

LAAGWAARDIGE WARMTE IN DE GLASTUINBOUW
EEN BEDRIJFSECONOMISCHE EVALUATIE



SIGN: L 28-57
EX. NO: C
MLV:

November 1989

Landbouw-Economisch Instituut
Afdeling Tuinbouw

REFERAAT

LAAGWAARDIGE WARMTE IN DE GLASTUINBOUW; EEN BEDRIJFSECONOMISCHE EVALUATIE

Velden, N.J.A. van der

Den Haag, Landbouw-Economisch Instituut, 1989

Onderzoekverslag 57

ISBN 90-5242-048-3

124 p., 72 tab, 7 fig.

In dit onderzoek wordt berekend wat de laagwaardige warmte maximaal mag kosten om een gelijkblijvend bedrijfsresultaat te realiseren (equivalentieprijs). Laagwaardige warmte is afkomstig van alternatieve warmtebronnen zoals rest- en afvalwarmte en de warmtepomp. Voor aanwending in kassen moet het verwarmingssysteem worden aangepast. Dit brengt hogere investeringen en extra kosten met zich mee. Ook kan lichtverlies en arbeidskundige problemen het gevolg zijn. Bovendien brengt een nieuw verwarmingssysteem risico's voor de produktie met zich mee.

Het onderzoek is gedaan voor meerdere watertemperaturen, typen verwarmingssystemen en bedrijfstypen (warmte-intensiteit, rookgascondensor, CO₂-dosering enz.).

De equivalentieprijs neemt sterk af bij een lagere watertemperatuur. Een hoger benodigd warmteleverend vermogen, een lagere warmte-intensiteit, CO₂-dosering, het gebruik van een rookgascondensor of snellere verwarmingssystemen, lichtverlies en een lager ketelrendement heeft eveneens een negatieve invloed op de equivalentieprijs.

Glastuinbouw/Energie/Alternatieve energiebronnen/Laagwaardige warmte/Lage temperatuur energie/Nederland

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Velden, N.J.A. van der

Laagwaardige warmte in de glastuinbouw : een bedrijfseconomische evaluatie / N.J.A. van der Velden. - Den Haag : Landbouw-Economisch Instituut. - Ill., fig., tab. - (Onderzoekverslag / Landbouw-Economisch Instituut ; 57)

Met lit. opg.

ISBN 90-5242-048-3

SISO 637.2 UDC 620.92:635.017 NUGI 835

Trefw.: alternatieve energie ; glastuinbouw.

Overname van de inhoud toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.

Inhoud

	Blz.
WOORD VOORAF	5
SAMENVATTING	7
1. INLEIDING	12
2. METHODE VAN ONDERZOEK	15
3. GEBRUIKSRENDEMENTEN EN GASBESPARINGEN	
3.1 Inleiding	18
3.1.1 Begrippen	18
3.1.2 Opzet van het onderzoek	18
3.2. Resultaten	20
3.2.1 Situatie bij DENAR-kas	20
3.2.1.1 Weekgebruiksrendementen	20
3.2.1.2 Jaargebruiksrendement	23
3.2.1.3 Optimale ketelcapaciteit	23
3.2.1.4 Warmte-intensiteit	24
3.2.2 Gebruik gasketel voor de pieklast	25
3.2.2.1 Optimale ketelcapaciteit	25
3.2.2.2 Niet optimale ketelcapaciteit	29
3.2.3 Gebruiksrendement en condensortype	32
4. INVESTERINGEN EN JAARKOSTEN	
4.1 Opzet van het onderzoek	38
4.1.1 Inleiding	38
4.1.2 Buisverwarming	39
4.1.3 Tablet- en vloerverwarming	41
4.2 Buisverwarming	43
4.2.1 Uitvoering verwarmingssystemen	43
4.2.1.1 Laag vermogen	43
4.2.1.2 Hoog vermogen	45
4.2.2 Resultaten	48
4.2.2.1 Laag vermogen	48
4.2.2.2 Hoog vermogen	57
4.3 Tablet- en vloerverwarming	59
4.3.1 Uitvoering verwarmingssystemen	59
4.3.1.1 Laag vermogen	59
4.3.1.2 Hoog vermogen	61
4.3.2 Resultaten	63
4.3.2.1 Laag vermogen	63
4.3.2.2 Hoog vermogen	66

INHOUD (vervolg)

	Blz.
5. EQUIVALENTIEPRIJZEN	
5.1 Inleiding	70
5.2 Buisverwarming	71
5.2.1 Uitgangspunten	71
5.2.1.1 Laag vermogen	71
5.2.1.2 Hoog vermogen	73
5.2.2 Resultaten	74
5.2.2.1 Laag vermogen	74
5.2.2.2 Hoog vermogen	80
5.3 Tablet- en vloerverwarming	83
5.3.1 Uitgangspunten	83
5.3.1.1 Laag vermogen	83
5.3.1.2 Hoog vermogen	85
5.3.2 Resultaten	87
5.3.2.1 Laag vermogen	87
5.3.2.2 Hoog vermogen	93
6. CONCLUSIES	
6.1 Gebruiksrendementen en gasbesparingen	97
6.2 Investerings- en jaarkosten	97
6.3 Equivalentieprijzen	99
LITERATUUR	101
BIJLAGEN	104

Woord vooraf

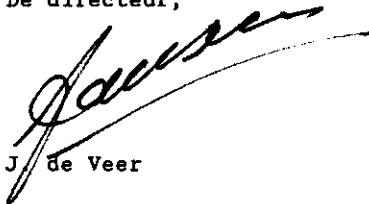
De Nederlandse glastuinbouw heeft gedurende de laatste decennia voor het verwarmen van de kassen een hoogwaardige technologie ontwikkeld. De meeste bedrijven gebruiken aardgas als brandstof.

Alternatieve energiebronnen kunnen de brandstofkosten verminderen. Macro-economisch kunnen alternatieven een bijdrage leveren aan brandstofdiversificatie en aan energiebesparing. Dit laatste brengt een verlaging van de milieu-belasting met zich mee.

Een aantal alternatieven zoals rest- en afvalwarmte en de warmtepomp levert energie in de vorm van warm water met een lage temperatuur, ook wel laagwaardige warmte of lage temperatuur energie genoemd. De aanwending hiervan brengt een verandering van de stooktechniek met zich mee. Het verwarmingssysteem zal moeten worden aangepast hetgeen een kostenverhoging betekent. Tevens brengt een nieuwe stooktechniek zowel voor de kwaliteit als voor de kwantiteit van de produktie risico's met zich mee.

In dit onderzoek, dat aansluit bij eerdere studies van het Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen, de proefstations te Aalsmeer en Naaldwijk, het Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek en door DENAR-kas, wordt het kostenaspect voor het aangepaste verwarmingssysteem gekwantificeerd. Hierbij worden de duurzame produktiemiddelen en de brandstofkosten in beschouwing genomen.

De directeur,



Den Haag, november 1989

J. de Veer

Samenvatting

Inleiding

In de Nederlandse glastuinbouw wordt de benodigde warmte voor het verwarmen van de kassen meestal geproduceerd met een aardgasgestookte ketel. De warmte wordt in de kas afgegeven door een net van stalen verwarmingsbuizen met een diameter van 51 mm. De temperatuur van het water in het verwarmingsnet bedraagt maximaal 90 °C en de afkoeling in het verwarmingsnet (ΔT) maximaal 15-20 °C.

In de toekomst zal het aanbod van water met een lagere temperatuur, ook wel laagwaardige warmte of lage temperatuur energie genoemd, groter worden. Deze warmte kan afkomstig zijn van elektriciteitscentrales, industrie, warmtepompen enzovoort. Bij aanwending van laagwaardige warmte moet, om voldoende verwarmingscapaciteit te behouden, het verwarmend oppervlak (v.o) ofwel het aantal verwarmingsbuizen worden vergroot. Ook kunnen andere typen verwarmingsbuizen worden gebruikt. Dit kan nodig zijn ter compensatie van de traagheid van het verwarmingssysteem die het gebruik van laagwaardige warmte met zich mee brengt. Bij de teelt op tabletten of op de vloer kan laagwaardige warmte in tablet- of vloerverwarmingssystemen worden aangewend. Een aangepast verwarmingssysteem veroorzaakt hogere investeringen en jaarkosten. Ook kunnen lichtverlies en arbeidskundige problemen het gevolg zijn.

Naast de hoge investeringen in het verwarmingssysteem brengt de laagwaardige warmtebron zelf eveneens hoge investeringen met zich mee. In de praktijk worden deze warmtebronnen daarom meestal voor de basislast van de warmtebehoefte ingezet. De hoogte van de investeringen wordt daardoor beperkt en toch kan een groot deel van warmtebehoefte worden gedekt. Hierdoor krijgen we te maken met twee afzonderlijke verwarmingsnetten, een laagwaardige basislast-net dat wordt gevoed door de laagwaardige warmtebron en een pieklast-net dat is aangesloten op de ketel. Het gebruik van de gasketel voor de pieklast heeft een negatieve invloed op het rendement waardoor de gasbesparing lager is dan de warmtedekking door de alternatieve warmtebron.

Aanwending van laagwaardige warmte brengt grote veranderingen in het verwarmingssysteem en de stooktechniek met zich mee. Een nieuwe stooktechniek brengt zowel voor de kwantiteit als voor de kwaliteit van de produktie risico's met zich mee. Door het aangaan van de risico's en de extra kosten van het verwarmingssysteem, het lagere rendement van de ketel en eventueel lichtverlies en arbeidskundige problemen zal de laagwaardige warmte goedkoper moeten zijn dan aardgas.

Methode

In dit onderzoek wordt berekend wat de laagwaardige warmte maximaal mag kosten om een gelijkblijvend bedrijfsresultaat te realiseren. Deze prijs wordt de equivalentieprijs genoemd. Hier-voor is een bedrijfseconomische vergelijking gemaakt tussen een bedrijf dat volledig met aardgas in de warmtebehoefte voorziet en een bedrijf dat de basislast met laagwaardige warmte voorziet en de pieklast met de gasketel verzorgt. De duurzame produktiemid-delen en de brandstofkosten zijn in het onderzoek betrokken. De arbeidskundige aspecten en de risico's voor de produktie zijn buiten beschouwing gelaten.

De vergelijking is gemaakt voor verschillende typen verwar-mingssystemen, meerdere laagwaardige watertemperaturen en een aantal in de praktijk voorkomende bedrijfssituaties zowel bij een laag als bij een hoog benodigd warmteleverend vermogen (180 en 240 W/m²). Het gebruik van een condensor, het type condensor, de hoogte van de warmte-intensiteit, het doseren van CO₂, het ge-bruik van een buisrailtransportsysteem en het extra lichtverlies door het aangepaste verwarmingssysteem zijn de bedrijfssituaties die van belang zijn. Ook is de gevoeligheid voor de gasprijs, de warmtedekking en het gasketelrendement bepaald.

Voor het maken van de bedrijfseconomische vergelijking is inzicht nodig in de gasbesparing door de laagwaardige warmtebron, het ketelrendement bij volledig gasstook en de jaarkosten van de verwarmingssystemen. Deze aspecten zijn gekwantificeerd en ver-volgens is de bedrijfseconomische vergelijking gemaakt.

Ketelrendementen en gasbesparingen

De ketelrendementen en gasbesparingen zijn berekend met ge-gevens van DENAR-kas en resultaten van onderzoek naar gasbespa-ringen door de verschillende condensortypen.

Het rendement van de gasketel is afhankelijk van de warm-te-intensiteit, het benodigd warmteleverend vermogen, de over-capaciteit en het gebruik van een condensor en het type conden-sor. Bij een hogere warmte-intensiteit en het gebruik van een condensor is het rendement hoger en bij een hoger vermogen en een grotere overcapaciteit is het rendement lager. Het rendement van een gasketel bij volledig gasstook in de situatie zonder conden-sor, een warmteleverend vermogen van 180 W/m² en een overcapaci-teit van 20% is afhankelijk van de warmte-intensiteit berekend op 90-93% (o.w.). Bij een enkelvoudige condensor op de retour is dit 95-98%, bij een enkelvoudige condensor op een apart net 101-105% en bij een combicondensor 106-110%.

Het verschil tussen de gasbesparing en de warmtedekking is afhankelijk van de warmte-intensiteit, het benodigd warmtelever-end vermogen, de overcapaciteit en de hoogte van de dekking. Bij een benodigd warmteleverend vermogen van 180 W/m², een overcapa-citeit van 20%, een warmte-intensiteit van 50 m³ a.e./m² en een

dekking van 70% bedraagt het verschil 2,5%. Een hogere warmte-intensiteit en een lagere dekking geeft een kleiner verschil en een groter benodigd vermogen en een grotere overcapaciteit geeft een groter verschil.

Investerings

Bij de verwarmingssystemen wordt onderscheid gemaakt tussen buisverwarming en tablet- en vloerverwarming. Bij de buisverwarmingssystemen worden de extra kosten van het verwarmingssysteem toegerekend aan het gebruik van laagwaardige warmte. Tablet- en vloerverwarmingssystemen kunnen naast het gebruik als verwarmingssysteem ook gebruikt worden als eb/vloed watergeefstelsel. Tevens kan met tabletverwarming bij bepaalde gewassen een teeltversnelling worden bereikt en vloerverwarming kan arbeidskundige voordelen met zich meebrengen. Om de marges aan te geven worden de extra kosten zowel volledig als geheel niet toegerekend aan het gebruik van laagwaardige warmte.

Bij buisverwarming zijn de stalen 51 mm buis, de 25 mm polyethyleen (p.e.) slang, de stalen 28 mm buis en de gevinde aluminium buizen 22-70 mm en 22-50 mm in beschouwing genomen. De drie laatste zijn snellere typen verwarmingsbuizen. Voor alle buistypen is een reeks van gemiddelde watertemperaturen aflopend tot ongeveer 30 °C in beschouwing genomen.

Bij tabletverwarming zijn de polystyreen bodem met polypropyleen slangen (type a), de aluminium eb/vloed bodem met aluminium buizen (type b), de aluminium bodem met poly-ethyleen slangen (type c) en de kunststof bodem met poly-ethyleen slangen (type d) in beschouwing genomen. Met vloerverwarming wordt de verwarmde betonvloer bedoeld. Voor deze verwarmingssystemen is een temperatuur van 30 °C en van 40 °C in beschouwing genomen.

De investeringen in een buisverwarmingssysteem waarin laagwaardige warmte wordt aangewend nemen exponentieel toe naarmate de watertemperatuur lager is. Bij stalen 51 mm buizen voor zowel het basis- als het pieklast-net in de situatie met een laag vermogen en zonder gebruik van laagwaardige condensorwarmte lopen de investeringen op van f 21,75 bij een gemiddeld watertemperatuur van 55 °C tot f 35,25/m² bij 28 °C. Poly-ethyleen slangen in het basislast-net veroorzaken lagere investeringen. De snellere typen verwarmingsbuizen brengen aanzienlijk hogere investeringen met zich mee.

De extra jaarkosten lopen bij stalen 51 mm buizen in het basislast-net en indien er geen extra lichtverlies ontstaat op van f 0,95 bij 55 °C tot f 2,48/m² bij 28 °C. Ook in jaarkosten is poly-ethyleen goedkoper al is het verschil minder groot dan bij de investeringen. De snellere verwarmingsbuizen in basislast brengen de hoogste extra jaarkosten met zich mee. Hiervan zijn de jaarkosten van de gevinde aluminium buizen het hoogst en lopen op tot boven de f 4,- per m².

Bij gebruik van snelle verwarmingsbuizen in het pieklast- in plaats van in het basislast-net zijn de investeringen en extra jaarkosten ook hoger. Een snel pieklast-net is bij lagere watertemperaturen (onder de 45 °C) echter goedkoper dan een snel basislast-net. Dit geldt zowel in de situatie met een laag als met een hoog vermogen.

In de situaties waarin naast laagwaardige warmte van een alternatieve bron ook laagwaardige warmte van een condensor wordt gebruikt liggen de investeringen hoger. Het laagwaardige net is immers groter. De extra jaarkosten zijn in deze situatie echter niet altijd hoger. Dit wordt veroorzaakt doordat het verwarmingssysteem waarin laagwaardige warmte van een alternatieve bron wordt aangewend vergeleken moeten worden met een verwarmingssysteem inclusief een condensor net.

De investeringen in een verwarmingssysteem waarin laagwaardige warmte wordt aangewend in een verwarmde tabletbodem lopen in de situatie met een laag vermogen en een gemiddelde watertemperatuur van 40 °C uiteen van f 72,25 tot f 85,- per m² kas. De extra jaarkosten lopen uiteen van f 0,58 tot f 4,28 per m². Bodemtype a brengt de laagste en bodemtype b de hoogste investeringen en extra jaarkosten met zich mee.

Bij een verwarmde betonvloer bedragen de investeringen in de situatie met een laag vermogen en een watertemperatuur van 40 °C f 65,- en de extra jaarkosten f 5,33 per m² kas.

Bij een lagere watertemperatuur zijn de extra jaarkosten zowel bij tablet- als betonvloerverwarming hoger. Indien gebruik wordt gemaakt van laagwaardige condensorwarmte zijn de extra jaarkosten iets lager.

Bij een hoog vermogen zijn de extra jaarkosten zowel bij buis- als bij tablet- en betonvloerverwarming hoger.

Indien uitbreiding van het verwarmingssysteem extra lichtverlies met zich meebrengt nemen de extra jaarkosten zowel bij buis- als bij tablet- en vloerverwarming zeer sterk toe. Bij een extra stalen 51 mm buis boven het gewas en een geldopbrengst van f 60,-/m².jaar zijn de extra jaarkosten f 1,50 per buis per 3,20 m kap hoger.

Equivalentieprijzen

Zowel bij buisverwarming als bij tablet- en vloerverwarming neemt de equivalentieprijs sterk af bij een lagere watertemperatuur. Bij gebruik van de stalen 51 mm buis als laagwaardig basislast-net neemt de equivalentieprijs in de situatie zonder condensor, een warmte-intensiteit van 50 a.e./m².jaar, geen extra lichtverlies en een gasprijs van 20 cent/m³ (basissituatie) en een laag vermogen af van 18,1 cent bij een watertemperatuur van 55 °C tot 13,2 cent/m³ a.e. bij 28 °C. Dit betekent dat in deze situatie laagwaardige warmte met een gemiddeld temperatuur van 55 °C minimaal 1,9 en van 28 °C 6,8 cent goedkoper moet zijn dan aardgas. Bij gebruik van poly-ethyleen (p.e.) slangen liggen de

equivalentieprijsen iets hoger.

Bij gebruik van snellere typen verwarmingsbuizen in basislast liggen de equivalentieprijsen aanzienlijk lager. Dit betekent dat indien de traagheid van het verwarmingssysteem die het gebruik van laagwaardige warmte met zich meebrengt gecompenseerd moet worden met een sneller type verwarmingsbuis de laagwaardige warmte aanzienlijk minder waarde heeft. Het gebruik van een snel pieklast-net geeft eveneens lagere equivalentieprijsen. Bij de lagere watertemperaturen (onder de 45 °C) zijn de equivalentieprijsen bij een snel pieklast-net echter hoger dan bij een snel basislast-net.

Bij tabletverwarming geeft bodemtype a de hoogste equivalentieprijsen en bodemtype d de laagste. In de basissituatie bij een gemiddelde watertemperatuur van 40 °C bedraagt de equivalentieprijs respectievelijk 19,0 en 7,8 cent. Bij de aanwending van laagwaardige warmte in een verwarmde betonvloer is dit 6,0 cent.

Indien bij tablet- of vloerverwarming de extra kosten van het aangepaste verwarmingssysteem niet toegerekend worden aan het gebruik van laagwaardige warmte is het verschil tussen de equivalentieprijs en de gasprijs aanzienlijk kleiner en soms zelfs in het voordeel van laagwaardige warmte. In de situatie zonder condensor bedraagt de equivalentieprijs bij bodemtype b en een watertemperatuur van 40 °C 20,3 en in de situatie met een combicondensor 17,2 cent per m³ a.e. Dit betekent dat indien een tablet- of vloerverwarmingssysteem om andere redenen reeds gebruikt wordt op een glastuinbouwbedrijf de laagwaardige warmte voor deze bedrijven een grotere waarde heeft.

Zowel bij buis- als bij tablet- en vloerverwarming is de equivalentieprijs in de situatie met een rookgascondensor, een lagere warmte-intensiteit, het niet realiseren van de theoretische dekking lager en met een hogere warmte-intensiteit, een lager gasketelrendement en geen CO₂-dosering hoger dan in de basissituatie. De invloed van de condensor en de warmte-intensiteit is hierbij het grootst.

Indien het aangepaste verwarmingssysteem lichtverlies veroorzaakt dalen de equivalentieprijsen zeer sterk. De aanpassing van het verwarmingssysteem moet daarom zodanig worden uitgevoerd dat er geen lichtverlies veroorzaakt wordt. De berekeningen bij een hoog vermogen geven hetzelfde beeld te zien als bij een laag vermogen, de equivalentieprijsen liggen echter op een lager niveau.

Bij een hogere gasprijs wordt zowel bij buis- als bij tablet- en vloerverwarming in de situatie zonder condensor het verschil tussen de gasprijs en de equivalentieprijs kleiner en in de situatie met een condensor groter.

1. Inleiding

De Nederlandse glastuinbouw heeft gedurende de laatste decennia voor het verwarmen van de kassen een hoogwaardige technologie ontwikkeld. Op de meeste bedrijven wordt de benodigde warmte geproduceerd met een aardgasgestookte ketel. In de kas wordt de warmte afgegeven door een verwarmingsnet dat meestal bestaat uit stalen 51-mm buizen. Het verwarmingswater waarmee de warmte van de ketel naar het net wordt getransporteerd heeft een hoge temperatuur van maximaal 90 °C en een kleine delta T. Dit laatste wil zeggen dat het verschil in temperatuur tussen het warme water dat in de kas komt en er uit gaat maximaal slechts 15-20 °C bedraagt. De hoogte van de temperatuur en de grootte van de delta T zijn afhankelijk van de weersomstandigheden en de behoefte van het gewas. Met een hoge watertemperatuur en een kleine delta T kan snel gereageerd worden op veranderende omstandigheden. Dit is van belang voor het creëren van het juiste kasklimaat.

In combinatie met de ketel wordt vaak een rookgascondensor gebruikt. De rookgassen die ontstaan bij het verbranden van aardgas worden hiermee verder afgekoeld. Door het gebruik van een condensor wordt de brandstof met een hoge efficiëntie verstoekt. Daarnaast worden de rookgassen gebruikt voor het doseren van CO₂ bij het gewas.

Voor het aanwenden van de warmte uit de condensor wordt afhankelijk van het type condensor een extra verwarmingsnet gebruikt. Dit net heeft een lagere temperatuur. In de toekomst zal de Nederlandse tuinder waarschijnlijk meer te maken krijgen met een aanbod van warmte in de vorm van warm water met een lage temperatuur, ook wel lage temperatuur energie of laagwaardige warmte genoemd. De warmte kan afkomstig zijn van buiten het tuinbouwbedrijf (afstandsverwarming) zoals elektriciteitscentrales, industrie, aardwarmte enz. De laagwaardige warmte kan ook geproduceerd worden op het tuinbouwbedrijf door bijvoorbeeld een warmtepomp. Het kan aantrekkelijk zijn het aangeboden warme water verder af te koelen dan tot nu toe gebruikelijk is. Dit zou eveneens tot gevolg hebben dat de gemiddelde temperatuur van het verwarmingswater lager wordt dan gebruikelijk.

Voor het verwarmen van de kassen met water van een lagere temperatuur moet om voldoende verwarmingscapaciteit te behouden het verwarmingssysteem worden aangepast. De aanpassing kan bestaan uit het vergroten van het verwarmend oppervlak (v.o.) en uit het vergroten van de luchtstroming langs het v.o. (luchtverwarming). Verwarmingstechnisch biedt dit laatste waarschijnlijk goede mogelijkheden. Teelt-technisch bestaan er echter nogal wat onduidelijkheden. In de praktijk tekent zich duidelijk een ontwikkeling af waarbij men overschakelt van luchtverwarming naar

buisverwarming. Dit wordt onder andere gedaan als gevolg van teelt-technische problemen. In dit onderzoek wordt het gebruik van luchtverwarming daarom buiten beschouwing gelaten.

Het vergroten van het v.o. houdt in dat het aantal verwarmingsbuizen moet worden uitgebreid. Ook kunnen andere verwarmingsnetten worden gebruikt zoals kunststof slangen, dunnere stalen buizen, gevinde aluminium buizen en tablet- en vloerverwarming. De keuze van een ander verwarmingsnet kan nodig zijn daar het gebruik van laagwaardige warmte of het realiseren van een grote delta T het verwarmingssysteem trager maakt. Met de dunnere stalen en de gevinde aluminium buizen kan sneller worden gerealiseerd op veranderende omstandigheden. Uitbreiding van het aantal buizen of het gebruik van andere typen verwarmingsnetten heeft tot gevolg dat de investeringen in het verwarmingssysteem en de jaarkosten (afschrijving, rente en onderhoud) hoger worden. Daarnaast kan een aangepast verwarmingssysteem ook arbeidskundige problemen en lichtverlies en daarmee opbrengstreductie veroorzaken.

Naast de hogere investering in het aangepaste verwarmingssysteem brengt een alternatieve laagwaardige warmtebron-zelf eveneens hoge investeringen met zich mee. Een warmtepomp is aanzienlijk duurder dan een gasketel en voor het gebruik van afstandsverwarming moeten dure transportleidingen worden aangelegd. In de praktijk worden deze warmtebronnen dan ook meestal voor de basislast van de warmtebehoefte ingezet. De hoogte van de investering wordt dan sterk beperkt en door de laagwaardige warmtebron kan toch een groot deel van de jaarlijkse warmtebehoefte worden gedekt. De resterende warmtevraag, ook wel de pieklast genoemd, wordt door de gasketel geleverd. De CO₂-behoefte kan eveneens door de gasketel worden verzorgd.

Door het gebruik van laagwaardige warmte in basislast krijgen we te maken met twee afzonderlijk verwarmingsnetten. Het basislast-net dat het eerst in werking komt en het laatst uit gaat heeft een lage temperatuur en is aangesloten op de laagwaardige warmtebron. Het pieklast-net heeft een hoge temperatuur en is aangesloten op de gasketel. De verwarmingsnetten moeten volledig gescheiden blijven omdat de laagwaardige warmtebron anders geen warmte kan leveren. Naast de extra investeringen in het verwarmingsnet in de kas ontstaan ook extra investeringen door de dubbele uitvoering van de transportleidingen, verdeelstukken, menggroepen en de regeling.

Aanwending van de gasketel voor de pieklast heeft als gevolg dat het gebruiksrendement van de ketel lager wordt. De ketel heeft daardoor meer aardgas nodig voor het produceren van een bepaalde hoeveelheid warmte. Dit heeft tot gevolg dat de gasbesparing door de laagwaardige warmtebron in basislast lager is dan het aandeel in de jaarlijkse warmtevraag.

Indien ook door de condensor laagwaardige warmte wordt geproduceerd hebben we te maken met twee laagwaardige warmtebronnen. De laagwaardige warmte van de condensor zal samen met de

laagwaardige warmte van de alternatieve bron in één laagwaardig verwarmingsnet in de kas moeten worden aangewend. De kosten voor een eventueel tweede laagwaardig warmte-net worden anders te hoog en het niet gebruiken van de laagwaardige warmte van de condensor brengt eveneens een verhoging van de kosten met zich mee. In de praktijk wordt dit bij gebruik van de warmtepomp als alternatieve laagwaardige warmtebron eveneens op deze wijze gedaan (Benninga, 1987a).

Toepassing van laagwaardige warmte brengt grote veranderingen in het verwarmingssysteem met zich mee. Stoken met een verwarmingsnet met een lagere temperatuur, een grotere delta T en twee afzonderlijke verwarmingsnetten met een verschillende temperatuur vraagt om een nieuwe stooktechniek. Al deze veranderingen hebben invloed op het creëren van het juiste kasklimaat. Een nieuwe stooktechniek brengt voor zowel de kwantiteit als de kwaliteit van de produktie risico's met zich mee. Door het aangaan van de risico's en de extra kosten van het aangepaste verwarmingssysteem, het lagere gebruiksrendement van de gasketel en eventueel lichtverlies en arbeidskundige problemen zal het gebruik van laagwaardige warmte gepaard moeten gaan met een lagere prijs dan de aardgasprijs.

De doelstelling van dit onderzoek is kwantitatief inzicht te verkrijgen in de extra kosten die het gebruik van laagwaardige warmte met zich meebrengt. Hiermee wordt bepaald in welke mate laagwaardige warmte goedkoper moet zijn dan het aardgas waarmee op het merendeel van de bedrijven in de warmtevraag wordt voorzien.

Bij de glastuinbouw proefstations te Aalsmeer en Naaldwijk, het IMAG, het CABO en DENAR-kas werd en wordt onderzoek uitgevoerd naar de toepassing van laagwaardige warmte in de glastuinbouw. Hier zijn de technische en teelttechnische aspecten onderwerp van onderzoek. De resultaten van en de opgedane ervaringen bij het onderzoek van deze instellingen (Braak, 1984; Koning, 1986a, 1986b; Nawrocki, 1985a, 1985b; Post, 1987; Torre, 1987; Verwaaijen, 1987; Vogelesang, 1985; Weel, 1984) zijn gebruikt bij het hier beschreven technisch-economisch onderzoek.

In Nederland is het aantal bedrijven dat gebruik maakt van een alternatieve laagwaardige warmtebron gering. In dit verband is alleen de warmtepomp van belang. In Denemarken maakt reeds een groot aantal glastuinbouwbedrijven gebruik van laagwaardige warmte. In de Bondsrepubliek is men met een klein aantal projecten gestart. Het betreft in beide landen bijna uitsluitend afstandsverwarming. Door een bezoek aan een aantal projecten is getracht inzicht te krijgen in de toepassing van laagwaardige warmte in genoemde landen. De ervaringen van de studiereis (Velden et al., 1986) zijn eveneens voor dit onderzoek gebruikt.

2. Methode van onderzoek

In dit onderzoek wordt tussen twee alternatieven een bedrijfseconomische vergelijking gemaakt. In het ene alternatief wordt volledig in de warmtebehoefte voorzien met een aardgasgestookte ketel. In het andere alternatief wordt met een laagwaardige warmtebron in de basislast voorzien en met de gasketel de pieklast verzorgd. In de bedrijfseconomische vergelijking wordt met de volgende aspecten rekening gehouden:

1. Het jaargebruiksrendement van de gasketel;
2. De gasbesparing door het gebruik van een alternatieve laagwaardige warmtebron;
3. De investeringen in en de jaarkosten van het verwarmingssysteem;
4. Eventueel lichtverlies door de toename van het aantal verwarmingsbuizen in de kas.

De arbeidskundige aspecten en de risico's voor de produktie door een nieuwe stooktechniek worden niet in beschouwing genomen.

Het deelonderzoek naar de aspecten één en twee wordt uiteenzet in hoofdstuk drie. In dit onderzoek wordt het verschil bepaald tussen het gebruiksrendement van een gasketel die volledig in de warmtebehoefte voorziet en een gasketel die alleen de pieklast verzorgt. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van gegevens van het Demonstratieproject Energiearme Kas (DENAR-kas). Vervolgens wordt de gasbesparing als gevolg van het gebruik van een alternatieve laagwaardige warmtebron berekend.

Tot slot wordt inzicht gegeven in de gebruiksrendementen van aardgasgestookte ketels in combinatie met de verschillende typen rookgascondensators. Hiervoor worden de resultaten van DENAR gecombineerd met resultaten van eerder verricht onderzoek naar de gasbesparingen door de verschillende typen rookgascondensators (Rijssel, 1983a).

In hoofdstuk vier komt het onderzoek naar de aspecten drie en vier aan de orde. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen buisverwarming- en tablet- en vloerverwarmingssystemen. Bij buisverwarming mogen de extra kosten van het aangepaste verwarmingssysteem volledig toegerekend worden aan de aanwending van laagwaardige warmte. Tablet- en vloerverwarmingssystemen kunnen naast gebruik als laagwaardig verwarmingssysteem ook gebruikt worden als watergeefstelsel (eb/vloed). Vloerverwarming waarmee in dit onderzoek betonvloerverwarming wordt bedoeld kan arbeidskundige voordelen met zich mee brengen. Tevens kan met tabletverwarming bij bepaalde gewassen een teeltversnelling worden bereikt. Onderzocht is dit bij de gewassen Saintpaulia (Vogelezang, 1985), Ficus en Schefflera (Vogelezang, et.al., 1988). De extra kosten mogen daarom niet in alle situaties volledig worden toegerekend

aan het gebruik van laagwaardige warmte. Een juiste toerekening van de extra kosten is echter niet goed mogelijk daar de individuele situaties verschillen. Om de marges zichtbaar te maken worden bij tablet- en vloerverwarming de extra jaarkosten van het aangepaste verwarmingssysteem daarom zowel volledig als geheel niet toegerekend aan het gebruik van laagwaardige warmte.

Het resultaat van alle in beschouwing genomen aspecten komt in hoofdstuk 5 aan de orde. In dit deel van het onderzoek wordt bepaald wat de laagwaardige warmte maximaal mag kosten voor een glastuinbouwbedrijf om een gelijkblijvend bedrijfsresultaat te realiseren. Deze prijs wordt de equivalentieprijs genoemd en is gedefinieerd als de prijs die bij de huidige prijs- en technische verhoudingen maximaal betaald mag worden voor 1 m³ aardgas equivalent (a.e.) aan laagwaardige warmte (31,65 MJ) geleverd op het bedrijf (franco). De kosten voor het transport van de warmte naar het tuinbouwbedrijf en de eventuele produktiekosten en kosten van de warmtewisselaar zijn buiten beschouwing gelaten.

De investeringen, jaarkosten en equivalentieprijsen zijn zowel bij buisverwarming als tablet- of vloerverwarming bepaald voor een laag (180 W/m²; kasluchttemperatuur 18 °C) en een hoog (240 W/m²; kasluchttemperatuur 22 °C) maximaal benodigd warmteleverend vermogen. De situatie met een laag vermogen komt bij gebruik van alleen ketelwarmte overeen met vier stalen 51 mm buizen per 3,20 m kap en de situatie met een hoog vermogen met 5 stalen 51 mm buizen per kap.

Bij de buisverwarmingssystemen zijn de investeringen, jaarkosten en equivalentieprijsen zowel bij een laag als bij een hoog vermogen bepaald voor een reeks van laagwaardige watertemperaturen aflopend tot ongeveer 30 °C. Tevens is een aantal verschillende typen verwarmingsbuizen voor het basislast-net in beschouwing genomen. Dit zijn zowel traditionele als snelle typen. De compensatie voor de traagheid van het verwarmingssysteem door het gebruik van laagwaardige warmte kan ook plaats vinden bij het pieklast-net. Voor het pieklast-net zijn daarom ook de snelle typen in beschouwing genomen. Bij de tablet- en vloerverwarmingssystemen zijn voor de laagwaardige warmte de temperaturen 30 en 40 °C in beschouwing genomen. Tevens zijn een aantal typen tabletbodems in beschouwing genomen. Zie voor de buistypen en bodemtypen hoofdstuk 4.

De equivalentieprijsen zijn zowel bij een hoog als een laag benodigd vermogen bepaald voor een aantal bedrijfssituaties. Een van deze situaties is gekozen als basissituatie. Dit is de situatie met een warmte-intensiteit van 50 m³ a.e. per m², met CO₂-dosering, zonder rookgascondensor, zonder lichtverlies en met een gasprijs van 20 cent per m³. Aan deze situatie mag geen bijzondere betekenis worden toegerekend. De andere situaties zijn hiervan afgeleid. De van belang zijn de bedrijfssituaties zijn de warmte-intensiteit (warmtevraag per m² glas), het gebruik van de condensor en het type condensor, het doseren van CO₂ en de mate

van lichtverlies door het aangepaste verwarmingssysteem. Tevens wordt de invloed van de hoogte van de gasprijs getoond.

De dekking van de jaarlijkse warmtevraag door de alternatieve laagwaardige warmtebron is bepaald met de standaard jaarbelastingsduurcurve. De hiermee berekende dekking kan beschouwd worden als de "theoretische dekking". Zowel uit onderzoek als uit de praktijk zijn voorbeelden bekend dat de "theoretische dekking" niet wordt gerealiseerd. De invloed van de hoogte van de dekking zal worden getoond.

Zoals reeds vermeld is het rendement van de gasketel en de gasbesparing berekend met gegevens van DENAR-kas. Dit is een specifieke situatie. Vervolgonderzoek moet meer inzicht geven. De gevoeligheid voor deze parameter is daarom eveneens bepaald.

3. Gebruiksrendementen en gasbesparingen

3.1 Inleiding

3.1.1 Begrippen

Bij het bepalen van de kosten van warmte geproduceerd door een gasketel heeft het rendement een zeer grote invloed. Bekend is dat het gebruiksrendement van een gasketel lager is indien deze voor de pieklast wordt ingezet. Dit heeft tot gevolg dat de gasbesparing door de aanwending van laagwaardige warmte in basislast lager is dan het aandeel van de alternatieve bron in de totale jaarlijkse warmtebehoefte van het tuinbouwbedrijf.

Onder het gebruiksrendement wordt verstaan het aandeel (%) van de toegevoerde energie in de vorm van brandstof dat wordt omgezet in warmte die nuttig wordt aangewend voor het verwarmen van de kassen. Naast het gebruiksrendement bestaat ook een momentaan rendement. Het verschil is dat het momentaan rendement een momentopname is en het gebruiksrendement een gemiddelde waarde is over een bepaalde periode bijvoorbeeld een week of een jaar. We spreken dan van week- of jaargebruiksrendement.

Bij het momentaan rendement zijn niet alle verliezen die ontstaan bij het verstoken van de brandstof in beschouwing genomen. Voorbeelden hiervan zijn stilstandsverliezen en stralingsverliezen. Stilstandsverliezen ontstaan als de ketel geen warmte behoeft te leveren en bestaan voornamelijk uit ventilatieverliezen. De lucht die tijdens stilstand door de ketel ventileert wordt warmer, hierdoor gaat warmte verloren. Stralingsverliezen ontstaan doordat de ketel warmte afgeeft aan de lucht in het ketelhuis. Indien in deze publikatie gesproken wordt over rendementen wordt het gebruiksrendement bedoeld.

In dit onderzoek worden de totale verliezen die optreden bij het verstoken van aardgas in de gasketel verdeeld naar vaste en variabele verliezen. De variabele verliezen zijn afhankelijk en de vaste verliezen onafhankelijk van de warmteproductie van de ketel.

3.1.2 Opzet van het onderzoek

Voor de berekening van het rendement is gebruik gemaakt van gegevens van het Demonstratieproject Energiearme Kas (DENAR-kas). Bij DENAR-kas worden een aantal kasafdelingen met verschillende verwarmingssystemen met elkaar vergeleken. Hierbij wordt onder andere het warmteverbruik in beschouwing genomen. Door de warmteproductie van de gasketel te relateren aan het gasverbruik wordt het gebruiksrendement bepaald. De warmteproductie wordt gemeten over een periode van een week. We spreken hier dus over

weekgebruiksrendementen. Sommatie van de weekgegevens van een geheel jaar levert het jaargebruiksrendement.

Bij DENAR hebben we echter te maken met een bijzondere situatie. Naast de gasketel wordt ook gebruik gemaakt van een alternatieve warmtebron (afstandsverwarming). De warmte van deze bron wordt geproduceerd door een simulatieketeltje. Het gebruik van het simulatieketeltje heeft echter een negatieve invloed op het rendement van de grote gasketel. De resultaten zijn omgerekend naar de situatie zonder simulatieketeltje.

De gasketel bij DENAR is groter dan nodig om de kassen volledig in de warmtebehoefte te voorzien, dit heeft ook een negatieve invloed op het rendement. De resultaten zijn eveneens omgerekend naar de situatie met een optimale ketelcapaciteit.

Vervolgens is het rendement berekend in de situatie dat de gasketel gebruikt wordt voor de pieklast en de gevolgen hiervan op de gasbesparing door de alternatieve warmtebron. Dit is zowel gedaan voor de situatie waarbij de ketelcapaciteit optimaal is als voor de situatie waarin dat niet het geval is.

Door het gebruik van een alternatieve warmtebron in basislast zou overwogen kunnen worden om de pieklast-gasketel kleiner te dimensioneren. De warmtelevering door de alternatieve warmtebron moet dan zeer betrouwbaar zijn en door verzekeringsmaatschappijen wordt meestal een grote gasketel geëist. In de praktijk wordt meestal de bestaande gasketel gebruikt voor de pieklast. In dit onderzoek wordt geen rekening gehouden met een eventuele kleinere pieklast-gasketel. Het kan voorkomen dat op een glastuinbouwbedrijf meerdere gasketels in gebruik zijn. Door aanwending van een alternatieve warmtebron zou één van de ketels gedurende het gehele of een deel van het jaar uitgeschakeld kunnen worden. Dit brengt een vermindering van de vaste verliezen met zich mee. Daar op de meeste glastuinbouwbedrijven een gasketel in gebruik is wordt hiermee geen rekening gehouden.

De meetresultaten van DENAR zijn omgerekend naar andere bedrijfssituaties. De bedrijfssituaties die van belang zijn in relatie tot het rendement van de gasketel zijn het benodigd warmteleverend vermogen van de stookinstallatie om gedurende het gehele jaar voldoende warmte te kunnen leveren en de warmte-intensiteit. Ook is de invloed van de hoogte van de dekking van de jaarlijkse warmtebehoefte door de alternatieve warmtebron bepaald.

De gasketel bij DENAR is uitgerust met een combicondensor. Een condensor wordt gebruikt om de rookgassen die ontstaan bij het verbranden van het gas in de ketel verder af te koelen dan in de ketel reeds plaats vindt. Een condensor verhoogt daarmee het rendement. Een combicondensor is een condensor die uit twee secties bestaat. In de eerste sectie wordt de warmte afgegeven aan het retourwater van het hoofdverwarmingsnet en in de tweede sectie aan een extra verwarmingsnet. Helaas is de warmte van de tweede sectie niet gemeten. De gegevens van DENAR hebben daardoor

betrekking op de gasketel inclusief de eerste sectie van de combicondensor.

Bij de berekening van het rendement bij gebruik van de verschillende condensortypen wordt er van uitgegaan dat het rendement van een gasketel inclusief de eerste sectie van de combicondensor bij DENAR overeenkomt met het rendement van een gasketel in combinatie met een enkelvoudige condensor op de retour.

3.2 Resultaten

3.2.1 Situatie bij DENAR-kas

3.2.1.1 Weekgebruiksrendementen

In figuur 3.1 is de relatie weergegeven tussen het gebruiksrendement en de warmteproductie per week. Hieruit blijkt dat het rendement sterk afneemt als de warmteproductie per week lager is. Bij een grote warmtevraag ('s winters) ligt het rendement tussen de 90 en 100% (o.w.). Bij een geringe warmtevraag ('s zomers) daalt het rendement sterk en komt zelfs onder de 50% uit.

Een gasketel die wordt ingezet voor de pieklast zal per week minder warmte produceren dan een ketel die volledig in de warmtebehoefte voorziet. De relatie uit figuur 3.1 heeft daardoor tot gevolg dat het jaargebruiksrendement van een pieklast-gasketel lager is dan van een gasketel die volledig in de warmtebehoefte voorziet.

In figuur 3.2 is de relatie weergegeven tussen het gasverbruik en de warmteproductie per week. De correlatie blijkt zeer hoog te zijn. ($r^2 = 99,7$), de waarnemingen liggen bijna op een rechte lijn. De wiskundige vergelijking bij deze lijn luidt als volgt:

$$Y_w = 574,64 + 0,11331 X_w \quad (1)$$

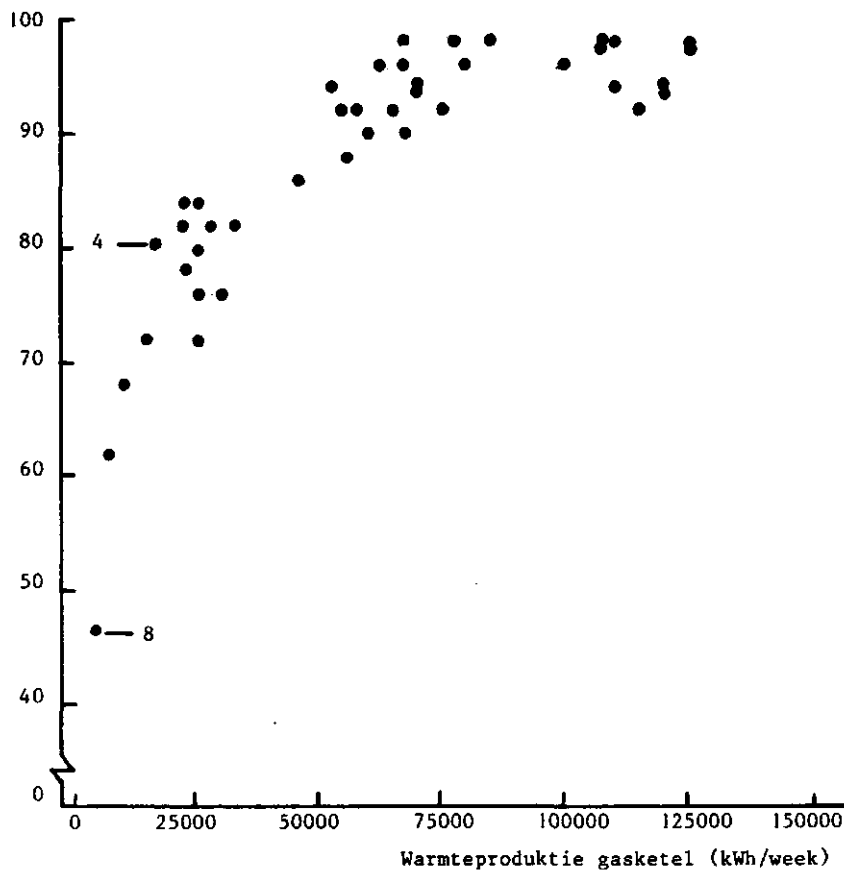
Dit betekent dat het gasverbruik per week (Y_w) gelijk is aan een constante van 574,64 plus het produkt van 0,11331 en de warmteproductie in kWh per week (X_w). De constante van gemiddeld 574,64 m³ gas per week is nodig ter compensatie van de vaste verliezen. Het getal 0,11331 geeft aan dat voor de produktie van 1 kWh aan warmte, 0,11331 m³ aardgas nodig is.

Bij omzetting van de relatie op weekbasis uit figuur 3.1 naar een relatie op jaarbasis moet de constante factor in vergelijking (1) vermenigvuldigd worden met 52, een jaar bestaat immers uit 52 weken. Op jaarbasis is er dus 29881 m³ aardgas nodig ter compensatie van de vaste verliezen. De vergelijking wordt dan:

$$Y_j = 29881 + 0,11331 X_j \quad (2)$$

Met deze vergelijking worden de omrekeningen naar andere situaties gemaakt.

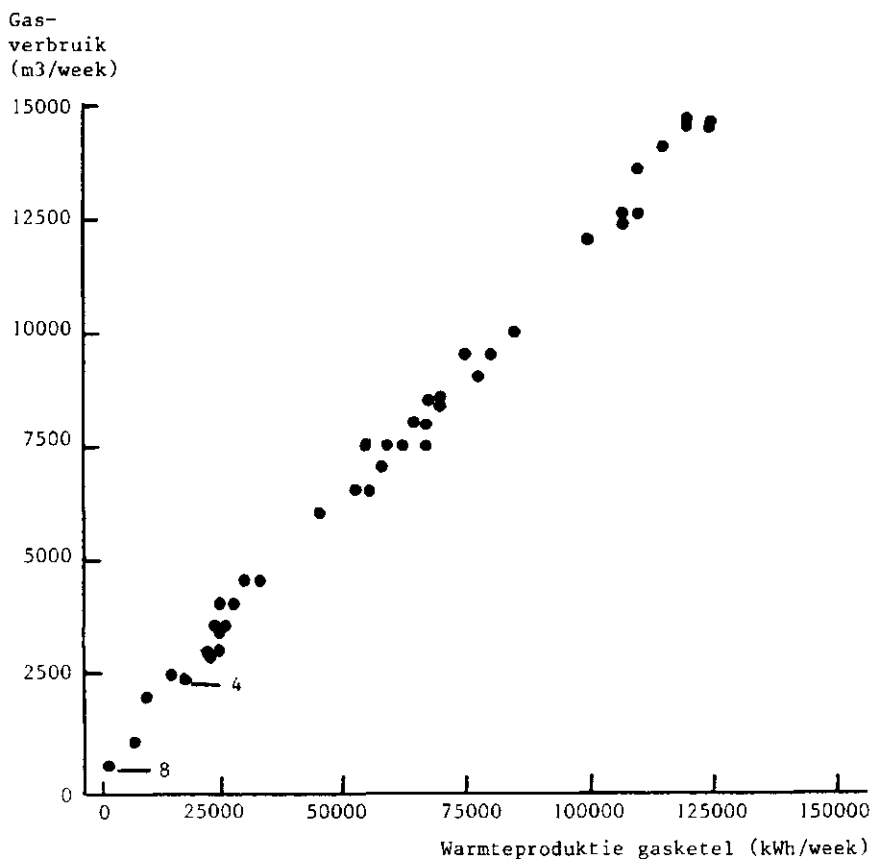
Week-
gebruiks-
rendement
(% o.w.)



Figuur 3.1 Verband rendement en warmteproductie per week van de gasketel bij DENAR-kas *)

*) Seizoen 1985-1986, inclusief eerste sectie combicondensor.

Het getal in de figuur geeft het aantal waarnemingen op die positie aan (*=1).



*Figuur 3.2 Relatie gasverbruik en warmteproductie per week van de gasketel bij DENAR-kas *)*

*) Seizoen 1985-1986, inclusief eerste sectie combicondensor.

Het getal in de figuur geeft het aantal waarnemingen op die positie aan.

Statistische informatie:

$$y = 574,63 + 0,11331 x$$

y = gasverbruik (m3/week)

x = warmteproductie (kWh/week)

$$r^2 = 99,7$$

$$t = 124,45$$

$$n = 52$$

3.2.1.2 Jaargebruiksrendement

De meetresultaten van de gasketel van DENAR over het seizoen 1985-1986 staan vermeld in tabel 3.1. Hieruit resulteert een jaargebruiksrendement van de gasketel inclusief de eerste sectie van de combicondensor van 91,3% (o.w.). Het simulatieketeltje leverde in het seizoen 1985-1986, 642.374 kWh aan warmte. De grote gasketel en het simulatieketeltje leverden gezamenlijk 3.275.855 kWh. Indien deze warmte volledig door de grote gasketel geproduceerd zou worden is hiervoor 401.068 m³ aan gas nodig (substitutie vergelijking (2)). Dit resulteert in een jaargebruiksrendement van 92,9% (o.w.). Indien het simulatieketeltje dus niet zou worden gebruikt heeft dit een verhoging van het rendement van de grote gasketel tot gevolg.

Tabel 3.1 Berekening jaargebruiksrendement *)

Gasverbruik	327.970 m ³
Warmteproductie	2.633.481 kWh
Onderste verbrandingswaarde (o.w.) aardgas	8,79 kWh/m ³
2633481	
Jaargebruiksrendement = $\frac{2633481}{327970 \times 8,79} \times 100\% = 91,3\% \text{ (o.w.)}$	

*) Seizoen 1985-1986, gasketel inclusief eerste sectie combicondensor.

3.2.1.3 Optimale ketelcapaciteit

Het glasareaal bij DENAR bedraagt 10.320 m³. De capaciteit van de gasketel bedraagt 3,48 MW en van de brander 2,32 MW. Door het plaatsen van een grotere brander kan de stookinstallatie geschikt gemaakt worden voor een capaciteit van 3,48 MW. De vraag is of de relaties zoals beschreven in de voorafgaande paragrafen behoren bij de brander of bij de ketel.

Verwacht wordt dat de vaste verliezen die optreden bij het verbranden van aardgas in een gasketel afhankelijk zijn van de technische uitvoering van de ketel en niet van de brander. In het vervolg van dit onderzoek zal daarom worden uitgegaan van een capaciteit van 3,48 MW. Het warmteleverend vermogen bedraagt dan 337 W/m².

Bij een vermogen van 180 W/m² (laag vermogen) is de stookinstallatie van DENAR geschikt voor een glasareaal van 19.333 m² (3,48 MW/180 W/m²). Bij gebruik van de stookinstallatie op een bedrijf met 19.333 m² glas en een gelijke warmte-intensiteit als bij DENAR wordt het jaargebruiksrendement 96,3% (o.w.). In tabel 3.2 zijn de hier beschreven rendementen vermeld.

*Tabel 3.2 Rendementen van de gasketel bij DENAR-kas in verschillende situaties *)*

Situatie	Gasketelrendement (% o.w.)
Werkelijke situatie	91,3
Volledige warmtedekking door de gasketel	92,9
Optimale ketelcapaciteit (capaciteit = 2,32 MW)	94,3
Optimale ketelcapaciteit (capaciteit = 3,48 MW)	96,3

*) Seizoen 1985-1986, inclusief eerste sectie combicondensor.

3.2.1.4 Warmte-intensiteit

De warmtevraag bij DENAR bedraagt in het seizoen 1985-1986, 3.275.855 kWh. Het areaal glas bedraagt 10.320 m² waardoor de warmte-intensiteit 317,43 kWh/m² bedraagt. De overeenkomstige brandstofintensiteit op het bedrijf met 19.333 m² glas uit paragraaf 3.2.1.2 bedraagt 37,5 m³/m². In het vervolg van dit onderzoek zal worden gesproken van de warmte-intensiteit. De warmte-intensiteit wordt uitgedrukt in m³ aardgasequivalenten (m³ a.e.), en is gedefinieerd als 31,65 MJ aan warmte.

In tabel 3.3 is het jaargebruiksrendement vermeld van de gasketel die volledig in de warmtebehoefte voorziet bij een variërende warmte-intensiteit. Ook deze rendementen zijn berekend met de relatie uit paragraaf 3.2.1.1, vergelijking (2). Uit de tabel blijkt dat ook de warmte-intensiteit grote invloed heeft op het rendement.

*Tabel 3.3 Rendement van de gasketel die volledig in de warmtevraag voorziet, afhankelijk van de warmte-intensiteit *)*

Warmte-intensiteit **)	Ketelrendement (% o.w.)
80 (30,3)	95,3
100 (37,5)	96,3
120 (44,7)	96,9
140 (51,9)	97,4
160 (59,1)	97,8

*) Situatie met optimale ketelcapaciteit.

Ketelcapaciteit = 3,48 MW.

Maximaal benodigd vermogen = 180 W/m².

***) % Van de situatie bij DENAR-kas (317,43 kWh/m²).

Tussen () is de overeenkomstige brandstofintensiteit (m³/m²) vermeld.

3.2.2 Gebruik gasketel voor de pieklast

3.2.2.1 Optimale ketelcapaciteit

In de voorgaande paragrafen is gebleken dat het benodigd warmteleverend vermogen en de warmte-intensiteit belangrijke invloed hebben op het jaargebruiksrendement. In tabel 3.4 zijn de rendementen vermeld van een gasketel die volledig in de warmtebehoefte voorziet bij een benodigd vermogen variërend van 160 tot 280 W/m² en een warmte-intensiteit variërend van 30 tot 70 m³ a.e./m².

Indien de gasketel wordt ingezet voor alleen de pieklast wordt het rendement lager. In tabel 3.5 is het rendement vermeld van de pieklast-gasketel. Hierbij is uitgegaan van een dekking van de jaarlijkse warmtebehoefte door de alternatieve warmtebron van 70%. In tabel 3.7 is een voorbeeld gegeven van de berekeningen.

Bij vergelijking van de tabellen 3.4 en 3.5 blijkt dat het rendement van de pieklast-gasketel aanzienlijk lager is dan van de gasketel die volledig in de warmtebehoefte voorziet. Dit verschil varieert afhankelijk van het benodigd vermogen en de warmte-intensiteit van 4 tot 14%. Bij een laag benodigd vermogen is het verschil kleiner en bij een lage warmte-intensiteit is het verschil groter. Indien wordt uitgegaan van een benodigd vermogen van 180 W/m² blijkt het pieklast-rendement afhankelijk van de warmte-intensiteit 5 tot 10% lager te zijn. Indien de warmte-intensiteit hoog is (50-70 m³ a.e./m²) bedraagt dit verschil 5-6%. Bij een lage warmte-intensiteit (30-50 m³ a.e./m²) bedraagt het verschil 6-10%.

Door het lagere rendement van de pieklast-gasketel zal de gasbesparing door de alternatieve warmtebron lager zijn dan de dekking van de jaarlijkse warmtebehoefte, in dit geval dus lager dan 70%. In tabel 3.6 zijn de besparingen vermeld. Uit de tabel blijkt dat het verschil tussen de besparing en de dekking varieert van 1,3 tot 5,2%. Naarmate de warmte-intensiteit hoger is, is het verschil kleiner en naarmate het benodigd vermogen hoger is, is het verschil groter. Indien wordt uitgegaan van een benodigd vermogen van 180 W/m² varieert het verschil tussen de 1,4 en de 3,4%. Bij een warmte-intensiteit van 50 m³ a.e./m² bedraagt dit verschil rond de 2%. Dit betekent dat bij een dekking van de jaarlijkse warmtebehoefte door de alternatieve warmtebron in basislast van 70% de gasbesparing ongeveer 68% bedraagt. Bij een warmte-intensiteit van 30-40 m³ a.e./m² ligt de gasbesparing ongeveer 1% lager en bij een warmteleverend vermogen van 240 W/m² is de gasbesparing afhankelijk van de warmte-intensiteit 0,5 tot 1% lager.

Tabel 3.4 *Berekende ketelrendementen (% o.w.) van de gasketel die volledig in de warmtebehoefte voorziet, afhankelijk van het benodigd warmteleverend vermogen en de warmte-intensiteit *)*

Maximaal benodigd vermogen (W/m ²)	Warmte-intensiteit (m ³ a.e./m ²)				
	30	40	50	60	70
160	96,0	97,0	97,7	98,1	98,6
180	95,5	96,6	97,4	97,9	98,3
200	94,9	96,2	97,0	97,6	98,1
220	94,4	95,8	96,7	97,3	97,9
240	93,9	95,5	96,4	97,0	97,7
260	93,4	95,1	96,1	96,8	97,4
280	92,9	94,7	95,8	96,5	97,2

*) Situatie met optimale ketelcapaciteit.
(ketelcapaciteit = 3,48 MW).

Tabel 3.5 *Berekende ketelrendementen (% o.w.) van de pieklust gasketel afhankelijk van benodigd warmteleverend vermogen en de warmte-intensiteit *)*

Maximaal benodigd vermogen (W/m ²)	Warmte-intensiteit (m ³ a.e./m ²)				
	30	40	50	60	70
160	87,0	90,0	91,9	93,2	94,5
180	85,6	88,9	91,0	92,4	93,8
200	84,2	87,8	90,0	91,6	93,2
220	82,9	86,7	89,1	90,8	92,5
240	81,6	85,6	88,2	90,0	91,8
260	80,4	84,6	87,3	89,3	91,2
280	79,2	83,6	86,5	88,5	90,6

*) Dekking jaarlijkse warmtebehoefte door alternatieve bron in basislast = 70%, situatie met optimale ketelcapaciteit
(ketelcapaciteit = 3,48 MW)

Tabel 3.6 Gasbesparing (%) door de alternatieve warmtebron in basislast, afhankelijk van het benodigd warmteleverend vermogen en de warmte-intensiteit *)

Maximaal benodigd vermogen (W/m ²)	Warmte-intensiteit (m ³ a.e./m ²)				
	30	40	50	60	70
160	66,9	67,7	68,1	68,4	68,7
180	66,6	67,4	67,9	68,2	68,6
200	66,2	67,1	67,7	68,0	68,4
220	65,8	66,8	67,4	67,9	68,3
240	65,5	66,6	67,2	67,7	68,1
260	65,1	66,3	67,0	67,5	67,9
280	64,8	66,0	66,8	67,3	67,8

*) Dekking jaarlijkse warmtebehoefte door alternatieve bron in basislast = 70%, situatie met optimale ketelcapaciteit (ketelcapaciteit = 3,48 MW).

Tabel 3.7 Voorbeeldberekening gasketelrendement bij volledig gas en bij pieklast gas en de gasbesparing door de alternatieve warmtebron in basislast

- areaal glas = 19.333 m² (180 W/m²)
 - warmtevraag = 50 m³ a.e./m² (439,5 kWh/m²)
 - onderste verbrandingswaarde (o.w.) aardgas = 8,79 kWh/m³
 - dekking jaarlijkse warmtebehoefte door alternatieve warmtebron = 70%
 - totale warmtevraag = 19.333 x 439,5 = 8.496.854 kWh
 - gasverbruik bij volledig gas (substitutie vergelijking (2)) = 29.881 + 0,11331 x 8.496.854 = 992.660 m³
 - gasketelrendement bij volledig gas =
 8.496.854
 ----- x 100 % = 97,4 % (o.w.)
 992.660 x 8,79
 - warmtelevering pieklastgasketel = 30 % x 8.496.854 = 2.549.056 kWh
 - gasverbruik pieklast gasketel (substitutie vergelijking (2)) = 29.881 + 0,11331 x 2.549.056 = 318.715 m³
 - rendement pieklast gasketel =
 2.549.056
 ----- x 100 % = 91,0 % (o.w.)
 318.715 x 8,79
 - gasbesparing voor alternatieve warmtebron =
 992.660 - 318.715
 ----- x 100 % = 67,9 %
 992.660

In het voorafgaande is steeds uitgegaan van een dekking van de jaarlijkse warmtebehoefte door de alternatieve warmtebron van 70%. Ook de hoogte van de dekking heeft invloed op het rendement van de pieklast-gasketel en daarmee op het verschil tussen de gasbesparing en de dekking. In tabel 3.8 is het rendement van de pieklast-gasketel vermeld bij variërende dekking en warmte-intensiteit. De rendementen bij een dekking van 0% zijn ook vermeld. Dit zijn de rendementen in de situatie dat de gasketel volledig in de warmtebehoefte voorziet. Uit de tabel blijkt dat het pieklast-rendement aanzienlijk lager wordt als de dekking hoger is. De invloed van de dekking is sterker naarmate de warmte-intensiteit lager is. Bij een warmte-intensiteit van 70 m³ a.e./m² daalt het rendement van 98,3% bij volledig gasstook tot 83,0% bij een dekking door de alternatieve warmtebron van 90%. Bij een warmte-intensiteit van 30 m³ a.e./m² daalt het rendement van 95,5 tot 66,2%.

*Tabel 3.8 Berekende ketelrendementen (% o.w.) van de pieklast gasketel afhankelijk van de dekking van de jaarlijkse warmtebehoefte door de alternatieve warmtebron en de warmte-intensiteit *)*

Dekking warmte- behoefte (%)	Warmte-intensiteit (m ³ a.e./m ²)				
	30	40	50	60	70
0 **)	95,5	96,7	97,4	97,9	98,3
10	95,0	96,3	97,1	97,6	98,1
20	94,3	95,8	96,7	97,3	97,8
30	93,5	95,1	96,1	96,8	97,5
40	92,4	94,3	95,5	96,3	97,0
50	91,0	93,2	94,5	95,5	96,4
60	88,9	91,5	93,2	94,3	95,4
70	85,6	88,9	91,0	92,4	93,9
80	79,8	84,1	86,9	88,9	90,9
90	66,2	72,3	76,6	79,8	83,0

*) Het maximaal benodigd warmteleverend vermogen bedraagt 180 W/m².

**) Situatie waarin geen alternatieve warmtebron wordt gebruikt.

In tabel 3.9 is de gasbesparing vermeld. Uit de tabel blijkt dat het verschil tussen de dekking en de gasbesparing groter is naarmate de dekking hoger is. Ook hier is de invloed van de dekking sterker naarmate de warmte-intensiteit lager is. Bij een warmte-intensiteit van 50 m³ a.e./m² en een dekking van 70% bedraagt de gasbesparing 67,9%, bij een dekking van 40% is dit 38,8% en bij een dekking van 10%, 9,7%. Bij een warmte-intensiteit van 30 m³ a.e./m² wordt dit respectievelijk 66,6, 38,0 en 9,5%.

Tabel 3.9 Gasbesparing (%) door de alternatieve warmtebron in basislast, afhankelijk van de dekking van de warmte-behoefte door de alternatieve warmtebron en de warmte-intensiteit *)

Dekking warmte- behoefte (%)	Warmte-intensiteit (m ³ a.e./m ²)				
	30	40	50	60	70
10	9,5	9,6	9,7	9,8	9,8
20	19,0	19,3	19,4	19,5	19,6
30	28,5	28,9	29,1	29,2	29,4
40	38,0	38,5	38,8	39,0	39,2
50	47,5	48,1	48,5	48,7	49,0
60	57,1	57,8	58,2	58,5	58,8
70	66,6	67,3	67,9	68,2	68,6
80	76,1	77,0	77,6	78,0	78,4
90	85,6	86,6	87,3	87,7	88,2

*) Het maximaal benodigd warmteleverend vermogen bedraagt 180 W/m².

3.2.2.2 Niet optimale ketelcapaciteit

In de voorgaande paragraaf is uitgegaan van een optimale ketelcapaciteit. Dit wil zeggen dat de ketel een capaciteit heeft die gelijk is aan het maximaal benodigde. In de praktijk heeft de ketel echter meestal een overcapaciteit. De berekeningen uit de vorige paragraaf zijn daarom eveneens gemaakt voor een ketel met overcapaciteit.

In tabel 3.10 zijn de rendementen vermeld van een gasketel die volledig in de warmtebehoefte voorziet bij een overcapaciteit van 0 tot 50% en een warmte-intensiteit van 30 tot 70 m³ a.e./m². Hierbij wordt uitgegaan van een benodigd warmteleverend vermogen van 180 W/m². Bij een overcapaciteit van 20% (ketelcapaciteit 120%) bedraagt het geïnstalleerd vermogen 216 W/m². Uit de tabel blijkt dat het rendement van een gasketel lager wordt naarmate de overcapaciteit groter is. Bij een optimale ketelcapaciteit en een warmte-intensiteit van 50 m³ a.e./m² bedraagt het rendement 97,4%. Bij een overcapaciteit van 50% loopt dit terug tot 95,9%.

In tabel 3.11 zijn de rendementen vermeld van een ketel die alleen de pieklast verzorgt. Hierbij wordt uitgegaan van een dekking van de warmtebehoefte door de alternatieve warmtebron van 70%. Bij vergelijking van de tabellen 3.10 en 3.11 blijkt dat het verschil tussen het rendement van een pieklast-gasketel en een gasketel die volledig in de warmtebehoefte voorziet sterk afhankelijk is van de overcapaciteit. Indien de overcapaciteit groter is, loopt het rendement van de pieklast-gasketel sterker terug. Bij een overcapaciteit van 20% en een hoge warmte-intensiteit

Tabel 3.10 Berekende ketelrendementen (% o.w.) van de gasketel die volledig in de warmtebehoefte voorziet, afhankelijk van de overcapaciteit en de warmte-intensiteit

Ketelcapaciteit		Warmte-intensiteit (m3 a.e./m2)				
(% v.h. benodigd vermogen)	(W/m2)	30	40	50	60	70
100	180	95.5	96.7	97.4	97.9	98.3
110	198	95.0	96.3	97.1	97.6	98.1
120	216	94.5	95.9	96.8	97.4	97.9
130	234	94.1	95.6	96.5	97.1	97.7
140	252	93.6	95.2	96.2	96.9	97.5
150	270	93.2	94.9	95.9	96.7	97.3

Tabel 3.11 Berekende ketelrendementen (% o.w.) van de pieklast gasketel afhankelijk van de overcapaciteit en de warmte-intensiteit *)

Ketelcapaciteit		Warmte-intensiteit (m3 a.e./m2)				
(% v.h. benodigd vermogen)	(W/m2)	30	40	50	60	70
100	180	85.6	88.9	91.0	92.4	93.9
110	198	84.4	87.9	90.1	91.7	93.2
120	216	83.2	86.9	89.3	91.0	92.6
130	234	82.0	86.0	88.5	90.3	92.1
140	252	80.9	85.0	87.7	89.6	91.5
150	270	79.8	84.1	86.9	88.9	90.9

*) Dekking jaarlijkse warmtebehoefte door alternatieve bron in basislast = 70%.

(50-70 m3 a.e./m2) bedraagt het verschil 5-8%. Bij een lage warmte-intensiteit (30-50 m3 a.e./m2) bedraagt het verschil 8-11%. In de situatie met een optimale ketelcapaciteit zijn deze verschillen kleiner.

In tabel 3.12 is de gasbesparing door de alternatieve warmtebron vermeld. Hieruit blijkt dat de gasbesparing lager is naarmate de overcapaciteit groter is. Indien er geen overcapaciteit is wordt door de alternatieve warmtebron die 70% van de jaarlijkse warmtebehoefte levert en bij een benodigd vermogen van 180

W/m², afhankelijk van de warmte-intensiteit, 66,6 tot 68,6% gas bespaard (tabel 3.12). Bij een overcapaciteit van 20% bedraagt dit 65,9 en 68,9%. Bij een overcapaciteit van 20% ligt de gasbesparing dus ongeveer 0,5% lager.

Tabel 3.12 Gasbesparing (%) door de alternatieve warmtebron in basislast, afhankelijk van de overcapaciteit en de warmte-intensiteit *)

Ketelcapaciteit		Warmte-intensiteit (m ³ a.e./m ²)				
(% v.h. benodigd vermogen)	(W/m ²)	30	40	50	60	70
100	180	66.6	67.4	67.9	68.2	68.6
110	198	66.2	67.1	67.7	68.1	68.4
120	216	65.9	66.9	67.5	67.9	68.3
130	234	65.6	66.6	67.3	67.7	68.1
140	252	65.3	66.4	67.1	67.6	68.0
150	270	65.0	66.2	66.9	67.4	67.9

*) Dekking jaarlijkse warmtebehoefte door alternatieve bron in basislast = 70%.

Tabel 3.13 Gasbesparing (%) door de alternatieve warmtebron in basislast, afhankelijk van de dekking van de warmtebehoefte en de overcapaciteit *)

Dekking warmtebehoefte (%)	Ketelcapaciteit (% v.h. benodigd vermogen)					
	100	110	120	130	140	150
10	9,7	9,7	9,6	9,6	9,6	9,6
20	19,4	19,3	19,3	19,2	19,2	19,1
30	29,1	29,0	28,9	28,8	28,8	28,7
40	38,8	38,7	38,6	38,5	38,3	38,2
50	48,5	48,4	48,2	48,1	47,9	47,8
60	58,2	58,0	57,9	57,7	57,5	57,3
70	67,9	67,7	67,5	67,3	67,1	66,9
80	77,6	77,4	77,1	76,9	76,7	76,4
90	87,3	87,0	86,8	86,5	86,3	86,0

*) Benodigd warmteleverend vermogen = 180 W/m².
Warmte-intensiteit = 50 m³/m².

In tabel 3.13 is de gasbesparing door de alternatieve bron vermeld bij een dekking van 10 tot 90% en een overcapaciteit van

0 tot 50%. Hierbij is uitgegaan van een warmte-intensiteit van 50 m³ a.e./m². Uit de tabel blijkt dat het verschil tussen de gasbesparing en de dekking groter wordt bij een grotere overcapaciteit. De invloed van de overcapaciteit is echter niet zo groot als van de dekking. Bij een dekking van 70% en een optimale ketelcapaciteit (100%) bedraagt de gasbesparing 67,9%. Bij een overcapaciteit van 20% wordt dit 67,5% en bij een overcapaciteit van 40%, 67,1%. Bij een overcapaciteit van 20% en een dekking van 40% is dit 38,6% en bij een dekking van 10%, 9,6%.

3.2.3 Gebruiksrendement en condensortype

De gasketel bij DENAR is uitgerust met een combicondensor. Helaas is alleen de warmteproductie gemeten van de eerste sectie van deze condensor (retoursectie). In dit onderzoek wordt er van uitgegaan dat de meetresultaten overeenkomen met een enkelvoudige condensor op de retour.

Uit onderzoek (Rijssel, 1983) is de gasbesparing van de verschillende condensortypen bekend. Met deze informatie en de meetresultaten van DENAR-kas zijn de jaargebruiksrendementen van een gasketel inclusief de verschillende condensortypen berekend. Een voorbeeldberekening is hierna vermeld.

Uitgangspunten:

- areaal glas = 19.333 m²;
- warmte-intensiteit = 50 m³ a.e./m² (439,5 kWh/m²);
- totale warmtevraag = 19333 x 439,5 = 8.496.854 kWh;
- onderste verbrandingswaarde (o.w.) aardgas = 8,79 kWh/m³;
- gasverbruik zonder gebruik van een condensor = 100% 1);
- gasverbruik bij enkelvoudige condensor op retour = 95% 1);
- gasverbruik bij enkelvoudige condensor op een apart net = 89% 1);
- gasverbruik bij een combicondensor = 85% 1).

Enkelvoudige condensor op de retour:

- gasverbruik (substitutie vergelijking (2)) =

$$29.881 + 0,11331 \times 8.496.854 = 992.660 \text{ m}^3$$
- rendement =
$$\frac{8.496.854}{992.660 \times 8,79} \times 100 \% = 97,4\% \text{ (o.w.)}$$

1) (Rijssel, 1983).

Enkelvoudige condensor op apart net:

$$\begin{aligned} & \text{-----} \\ & \quad 89 \\ - \quad \text{gasverbruik} &= \text{-----} \times 992.660 = 929.924 \text{ m}^3 \\ & \quad 95 \\ & \quad 8.496.854 \\ - \quad \text{rendement} &= \text{-----} \times 100 \% = 103,9\% \text{ (o.w.)} \\ & \quad 929.924 \times 8,79 \end{aligned}$$

Combicondensor:

$$\begin{aligned} & \text{-----} \\ & \quad 85 \\ - \quad \text{gasverbruik} &= \text{-----} \times 992.660 = 888.133 \text{ m}^3 \\ & \quad 95 \\ & \quad 8.496.854 \\ - \quad \text{rendement} &= \text{-----} \times 100 \% = 108,8\% \text{ (o.w.)} \\ & \quad 888.133 \times 8,79 \end{aligned}$$

Geen condensor:

$$\begin{aligned} & \text{-----} \\ & \quad 100 \\ - \quad \text{gasverbruik} &= \text{-----} \times 992.660 = 1.044.874 \text{ m}^3 \\ & \quad 95 \\ & \quad 8.496.854 \\ - \quad \text{rendement} &= \text{-----} \times 100 \% = 92,5\% \text{ (o.w.)} \\ & \quad 1.044.874 \times 8,79 \end{aligned}$$

In paragraaf 3.2 is reeds gebleken dat het jaargebruiksrendement sterk afhankelijk is van de warmte-intensiteit, het benodigd warmteleverend vermogen en de overcapaciteit. De rendementen van de gasketel in combinatie met de verschillende condensortypen zijn berekend bij een warmte-intensiteit variërend van 30 tot 70 m³ a.e./m² en een benodigd warmteleverend vermogen van 160 tot 280 W/m² (zie tabel 3.14 t/m 3.17). Hierbij is de ketelcapaciteit optimaal verondersteld (geen overcapaciteit).

Uit tabel 3.14 blijkt dat een gasketel zonder condensor en een optimale capaciteit een jaargebruiksrendement heeft afhankelijk van het benodigd warmteleverend vermogen en de warmte-intensiteit van 88 tot 94% (o.w.). In tabel 3.15 zijn de rendementen van een gasketel inclusief een enkelvoudige condensor op de retour vermeld. Hier varieert het rendement van 93 tot 99%. Het ketelrendement van een gasketel inclusief een enkelvoudige condensor op de retour ligt dus zo'n 5% hoger dan zonder condensor. De rendementen van een gasketel inclusief een enkelvoudige condensor op een apart net staan vermeld in tabel 3.16 en varieert van 99 tot 105%. Hier ligt het rendement dus zo'n 11% hoger.

De resultaten van de combinatie met de combicondensor staan vermeld in tabel 3.17. Hier varieert het rendement van 104 tot 110% en ligt daarmee zo'n 16% hoger dan zonder condensor.

Tabel 3.14 Berekende rendementen van een gasketel zonder condensor en een optimale capaciteit, afhankelijk van het benodigd warmteleverend vermogen en de warmte-intensiteit (% o.w.)

Maximaal benodigd vermogen (W/m ²)	Warmte-intensiteit (m ³ a.e./m ²)				
	30	40	50	60	70
160	91,2	92,2	92,8	93,2	93,6
180	90,7	91,8	92,5	93,0	93,4
200	90,2	91,4	92,2	92,7	93,2
220	89,7	91,1	91,9	92,5	93,0
240	89,2	90,7	91,6	92,2	92,8
260	88,8	90,3	91,3	91,9	92,6
280	88,3	90,0	91,0	91,7	92,4

Tabel 3.15 Berekende rendementen van een gasketel inclusief een enkelvoudige condensor op de retour en een optimale capaciteit, afhankelijk van het benodigd warmteleverend vermogen en de warmte-intensiteit (% o.w.)

Maximaal benodigd vermogen (W/m ²)	Warmte-intensiteit (m ³ a.e./m ²)				
	30	40	50	60	70
160	96,0	97,1	97,7	98,1	98,6
180	95,5	96,7	97,4	97,9	98,3
200	94,9	96,3	97,1	97,6	98,1
220	94,4	95,9	96,7	97,3	97,9
240	93,9	95,5	96,4	97,1	97,7
260	93,4	95,1	96,1	96,8	97,5
280	92,9	94,7	95,8	96,5	97,2

Tabel 3.16 *Berekende rendementen van een gasketel inclusief een enkelvoudige condensor op een apart net en een optimale capaciteit, afhankelijk van het benodigd warmteleverend vermogen en de warmte-intensiteit (% o.w.)*

Maximaal benodigd vermogen (W/m ²)	Warmte-intensiteit (m ³ a.e./m ²)				
	30	40	50	60	70
160	102,5	103,6	104,3	104,8	105,2
180	101,9	103,2	103,9	104,5	105,0
200	101,3	102,7	103,6	104,2	104,7
220	100,8	102,3	103,3	103,9	104,5
240	100,3	101,9	102,9	103,6	104,3
260	99,7	101,5	102,6	103,3	104,0
280	99,2	101,1	102,2	103,0	103,8

Tabel 3.17 *Berekende rendementen van een gasketel inclusief een combicondensor en een optimale capaciteit, afhankelijk van het benodigd warmteleverend vermogen en de warmte-intensiteit (% o.w.)*

Maximaal benodigd vermogen (W/m ²)	Warmte-intensiteit (m ³ a.e./m ²)				
	30	40	50	60	70
160	107,3	108,5	109,2	109,7	110,2
180	106,7	108,0	108,8	109,4	109,9
200	106,1	107,6	108,5	109,1	109,7
220	105,5	107,1	108,1	108,8	109,4
240	105,0	106,7	107,8	108,5	109,2
260	104,4	106,3	107,4	108,2	108,9
280	103,9	105,8	107,0	107,9	108,7

In de tabellen 3.18 t/m 3.21 zijn de rendementen vermeld van een gasketel in combinatie met de verschillende condensortypen bij een overcapaciteit van 20%. De rendementen zonder condensor liggen dan 0,3 tot 1,3% lager dan bij een optimale ketelcapaciteit. In de situatie met een enkelvoudige condensor op de retour, op een apart net en met een combicondensor bedraagt dit respectievelijk 0,4 tot 1,3%, 0,4 tot 1,5% en 0,4 tot 1,6% en geeft dus hetzelfde beeld te zien.

Het verschil tussen het gasketelrendement bij een laag vermogen (180 W/m²) en bij een hoog vermogen (240 W/m²) bedragen af-

hankelijk van de warmte-intensiteit respectievelijk 0,7 tot 1,7, 0,8 tot 1,8, 0,8 tot 1,9 en 0,9 tot 2,1%.

Indien wordt uitgegaan van een benodigd warmteleverend vermogen van 180 W/m² en een overcapaciteit van 20% bedraagt het jaargebruiksrendement in de situatie zonder condensor afhankelijk van de warmte-intensiteit 90% tot 93% (o.w.). Bij een enkelvoudige condensor op de retour is dit 95 tot 98%, bij een enkelvoudige condensor op een apart net 101 tot 105% en bij een combicondensor 106 tot 110%.

Tabel 3.18 Berekende rendementen van een gasketel zonder condensor en een overcapaciteit van 20%, afhankelijk van het benodigd warmteleverend vermogen en de warmte-intensiteit (% o.w.)

Maximaal benodigd vermogen (W/m ²)	Warmte-intensiteit (m ³ a.e./m ²)				
	30	40	50	60	70
160	90,4	91,6	92,3	92,8	93,3
180	89,8	91,1	92,0	92,5	93,0
200	89,2	90,7	91,6	92,2	92,8
220	88,7	90,2	91,2	91,9	92,5
240	88,1	89,8	90,9	91,6	92,3
260	87,5	89,4	90,5	91,3	92,0
280	87,0	88,9	90,2	91,0	91,8

Tabel 3.19 Berekende rendementen van een gasketel inclusief een enkelvoudige condensor op de retour en een overcapaciteit van 20%, afhankelijk van het benodigd warmteleverend vermogen en de warmte-intensiteit (% o.w.)

Maximaal benodigd vermogen (W/M ²)	Warmte-intensiteit (m ³ a.e./m ²)				
	30	40	50	60	70
160	95,2	96,4	97,2	97,7	98,2
180	94,5	95,9	96,8	97,4	97,9
200	93,9	95,5	96,4	97,1	97,7
220	93,3	95,0	96,0	96,7	97,4
240	92,7	94,5	95,7	96,4	97,1
260	92,1	94,1	95,3	96,1	96,9
280	91,6	93,6	94,9	95,8	96,6

Tabel 3.20 *Berekende rendementen van een gasketel inclusief een enkelvoudige condensor op een apart net en een overcapaciteit van 20%, afhankelijk van het benodigd warmteleverend vermogen en de warmte-intensiteit (% o.w.)*

Maximaal benodigd vermogen (W/m ²)	Warmte-intensiteit (m ³ a.e./m ²)				
	30	40	50	60	70
160	101,6	102,9	103,7	104,3	104,8
180	100,9	102,4	103,3	103,9	104,5
200	100,3	101,9	102,9	103,6	104,3
220	99,6	101,4	102,5	103,3	104,0
240	99,0	100,9	102,1	102,9	103,7
260	98,4	100,4	101,7	102,6	103,4
280	97,7	99,9	101,3	102,2	103,1

Tabel 3.21 *Berekende rendementen van een gasketel inclusief een combicondensor en een overcapaciteit van 20%, afhankelijk van het benodigd warmteleverend vermogen en de warmte-intensiteit (% o.w.)*

Maximaal benodigd vermogen (W/m ²)	Warmte-intensiteit (m ³ a.e./m ²)				
	30	40	50	60	70
160	106,3	107,8	108,6	109,2	109,8
180	105,7	107,2	108,2	108,8	109,5
200	105,0	106,7	107,8	108,5	109,2
220	104,3	106,2	107,3	108,1	108,9
240	103,6	105,7	106,9	107,8	108,6
260	103,0	105,1	106,5	107,4	108,3
280	102,3	104,6	106,1	107,0	108,0

4. Investerings en jaarkosten

4.1 Opzet van het onderzoek

4.1.1 Inleiding

In dit onderdeel van het onderzoek worden de investeringen en de extra jaarkosten van het aangepaste verwarmingssysteem begroot. Hiervoor worden twee alternatieven met elkaar vergeleken. In het ene alternatief wordt volledig in de warmtebehoefte voorzien met een verwarmingsnet gevoed door ketelwarmte. In het andere alternatief wordt in de basislast van de warmtebehoefte voorzien met laagwaardige warmte en in de pieklast met ketelwarmte en worden er twee verwarmingsnetten gebruikt.

In de vergelijking wordt het verwarmingssysteem vanaf de ketel of de aanvoer van de alternatieve laagwaardige warmtebron in het ketelhuis in beschouwing genomen. Dit zijn de volgende onderdelen; het verwarmingsnet in de kas, de transportleidingen van het ketelhuis naar de kas, de verdeelstukken, de menggroepen en de regeling.

De jaarkosten bestaan uit afschrijvings-, rente en onderhoudskosten. Eventueel opbrengstverlies door verminderde lichtinstraling wordt als kosten toegerekend. Kostenposten die in beide alternatieven gelijk zijn worden buiten beschouwing gelaten (differentiële kostencalculatie). Uitgegaan wordt van het prijsniveau in 1988. Eventuele toekomstige prijsveranderingen en technische ontwikkelingen worden buiten beschouwing gelaten. Gerekend wordt met gemiddelde onderhoudskosten gedurende de levensduur van de duurzame produktiemiddelen en er wordt lineair afgeschreven. De rentevoet bedraagt 7% en de rente wordt berekend over de gemiddelde boekwaarde (55% van de investering).

Uitgegaan wordt van een investering per m² glas en een modern nieuw opgezet bedrijf. De investering in de regeling is hierin niet opgenomen. De regeling van de verwarming wordt gewoonlijk uitgevoerd door een computer en deze wordt meestal ook gebruikt voor andere doeleinden (regeling luchtramen, scherm, watergift enz.). Bij de berekening van de jaarkosten zijn de toegerekende extra jaarkosten voor de regeling wel in beschouwing genomen. De extra jaarkosten zijn begroot op f 0,15 per m² per jaar. Alle geldbedragen in dit onderzoek zijn exclusief BTW. Eventuele subsidies worden buiten beschouwing gelaten.

Het verschil in elektriciteitsverbruik tussen de twee alternatieven wordt eveneens buiten beschouwing gelaten. Het geïnstalleerde vermogen aan electromotoren (pompen) wordt bij gebruik van twee gescheiden verwarmingsnetten en een groter aantal verwarmingsbuizen groter maar een deel van dit vermogen (pieklast-net) wordt gedurende een groot deel van het jaar niet gebruikt. Het

verschil in electriciteitsverbruik tussen de alternatieven is hierdoor te verwaarlozen.

Het aantal verwarmingsbuizen boven het gewas kan door de aanpassing van het verwarmingssysteem toenemen. Hierdoor vermindert de lichtinstraling in de kas. Een verminderde lichtinstraling heeft een lagere produktie en geldopbrengst tot gevolg. De vermindering aan geldopbrengst wordt als kosten toegerekend. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat op jaarbasis 1% lichtverlies, 1% verlies aan geldopbrengst tot gevolg heeft (Challa, 1984; Rijssel, 1983b; Verhaegh, 1982; Visser, 1982) en de geldelijke opbrengst f 60,- per m² per jaar bedraagt.

De bedrijfssituaties die invloed hebben op de uitvoering van het verwarmingssysteem zijn het maximaal benodigd warmteleverend vermogen, het gebruik van laagwaardige condensorwarmte en het gebruik van een buisrail transportsysteem. Deze situaties zijn in beschouwing genomen.

4.1.2 Buisverwarming

Als vermogen van het basislast-net wordt bij de buisverwarmingssystemen uitgegaan van 30% van het maximaal benodigd vermogen. Voor het laagwaardige net zijn de typen verwarmingsbuizen in beschouwing genomen zoals vermeld in tabel 4.1. De stalen 51 mm buis wordt algemeen gebruikt in de kasverwarming. De poly-ethyleen-slang wordt veel gebruikt als laagwaardig condensor-net. De dunnere stalen buis en de gevinde aluminium buizen hebben de eigenschap dat ze het verwarmingsnet sneller maken zodat de traagheid door de lage watertemperatuur en/of de grote delta T geheel of gedeeltelijk gecompenseerd kan worden.

Tabel 4.1 De in beschouwing genomen typen verwarmingsbuizen voor het laagwaardige verwarmingsnet

-
- | | |
|----|---|
| 1. | Stalen buizen met een diameter van 51 mm (staal 51 mm); |
| 2. | Stalen buizen met een diameter van 28 mm (staal 28 mm); |
| 3. | Polythyleen slangen met een diameter van 25 mm (p.e. 25 mm); |
| 4. | Gevinde aluminium buizen met een diameter van 22 mm en een hoogte van 70 mm (vin 22-70 mm); |
| 5. | Gevinde aluminium buizen met een diameter van 22 mm en een hoogte van 50 mm (vin 22-50 mm); |
-

De uitvoering, de investering en de jaarkosten van het laagwaardig verwarmingsnet zijn voor de genoemde type verwarmingsbuizen bepaald bij een reeks van gemiddelde watertemperaturen, aflopend tot ongeveer 30 °C. De gemiddelde watertemperatuur is afhankelijk van de aanvoertemperatuur en de mate van afkoeling (delta T). Indien een glastuinbouwbedrijf laagwaardige warmte

aangeboden krijgt in de vorm van water dat met 60 °C de kas ingaat en in het verwarmingsnet in de kas gemiddeld 10 °C wordt afgekoeld bedraagt de gemiddelde watertemperatuur ongeveer 55 °C. Is de delta T 30 °C dan bedraagt de gemiddelde watertemperatuur ongeveer 45 °C enzovoort.

Het hoogwaardige pieklast-net bestaat in de basissituatie uit stalen 51 mm buizen. Om het totale verwarmingssysteem sneller te maken kan ook voor dit net een ander (sneller) type verwarmingsbuis gekozen worden. Gekozen is voor dezelfde type buizen als bij het snelle basislast-net. In de situatie waarin een ander type verwarmingsbuis wordt gebruikt voor het pieklast-net dan de stalen 51 mm buis bestaat het basislast-net wel uit (trage) stalen 51 mm buizen. De combinatie van twee snelle verwarmingsnetten wordt dus niet in beschouwing genomen.

De economische levensduur en de onderhoudskosten van het verwarmingsnet zijn afhankelijk van de materiaalkeuze en staan vermeld in tabel 4.2. Bij een verwarmingsnet van staal wordt uitgegaan van een levensduur van 15 jaar en onderhoudskosten van 1% van de aanschafprijs. Verwarmingslangen van poly-ethyleen slijten snel waardoor de levensduur kort is en de onderhoudskosten hoog zijn. Aluminium verwarmingsbuizen worden snel aangetast door verontreinigingen in het verwarmingswater. Ook dit verkort de levensduur en verhoogt de onderhoudskosten. De garantietermijn bedraagt meestal tien jaar. Het verwarmingswater moet hiervoor regelmatig gecontroleerd worden hetgeen eveneens extra onderhoudskosten met zich mee brengt. De transportleidingen, verdeelstukken en menggroepen zijn bij alle type verwarmingsbuizen uitgevoerd in staal. De levensduur en het onderhoud van deze onderdelen is gelijk gesteld aan die van het stalen verwarmingsnet. De regeling (computer en electra) wordt afgeschreven over een periode van vijf jaar en de onderhoudskosten zijn begroot op 2% van het investeringsbedrag.

Tabel 4.2 Economische levensduur en onderhoudskosten van de verwarmingsnetten afhankelijk van de materiaalkeuze

Materiaal	Economische levensduur (jaren)	Onderhoudskosten (%) *
Staal	15	1
Poly-ethyleen	6	2
Aluminium	10	2

*) In % van de investering inclusief verzekering.

In tabel 4.3 is het lichtverlies veroorzaakt door de verschillende typen verwarmingsbuizen vermeld. De p.e. slang is buiten beschouwing gelaten daar dit type verwarmingsbuis in de praktijk altijd onder in de kas wordt geïnstalleerd. Uit de tabel blijkt dat het lichtverlies minder is naarmate een verwarmingsbuis dunner is. Het lichtverlies van de gevinde aluminium buis 22-70 is minder dan de qua verwarmingscapaciteit overeenkomstige stalen buis van 51 mm.

*Tabel 4.3 Lichtverlies bij verschillende type verwarmingsbuizen
(% per buis per 3,20 m kap)*

Type verwarmingsbuis	Lichtverlies (%)
Staal 51 mm	2,5
Staal 28 mm	1,4
Vin 22-70 mm	2,0
Vin 22-50 mm	1,5

Naar Stoffers, 1967.

De plaats van de verwarmingsbuizen in de kas is van bedrijf tot bedrijf zeer verschillend. Verwarmingsbuizen die boven het gewas geïnstalleerd worden hebben lichtverlies tot gevolg. In dit onderzoek zijn de volgende situaties in beschouwing genomen:

- geen lichtverlies (alle extra buizen onder in het gewas);
- lichtverlies door 1 extra buis bovenin;
- lichtverlies door 2 extra buizen bovenin;
- lichtverlies door 3 extra buizen bovenin.

4.1.3 Tablet- en vloerverwarming

Bij de teelt op tabletten wordt uitgegaan van verrolbare aluminium tabletten. In het alternatief zonder laagwaardige warmte wordt de kas verwarmd met stalen 51 mm buizen zowel onder als boven de tabletten. De tabletbodem bestaat uit een asbestcementplaat met infiltratie-mat. In het alternatief met laagwaardige warmte is de verwarming onder de tabletten vervangen door een verwarmde tabletbodem. De typen tabletbodems zoals vermeld in tabel 4.4 zijn hierbij in beschouwing genomen. De typen b en d kunnen naast het gebruik als verwarmingssysteem tevens gebruikt worden als eb/vloed watergeefstelsel, de typen a en c hebben deze mogelijkheid niet. Voor nadere informatie omtrent de verwarmde bodems wordt verwezen naar een artikel van P.A van Weel (van Weel, 1984).

Tabel 4.4 De in beschouwing genomen typen verwarmde tabletbodems

-
- a. Polystyreen bodem met hierin polypropyleen verwarmingsslangen om de slangen en op de bodem aluminium folie afgedekt met plastic folie en infiltratiemat;
 - b. aluminium eb/vloed bodem met aan de onderkant aluminium verwarmingsbuizen er tegen aan;
 - c. aluminium bodem-plaat met aan de onderkant poly-ethyleen verwarmingsslangen er tegen aan;
 - d. kunststof eb/vloed bodem met poly-ethyleen verwarmingsslangen los er onder.
-

Als gemiddelde watertemperatuur in de verwarmde tabletbodems wordt uitgegaan van zowel 30 als 40 °C. Het warmteafgevend vermogen van de tabletbodem is naast de watertemperatuur afhankelijk van het type bodem. Hierdoor wordt er door de afzonderlijke typen een ongelijke hoeveelheid laagwaardige warmte in de kas gebracht; dit in tegenstelling tot de het laagwaardige basislast-net bij de buisverwarmingssystemen waar het vermogen van het basislast-net bij de verschillende buistypen steeds gelijk is.

De economische levensduur van de tabletten zowel met als zonder verwarmde bodem is gesteld op tien jaar en de onderhoudskosten op 2% per jaar van het investeringsbedrag. De transportleidingen, verdeelstukken en menggroepen zijn bij alle typen verwarmde tabletbodems uitgevoerd in staal. De levensduur en het onderhoud is gelijk gesteld aan die van dezelfde onderdelen bij de buisverwarmingssystemen (15 jaar en 1%).

Bij de betonvloerverwarming wordt uitgegaan van een bewapende vloer met een dikte van 10 cm en aan de onderkant geïsoleerd met poly-styreen. In de vloer bevinden zich 16 poly-ethyleen slangen per 3,20 m kas. Als gemiddelde watertemperatuur wordt evenals bij de verwarmde tabletbodem uitgegaan van 30 en 40 °C. De economische levensduur bedraagt 15 jaar en het onderhoud 1%. In de situatie met laagwaardige warmte kan de verwarmingscapaciteit van de betonvloer of de verwarmde tabletbodem samen met het bovennet te gering zijn. Het bovennet zal dan moeten worden uitgebreid. Indien de extra verwarmingsbuizen boven in de kas worden geïnstalleerd veroorzaakt dit lichtverlies. Evenals bij de buisverwarmingssystemen wordt uitgegaan van 2,5% lichtverlies per extra 51 mm buis per 3,20 m kas. De extra jaarkosten als gevolg van lichtverlies zijn afhankelijk van de geldopbrengst per m² en zijn daardoor gelijk aan die bij de buisverwarmingssystemen.

Zoals in de inleiding reeds is vermeld kunnen de tablet- en vloerverwarmingssystemen ook voor andere doeleinden dan verwarming worden gebruikt. De extra kosten van deze systemen worden daarom zowel volledig als geheel niet toegerekend aan het gebruik van laagwaardige warmte. In de situatie waarin de extra kosten niet worden toegerekend worden de extra kosten voor de dubbele

uitvoering van de transportleidingen, verdeelstukken en menggroepen en de regeling wel in beschouwing genomen. De laagwaardige warmte moet immers gescheiden blijven van de hoogwaardige warmte.

4.2 Buisverwarming

4.2.1 Uitvoering verwarmingssysteem

4.2.1.1 Laag vermogen

Bij de buisverwarmingssystemen in de situatie met een laag vermogen (180 W/m²) bestaat de verwarming in het alternatief waarbij volledig met ketelwarmte (aanvoertemperatuur 90 °C, delta T maximaal 20 °C) in de warmtebehoefte wordt voorzien uit een verwarmingsnet van vier stalen 51 mm buizen per 3,20 m kap. In het andere alternatief waar in de basislast met laagwaardige warmte en in de pieklast met ketelwarmte wordt gestookt bestaat het pieklast-net uit drie stalen 51 mm buizen. De uitvoering van het laagwaardige basislast-net is afhankelijk van het aangeboden vermogen aan laagwaardige warmte, het type verwarmingsbuis en de gemiddelde watertemperatuur.

Als vermogen van het basislast-net wordt uitgegaan van 30% van het maximaal benodigd vermogen ofwel 54 W/m². De uitvoering van het laagwaardig verwarmingsnet is voor de afzonderlijke typen

*Tabel 4.5 Aantal verwarmingsbuizen per 3,20 m kap voor het laagwaardige verwarmingsnet bij verschillende type verwarmingsbuizen en gemiddelde watertemperaturen in de situatie met een laag vermogen *)*

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. temp. (°C)	aant. buizen	gem. temp. (°C)	aant. buizen	gem. temp. (°C)	aant. buizen	gem. temp. (°C)	aant. buizen	gem. temp. (°C)	aant. buizen
55	2	57	3	44	6	55	2	68	2
44	3	50	4	38	8	44	3	53	3
38	4	44	5	34	10	38	4	46	4
34	5	40	6	32	12	34	5	38	6
32	6	34	8	28	16	32	6	33	8
28	8	31	10	27	18	28	8	30	10

*) Maximaal benodigd warmteleverend vermogen 180 W/m², kasluchttemperatuur 18 °C, aandeel laagwaardige warmte 30%, ofwel 54 W/m².

Naar Nawrocki, 1985a.

verwarmingsbuizen en verschillende gemiddelde watertemperaturen vermeld in tabel 4.5. Hierbij is het warmteafgevend vermogen van de vin 22-70 gelijk gesteld aan die van een stalen 51 mm buis en van de vin 22-50 aan een stalen 33 mm buis. Bij de poly-ethyleen slangen komen geen watertemperaturen voor boven de 50 °C. Dit materiaal is niet bestand tegen deze temperaturen.

Uit de tabel blijkt dat voor een laagwaardig verwarmingsnet van stalen 51 mm buizen en een gemiddelde watertemperatuur van 55°C, twee buizen per 3,20 m kap nodig zijn. Bij 38 °C zijn vier buizen nodig en bij 28 °C acht buizen. Bij poly-ethyleen is dit zes slangen bij 44 °C, acht slangen bij 39 °C enzovoort.

In de situatie waarin naast de laagwaardige warmte van de alternatieve warmtebron ook gebruik wordt gemaakt van laagwaardige condensorwarmte verschilt de uitvoering van de verwarmingsystemen in beide alternatieven met de situatie zonder laagwaardige condensorwarmte. In het alternatief waarin volledig met de gasketel in de warmtebehoefte wordt voorzien zal een apart condensornet moeten worden geïnstalleerd. Uitgegaan wordt van een verwarmingsnet met een vermogen van 18 W/m² dat bestaat uit één stalen 51 mm buis per 3,20 m kap. In de praktijk wordt ook veel gebruik gemaakt van twee poly-ethyleen 25 mm slangen per kap. Dit verschilt echter in jaarkosten nauwelijks met die van de stalen 51 mm buis.

*Tabel 4.6 Aantal verwarmingsbuizen per 3,20 m kap voor het laagwaardige verwarmingsnet bij verschillende type verwarmingsbuizen en gemiddelde watertemperaturen in de situatie met een laag vermogen en het gebruik van laagwaardige condensorwarmte *)*

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. temp. (°C)	aant. buizen	gem. temp. (°C)	aant. buizen	gem. temp. (°C)	aant. buizen	gem. temp. (°C)	aant. buizen	gem. temp. (°C)	aant. buizen
62	2	66	3	50	6	62	2	61	3
49	3	56	4	42	8	49	3	52	4
42	4	44	6	38	10	42	4	42	6
38	5	38	8	35	12	38	5	36	8
34	6	34	10	31	16	34	6	33	10
31	8	32	12	30	18	31	8	30	12

*) Maximaal benodigd warmteleverend vermogen 180 W/m², kasluchttemperatuur 18 °C, vermogen aan laagwaardige warmte 66 W/m².

Naar Nawrocki, 1985a.

De uitvoering van het laagwaardige verwarmingsnet bij gebruik van zowel laagwaardige warmte van een alternatieve bron als van de condensor is vermeld in tabel 4.6. De capaciteit van het laagwaardige verwarmingsnet moet groter zijn dan in de situatie zonder laagwaardige condensorwarmte. Uitgegaan wordt van een extra vermogen voor de laagwaardige condensorwarmte van 12 W/m². Het vermogen van het laagwaardige verwarmingsnet wordt hierdoor 66 W/m². In deze situatie zijn er meer buizen nodig dan in de situatie zonder laagwaardige condensorwarmte. Bij stalen 51 mm buizen en een gemiddelde watertemperatuur van 38 °C zijn er vijf buizen per 3,20 m kap nodig. In de situatie zonder laagwaardige condensorwarmte waren dit er vier (tabel 4.5). Het aantal buizen bij de andere typen verwarmingsbuizen zijn eveneens vermeld.

Indien gebruik wordt gemaakt van een buisrail transportsysteem zijn er vier stalen 51 mm buizen per kap nodig. Worden er geen of onvoldoende stalen 51 mm buizen geïnstalleerd dan zal het pieklast-net waarvoor warmtetechnisch drie buizen per kap nodig zijn uitgebreid moeten worden tot vier stalen 51 mm buizen per kap.

Tabel 4.7 Aantal verwarmingsbuizen per 3,20 m kap voor het hoogwaardige pieklast-net bij de verschillende typen verwarmingsbuizen in de situatie met een laag vermogen *)

Type buis	Aantal buizen
Staal 51 mm	3
Staal 28 mm	5
Vin 22-70 mm	3
Vin 22-50 mm	4

*) Maximaal benodigd vermogen 180 W/m², kasluchttemperatuur 18 °C, aandeel pieklast-net 70% ofwel 126 W/m², gemiddelde watertemperatuur 80 °C.

In tabel 4.7 is het benodigde aantal buizen vermeld voor het hoogwaardige pieklast-net bij de verschillende typen verwarmingsbuizen. Bij stalen 51 mm buizen zijn er drie buizen per 3,20 m kap nodig. Bij stalen 28 mm buizen zijn dit er vijf, bij de vin 22-70 drie en de vin 2-50 vier stuks.

4.2.1.2 Hoog vermogen

In de situatie met een hoog vermogen (240 W/m²) bestaat het verwarmingsnet in het alternatief waarbij volledig met de ketel wordt gestookt uit vijf stalen 51 mm buizen per 3,20 m kap. In

het alternatief waar in de basislast met de alternatieve laagwaardige warmtebron en in de pieklast met de ketel wordt gestookt bestaat het pieklast-net uit vier stalen 51 mm buizen. Het vermogen van het laagwaardige basislast-net bedraagt 30% van het maximaal benodigd vermogen ofwel 72 W/m². De uitvoering van dit verwarmingsnet is voor de verschillende typen verwarmingsbuizen en gemiddelde watertemperaturen vermeld in tabel 4.8.

*Tabel 4.8 Aantal verwarmingsbuizen per 3,20 m kap voor het laagwaardige verwarmingsnet bij verschillende type verwarmingsbuizen en gemiddelde watertemperaturen in de situatie met een hoog vermogen *)*

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. temp. (°C)	aant. buizen	gem. temp. (°C)	aant. buizen	gem. temp. (°C)	aant. buizen	gem. temp. (°C)	aant. buizen	gem. temp. (°C)	aant. buizen
66	2	61	4	47	8	66	2	67	3
54	3	50	6	42	10	54	3	56	4
46	4	43	8	39	12	46	4	46	6
38	6	36	12	35	16	38	6	40	8
34	8	32	16	32	20	34	8	34	12
30	12	30	20	31	24	30	12	31	16

*) Maximaal benodigd warmteleverend vermogen 240 W/m², kasluchttemperatuur 22 °C, aandeel laagwaardige warmte 30%, ofwel 72 W/m².

Naar Nawrocki, 1985a.

Uit de tabel blijkt dat bij een laagwaardig basislast-net van stalen 51 mm buizen en een gemiddelde watertemperatuur van 66 °C twee buizen per kap nodig zijn. Bij 34 °C zijn dit er acht. Bij p.e. zijn bij een gemiddelde watertemperatuur van 47 °C acht slangen en bij 32 °C 20 slangen per kap nodig. In de situatie met een laag vermogen zijn bij staal 51 mm en een gemiddelde watertemperatuur van 34 °C vijf buizen en bij p.e. en een gemiddelde watertemperatuur van 32 °C twaalf slangen per kap nodig (zie tabel 4.5). In de situatie met een hoog vermogen zijn voor het laagwaardige basislast-net dus meer verwarmingsbuizen nodig.

In de situatie met laagwaardige condensorwarmte wordt in het alternatief waarin volledig met ketelwarmte wordt gestookt uitgegaan van een condensor-net bestaande uit één stalen 51 mm buis per 3,20 m kap. De uitvoering van het laagwaardige verwarmingsnet waarin zowel de laagwaardige warmte van de alternatieve bron als van de condensor wordt aangewend is vermeld in tabel 4.9. Als extra vermogen voor de laagwaardige condensorwarmte wordt uitgegaan

van 16 W/m². Het vermogen van het laagwaardige verwarmingsnet wordt hierdoor 88 W/m² (72 + 16). In deze situatie zijn er meer buizen nodig dan in de situatie zonder laagwaardige condensorwarmte. Bij staal 51 mm en een gemiddelde watertemperatuur van 34 °C zijn er tien buizen nodig. In de situatie zonder laagwaardige condensorwarmte zijn dit er acht (zie tabel 4.8). In de situatie met een laag vermogen en een gemiddelde watertemperatuur van 34 °C zijn dit er respectievelijk vijf en zes (zie tabel 4.5 en 4.6). De toename van het aantal buizen door het gebruik van laagwaardige condensorwarmte is in de situatie met een hoog vermogen dus groter dan in de situatie met een laag vermogen.

Tabel 4.9 Aantal verwarmingsbuizen per 3,20 m kap voor het laagwaardige verwarmingsnet bij verschillende type verwarmingsbuizen en gemiddeld watertemperaturen in de situatie met een hoog vermogen en het gebruik van laagwaardige condensorwarmte *)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. temp. bui- (°C)	aant. zen	gem. temp. bui- (°C)	aant. zen	gem. temp. bui- (°C)	aant. zen	gem. temp. bui- (°C)	aant. zen	gem. temp. bui- (°C)	aant. zen
60	3	55	6	47	10	60	3	63	4
51	4	48	8	43	12	51	4	51	6
42	6	39	12	37	16	42	6	44	8
37	8	35	16	34	20	37	8	37	12
34	10	32	20	32	24	34	10	33	16
30	14	30	24	30	32	30	14	31	20

*) Maximaal benodigd warmteleverend vermogen 240 W/m², kasluchttemperatuur 22 °C, vermogen aan laagwaardige warmte 88 W/m².

Naar Nawrocki, 1985a.

In tabel 4.10 is het aantal verwarmingsbuizen vermeld dat in de situatie met een hoog vermogen nodig is voor het pieklast-net bij gebruik van verschillende typen verwarmingsbuizen. Bij staal 51 mm zijn er vier buizen per kap nodig. Bij staal 28 mm zijn dit er zes, bij vin 22-70 vier en bij vin 22-50 vijf. Ook bij het pieklast-net zijn in de situatie met een hoog vermogen meer verwarmingsbuizen nodig dan in de situatie met een laag vermogen (zie tabel 4.7).

*Tabel 4.10 Aantal verwarmingsbuizen per 3,20 m kap voor het hoogwaardige pieklast-net bij de verschillende typen verwarmingsbuizen in de situatie met een hoog vermogen *)*

Type buis	Aantal buizen
Staal 51 mm	4
Staal 28 mm	6
Vin 22-70 mm	4
Vin 22-50 mm	5

*) Maximaal benodigd vermogen 240 W/m², kasluchttemperatuur 22 °C, aandeel pieklast-net 70% ofwel 168 W/m², gemiddelde watertemperatuur 80 °C.

4.2.2 Resultaten

4.2.2.1 Laag vermogen

In tabel 4.11 zijn de investeringen en jaarkosten vermeld van een reeks verwarmingssystemen bestaande uit een laagwaardig basislast-net en een hoogwaardig pieklast-net van beiden stalen 51 mm buizen in de situatie met een laag benodigd vermogen. Uit de tabel blijkt dat de investering in het laagwaardige basislast-

*Tabel 4.11 Investerings- en jaarkosten van een reeks verwarmingssystemen waarvan het basis- en pieklast-net bestaat uit stalen 51 mm buizen in de situatie met een laag vermogen en zonder laagwaardige condensorwarmte en zonder lichtverlies *)*

Gem. T l.w.net (°C)	Aant.buiz. l.w. net/ 3,2 m kap	Inv.l.w. verw. (f/m ²)	Inv.h.w. verw. (f/m ²)	Inv.tot. verw. (f/m ²)	Jaark. tot.verw. (f/m ²)	Extra jaark. (f/m ²)
55	2	9,50	12,25	21,75	2,50	0,92
44	3	11,75	12,25	24,00	2,76	1,18
38	4	14,00	12,25	26,25	3,02	1,44
34	5	16,25	12,25	28,50	3,28	1,70
32	6	18,50	12,25	30,75	3,54	1,96
28	8	23,00	12,25	35,25	4,06	2,48

*) Laagwaardig basislast-net: aantal stalen 51 mm buizen per 3,20 m kap zoals aangegeven.
Hoogwaardig pieklast-net: drie stalen 51 mm buizen per 3,20 m kap.

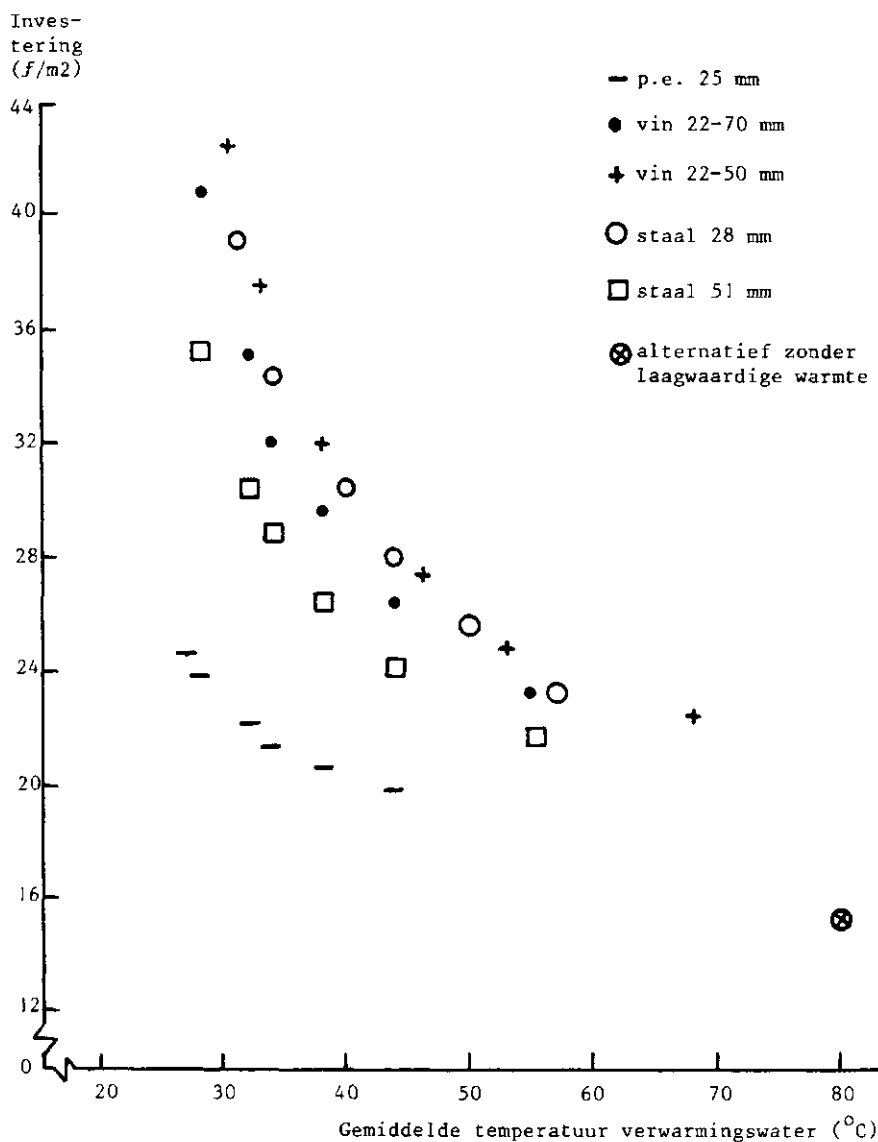
net toeneemt van f 9,50 per m² bij een gemiddelde watertemperatuur van 55 °C en twee buizen per 3,20 m kap tot f 23,00 per m² bij een gemiddelde watertemperatuur van 28 °C en acht buizen per kap. De investering in het hoogwaardige pieklust-net dat bestaat uit drie stalen 51 mm buizen per kap bedraagt f 12,25 per m². De investering in het totale verwarmingssysteem loopt op van f 21,75 tot f 35,25 per m². De jaarkosten bedragen bij een gemiddelde watertemperatuur van 55 °C f 2,50 en bij 28 °C f 4,06 per m².

Deze reeks verwarmingssystemen moet vergeleken worden met een verwarmingssysteem dat bestaat uit een net van vier stalen 51 mm buizen per 3,20 m kap. De investering en de jaarkosten hiervan bedragen respectievelijk f 15,00 en f 1,73 per m². In tabel 4.11 is in de laatste kolom aangegeven hoeveel de extra jaarkosten van het verwarmingssysteem bedragen indien laagwaardige warmte van een alternatieve bron wordt gebruikt. Hierin zijn ook de extra kosten voor de regeling opgenomen (f 0,15/m²). De extra jaarkosten lopen op van f 0,92 per m² bij een gemiddelde watertemperatuur van 55 °C tot f 2,48 per m² bij 28 °C.

In figuur 4.1 zijn de investeringen weergegeven van de verschillende typen verwarmingsnetten. Uit de figuur blijkt dat de investeringen bij lagere watertemperaturen exponentieel toenemen. Het gebruik van poly-ethyleen slangen brengt duidelijk een lagere investering met zich mee dan de stalen 51 mm buizen. De investering in het verwarmingssysteem met p.e. slangen loopt op tot ongeveer f 24,- per m² bij 28 °C terwijl dit bij staal 51 mm ongeveer f 35,- m² bedraagt. De snellere typen verwarmingsbuizen in basislast (staal 28 mm, vin 22-70 en vin 22-50) brengen de hoogste investeringen oplopend tot boven de f 40,- per m² bij een gemiddeld watertemperatuur van 30 °C met zich mee. De vin 22-70 is iets goedkoper in aanschaf dan de stalen 28 mm buis en de vin 22-50 iets duurder. Voor gedetailleerde gegevens wordt verwezen naar bijlage 1.

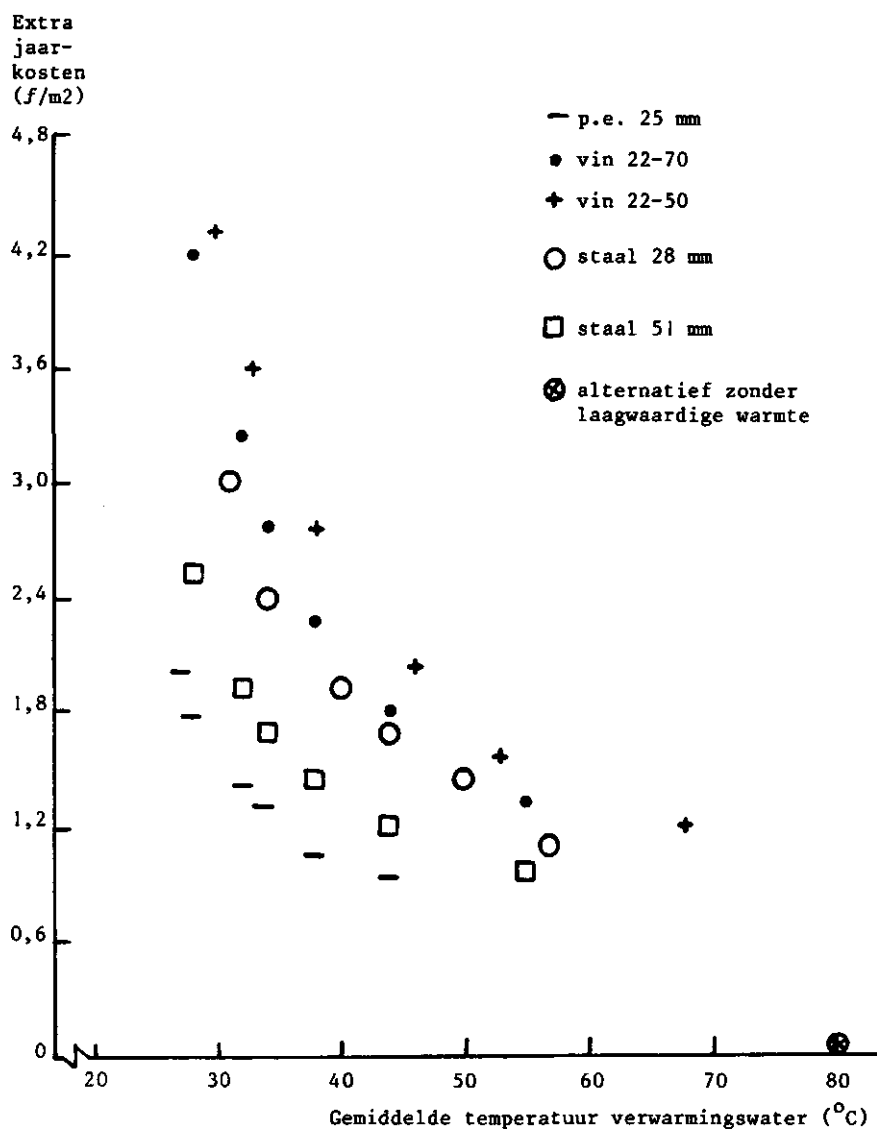
Figuur 4.2 toont de extra jaarkosten bij gebruik van laagwaardige warmte. Ook in jaarkosten blijken p.e. slangen goedkoper te zijn dan stalen 51 mm buizen al is het verschil niet zo groot dan bij de investeringen. Dit wordt veroorzaakt doordat de economische levensduur van p.e. aanzienlijk korter is en de onderhoudskosten hoger zijn. De extra jaarkosten lopen bij p.e. op tot ruim f 1,85 bij een gemiddelde watertemperatuur van 28 °C en bij staal 51 mm tot f 2,48 per m².

De snellere typen verwarmingsbuizen blijken de hoogste jaarkosten met zich mee te brengen. De gevinde aluminium buizen komen het ongunstigst uit de bus. De extra jaarkosten hiervan lopen bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 °C op tot boven de f 4,- per m². Bij de stalen 28 mm buis bedraagt dit ongeveer f 3,- per m². Staal 28 mm is in jaarkosten goedkoper dan de vin doordat de levensduur langer en het onderhoud lager is. De vin 22-70 is goedkoper in gebruik dan de vin 22-50.



Figuur 4.1 Investering in het totale verwarmingssysteem bij verschillende typen verwarmingsbuizen en een reeks van gemiddeld watertemperaturen voor het laagwaardige basislast-net in de situatie met een laag vermogen en zonder condensorwarmte *)

*) Uitvoering verwarmingssysteem zie tabel 4.5.



Figuur 4.2 Extra jaarkosten van het totale verwarmingssysteem bij verschillende typen verwarmingsbuizen en een reeks van gemiddelde watertemperaturen voor het laagwaardige basislast-net in de situatie met een laag vermogen, zonder condensorwarmte en lichtverlies *)

*) Uitvoering verwarmingssysteem zie tabel 4.5.

In tabel 4.12 zijn de extra jaarkosten van het verwarmings-systeem vermeld in de situatie waarin door de plaats van de verwarmingsbuizen in de kas lichtverlies wordt veroorzaakt. Uit de tabel blijkt dat lichtverlies een aanzienlijke verhoging van de jaarkosten met zich meebrengt. Indien één extra verwarmingsbuis lichtverlies veroorzaakt nemen bij staal 51 mm en een geldopbrengst van f 60,- per m² de extra jaarkosten met f 1,50 per m² toe. Bij een gemiddelde watertemperatuur van 38 °C stijgen de extra jaarkosten daardoor van f 1,44 tot f 2,92 per m². Bij staal 28 mm bedraagt de stijging f 0,84, bij de vin 22-70 f 1,20 en bij de vin 22-50 f 0,90 per m². Bij meerdere verwarmingsbuizen die lichtverlies veroorzaken stijgen de jaarkosten evenredig. De vergelijking tussen de verschillende typen verwarmingsbuizen is hier niet zonder meer mogelijk daar de verschillende typen verwarmingsbuizen een verschillende verwarmingscapaciteit hebben. Alleen bij staal 51 mm en vin 22-70 is deze gelijk. Bij vergelijking van deze twee typen blijkt dat lichtverlies bij de vin 22-70 een geringere verhoging van de jaarkosten met zich meebrengt.

Tabel 4.12 Extra jaarkosten van het verwarmingssysteem bij verschillende niveaus aan lichtverlies, verschillende typen verwarmingsbuizen, een bepaalde gemiddelde watertemperatuur en een laag vermogen (f/m².jaar)

Niveau van lichtverlies (buizen/3,20 m kap)	Type verwarmingsbuis (gem. watertemperatuur)			
	staal	staal	vin	vin
	51 mm (38)	28 mm (34)	22-70 (38)	22-50 (33)
0	1,44	2,42	2,31	3,58
1	2,94	3,26	3,51	4,48
2	4,44	4,10	4,71	5,38
3	5,94	4,94	5,91	6,28

In tabel 4.13 zijn de investeringen en jaarkosten vermeld van het hoogwaardige pieklast-net bij gebruik van verschillende typen verwarmingsbuizen. Het pieklast-net bestaande uit drie stalen 51 mm buizen per 3,20 m kap zoals gebruikt in de hiervoor beschreven situaties brengt aan investering en jaarkosten respectievelijk f 12,25 en f 1,41 met zich mee. Van de snellere verwarmingsbuizen staal 28 mm, vin 22-70 en vin 22-50 zijn de investeringen en jaarkosten hoger. De snellere pieklast verwarmingsnetten veroorzaken daardoor extra jaarkosten. Deze bedragen respectievelijk f 0,46, f 0,65 en f 0,81 per m². De extra jaarkosten zijn bij gebruik van de stalen 28 mm buis als pieklast-net echter lager dan bij gebruik als basislast-net. Bij de gevinde aluminium

buizen is dit bij de lagere watertemperaturen (45 °C en lager) ook het geval.

Indien voor het gebruik van een buisrail transportsysteem een pieklust-net bestaande uit vier stalen 51 mm buizen per kap nodig is bedragen de investeringen in het pieklust-net f 14,50 en de jaarkosten f 1,67 per m². De extra jaarkosten bedragen f 0,26 per m².

Tabel 4.13 *Investerings en jaarkosten van het pieklust-net bij de verschillende typen verwarmingsbuizen in de situatie met een laag benodigd vermogen (f/m²) *)*

Type buis	Aantal buizen per 3,20 m kap	Investering	Jaarkosten	Extra jaar- kosten
Staal 51 mm	3	12,25	1,41	-
Staal 28 mm	5	16,25	1,87	0,46
Vin 22-70 mm	3	14,50	2,06	0,65
Vin 22-50 mm	4	15,50	2,22	0,81
Staal 51 mm **)	4	14,50	1,67	0,26

*) Maximaal benodigd vermogen 180 W/m².

**) Bij gebruik van een buisrailtransportsysteem.

Tabel 4.14 *Investerings in en jaarkosten van een reeks verwarmingssystemen waarvan het basislast en het pieklust-net bestaan uit stalen 51 mm buizen in de situatie met een laag vermogen en laagwaardige condensorwarmte en zonder lichtverlies *)*

Gem. T l.w. net (°C)	Aant.buiz. l.w. net/ 3,2 m kap	Inv.l.w. verw. (f/m ²)	Inv.h.w. verw. (f/m ²)	Inv.tot. verw. (f/m ²)	Jaark. tot.verw. (f/m ²)	Extra jaark. (f/m ²)
62	2	9,50	12,25	21,75	2,50	0,35
49	3	11,75	12,25	24,00	2,76	0,61
42	4	14,00	12,25	26,25	3,02	0,87
38	5	16,25	12,25	28,50	3,28	1,13
34	6	18,50	12,25	30,75	3,54	1,39
31	8	23,00	12,25	35,25	4,06	1,91

*) Laagwaardig basislast-net: aantal stalen 51 mm buizen per 3,20 m kap zoals aangegeven.

Hoogwaardig pieklust-net: drie stalen 51 mm buizen per 3,20 m kap.

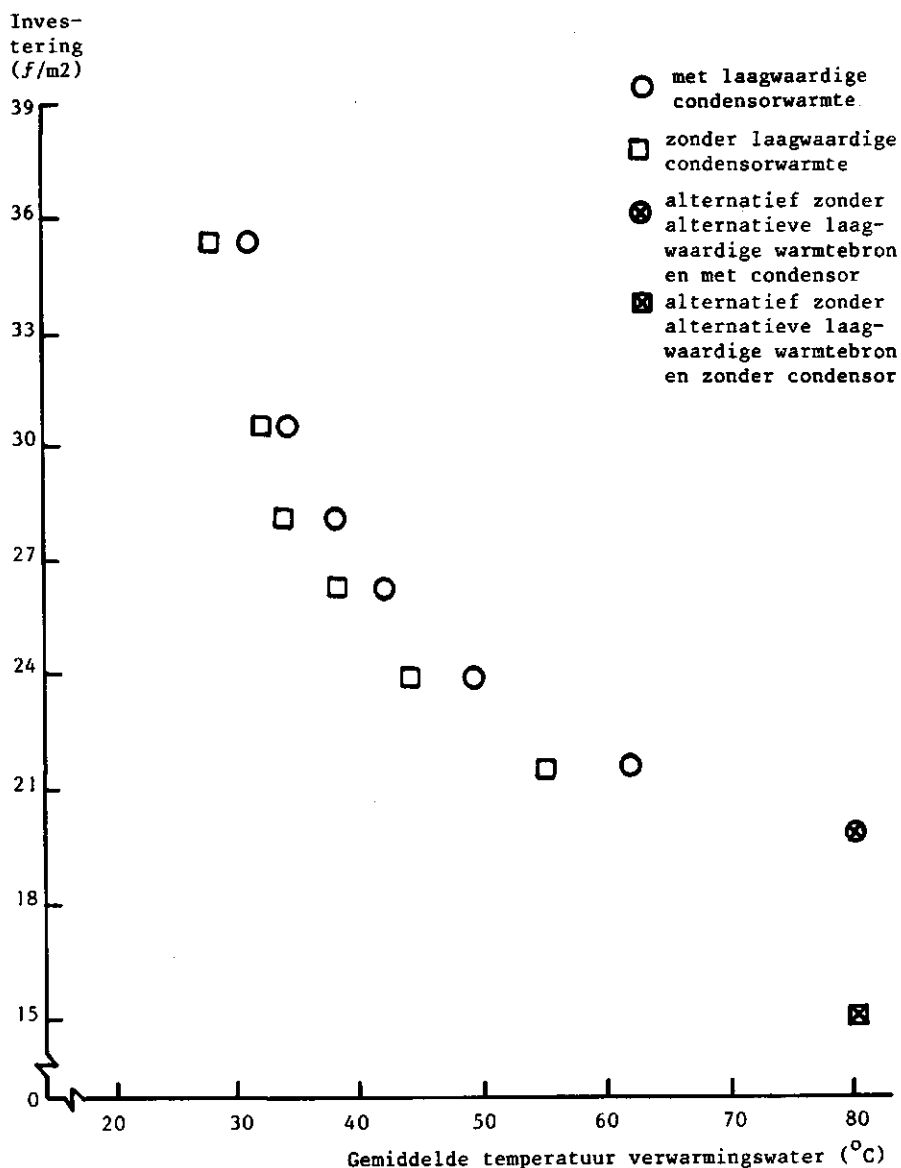
De investeringen en jaarkosten in de situatie waarin naast laagwaardige warmte van een alternatieve bron ook gebruik wordt gemaakt van laagwaardige condensorwarmte staan vermeld in tabel 4.14. Het betreft hier een reeks verwarmingssystemen waarvan zowel het basis- als het pieklast-net bestaan uit stalen 51 mm buizen.

In figuur 4.3 zijn de investeringen weergegeven voor zowel de situatie met als zonder laagwaardige condensorwarmte. Uit de figuur blijkt dat in de situatie met laagwaardige condensorwarmte de investeringen hoger zijn.

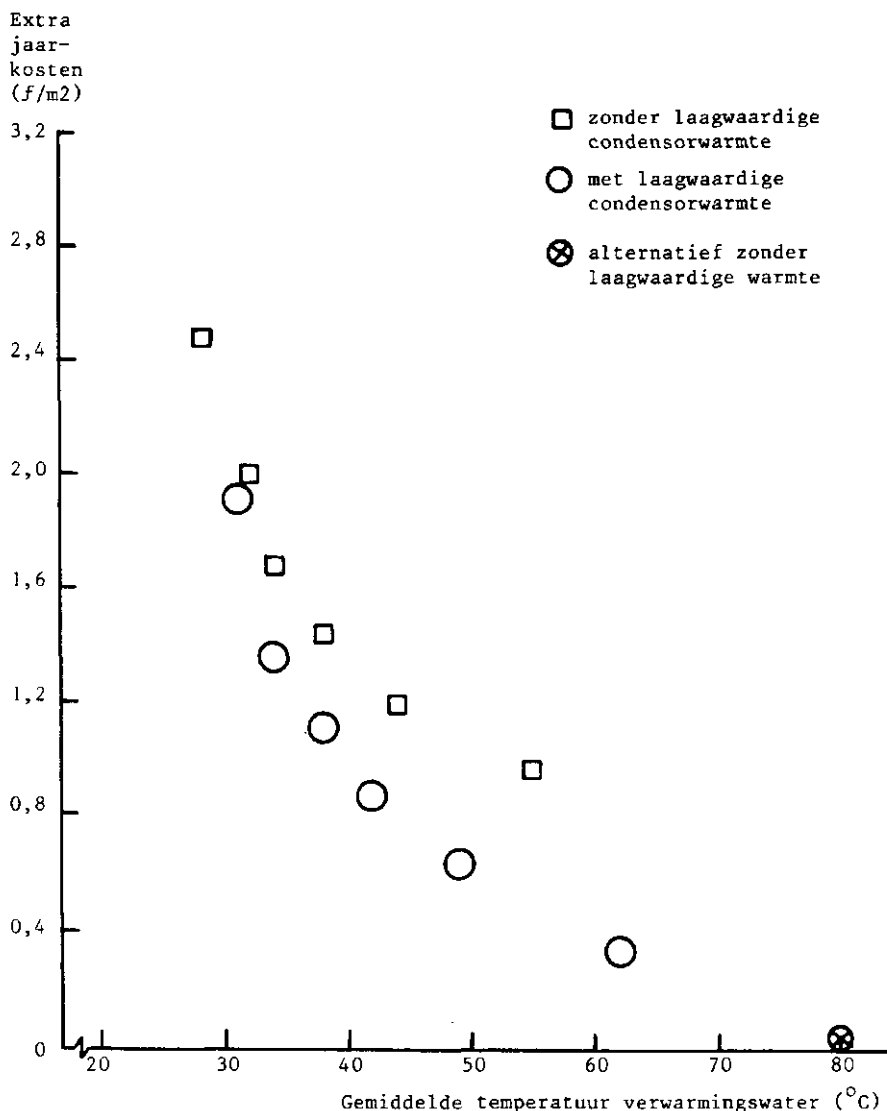
Deze reeks verwarmingssystemen met laagwaardige condensorwarmte moet vergeleken worden met een verwarmingssysteem dat bestaat uit een net van vier stalen buizen per 3,20 m kap voor de ketelwarmte en een net van één stalen buis voor de condensorwarmte. De investeringen en jaarkosten hiervan bedragen respectievelijk f 20,- en f 2,30 per m². De extra jaarkosten (inclusief regeling) zijn eveneens vermeld in tabel 4.14. Deze lopen op van f 0,35 bij een gemiddelde watertemperatuur van 62 °C tot f 1,91 bij 31 °C.

De extra jaarkosten in de situatie met en zonder laagwaardige condensorwarmte zijn weergegeven in figuur 4.4. De extra jaarkosten blijken in tegenstelling tot de investeringen in de situatie met laagwaardige condensorwarmte lager te zijn. De oorzaak hiervan ligt in het feit dat de investering in het verwarmingssysteem waarmee deze reeks verwarmingssystemen moet worden vergeleken hoger is. Dit verwarmingssysteem bestaat immers uit een hoogwaardig ketel-net en een laagwaardig condensor-net. De verschillen tussen de jaarkosten in de situatie met en zonder laagwaardige condensorwarmte worden kleiner naarmate de gemiddelde watertemperatuur lager is.

In bijlage 2 zijn de investeringen en jaarkosten van de verwarmingssystemen met de andere typen verwarmingsbuizen voor het laagwaardige basislast-net vermeld. De verschillen tussen de afzonderlijke typen komen overeen met de situatie zonder laagwaardige condensorwarmte. De investeringen zijn in de situatie met laagwaardige condensorwarmte bij alle typen hoger en de jaarkosten lager. Op dit laatste vormen de laagste watertemperaturen bij de gevinde aluminium buizen een uitzondering. Dit wordt veroorzaakt doordat de investeringen in een verwarmingsnet van dit type verwarmingsbuis sterker toeneemt naarmate de watertemperatuur ofwel het aantal buizen per kap groter is dan bij de andere typen verwarmingsbuizen.



Figuur 4.3 Investerings in het totale verwarmingssysteem bestaande uit een basis- en een pieklast-net van stalen 51 mm buizen bij een reeks gemiddelde watertemperaturen in de situatie met en zonder gebruik van laagwaardige condensorwarmte



Figuur 4.4 Extra jaarkosten van het totale verwarmingssysteem bestaande uit een basis- en een pieklast-net van stalen 51 mm buizen bij een reeks van gemiddelde watertemperaturen in de situatie met en zonder gebruik van laagwaardige condensorwarmte en zonder lichtverlies

4.2.2.2 Hoog vermogen

In tabel 4.15 zijn de investeringen en jaarkosten vermeld van een reeks verwarmingssystemen bestaande uit een laagwaardig basislast-net en een hoogwaardig pieklast-net van stalen 51 mm buizen in de situatie met een hoog vermogen. De investeringen in het totale verwarmingssysteem nemen toe van f 24,00 bij een gemiddelde watertemperatuur van 66 °C tot f 46,50 per m² bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 °C. De jaarkosten lopen op van f 2,76 tot f 5,36 per m². Bij een gemiddelde watertemperatuur van 34 °C bedraagt de investering f 37,50 en bedragen de jaarkosten f 4,32 per m². In de situatie met een laag vermogen bedraagt dit respectievelijk f 28,50 en f 3,28 per m² (zie tabel 4.11). In de situatie met een hoog vermogen zijn de investeringen en de jaarkosten dus hoger.

Tabel 4.15 Investerings- en jaarkosten van een reeks verwarmingssystemen waarvan het basis- en pieklast-net bestaat uit stalen 51 mm buizen in de situatie met een hoog vermogen en zonder laagwaardige condensorwarmte

Gem. T l.w.net (°C)	Aant.buiz. l.w. net/ 3,2 m kap	Inv.l.w. verw. (f/m ²)	Inv.h.w. verw. (f/m ²)	Inv.tot. verw. (f/m ²)	Jaark. tot.verw. (f/m ²)	Extra jaark. (f/m ²)
66	2	9,50	14,50	24,00	2,76	0,92
54	3	11,75	14,50	26,25	3,02	1,18
46	4	14,00	14,50	28,50	3,28	1,44
38	6	18,50	14,50	33,00	3,80	1,96
34	8	23,00	14,50	37,50	4,32	2,48
30	12	32,00	14,50	46,50	5,36	3,52

Het verwarmingssysteem waarmee deze reeks verwarmingssystemen vergeleken moet worden bestaat uit vijf stalen 51 mm buizen per kap en vraagt een investering van f 17,25 per m². De jaarkosten bedragen f 1,99 per m². De extra jaarkosten van het verwarmingssysteem in het alternatief met laagwaardige warmte (inclusief regeling) bedragen hierdoor bij een gemiddelde watertemperatuur van 66 °C f 0,92 en bij 30 °C f 3,52 per m². Bij een gemiddelde watertemperatuur van 34 °C is dit f 2,48. In de situatie met een laag vermogen bedraagt dit f 1,70 per m² (zie tabel 4.11). Ook de extra jaarkosten zijn in de situatie met een hoog vermogen dus hoger.

De investeringen en jaarkosten van de andere typen verwarmingsbuizen in basislast zijn vermeld in bijlage 3. Ook in de situatie met een hoog vermogen zijn de investeringen bij gebruik van p.e.-slangen lager en bij de snellere typen verwarmingsbuizen

hoger. Bij alle typen verwarmingsbuizen zijn de investeringen, jaarkosten en extra jaarkosten in de situatie met een hoog vermogen hoger dan in de situatie met een laag vermogen.

De investeringen en jaarkosten bij stalen 51 mm buizen in de situatie met een hoog vermogen waarbij gebruik wordt gemaakt van laagwaardige condensorwarmte zijn vermeld in tabel 4.16. In deze situatie lopen de investeringen in het totale verwarmingssysteem op van f 26,25 bij een gemiddelde watertemperatuur van 60 °C tot f 51,00 per m2 bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 °C. De jaarkosten lopen op van f 3,02 tot f 5,87 per m2. Bij een gemiddelde watertemperatuur van 34 °C bedraagt de investering f 42,00 en de jaarkosten f 4,84. In de situatie zonder laagwaardige condensorwarmte is dit respectievelijk f 30,75 en f 3,54 per m2 (zie tabel 4.14). Ook bij gebruik van laagwaardige condensorwarmte zijn de investeringen en jaarkosten in de situatie met een hoog vermogen dus hoger.

Tabel 4.16 Investerings- en jaarkosten van een reeks verwarmingssystemen waarvan het basislast- en het pieklast-net bestaan uit stalen 51 mm buizen in de situatie met een hoog vermogen en laagwaardige condensorwarmte

Gem. T l.w.net (°C)	Aant.buiz. l.w. net/ 3,2 m kap	Inv.l.w. verw. (f/m2)	Inv.h.w. verw. (f/m2)	Inv.tot. verw. (f/m2)	Jaark. tot.verw. (f/m2)	Extra jaark. (f/m2)
60	3	11,75	14,50	26,25	3,02	0,61
51	4	14,00	14,50	28,50	3,28	0,87
42	6	18,50	14,50	33,00	3,80	1,39
37	8	23,00	14,50	37,50	4,32	1,91
34	10	27,50	14,50	42,00	4,84	2,43
30	14	36,50	14,50	51,00	5,87	3,46

Het verwarmingssysteem waarmee deze reeks verwarmingssystemen moet worden vergeleken bestaat uit een ketelnet van vijf stalen 51 mm buizen en een condensor-net van één stalen 51 mm buis per kap. De investering en jaarkosten bedragen respectievelijk f 22,25 en f 2,56 per m2. De extra jaarkosten in het alternatief met laagwaardige warmte lopen hierdoor op van f 0,61 tot f 3,46 per m2. Bij een gemiddelde watertemperatuur van 34 °C bedragen de extra jaarkosten f 2,43. In de situatie met een laag vermogen is dit f 1,39 (zie tabel 4.14). De extra jaarkosten zijn in de situatie met laagwaardige condensorwarmte dus hoger dan in de situatie zonder laagwaardige condensorwarmte. Bij een laag vermogen was het omgekeerde het geval.

De investering en jaarkosten van de andere typen verwarmingsbuizen zijn vermeld in bijlage 4. Ook hier zijn de investeringen en jaarkosten hoger dan in de situatie met een laag benodigd vermogen.

Tabel 4.17 Investerings- en jaarkosten van het pieklast-net bij de verschillende typen verwarmingsbuizen in de situatie met een hoog benodigd vermogen

Type buis	Aantal buizen (f/m ²)	Invester- ing (f/m ²)	Jaar- kosten (f/m ²)	Extra jaark.
Staal 51 mm	4	14,50	1,67	-
Staal 28 mm	6	18,50	2,13	0,46
Vin 22-70 mm	4	17,50	2,54	0,87
Vin 22-50 mm	5	18,00	2,61	0,94

In tabel 4.17 zijn de investeringen en jaarkosten vermeld bij gebruik van verschillende typen verwarmingsbuizen voor het hoogwaardige pieklast-net in het alternatief met laagwaardige warmte. Van het pieklast-net bestaande uit vier stalen 51 mm buizen bedraagt de investering f 14,50 en bedragen de jaarkosten f 1,67 per m². Bij de snellere netten is dit bij staal 28 mm f 18,50 en f 2,13 per m², bij de vin 22-70 f 17,50 en f 2,54 en bij de vin 22-50 f 18,00 en f 2,61. De extra jaarkosten bedragen respectievelijk f 0,46, f 0,87 en f 0,94 per m². Bij vergelijking van tabel 4.17 met bijlage 3 en bijlage 4 blijkt dat ook in de situatie met een hoog vermogen een snel pieklast-net bij de lagere gemiddelde watertemperaturen (lager dan 45 °C) goedkoper in gebruik is dan een snel basislast-net.

4.3 Tablet- en vloerverwarming

4.3.1 Uitvoering verwarmingssystemen

4.3.1.1 Laag vermogen

Bij de teelt op tabletten bestaat de verwarming in het alternatief waarin volledig met ketelwarmte wordt gestookt en bij een laag benodigd vermogen (180 W/m²) uit vier stalen 51 mm buizen per 3,20 m kas. Hiervan zijn er twee onder en twee boven de tabletten geïnstalleerd. De buizen boven en onder in de kas zijn twee aparte verwarmingsnetten. In het alternatief met laagwaardige warmte in basislast bestaat de verwarming uit een verwarmde tabletbodem voor de basislast en een verwarmingsnet van stalen 51

mm buizen voor de pieklust. Het benodigd aantal buizen is afhankelijk van het warmteleverend vermogen van de tabletbodem. Dit is afhankelijk van het type bodem en de gemiddelde watertemperatuur. In tabel 4.18 is het warmteleverend vermogen van de tabletbodem voor een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C en het benodigd aantal buizen voor het pieklust-net vermeld.

Tabel 4.18 Warmte-afgevend vermogen van de verwarmde tabletbodem en het benodigd aantal buizen voor het pieklust-net bij een gemiddelde watertemperatuur van 20 en 40 °C in de situatie met een laag vermogen

Type verwarmde tablet bodem	Gem. watertemperatuur tabletverwarming			
	30 °C		40 °C	
	vermogen bodem *) (W/m2 kas)	aantal buizen per 3,2 m	vermogen bodem *) (W/m2 kas)	aantal buizen per 3,2m
a. poly-propyleen slangen in poly- styreen bodem	26	3	48	3
b. aluminium buizen onder aluminium bodem	53	3	97	2
c. poly-ethyleen slangen onder aluminium bodem	43	3	78	2
d. poly-ethyleen slangen onder kunststof bodem	17	4	32	3

*) Vermogen inclusief aan- en afvoerleidingen in de kas.
Technische ruimtebenutting 85%.

Naar, van Weel, 1984, Nawrocki, 1985a.

Het vermogen bij de polystyreen bodem met polypropyleen slangen bedraagt bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 °C 26 W en bij 40 °C 48 W per m2 kas. Hierbij is een gemiddelde technische ruimtebenutting van 85% aangehouden. Het benodigd aantal buizen voor het hoogwaardige pieklust-net bedraagt zowel bij een gemiddelde watertemperatuur in het laagwaardige warmte-net van 30 als van 40 °C drie stuks per 3,20 m kas. Uit de tabel blijkt verder dat van de aluminium bodem met aluminium buizen (type b) het grootste vermogen heeft en dat de kunststof bodem met poly-ethyleen slangen (type d) de minste warmte afgeeft. Hierdoor zijn er bij de kunststof bodem bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 °C meer en bij de aluminium bodem met alumi-

nium buizen bij een gemiddelde watertemperatuur van 40 °C minder buizen nodig voor het pieklast-net.

Het warmte-afgevend vermogen van de betonvloer en het benodigd aantal buizen voor het pieklast-net is vermeld in tabel 4.19. Het vermogen van de vloer bedraagt bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 °C 50 W en bij 40 °C 86 W per m². Voor het hoogwaardige pieklast-net zijn er bij 30 °C drie buizen en bij 40 °C twee buizen per 3,20 m kas nodig.

Dit verwarmingssysteem moet vergeleken worden met het alternatief waarin geen alternatieve laagwaardige warmte wordt aangewend. Uitgegaan wordt van een verwarmingssysteem bestaande uit vier stalen 51 mm buizen per 3,20 m kas. Indien in dit alternatief gebruik wordt gemaakt van laagwaardige condensorwarmte wordt uitgegaan van een extra verwarmingsnet bestaande uit één stalen 51 mm buis per 3,2 m kas.

Tabel 4.19 Warmte-afgevend vermogen van de verwarmde betonvloer en het benodigd aantal buizen voor het pieklast-net bij een gemiddelde watertemperatuur van 20 en 40 °C in de situatie met een laag vermogen

Gem. watertemperatuur vloer (°C)	Vermogen vloer *) (W/m ² kas)	Aantal buizen per 3,2 m kap
30	50	3
40	86	2

*) Vermogen inclusief aan- en afvoerleidingen in de kas.
Naar Nawrocki, 1985a.

In de situatie waarin in het laagwaardige warmte-net naast warmte van een alternatieve bron ook laagwaardige warmte van een rookgascondensor wordt aangewend heeft dit geen gevolgen voor de capaciteit van de verwarmde tabletbodem of betonvloer en de uitvoering van het pieklast verwarmingsnet. Het vermogen is immers systeemafhankelijk. Wel heeft dit gevolgen voor het aandeel van de alternatieve warmtebron in de jaarlijkse warmtebehoefte. Dit komt in hoofdstuk 5 aan de orde.

4.3.1.2 Hoog vermogen

In de situatie met een hoog benodigd vermogen (240 W per m²) bestaat de verwarming in het alternatief waarin volledig met ketelwarmte wordt gestookt uit vijf stalen 51 mm buizen per 3,20 m kas. Hiervan zijn er drie onder en twee boven de tabletten geïnstalleerd en de buizen boven en onder de tabletten zijn twee

aparte verwarmingsnetten. Het warmteleverend vermogen van de verwarmde tabletbodems en het benodigd aantal buizen voor het pieklast-net in het alternatief met laagwaardige warmte is vermeld in tabel 4.20. Het vermogen van de poly-styreen bodem (type a) draagt bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 °C 18 en bij 40 °C 40 W per m² kas. Dit is lager dan in de situatie met een laag vermogen. Het benodigd aantal buizen voor het pieklast-net is bij een hoog vermogen groter (zie tabel 4.18).

Tabel 4.20 Warmte-afgevend vermogen van de verwarmde tabletbodem en het benodigd aantal buizen voor het pieklast-net bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C in de situatie met een hoog vermogen

Type verwarmde tablet bodem	Gem. watertemperatuur tabletverwarming			
	30 °C		40 °C	
	vermogen bodem *) (W/m ² kas)	aantal buizen per 3,2 m	vermogen bodem *) (W/m ² kas)	aantal buizen per 3,2m
a. poly-propyleen slangen in poly- styreen bodem	18	5	40	5
b. aluminium buizen onder aluminium bodem	36	5	79	4
c. poly-ethyleen slangen onder aluminium bodem	29	5	64	4
d. poly-ethyleen slangen onder (kunststof bodem	12	5	26	5

*) Vermogen inclusief aan- en afvoerleidingen in de kas.
Technische ruimtebenutting 85%.

Naar, van Weel, 1984, Nawrocki, 1985a.

Het warmteafgevend vermogen van de betonvloer en het benodigd aantal buizen voor het pieklast-net is vermeld in tabel 4.21. Ook bij de betonvloer blijkt het vermogen in de situatie met een hoog vermogen lager en het benodigd aantal buizen voor het pieklast-net hoger te zijn dan in de situatie met een laag vermogen (zie tabel 4.19). Dit verwarmingssysteem wordt vergeleken met een systeem bestaande uit vijf stalen 51 mm buizen per 3,2 m kas eventueel aangevuld met een extra condensor-net bestaande uit één stalen 51 mm buis per 3,20 m kap.

Tabel 4.21 Warmteafgevend vermogen van de verwarmde betonvloer en het benodigd aantal buizen voor het pieklast-net bij een gemiddelde watertemperatuur van 20 en 40 °C in de situatie met een hoog vermogen

Gem. water- temperatuur vloer (°C)	Vermogen vloer *) (W/m ² kas)	Aantal buizen per 3,2 m
30	34	5
40	77	4

*) Vermogen inclusief aan- en afvoerleidingen in de kas.
Naar Nawrocki, 1985a.

4.3.2 Resultaten

4.3.2.1 Laag vermogen

De investeringen en jaarkosten bij de teelt op tabletten in de situatie met een laag vermogen zijn vermeld in tabel 4.22 en 4.23. De investering in een tablet in de situatie zonder alternatieve laagwaardige warmte (onverwarmde bodem) bedraagt f 50,- m² kas (tabel 4.22). De investering in het buisverwarmings-net bedraagt indien geen gebruik wordt gemaakt van laagwaardige condensorwarmte f 20,- en indien dit wel het geval is f 25,- per m² kas. De totale jaarkosten in de tabletten en de verwarming zijn afhankelijk van het al of niet aanwenden van laagwaardige condensorwarmte. Indien geen gebruik wordt gemaakt van laagwaardige condensorwarmte bedragen de totale jaarkosten f 10,23 en indien dit wel het geval is f 10,81 per m² kas.

In het alternatief met alternatieve laagwaardige warmte (verwarmde bodem) (tabel 4.23) bedraagt de investering in de tablet bij gebruik van de poly-styreen bodem met polypropyleen slangen (type a) f 60,- per m² kas, bij de aluminium bodem met aluminium buizen (b) f 85,-, bij de aluminium bodem met polyethyleen slangen (c) f 70,- en bij de kunststof bodem met p.e. slangen (d) f 75,- per m² kas. De investering in het pieklast-buisverwarmingsnet is afhankelijk van het aantal buizen en bedraagt bij twee buizen per 3,20 m kas f 10,00 bij drie buizen f 12,25 en bij vier buizen f 14,50 per m² kas. De totale jaarkosten bedragen bij een gemiddelde laagwaardige watertemperatuur van 30 °C bij de bodemtypen a, b, c en d respectievelijk f 10,66, f 14,62, f 12,24 en f 13,30 per m² kas. Bij een gemiddelde watertemperatuur van 40 °C is dit respectievelijk f 10,66, f 14,36, f 11,98 en f 13,04 per m² kas. De aluminium bodem met aluminium verwarmingsbuizen brengt dus de hoogste en de polystyreen bodem met polypropyleen slangen de laagste investeringen en jaarkosten met zich mee.

Tabel 4.22 Investerings en jaarkosten van het verwarmingssysteem bij de teelt op tabletten zonder tabletverwarming met en zonder laagwaardige condensorwarmte in de situatie met een laag vermogen (f/m^2 kas) *)

Laagwaardige condensor warmte	Inv. tablet	Inv. buisv.	Jaark. tablet	Jaark. buisv.	Jaark. totaal
Zonder	50,-	20,-	7,93	2,30	10,23
Met	50,-	25,-	7,93	2,88	10,81

*) Type bodem: asbest-cementbodem plus bevoeiingsmat plus folie.

Technische ruimtebenutting 85%.

Tabel 4.23 Investerings en jaarkosten van de verwarmingssystemen bij de teelt op verwarmde tabletten bij een gemiddelde laagwaardige watertemperatuur van 30 en 40 °C in de situatie met een laag vermogen (f/m^2 kas) *)

Type bodem	T gem. water (°C)	Inv. tablet	Inv. buisv.	Jaark. tablet	Jaark. buisv.	Jaark. totaal
a. poly-propyleen slangen in poly- styreen bodem	30 40	60,- 60,-	12,25 12,25	9,25 9,25	1,41 1,41	10,66 10,66
b. alum. buizen onder aluminium bodem	30 40	85,- 85,-	12,25 10,00	13,21 13,21	1,41 1,15	14,62 14,36
c. poly-ethyleen slangen onder aluminium bodem	30 40	70,- 70,-	12,25 10,00	10,83 10,83	1,41 1,15	12,24 11,98
d. poly-ethyleen slangen onder kunststof bodem	30 40	75,- 75,-	14,50 12,25	11,63 11,63	1,67 1,41	13,30 13,04

*) Technische ruimtebenutting 85%.

De extra jaarkosten voor de aanwending van laagwaardige warmte in de tabletbodems inclusief de extra jaarkosten voor de regeling is vermeld in tabel 4.24. In de situatie zonder laagwaardige condensorwarmte bedragen de extra jaarkosten voor de bodemtypen a, b, c en d bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 °C respectievelijk f 0,58, f 4,54, f 2,16 en f 3,22. Bij een gemiddelde watertemperatuur van 40 °C is dit respectievelijk f 0,58,

f 4,28, f 1,90 en f 2,96. Een hogere watertemperatuur geeft dus meestal lagere extra jaarkosten. In de situatie met laagwaardige condensorwarmte is dit eveneens het geval. In deze situatie zijn de extra jaarkosten echter lager dan in de situatie zonder laagwaardige condensorwarmte. Bij de polystyreen bodem zijn er in de situatie met laagwaardige condensorwarmte zelfs geen extra jaarkosten.

Tabel 4.24 Extra jaarkosten van de verwarmingssystemen bij de teelt op tabletten bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C met en zonder aanwending van laagwaardige condensorwarmte in de situatie met een laag vermogen (f/m² kas)

Type bodem	Gem. watertemp. laagw. warmte (°C)			
	Zonder laagwaardige condensorwarmte		Met laagwaardige condensorwarmte	
	30	40	30	40
a. poly-propyleen slangen in poly-styreen bodem	0,58	0,58	0,00	0,00
b. aluminium buizen onder aluminium bodem	4,54	4,28	3,96	3,70
c. poly-ethyleen slangen onder aluminium bodem	2,16	1,90	1,58	1,32
d. poly-ethyleen slangen onder kunststof bodem	3,22	2,96	2,64	2,38

In tabel 4.25 zijn de investeringen en jaarkosten vermeld bij aanwending van alternatieve laagwaardige warmte in een verwarmde betonvloer. De investering in de betonvloerverwarming bedraagt f 55,- en de jaarkosten f 5,76 per m². De investering in het pieklast-buisverwarmingsnet bedraagt bij een laagwaardige watertemperatuur van 30 °C f 12,25 en bij 40 °C f 10,- per m². De totale jaarkosten bedragen respectievelijk f 7,17 en f 6,91 per m².

De investering in het alternatief zonder alternatieve laagwaardige warmte bedragen indien geen gebruik wordt gemaakt van laagwaardige condensorwarmte f 15,- en indien dit wel het geval is f 20,- per m². De jaarkosten bedragen respectievelijk f 1,73 en f 2,30 per m².

Tabel 4.25 *Investerings- en jaarkosten van het verwarmingssysteem bij het gebruik van een verwarmde betonvloer bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C in de situatie met een laag vermogen (f/m²)*

Gem. water- temperatuur vloer (°C)	Inv. vloer	Inv. buisv.	Jaark. vloer	Jaark. buisv.	Jaark. totaal
30	55,-	12,25	5,76	1,41	7,17
40	55,-	10,00	5,76	1,15	6,91

De extra jaarkosten van het verwarmingssysteem met verwarmde betonvloer zijn vermeld in tabel 4.26. Bij een laagwaardige watertemperatuur van 30 °C in de situatie zonder laagwaardige condensorwarmte bedragen de extra jaarkosten inclusief regeling f 5,59 en bij 40 °C f 5,33 per m². In de situatie met laagwaardige condensorwarmte is dit respectievelijk f 5,02 en f 4,76 per m². Een hogere watertemperatuur geeft dus lagere extra jaarkosten, hetzelfde is het geval indien gebruik wordt gemaakt van laagwaardige condensorwarmte.

Tabel 4.26 *Extra jaarkosten van het verwarmingssysteem bij gebruik van een verwarmde betonvloer bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C in de situatie met en zonder laagwaardige condensorwarmte en een laag vermogen (f/m²)*

Gem. water- temperatuur vloer (°C)	Zonder laagw. condensor- warmte	Met laagw. condensor- warmte
30	5,59	5,02
40	5,33	4,76

In de situatie waarin de extra kosten van de verwarmde tablet of verwarmde betonvloer niet worden toegerekend aan het gebruik van alternatieve laagwaardige warmte bedragen de extra investeringen voor de dubbele uitvoering van de transportleidingen, verdeelstukken en de menggroepen, f 1,- per m² en de extra jaarkosten (inclusief regeling) f 0,27 per m².

4.3.2.2 Hoog vermogen

De investeringen en jaarkosten bij de teelt op tabletten in de situatie met een hoog vermogen zijn vermeld in tabel 4.27 en

tabel 4.28. De investeringen in de tabletten zijn gelijk aan die in de situatie met een laag vermogen (zie tabel 4.22 en 4.23). De investeringen en de totale jaarkosten van het pieklast-net en het verwarmingssysteem in het alternatief zonder alternatieve laagwaardige warmte zijn echter hoger. Dit geldt ook voor de extra jaarkosten, deze zijn vermeld in tabel 4.29.

Tabel 4.27 *Investerings- en jaarkosten van de verwarmingssystemen bij de teelt op tabletten zonder verwarmde bodem met en zonder laagwaardige condensorwarmte in de situatie met een hoog vermogen (f/m²) *)*

Laagwaardige condensorwarmte	Inv. tablet	Inv. buisv.	Jaark. tablet	Jaark. buisv.	Jaark. totaal
Zonder	50,-	22,25	7,93	2,56	10,49
Met	50,-	27,50	7,93	3,14	11,07

*) Type bodem: asbest-cementbodem plus bevoelingsmat plus folie.
Technische ruimtebenutting 85%.

Tabel 4.28 *Investerings- en jaarkosten van de verwarmingssystemen bij de teelt op verwarmde tabletten bij een gemiddelde laagwaardige watertemperatuur van 30 en 40 °C in de situatie met een hoog vermogen (f/m² kas)*

Type bodem	T gem. water (°C)	Inv. tablet	Inv. buisv.	Jaark. tablet	Jaark. buisv.	Jaark. totaal
a. poly-propyleen slangen in poly- styreen bodem	30 40	60,- 60,-	16,75 16,75	9,25 9,25	1,93 1,93	11,18 11,18
b. aluminium buizen onder aluminium bodem	30 40	85,- 85,-	16,75 14,50	13,21 13,21	1,93 1,67	15,14 14,88
c. poly-ethyleen slangen onder aluminium bodem	30 40	70,- 70,-	16,75 14,50	10,83 10,83	1,93 1,67	12,76 12,50
d. poly-ethyleen slangen onder kunststof bodem	30 40	75,- 75,-	16,75 16,75	11,63 11,63	1,93 1,93	13,56 13,56

*) Technische ruimtebenutting 85%.

Tabel 4.29 Extra jaarkosten van de verwarmingssystemen bij de teelt op tabletten bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C met en zonder aanwending van laagwaardige condensorwarmte in de situatie met een hoog vermogen (f/m² kas)

Type bodem	Gem. watertemp. laagw. warmte (°C)			
	Zonder laagwaardige condensorwarmte		Met laagwaardige condensorwarmte	
	30	40	30	40
a. poly-propyleen slangen in poly-styreen bodem	0,84	0,84	0,26	0,26
b. aluminium buizen onder aluminium bodem	4,80	4,54	4,22	3,96
c. poly-ethyleen slangen onder aluminium bodem	2,33	2,16	1,84	1,58
d. poly-ethyleen slangen onder kunststof bodem	3,22	3,22	2,64	2,64

In tabel 4.30 zijn de investeringen en jaarkosten vermeld bij gebruik van een verwarmde betonvloer in de situatie met een hoog vermogen. Ook hier is de investering in het laagwaardige betonvloerverwarmingsnet gelijk aan de situatie met een laag vermogen en de investeringen in het pieklast-buisverwarmingsnet en daarmee de totale jaarkosten hoger.

De investering in het alternatief zonder alternatieve laagwaardige warmte bedragen indien geen gebruik wordt gemaakt van laagwaardige condensorwarmte f 17,25 en indien dit wel het geval is f 22,25 per m². De jaarkosten bedragen respectievelijk f 1,99 en f 2,56 per m².

De extra jaarkosten voor het verwarmingssysteem in het al-

Tabel 4.30 Investerings en jaarkosten van het verwarmingssysteem bij het gebruik van een verwarmde betonvloer bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C in de situatie met een hoog vermogen (f/m²)

Gem. water- temperatuur vloer (°C)	Inv. vloer	Inv. buisv.	Jaark. vloer	Jaark. buisv.	Jaark. totaal
30	55,-	16,25	5,76	1,87	7,63
40	55,-	14,50	5,76	1,67	7,43

ternatief met alternatieve laagwaardige warmte zijn vermeld in tabel 4.31. Ook deze zijn hoger dan in de situatie met een laag vermogen (tabel 4.26).

Tabel 4.31 Extra jaarkosten van het verwarmingssysteem bij gebruik van een verwarmde betonvloer bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C in de situatie met en zonder aanwending van laagwaardige condensorwarmte en een hoog vermogen (f/m²)

Gem. water- temperatuur vloer (°C)	Zonder laagw. condensor- warmte	Zonder laagw. condensor- warmte
30	5,79	5,22
40	5,59	5,02

In de situatie waarin de extra kosten van de verwarmde tablet of verwarmde betonvloer niet worden toegerekend aan het gebruik van alternatieve laagwaardige warmte zijn de extra investeringen gelijk aan de situatie met een laag vermogen (zie paragraaf 4.3.2.1).

5. Equivalentieprijzen

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het totale effect van de extra jaar-kosten van het verwarmingssysteem, het absolute niveau van het ketelrendement en het lagere rendement van de pieklast gasketel in beschouwing genomen. Berekend wordt wat de laagwaardige warmte maximaal mag kosten om een gelijkblijvend bedrijfsresultaat te realiseren. Deze prijs wordt de equivalentieprijs genoemd en is gedefinieerd als de prijs die maximaal betaald mag worden voor 1 m³ aardgasequivalent (a.e.) aan laagwaardige warmte franco bedrijf. Een a.e. is gelijk aan 31,65 MJ.

De equivalentieprijs is bepaald voor uiteenlopende bedrijfs-situaties. De verschillen in bedrijfssituatie die in beschouwing worden genomen zijn het benodigd warmteleverend vermogen, het gebruik van een condensor en het type condensor, de warmte-intensiteit (warmtevraag per m² glas), het doseren van CO₂, het aandeel van de laagwaardige warmtebron in de totale jaarlijkse warmtebehoefte (dekking) en de mate van lichtverlies. Daarnaast is ook de invloed van de hoogte van de gasprijs en het gebruiksrendement van de gasketel bepaald. Eén van de bedrijfssituaties is gekozen als basissituatie, de overige situaties zijn hiervan afgeleid.

Analoog aan hoofdstuk 4 zijn de berekeningen zowel bij buisverwarming als bij tablet- en vloerverwarming uitgevoerd voor een laag en een hoog benodigd warmteleverend vermogen en worden dezelfde gemiddelde watertemperaturen in beschouwing genomen. Bij de buisverwarming wordt ook een snel pieklast-net in plaats van een snel basislast-net in beschouwing genomen. Voor de uitvoering van de verwarmingssystemen en de investeringen en jaarkosten wordt uitgegaan van de resultaten zoals beschreven in hoofdstuk 4 en voor de ketelrendementen en gasbesparingen van de resultaten in hoofdstuk 3. Verwacht mag worden dat in de situaties waarin zowel laagwaardige warmte van een alternatieve bron als van de condensor wordt aangewend in één verwarmingsnet, een lagere temperatuur van de alternatieve laagwaardige bron een positieve invloed heeft op het rendement van de ketel (condensor). Deze invloed is door het geringe aandeel van de gasketel en de condensor (pieklast) in de totale warmtebehoefte buiten beschouwing gelaten.

5.2 Buisverwarming

5.2.1 Uitgangspunten

5.2.1.1 Laag vermogen

Hierna zijn de uitgangspunten vermeld voor de bassissituatie (situatie A) met een laag vermogen. Vervolgens is vermeld welke veranderingen de uitgangspunten in de andere situaties ondergaan:

-	warmte-intensiteit	50 m3 a.e./m2.jaar
-	CO2-dosering 1)	2.000 uur/jaar
-	type rookgascondensor	geen
-	jaarrendement gasketel bij volledig gasstook (20% overcapaciteit)	92,0% (o.w.)
-	dekking warmtebehoefte door alternatieve laagwaardige warmtebron	64%
-	gasbesparing door de alternatieve laagwaardige warmtebron	61,7%/jaar
-	aardgasprijs	20 cent/m3
-	lichtverlies	geen

Situatie B: Enkelvoudige condensor op de retour

In situatie B wordt uitgegaan van een rookgascondensor aangesloten op de retour. Het rendement van de gasketel wordt hierdoor hoger. In situatie A bedraagt het rendement bij volledig gasstook 92,0%, in situatie B 96,8% (o.w). De overige uitgangspunten zijn gelijk aan situatie A.

Situatie C en C': Enkelvoudige condensor op apart net

In deze situaties wordt uitgegaan van een rookgascondensor aangesloten op een apart net. Het rendement van de gasketel bij volledig gasstook wordt 103,3%. Tevens veranderen de investeringen en de jaarkosten van het verwarmingssysteem. Het laagwaardige basislast-net moet groter zijn door de extra laagwaardige warmte uit de condensor. Voor de investeringen en jaarkosten wordt verwezen naar paragraaf 4.3.1.1.

De extra capaciteit van het laagwaardige verwarmingsnet is echter niet altijd volledig nodig voor de laagwaardige condensor-warmte. In perioden dat de capaciteit van de gasketel en dus ook van de condensor niet volledig wordt gebruikt is er capaciteit over. Deze kan aangewend worden om extra laagwaardige warmte van

1) In perioden met warmtevraag en met warmteopslag in de ketel, CO2-dosering buiten deze perioden wordt buiten beschouwing gelaten.

de alternatieve bron te leveren. De capaciteit van de alternatieve bron is echter meestal beperkt, deze levert immers de basislast. Er kunnen zich hierdoor twee situaties voordoen. In situatie C is de extra capaciteit niet beschikbaar en de dekking van de jaarlijkse warmtebehoefte en de gasbesparing blijven zoals in situatie A. In situatie C' is de extra capaciteit wel beschikbaar en de dekking door de alternatieve bron wordt 70,3 in plaats van 64% en de gasbesparing 67,8 in plaats van 61,7%.

Situatie D en D': Combicondensor

In deze situatie wordt uitgegaan van een combicondensor. Het rendement van de gasketel bij volledig gasstook wordt hierdoor 108,2%. De investeringen, jaarkosten, dekkingen en gasbesparingen veranderen zoals in situaties C en C'.

Situatie E: Lagere warmte-intensiteit

Uitgegaan wordt van een warmte-intensiteit van 30 in plaats van 50 m³ a.e./m². Zoals in hoofdstuk 3 reeds is gebleken wordt het rendement van de gasketel bij volledig gasstook en de gasbesparing door de alternatieve bron hierdoor lager. Het gasketelrendement wordt 89,8 en de gasbesparing 60,3%.

Situatie F: Hogere warmte-intensiteit

Uitgegaan wordt van een warmte-intensiteit van 70 in plaats van 50 m³ a.e./m². Bij een hogere warmte-intensiteit wordt het ketelrendement en de gasbesparing hoger. Het rendement wordt 93,0 en de gasbesparing 62,3%.

Situatie G: Geen CO₂-dosering

In situatie G wordt geen CO₂ wordt gedoseerd. Dit heeft tot gevolg dat de gasketel geen warmte levert in de perioden dat de alternatieve laagwaardige warmtebron voldoende warmte levert voor het verwarmen van de kas. De dekking van de jaarlijkse warmtebehoefte door de alternatieve bron stijgt hierdoor van 64 tot 70% en de gasbesparing van 61,7 tot 67,5%.

Situatie H: Lagere warmtedekking

In situatie H wordt uitgegaan van een dekking van 80% van de "theoretische dekking". De dekking wordt dan 51% en de gasbesparing 49,2%.

Situatie I: Buisrailtransportsysteem

In deze situatie wordt uitgegaan van een hogere investering in het verwarmingssysteem om deze geschikt te maken als buisrail-

transport systeem. De investering is f 2,25 en de jaarkosten zijn f 0,26/m² hoger (zie tabel 4.11).

Situatie K, L en M: Lichtverlies

In deze situaties wordt er van uitgegaan dat het aangepaste verwarmingssysteem lichtverlies veroorzaakt. In situatie K wordt het lichtverlies veroorzaakt door één extra verwarmingsbuis boven het gewas, in situatie L door twee buizen en in situatie M door drie buizen. De extra jaarkosten veranderen hierdoor zoals beschreven in paragraaf 4.2.2.1.

Situatie N, O en P: Hogere gasprijs

In deze situaties wordt uitgegaan van een hogere aardgasprijs. In situatie A bedraagt de gasprijs 20 cent per m³. In situatie N 30, in situatie O 40 en in situatie P 50 cent per m³.

Situatie R en S: Lager gasketelrendement

In deze situatie wordt uitgegaan van een lager gebruiksrendement van de gasketel. In situatie A bedraagt het rendement 92%. In situatie R wordt dit 91% en in situatie S 90%.

5.2.1.2 Hoog vermogen

Hierna zijn de uitgangspunten vermeld in de basissituatie bij een hoog vermogen. Vervolgens is ook voor de andere situaties bij een hoog vermogen vermeld welke veranderingen de uitgangspunten ondergaan. Bij een hoog vermogen worden niet alle situaties in beschouwing genomen. Situatie E (lagere warmte-intensiteit) heeft bij een hoog vermogen geen praktische betekenis, voor een buisrailtransportsysteem (situatie I) zijn reeds vier stalen 51 mm buizen aanwezig en lichtverlies (situatie K, L en M) heeft dezelfde invloed als bij een laag vermogen.

-	warmte-intensiteit	50 m ³ a.e./m ² .jaar
-	CO ₂ -dosering	2.000 uur/jaar
-	type rookgascondensor	geen
-	jaarrendement gasketel bij volledig gasstook (20% overcapaciteit)	90,9% (o.w.)
-	dekking warmtebehoefte door alternatieve laagwaardige warmtebron	64%
-	gasbesparing door de alternatieve laagwaardige warmtebron	61,0%/jaar
-	aardgasprijs	20 cent/m ³
-	lichtverlies	geen

Situatie B: Enkelvoudige condensor op de retour

Het rendement van de gasketel bij volledig gasstook wordt 95,7% (o.w). De overige uitgangspunten zijn gelijk aan situatie A.

Situatie C en C': Enkelvoudige condensor op apart net

Het rendement van de gasketel wordt 103,3%. Voor de investeringen en jaarkosten wordt verwezen naar paragraaf 4.3.1.2. In situatie C is de dekking van de jaarlijkse warmtebehoefte en de gasbesparing zoals in situatie A. In situatie C' wordt de dekking 70,3% en de gasbesparing 67,0%.

Situatie D en D': Combicondensor

Het gasketelrendement wordt 106,9%. De investeringen, jaarkosten, dekkingen en gasbesparingen veranderen zoals in situatie C en C'.

Situatie F: Hogere warmte-intensiteit

Uitgegaan wordt van een warmte-intensiteit van 70 a.e./m². Het ketelrendement wordt 92,3 en de gasbesparing 61,9 %.

Situatie G: Geen CO₂-dosering

De dekking stijgt hierdoor tot 70% en de gasbesparing tot 66,7%.

Situatie H: Lagere warmtedekking

De dekking wordt 51% en de gasbesparing 48,6%.

Situatie N, O en P: Hogere gasprijs

In situatie N wordt de gasprijs 30, in situatie O 40 en in situatie P 50 cent per m³.

Situatie R en S: Lager gasketelrendement

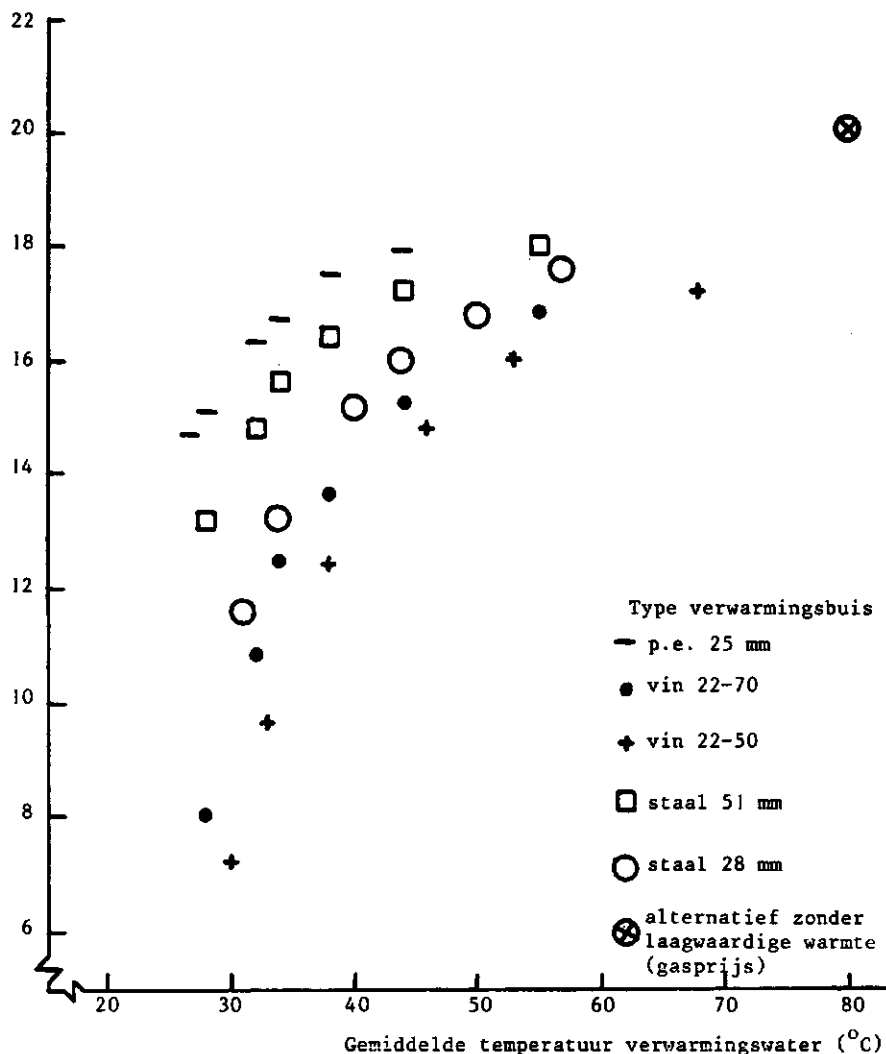
In de situatie R wordt het rendement 89,9% en in situatie S 88,9%.

5.2.2 Resultaten

5.2.2.1 Laag vermogen

In figuur 5.1 zijn de equivalentieprijsen van laagwaardige warmte bij een reeks van gemiddelde watertemperaturen en ver-

Equiva-
lentie-
prijs
(cent/
m³ a.e.)



Figuur 5.1 Equivalentieprijsen van verschillende typen verwarmingsbuizen en een reeks van gemiddelde watertemperaturen in de basissituatie bij een laag vermogen

schillende typen verwarmingsbuizen in de basissituatie (situatie A) bij een laag vermogen weergegeven.

Uit de figuur blijkt dat de equivalentieprijzen exponentieel afnemen naarmate de gemiddelde watertemperatuur lager is. Bij een laagwaardig basislast-net van stalen 51 mm buizen en een gasprijs van 20 cent/m³ neemt de equivalentieprijs af van 18,1 cent/m³ a.e. bij een gemiddelde watertemperatuur van 55 °C tot 13,2 bij 28 °C. Dit betekent dat de prijs die in deze situatie betaald mag worden voor 1 m³ aardgasequivalent aan laagwaardige warmte bij een gemiddelde watertemperatuur van 55 °C minimaal 1,9 cent onder de gasprijs moet liggen om een gelijkblijvend bedrijfsresultaat te realiseren en bij 28 °C, 6,8 cent.

Bij poly-ethyleen slangen neemt de equivalentieprijs af van 18,0 tot 14,6 cent/m³ a.e. Bij p.e. liggen de equivalentieprijzen dus hoger. Bij de snellere type verwarmingsbuizen in basislast neemt de equivalentieprijs bij staal 28 mm af van 17,4 tot 11,8 cent, bij vin 22-70 van 16,7 tot 7,9 en bij vin 22-50 van 17,2 tot 7,3 cent/m³ a.e. Bij een gemiddelde watertemperatuur van rond de 30 °C komen de equivalentieprijzen daarmee dus onder de 10 cent/m³ a.e. ofwel onder de helft van de veronderstelde aardgasprijs van 20 cent/m³ uit.

De equivalentieprijzen bij een reeks van gemiddelde watertemperaturen bij de verschillende typen verwarmingsbuizen zijn ook bepaald voor de overige situaties. De resultaten staan vermeld in bijlage 5. Het zou te ver gaan om alle reeksen equivalentieprijzen van de verschillende typen verwarmingsbuizen in alle situaties te bespreken.

De verschillen tussen de situaties geven bij de verschillende watertemperaturen hetzelfde beeld te zien. Een voorbeeldberekening van de equivalentieprijs is vermeld in bijlage 6.

Uit tabel 5.1 blijkt dat in de basissituatie de equivalentieprijs bij staal 51 mm en een gemiddelde watertemperatuur van 38 °C 16,4 cent/m³ a.e. bedraagt. Bij p.e. is dit 17,4 en bij vin 22-70 13,7 cent/m³ a.e. Bij staal 28 mm en een gemiddelde watertemperatuur van 34 °C is dit 13,4 en bij vin 22-50 en een gemiddelde watertemperatuur van 33 °C 9,8 cent/m³ a.e. In de situatie met een rookgascondensor (B t/m D) zijn de equivalentieprijzen lager dan in de situatie zonder condensor (A). Dit wordt met name veroorzaakt doordat de warmteproductie met de gasketel bij gebruik van een condensor efficiënter is. De situatie met een combicondensor geeft de laagste equivalentieprijs. De equivalentieprijs daalt in deze situatie bij staal 51 mm van 16,4 tot 14,3 cent/m³ a.e. en bij vin 22-70 van 13,7 tot 11,8 cent/m³ a.e.

In de situatie met een enkelvoudige condensor op een apart net of met een combicondensor waarbij de extra capaciteit van het laagwaardige verwarmingsnet voor de rookgascondensor ook gebruikt wordt voor extra aanwending van alternatieve laagwaardige warmte (situatie C' en D') is de equivalentieprijs iets hoger dan in de situaties waarin dit niet plaats vindt (situatie C en D). De ver-

Tabel 5.1 *Equivalentieprijsen bij gebruik van een laagwaardig basislast-net van verschillende typen verwarmingsbuizen in verschillende situaties bij een bepaalde gemiddelde watertemperatuur en een laag vermogen (cent/m3 a.e.)*

Situatie	Type verwarmingsbuis (gemiddelde watertemperatuur)				
	staal	staal	p.e.	vin	vin
	51 mm (38)	28 mm (34)	25 mm (38)	22-70 (38)	22-50 (33)
A. basissituatie	16,4	13,4	17,4	13,7	9,8
B. enkelvoudige condensor op de retour	15,4	12,3	16,4	12,7	8,7
C. enkelvoudige condensor op apart net	15,1	11,3	16,4	11,8	6,8
D. combicondensor	14,3	10,4	15,5	10,9	6,0
C'. enkelvoudige condensor op apart net	15,5	11,9	16,6	12,4	7,9
D'. combicondensor	14,6	11,1	15,7	11,5	7,0
E. lagere warmte-intensiteit (30 m3 a.e./m2)	13,9	8,8	15,6	9,4	2,8
F. hogere warmte-intensiteit (70 m3 a.e./m2)	17,5	15,3	18,2	15,6	12,7
G. geen CO2-dosering	16,8	14,0	17,7	14,4	10,7
H. lagere warmte dekking (80% x A)	15,3	11,5	16,5	11,9	6,9
I. buisrail transport-systeem	15,6	12,6	16,6	12,9	9,0
K. lichtverlies (1 buis)	11,8	10,8	*	10,0	7,0
L. lichtverlies (2 buizen)	7,1	8,1	*	6,2	4,1
M. lichtverlies (3 buizen)	2,4	5,5	*	2,5	1,3
N. hogere gasprijs (30 cent/m3)	26,9	25,5	27,9	24,2	20,3
O. hogere gasprijs (40 cent/m3)	37,4	34,3	38,4	34,7	30,7
P. hogere gasprijs (50 cent/m3)	47,9	44,8	48,9	45,2	41,2
R. lager gasketelrendement (minus 1% punt)	16,7	13,6	17,7	14,0	10,0
S. lager gasketelrendement (minus 2% punt)	16,9	13,8	17,9	14,2	10,2

* Wordt buiten beschouwing gelaten.

higing van de equivalentieprijs bedraagt bij staal 51 mm en de enkelvoudige condensor 0,2 en bij de combicondensor 0,3 cent/m³ a.e.

De hoogte van de warmte-intensiteit (situatie E en F) blijkt een grote invloed op de equivalentieprijs te hebben. Bij een hogere warmte-intensiteit is de equivalentieprijs hoger en bij een lagere warmte-intensiteit lager. Bij staal 51 mm daalt de equivalentieprijs bij een warmte-intensiteit van 30 m³ a.e./m² van 16,4 tot 13,9 cent en bij een warmte-intensiteit van 70 m³ a.e./m² stijgt de equivalentieprijs tot 17,5 cent. Uit bijlage 5 blijkt zelfs dat bij de laagste watertemperaturen bij de gevinde aluminium buizen en een warmte-intensiteit van 30 m³ a.e./m² negatieve equivalentieprijsen ontstaan. In deze situatie moet dus geld toegevoegd worden op het gebruik van laagwaardige warmte. De grote invloed van de warmte-intensiteit wordt grotendeels veroorzaakt doordat de extra kosten die het gebruik van laagwaardige warmte met zich meebrengt worden verdeeld over meer of minder te leveren laagwaardige warmte.

Het niet doseren van CO₂ (situatie G) veroorzaakt een kleine verhoging van de equivalentieprijs. De equivalentieprijs stijgt in deze situatie bij staal 51 mm van 16,4 tot 16,8 cent/m³ a.e.. Het realiseren van 80% van de "theoretische dekking" geeft een verlaging van de equivalentieprijs. De equivalentieprijs daalt van 16,4 tot 15,3 cent/m³ a.e. De invloed van het realiseren van 80% van de "theoretische dekking" is duidelijk groter dan van het niet doseren van CO₂.

Indien voor een buisrailtransportsysteem een extra 51 mm buis per kap nodig is (situatie I) heeft dit een verlaging van de equivalentieprijs van 0,8 cent/m³ a.e. tot gevolg.

In de situaties waarin het aangepaste verwarmingssysteem lichtverlies veroorzaakt dalen de equivalentieprijsen zeer sterk. In de situatie waarin er door één verwarmingsbuis per kap extra lichtverlies wordt veroorzaakt (situatie K) daalt de equivalentieprijs bij staal 51 mm van 16,4 tot 11,8 cent/m³ a.e. Dit is een daling van 4,6 cent/m³ a.e. Bij staal 28 mm daalt de equivalentieprijs met 2,6, bij vin 22-70 met 3,7 en bij vin 22-50 met 2,8 cent/m³ a.e. Onderlinge vergelijking van de verschillende typen verwarmingsbuizen is niet mogelijk omdat de verwarmingscapaciteit niet gelijk is. Bij lichtverlies door meerdere verwarmingsbuizen (situatie L en M) daalt de equivalentieprijs evenredig. Een lager gasketelrendement van 1% punt (situatie R en S) geeft bij alle buistypen een verlaging van ongeveer 0,2 cent per m³ a.e.

Bij de situaties met een hogere gasprijs (N, O en P) moeten we niet de vergelijking maken met situatie A maar moet het verschil tussen de equivalentieprijs en de hoogte van de gasprijs in beschouwing worden genomen. In situatie A (gasprijs 20 cent) bedraagt dit bij staal 51 mm 3,6 cent/m³ a.e. (20 - 16,4). Bij een gasprijs van 30 cent wordt dit 3,1, bij een gasprijs van 40 cent 2,6 en bij een gasprijs van 50 cent 2,1 cent/m³ a.e. Het verschil

tussen de gasprijs en de equivalentieprijs blijkt dus kleiner te worden bij een hogere gasprijs. Bij nadere bestudering blijkt dit veroorzaakt te worden doordat in de basissituatie geen condensor wordt gebruikt (zie tabel 5.2).

In tabel 5.2 zijn de equivalentieprijsen vermeld bij de verschillende gasprijzen en condensortypen bij staal 51 mm en een watertemperatuur van 38 °C. Uit de tabel blijkt dat bij het gebruik van een condensor het verschil tussen de equivalentieprijs en de gasprijs toeneemt naarmate de gasprijs hoger is. De verschillen lopen bij een combicondensor op van 5,7 cent bij een gasprijs van 20 cent (20 - 14,4) tot 9,0 bij een gasprijs van 50 cent (50 - 41,0). Dit wordt veroorzaakt doordat het ketelrendement bij gebruik van een condensor hoger is en het gas dus efficiënter wordt verstoekt.

*Tabel 5.2 Equivalentieprijsen bij gebruik van een laagwaardig basislast-net van stalen 51 mm buizen bij een gemiddelde watertemperatuur van 38 °C in de situaties met verschillende condensortypen en aardgasprijzen (cent/m3 a.e.) *)*

Condensortype	Aardgasprijs (cent/m3)			
	20	30	40	50
Geen	16,4	26,9	37,4	47,9
Enkelvoudige op de retour	15,4	25,4	35,3	45,3
Enkelvoudige op apart net	15,1	24,5	33,8	43,1
Combicondensor	14,3	23,2	32,1	41,0

*) Warmte-intensiteit = 50 m3 a.e./m2, laag vermogen en exclusief lichtverlies.

In tabel 5.3 wordt de invloed getoond van het gebruik van een snel pieklast-net in plaats van een snel basislast-net. Uit de tabel blijkt dat de equivalentieprijs in situatie A bij gebruik van de stalen 28 mm buis in het pieklast-net en een gemiddelde watertemperatuur van 34 °C in het basislast-net een equivalentieprijs geeft van 14,2 cent/m3 a.e. Bij de vin 22-70 en een gemiddelde watertemperatuur van 38 °C is dit 14,4 en bij de vin 22-50 13,9 cent/m3 a.e. Dit zijn lagere equivalentieprijsen dan bij de tragere verwarmingsbuizen (staal 51 mm en p.e. 25 mm). Hiervan bedraagt de equivalentieprijs bij een gemiddelde watertemperatuur van 34 °C respectievelijk 15,6 en 16,9 cent/m3 a.e. (zie tabel 5.3). De equivalentieprijs is bij een snel pieklast-net echter hoger dan bij een snel basislast-net. Bij staal 28 mm geeft dit een verschil van 0,8 (14,2 - 13,4). Bij vergelijking

van de equivalentieprijzen bij de andere watertemperaturen (zie bijlage 5) blijkt dit in de basissituatie onder de 45 °C bij alle snellere typen verwarmingsbuizen het geval te zijn. Een snel pieklast-net is daardoor bij lagere watertemperaturen van onder de 45 °C goedkoper in gebruik dan een snel basislast-net.

Tabel 5.3 Equivalentieprijzen bij gebruik van snelle typen verwarmingsbuizen in basislast of in pieklast in situatie A bij een laag vermogen en exclusief lichtverlies (cent/m3 a.e.)

Type verwarmings- buis	Gem. temp. basislast net (°C)	Gebruik in	
		basislast	pieklast
Staal 28 mm	34	13,4	14,2
Vin 22-70	38	13,7	14,4
Vin 22-50	38	12,2	13,9

5.2.2.2 Hoog vermogen

De equivalentieprijzen van laagwaardige warmte bij een reeks van gemiddelde watertemperaturen en verschillende typen verwarmingsbuizen zijn voor de afzonderlijke situaties vermeld in bijlage 7. In tabel 5.4 zijn voor de vergelijking van de afzonderlijke situaties de equivalentieprijzen weergegeven bij gebruik van de verschillende typen verwarmingsbuizen bij een bepaalde gemiddelde watertemperatuur. Bij staal 51 mm is dit 34 °C, bij staal 28 mm 32, bij p.e 32, bij vin 22-70 34 en bij vin 22-50 31 °C.

Uit de tabel blijkt dat in de basissituatie bij een hoog vermogen en bij gebruik van stalen 51 mm buizen als basislast-net de equivalentieprijs bij een gemiddelde watertemperatuur van 34 °C 13,2 cent/m3 a.e. bedraagt. In de basissituatie met een laag vermogen ligt de equivalentieprijs bij staal 51 mm en een gemiddelde watertemperatuur van 34 °C met 15,6 cent (zie bijlage 5) 2,4 cent per m3 a.e. hoger. Ook bij de andere watertemperaturen en typen verwarmingsbuizen geeft een hoog vermogen lagere equivalentieprijzen. Bij een hoog vermogen moet de laagwaardige warmte dus goedkoper zijn dan bij een laag vermogen.

De situaties met een condensor geven bij alle typen verwarmingsbuizen een lagere equivalentieprijs dan de basissituatie. De combicondensor geeft de laagste equivalentieprijs. Bij staal 51 mm is deze 2,9 cent lager dan in de basissituatie en bij p.e. 2,5 cent. Bij de snellere typen verwarmingsbuizen is het verschil bij staal 28 mm 2,9, bij vin 22-70 4,2 en bij vin 22-50 6,3 cent/m3 a.e.

In de situaties C' en D' waarin het extra vermogen van het laagwaardige verwarmingsnet voor de laagwaardige condensorwarmte ook gebruik wordt voor extra warmtelevering door de alternatieve laagwaardige warmtebron is de equivalentieprijs bij staal 51 mm respectievelijk 0,7 en 0,6 cent hoger dan in de situaties C en D.

Een warmte-intensiteit van 70 in plaats van 50 m³ a.e./m² (situatie F) geeft bij staal 51 mm een equivalentieprijs van 15,4 cent/m³ a.e. Dit is 2,2 cent hoger dan in de basissituatie. Bij staal 28 mm bedraagt de verhoging 3,6, bij p.e 1,9, bij vin 22-70 3,7 en bij vin 22-50 6,0 cent/m³ a.e.

Tabel 5.4 Equivalentieprijsen bij gebruik van een laagwaardig basislast net van verschillende typen verwarmingsbuizen in verschillende situaties bij een bepaalde gemiddelde watertemperatuur en een hoog vermogen (cent/m³ a.e.)

Situatie	Type verwarmingsbuis (gemiddeld watertemperatuur)				
	staal 51 mm (34)	staal 28 mm (32)	p.e. 25 mm (32)	vin 22-70 (34)	vin 22-50 (31)
A. basissituatie	13,2	8,5	14,1	7,9	-0,1
B. enkelvoudige condensor op de retour	12,2	7,5	13,0	6,9	-1,2
C. enkelvoudige condensor op apart net	11,1	6,4	12,4	4,6	-5,6
D. combicondensor	10,3	5,6	11,6	3,7	-6,4
C'. enkelvoudige condensor op apart net	11,8	7,5	13,0	5,8	-3,4
D'. combicondensor	10,9	6,7	12,2	5,0	-4,2
F. hogere warmte-intensiteit (70 m ³ a.e./m ²)	15,4	12,1	16,0	11,6	5,9
G. geen CO ₂ -dosering	13,9	9,6	14,6	9,0	1,7
H. lagere warmtedekking (80% x A)	11,2	5,4	12,3	4,6	-5,5
N. hogere gasprijs (30 cent/m ³)	23,7	19,0	24,5	18,4	10,4
O. hogere gasprijs (40 cent/m ³)	34,2	29,5	35,0	28,9	20,9
P. hogere gasprijs (50 cent/m ³)	44,7	40,0	45,5	39,4	31,3
R. lager gasketelrendement (minus 1% punt)	13,4	8,8	14,3	8,2	0,1
S. lager gasketelrendement (minus 2% punt)	13,7	9,0	14,5	8,4	0,4

Het niet doseren van CO₂ (situatie G) doet de equivalentieprijs bij staal 51 mm stijgen met 0,7 tot 13,9 cent/m³ a.e. Bij p.e. stijgt de equivalentieprijs met 0,5 en bij de snellere typen verwarmingsnetten bij staal 28 mm 1,1, bij vin 22-70 ook 1,1 en bij vin 22-50 1,8 cent/m³ a.e. Bij het realiseren van 80% van de "theoretische dekking" (situatie H) bedraagt de equivalentieprijs bij staal 51 mm 11,2 cent/m³ a.e. Dit is 2 cent lager dan in de basissituatie waarin de "theoretische dekking" wel wordt gerealiseerd. Bij p.e. geeft dit een verlaging van 1,8 en bij de snellere typen verwarmingsbuizen is de verlaging bij staal 28 mm 3,1, bij vin 22-70 3,3 en bij vin 22-50 5,4 cent/m³ a.e. Het realiseren van de "theoretische dekking" voor 80% heeft dus ook bij een hoog vermogen een grotere invloed op de equivalentieprijs dan het niet doseren van CO₂.

Verlaging van het gasketelrendement met 1% punt (situatie R en S) resulteert evenals bij een laag vermogen in een verlaging van de equivalentieprijs van ongeveer 0,2 cent/m a.e.

In de situaties met een hogere gasprijs (N, O en P) is het verschil tussen de gasprijs en de equivalentieprijs kleiner naarmate de gasprijs hoger is. In de basissituatie (gasprijs 20 cent) bedraagt het verschil bij staal 51 mm en een gemiddelde watertemperatuur van 34 °C 6,8 cent/m³ a.e. Bij een gasprijs van 30 cent (situatie N) is het verschil 6,3, bij een gasprijs van 40 cent (situatie O) 5,8 en bij een gasprijs van 50 cent (situatie P) 5,3 cent/m³ a.e.

Uit tabel 5.5 blijkt dat ook bij een hoog vermogen in de situatie met een condensor het verschil tussen de gasprijs en de equivalentieprijs groter wordt bij een hogere gasprijs. In de situatie zonder condensor daalt het verschil bij staal 51 mm en een gemiddelde watertemperatuur van 34 °C van 6,8 bij een gasprijs van 20 cent tot 5,3 cent bij een gasprijs van 50 cent. In de si-

*Tabel 5.5 Equivalentieprijsen bij gebruik van een laagwaardig basislast-net van stalen 51 mm buizen bij een gemiddelde watertemperatuur van 34 °C in de situaties met verschillende condensortypen en aardgasprijsen (cent/m³ a.e.) *)*

Condensortype	Aardgasprijs (cent/m ³)			
	20	30	40	50
Geen	13,2	23,7	34,2	44,7
Enkelvoudige op de retour	12,2	22,1	32,1	42,0
Enkelvoudige op apart net	11,1	20,4	29,8	39,1
Combicondensor	10,3	19,2	28,1	37,0

*) Warmte-intensiteit = 50 m³ a.e./m², hoog vermogen en exclusief lichtverlies.

tuatie met een combicondensor loopt het verschil op van respectievelijk 9,7 tot 13,0 cent/m³ a.e.

In tabel 5.6 is vermeld wat de equivalentieprijs bedraagt bij gebruik van een snel pieklast-net in plaats van een snel basislast-net bij een hoog vermogen. In situatie A bedraagt de equivalentieprijs bij staal 28 mm als pieklast-net bij een gemiddelde watertemperatuur van het basislast-net van 30 °C 8,5 cent/m³ a.e., bij de vin 22-70 en de vin 22-50 in dit bij een gemiddelde watertemperatuur van 34 °C respectievelijk 10,5 en 10,2 cent/m³ a.e. Dit zijn lagere equivalentieprijsen dan bij de tragere verwarmingsbuizen (zie bijlage 7) maar hoger dan bij gebruik van een snel basislast-net. Bij vergelijking van de equivalentieprijsen bij de andere watertemperaturen (zie bijlage 7) blijkt dat dit onder de 45 °C bij alle snelle typen verwarmingsbuizen het geval is. Ook bij een hoog vermogen is een snel pieklast-net bij watertemperaturen onder 45 °C dus gunstiger dan een snel basislast-net.

Tabel 5.6 Equivalentieprijsen bij gebruik van snelle typen verwarmingsbuizen in basislast of in pieklast in situatie A bij een hoog vermogen en exclusief lichtverlies (cent/m³ a.e.)

Type verwarmings- buis	Gem. temp. basislast net (°C)	Gebruik in	
		basislast	pieklast
Staal 28 mm	30	6,9	8,5
Vin 22-70	34	7,9	10,5
Vin 22-50	34	4,8	10,2

5.3 Tablet- en vloerverwarming

5.3.1 Uitgangspunten

5.3.1.1 Laag vermogen

De uitgangspunten bij het gebruik van tablet of vloerverwarming in de situatie met een laag vermogen zijn met uitzondering van de dekking van de jaarlijkse warmtebehoefte en de gasbesparing door de alternatieve laagwaardige warmtebron gelijk aan die bij de buisverwarmingssystemen (zie paragraaf 5.2.1.1). De warmtedekking is voor de situaties A t/m H en de afzonderlijke tabletverwarmingssystemen vermeld in tabel 5.7 en de gasbesparing in tabel 5.8. Voor de betonvloerverwarming is dit vermeld in tabel 5.9. De dekking en de gasbesparing voor de situaties K t/m P

Tabel 5.7 Aandeel van de alternatieve laagwaardige warmtebron in de jaarlijkse warmtebehoefte bij gebruik van verschillende typen verwarmde tabletbodems in verschillende situaties bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C en een laag vermogen (%)

Situatie	Type verwarmde tabletbodem *)							
	a		b		c		d	
	30	40	30	40	30	40	30	40
A. basissituatie	36,0	60,0	63,0	83,0	57,0	76,0	24,0	45,0
B. enkelvoudige condensor op de retour	36,0	60,0	63,0	83,0	57,0	76,0	24,0	45,0
C. enkelvoudige condensor op apart net	29,6	56,0	59,3	81,3	52,7	73,6	16,4	39,5
D. combicondensor	29,6	56,0	59,3	81,3	52,7	73,6	16,4	39,5
E. lagere warmte-intensiteit (30 m3 a.e./m2)	36,0	60,0	63,0	83,0	57,0	76,0	24,0	45,0
F. hogere warmte-intensiteit (70 m3 a.e./m2)	36,0	60,0	63,0	83,0	57,0	76,0	24,0	45,0
G. geen CO2-dosering	41,0	66,0	69,0	91,0	62,0	83,0	27,0	50,0
H. lagere warmtedekking (80% x A)	29,0	48,0	50,0	66,0	46,0	61,0	19,0	36,0

*) Bodemtype a = poly-propyleen slangen in poly-styreen bodem;
 b = aluminium buizen onder aluminium eb/vloed bodem;
 c = poly-ethyleen slangen onder aluminium bodem;
 d = poly-ethyleen slangen onder kunststof eb/vloed bodem.

Tabel 5.8 Gasbesparing door de alternatieve laagwaardige warmtebron bij gebruik van verschillende typen verwarmde tabletbodems in verschillende situaties bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C en een laag vermogen (%)

Situatie	Type verwarmde tabletbodem							
	a		b		c		d	
	30	40	30	40	30	40	30	40
A. basissituatie	34,7	57,9	60,7	80,0	55,0	73,3	23,1	43,4
B. enkelvoudige condensor op de retour	34,7	57,9	60,7	80,0	55,0	73,3	23,1	43,4
C. enkelvoudige condensor op apart net	28,5	54,0	57,2	78,4	50,8	71,0	15,8	38,1
D. combicondensor	28,5	54,0	57,2	78,4	50,8	71,0	15,8	38,1
E. lagere warmte-intensiteit (30 m3 a.e./m2)	33,9	56,5	59,3	78,2	53,7	71,6	22,6	42,4
F. hogere warmte-intensiteit (70 m3 a.e./m2)	35,1	58,5	61,4	80,9	55,5	74,0	23,4	43,8
G. geen CO2-dosering	39,5	63,6	66,5	87,7	59,8	80,0	26,0	48,2
H. lagere warmtedekking (80% x A)	28,0	46,3	48,2	63,6	44,4	58,8	18,3	34,7

is gelijk aan die van de basissituatie en zijn niet apart vermeld. De situaties C' en D' komen niet voor daar het warmteafgevend vermogen aan laagwaardige warmte systeemafhankelijk is en situatie I (buisrailtransportsysteem) heeft hier geen praktische betekenis.

De warmtedekking en de gasbesparing in situatie B is gelijk aan die in situatie A en die in situatie D aan C. In de situatie E en F is de warmtedekking gelijk aan die in situatie A maar de gasbesparing is niet gelijk. In situatie G is de dekking en de gasbesparing hoger en in situatie H lager.

Bij vergelijking van de afzonderlijke bodemtypen blijkt dat bij bodemtype b het aandeel van de alternatieve laagwaardige warmtebron het grootst en bij bodemtype d het kleinst is. De betonvloer heeft een warmtedekking en een gasbesparing die overeenkomt met bodemtype b. De verschillen worden veroorzaakt door het verschil in warmteafgevend vermogen.

Tabel 5.9 Aandeel van de alternatieve laagwaardige warmtebron in de jaarlijkse warmtebehoefte en de gasbesparing bij gebruik van een verwarmde betonvloer in verschillende situaties bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C en een laag vermogen (%)

Situatie	Warmtedekking		Gasbesparing	
	30	40	30	40
A. basissituatie	62,0	79,0	59,8	76,2
B. enkelvoudige condensor op de retour	62,0	79,0	59,8	76,2
C. enkelvoudige condensor op apart net	58,2	76,9	56,1	74,1
D. combicondensor	58,2	56,1	76,9	74,1
E. lagere warmte-intensiteit (30 m3 a.e./m2)	62,0	79,0	58,4	74,4
F. hogere warmte-intensiteit (70 m3 a.e./m2)	62,0	79,0	60,4	77,0
G. geen CO2-dosering	68,0	87,0	65,6	83,9
H. lagere warmtedekking (80% x A)	50,0	63,0	48,2	60,7

5.3.1.2 Hoog vermogen

Ook bij gebruik van tablet- of vloerverwarming in de situatie met een hoog vermogen zijn de uitgangspunten met uitzondering van de dekking en de gasbesparing gelijk aan die bij de buisverwarmingssystemen (zie paragraaf 5.2.1.2). In tabel 5.10 is de

Tabel 5.10 Aandeel van de alternatieve laagwaardige warmtebron in de jaarlijkse warmtebehoefte bij gebruik van verschillende typen verwarmde tabletbodems in verschillende situaties bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C en een hoog vermogen (%)

Situatie	Type verwarmde tabletbodem							
	a		b		c		d	
	30	40	30	40	30	40	30	40
A. basissituatie	21,0	43,0	39,0	67,0	32,0	60,0	14,0	29,0
B. enkelvoudige condensor op de retour	21,0	43,0	39,0	67,0	32,0	60,0	14,0	29,0
C. enkelvoudige condensor op apart net	13,1	37,3	32,9	63,7	25,2	56,0	5,4	21,9
D. combicondensor	13,1	37,3	32,9	63,7	25,2	56,0	5,4	21,9
F. hogere warmte-intensiteit (70 m3 a.e./m2)	21,0	43,0	39,0	67,0	32,0	60,0	14,0	29,0
G. geen CO2-dosering	24,0	48,0	43,0	74,0	36,0	66,0	16,0	33,0
H. lagere warmte dekking (80% x A)	17,0	34,0	31,0	54,0	26,0	48,0	11,0	23,0

Tabel 5.11 Gasbesparing door de alternatieve laagwaardige warmtebron bij gebruik van verschillende typen verwarmde tabletbodems in verschillende situaties bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C en een hoog vermogen (%)

Situatie	Type verwarmde tabletbodem							
	a		b		c		d	
	30	40	30	40	30	40	30	40
A. basissituatie	20,0	41,0	37,2	63,8	30,5	57,2	13,3	27,6
B. enkelvoudige condensor op de retour	20,0	41,0	37,2	63,8	30,5	57,2	13,3	27,6
C. enkelvoudige condensor op apart net	12,5	35,5	31,3	60,7	24,0	53,4	5,1	20,9
D. combicondensor	12,5	35,5	31,3	60,7	24,0	53,4	5,1	20,9
F. hogere warmte-intensiteit (70 m3 a.e./m2)	20,3	41,5	37,7	64,7	30,9	58,0	13,5	28,0
G. geen CO2-dosering	22,9	45,7	41,0	70,5	34,3	62,9	15,2	31,4
H. lagere warmte dekking (80% x A)	16,2	32,4	29,5	51,5	24,8	45,7	10,5	21,9

warmte dekking voor de situaties A t/m H en de afzonderlijke tabletverwarmingssystemen vermeld en in tabel 5.11 de gasbesparing. Voor de betonvloerverwarming is dit vermeld in tabel 5.12.

De warmte dekking en de gasbesparing in de situaties K t/m P is evenals bij een hoog vermogen gelijk aan die van situatie A. Naast de situaties C, D en I is ook situatie E (lagere warmte-intensiteit) die bij een hoog vermogen geen praktische betekenis heeft niet in beschouwing genomen.

Tabel 5.12 Aandeel van de alternatieve laagwaardige warmtebron in de jaarlijkse warmtebehoefte en de gasbesparing bij gebruik van een verwarmde betonvloer in verschillende situaties bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C en een hoog vermogen (%)

Situatie	Warmte dekking		Gasbesparing	
	30	40	30	40
A. basissituatie	36,0	66,0	34,3	62,9
B. enkelvoudige condensor op de retour	36,0	66,0	34,3	62,9
C. enkelvoudige condensor op apart net	29,6	62,6	28,2	59,6
D. combicondensor	29,6	62,6	28,2	59,6
F. hogere warmte-intensiteit (70 m ³ a.e./m ²)	36,0	66,0	34,8	63,7
G. geen CO ₂ -dosering	41,0	73,0	39,1	69,6
H. lagere warmte dekking (80% x A)	29,0	53,0	27,6	50,5

5.3.2 Resultaten

5.3.2.1 Laag vermogen

De equivalentieprijzen van laagwaardige warmte bij gebruik van tabletverwarming zijn voor de verschillende situaties bij een laag benodigd vermogen vermeld in tabel 5.13. Uit de tabel blijkt dat de equivalentieprijs in de basissituatie bij gebruik van bodemtype a (polypropyleen slangen in polystyreen bodem) bij een gemiddelde watertemperatuur van 40 °C 19,0 cent en bij 30 °C 17,7 cent per m³ a.e. bedraagt. Dit betekent dat de prijs voor laagwaardige warmte in deze situatie en bij dit type bodem minimaal respectievelijk 1,0 en 2,3 cent onder de gasprijs van 20 cent per m³ moet liggen. Bij bodemtype b (aluminium buizen onder aluminium eb/vloed bodem) bedraagt de equivalentieprijs in de basissituatie respectievelijk 10,6 en 6,5 cent, bij type c (poly-ethyleen

Tabel 5.13 Equivalentieprijsen bij gebruik van laagwaardige warmte in verschillende typen verwarmde tabletbodem in verschillende situaties bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C en een laag vermogen (cent/m³ a.e.)

Situatie	Type verwarmde tabletbodem							
	a		b		c		d	
	30	40	30	40	30	40	30	40
A. basissituatie	17,7	19,0	6,5	10,6	13,4	15,9	-5,9	7,8
B. enkelvoudige condensor op de retour	16,9	18,2	5,7	9,8	12,6	15,1	-6,7	7,0
C. enkelvoudige condensor op apart net	18,6	18,6	5,3	9,5	12,6	15,1	-13,6	6,6
D. combicondensor	17,8	17,8	4,4	8,7	11,8	14,2	-14,4	5,8
E. lagere warmte-intensiteit (30 m ³ a.e./m ²)	15,6	17,7	-3,1	3,8	8,3	12,6	-23,8	-0,9
F. hogere warmte-intensiteit (70 m ³ a.e./m ²)	18,7	19,6	10,7	13,6	15,5	17,4	1,8	11,5
G. geen CO ₂ -dosering	18,1	19,2	7,8	11,5	14,0	16,4	-2,9	9,1
H. lagere warmtebedekking (80% x A)	17,0	18,5	2,8	8,0	11,6	14,7	-12,9	4,5
K. lichtverlies (1 buis)	9,4	14,0	1,8	7,0	8,1	12,0	-18,4	1,1
L. lichtverlies (2 buizen)	1,1	9,0	-3,0	3,4	2,8	8,1	-30,9	-5,5
N. hogere gasprijs (30 cent/m ³)	28,2	29,5	17,0	21,1	23,9	26,4	4,6	18,3
O. hogere gasprijs (40 cent/m ³)	38,7	40,0	27,5	31,6	34,3	36,9	15,0	28,8
P. hogere gasprijs (50 cent/m ³)	49,1	50,5	37,9	42,1	44,8	47,4	25,5	39,3
R. lager gasketelrenedement (minus 1% punt)	17,9	19,3	6,7	10,9	13,6	16,2	-5,6	8,0
S. lager gasketelrenedement (minus 2% punt)	18,2	19,5	7,0	11,1	13,8	16,4	-5,4	8,3

slangen onder alumimium bodem) 15,9 en 13,4 cent en bij type d (poly-ethyleen slangen onder kunststof eb/vloed bodem) 7,8 en -5,9 cent per m³ a.e. Bij deze bodemtypen moet het verschil tussen de gasprijs en de prijs die maximaal betaald mag worden voor laagwaardige warmte dus groter zijn. Bij bodemtype d en een watertemperatuur van 30 °C moet er geld toegelegd worden op het gebruik van laagwaardige warmte. Bodemtype a geeft ook in de andere situaties de hoogste equivalentieprijzen. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat in de bodemtypen b en c een grotere hoeveelheid laagwaardige warmte kan worden aangewend (zie tabel 5.7) en dat bodemtype b en d naast het gebruik als tabletverwarmingssysteem ook gebruikt kan worden als eb/vloed watergeefstelsysteem. Bij een lagere watertemperatuur is de equivalentieprijs in alle situaties en bij alle bodemtypen lager.

De equivalentieprijzen in de andere situaties geven een overeenkomstig beeld te zien met de buisverwarmingssystemen. Het gebruik van een rookgascondensor levert meestal een lagere equivalentieprijs. Dit wordt grotendeels veroorzaakt door het hogere rendement van stookinstallatie. Bodemtype a is hierop een uitzondering, hier is de equivalentieprijs bij een enkelvoudige condensor op een apart net en een combicondensor (situatie C en D) hoger. Dit wordt veroorzaakt doordat de extra jaarkosten van het aangepaste verwarmingssysteem in deze situaties lager zijn en er door bodemtype a minder laagwaardige warmte wordt aangewend dan bij bodemtype b en c. Hierdoor wegen de lagere extra jaarkosten per m³ a.e. aan laagwaardige warmte zwaarder dan de verhoging van het ketelrendement.

De hoogte van de warmte-intensiteit heeft grote invloed op de equivalentieprijs. Een lagere warmte-intensiteit (situatie E) levert een lagere en een hogere warmte-intensiteit (situatie F) een hogere equivalentieprijs. Geen CO₂-dosering (situatie G) levert een hogere en een lagere warmtedekking (situatie H) een lagere equivalentieprijs. Deze situaties hebben minder invloed op de equivalentieprijs dan de warmte-intensiteit en de invloed van het niet doseren van CO₂ is minder groot dan van de lagere warmtedekking.

De situaties waarin het aangepaste verwarmingssysteem lichtverlies veroorzaakt (situatie K en L) levert evenals bij de buisverwarmingssystemen aanzienlijk lagere equivalentieprijzen. Bij lichtverlies door één extra stalen 51 mm buis boven het gewas en een gemiddelde watertemperatuur van 30 °C daalt de equivalentieprijs bij bodemtype a van 17,7 naar 9,4, bij bodemtype b van 6,5 naar 1,8, bij bodemtype c van 13,4 naar 8,1 en bij bodemtype d van -5,9 naar -18,4 cent per m³ a.e. De verlaging van de equivalentieprijs door lichtverlies is niet bij alle bodemtypen gelijk. Het verlies aan geldopbrengst is wel gelijk maar de hoeveelheid aangewende laagwaardige warmte is verschillend waardoor de verlaging van de equivalentieprijs het grootst is bij de bodemtypen waarin de minste warmte wordt aangewend. (type d en a). De daling van de equivalentieprijs in de situatie waarin lichtverlies wordt

veroorzaakt door twee extra verwarmingsbuizen (situatie L) is twee maal zo groot als in de situatie met één extra buis (situatie K).

De situaties R en S (lager gasketelrendement) geven ook bij tabletverwarming een verlaging van de equivalentieprijs van ongeveer 0,2 cent/m³ a.e. te zien.

In de situaties met een hogere gasprijs (N, O en P) wordt evenals bij de buisverwarmingssystemen het verschil tussen de equivalentieprijs en de gasprijs kleiner bij een hogere gasprijs. Dit wordt veroorzaakt doordat in de basissituatie geen gebruik wordt gemaakt van een rookgascondensor. In tabel 5.14 wordt de equivalentieprijs bij de verschillende type rookgascondensoren en een oplopende gasprijs getoond voor bodemtype b. Bij de enkelvoudige condensor op een apart net en de combicondensor wordt het verschil tussen de equivalentieprijs en de gasprijs groter bij een hogere gasprijs.

*Tabel 5.14 Equivalentieprijsen bij gebruik van laagwaardige warmte in verwarmde tabletbodem type b in de situaties met een laag vermogen, verschillende condensortypen en aardgasprijsen (cent/m³ a.e.) *)*

Condensortype	Gem. T	Aardgasprijs (cent/m ³)			
		20	30	40	50
Geen	30	6,5	17,0	27,5	37,9
	40	10,6	21,1	31,6	42,1
Enkelvoudige op de retour	30	5,7	15,8	25,8	35,9
	40	9,8	19,9	30,0	40,0
Enkelvoudige op apart net	30	5,3	14,6	24,0	33,3
	40	9,5	18,9	28,2	37,5
Combicondensor	30	4,4	13,4	22,3	31,2
	40	8,7	17,6	26,5	35,4

*) Warmte-intensiteit = 50 m³ a.e./m².

In tabel 5.15 zijn de equivalentieprijsen vermeld bij gebruik van betonvloerverwarming in de afzonderlijke situaties bij een laag vermogen. In de basissituatie en een watertemperatuur van 30 °C bedraagt de equivalentieprijs 1,1 cent en bij een watertemperatuur van 40 °C 6,0 cent. Bij het gebruik van betonvloeren is de equivalentieprijs dus aanzienlijk lager dan de gasprijs. Dit geldt voor alle situaties. De betonvloer kan echter ook gebruikt worden als eb/vloed watergeefstelsel en een betonvloer kan arbeidskundige voordelen met zich meebrengen. Een lagere watertemperatuur resulteert ook bij de betonvloerverwarming

in een lagere equivalentieprijs. De verschillen tussen de equivalentieprijsen in de andere situaties geven een overeenkomstig beeld te zien dan bij de tabletverwarmingssystemen.

Tabel 5.15 Equivalentieprijsen bij gebruik van een laagwaardige warmte in een verwarmde betonvloer in verschillende situaties bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C en een laag vermogen (cent/m³ a.e.)

Situatie	30	40
A. basissituatie	1,1	6,0
B. enkelvoudige condensor op de retour	0,3	5,2
C. enkelvoudige condensor op apart net	-0,6	4,8
D. combicondensor	-1,4	3,9
E. lagere warmte-intensiteit (30 m ³ a.e./m ²)	-12,2	-4,0
F. hogere warmte-intensiteit (70 m ³ a.e./m ²)	6,7	10,3
G. geen CO ₂ -dosering	2,8	7,4
H. lagere warmtedekking (80% x A)	-3,7	2,2
K. lichtverlies (1 buis)	-3,8	2,2
L. lichtverlies (2 buizen)	-8,6	-1,6
N. hogere gasprijs (30 cent/m ³)	11,6	16,5
O. hogere gasprijs (40 cent/m ³)	22,0	27,0
P. hogere gasprijs (50 cent/m ³)	32,5	37,5
R. lager gasketelrendement (minus 1% punt)	1,3	6,2
S. lager gasketelrendement (minus 2% punt)	1,5	6,5

De resultaten van de berekeningen waarbij de extra jaarkosten van het aangepaste verwarmingssysteem niet worden toegerekend aan het gebruik van laagwaardige warmte zijn bij het gebruik van tabletverwarming vermeld in tabel 5.16 en bij betonvloerverwarming in tabel 5.17. Alleen de situaties A t/m D zijn hierbij in beschouwing genomen. Het verschil tussen de equivalentieprijsen en de gasprijs is hier aanzienlijk kleiner. Er bestaat weinig verschil tussen de verschillende bodemtypen en watertemperaturen. De kleine verschillen worden veroorzaakt door het verschil in warmtedekking. In de basissituatie (zonder condensor) is de equivalentieprijs meestal hoger en in de situatie met condensor (B, C en D) lager dan de gasprijs. Dit wordt veroorzaakt doordat in de situaties met condensor het ketelrendement hoger is.

Tabel 5.16 Equivalentieprijsen bij gebruik van tabletverwarming zonder toerekening van de extra
jaarkosten van het verwarmingssysteem bij verschillende bodentypen in de situaties A t/m
D bij een laag vermogen en een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C

Situatie	Type verwarmde tabletbodem							
	a		b		c		d	
	30	40	30	40	30	40	30	40
A. basissituatie	19,5	20,1	20,1	20,3	20,0	20,3	18,7	19,8
B. enkelvoudige condensor op de retour	18,7	19,3	19,3	19,5	19,2	19,5	17,9	19,0
C. enkelvoudige condensor op apart net	16,8	17,7	17,8	18,0	17,7	18,0	15,4	17,3
D. combicondensor	16,0	16,9	16,9	17,2	16,8	17,1	14,6	16,5

Tabel 5.17 *Equivalentieprijsen bij gebruik van betonvloerverwarming zonder toerekening van de extra jaarkosten van het verwarmingssysteem in de situaties A t/m D bij een laag vermogen en een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C*

Situatie	30	40
A. basissituatie	20,1	20,3
B. enkelvoudige condensor op de retour	19,3	19,5
C. enkelvoudige condensor op apart net	17,8	18,0
D. combicondensor	16,9	17,1

5.3.2.2 Hoog vermogen

De equivalentieprijsen bij gebruik van laagwaardige warmte in verwarmde tabletbodems zijn voor de afzonderlijke situaties bij een hoog vermogen vermeld in tabel 5.18. In de basissituatie bedraagt de equivalentieprijs bij bodemtype a en een gemiddelde watertemperatuur van 40 °C 17,1 en bij 30 °C 12,9 cent. De laagwaardige warmte moet hier dus respectievelijk 2,9 en 7,1 cent onder de gasprijs liggen. Bij bodemtype b bedraagt de equivalentieprijs in de basissituatie respectievelijk 7,4 en -3,6, bij bodemtype c 13,8 en 5,8 en bij bodemtype d -1,3 en -25,1. Bodemtype a geeft dus ook bij een hoog vermogen de hoogste en bodemtype d de laagste equivalentieprijs. De verschillen tussen de afzonderlijke bodemtypen zijn bij een hoog vermogen echter groter dan bij een laag vermogen. Ook is het verschil tussen de equivalentieprijs en de gasprijs groter dan bij een laag vermogen (zie tabel 5.13). Dit geldt eveneens voor de andere situaties. Bij een lagere watertemperatuur is de equivalentieprijs ook bij een hoog vermogen lager.

De equivalentieprijsen in de andere situaties geven een overeenkomstig beeld te zien dan bij een laag vermogen. Ook hier heeft een hogere warmte-intensiteit, een lager ketelrendement en het niet doseren van CO₂ een positieve invloed en het gebruik van een condensor en een lagere warmtedekking een negatieve invloed op de equivalentieprijs. De verschillen tussen de afzonderlijke situaties zijn echter groter dan bij een laag vermogen.

In de situaties waarin het aangepaste verwarmingssysteem lichtverlies veroorzaakt (K en L) zijn de equivalentieprijsen aanzienlijk lager en moet er meestal worden toegelegd op het gebruik van laagwaardige warmte.

De equivalentieprijsen bij gebruik van betonvloerverwarming in de afzonderlijke situaties bij een hoog vermogen zijn vermeld

Tabel 5.18 Equivalentieprijsen bij gebruik van een laagwaardige warmte in verschillende typen verwarmde tabletbodems in basislast in verschillende situaties bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C en een hoog vermogen (cent/m³ a.e.)

Situatie	Type verwarmde tabletbodem							
	a		b		c		d	
	30	40	30	40	30	40	30	40
A. basissituatie	12,9	17,1	-3,6	7,4	5,8	13,8	-25,1	-1,3
B. enkelvoudige condensor op de retour	11,9	16,0	-4,7	6,3	4,8	12,7	-26,1	-2,3
C. enkelvoudige condensor op apart net	14,9	17,2	-7,1	6,1	4,0	12,9	-78,5	-5,4
D. combicondensor	14,2	16,5	-7,7	5,5	3,4	12,3	-79,2	-6,0
F. hogere warmte-intensiteit (70 m ³ a.e./m ²)	15,1	18,0	3,2	11,1	9,9	15,6	-12,1	4,9
G. geen CO ₂ -dosering	14,0	17,4	-1,4	8,7	7,5	14,4	-19,3	1,4
H. lagere warmte dekking (80% x A)	11,1	16,0	-10,1	4,2	2,3	11,9	-37,5	-7,0
K. lichtverlies (1 buis)	-1,3	10,1	-11,3	2,9	-3,6	8,8	-46,5	-11,6
L. lichtverlies (2 buizen)	-15,6	3,1	-19,0	-1,6	-12,9	3,8	-67,9	-22,0
N. hogere gasprijs (30 cent/m ³)	23,4	27,6	6,8	17,9	16,3	24,2	-14,6	9,2
O. hogere gasprijs (40 cent/m ³)	33,9	38,0	17,3	28,3	26,8	34,3	-4,2	19,7
P. hogere gasprijs (50 cent/m ³)	44,4	48,5	27,8	38,8	37,3	45,2	6,3	30,1
R. lager gasketelrendement (minus 1% punt)	13,2	17,3	-3,4	7,6	6,0	14,0	-24,9	-1,0
S. lager gasketelrendement (minus 2% punt)	13,4	17,5	-3,2	7,9	6,3	14,2	-24,6	-0,8

in tabel 5.19. In de basissituatie bedraagt de equivalentieprijs bij een gemiddelde watertemperatuur van 40 °C 2,3 en bij 30 °C -14,4 cent per m3 a.e. Dit is lager dan bij een laag vermogen (zie tabel 5.15), dit geldt ook voor de overige situaties. Bij een lagere watertemperatuur is ook hier de equivalentieprijs lager. De equivalentieprijsen in de andere situaties geven een overeenkomstig beeld te zien dan bij een laag vermogen.

Tabel 5.19 *Equivalentieprijsen bij gebruik van laagwaardige warmte in een verwarmde betonvloer in basislast in verschillende situaties bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C en een hoog vermogen (cent/m3 a.e.)*

Situatie	30	40
A. basissituatie	-14,4	2,3
B. enkelvoudige condensor op de retour	-15,5	1,2
C. enkelvoudige condensor op apart net	-20,7	0,6
D. combicondensor	-21,3	-0,6
F. hogere warmte-intensiteit (70 m3 a.e./m2)	-4,5	7,4
G. geen CO2-dosering	-10,1	4,1
H. lagere warmtedekking (80% x A)	-23,0	-2,3
K. lichtverlies (1 buis)	-22,8	-2,3
L. lichtverlies (2 buizen)	-31,1	-7,2
N. hogere gasprijs (30 cent/m3)	-3,9	12,8
O. hogere gasprijs (40 cent/m3)	6,5	23,2
P. hogere gasprijs (50 cent/m3)	17,0	33,7
R. lager gasketelrendement (minus 1% punt)	-14,2	2,2
S. lager gasketelrendement (minus 2% punt)	-13,9	2,4

Als de extra jaarkosten van het aangepaste verwarmingssysteem niet worden toegerekend aan het gebruik van laagwaardige warmte ontstaan bij gebruik van tabletverwarming de equivalentieprijsen zoals vermeld in tabel 5.20 en bij gebruik van betonvloerverwarming zoals vermeld in tabel 5.21. Het verschil tussen de equivalentieprijsen en de gasprijs is hier aanzienlijk minder groot dan bij het wel toerekenen van de extra jaarkosten (zie tabel 5.18). De verschillen zijn echter groter dan in de situatie met een laag vermogen (zie tabel 5.13 en 5.15). De verschillen tussen de afzonderlijk bodentypen en watertemperaturen zijn evenals bij een laag vermogen gering. De situatie zonder condensor geeft ook hier de hoogste equivalentieprijsen.

Tabel 5.20 *Equivalentieprijsen bij gebruik van tabletverwarming zonder toerekening van de extra jaarkosten van het verwarmingssysteem bij verschillende bodemtypen en in de situaties A t/m D bij een hoog vermogen en een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C (cent/m³ a.e.)*

Situatie	Type verwarmde tabletbodem							
	a		b		c		d	
	30	40	30	40	30	40	30	40
A. basissituatie	18,4	19,7	19,6	20,2	19,3	20,1	17,1	19,1
B. enkelvoudige condensor op de retour	17,4	18,7	18,6	19,1	18,3	19,0	16,1	18,1
C. enkelvoudige condensor op apart net	14,4	17,0	16,8	17,6	16,3	17,5	8,5	16,1
D. combicondensor	13,8	16,4	16,2	17,0	15,7	16,9	7,8	15,4

Tabel 5.21 *Equivalentieprijsen bij gebruik van betonvloerverwarming zonder toerekening van de extra jaarkosten van het verwarmingssysteem in de situaties A t/m D bij een laag vermogen en een gemiddelde watertemperatuur van 30 en 40 °C (cent/m³ a.e.)*

Situatie	30		40
A. basissituatie	19,5		20,2
B. enkelvoudige condensor op de retour	18,4		19,1
C. enkelvoudige condensor op apart net	16,7		17,6
D. combicondensor	16,0		17,0

6. Conclusies

6.1 Gebruiksrendementen en gasbesparingen

Het jaargebruiksrendement van een gasketel is afhankelijk van de warmte-intensiteit, het benodigd warmteleverend vermogen, de overcapaciteit en het gebruik van een condensor. In de situatie met een laag vermogen (180 W/m^2), een overcapaciteit van 20% en zonder condensor is het rendement afhankelijk van de warmte-intensiteit berekend op 90 tot 93% (o.w.). Bij een enkelvoudige condensor op de retour is dit 95 tot 98%, bij een enkelvoudige condensor op een apart net 101 tot 105% en bij een combicondensor 106 tot 110%. Het rendement van een gasketel inclusief een enkelvoudige condensor op de retour ligt dus ongeveer 5% hoger dan zonder condensor. Bij een enkelvoudige condensor op een apart net is dit 11-12% en bij een combicondensor ongeveer 16-17%. Bij een hoog vermogen (240 W/m^2) ligt het rendement ongeveer 1% lager en in de situatie zonder overcapaciteit liggen de rendementen ongeveer 1% hoger.

Het verschil tussen de dekking door een alternatieve laagwaardige warmtebron en de gasbesparing is afhankelijk van de warmte-intensiteit, het benodigd warmteleverend vermogen, de overcapaciteit en de dekking. Bij een warmteleverend vermogen van 180 W/m^2 , een overcapaciteit van 20% en een warmte-intensiteit van $50 \text{ m}^3 \text{ a.e./m}^2$ bedraagt het verschil ongeveer 2,5%. Dit betekent dat bij een dekking van 70% de gasbesparing ongeveer 67,5% bedraagt.

Naarmate de warmte-intensiteit hoger of de dekking lager is, is het verschil kleiner en naarmate het benodigd vermogen of de overcapaciteit hoger is, is het verschil groter. Bij een overcapaciteit van 40% daalt de gasbesparing tot ongeveer 67%. Bij een warmte-intensiteit van $30 \text{ m}^3 \text{ a.e./m}^2$ en een overcapaciteit van 20% daalt de gasbesparing tot ongeveer 66%. Bij een warmte-intensiteit van $60-70 \text{ m}^3 \text{ a.e./m}^2$ ligt de gasbesparing op ongeveer 68% en bij een hoog vermogen is de gasbesparing afhankelijk van de warmte-intensiteit 0,5 tot 1% lager. Bij een dekking van 40%, een brandstofintensiteit van $50 \text{ m}^3 \text{ a.e./m}^2$ en een overcapaciteit van 20% bedraagt de gasbesparing 38,6 en bij een dekking van 10% 9,6%.

6.2 Investerings- en jaarkosten

De investeringen in een buisverwarmingssysteem waarin laagwaardige warmte van een alternatieve bron wordt aangewend nemen exponentieel toe naarmate de gemiddelde watertemperatuur lager is. Dit wordt veroorzaakt door de toename van het aantal buizen.

Bij gebruik van stalen 51 mm buizen voor zowel het basis- als het pieklast-net in de situatie met een laag vermogen en zonder gebruik van laagwaardige condensorwarmte lopen de investeringen op van f 21,75 bij een gemiddelde watertemperatuur van 55 °C tot f 35,25 per m² bij 28 °C. Poly-ethyleen (p.e) slangen voor het basislast-net veroorzaken minder hoge investeringen. De snellere verwarmingsbuizen voor het basislast-net (staal 28, vin 22-70 en vin 22-50 mm) brengen de hoogste investeringen met zich mee.

De extra jaarkosten lopen bij het stalen 51 mm basislast-net indien er geen lichtverlies ontstaat op van f 0,95 bij 55 °C tot f 2,48 per m² bij 28 °C. Ook in jaarkosten is p.e. goedkoper al is het verschil minder groot dan bij de investeringen. De snellere verwarmingsbuizen in basislast brengen de hoogste extra jaarkosten met zich mee. De extra jaarkosten hiervan lopen op tot boven de f 4,- per m².

Bij gebruik van snelle verwarmingsbuizen voor het pieklast-net zijn de investeringen en extra jaarkosten ook hoger dan bij de stalen 51 mm buis. Een snel pieklast-net is bij lagere watertemperaturen in het basislast-net (onder de 45 °C) echter goedkoper dan een snel basislast-net. Dit geldt zowel in de situatie met een laag als een hoog vermogen.

In de situatie waarin naast laagwaardige warmte van een alternatieve bron ook laagwaardige warmte van een condensor wordt gebruikt zijn de extra jaarkosten bij een laag vermogen lager en bij een hoog vermogen hoger.

Een extra stalen 51 mm buis per kap voor het buisrail transportsysteem brengt aan extra investering f 1,67 en aan extra jaarkosten f 0,26 per m² met zich mee.

De investeringen in een verwarmingssysteem waarin laagwaardige warmte wordt aangewend in een verwarmde tabletbodem lopen in de situatie met een laag vermogen en een gemiddelde watertemperatuur van 40 °C afhankelijk van het type bodem uiteen van f 72,25 tot f 85,00 per m² kas. De polystyreen bodem met hierin polypropyleen slangen brengt de laagste en de aluminium eb/vloed bodem met aluminium verwarmingsbuizen de hoogste investeringen en jaarkosten met zich mee.

De extra jaarkosten bedragen in de situatie met een laag vermogen, zonder het gebruik van laagwaardige condensorwarmte en bij een watertemperatuur van 40 °C afhankelijk van het type bodem f 0,58 tot f 4,28 en bij een watertemperatuur van 30 °C f 0,58 tot f 4,54 per m².

Bij de verwarmde betonvloer bedragen de investeringen in de situatie met een laag vermogen en een gemiddelde watertemperatuur van 40 °C f 65,- per m². Bij een gemiddelde watertemperatuur van 30 °C is dit f 67,25. De extra jaarkosten bedragen in de situatie met en zonder laagwaardige condensorwarmte respectievelijk f 5,33 en f 5,59 per m².

Zowel bij tablet- als bij betonvloerverwarming zijn de extra

jaarkosten dus hoger bij een lagere watertemperatuur. In de situatie met laagwaardige condensatorwarmte zijn de extra jaarkosten lager.

In de situatie met een hoog vermogen zijn de investeringen en de extra jaarkosten zowel bij buisverwarming als bij tablet- en betonvloerverwarming iets hoger.

Indien uitbreiding van het verwarmingssysteem lichtverlies met zich meebrengt nemen de jaarkosten van het verwarmingssysteem zeer sterk toe. Bij de stalen 51 mm buis en een geldopbrengst van f 60,- per m² jaar bedraagt de toename van de jaarkosten zowel bij de buis- als de tabletverwarmingssystemen f 1,50 per extra buis per 3,20 m kap die lichtverlies veroorzaakt.

6.3 Equivalentieprijsen

Zowel bij buisverwarming als bij tablet- en vloerverwarming neemt de equivalentieprijs sterk af bij een lagere watertemperatuur. Bij gebruik van de stalen 51 mm buis als laagwaardig basislast-net neemt de equivalentieprijs in de situatie zonder condensor, een warmte-intensiteit van 50 m³ a.e./m².jaar, geen extra lichtverlies en een gasprijs van 20 cent/m³ (basissituatie) en een laag vermogen af van 18,1 cent bij een watertemperatuur van 55 °C tot 13,2 cent/m³ a.e. bij 28 °C. Dit betekent dat in deze situatie laagwaardige warmte met een gemiddelde temperatuur van 55 °C minimaal 1,9 en van 28 °C 6,8 cent goedkoper moet zijn dan aardgas om een gelijkblijvend bedrijfsresultaat te realiseren. Bij gebruik van poly-ethyleen (p.e.) slangen liggen de equivalentieprijsen iets hoger.

Bij gebruik van snellere typen verwarmingsbuizen in basislast liggen de equivalentieprijsen aanzienlijk lager. Dit betekent dat indien de traagheid van het verwarmingssysteem die het gebruik van laagwaardige warmte met zich meebrengt gecompenseerd moet worden voor sturing van het klimaat de laagwaardige warmte aanzienlijk minder waarde heeft. Het gebruik van een snel pieklast-net geeft eveneens lagere equivalentieprijsen. Bij de lagere watertemperaturen in het basislast-net (onder de 45 °C) zijn de equivalentieprijsen bij een snel pieklast-net echter hoger dan bij een snel basislast-net.

Bij tabletverwarming geeft de polystyreen bodem met polypropyleen slangen de hoogste equivalentieprijsen en de kunststof eb/vloed bodem met p.e.-slangen de laagste. In de basissituatie bij een gemiddelde watertemperatuur van 40 °C bedraagt de equivalentieprijs respectievelijk 19,0 en 7,8 cent. Bij de aanwending van laagwaardige warmte in een verwarmde betonvloer is dit 6,0 cent.

Indien bij tablet- of vloerverwarming de extra kosten van het aangepaste verwarmingssysteem niet toegerekend worden aan het gebruik van laagwaardige warmte is het verschil tussen de equiva-

lentieprijs en de gasprijs aanzienlijk kleiner en soms zelfs in het voordeel van laagwaardige warmte. In de situatie zonder condensor bedraagt de equivalentieprijs bij de verwarmde aluminium eb/vloed bodem en een watertemperatuur van 40 °C 20,3 en in de situatie met een combicondensor 17,2 cent per m³ a.e. Dit betekent dat indien een tablet- of vloerverwarmingssysteem om andere redenen reeds gebruikt wordt op een glastuinbouwbedrijf de laagwaardige warmte voor deze bedrijven een grotere waarde heeft.

Zowel bij buis- als bij tablet- en vloerverwarming is de equivalentieprijs in de situatie met een rookgascondensor, een lagere warmte-intensiteit, het niet realiseren van de theoretische dekking lager en met een hogere warmte-intensiteit, een lager gasketelrendement en geen CO₂-dosering hoger dan in de basissituatie. De invloed van de condensor en de warmte-intensiteit is hierbij het grootst.

Indien het aangepaste verwarmingssysteem lichtverlies veroorzaakt dalen de equivalentieprijsen zeer sterk. De aanpassing van het verwarmingssysteem moet daarom zodanig worden uitgevoerd dat er geen lichtverlies veroorzaakt wordt.

De berekeningen bij een hoog vermogen geven hetzelfde beeld te zien als bij een laag vermogen, de equivalentieprijsen liggen echter op een lager niveau.

Bij een hogere gasprijs wordt zowel bij buis- als bij tablet- en vloerverwarming in de situatie zonder condensor het verschil tussen de gasprijs en de equivalentieprijs kleiner en in de situatie met een condensor groter.

Literatuur

Benninga, J.

Toepassing van de warmtepomp in de glastuinbouw
Den Haag, LEI, 1987a, Mededeling 366

Benninga, J.

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

Braak, N.J. van de, et.al.

Onderzoek naar gebruik van restwarmte met lage temperatuur voor
het verwarmen van kassen
Wageningen, IMAG, 1984, PR-788-5

Challa, H.

"Verband tussen licht en groei; 1% vuistregel nader bekeken"
Vakblad voor de Bloemisterij 40(1984)26, 42-43

Koning, A.

Invloed van grondverwarming en dag/nachttemperatuurregime op de
groei, ontwikkeling en produktie van tomaat
Naaldwijk, PTOG, 1986a, Intern Verslag nr 33

Koning, A.

Invloed van het dag/nachttemperatuurregime op de groei, ontwikke-
ling en de produktie van tomaat
Naaldwijk, PTOG, 1986b, Intern Verslag nr 66

Nawrocki, K.R.

Meting warmteoverdrachtscoëfficiënt voor convectie van verwar-
mingspijpen in kassen
Wageningen, IMAG, 1985a, Rapport 55

Nawrocki, K.R.

Demonstratieproject Energiearme Kas
Wageningen, IMAG, 1985b, Rapport 77

Noort, L. van

Rentabiliteit en financiering van de tuinbouw onder glas in
Nederland over 1985
Den Haag, LEI, 1987, Periodieke Rapportage 15-85

Post, C.J. van de, et al.

Technisch en teeltkundig onderzoek bij de toepassing van rest-
en afvalwarmte
Wageningen, IMAG, 1987, Rapport 96

LITERATUUR (1e vervolg)

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, 1983a, Onderzoekverslag nr. 3

Rijssel, E. van

"Grote invloed van licht op opbrengst roos"

Vakblad voor de bloemisterij 39(1983b)25, 66-67

Stoffers, F.A.

Lichtdoorlatendheid van met vlakke materialen bedekte warenhuizen

Wageningen, ITT, 1967, Publikatie nr. 14

Torre, W. van der

"Eindverslag Denarkas; Tweejarige steenwolteelt de toekomst voor Gerbera"

Vakblad voor de bloemisterij, 42(1987)29, 52-55

Velden, N.J.A. van der, K.R. Nawrocki en H.J. de Sterke

Afstandsverwarming in de glastuinbouw van Denemarken en de Bondsrepubliek; Verslag van een studiereis

Den Haag, LEI, 1986, Mededeling 353

Verhaegh, A.P. en N.J.A. van der Velden

Brandstofverbruik in de glastuinbouw van Denemarken, België en de Bondsrepubliek

Den Haag, LEI, 1986, Mededeling 350

Verhaegh, A.P.

"Daglicht, één van de vele factoren die de produktie bepalen"

Tuinderij, 62(1982)4, 24-27

Verwaaijen, P.W.T.

Regeltechnisch onderzoek bij het verwarmen van kassen met behulp van rest- en ketelwarmte

Wageningen, IMAG, 1987, rapport 91

Visser, A. de en W.P. Vesseur

"Daglicht, één van de vele factoren die de produktie bepalen"

Tuinderij, 62(1982)9, 38-39

Vogelezang, J.V.M.

Toepassing van tabletverwarming bij Saintpaulia

Aalsmeer, PBN, 1985, Intern Verslag nr 2

LITERATUUR (2e vervolg)

Vogelezang, J.V.M., G.E. Mulderij en Th. van den Berg
Bladplanten op verwarmde tabletten; Teeltonderzoek en houdbaar-
heid
Aalsmeer, FBN, 1988, Rapport nr. 66

Weel, P.A. van
"Benchheating for potplant or cutflower produktion"
In: Acta Horticulturae 148, 1984

Bijlagen

Bijlage 1 Investerings en jaarkosten van een reeks verwarmingssystemen waarvan het laagwaardige basislast-net bestaat uit verschillende typen verwarmingsbuizen en het hoogwaardige pieklast-net uit drie stalen 51 mm buizen in de situatie met een laag vermogen en zonder laagwaardige condensorwarmte en lichtverlies.

Tabel a Laagwaardig basislast-net: aantal stalen 51 mm buizen per 3,20 m kap zoals aangegeven

Gem. T l.w. net (°C)	Aant.buiz. l.w. net (stuks)	Inv.l.w. verw. (f/m ²)	Inv.h.w. verw. (f/m ²)	Inv.tot. verw. (f/m ²)	Jaark. tot.verw. (f/m ²)	Extra jaark. (f/m ²)
55	2	9,50	12,25	21,75	2,50	0,92
44	3	11,75	12,25	24,00	2,76	1,18
38	4	14,00	12,25	26,25	3,02	1,44
34	5	16,25	12,25	28,50	3,28	1,70
32	6	18,50	12,25	30,75	3,54	1,96
28	8	23,00	12,25	35,25	4,06	2,48

Tabel b Laagwaardig basislast-net: aantal p.e 25 mm slangen per 3,20 m kap zoals aangegeven

Gem. T l.w. net (°C)	Aant.buiz. l.w. net (stuks)	Inv.l.w. verw. (f/m ²)	Inv.h.w. verw. (f/m ²)	Inv.tot. verw. (f/m ²)	Jaark. tot.verw. (f/m ²)	Extra jaark. (f/m ²)
44	6	7,40	12,25	19,65	2,53	0,95
38	8	8,20	12,25	20,45	2,71	1,13
34	10	9,00	12,25	21,25	2,89	1,31
32	12	9,80	12,25	22,05	3,07	1,49
28	16	11,40	12,25	23,65	3,43	1,85
27	18	12,20	12,25	24,45	3,61	2,03

Tabel c Laagwaardig basislast-net: aantal stalen 28 mm buizen per 3,20 m kap zoals aangegeven

Gem. T l.w. net (°C)	Aant.buiz. l.w. net (stuks)	Inv.l.w. verw. (f/m ²)	Inv.h.w. verw. (f/m ²)	Inv.tot. verw. (f/m ²)	Jaark. tot.verw. (f/m ²)	Extra jaark. (f/m ²)
63	3	11,25	12,25	23,50	2,71	1,13
50	4	13,50	12,25	25,75	2,97	1,39
44	5	15,75	12,25	28,00	3,22	1,64
40	6	18,00	12,25	30,25	3,48	1,90
34	8	22,50	12,25	34,75	4,00	2,42
31	10	27,00	12,25	39,25	4,52	2,94

Tabel d Laagwaardig basislast-net: aantal gevinde 22-70 mm aluminium buizen per 3,20 m kap zoals aangegeven

Gem. T l.w. net (°C)	Aant.buiz. l.w. net (stuks)	Inv.l.w. verw. (f/m2)	Inv.h.w. verw. (f/m2)	Inv.tot. verw. (f/m2)	Jaark. tot.verw. (f/m2)	Extra jaark. (f/m2)
55	2	11,00	12,25	23,25	2,94	1,36
44	3	14,00	12,25	26,25	3,41	1,83
38	4	17,00	12,25	29,25	3,89	2,31
34	5	20,00	12,25	32,25	4,36	2,78
32	6	23,00	12,25	35,25	4,84	3,26
28	8	28,75	12,25	41,00	5,75	4,17

Tabel e Laagwaardig basislast-net: aantal gevinde 22-50 mm aluminium buizen per 3,20 m kap zoals aangegeven

Gem. T l.w. net (°C)	Aant.buiz. l.w. net (stuks)	Inv.l.w. verw. (f/m2)	Inv.h.w. verw. (f/m2)	Inv.tot. verw. (f/m2)	Jaark. tot.verw. (f/m2)	Extra jaark. (f/m2)
68	2	10,00	12,25	22,25	2,78	1,20
53	3	12,50	12,25	24,75	3,18	1,60
46	4	15,00	12,25	27,25	3,57	1,99
38	6	20,00	12,25	32,25	4,36	2,78
33	8	25,00	12,25	37,25	5,16	3,58
30	10	30,00	12,25	42,25	5,95	4,37

Bijlage 2 Investerings en jaarkosten van een reeks verwarmingssystemen waarvan het laagwaardige basislast-net bestaat uit verschillende typen verwarmingsbuizen en het hoogwaardige pieklast-net uit drie stalen 51 mm buizen in de situatie met een laag vermogen en laagwaardige condensorwarmte en zonder lichtverlies.

Tabel a Laagwaardig basislast-net: aantal stalen 51 mm buizen per 3,20 m kap zoals aangegeven

Gem. T l.w. net (°C)	Aant.buiz. l.w. net (stuks)	Inv.l.w. verw. (f/m ²)	Inv.h.w. verw. (f/m ²)	Inv.tot. verw. (f/m ²)	Jaark. tot.verw. (f/m ²)	Extra jaark. (f/m ²)
62	2	9,50	12,25	21,75	2,50	0,35
49	3	11,75	12,25	24,00	2,76	0,61
42	4	14,00	12,25	26,25	3,02	0,87
38	5	16,25	12,25	28,50	3,28	1,13
34	6	18,50	12,25	30,75	3,54	1,39
31	8	23,00	12,25	35,25	4,06	1,91

Tabel b Laagwaardig basislast-net: aantal p.e 25 mm slangen per 3,20 m kap zoals aangegeven

Gem. T l.w. net (°C)	Aant.buiz. l.w. net (stuks)	Inv.l.w. verw. (f/m ²)	Inv.h.w. verw. (f/m ²)	Inv.tot. verw. (f/m ²)	Jaark. tot.verw. (f/m ²)	Extra jaark. (f/m ²)
50	6	7,40	12,25	19,65	2,53	0,38
42	8	8,20	12,25	20,45	2,71	0,56
38	10	9,00	12,25	21,25	2,89	0,74
35	12	9,80	12,25	22,05	3,07	0,92
31	16	11,40	12,25	23,65	3,43	1,28
30	18	12,20	12,25	24,45	3,61	1,46

Tabel c Laagwaardig basislast-net: aantal stalen 28 mm buizen per 3,20 m kap zoals aangegeven

Gem. T l.w. net (°C)	Aant.buiz. l.w. net (stuks)	Inv.l.w. verw. (f/m ²)	Inv.h.w. verw. (f/m ²)	Inv.tot. verw. (f/m ²)	Jaark. tot.verw. (f/m ²)	Extra jaark. (f/m ²)
66	3	11,25	12,25	23,50	2,71	0,56
56	4	13,50	12,25	25,75	2,97	0,82
44	6	18,00	12,25	30,25	3,48	1,33
38	8	22,50	12,25	34,75	4,50	1,85
34	10	27,00	12,25	39,25	4,52	2,37
32	12	31,50	12,25	43,75	5,04	2,89

Tabel d *Laagwaardig basislast-net: aantal gevinde 22-70 mm aluminium buizen per 3,20 m kap zoals aangegeven*

Gem. T l.w. net (°C)	Aant. buiz. l.w. net (stukks)	Inv.l.w. verw. (f/m ²)	Inv.h.w. verw. (f/m ²)	Inv.tot. verw. (f/m ²)	Jaark. tot.verw. (f/m ²)	Extra jaark. (f/m ²)
62	2	11,00	12,25	23,25	2,94	0,79
49	3	14,00	12,25	26,25	3,41	1,26
42	4	17,00	12,35	29,25	3,89	1,74
38	5	20,00	12,25	32,25	4,36	2,21
34	6	23,00	12,25	35,25	4,84	2,69
31	8	28,75	12,25	41,00	5,75	3,60

Tabel e *Laagwaardig basislast-net: aantal gevinde 22-50 mm aluminium buizen per 3,20 m kap zoals aangegeven*

Gem. T l.w. net (°C)	Aant. buiz. l.w. net (stukks)	Inv.l.w. verw. (f/m ²)	Inv.h.w. verw. (f/m ²)	Inv.tot. verw. (f/m ²)	Jaark. tot.verw. (f/m ²)	Extra jaark. (f/m ²)
61	3	12,50	12,25	24,75	3,18	0,88
52	4	15,00	12,25	27,25	3,57	1,27
42	6	20,00	12,25	32,25	4,36	2,06
36	8	25,00	12,25	37,25	5,16	2,86
33	10	30,00	12,25	42,25	5,95	3,65
30	12	35,00	12,25	47,25	6,74	4,44

Bijlage 3 Investerings en jaarkosten van een reeks van verwarmingssystemen waarvan het laagwaardige basislast-net bestaat uit verschillende typen verwarmingsbuizen en het hoogwaardige pieklast-net uit vier stalen 51 mm buizen in de situatie met een hoog vermogen, en zonder laagwaardige condensorwarmte en lichtverlies.

Tabel a Laagwaardig basislast-net: aantal stalen 51 mm buizen per 3,20 m kap zoals aangegeven

Gem. T l.w. net (°C)	Aant.buiz. l.w. net (stuks)	Inv.l.w. verw. (f/m2)	Inv.h.w. verw. (f/m2)	Inv.tot. verw. (f/m2)	Jaark. tot.verw. (f/m2)	Extra jaark. (f/m2)
66	2	9,50	14,50	24,00	2,76	0,92
54	3	11,75	14,50	26,25	3,02	1,18
46	4	14,00	14,50	28,50	3,28	1,44
38	6	18,50	14,50	33,00	3,80	1,96
34	8	23,00	14,50	37,50	4,32	2,48
30	12	32,00	14,50	46,50	5,36	3,52

Tabel b Laagwaardig basislast-net: aantal p.e 25 mm slangen per 3,20 m kap zoals aangegeven

Gem. T l.w. net (°C)	Aant.buiz. l.w. net (stuks)	Inv.l.w. verw. (f/m2)	Inv.h.w. verw. (f/m2)	Inv.tot. verw. (f/m2)	Jaark. tot.verw. (f/m2)	Extra jaark. (f/m2)
47	8	8,20	14,50	22,70	2,97	1,13
42	10	9,00	14,50	23,50	3,15	1,31
39	12	9,80	14,50	24,30	3,33	1,49
35	16	11,40	14,50	25,90	3,69	1,85
32	20	13,00	14,50	27,50	4,05	2,21
31	24	14,60	14,50	29,10	4,41	2,57

Tabel c Laagwaardig basislast-net: aantal stalen 28 mm buizen per 3,20 m kap zoals aangegeven

Gem. T l.w. net (°C)	Aant.buiz. l.w. net (stuks)	Inv.l.w. verw. (f/m2)	Inv.h.w. verw. (f/m2)	Inv.tot. verw. (f/m2)	Jaark. tot.verw. (f/m2)	Extra jaark. (f/m2)
61	4	13,50	14,50	28,00	3,22	1,38
50	6	18,00	14,50	32,50	3,74	1,90
43	8	22,50	14,50	37,00	4,26	2,42
36	12	31,50	14,50	46,00	5,30	3,46
32	16	36,00	14,50	50,50	5,82	3,98
30	20	40,50	14,50	55,00	6,33	4,49

Tabel d Laagwaardig basislast-net: aantal gevinde 22-70 mm aluminium buizen per 3,20 m kap zoals aangegeven

Gem. T l.w. net (°C)	Aant.buiz. l.w. net (stuks)	Inv.l.w. verw. (f/m2)	Inv.h.w. verw. (f/m2)	Inv.tot. verw. (f/m2)	Jaark. tot.verw. (f/m2)	Extra jaark. (f/m2)
66	2	11,00	14,50	25,50	3,20	1,36
54	3	14,00	14,50	28,50	3,67	1,83
46	4	17,00	14,50	31,50	4,15	2,31
38	6	23,00	14,50	37,50	5,10	3,26
34	8	28,75	14,50	43,25	6,01	4,17
30	12	39,25	14,50	53,75	7,83	5,99

Tabel e Laagwaardig basislast-net: aantal gevinde 22-50 mm aluminium buizen per 3,20 m kap zoals aangegeven

Gem. T l.w. net (°C)	Aant.buiz. l.w. net (stuks)	Inv.l.w. verw. (f/m2)	Inv.h.w. verw. (f/m2)	Inv.tot. verw. (f/m2)	Jaark. tot.verw. (f/m2)	Extra jaark. (f/m2)
67	3	12,50	14,50	27,00	3,43	1,59
56	4	15,00	14,50	29,50	3,83	1,99
46	6	20,00	14,50	34,50	4,62	2,78
40	8	25,00	14,50	39,50	5,42	3,58
34	12	35,00	14,50	49,50	7,00	5,16
31	16	45,00	14,50	59,50	8,59	6,75

Bijlage 4 Investerings en jaarkosten van een reeks verwarmingssystemen waarvan het laagwaardige basislast net bestaat uit verschillende typen verwarmingsbuizen en het hoogwaardige pieklast net uit vier stalen 51 mm buizen in de situatie met een hoog vermogen en laagwaardige condensorwarmte en zonder lichtverlies.

Tabel a Laagwaardig basislast net: aantal stalen 51 mm buizen per 3,20 m kap zoals aangegeven

Gem. T l.w. net (°C)	Aant.buiz. l.w. net (stuks)	Inv.l.w. verw. (f/m2)	Inv.h.w. verw. (f/m2)	Inv.tot. verw. (f/m2)	Jaark. tot.verw. (f/m2)	Extra jaark. (f/m2)
60	3	11,75	14,50	26,25	3,02	0,61
51	4	14,00	14,50	28,50	3,28	0,87
42	6	18,50	14,50	33,00	3,80	1,39
37	8	23,00	14,50	37,50	4,32	1,91
34	10	27,50	14,50	42,00	4,84	2,43
30	14	36,50	14,50	51,00	5,87	3,46

Tabel b Laagwaardig basislast net: aantal p.e 25 mm slangen per 3,20 m kap zoals aangegeven

Gem. T l.w. net (°C)	Aant.buiz. l.w. net (stuks)	Inv.l.w. verw. (f/m2)	Inv.h.w. verw. (f/m2)	Inv.tot. verw. (f/m2)	Jaark. tot.verw. (f/m2)	Extra jaark. (f/m2)
47	10	9,00	14,50	23,50	3,15	0,74
43	12	9,80	14,50	24,30	3,33	0,92
37	16	11,40	14,50	25,90	3,69	1,28
34	20	13,00	14,50	27,50	4,05	1,64
32	24	14,60	14,50	29,10	4,41	2,00
30	32	17,80	14,50	32,30	5,13	2,72

Tabel c Laagwaardig basislast net: aantal stalen 28 mm buizen per 3,20 m kap zoals aangegeven

Gem. T l.w. net (°C)	Aant.buiz. l.w. net (stuks)	Inv.l.w. verw. (f/m2)	Inv.h.w. verw. (f/m2)	Inv.tot. verw. (f/m2)	Jaark. tot.verw. (f/m2)	Extra jaark. (f/m2)
55	6	18,00	14,50	32,50	3,74	1,33
48	8	22,50	14,50	37,00	4,26	1,85
39	12	31,50	14,50	46,00	5,30	2,89
35	16	36,00	14,50	50,50	5,82	3,41
32	20	40,50	14,50	55,00	6,33	3,92
30	24	45,00	14,50	59,50	6,85	4,44

Tabel d Laagwaardig basislast net: aantal gevinde 22-70 mm aluminium buizen per 3,20 m kap zoals aangegeven

Gem. T l.w. net (°C)	Aant. buiz. l.w. net (stuks)	Inv.l.w. verw. (f/m2)	Inv.h.w. verw. (f/m2)	Inv.tot. verw. (f/m2)	Jaark. tot.verw. (f/m2)	Extra jaark. (f/m2)
60	3	14,00	14,50	28,50	3,67	1,26
51	4	17,00	14,50	31,50	4,15	1,74
42	6	23,00	14,50	37,50	5,10	2,69
37	8	28,75	14,50	43,25	6,01	3,60
34	10	34,50	14,50	49,00	6,92	4,51
30	14	46,00	14,50	60,50	8,74	6,33

Tabel e Laagwaardig basislast net: aantal gevinde 22-50 mm aluminium buizen per 3,20 m kap zoals aangegeven

Gem. T l.w. net (°C)	Aant. buiz. l.w. net (stuks)	Inv.l.w. verw. (f/m2)	Inv.h.w. verw. (f/m2)	Inv.tot. verw. (f/m2)	Jaark. tot.verw. (f/m2)	Extra jaark. (f/m2)
63	4	15,00	14,50	29,50	3,83	1,42
51	6	20,00	14,50	34,50	4,62	2,21
44	8	25,00	14,50	39,50	5,42	3,01
37	12	35,00	14,50	49,50	7,00	4,59
33	16	45,00	14,50	59,50	8,59	6,18
31	20	55,00	14,50	69,50	10,17	7,76

Bijlage 5 Equivalentieprijzen bij verschillende bedrijfssituaties, een reeks van gemiddelde watertemperaturen en verschillende type verwarmingsbuizen in verschillende situaties bij een laag vermogen.

Tabel 5.a Basissituatie (situatie A)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs
(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)
55	18,1	57	17,4	44	18,0	55	16,7	68	17,2
44	17,3	50	16,6	38	17,4	44	15,2	53	16,0
38	16,4	44	15,8	34	16,9	38	13,7	46	14,7
34	15,6	40	15,0	32	16,3	34	12,2	38	12,2
32	14,8	34	13,4	28	15,2	32	10,8	33	9,8
28	13,2	31	11,8	27	14,6	28	7,9	30	7,3

1) cent/m3 a.e.

Tabel 5.b Situatie B (enkelvoudige condensator op de retour)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		V+n 22-50	
gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs
(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)
55	17,0	57	16,4	44	17,0	55	15,7	68	16,2
44	16,2	50	15,6	38	16,4	44	14,2	53	14,9
38	15,4	44	14,8	34	15,8	38	12,7	46	13,7
34	14,6	40	14,0	32	15,3	34	11,2	38	11,2
32	13,8	34	12,3	28	14,1	32	9,7	33	8,7
28	12,2	31	10,7	27	13,6	28	6,9	30	6,3

1) cent/m3 a.e.

Tabel 5.c Situatie C (enkelvoudige condensator op een apart net)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs
(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)
62	17,6	66	16,9	50	17,5	62	16,2	61	15,5
49	16,8	56	16,1	42	16,9	49	14,7	52	14,2
42	15,9	44	14,5	38	16,4	42	13,2	42	11,8
38	15,1	38	12,9	35	15,8	38	11,8	36	9,3
34	14,3	34	11,3	31	14,7	34	10,3	33	6,8
31	12,7	32	9,6	30	14,1	31	7,4	30	4,3

1) cent/m3 a.e.

Tabel 5.c' Situatie C' (enkelvoudige condensor op een apart net)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs
(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)
62	17,7	66	17,1	50	17,6	62	16,4	61	15,8
49	16,9	56	16,4	42	17,1	49	15,1	52	14,6
42	16,2	44	14,9	38	16,6	42	13,7	42	12,4
38	15,5	38	13,4	35	16,1	38	12,4	36	10,1
34	14,7	34	11,9	31	15,0	34	11,0	33	7,9
31	13,2	32	10,5	30	14,5	31	8,4	30	5,6

1) cent/m3 a.e.

Tabel 5.d situatie D (combicondensor)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs
(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)
62	16,7	66	16,1	50	16,7	62	15,4	61	14,6
49	15,9	56	15,3	42	16,1	49	13,9	52	13,4
42	15,1	44	13,7	38	15,5	42	12,4	42	10,9
38	14,3	38	12,0	35	15,0	38	10,9	36	8,4
34	13,5	34	10,4	31	13,8	34	9,4	33	6,0
31	11,9	32	8,8	30	13,3	31	6,6	30	3,5

1) cent/m3 a.e.

Tabel 5.d' Situatie D' (combicondensor)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs
(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)
62	16,8	66	16,3	50	16,8	62	15,6	61	14,9
49	16,1	56	15,5	42	16,3	49	14,2	52	13,8
42	15,4	44	14,0	38	15,7	42	12,9	42	11,5
38	14,6	38	12,6	35	15,2	38	11,5	36	9,3
34	13,9	34	11,1	31	14,2	34	10,2	33	7,0
31	12,4	32	9,6	30	13,7	31	7,6	30	4,8

1) cent/m3 a.e.

Tabel 5.e Situatie E (lagere warmte-intensiteit)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. eq.		gem. eq.		gem. eq.		gem. eq.		gem. eq.	
temp. prijs		temp. prijs		temp. prijs		temp. prijs		temp. prijs	
(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)	
55	16,6	57	15,6	44	16,5	55	14,4	68	15,2
44	15,3	50	14,2	38	15,6	44	11,9	53	13,1
38	13,9	44	12,9	34	14,6	38	9,4	46	11,1
34	12,6	40	11,5	32	13,7	34	7,0	38	7,0
32	11,2	34	8,8	28	11,8	32	4,5	33	2,8
28	8,5	31	6,1	27	10,9	28	-0,3	30	-1,3

1) cent/m3 a.e.

Tabel 5.f Situatie F (hogere warmte-intensiteit)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. eq.		gem. eq.		gem. eq.		gem. eq.		gem. eq.	
temp. prijs		temp. prijs		temp. prijs		temp. prijs		temp. prijs	
(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)	
55	18,7	57	18,2	44	18,6	55	17,7	68	18,1
44	18,1	50	17,6	38	18,2	44	16,6	53	17,2
38	17,5	44	17,1	34	17,8	38	15,6	46	16,3
34	16,9	40	16,5	32	17,4	34	14,5	38	14,5
32	16,3	34	15,3	28	16,6	32	13,5	33	12,7
28	15,2	31	14,2	27	16,2	28	11,4	30	11,0

1) cent/m3 a.e.

Tabel 5.g Situatie G (geen CO2)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. eq.		gem. eq.		gem. eq.		gem. eq.		gem. eq.	
temp. prijs		temp. prijs		temp. prijs		temp. prijs		temp. prijs	
(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)	
55	18,3	57	17,7	44	18,2	55	17,1	68	17,5
44	17,6	50	17,0	38	17,7	44	15,7	53	16,4
38	16,8	44	16,3	34	17,2	38	14,4	46	15,3
34	16,1	40	15,5	32	16,7	34	13,0	38	13,0
32	15,4	34	14,0	28	15,7	32	11,6	33	10,7
28	13,9	31	12,6	27	15,2	28	9,0	30	8,5

1) cent/m3 a.e.

Tabel 5.h Situatie H (lagere warmte dekking)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)
55	17,3	57	16,5	44	17,2	55	15,6	68	16,3
44	16,3	50	15,5	38	16,5	44	13,8	53	14,7
38	15,3	44	14,5	34	15,8	38	11,9	46	13,2
34	14,3	40	13,5	32	15,1	34	10,0	38	10,0
32	13,3	34	11,5	28	13,7	32	8,2	33	6,9
28	11,2	31	9,4	27	13,0	28	4,6	30	3,8

1) cent/m3 a.e.

Tabel 5.i Situatie A (buisrailtransportsysteem)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)
55	17,3	57	16,8	44	17,2	55	15,9	68	16,4
44	16,5	50	15,8	38	16,6	44	14,4	53	15,2
38	15,6	44	15,0	34	16,1	38	12,9	46	13,9
34	14,8	40	14,2	32	15,5	34	11,4	38	11,4
32	14,0	34	12,6	28	14,4	32	10,0	33	9,0
28	12,4	31	11,0	27	13,8	28	7,1	30	6,5

1) cent/m3 a.e.

Tabel 5.k Situatie K (lichtverlies 1 buis)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)
55	13,4	57	14,8	55	13,0	68	14,4
44	12,6	50	14,0	44	11,5	53	13,2
38	11,8	44	13,2	38	10,0	46	11,9
34	10,9	40	12,4	34	8,5	38	9,4
32	10,1	34	10,8	32	7,0	33	7,0
28	8,5	31	9,1	28	4,2	30	4,5

1) cent/m3 a.e.

Tabel 5.1 Situatie L (lichtverlies 2 buizen)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)
55	8,7	57	12,2	55	9,2	68	11,6
44	7,9	50	11,4	44	7,7	53	10,3
38	7,1	44	10,6	38	6,2	46	9,1
34	6,3	40	9,8	34	4,7	38	6,6
32	5,4	34	8,1	32	3,3	33	4,1
28	3,8	31	6,5	28	0,4	30	1,7

1) cent/m3 a.e.

Tabel 5.m Situatie M (lichtverlies 3 buizen)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)
55	4,0	57	9,6	55	5,5	68	8,8
44	3,2	50	8,7	44	4,0	53	7,5
38	2,4	44	7,9	38	2,5	46	6,3
34	1,6	40	7,1	34	1,0	38	3,8
32	0,8	34	5,5	32	-0,5	33	1,3
28	-0,9	31	3,9	28	-3,3	30	-1,1

1) cent/m3 a.e.

Tabel 5.n Situatie N (gasprijs 30 cent/m3)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)
55	28,5	57	27,9	44	28,5	55	27,2	68	27,7
44	27,7	50	27,1	38	27,9	44	25,7	53	26,4
38	26,9	44	26,3	34	27,3	38	24,2	46	25,2
34	26,1	40	25,5	32	26,8	34	22,7	38	22,7
32	25,3	34	23,9	28	25,7	32	21,2	33	20,3
28	23,7	31	22,2	27	25,1	28	18,4	30	17,8

1) cent/m3 a.e.

Tabel 5.o Situatie O (gasprijs 40 cent/m3)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem.	eq.	gem.	eq.	gem.	eq.	gem.	eq.	gem.	eq.
temp.	prijs	temp.	prijs	temp.	prijs	temp.	prijs	temp.	prijs
(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)
55	39,0	57	38,4	44	38,9	55	37,7	68	38,2
44	38,2	50	37,6	38	38,4	44	36,2	53	36,9
38	37,4	44	36,8	34	37,8	38	34,7	46	35,7
34	36,6	40	36,0	32	37,3	34	33,2	38	33,2
32	35,8	34	34,3	28	36,1	32	31,7	33	30,7
28	34,2	31	32,2	27	35,6	28	28,9	30	28,3

1) cent/m3 a.e.

Tabel 5.p Situatie P (gasprijs 50 cent/m3)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem.	eq.	gem.	eq.	gem.	eq.	gem.	eq.	gem.	eq.
temp.	prijs	temp.	prijs	temp.	prijs	temp.	prijs	temp.	prijs
(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)
55	49,5	57	48,9	44	49,4	55	48,1	68	48,6
44	48,7	50	48,1	38	48,9	44	46,7	53	47,4
38	47,9	44	47,2	34	48,3	38	45,2	46	46,2
34	47,1	40	46,4	32	47,7	34	43,7	38	43,7
32	46,3	34	44,8	28	46,6	32	42,2	33	41,2
28	44,6	31	43,2	27	46,0	28	39,4	30	38,7

1) cent/m3 a.e.

Tabel 5.r Situatie R (gasketelrendement 1% punt lager)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem.	eq.	gem.	eq.	gem.	eq.	gem.	eq.	gem.	eq.
temp.	prijs	temp.	prijs	temp.	prijs	temp.	prijs	temp.	prijs
(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)
55	18,3	57	17,7	44	18,2	55	16,9	68	17,4
44	17,5	50	16,9	38	17,7	44	15,5	53	16,2
38	16,7	44	16,0	34	17,1	38	14,0	46	15,0
34	15,9	40	15,2	32	16,5	34	12,5	38	12,5
32	15,4	34	13,6	28	15,4	32	11,0	33	10,0
28	13,4	31	12,0	27	14,8	28	8,0	30	7,5

1) cent/m3 a.e.

Tabel 5.5 Situatie S (gasketelrendement 2% punt lager)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)
55	18,5	57	17,9	44	18,5	55	17,2	68	17,7
44	17,7	50	17,1	38	17,9	44	15,7	53	16,4
38	16,9	44	16,3	34	17,3	38	14,2	46	15,2
34	16,1	40	15,5	32	16,8	34	12,7	38	12,7
32	15,3	34	13,8	28	15,6	32	11,2	33	10,2
28	13,7	31	12,2	27	15,1	28	8,4	30	7,8

1) cent/m3 a.e.

Bijlage 6 Voorbeeldberekening van de equivalentieprijs in de situaties zonder condensor en met een combicondensor bij gebruik van een laagwaardig verwarmingsnet van stalen 51 mm buizen bij een gemiddelde watertemperatuur van 38 °C en een laag vermogen.

Geen condensor (situatie A)

Warmte-intensiteit = 50 m3 a.e./m2.jaar.
 Dekking jaarlijkse warmtevraag door laagwaardige warmtebron = 64%.
 Gasbesparing = 61,7%.
 Jaarrendement ketel bij volledig gasstook = 92,0% (o.w.).
 Gasverbruik = 50 / 92% = 54,3 m3/m2.jaar.
 Levering aan laagwaardige warmte = 64% x 50 = 32 m3 a.e./m2.jaar.
 Gasbesparing = 61,7% x 54,3 = 33,5 m3/m2.jaar.

Geldbesparing aan gas = 33,5 x 20 cent =	f 6,70
Extra jaarkosten verwarmingssysteem (zie tabel 4.10)	1,44
	----- -
Beschikbaar voor de laagwaardige warmte	f 5,26

Equivalentieprijs = f 5,26 / 32 = 16,4 cent/m3 a.e.

Combicondensor (situatie D)

Jaarrendement ketel bij volledig gasstook = 108,2% (o.w.).
 Gasverbruik = 50 / 108,2% = 46,2 m3/m2.jaar.
 Gasbesparing = 61,7% x 46,2 = 28,5 m3/m2.jaar.

Geldbesparing aan gas = 28,5 x 20 cent =	f 5,70
Extra jaarkosten verwarmingssysteem (zie bijlage 2)	1,13
	----- -
Beschikbaar voor de laagwaardige warmte	f 4,57

Equivalentieprijs = f 4,57 / 32 = 14,3 cent/m3 a.e.

Bijlage 7 Equivalentieprijzen bij verschillende bedrijfssituaties, een reeks van gemiddelde watertemperaturen en verschillende typen verwarmingsbuizen in verschillende situaties bij een hoog vermogen.

Tabel 7.a Basissituatie (situatie A)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)
66	18,1	61	16,6	47	17,4	66	16,7	67	16,0
54	17,3	50	15,0	42	16,9	54	15,2	56	14,7
46	16,5	43	13,4	39	16,3	46	13,7	46	12,3
38	14,8	36	10,2	35	15,2	38	10,8	40	9,8
34	13,2	32	8,5	32	14,1	34	7,9	34	4,8
30	10,0	30	6,9	31	12,9	30	2,2	31	-0,1

1) cent/m3 a.e.

Tabel 7.b Situatie B (enkelvoudige condensator op de retour)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)
66	17,0	61	15,6	47	16,4	66	15,7	67	14,9
54	16,2	50	14,0	42	15,8	54	14,2	56	13,7
46	15,4	43	12,3	39	15,3	46	12,7	46	11,2
38	13,8	36	9,1	35	14,1	38	9,7	40	8,7
34	12,2	32	7,5	32	13,0	34	6,9	34	3,8
30	8,9	30	5,9	31	11,9	30	1,2	31	-1,2

1) cent/m3 a.e.

Tabel 7.c Situatie C (enkelvoudige condensator op een apart net)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)
60	16,8	55	14,5	47	16,4	60	14,7	63	14,2
51	16,0	48	12,9	43	15,8	51	13,2	51	11,8
42	14,3	39	9,7	37	14,7	42	10,3	44	9,3
37	12,7	35	8,0	34	13,6	37	7,4	37	4,3
34	11,1	32	6,4	32	12,4	34	4,6	33	-0,6
30	7,9	30	4,8	30	10,2	30	-1,1	31	-5,6

1) cent/m3 a.e.

Tabel 7.c' Situatie C' (enkelvoudige condensor op een apart net)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs
(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)	
60	16,9	55	14,9	47	16,6	60	15,1	63	14,6
51	16,2	48	13,4	43	16,1	51	13,7	51	12,4
42	14,7	39	10,5	37	15,0	42	11,0	44	10,1
37	13,2	35	9,0	34	14,0	37	8,4	37	5,6
34	11,8	32	7,5	32	13,0	34	5,8	33	1,1
30	8,8	30	6,0	30	10,9	30	0,7	31	-3,4

1) cent/m3 a.e.

Tabel 7.d Situatie D (combicondensor)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs
(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)	
60	15,9	55	13,7	47	15,5	60	13,9	63	13,4
51	15,1	48	12,1	43	15,0	51	12,4	51	10,9
42	13,5	39	8,8	37	13,8	42	9,4	44	8,4
37	11,9	35	7,2	34	12,7	37	6,6	37	3,5
34	10,3	32	5,6	32	11,6	34	3,7	33	-1,5
30	7,0	30	4,0	30	9,3	30	-2,0	31	-6,4

1) cent/m3 a.e.

Tabel 7.d' Situatie D' (combicondensor)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs
(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)	
60	16,1	55	14,0	47	15,7	60	14,2	63	13,8
51	15,4	48	12,6	43	15,2	51	12,9	51	11,5
42	13,9	39	9,6	37	14,2	42	10,2	44	9,3
37	12,4	35	8,1	34	13,2	37	7,6	37	4,8
34	10,9	32	6,7	32	12,2	34	5,0	33	0,3
30	8,0	30	5,2	30	10,1	30	-0,2	31	-4,2

1) cent/m3 a.e.

Tabel 7.f Situatie F (hogere warmte-intensiteit)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)
66	18,9	61	17,9	47	18,4	66	17,9	67	17,4
54	18,3	50	16,7	42	18,0	54	16,9	56	16,5
46	17,7	43	15,5	39	17,6	46	15,8	46	14,7
38	16,6	36	13,2	35	16,8	38	13,7	40	13,0
34	15,4	32	12,1	32	16,0	34	11,6	34	9,4
30	13,1	30	10,9	31	15,2	30	7,6	31	5,9

1) cent/m3 a.e.

Tabel 7.g Situatie G (geen CO2)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)
66	18,3	61	17,0	47	17,7	66	17,1	67	16,4
54	17,6	50	15,5	42	17,2	54	15,7	56	15,3
46	16,8	43	14,0	39	16,7	46	14,4	46	13,0
38	15,4	36	11,1	35	15,7	38	11,6	40	10,7
34	13,9	32	9,6	32	14,6	34	9,0	34	6,2
30	10,9	30	8,1	31	13,6	30	3,8	31	1,7

1) cent/m3 a.e.

Tabel 7.h Situatie H (lagere warmte dekking)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)	gem. temp. (°C)	eq. prijs 1)
66	17,3	61	15,5	47	16,5	66	15,6	67	14,7
54	16,3	50	13,5	42	15,8	54	13,8	56	13,1
46	15,3	43	11,5	39	15,1	46	11,9	46	10,0
38	13,3	36	7,4	35	13,7	38	8,2	40	6,9
34	11,2	32	5,4	32	12,3	34	4,6	34	0,7
30	7,2	30	3,3	31	10,9	30	-2,5	31	-5,5

1) cent/m3 a.e.

Tabel 7.n Situatie N (gasprijs 30 cent/m3)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs
(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)
66	28,6	61	27,1	47	27,9	66	27,2	67	26,5
54	27,7	50	25,5	42	27,4	54	25,7	56	25,2
46	26,9	43	23,9	39	26,8	46	24,2	46	22,7
38	25,3	36	20,6	35	25,7	38	21,3	40	20,3
34	23,7	32	19,0	32	24,5	34	18,4	34	15,3
30	20,5	30	17,4	31	23,4	30	12,7	31	10,4

1) cent/m3 a.e.

Tabel 7.o Situatie O (gasprijs 40 cent/m3)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs
(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)
66	39,0	61	37,6	47	38,4	66	37,7	67	36,9
54	38,2	50	36,0	42	37,8	54	36,2	56	35,7
46	37,4	43	34,4	39	37,3	46	34,7	46	33,2
38	35,8	36	31,1	35	36,2	38	31,7	40	30,8
34	34,2	32	29,5	32	35,0	34	28,9	34	25,8
30	30,9	30	27,9	31	33,9	30	23,2	31	20,9

1) cent/m3 a.e.

Tabel 7.p Situatie P (gasprijs 50 cent/m3)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs
(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)	(°C)	1)
66	49,5	61	48,1	47	48,9	66	48,2	67	47,4
54	48,7	50	46,5	42	48,3	54	46,7	56	46,2
46	47,9	43	44,9	39	47,8	46	45,2	46	43,7
38	46,3	36	41,6	35	46,6	38	42,2	40	41,2
34	44,7	32	40,0	32	45,5	34	39,4	34	36,3
30	41,4	30	38,4	31	44,4	30	33,7	31	31,3

1) cent/m3 a.e.

Tabel 7.r Situatie R (gasketelrendement 1% punt lager)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs
(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)	
66	18,3	61	16,9	47	17,7	66	17,0	67	16,2
54	17,5	50	15,2	42	17,1	54	15,5	56	15,0
46	16,7	43	13,6	39	16,5	46	14,0	46	12,5
38	15,1	36	10,4	35	15,4	38	11,0	40	10,0
34	13,4	32	8,8	32	14,3	34	8,2	34	5,1
30	10,2	30	7,1	31	13,2	30	2,5	31	0,1

1) cent/m3 a.e.

Tabel 7.s Situatie S (gasketelrendement 2% punt lager)

Staal 51 mm		Staal 28 mm		P.e. 25 mm		Vin 22-70		Vin 22-50	
gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs	gem. eq.	temp. prijs
(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)		(°C) 1)	
66	18,5	61	17,1	47	17,9	66	17,2	67	16,4
54	17,7	50	15,5	42	17,3	54	15,7	56	15,2
46	16,9	43	13,9	39	16,8	46	14,2	46	12,7
38	15,3	36	10,6	35	15,7	38	11,2	40	10,3
34	13,7	32	9,0	32	14,5	34	8,4	34	5,3
30	10,4	30	7,4	31	13,4	30	2,7	31	0,4

1) cent/m3 a.e.