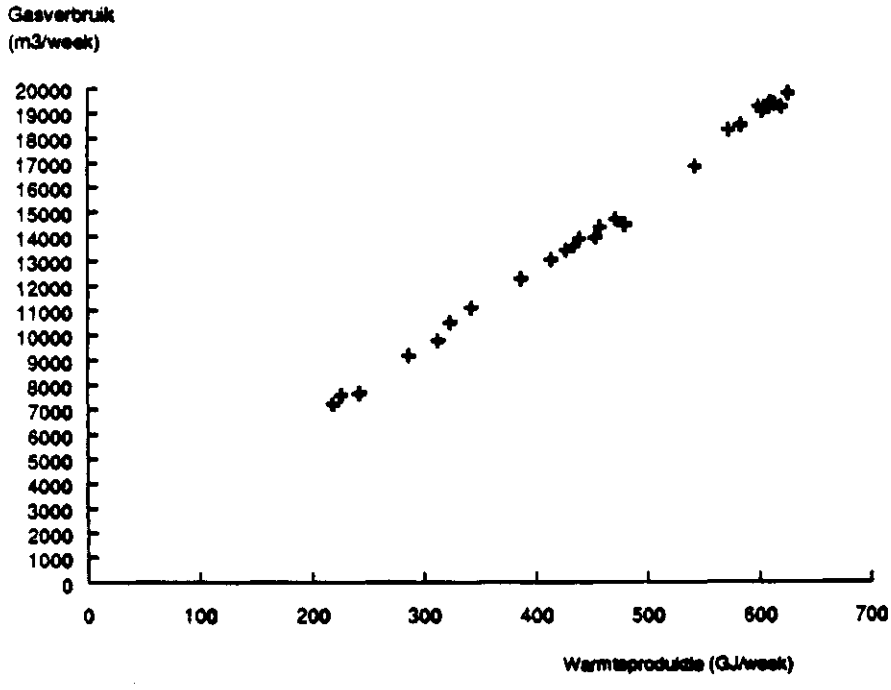


Figuur b22.3 Verband gebruiksrendement tweede sectie combicondensor en warmteproduktie gehele installatie per week bij bedrijf 4.1

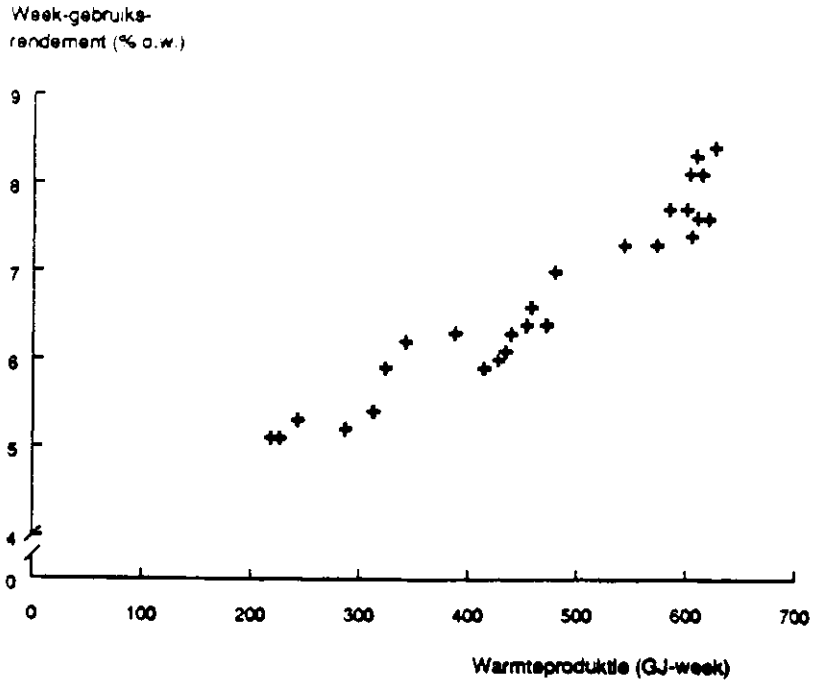
Bijlage 23 Figuren bedrijf 4.2



Figuur b23.1 Verband gebruiksrendement en warmteproduktie per week bij bedrijf 4.2.

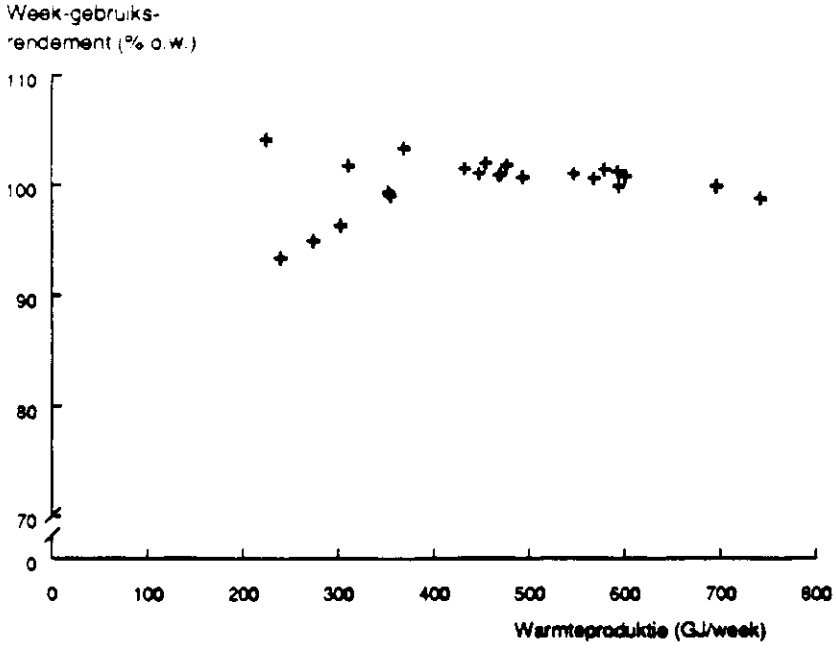


Figuur b23.2 Relatie gasverbruik en warmteproduktie per week bij bedrijf 4.2

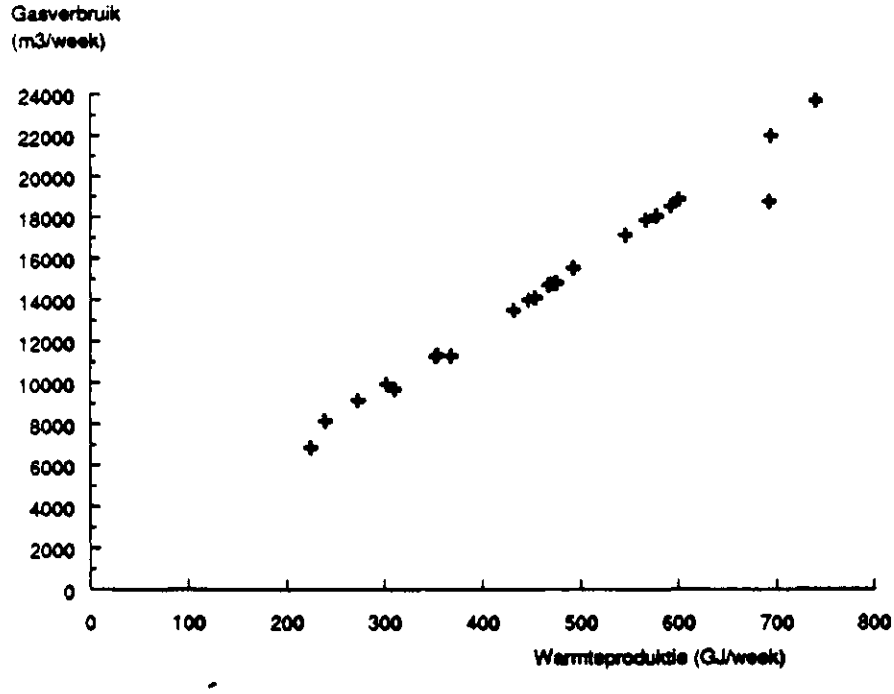


Figuur b23.3 Verband gebruiksrendement tweede sectie combicondensor en warmteproduktie gehele installatie per week bij bedrijf 4.2

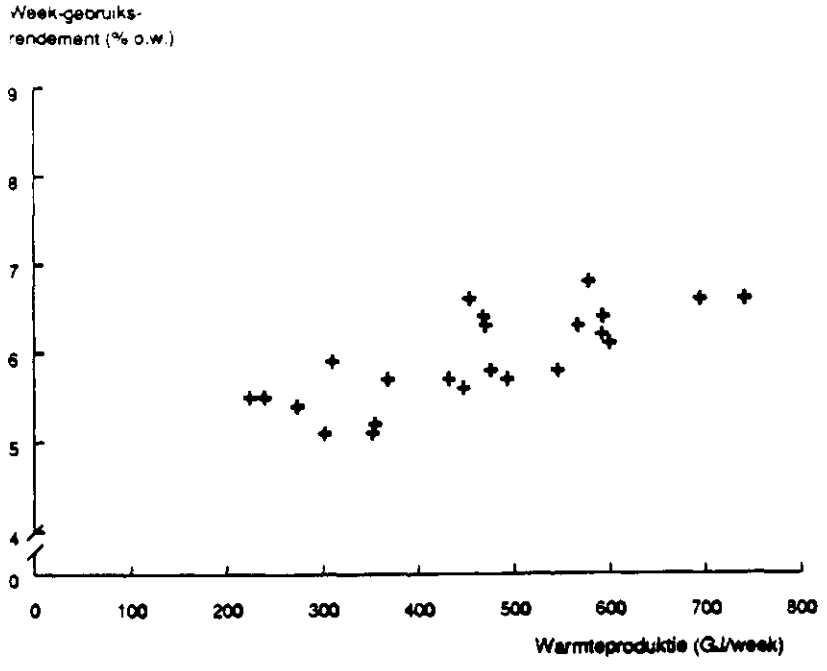
Bijlage 24 Figuren bedrijf 4.3



Figuur b24.1 Verband gebruiksrendement en warmteproduktie per week bij bedrijf 4.3



Figuur b24.2 Relatie gasverbruik en warmteproduktie per week bij bedrijf 4.3



Figuur b24.3 Verband gebruiksrendement tweede sectie combicondensor en warmteproduktie gehele installatie per week bij bedrijf 4.3

Bijlage 25 Berekende jaargebruiksrendementen van de stookinstallaties per bedrijf bij volledig gas, gelijke bedrijfsomstandigheden en normatieve vaste verliezen bij verschillende isolatiediktes en incl expansievat (% o.w.) 1)

bedr. nr.	isolatiedikte ketel (cm)		
	4	6	8
1.1	86,9	88,9	90,0
1.2	89,9	91,1	93,3
1.3	90,0	92,2	93,3
gem. type 1	88,9	91,1	92,2
2.1	91,3	93,5	94,7
2.2	96,8	99,3	100,6
2.3	96,8	99,4	100,7
gem. type 2	95,0	97,4	98,7
3.1	94,6	97,0	98,2
3.2	93,3	95,6	96,9
3.3	98,8	101,5	102,9
gem. type 3	95,6	98,0	99,3
4.1	100,1	102,8	104,2
4.2	97,7	100,3	101,7
4.3	97,2	99,8	101,1
gem. type 4	98,3	100,1	102,3

1) warmte-intensiteit = 50 m^3 a.e./m^2
(a.e. = aardgasequivalent (31,65 MJ))
benodigde capaciteit van de stookinstallatie = 240 W/m2
capaciteit van de stookinstallatie = 3 MW

Bijlage 26 Berekende jaargebruiksrendementen van de stookinstallaties per bedrijf bij pieklast-gas en het verschil t.o.v. volledig gasstook bij verschillende isolatiediktes (% o.w.) 1)

bedr. nr.	rendement pieklast gas			verschil t.o.v. volledig gas		
	isolatiedikte ketel (cm)			isolatiedikte ketel (cm)		
	4	6	8	4	6	8
1.1	75,0	80,3	83,2	11,9	8,6	6,7
1.2	77,2	82,9	86,0	12,7	9,2	7,2
1.3	77,3	83,0	86,1	12,7	9,3	7,2
2.1	78,2	84,0	87,3	13,0	9,5	7,4
2.2	82,2	88,7	92,3	14,5	10,6	8,4
2.3	82,3	88,7	92,3	14,6	10,7	8,4
3.1	80,6	86,8	90,3	13,9	10,2	8,0
3.2	79,7	85,7	89,1	13,6	9,9	7,8
3.3	83,7	90,4	94,2	15,1	11,1	8,7
4.1	84,6	91,4	95,3	15,5	11,4	8,9
4.2	82,9	89,5	93,2	14,8	10,9	8,5
4.3	82,6	89,1	92,7	14,7	10,7	8,4

1) warmte-intensiteit = 50 m^3 a.e./m^2
(a.e. = aardgasequivalent (31,65 MJ))
benodigde capaciteit van de stookinstallatie = 240 W/m^2
capaciteit van de stookinstallatie = 3 MW
dekking jaarlijkse warmtebehoefte door alternatieve bron = 70%
vaste verliezen incl. expansievat

Bijlage 27 Gasbesparing door alternatieve warmtebron en het verschil t.o.v. de warmtedekking per bedrijf bij verschillende isolatiediktes (% per jaar) 1)

bedr. nr.	gasbesparing			verschil t.o.v. de dekking		
	isolatiedikte ketel (cm)			isolatiedikte ketel (cm)		
	4	6	8	4	6	8
1.1	65,2	66,8	67,6	4,8	3,2	2,4
1.2	65,1	66,7	67,5	4,9	3,3	2,5
1.3	65,1	66,7	67,5	4,9	3,3	2,5
2.1	65,0	66,6	67,4	5,0	3,4	2,6
2.2	64,7	66,4	67,3	5,3	3,6	2,7
2.3	64,7	66,4	67,3	5,3	3,6	2,7
3.1	64,8	66,5	67,3	5,2	3,5	2,7
3.2	64,9	66,5	67,4	5,1	3,5	2,6
3.3	64,6	66,3	67,2	5,4	3,7	2,8
4.1	64,5	66,3	67,2	5,5	3,7	2,8
4.2	64,6	66,4	67,3	5,4	3,6	2,7
4.3	64,7	66,4	67,3	5,3	3,6	2,7

1) warmte-intensiteit = 50 m^3 a.e./m^2
(a.e. = aardgasequivalent (31,65 MJ))
benodigde capaciteit van de stookinstallatie = 240 W/m^2
capaciteit van de stookinstallatie = 3 MW
dekking jaarlijkse warmtebehoefte door alternatieve bron = 70%
vaste verliezen incl. expansievat