

Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93

F 055 549 32 01

info@mep.tno.nl

TNO-rapport

R 2002/023

**Klimatisering van met grond gedekte gebouwen
in de Nieuwe Hollandse Waterlinie**

Datum	januari 2002
Auteurs	Ir. N.R. Bootsveld Ing. M.M. van Ingen
Projectnummer	32122
Trefwoorden	Nieuwe Hollandse Waterlinie Klimatisering Forten Warmtepompen Vochtproblemen in gebouwen
Bestemd voor	Stichting Werk aan de Linie

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Samenvatting

In de periode januari 2001 - januari 2002 is onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden om het binnenklimaat van ondergrondse ruimten in forten geschikt te maken voor moderne, hoogwaardige functies. Daarbij is de Nieuwe Hollandse Waterlinie en meer in het bijzonder de reversbatterij H van het fort bij Vechten als uitgangspunt genomen. De linie staat de laatste jaren in de belangstelling, vooral sinds het verschijnen van de nota Belvedere en de recente plaatsing op de Unesco erfgoedlijst. Het streven is om de 64 forten toegankelijk te maken voor publiek en geschikt voor hoogwaardige functies, waarbij tegelijkertijd het werelderfgoed bewaard moet blijven. Zonder maatregelen zijn de ruimten kil en vochtig en ongeschikt voor menselijk verblijf of de opslag van kwetsbare goederen. Dit blijkt uit de uitgevoerde jaarrondmetingen op het fort bij Vechten in gebruikte en ongebruikte ruimten.

In dit rapport wordt verslag gedaan van het deel van het onderzoek dat van algemene aard is. Er is gebruik gemaakt van een locatieonderzoek, literatuuronderzoek, metingen en berekeningen. Verder zijn de verschillende technische mogelijkheden beknopt in beeld gebracht op hun potenties beoordeeld.

Het onderzoek is grotendeels gefinancierd vanuit Belvedere-gelden. Belvedere gaat over het meer richtinggevend laten zijn van historische structuren voor de toekomstige inrichting van Nederland. Opdrachtgever is de Stichting Werk aan de Linie, een bedrijf dat reïntegratietrajecten verzorgt en nieuwe publieksfuncties ontwikkelt op het fort bij Vechten.

Oplossing hangt af van toekomstige functie

De centrale vraag van het onderzoek luidt: welke technische oplossingen zijn toepasbaar voor de specifieke klimaat- en energieproblemen voor grondgedekte ruimten op forten uit de Waterlinie. Het antwoord hangt af van de toekomstige functie.

Of bepaalde maatregelen nodig zijn is weergegeven in onderstaande tabel. Hierbij dient opgemerkt te worden dat een slechte bouwkundige staat door geen enkele klimatiseringsmaatregel kan worden gecompenseerd.

Noodzakelijke klimatiseringsmaatregelen in verschillende situaties

Dynamiek (weinig menselijk verkeer / veel menselijk verkeer ▼	verwarmen	ventileren	ontvochtigen	koelen
	Hoogwaardige opslag	nee	minimaal	ja
Kantoor en wonen	ja	ja	nee	nee
Publieke gebouwen	ja	ja	meestal	soms
Feestruimte	soms	ja	ja	soms

Voor kantoor en wonen is verwarming de aangewezen maatregel, waarbij de bekende CV-techniek volstaat. Energiezuinige opties zijn bijvoorbeeld warmteterugwinning uit de ventilatielucht en toepassing van warmtepompen. Bijzondere aanbeveling is om ook in de zomer de verwarming in bedrijf te laten en de ingestelde binnentemperatuur licht te laten stijgen bij warm zomerweer. Dit voorkomt vochtproblemen: als warme buitenlucht te veel afkoelt in de ruimte zou de relatieve luchtvochtigheid te hoog worden.

Voor hoogwaardige opslag is ontvochtiging de aangewezen oplossing. Dit is mogelijk met elektrisch aangedreven warmtepompontvochtigers of met warmte (gas) aangedreven droogsystemen met sorptiemiddelen.

De functie als publieke ruimte en vooral als feestzaal, blijkt lastiger te accommoderen. Er is speciale aandacht nodig voor voldoende ventilatie, liefst gebruik makend van bestaande ventilatiekanalen. De oplossing hangt verder af van de gebruiksfrequentie en het aantal bezoekers. Voor een feestzaal is een goede ontvochtiging essentieel en is verwarming nodig voordat het feest begint, om de ruimte voor te verwarmen. Dit voorkomt condensatie van vocht op de muren. Als het feest begint mag de verwarming uit, de feestgangers produceren ruim voldoende warmte. De wanden van het fort werken nu als stralingskoeling en voeren de warmte af naar de grondlagen.

De toe te passen klimatiseringsmaatregelen in verschillende situaties zijn uitgewerkt in de volgende tabel.

Dynamiek (weinig menselijk verkeer / veel menselijk verkeer ▼	verwarmen	ventileren	ontvochtigen	koelen
Hoogwaardige opslag				
Kantoor en wonen	CV-ketel of warmtepomp, radiatoren of vloerverwarming	Natuurlijke ventilatie; Eventueel mechanische afzuiging of gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning.		
Publieke gebouwen	CV-ketel of warmtepomp, radiatoren of vloerverwarming		Warmtepompontvochtiger Dessicant drogers toepassen bij hoge concentratie van mensen Combineer met koeling en ventilatie	Bij incidenteel gebruik door veel mensen koelen met de wanden. Bij continu gebruik koelmachine/warmtepomp toepassen. Combineer met ontvochtiging en ventilatie.
Feestruimte	Bij incidentele verwarming vóór de komst personen verwarmen met gas- of houtkachels. Bij continu gebruik zie kantoor en wonen. Combineer met koeling/warmtepomp	Mechanische toe- en of afvoer van ventilatielucht; Combineer met ontvochtiging en koeling/verwarming	Warmtepompontvochtiger Dessicant drogers toepassen bij hoge concentratie van mensen Combineer met koeling en ventilatie	Bij incidenteel gebruik door veel mensen koelen met de wanden. Bij continu gebruik koelmachine/warmtepomp toepassen. Combineer met ontvochtiging en ventilatie.

Gestructureerde aanpak

Uit de uitgevoerde praktijkinventarisatie blijkt dat het klimatiseren van forten tot nu toe weinig gestructureerd is verlopen. Daarom is een stappenplan ontwikkeld waarmee fortgebruikers en betrokkenen hun voordeel kunnen doen.

In dit rapport wordt verslag gedaan van het deel van het onderzoek dat van algemene aard is. Er is gebruik gemaakt van een locatieonderzoek, literatuuronderzoek, metingen en berekeningen. Verder zijn de verschillende technische mogelijkheden beknopt in beeld gebracht op hun potenties beoordeeld.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1. Inleiding, probleemstelling en doelstelling	9
1.1 Omgevingsfactoren grondgedekte ruimten Nieuwe Hollandse Waterlinie	11
1.2 Werkwijze en leeswijzer	13
2. Onderzoek locaties	15
2.1 Bevindingen uit de metingen	15
2.2 Bevindingen uit het literatuuronderzoek	15
2.3 Selectie van te bezoeken locaties	15
2.4 Bevindingen uit vooronderzoek locaties	17
3. Stappenplan	23
4. Oplossingsrichtingen bij stappenplan	33
4.1 Bouwkundige en bouwfysische oplossingsrichtingen	33
4.1.1 Folie op gewelven	33
4.1.2 Hydrofoberen	33
4.1.3 Vergroting van de zontoetreding	34
4.1.4 Isolatie aan de buitenzijde van het metselwerk	34
4.1.5 Isolatie van de vloer	34
4.2 Oplossingsrichtingen ventilatie	34
4.2.1 Gebruik van bestaande ventilatiekanalen	34
4.2.2 Luchtverdeelslangen	35
4.2.3 Gebalanceerde ventilatie	35
4.3 Oplossingsrichtingen warmteafgifte	36
4.3.1 Radiatoren	36
4.3.2 Vloerverwarming	36
4.3.3 Luchtverwarming	37
4.3.4 Houtkachels (biomassa)	37
4.3.5 Elektrische verwarming	37
4.3.6 Thermische activering van de gebouwmassa	37
4.4 Oplossingsrichtingen warmteopwekking	38
4.4.1 HR-ketel	38
4.4.2 Petroleumkachel	38
4.4.3 Elektrische warmtepomp	38
4.4.4 DX-systeem	39
4.4.5 Gasgestookte warmtepomp	40
4.4.6 Restwarmte en stadsverwarming	41

4.4.7	Zonnecollector voor verwarming van de gebouwmassa	41
4.5	Oplossingsrichtingen ontvochtiging	42
4.5.1	Condensatie-luchtdrogers	42
4.5.2	Warmtegedreven (gas, zon) luchtdrogers	43
4.6	Oplossingsrichtingen nutsvoorzieningen	43
4.6.1	Gas	44
4.6.2	Elektriciteit	44
4.6.3	Zonnecellen	44
4.6.4	Warmtekracht koppeling	44
4.6.5	Thermische zonnecollectoren	45
4.6.6	Biomassavergassing	45
4.6.7	Windmolens	45
5.	Financiering klimatiseringsonderzoek	51
6.	Literatuur	55
7.	Verantwoording	57
Bijlage 1	Literatuurrecherche en stand der techniek	
Bijlage 2	Technisch onderzoek randvoorwaarden	
Bijlage 3	Metingen Fort Vechten Metingen van de temperatuur en in drie gevallen de relatieve luchtvochtigheid, als functie van de tijd	
Bijlage 4	Uitgewerkte metingen Fort Vechten; Grafieken van de binnentemperatuur tegen de buitentemperatuur	
Bijlage 5	Uitgewerkte metingen Fort Vechten; Grafieken van de relatieve luchtvochtigheid tegen de binnentemperatuur in een ruimte	
Bijlage 6	Berekeningen	
Bijlage 7	Vragenlijst voor bezoeken aan locaties	
Bijlage 8	Wet- en regelgeving bij een monument	
Bijlage 9	Verslagen vooronderzoek locaties	

1. Inleiding, probleemstelling en doelstelling

Forten zijn kil, klam en vochtig

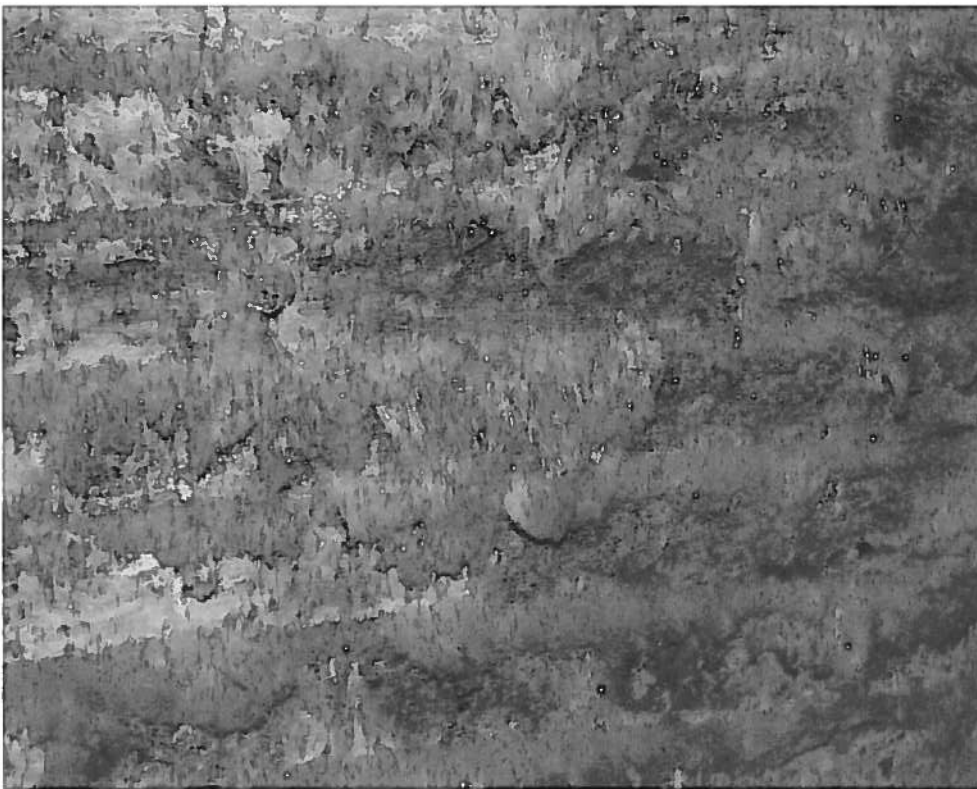
De forten van de Nieuwe Hollandse Waterlinie (NHW) zijn belangrijke cultuurhistorische gebouwen en bovendien onderdeel van een grotere historische structuur. Deze richtinggevende structuur, dit erfgoed, moet behouden blijven en biedt mogelijkheden tot een hedendaags gebruik. Bijzonder knelpunt is het heersende binnenklimaat in de grondgedekte ruimten, dat als kil en klam kan worden omschreven.

Vochtprobleem 1: condensatie

De belangrijkste oorzaak van vocht in de ruimten is dat in de zomer toetreding van vochtige buitenlucht voor condensatie tegen wanden en vloeren zorgt. Dit vocht wordt gedeeltelijk opgenomen door de wanden en bij drogere omstandigheden weer afgestaan aan de lucht in de ruimte. Daarbij ontstaan op schimmels lijkende zoutkristallen op de wanden. De hoge relatieve luchtvochtigheid tast materialen zoals papier en textiel aan en maakt de ruimten onbruikbaar voor langdurig menselijk verblijf. De gemiddelde temperatuur in onverwarmde ruimten is circa 11°C en komt niet boven ongeveer 15°C bij warm weer, afhankelijk van de ligging en de mate van natuurlijke ventilatie. Veel forten kunnen geschikt worden gemaakt om een hoogwaardige functie te gaan vervullen, mits er iets gedaan wordt aan het klimaat-probleem (warmte, vocht, grondwater, ventilatie, energiegebruik, duurzaamheid).

Vochtprobleem 2: lekkage of optrekkend grondwater

Vocht in de ruimten kan ook afkomstig zijn van lekkage en optrekkend grondwater of het kan binnenkomen via de waterkokers die regenwater afvoeren naar drinkwaterkelders. Voorkómen van deze vochtbronnen valt buiten het beschreven onderzoek, maar komt als randvoorwaarde wel aan de orde. Uitgangspunt van het onderzoek is dat bij een goede bouwkundige situatie grondgedekte gewelven droog zijn en dat vocht op de wanden en vloeren afkomstig is van condensatie van vocht uit de buitenlucht.



Figuur 1 Zoutkristallen als gevolg van vochtige omstandigheden

Centrale vraag onderzoek

De centrale vraag van dit onderzoek luidt: Welke technische oplossingen zijn toepasbaar voor de specifieke klimaat- en energieproblemen voor grondgedekte ruimten op forten uit de Nieuw Hollandse Waterlinie? Dit project beoogt de oplossing te vinden voor een algemeen voorkomend probleem met betrekking tot het binnenklimaat van met grond bedekte gebouwen. Door middel van een technische studie is uitgezocht welke opties tot klimaatverbetering er zijn en welke hiervan de meest effectieve en de meest haalbare en realistische zijn in de historische context. De verschillende oplossingen en de criteria ter afweging ervan zijn samengevat in een stappenplan. Hiermee kan voor ieder fort een eerste afweging worden gemaakt. Doordat de afwegingscriteria afzonderlijk worden beschreven en de redenering inzichtelijk wordt gemaakt, heeft het onderzoek niet alleen betrekking op het Fort bij Vechten, maar ook op andere forten. Als "case" of pilot wordt reversbatterij H (de grote feestruimte) op het Fort bij Vechten gebruikt. Deze case is apart beschreven in een afzonderlijk rapport getiteld "De klimatisering van reversbatterij H, op het Fort bij Vechten, Een reisverslag door het stappenplan van TNO" Lit.[9].

Oplossingen voor meerdere forten interessant

De uitkomsten van dit project zijn relevant voor meer forten met grondgedekte gebouwen uit de waterlinie, voor andere monumenten en voor toekomstige moderne grondgedekte gebouwen. Uit een onderzoek van de TU Delft [1] blijkt dat er

nog veel onopgeloste bouwfysische knelpunten zijn bij de realisatie van ondergrondse ruimten en dat besparingen op het energiegebruik te weinig aandacht krijgen. Daarmee vormen de ervaringen met de klimatisering van historische grondgedekte gebouwen een inspiratiebron voor moderne vormen van meervoudig ruimtegebruik en ondergronds bouwen. Verder kan een relatie gelegd worden met niet-grondgedekte historische gebouwen die door hun grote bouwmasse, slechte isolatie en cultuur-historisch bepaalde randvoorwaarden, met vergelijkbare problemen met het binnenklimaat worden geconfronteerd.

Onvoldoende kennis bij eigenaren en gebruikers

Deze studie was onder andere noodzakelijk omdat de betrokkenen soms onvoldoende zijn uitgerust voor verbetering van het binnenklimaat in de beschreven context. Zo is de beheerder van een historisch pand of een museum niet altijd voorbereid op de onderhandelingen en aansturing, noodzakelijk bij het bouwproces en de realisatie van aanpassingen aan zijn object [4]. Ook kan het ontbreken van voldoende interesse in bouwfysica en technische installaties belemmerend werken bij de aansturing van de technische professionals. Voor deze professionals geldt dat zij goed thuis zijn in gebouwen en hun klimaatinstallaties. Zij worden echter in hun beroepsloopbaan te weinig geconfronteerd met historische grondgedekte ruimten. Ook zij moeten dus eerst ervaring opdoen, waarbij vergissingen kunnen ontstaan. Dit blijkt ook op de bezochte locaties in de NHW waar maatregelen zijn genomen die soms goed voldoen terwijl de maatregelen op andere locaties niet voldoen aan de verwachtingen. De bevindingen van deze bezoeken zijn samengevat in bijlage 1.

1.1 Omgevingsfactoren grondgedekte ruimten Nieuwe Hollandse Waterlinie

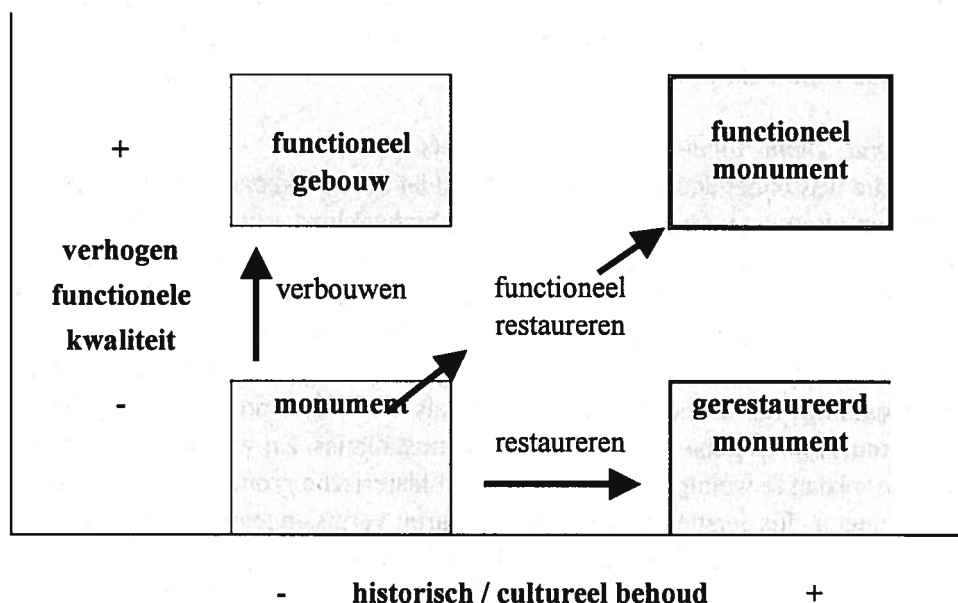
Voor objecten in de Nieuwe Hollandse Waterlinie zijn verschillende omgevingsfactoren van belang.

Het object heeft een monumentale status

De eventuele maatregelen moeten verantwoord zijn in de historische context. Daarvoor wordt de visie gehanteerd dat maatregelen die geringe aanpassingen vragen en die weinig permanente schade aanbrengen aan het object, het meest aantrekkelijk zijn. Zichtbaarheid van de aangebrachte maatregelen is geen probleem. Maatregelen die niet weggewerkt worden, maar die door toekomstige generaties ook weer goed verwijderd kunnen worden hebben de voorkeur. Maatregelen die weliswaar goed onzichtbaar weggewerkt kunnen worden, maar die leiden tot schade aan bijvoorbeeld historisch metselwerk, vallen dan af. Voor alle maatregelen moet toestemming verkregen worden van de Rijksdienst voor de Monumentenzorg.

In het Jaarboek monumentenzorg 1999 [12], wordt een tweede uitgangspunt als volgt verwoord:

'Bij traditionele restauratie van een monument kan een gebouw in stand worden gehouden in zijn historische kwaliteit. Er bestaat de laatste tijd echter steeds meer vraag naar monumenten die ook aan hedendaagse, hoogwaardige functionele eisen voldoen. Functionele instandhouding gaat dan noodgedwongen verder dan uitsluitend restauratie'.



(Zie referentie ^[12])

Bij de restauratie en het herstel van forten zal zowel de instandhouding van het gebouw als ook de functionaliteit een rol spelen. Het is van belang de factoren cultureel / historisch behoud en functionele kwaliteit te optimaliseren. Dit kan alleen door de gebouwen geschikt te maken voor hoogwaardige functies. Onder "hoogwaardige functie" wordt in dit rapport verstaan een functie die economische waarde heeft en die zonder (klimatiserings)maatregelen niet in een fort of grondgedekte ruimte kan worden gerealiseerd. Functioneel restaureren wordt hierbij gezien als de oplossing die tot optimaal resultaat leidt. Dit betekent voor de klimatisering dat het binnenklimaat moet voldoen aan moderne eisen, met minimale ingrepen aan het monument.

De energie-infrastructuur is beperkt

De nutsvoorzieningen zijn vaak verouderd en/of onvoldoende. Afhankelijk van de locatie kunnen aansluitingen op gas, water en licht onvoldoende blijken voor een toekomstige hoogwaardige functie. Ook de aansluiting op het riool kan ontbreken. Afhankelijk van de afstanden tot het hoofdnet, zullen de investeringen in nutsvoorzieningen wel of niet rendabel zijn.

Het gebrek aan nutsvoorzieningen is terug te voeren op de periode waarin de forten van de Nieuwe Hollandse Waterlinie zijn gebouwd en op het feit dat er sindsdien op veel forten geen economisch rendabele activiteiten zijn ontplooid, die moderne nutsvoorzieningen zouden kunnen bekostigen.

Bij beperkte nutsvoorzieningen wordt het belangrijk om te zorgen voor een laag aansluitvermogen door het gebruik van alternatieve, energiezuinige technieken, of voor alternatieve oplossingen voor de energievoorziening. Alternatieve energievoorziening valt op zich buiten dit onderzoek maar wordt wel meegenomen als randvoorwaarde.

Bestemming niet in overeenstemming met gebruik

Veel nieuwe functies die op dit moment op forten worden ontwikkeld zijn niet in overeenstemming met het heersende bestemmingsplan. Meestal geldt nog een militaire bestemming. In principe is ontwikkeling van deze nieuwe functies niet toegestaan, totdat het bestemmingsplan gewijzigd is.

1.2 Werkwijze en leeswijzer

In het vooronderzoek is informatie verzameld die van pas zou kunnen komen bij de formulering van oplossingsrichtingen voor het beschreven klimatiseringsprobleem. Zo zijn de oplossingen die in verschillende forten en monumenten zijn gerealiseerd in beeld gebracht middels locatiebezoeken en telefonische interviews met de gebruikers. Deze bevindingen zijn samengevat in hoofdstuk 2, terwijl de besprekingsverslagen integraal zijn opgenomen in bijlage 9. Verder is in een literatuuronderzoek informatie verzameld, die is samengevat in bijlage 1. De conclusies hieruit zijn verwerkt in het overzicht van oplossingsrichtingen in hoofdstuk 4. Er is gezocht naar pragmatische oplossingen die in de meeste omstandigheden voldoen. Om het keuzeprocess te structureren is een stappenplan opgesteld in hoofdstuk 3, waarin duidelijk wordt welke stappen noodzakelijk zijn om te komen tot een goede keuze voor de klimaatinstallatie. Dit stappenplan, ingevuld voor reversbatterij H op fort bij Vechten en is gepubliceerd in een apart rapport. [13]

Tot slot zijn metingen verricht op verschillende plaatsen in het Fort bij Vechten om de nulsituatie voor wat betreft de temperaturen en relatieve luchtvochtigheid vast te leggen. De bevindingen uit de metingen in de periode februari-oktober 2001 zijn meegenomen in dit rapport in de bijlagen 2, 3, 4 en 5. Van de jaarrondmetingen tot februari 2002 verschijnt een apart rapport.

2. Onderzoek locaties

In verschillende forten en monumenten zijn oplossingen gerealiseerd voor het beschreven klimatiseringsprobleem. Deze locaties zijn bezocht en middels interviews met de gebruikers en de verzameling van gegevens is een overzicht verkregen van de ervaringen. Er is ook beeldmateriaal verzameld ter beoordeling van visuele aspecten. Daarnaast zijn metingen verricht op het Fort bij Vechten in gebruikte en ongebruikte ruimten.

2.1 Bevindingen uit de metingen

In bijlage 2 en 3 van dit rapport zijn de bevindingen van de metingen uitgewerkt. De metingen zijn vergeleken met de bezetting van de ruimten om conclusies te kunnen trekken.

Ten eerste blijkt dat er inderdaad een vochtprobleem bestaat in de grote feestruimte.

Ten tweede valt op dat zelfs bij een feest van 70 personen en zeer warm weer geen oververhitting ontstaat, terwijl de relatieve luchtvochtigheid wel ontoelaatbaar hoog wordt.

Ten slotte valt op dat bij feesten van 100 tot 200 personen bij buitentemperaturen van circa 15 °C, de binnentemperatuur slechts 5 °C stijgt tot 20°C, terwijl de relatieve luchtvochtigheid met 70 tot 80% te hoog is maar geen 100%. Niet bekend is of verwarming heeft plaatsgevonden tijdens deze feesten.

De metingen worden uitgebreider gerapporteerd als jaarrondmetingen in maart/april 2002.

2.2 Bevindingen uit het literatuuronderzoek

Het verslag van het literatuuronderzoek is opgenomen in de bijlage 1. De oplossingsrichtingen die uit het literatuuronderzoek volgden zijn overgenomen in het hoofdstuk 4 oplossingrichtingen.

2.3 Selectie van te bezoeken locaties

In overleg met de begeleidingscommissie is een overzicht gemaakt van relevante locaties voor nader onderzoek. Uitgangspunt was om met de beschikbare beperkte middelen een maximaal resultaat te bereiken. Het onderzoek moest voldoende

breedte hebben in functies en oplossingen. Daarom zijn een aantal locaties benaderd voor een telefonisch interview (t) terwijl andere zijn bezocht (onderstreept = bezoeklocatie). Van sommige locaties bleek een rapport beschikbaar over klimaatonderzoek ter plaatse.

Tabel 1 Locaties vooronderzoek

Dynamiek (weinig menselijk verkeer / veel menselijk verkeer ▼	Functies: ▶		
Hoogwaardige opslag	<i>Wijnopslag:</i> Fort Jutphaas (t)	<i>Vuurwerk / munitie:</i> Fort 't Hemeltje (t)	<i>Museale collecties:</i> <u>Fort Rijnauwen</u>
Kantoor en wonen	Fort Steurgat (appartementen), <u>Werk aan de Hoofddijk</u> , Fort Nieuwersluis (t) Forteiland IJmuiden (deels kantoor) (t),		
Feestruimte	Vesting Naarden (vestingmuseum / meubelboulevard), <u>de Kazerne en het Muizenfort Muiden</u> , <u>Fort de Bilt</u> , Fort aan den Hoek van Holland (rapport)		
Publieke gebouwen	<i>Partycentra / restaurants:</i> Fort Voordorp (t), Fort Sabina / Henrica bij Willemstad (t)		

In tabel 1 is een overzicht weergegeven van de locaties die overwogen zijn voor een bezoek of voor een telefonisch interview. Daarbij is gebruik gemaakt van het netwerk van de begeleidingscommissie om te komen tot een geschikte voorselectie. Een groot aantal criteria is meegewogen, te weten hoogwaardig gebruik, mate van aanpassing, bouwkundig intact, hoeveelheid te verwachten informatie, technische oplossing, frequentie / intensiteit gebruik. In eerste instantie zijn die locaties geselecteerd waarin maatregelen zijn genomen en waarin een hoogwaardige functie is gehuisvest. Onder "hoogwaardige functie" wordt in dit rapport verstaan een functie die economische waarde heeft en die zonder (klimatiserings)maatregelen niet in een fort of grondgedekte ruimte kan worden gerealiseerd. Het blijkt dat binnen die definitie een grote variatie mogelijk is in menselijke aanwezigheid, variërend van weinig menselijk verkeer bij hoogwaardige opslag, tot veel menselijk verkeer bij publieke gebouwen. Van elke horizontale regel in het schema is één locatie gekozen voor een bezoek en de anderen zijn gebeld voor zover aanvullende relevante informatie werd verwacht door de begeleidingscommissie. Tot slot is rekening gehouden met de verschillende technische oplossingen die zijn gerealiseerd. Daarbij is Forteiland IJmuiden afgefallen voor een bezoek omdat telefonisch bleek dat de oplevering van de klimaatinstallatie te laat in het tijdschema van dit onderzoek zou plaatsvinden.

De interviews zijn afgenomen aan de hand van een vragenlijst die is opgenomen in bijlage 7. Deze vragenlijst is in overleg met de begeleidingscommissie vastgesteld. In de praktijk bleek dat lang niet alle vragen adequaat beantwoord konden worden, zodat de detaillering van de informatie voor verschillende locaties verschilt.

2.4 Bevindingen uit vooronderzoek locaties

Van elk bezoek is een verslag gemaakt dat opgenomen is in bijlage 9. De bevindingen zijn hier samengevat.

Centrale verwarming voldoende voor kantoor/wonen

Uit het locatieonderzoek blijkt dat centrale verwarming en radiatoren, voldoende zijn om de forten van de Nieuwe Hollandse Waterlinie geschikt te maken voor de functie “kantoor en wonen”. Voorwaarde is een goed bouwkundige staat, zonder lekkages of optrekkend grondwater. Het energiegebruik voor verwarming komt overeen met dat van een modern kantoor.

Warmte-isolatie en waterdichte folie niet nodig, maar voorkom lekkage

Vloerisolatie blijkt niet persé noodzakelijk. In Muiden is de vloer in de kazerne vervangen en geïsoleerd en dit pand kent geen vochtproblemen bij het huidige gebruik. In het Muizenfort in dezelfde gemeente is een steenlaag van de vloer verwijderd om hoogte te winnen en dat pand is nu te vochtig. Toch kan niet de conclusie worden getrokken dat isolatie van de vloer noodzakelijk is. In fort Hoofddijk is namelijk de vloer niet geïsoleerd en het pand voldoet wel voor de huidige kantoorfunctie.

Reparaties aan gebreken kunnen noodzakelijk zijn. Het blijkt dat de bouwfysische kwaliteit van de onderzochte locaties sterk verschilt, waarbij de bodemsituatie de grootste rol speelt. Forten die gebouwd zijn in laaggelegen (veen) gebieden zoals het Muizenfort of die gebouwd zijn op een wel, zoals fort Jutphaas, hebben last van optrekkend vocht. Remises op slappe, opgebrachte grond op fort Rijnauwen scheuren doormidden.

Gebruikers tevreden

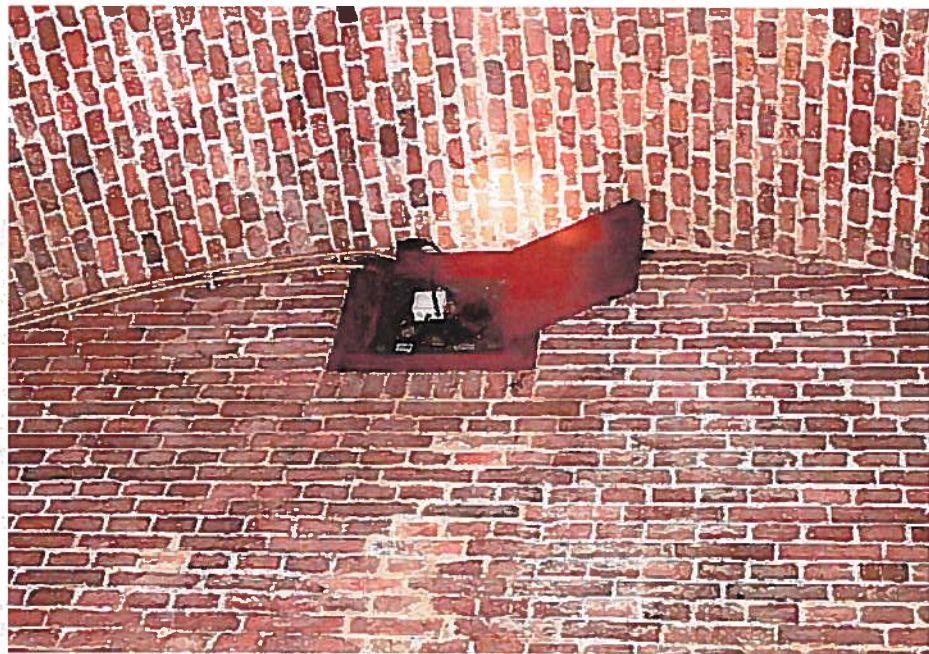
Gebruikers zijn, op basis van de technische prestaties van de onderzochte klimatiseringssystemen, meer tevreden dan verwacht mag worden. Het lijkt erop dat de positieve waardering voor de historische omgeving tot minder klachten leidt dan voorspeld zou worden volgens de gangbare modellen voor de tevredenheid van personen over het binnenklimaat. Uiteraard is dit een subjectief gegeven.



Figuur 2 Radiator Kazerne Muiden

Ventilatie is belangrijkste knelpunt

Uit het onderzoek blijkt dat meer aandacht nodig is voor ventilatie. Ook zijn er soms klachten vanwege tocht. Dit komt doordat de ventilatie niet gecontroleerd plaatsvindt, maar via zogenaamde natuurlijke ventilatie. Er worden ramen opengezet of ventilatie verloopt via kieren en kanalen. In Muiden sluiten gebruikers soms de luiken van de bestaande oude ventilatiekanalen omdat ze tocht ervaren. In fort Hoofddijk blijkt apparatuur voor het universitaire onderzoek zo veel warmte te produceren dat men gekozen heeft voor geforceerde afzuiging van ruimten. De verse lucht wordt echter aangezogen via de kantoren, waardoor lucht, bedoeld voor koeling van apparatuur, eerst wordt opgewarmd met radiatoren. De tocht die ontstaat vergeten de gebruikers graag, omdat het pand zo mooi is.



Figuur 3 Ventilator in historisch ventilatiekanaal raadszaal Kazerne Muiden

Koeling nodig bij veel menselijk verkeer

Bij toenemend menselijk verkeer of bij aanwezigheid van warmteproducerende apparatuur ontstaan soms te hoge temperaturen. In Fort Hoofddijk is de genoemde apparatuur de oorzaak. In Muiden worden openbare raadsvergadering en gehouden in De Kazerne waarbij klachten ontstaan over te hoge temperaturen. De extra ventilatoren die zijn aangebracht in bestaande ventilatiekanalen blijken niet altijd afdoende. De gebouwbeheerder meldt dat hij goed moet anticiperen op de aanwezigheid van grote groepen door de ingestelde temperatuur van de ruimte vooraf te verlagen.

Ontvochtiging beste optie bij hoogwaardige opslag

In het geval van hoogwaardige opslag valt de keus in de onderzochte praktijk op een ontvochtingsinstallatie. Een goed voorbeeld is de geklimatiseerde ruimte van de Rijksdienst voor de Monumentenzorg op fort Rijnauwen. Er wordt lucht aangezogen, gekoeld en gedroogd, waarna de koude droge lucht wordt ingeblazen. De vrijkomende warmte wordt overgedragen op de af te voeren lucht, die ook het vocht in dampvorm meeneemt. Consequentie van deze uitvoering is dat de ruimte gekoeld wordt, waardoor een lagere absolute luchtvochtigheid nodig is om de gewenste relatieve luchtvochtigheid te bereiken. Bij deze uitvoering is geen vochtafvoer nodig, wat in bepaalde situaties praktisch kan zijn. Ook kan de lagere temperatuur gunstig zijn voor de conservering.

Een alternatieve uitvoeringsvorm is om het gecondenseerde water als vloeistof af te voeren. De vrijkomende condensatiewarmte draagt dan bij aan de verwarming van de ruimte, waardoor met een minder absolute ontvochtiging de gewenste relatieve

luchtvochtigheid bereikt wordt. Dit leidt tot een lager energiegebruik en een hogere binnentemperatuur. De hogere temperatuur zal wenselijk zijn als mensen met de opgeslagen materialen moeten werken of voor bezoekers.



Figuur 4 Ontvochtiger Fort Rijnauwen

Forten geschikt voor wijnopslag zonder maatregelen

Voor wijnopslag is in het geheel geen klimatiseringsinstallatie nodig. Daarmee is wijnopslag geen hoogwaardige functie volgens de in dit onderzoek gehanteerde definitie. Ruimten die gebruikt worden als kantoor of proeflokaal hebben wel verwarming nodig.

Elektrische verwarming voldoet niet

Elektrische verwarming, zoals is aangebracht in fort de Bilt, zorgt niet voor tevreden gebruikers. Het fort blijft koud. Er is gekozen voor elektrische verwarming omdat een CV te duur zou worden. De consequentie is wel dat de lopende kosten hoger zijn dan bij verwarming met aardgas het geval zou zijn terwijl het gewenste effect niet bereikt wordt.

Een alternatief in fort de Bilt zou ontvochtiging zijn, zoals ook bij hoogwaardige opslag is beschreven. Dit leidt tot een aangenamer (droger) binnenklimaat en betere conservering van de museumstukken (het museum is nu vochtbestendig ingericht). Het energiegebruik bij een dergelijke oplossing is relatief gunstiger omdat de vrij-

komende condensatiewarmte gaat bijdragen aan de verwarming van de ruimten. Met hetzelfde elektriciteitsverbruik wordt naast de lagere relatieve en absolute luchtvochtigheid ook een hogere binnentemperatuur verkregen.

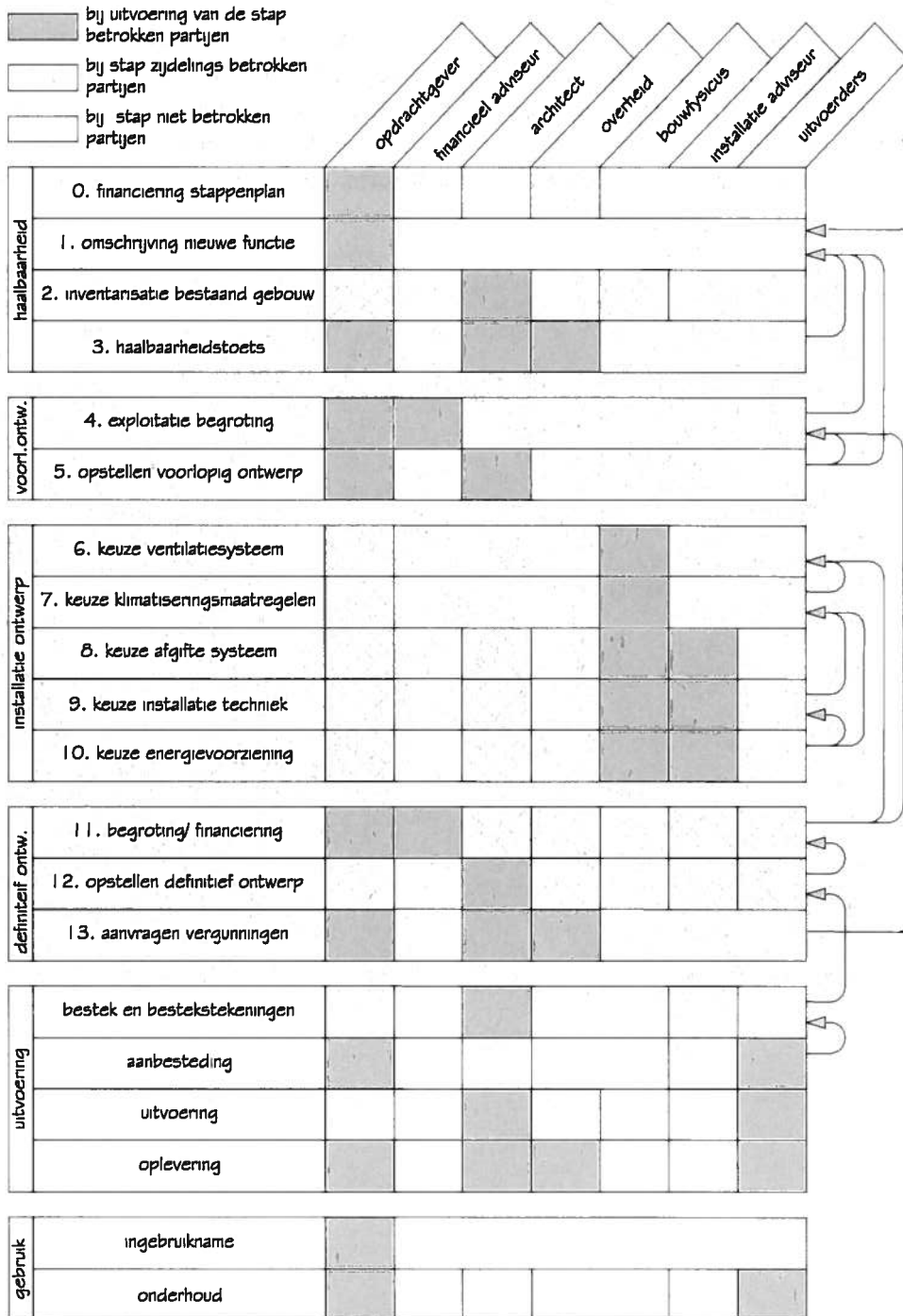
Elektrische warmtepomp gunstige optie

Een andere alternatief voor elektrische verwarming is de elektrische warmtepomp. (een ontvochtigingsinstallatie is een warmtepomp specifiek voor ontvochtiging) Dit is van belang bij het verwarmen ten behoeve van het comfort en bespaart 60 tot 80 procent op het elektriciteitsverbruik. Bij voldoende verwarming is de relatieve luchtvochtigheid nauwelijks nog een probleem, mits de bezoekersaantallen niet te hoog zijn.



Figuur 5 Elektrische verwarming Fort De Bilt

stappenplan schema



3. Stappenplan

(Met bijdragen van Bunker Q en RdMz)

Doel van het stappenplan is om de gebruiker of beheerder van een fort te begeleiden in het ontwikkelen van een toekomstige hoogwaardige functie in relatie tot maatregelen voor het binnenklimaat. Dit is geen rechtlijnig proces. Afhankelijk van de situatie en de beoogde hoogwaardige functie kan het nodig zijn meerdere keuzes voor maatregelen te overwegen. Daarbij zal veelal de inzet van deskundigen nodig zijn.

In het beschreven stappenplan wordt aangegeven:

- wat er zeker moet gebeuren;
- wanneer keuzes gemaakt kunnen of moeten worden;
- een logische volgorde.

Omdat een stappenplan niet in alle omstandigheden kan voorzien is inschakeling van een deskundige bij verschillende stappen aan te bevelen of noodzakelijk.

0. Inventariseer de financieringsmogelijkheden	
	<i>Het is verstandig om al voor de studiefase na te gaan welke financieringsmogelijkheden bestaan ter bekostiging van deze fase.</i>
1. Beschrijf de toekomstige functie en de gewenste situatie	
a. Minimaal en maximaal aantal mensen dat aanwezig zal zijn in de ruimte en per m ² vloeroppervlak.	<i>Van belang voor de benodigde ventilatie, koeling en verwarming.</i>
b. Beschrijf de toekomstige functie en de activiteiten die aanwezige personen verrichten.	<i>Bijvoorbeeld bureauwerk, fysieke arbeid, feestvieren.</i>
c. De gebruiksfrequentie van de installatie	<i>(dagelijks 24 h per dag, of bijvoorbeeld in de week)</i>
d. Kleding die mensen dragen.	<i>Bijvoorbeeld, in een feestruimte mag informele kleding verwacht worden, in een congresruimte formelere (warmere) kleding.</i>
e. Aanwezigheid van apparatuur	<i>Zoals computers, meetapparatuur, productieapparatuur en het elektriciteitsgebruik van deze apparatuur (=warmteafgifte). Eventueel kunnen kentallen gebruikt worden.</i>
f. Museale functies en opslag en conservering van goederen.	
g. Eisen die gesteld worden aan het binnenklimaat (zie ook de indeling in Tabel 1 Locaties vooronderzoek)	<ul style="list-style-type: none"> <i>i. ten behoeve van personen</i> <i>ii. ten behoeve van goederen, zoals b.v. opslag van wijn (vochtig), historische materialen (droog)</i> <i>iii. ten behoeve van mensen en goederen, zoals in musea</i> <i>iv. ten behoeve van het gebouw</i>
h. Toekomstige bouwkundige vormgeving, planologische en monumentale situatie naar aanleiding van de functiewijziging.	

2. Inventariseer de bouwkundige, monumentale en planologische situatie:	
a. Locatie	<i>Ligging van het object t.o.v. zon (het noorden), t.o.v. bestaande infrastructuur als riool, elektra, telefoon, gas, wegen e.d.. Een belangrijk onderdeel hierbij is de planologische en sociale context waarin zaken plaats moeten vinden. Is er bijvoorbeeld voldoende mogelijkheid voor het parkeren van auto's, hebben omwonenden of omliggende bedrijven geen bezwaar tegen het voorgestelde gebruik?</i>
b. Vorm en grootte	<i>Hoe ziet het object eruit, wat zijn de vierkante meters en de inhoud ervan, hoe groot zijn ramen en deuren, welke kanalen zijn aanwezig en waar zitten ze wat is de onderling relatie van de verschillende ruimtes, wat is de geschiedenis van het gebouw en zijn er bouwsporen te vinden? Ook de militaire geschiedenis kan aanknopingspunten bieden voor het nieuwe gebruik. Het is aan te bevelen een opmeting te doen en hiervan een tekening te (laten) maken. In elk geval is archiefonderzoek essentieel.</i>
c. Bouwkundige kwaliteit	<i>Is het object in bouwkundig goede staat, wat is de oorzaak als de ruimtes erg vochtig zijn, vertoont het gebouw scheuren, wat is de oorzaak hiervan, is dit een funderingszetting, corroderend metaal of droogtekrimp? Het inschakelen van experts voor het maken van een bouwkundige opname is aan te bevelen.</i>
d. Bepaal de omvang van de monumentale bescherming	<p><i>Voor Rijksmonumenten kan men terecht bij de Rijksdienst voor de Monumentenzorg. Bij de afdeling Monumentenregistratie kan een zogenaamde redegevende omschrijving alsmede een kaart opgevraagd worden. Hierin is de omvang van de bescherming vastgelegd.</i></p> <p><i>Voor provinciale en gemeentelijke monumenten kan respectievelijk bij de betreffende provincie of gemeente eveneens een beschrijving en eventueel een kaart worden verkregen.</i></p> <p><i>Met deze beschrijvingen en kaarten kan nagegaan worden wat precies tot het beschermde monument gerekend wordt. Als blijkt dat de plannen betrekking hebben op een beschermd monument dan is men verplicht hiervoor een monumentenvergunning aan te vragen.</i></p> <p><i>Voor Rijksmonumenten gebeurt dit op grond van de Monumentenwet 1988, voor provinciale en gemeentelijke monumenten op grond van de verordening die die provincie of gemeente heeft.</i></p>
e. Waardstelling: wat zijn de specifieke monumentale waarden die behouden moeten blijven?	<i>In de hiervoor genoemde redegevende omschrijving is meestal ook een waardstelling opgenomen. Deze waardstelling is zeer globaal en bedoeld voor de aanwijzing tot monument. Bij verbouwing of restauratie van een object is het noodzakelijk een nadere, specifiek voor dat object geschreven bouwhistorische verkenning (waardstelling) te (laten) maken in relatie tot de voorgenomen plannen. Het doel van de bouwhistorische verkenning is het verkrijgen van een globaal inzicht in de (mogelijke) monumentale waarden van een object als voorbereiding op een beslissing tot nader onderzoek [15].</i>

3. Controleer of de gewenste functie wijziging in principe haalbaar is.	
a. Praktische bruikbaarheid	<i>Is het object in wezen geschikt voor de beoogde functie. Het geforceerd inpassen van een functie in het fort, is niet altijd een juiste gang van zaken. Lokalen in forten zijn bijvoorbeeld bij uitzondering groter dan 12 bij 5,5 m en groter zijn deze niet te maken, dit geeft een beperking op het maximale aantal personen per groep dat hierin aanwezig kan zijn. Aanwezigheid van sanitair en/of keukens, of de mogelijkheid daartoe, kan van belang zijn. (Het gaat hier om de invulling van de gebruikswensen uit stap 1 in het gebouw, zoals omschreven in stap 2.</i>
b. Wet- en regelgeving: Bestemmingsplan	<i>Het nieuwe gebruik dient in principe in overeenstemming te zijn met het voor dat object geldende bestemmingsplan. Het is dus zaak dit bij de gemeente na te gaan.</i>
c. Wet en regelgeving: Gebruiksvergunning	<i>Indien in de nieuwe functie meer dan 50 personen gelijktijdig aanwezig kunnen zijn, of als er aan 5 of meer personen overnachting geboden wordt dient een gebruiksvergunning te worden aan gevraagd. Zaken als brandveiligheid, vluchtroute aanduiding ed. zijn hier aan de orde. Evenals het maximale aantal personen dat in de ruimte aanwezig mag zijn wordt bij deze aanvraag bepaald. Deze vergunning dient men bij de gemeente aan te vragen en wordt behandeld door de brandweer. Ga alvast na of voor de beoogde functie een gebruiksvergunning nodig is en zo ja, wat zijn dan de maatregelen die getroffen moeten worden om het pand in gebruik te gaan nemen.</i>
d. Wet- en regelgeving: Bouwvergunning	<i>Voor elke verbouwing op forten dient een bouwvergunning bij de gemeente te worden aangevraagd. In een bouwvergunningsaanvraag wordt het plan getoetst op;</i> <ul style="list-style-type: none"> - het bestemmingsplan, afdeling stedenbouw - plaatselijke bouwverordening, afdeling bouw- en woningtoezicht en/of afdeling stedenbouw - het bouwbesluit, afdeling bouw- en woningtoezicht - eisen van welstand, gemeentelijke of regionale welstandcommissie <i>Het is raadzaam om in deze fase vooroverleg te plegen met de verschillende ambtelijke diensten om te achterhalen welke vergunningen uiteindelijk nodig zijn om het plan te realiseren en welke stukken nodig zijn bij de aanvraag van deze vergunningen</i> <p><i>In het Bouwbesluit staan de minimum (technische) bouwvoorschriften die gelden voor alle bouwwerken. Deze voorschriften hebben betrekking op veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid, energiezuinigheid en milieuvriendelijkheid. U kunt de gehele tekst van het Bouwbesluit downloaden als pdf-file (640 kb). Ga hiervoor naar www.overheid.nl, klik 'Publicaties Rijk' aan, selecteer als publicatiesoort 'Staatsblad', vul in vergaderjaar 2001 en publicatienummer 410, klik 'OK' aan. Nu verschijnt 'Staatsblad 2001, 410 (640 Kb)'. Dit is de tekst van het Bouwbesluit. Voor de plaatselijk geldende bouwverordening moet u bij de gemeente zijn.</i></p>

vervolg 3

3. Controleer of de gewenste functie wijziging in principe haalbaar is.	
e. Wet- en regelgeving: Monumentenvergunning	<i>In het proces van planontwikkeling dat moet leiden tot de uiteindelijke aanvraag van een monumentenvergunning is het raadzaam vooroverleg te plegen met alle betrokkenen. Dit vooroverleg dient tenminste plaats te vinden tussen eigenaar, beheerder of exploitant, architect en de gemeente. Eventueel kan ook het Rijk (in geval van een Rijksmonument) of de Provincie hierbij betrokken worden</i>
f. Wet- en regelgeving: Eigendomsverhoudingen	<i>Soms zijn de gebruiker en de eigenaar van een fort verschillende rechtspersonen. Het is dan nodig afspraken te maken over het eigendom van uit te voeren aanpassingen en de duur van de huurovereenkomst.</i>
g. Wet- en regelgeving: Arbowet	<i>De Arbowet (van 1998) verplicht werkgevers om de risico's voor hun werknemers te minimaliseren. Vanzelfsprekend heeft dit ook invloed op de binnenruimte, de inrichting ervan en het binnenklimaat. Een goed arbeidsomstandighedenbeleid moet gebaseerd zijn op een goed inzicht in de risico's die zich bij de arbeid voordoen. Een risico is de kans dat een bepaald gevaar optreedt met schadelijk effect op de veiligheid of gezondheid. Een risico-inventarisatie en –evaluatie (RI&E) omvat een inventarisatie van de gevaren die zich kunnen voordoen. Het is natuurlijk beter om hier van tevoren naar te kijken dan pas aan Arbo te denken als de installatie is geplaatst. Voor arbo-zaken kan een externe arbodienst ingeschakeld worden, maar voor kleine werkgevers is dit niet verplicht. In het boekje 'Teksten en toelichting op de Arbeidsomstandighedenwet 1998', uitgebracht bij Koninklijke Vermande, is hier meer over te lezen. Contact opnemen met een arbodienst is in veel gevallen aanbevelenswaardig.</i>

4. Exploitatiebegroting.
<i>Maak een begroting van de toekomstige exploitatie van de ruimte met een hoogwaardige functie. Leidt daaruit het beschikbare budget voor maatregelen af.</i>

5. Stel een schetsplan van het bouwkundig ontwerp op. Inschakelen van een bouwkundige is aan te bevelen. De benodigde werkzaamheden worden bepaald door de beoogde functie en de monumentale situatie. Aandachtspunten:	
a. Repareer gebreken	<i>Gezond maken van het gebouw, aanpak van gebreken geconstateerd in 2.c</i>
b. Het ontwerpen van nieuwe onderdelen en ingrepen in de bestaande situatie welke voor het nieuwe gebruik gewenst zijn.	<i>Bijvoorbeeld het plaatsen van extra wanden. Het vergroten van daglichttoetreding.</i>
c. Het voorkomen van vochttoetreding	<i>Het eventueel afsluiten van de verbinding tussen druipkokers en ondergrondse ruimte, aanbrengen van dakbedekking, bodemafluiting (al dan niet in combinatie met vloerisolatie en vloerverwarming).</i>
d. Het isoleren van onderdelen waar dit het meest effect heeft.	<i>Vloerisolatie, ramen en deuren, gevel</i>
e. Het tegengaan van ongewenste ventilatie	

vervolg 5.

5. Stel een schetsplan van het bouwkundig ontwerp op. Inschakelen van een bouwkundige is aan te bevelen. De benodigde werkzaamheden worden bepaald door de beoogde functie en de monumentale situatie. Aandachtspunten:	
f. Het implementeren van het klimaatstelsel welke in de volgende hoofdstukken gekozen zal worden.	

6. Maak een ontwerp van het ventilatiesysteem op basis van de gebruiksfunctie, zoals beschreven bij stap 1.
<i>Voldoende ventilatie is een noodzaak. Inschakelen van een deskundige is aan te bevelen. Het ventilatiesysteem kan deel gaan uitmaken van het klimatiseringssysteem, zie stappen 7.d en 8.c. Dit wordt meestal een iteratief proces.</i>

7. Kies één of meer klimatiseringsmaatregelen.	
a. Verwarmen.	<i>Dit is nodig bij menselijk verkeer. Houdt in de gaten dat bij kantoorfuncties mensen, verlichting en kantoorapparatuur voldoende warmte afgeven voor verwarming zodra warmteterugwinning uit de ventilatielucht wordt toegepast. Dit betekent dat verwarming alleen nodig is als het pand niet gebruikt wordt en bij het in gebruik nemen van het fort.</i>
b. Ontvochtiging	<i>Is nodig bij de opslag van vochtgevoelige materialen en bij veel menselijk verkeer, bijvoorbeeld een feestruimte.</i>
c. Koeling.	<i>Is noodzakelijk bij veel menselijk verkeer (feestruimte) of hoge eisen aan het binnenklimaat (congresruimte, publieke ruimte). Een slim gebruik van de bufferende eigenschappen van het fort kan ook zorgen voor koeling, vooral bij kortdurend intensief gebruik</i>
d. Warmteterugwinning uit de ventilatielucht in combinatie met gebalanceerde ventilatie	<i>Is meestal aan te bevelen. Hierbij verloopt toe- en afvoer van lucht via kanalen en een warmtewisselaar. Deze maatregel is aan te bevelen als in de winter een verwarmde ruimte verlangd wordt. Bij toepassing van warmteterugwinning is de aanwezigheid van apparatuur (PC's) en verlichting voldoende voor de verwarming van een kantoor. Wanneer de apparatuur en verlichting uit staan zal een beperkt verwarmingsvermogen benodigd zijn. In de zomer beperkt dezelfde warmtewisselaar de koudevraag, indien door de aanwezigheid van personen of apparatuur koeling verlangd wordt.</i>

8. Maak een keuze voor het afgiftesysteem van warmte en koude in de ruimte. Deze keuze hangt nauw samen met de monumentale situatie (zie 2), het gebruik, de investeringsruimte en het gewenste comfort. De volgende opties zijn te noemen:	
a. Radiatoren, plafondverwarming	<i>Zijn toe te passen bij gemiddeld menselijk verkeer, zoals wonen en kantoor.</i>
b. Vloerverwarming	<i>Is toe te passen bij gemiddeld menselijk verkeer, zoals wonen en kantoor, randvoorwaarde is dat aanpassingen aan de vloer mogelijk zijn. Met vloerverwarming wordt toepassing van warmtepompen een goede optie (zie 9.c en 9.d).</i>
c. Luchtverwarming	<i>Is toe te passen als een goede verspreiding van verwarmingslucht mogelijk is. Hiervoor lenen zich de bestaande ventilatiekanalen. Luchtverwarming wordt geïntegreerd met het ventilatiesysteem.</i>
d. Minimale temperatuurverhoging door verwarming van gebouwdelen	<i>Is toe te passen bij opslag en conservering als ontvochtiging geen goede optie is gebleken.</i>
e. Ontvochtiging van toe te voeren ventilatielucht	<i>Is van belang als een zekere ventilatie nodig is voor personen. Als de opslagfunctie overheerst is de volgende maatregel meer geschikt</i>
f. Ontvochtiging met een warmtepompontvochtiger in de ruimte of via circulatie van lucht.	<i>Door lucht uit de ruimte aan te zuigen en te drogen, hoeft geen ventilatielucht van buiten te worden ontvochtigd. Deze zou 's zomers veel vocht inbrengen. In een gesloten ruimte kan het energiegebruik zo beperkt worden.</i>
g. Lokaal te stoken kachels	<i>Houtkachels en petroleumkachels zijn een reële optie bij incidenteel gebruik van verwarming. Beheersing van de relatieve luchtvochtigheid, ten behoeve van materialen, wordt hiermee niet bereikt. Een combinatie met ontvochtiging ligt dan voor de hand (zie stap 7.b).</i>

9. Maak een keuze voor de installatietechniek. Deze keuze hangt nauw samen met de energievoorziening	
<i>Er zijn nog een aantal technieken die in een experimentele fase verkeren, maar die commercieel nog niet uitonwikkeld zijn. Het voert te ver om dit in het kader van dit project allemaal te benoemen. Wel moet er steeds een opening worden gehouden om deze technieken in de toekomst niet uit te sluiten.</i>	
a. Een gasgestookte hoogrendementsketel	<i>Is een gangbare oplossing voor verwarming met radiatoren.</i>
b. Een gasgestookte luchtverwarming	<i>Is een gangbare oplossing voor luchtverwarming.</i>
c. Een elektrische warmtepomp	<i>Is een gangbare oplossing bij vloerverwarming en elektriciteit als energievoorziening. Als warmtebron is een bodemwarmtewisselaar, grondwater of oppervlaktewater nodig.</i>
d. Compressiekoeling.	<i>Toe te passen bij elektriciteit als energievoorziening en warmteafgifte of koeling via modules aan de binnenlucht.</i>
e. Dessicant wiel.	<i>Met dit wiel kan toevoerlucht worden ontvochtigd. Het wordt aangedreven door laagwaardige warmte, afkomstig uit bijvoorbeeld warmtekrachtkoppeling of zonne-energie. Het is een goed beproefde technologie maar niet bij alle installateurs bekend. Het systeem wordt geïntegreerd met het ventilatiesysteem en met warmterugwinning uit ventilatielucht. Vooral toe te passen bij de doelstelling om de vochtuishouding te reguleren en bij gebruik van restwarmte</i>

Vervolg 9

9. Maak een keuze voor de installatietechniek. Deze keuze hangt nauw samen met de energievoorziening	
f. Absorptie koelmachines.	<i>Bekende technieken, vooral toegepast waar er restwarmte beschikbaar is.</i>
g. Vloeibare absorbenten	<i>Het toepassen van vloeibare absorbenten (zoals lithiumchloride/kathode ofwel Kathabar systemen). Deze methode kan zeer lage luchtvochtigheden van minder dan 2 g/kg droge lucht opleveren met als bijkomend voordeel bijna virus- en bacterievrije toevoerlucht. Vooral toe te passen bij de doelstelling om de vocht-huishouding te reguleren.</i>
h. Verbrandingsmotorgedreven warmtepompen	<i>Warmtepomp direct aangedreven door een verbrandingsmotor behoort tot de mogelijkheden. De restwarmte van de verbrandingsmotor kan benut worden voor verwarmingsdoeleinden.</i>
i. Energieopslag	<i>Heeft als doel gebruikmaking van vrije koeling en/of verwarmingsvermogen, waardoor beperking van het vermogen van koelmachines en warmteopwekking. - In de bodem: langetermijn opslag (aquifers, bodemwarmtewisselaars) - Met buffers: korte termijn opslag (b.v. ijsbuffertanks, warmwaterbuffertanks)</i>
10. Maak een keuze voor de energievoorziening.	
<i>Er zijn nog een aantal technieken die in een experimentele fase verkeren, maar die commercieel nog niet uitontwikkeld zijn. Het voert te ver om dit in het kader van dit project allemaal te benoemen. Wel moet er steeds een opening worden gehouden om deze technieken in de toekomst niet uit te sluiten.</i>	
a. Elektriciteit	<i>Zal altijd gewenst zijn. Tevens is het mogelijk om een energie-efficiënte verwarming, koeling en ontvochtiging te realiseren met uitsluitend elektriciteit. Een voldoende elektriciteitsvoorziening heeft dus de eerste voorkeur.</i>
b. Gas	<i>Is een goede optie bij conventionele verwarming. De aanleg is relatief goedkoop, maar toepassing sluit alleen aan bij de keuze voor ontvochtiging met een desiccant wiel. Wel kan gas gebruikt worden voor eigen opwekking van elektriciteit (Zie stap 11.d)</i>
c. Photovoltaïsche Zonnecellen	<i>Zonnecellen zijn in vergelijking met elektriciteit uit het net een dure optie, maar kunnen op meer afgelegen locaties interessant zijn. Bij koppeling aan de ontvochtiging en de koeling, ontstaat de interessante situatie dat de meeste aandrijf-energie beschikbaar is als de meeste ontvochtiging nodig is. Een koppeling met energieopslag vergroot de beschikbaarheid van elektriciteit. De systemen zijn commercieel beschikbaar.</i>
d. Warmte-Kracht Koppeling	<i>Warmte-Kracht Koppeling (WKK) is een bekende optie, waarbij elektriciteit wordt opgewekt en de restwarmte nuttig wordt aangewend. Gedegen advies is noodzakelijk gezien de hoogte van de investeringen, de noodzaak van een goede gas- en elektriciteitsvoorziening en het belang van een goede zogenaamde inpassing. Bij onvoldoende benutting van de restwarmte is WKK namelijk onrendabel en energetisch minder optimaal. Aandacht is tevens nodig voor de geluidshinder van de motor of gasturbine.</i>

10. Maak een keuze voor de energievoorziening.	
<i>j. Thermische zonne-energie (zonnewarmte)</i>	<i>Deze optie sluit aan op het conditioneren van de ruimten middels verwarming, of op het gebruik van warmtegedreven ontvochtigingssystemen. Interessant is dat de meeste zonnewarmte beschikbaar is als de meeste warmte nodig is voor het opwarmen van de gebouwmassa tot boven het dauwpunt. De complexiteit van de interactie tussen gebouw en zonverwarming maakt dat de werking van deze optie met minder zekerheid is te voorspellen.</i>
<i>k. Biomassavergassing</i>	<i>Biomassavergassing ten behoeve van de opwekking van elektriciteit en warmte. Op dit moment worden er onderzoeken verricht naar het gebruik van biomassavergassing. Doel is om in de toekomst op lokale schaal warmte en elektriciteit op te wekken met lokaal verkregen biomassa. Bij forten valt te denken aan snoeihout en gekapte bomen.</i>
<i>i. Windmolens.</i>	<i>Toepassing van windmolens is alleen zinvol indien aan een aantal randvoorwaarden wordt voldaan. Deze zijn:</i> <ol style="list-style-type: none"> <i>i. Voldoende aanbod van wind. Verdubbeling van de windsnelheid leidt tot verachtvoudiging van de elektriciteitsopbrengst. Kustlocaties zijn daarom favoriet. De forten van de NHW liggen niet aan de kust maar wel bij open terreinen, de voormalige schootsvelden.</i> <i>ii. Beschikbaarheid van een geschikte elektriciteitsaansluiting. Windmolens leveren niet continu elektriciteit. Het elektriciteitsnet moet zorgen voor back-up en voor teruglevering van elektriciteit aan het openbare net als er veel windaanbod is. Daarmee is de windmolen geen oplossing meer voor het ontbreken van elektriciteitsvoorziening, maar een zelfstandige energievoorziening.</i> <i>iii. Inpasbaar in het landschap en in het monument.</i>

11. Financiering.	
<i>a. Investerings</i>	<i>Toets de grootte orde van de investeringen aan het beschikbare budget, zoals volgde uit de exploitatiebegroting in stap 4.</i>
<i>b. Subsidies</i>	<i>Om in aanmerking te komen voor subsidie is het zaak om, evenals bij de vergunningsaanvraag, contact op te nemen met de desbetreffende gemeente. Daar dient gemeld te worden dat men wil restaureren en kan men vragen of subsidie mogelijk is. Vervolgens wordt er gekeken of er budget is en in welk jaar dat verstrekt zou kunnen worden. Daarnaast kan verzocht worden om opgenomen te worden in het meerjaren-programma. De gemeente kan daarnaast ook vertellen wat subsidiabel is. Voor vragen kan men ook contact opnemen met: Stichting Nationaal Restauratiefonds, Postbus 15, 3870 DA Hoevelaken, tel. 033 25 39 439, fax 033 25 39 598 of email info@restauratiefonds.com. <i>Andere subsidiemogelijkheden liggen in het kader van energiezuinigheid en/of duurzaam bouwen. Ook zijn er particuliere subsidiefondsen op het gebied van cultuur, forten en monumenten</i></i>

Vervolg 11

11. Financiering.	
c. Belastingafrek	<p><i>Ook kunt u in aanmerking komen voor belasting afrek. Hierover leest u het beste eerst de folder</i></p> <p><i>“Als u werkzaamheden aan uw monumentenpand gaat verrichten” van de Belastingdienst. Voor verdere vragen kunt u contact opnemen met: Belastingdienst/Particulieren Amersfoort, Bureau Monumentenpanden, postbus 4050, 3800 EB Amersfoort, telefoon 033 450 52 22 of via internet www.belastingdienst.nl.</i></p>
12. Laat een bouwkundig ontwerp opstellen	
13. Verwerf de benodigde vergunningen voor het totaal aan plannen.	
a. Monumentenvergunning	<p><i>Wanneer de plannen acceptabel zijn of in de richting van een acceptabel plan komen, kan de monumentenvergunning worden aangevraagd. Voor Rijksmonumenten moet deze vergunning bij de desbetreffende gemeente worden aangevraagd. Het betreft hier een monumentenvergunning ex artikel 11 van de Monumentenwet 1988. Na een periode van ten hoogste 6 (!) maanden waarin bij de Gemeentelijke Monumentencommissie (ten hoogste 3 maanden) en de Rijksdienst voor de Monumentenzorg (ten hoogste 3 maanden) advies wordt ingewonnen, neemt het college van Burgemeester en Wethouder(s) op grond van de adviezen een besluit over het al dan niet verlenen van een monumentenvergunning.</i></p> <p><i>Voor provinciale en gemeentelijk monumenten moet de vergunning resp. bij de provincie of gemeente worden aangevraagd. De bepalingen in de provinciale of gemeentelijke verordeningen volgen in grote lijnen die van de Monumentenwet 1988, maar kunnen op bepaalde punten hiervan ook afwijken.</i></p>
b. Overige vergunningen	<p><i>Behalve de aanvraag van een Monumentenvergunning dienen alle andere vergunningen, b.v. de bouw- of sloopvergunning ook te worden aangevraagd.</i></p>

14. Projectmanagement	
	<p><i>Zorg bij de uitvoering voor goed projectmanagement, zodat de plannen correct worden uitgevoerd.</i></p> <p><i>Als alle keuzes gemaakt zijn en het definitieve ontwerp gereed is, en er van overheidswegen (via de vergunningen) geen wijzigingen meer te verwachten zijn, dient het plan verder te worden uitgewerkt tot besteksniveau. De plannen dienen op tekening (bestekstekeningen) als op schrift (het bestek) volledig vastgelegd en omschreven te worden. Via een aanbesteding kunnen uitvoerders op basis van het bestek voor de uitvoering van het werk intekenen. In de regel zal de laagste inschrijver het werk gaan uitvoeren. Zorg voor een goed uitvoeringscontact waarin afspraken ten aanzien van prijs en planning eenduidig omschreven zijn. Laat derden (architect en/of adviseurs) de uitvoering begeleiden en controleren. Nadat alle in het bestek omschreven werkzaamheden zijn opgeleverd kan de ruimte in gebruik worden genomen. Het spreekt voor zich dat goed onderhoud belangrijk is voor een langdurige instandhouding van het gebouw en installatie. Laat u voor het onderhoud adviseren door architect, adviseurs en uitvoerders.</i></p>
15. Drinkwater	
	<p><i>Dit punt valt niet onder het klimatiseren van de forten maar het is belangrijk om hierop attent te zijn. Drinkwater is altijd noodzakelijk. Een interessante optie is om het regenwater op te vangen in de daarvoor bedoelde bassins en dit te gebruiken als grijs water of als drinkwater via geschikte filters. Uitwerking hiervan valt buiten dit onderzoek.</i></p>

4. Oplossingsrichtingen bij stappenplan

In dit hoofdstuk worden oplossingsrichtingen geformuleerd en onderling vergeleken op hun mogelijkheden binnen de gestelde randvoorwaarden. Ze zijn onderverdeeld in bouwkundig en bouwfysisch, warmteafgifte, warmteopwekking, ontvochtiging en nutsvoorzieningen. Het overzicht beoogt niet volledig te zijn maar is bedoeld om het zicht op mogelijke oplossingsrichtingen te verbreden.

4.1 Bouwkundige en bouwfysische oplossingsrichtingen

Uit het vooronderzoek is naar voren gekomen dat omvangrijke bouwkundige maatregelen waarschijnlijk niet nodig zijn. Aanbevolen wordt om deze maatregelen alleen toe te passen voor zover ze noodzakelijk zijn vanwege wetgeving, veiligheid of reparatie van gebreken. Een overzicht van relevante maatregelen is weergegeven in de volgende subparagrafen.

4.1.1 Folie op gewelven

Het idee achter de toepassing van folie op de gewelven is het voorkomen van de intrede van vocht uit het grondlichaam. De reden dat een grondgedekte ruimte vochtig wordt is echter met name de lage temperatuur, die vocht laat condenseren uit de ventilatielucht. Een goed gemetseld gewelf is droog. Als er geen bouwkundige gebreken zijn waardoor lekkage ontstaat, is het aanbrengen folie op de gewelven overbodig.

4.1.2 Hydrofoberen

Hydrofoberen is het waterafstotend maken van een gevel. Dit wordt afgeraden op advies van de Rijksdienst voor de Monumentenzorg. Een argument is dat de toplaag van de gevel gemakkelijk kapot kan vriezen vanwege de beperking van het vochttransport van binnen naar buiten. Bovendien is de maatregel niet meer ongedaan te maken.

Het waterdicht maken van de binnenzijde middels hydrofoberen of met verf wordt eveneens afgeraden. Als geen vochtuitwisseling meer kan plaatsvinden met de wanden van het fort kunnen ze niet meer dienen als ondersteuning van de vocht-huishouding.

4.1.3 Vergroting van de zontoetreding

Ter verbetering van het binnenklimaat is het aan te bevelen om de toetreding van daglicht te vergroten. Vanwege de monumentale staat is het aanbrengen van extra ramen of het vergroten van bestaande ramen waarschijnlijk niet mogelijk. Wel kunnen dichtgemetselde ramen weer open worden gemaakt. Indien meer zonnestraling het grondgedekte gebouw kan binnenkomen, zal dit gemiddeld over het jaar warmer worden. Dit bespaart op het gebruik van de verwarming.

Een serre die voor de gevel geplaatst is kan ook dienen voor het benutten van zonnearmte en het luchtdicht maken van de gevel zonder deze aan te tasten. Dit is niet relevant bij opslag van materialen maar is wel toepasbaar bij beperkt menselijk verkeer (kantoor en wonen), omdat bij deze functie verwarming de belangrijkste klimatiseringsmaatregel is. Bij grote aantallen mensen is de extra verwarming en de beperking in ventilatie juist ongewenst.

4.1.4 Isolatie aan de buitenzijde van het metselwerk

Isolatie aan de buitenzijde van het metselwerk onder de gronddekking om de warmteverliezen te beperken is niet zinvol. Door de dikte van het metselwerk is het warmteverlies via de wanden al gering. Dit blijkt uit de ervaringen in het Fort Hoofddijk en uit berekeningen.

4.1.5 Isolatie van de vloer

Aangeraden wordt vloerisolatie alleen te overwegen als de bouwkundige situatie verbetering van de vloer noodzakelijk maakt, of als vloerverwarming wordt toegepast. Vloerisolatie bij toepassing van vloerverwarming bespaart op de energiekosten.

De ervaringen met isolatie van de vloer zijn wisselend. In Muiden blijkt isolatie van de vloer noodzakelijk, In Utrecht bij fort Hoofddijk weer niet.

4.2 Oplossingsrichtingen ventilatie

Ventilatie is noodzakelijk bij aanwezigheid van personen en kan dienen als vocht-afvoer.

4.2.1 Gebruik van bestaande ventilatiekanalen

In de meeste forten zijn al ventilatiekanalen aanwezig. Het kan gaan om beperkte afvoerkanalen of schoorstenen of om uitgebreidere systemen, bijvoorbeeld bedoeld

voor het droog houden van kruit. Deze kanalen kunnen opnieuw worden gebruikt. De volgende uitvoeringsvormen zijn te noemen:

1. Lucht wordt zonder voorbereiding door bestaande ventilatiekanalen geleid. Warme zomerlucht zal afkoelen en condenseren tegen de binnenkant van de spouw. Omdat afvoerkanalen aanwezig zijn wordt dit vocht afgevoerd. Als de lucht die uit de ventilatieopeningen komt dezelfde temperatuur heeft als de buitenmuren, kan geen condensatie meer optreden. In de binnenruimte zal vervolgens verwarming nodig zijn om een aangenaam binnenklimaat te bereiken. Onderzoeksvragen zijn de mate waarin dit kan werken en de risico's van natte oppervlakken waarlangs ventilatielucht wordt toegevoerd. Deze optie is een experiment waard.
2. Lucht wordt gedroogd en verwarmd en via de bestaande kanalen geleid. Hiermee worden verwarming en droge ventilatie tegelijkertijd verzorgd. De wanden rond de luchtkanalen zullen geleidelijk opwarmen en bijdragen aan demping van de temperaturen waarmee de lucht wordt ingeblazen. De oplossing leent zich dus voor zongedreven toepassingen. Vraag is of de warme lucht niet onderweg alsnog vocht zal opnemen, vocht dat afkomstig kan zijn uit het afdekende grondlichaam. In dat geval wordt juist meer vocht naar de te conditioneren ruimte gevoerd.
3. Een combinatie van 1 en 2. Omgevingslucht wordt zonder voorbehandeling door de kanalen geleid en opgewarmd in de ventilatieopeningen. Dit vereist het aanbrengen van een verwarmingselementen in kleine ruimten en zal het aangezicht van de binnenwanden aantasten.
4. De luchtkanalen worden als afvoerkanalen benut. Dit kan door in elke opening een kleine ventilator te plaatsen, zoals in fort Muiden is gebeurd (zie figuur 3). Daarbij moet gelet worden op de capaciteit van de kanalen en de ontstane drukval, opdat de afvoerlucht niet via andere openingen weer in de ruimte komt. Daarom wordt aanbevolen om te werken met een centrale afzuiging.

4.2.2 Luchtverdeelslangen

Met textielslangen kan lucht verdeeld worden in de ruimte. Deze oplossing is interessant als veel ventilatie nodig is, bijvoorbeeld bij publieke ruimten. De luchtverdeelslangen kunnen koele of warme lucht verspreiden. Voordelig is de mogelijkheid om ze aan te brengen in de bestaande gewelven met weinig bevestigingsmiddelen. Ze brengen dus weinig schade toe aan het monument.

4.2.3 Gebalanceerde ventilatie

Bij gebalanceerde ventilatie wordt de toevoer en de afvoer van lucht mechanisch verzorgd. Vrije ("natuurlijke") toevoer van lucht wordt zo veel mogelijk vermeden. Met dit systeem kan in hoge mate warmte worden teruggewonnen uit ventilatielucht. Dit is van belang bij de functie kantoor/woningen omdat de ventilatie hier de

grootste bijdrage levert aan de verwarmingsbehoefte. In publieke gebouwen en bij incidenteel gebruik, is gebalanceerde ventilatie overbodig. Nadelen zijn de kosten voor aanleg van luchtkanalen en de benodigde warmtewisselaar. Voordelig is de energiebesparing en de lagere piekvraag aan verwarming. Dit is van belang als de energie-infrastructuur beperkt is.

4.3 Oplossingsrichtingen warmteafgifte

Door het verwarmen van de muren en de ruimten tot op een temperatuurniveau waarbij geen condensatie meer kan plaatsvinden wordt actief ingegrepen in de belangrijkste oorzaak van het probleem: het te sterk achterblijven van de binnentemperaturen ten opzichte van zomerse buitentemperaturen¹. Om condensatie te voorkomen is opwarming tot circa 20 °C noodzakelijk zodat de wandtemperatuur hoger blijft dan het dauwpunt van de binnenlucht. De exact benodigde temperatuur is afhankelijk van de activiteiten die binnen plaatsvinden. Zijn er veel mensen aanwezig, wordt gekookt of bijvoorbeeld gedoucht, dan komt extra vocht in de binnenlucht, waarmee rekening moet worden gehouden. Er zijn dan hogere binnentemperaturen nodig, echter boven 25°C zou dit vanuit de temperatuur weer onaangenaam worden. De bandbreedte voor regeling wordt daarmee heel smal. Bij toenemend menselijk verkeer zal verwarming als maatregel daarom onvoldoende blijken of zelfs ongewenst.

4.3.1 Radiatoren

Het gebruik van radiatoren gebeurt op twee van de bezochte locaties: Muiden en Fort Hoofddijk. Uit deze ervaringen mag geconcludeerd worden dat radiatoren een acceptabele oplossing bieden voor de verwarming bij de functie kantoor/wonen.

4.3.2 Vloerverwarming

Bij vloerverwarming worden buizen aangebracht in de vloer, waardoor warm water stroomt. De temperatuur van het water is 20 tot maximaal 30 °C, wat deze wijze van warmteafgifte erg geschikt maakt voor de combinatie met warmtepompen of het gebruik van restwarmte. Toepassing van vloerverwarming ligt voor de hand zodra ook de vloer vervangen wordt en geïsoleerd. Alternatief is het aanbrengen van vloerverwarming in een extra laag, wat als nadeel heeft dat de stahoogte lager wordt. De ervaringen in Fort Sabina zijn positief.

¹ Nauwkeuriger geformuleerd blijven de binnentemperaturen te ver achter bij de dauwpunten die 's zomers optreden.

4.3.3 Luchtverwarming

Luchtverwarming kan gecombineerd worden met ventilatie van de ruimten. Aansprekend is het idee om historische structuren (de kanalen) te gebruiken voor een nieuwe functie. Luchtverwarming is een interessante mogelijkheid in combinatie met ventilatie voor kantoor/wonen en in combinatie met ontvochtiging voor een publieke functie. De verwarmingsvraag wordt in de laatste twee situaties overheerst door de opwarming van ventilatielucht.

4.3.4 Houtkachels (biomassa)

Houtkachels voor verwarming zijn vanwege hun uitstraling aantrekkelijk als sfeer van belang is. Ze zijn aan te bevelen voor incidentele verwarming, met name als er een eenvoudige aanvoer van hout mogelijk is. Er moeten gesloten kachels worden toegepast, omdat open haarden te veel lucht aanzuigen.

Gecombineerde toe- en afvoerkanalen zoals bekend van gasgestookte HR-ketels, zijn niet beschikbaar voor losstaande houtkachels. Deze zouden als voordeel hebben dat geen lucht uit de ruimte wordt aangezogen. Wel bestaan er inbouwmodellen met een aparte luchttoevoer. Inbouw is echter bezwaarlijk vanwege de permanente wijzigingen aan het monument.

Houtkachels zijn toepasbaar voor incidentele verwarming, zoals blijkt uit de ervaringen in reversbatterij H op het Fort bij Vechten.

4.3.5 Elektrische verwarming

Elektrische verwarming moet in vrijwel alle gevallen afgeraden worden. Nadelen zijn de fors hogere exploitatiekosten, het ongunstiger milieurendement en de neiging om incidentele verwarming toe te passen. Bij incidentele verwarming treden sterke wisselingen op in de lucht en wandtemperaturen, de relatieve en absolute luchtvochtigheid en de relatieve vochtigheid van de wanden. Dit leidt tot toenevende zoutuittreding, wat lastig is bij een hoogwaardige functie en tot schade kan leiden aan het metselwerk. Bovendien lost elektrische verwarming het vochtprobleem niet op. Indien alleen elektriciteit beschikbaar is, bieden warmtepompen een interessantere oplossing voor verwarming vanwege het hogere rendement en de mogelijkheid te ontvochtigen.

4.3.6 Thermische activering van de gebouwmassa

De methode van "temperierung", is sinds 1982 ontwikkeld door de Landesstellen Nichtstaatliche Museen in Bayern (Landsinstantie niet-staatsmusea in Beieren) [2], [3]. De methode is toegepast in honderden gebouwen binnen en buiten Beieren.

Doel van het langlopende experiment was, het vermijden van ervaren nadelen op het gebied van conservering, monumentenzorg, bouwfysica en fysiologie van de bestaande luchtverwarmingstechniek, door het toepassen van wandverwarming.

De methode gaat uit van een te lage ventilatie en is daardoor alleen relevant bij weinig menselijk verkeer en kortdurend verblijf. De methode is geschikt voor toepassingen met weinig menselijk verkeer. In deze situatie is weinig ventilatie nodig en kan het aantal aan te brengen verwarmingsbuizen beperkt blijven. De visuele schade is te repareren als de wanden aangesmeerd zijn met cement of stucwerk. Dit klopt vanuit de waardestelling zolang het niet origineel c.q. oorspronkelijk is maar een latere, vanuit waardestelling niet waardevolle toevoeging. De schade aan het metselwerk van forten van de Nieuwe Hollandse Waterlinie zou echter onacceptabel zijn.

4.4 Oplossingsrichtingen warmteopwekking

4.4.1 HR-ketel

De HR-ketel is een gangbare oplossing voor de opwekking van warmte met aardgas. Indien een gasaansluiting beschikbaar is is dit een goede oplossing.

4.4.2 Petroleumkachel

Petroleumkachels met rookgasafvoer naar de te verwarmen ruimten moeten worden afgeraden omdat ze daarmee vocht inbrengen in de ruimten en extra ventilatie noodzakelijk maken.

4.4.3 Elektrische warmtepomp

Warmtepompen zijn apparaten die warmte van een lage naar een hogere temperatuur opwaarden en daarbij aangedreven worden door een relatief geringe hoeveelheid hoogwaardige energie. Zo kan met een elektrisch aangedreven warmtepomp met dezelfde hoeveelheid elektriciteit ongeveer vier keer zoveel warmte geproduceerd worden als bij elektrische weerstandverwarming. Bij gasgedreven warmtepompen is deze factor kleiner, maar daar staat de veel lagere inkoop prijs van aardgas per energie-eenheid, tegenover.

Voor het werkingsprincipe van een warmtepomp is van belang dat er bij een warmtepompsysteem drie onderdelen zijn: Bron, Opwekker en Afgifte.

bron

Aan de bronzijde wordt laagwaardige warmte onttrokken. Deze warmte wordt verondersteld gratis te zijn. Het kan gaan om bodemwarmte, warmte uit grondwater, omgevingslucht maar ook om restwarmte. Hoe warmer deze bron is, hoe beter de warmtepomp presteert, maar in sommige gevallen wordt dan de aanname van een gratis warmtebron minder houdbaar. Indien de bodem als warmtebron dient, dan wordt deze in het winterseizoen afgekoeld. Als dit 's zomers niet wordt aangevuld zal de temperatuur van de bodem dalen, totdat een nieuw evenwicht met de omgeving ontstaat. De prestaties van het systemen nemen daarbij af. Dit verklaart de toepassing van voorzieningen om de bodem te "regenereren". Doel is een energie-neutrale en dus duurzame warmtebron.

opwekker

De opwekker kan bestaan uit de warmtepomp zelf en de hulpstookvoorziening. De warmtepomp levert de basislast en de hulpstook de piekvraag. Zo wordt een economisch optimum verkregen. De aandrijfenergie is afkomstig uit het elektriciteitsnet of het aardgasnet. Het bestaande gasnet is per definitie zwaar genoeg voor de overgang op gasgestookte warmtepompen (die gebruiken minder aardgas dan de conventionele systemen). Voor elektriciteit moet de bestaande infrastructuur meestal significant verzwaard worden.

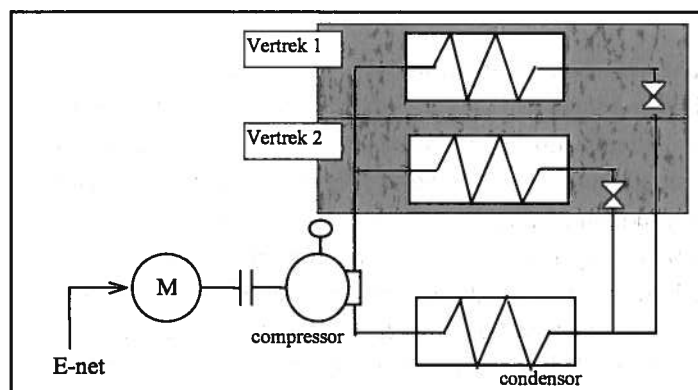
afgifte

Tot slot moet de warmte uit de warmtepomp afgegeven worden aan de te verwarmen ruimte. Belangrijkste factor daarbij, is dat het rendement van de warmtepomp gevoelig is voor de temperatuur waarbij deze warmte afgegeven wordt. Hoe groter de temperatuursprong tussen bron en afgifte, hoe meer aandrijfenergie nodig is om deze sprong te maken en hoe geringer de energiebesparing ten opzichte van conventionele verwarming. Dit betekent dat voor elektrische warmtepompen, vloerverwarming of lage temperatuur systemen radiatoren/convectoren nodig zijn.

4.4.4 DX-systeem

Een DX systeem is, in zijn meest eenvoudige vorm, een standaard koelmachine waarvan de verdamper (koelunit) in de te klimatiseren ruimte is geplaatst en de condensor (warmteafgifte) buiten is opgesteld ("split" systeem). Veelal zijn meerdere verdampers gekoppeld aan één condensing unit ("multi-split" systeem). Een principe schema is afgebeeld in figuur 6.¹ Voor de distributie van warmte en koude wordt het koudemiddel gebruikt.

¹ Overgenomen uit [10]



Figuur 6 Principe schema van een DX systeem met meerdere binnen units in de vertrekken ("multi-split")

Een belangrijke variant van het DX systeem, is de omkeerbare ("reversible") uitvoering. In dit geval kan de binnen unit ofwel als verdamper (koel functie) ofwel als condensor (t.b.v. verwarming) optreden. In de configuratie voor verwarming is in feite sprake van een lucht - lucht warmtepomp. Bij "multi split reversible" systemen kan doorgaans elk van de binnen units ofwel koelen ofwel verwarmen, afhankelijk van de lokale behoefte. Zo kan een warmte overschot in één deel van het gebouw naar een ander gedeelte worden getransporteerd, waar een warmtevraag heerst. Dit kan ook toepasbaar zijn als een koele ruimte nodig is, bijvoorbeeld voor de opslag van levensmiddelen, naast een te verwarmen ruimte.

DX systemen worden door verschillende firma's op de Nederlandse markt gebracht. Het gaat daarbij om systemen opgebouwd uit standaard modules.

Naast een DX systeem dient een apart systeem voor ventilatie aanwezig te zijn, om aan de eisen voor luchtverversing te kunnen voldoen. Normale DX systemen verzorgen alleen de koelfunctie, als neveneffect treedt daarbij ontvochtiging op.

Conclusie is dat DX-systemen interessant zijn als geen grote mate van ontvochtiging nodig is, dus voor de functie kantoor/wonen.

4.4.5 Gasgestookte absorptie warmtepomp

De gasgestookte warmtepomp wordt nog niet zo vaak toegepast maar er vinden snelle ontwikkelingen plaats. Het gaat voor grotere vermogens om apparaten die ontwikkeld zijn als (absorptie)koelmachine en die dan ingezet worden als warmtepomp. Daarnaast wordt de techniek momenteel in Nederland speciaal ontwikkeld voor toepassing in bestaande woningen. Net als bij de elektrische warmtepomp wordt laagwaardige warmte opgewaardeerd door beperkte inzet van hoogwaardige energie. In het gebruik is de gasgestookte warmtepomp te zien als een energiezuinige opvolger van de HR-ketel, met een energiebesparing van ongeveer 20%. In vergelijking met de elektrische warmtepomp heeft hij als voordeel dat lucht goed

als warmtebron kan dienen en dat hij beter overweg kan met hogere afgiftetemperaturen. Voordeel van het gebruik van gas is de relatief goedkope aanleg. Gezien het trage karakter van grondgedekte ruimten, is de gasgestookte warmtepomp een interessante optie voor continu verwarmen en gebruiken van ondergrondse ruimten.

4.4.6 Gasmotorgedreven warmtepomp

Een verbrandingsmotorgedreven warmtepomp is een compressiewarmtepomp die aangedreven wordt door een gasmotor. De restwarmte van de gasmotor wordt benut, samen met de warmte uit de warmtepomp. Voordeel van deze techniek is dat hij inzetbaar is als de elektriciteitsvoorziening onvoldoende is voor een elektrisch aangedreven warmtepomp.

4.4.7 Restwarmte en stadsverwarming

Een andere mogelijkheid is het gebruik van restwarmte. Bij restwarmtebenutting en stadsverwarming speelt dat de investeringen bepaald worden door de piekvraag, terwijl de verdiensten afhangen van de afgenomen energie. Een fort kan fungeren als piekshaver in een stadsverwarmingssysteem, en zo de rentabiliteit van het stadsverwarmingssysteem verhogen. Forten met als functie kantoor/wonen hebben zelfs in de zomer warmte nodig! Een fort dat ingesloten is in de stedelijke omgeving, kan met hetzelfde argument deel uitmaken van een duurzaam bedrijventerrein en restwarmte van bedrijven benutten.

Tot slot is te noemen de mogelijke koeling van ICT (datahotels). Hiervoor is veel koeling nodig en een constant binnenklimaat. De forten zouden kunnen fungeren als locaties voor datahotels, telefooncentrales en GSM communicatiekasten omdat de fortwanden voor een natuurlijke koeling zorgen.

4.4.8 Zonnecollector voor verwarming van de gebouwmassa

Idee is om eenvoudige zonnecollectoren op te nemen in de grondlichamen van de forten. Dit zou zo kunnen gebeuren dat ze niet of weinig zichtbaar zijn en niet storend zijn voor het aangezicht. In de zonnecollectoren wordt water opgewarmd dat door grondslangen of buizen geleid wordt. Deze slangen zijn aangebracht aan de buitenzijde van de grondgedekte ruimten, zodat ze geen inbreuk geven op het aanzicht van de binnenkant. Het inbrengen van de slangen is vergelijkbaar met het aanbrengen van slangen die dienen als bodemwarmtewisselaar voor warmtepompen. Dan kan gebruik gemaakt worden van bestaande technieken, zoals het aanbrengen van slangen via sleuven, boringen of bij tijdelijke verwijdering van de aarde.

Het effect van de maatregel moet zijn dat bij beschikbaarheid van zonnestraling in voorjaar en zomer een geleidelijke opwarming van het grondlichaam en de muren

plaatsvindt. Indien de temperatuur boven het dauwpunt van de aanwezige binnenlucht blijft, kan geen condensatie optreden. Tevens zal de ruimtetemperatuur verhoogd worden zodat ook in de winter een aangenaam verblijf mogelijk wordt. Gezien de dikte van de muren en het grondlichaam zal de opwarming zeer geleidelijk gebeuren. Bij normale vloer- of wandverwarming worden de buizen op circa 10 cm van elkaar gelegd om een gelijkmatige temperatuur van de vloer te verkrijgen. Voor het fort zal dat niet nodig zijn omdat de dikke muren de warmte gelijkmatig zullen verdelen.

4.5 Oplossingsrichtingen ontvochtiging

Het verlagen van de absolute luchtvochtigheid van de toevoerlucht naar de grondgedekte ruimten en de lucht in de ruimten is een maatregel die de relatieve luchtvochtigheid in de ruimten vermindert. Door extra droge lucht toe te voeren zal de relatieve luchtvochtigheid acceptabel blijven, zelfs bij afkoelen van de binnenlucht tegen koude muren. Deze oplossing houdt ook in dat ongewenste en ongecontroleerde toevoer van buitenlucht moet worden vermeden. Kieren moeten worden gedicht en er mag geen tocht plaatsvinden via geopende deuren. De luchtverversing wordt overgenomen door een ventilatiesysteem. Door het drogen van lucht komt warmte vrij, waardoor ook de binnentemperatuur zal stijgen. Verwacht wordt dat met uitsluitend het verlagen van de absolute luchtvochtigheid geen optimaal binnenklimaat verkregen wordt voor verblijf van personen, maar wel voor andere toepassingen zoals opslag van goederen. Bij toenemend menselijk verkeer wordt aanbevolen om zowel actieve ventilatie als ontvochtiging toe te passen.

4.5.1 Condensatie-luchtdrogers

Bij luchtdrogers op basis van een koeltechnische kringloop wordt de lucht eerst afgekoeld om waterdamp te laten condenseren, om daarna deze lucht weer op te warmen met warmte uit de andere zijde van de koelkringloop. Dit is een redelijk efficiënt proces maar vereist de beschikbaarheid van voldoende elektriciteit.

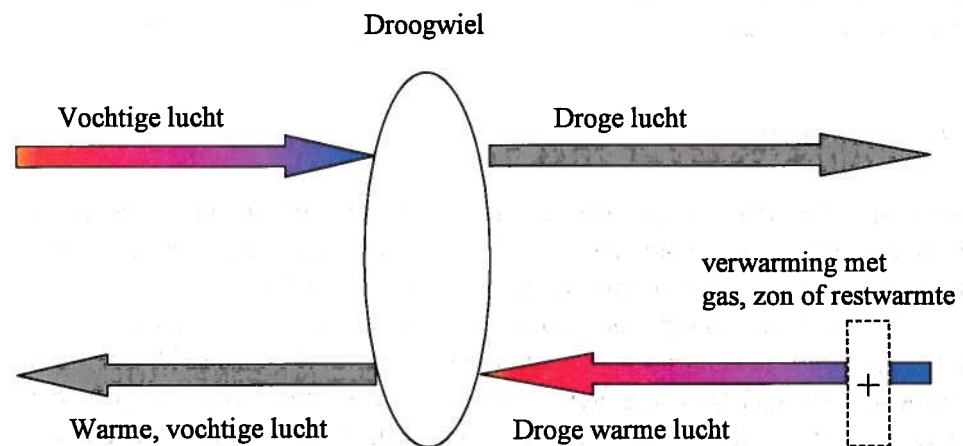
In één uitvoering wordt lucht aangezogen, gekoeld en gedroogd, waarna de koude droge lucht wordt ingeblazen. De vrijkomende warmte wordt overgedragen op de af te voeren lucht, die ook het vocht in dampvorm meeneemt. Consequentie van deze uitvoering is dat de ruimte gekoeld wordt, waardoor een lagere absolute luchtvochtigheid nodig is om de gewenste relatieve luchtvochtigheid te bereiken. Bij deze uitvoering is geen vochtafvoer nodig, wat in bepaalde situaties praktisch kan zijn. Ook kan de lagere temperatuur gewenst zijn voor de conservering van goederen.

Een alternatieve uitvoeringsvorm is om het gecondenseerde water als vloeistof af te voeren. De vrijkomende condensatiewarmte draagt dan bij aan de verwarming van de ruimte, waardoor met een minder absolute ontvochtiging de gewenste relatieve

luchtvochtigheid bereikt wordt. Dit leidt tot een lager energiegebruik en een hogere binnentemperatuur. Deze uitvoering heeft de voorkeur, vooral als personen in de ruimte verblijven.

4.5.2 Warmtegedreven (gas, zon) luchtdrogers

Het is mogelijk om lucht te drogen met commercieel beschikbare droogwielen, die daarna geregenereerd moeten worden met warmte van circa 65 tot 95 °C. Dit is met enige moeite met zonne-energie bereikbaar. Na het droogwiel is de lucht warm en droog geworden en dus uitstekend geschikt voor conditionering van grondgedekte ruimten. Ook de restwarmte uit de regeneratie van circa 45 °C kan nog gebruikt worden voor verwarming van de ruimten.



Figuur 7 "Dessicant" of droogwiel

Een tweede type dessicantsysteem maakt gebruik van hygroscopische vloeistoffen. Lucht wordt gedroogd met een hygroscopische vloeistof, waarna deze vloeistof verwarmd wordt en gedroogd met een secundaire luchtstroom. Deze systemen worden ook commercieel geleverd.

Voordeel van dessicant systemen is de lagere absolute luchtvochtigheid die bereikt kan worden. Dit principe wordt in industriële omgevingen (b.v. gelatinefabrieken, pharmacie) toegepast voor vocht- en bacterie/virusbeheersing, maar is nagenoeg onbekend in de comfortklimatiseringswereld.

4.6 Oplossingsrichtingen nutsvoorzieningen

De mogelijke oplossingen voor het gebrek aan nutsvoorzieningen staan niet los van de oplossingen van het binnenklimaatprobleem.

4.6.1 Gas

Aansluiting op het gasnet is niet altijd voorhanden. Als alternatief kan gekozen worden voor LPG-tanks. Gas is van belang als brandstof voor verwarming en dus niet nodig als de nadruk ligt op ontvochtiging of koeling.

4.6.2 Elektriciteit

Elektriciteitsaansluitingen zijn meestal wel aanwezig maar hebben een beperkt aansluitvermogen. Bij toepassing van warmtepompen of warmtepomponthoofden zal dit aansluitvermogen meestal moeten worden vergroot. Voordeel van het gebruik van elektriciteit is dat het goed mogelijk is om alternatieve energiebronnen aan te sluiten. Nadeel bij toepassing voor verwarming middels warmtepompen is de relatief hoge energieprijzen en opzichte van aardgas per eenheid energie.

4.6.3 Zonnecellen

Zogenaamde PhotoVoltaïsche zonnecellen of PV-cellen zijn een mogelijkheid om te voorzien in de stroomvoorziening van forten, maar zijn eigenlijk alleen van belang ter voorkoming van dure aansluitingen op het openbare net.

Omdat PV-cellen gelijkstroom produceren kan het aantrekkelijk zijn om ook gelijkstroomgebruikers te plaatsen. Gelijkstroommotoren hebben namelijk een hoger rendement dan wisselstroommotoren. In normale toepassingen wordt een deel van dit voordeel teniet gedaan door de conversie van elektriciteit uit het lichtnet. Door gelijkstroom uit PV-cellen rechtstreeks te benutten in gelijkstroommotoren, worden twee nadelige conversies vermeden. Mogelijke toepassingen zijn een elektrische warmtepomp, gelijkstroomventilatoren en de verlichting. Dit soort systemen zijn niet standaard beschikbaar.

4.6.4 Warmtekracht koppeling

Door zelf elektriciteit op te wekken en de restwarmte te benutten kan in de eigen energiebehoefte worden voorzien. Deze optie is alleen haalbaar bij een zeer zorgvuldige inpassing. Dat wil zeggen dat elektriciteit en warmte beide gelijktijdig benut kunnen worden. Opwekking van elektriciteit zonder de bijkomende restwarmte te benutten is veel minder rendabel. Om vooraf te kunnen inschatten of dit mogelijk is moeten de afnemers op de locatie goed bekend zijn. Aangenomen wordt dat de afnemers nog niet goed bekend zullen zijn bij het doorlopen van het stappenplan. Toepassing van warmtekrachtkoppeling wordt alleen aanbevolen op locaties waar langdurig verwarming wordt gevraagd en waarbij de afname van elektriciteit en warmte verzekerd is.

4.6.5 Thermische zonnecollectoren

Thermische zonnecollectoren zouden kunnen worden toegepast in de taluds van de grondgedekte ruimten. Dit is interessant zodra dit haalbaar wordt geacht vanuit het oogpunt van landschap en monument. Door de warmte te gebruiken voor verwarming van het fort kan de grondmassa worden opgewarmd, zodat 's winters minder aanvullende verwarming nodig is. Deze optie is dus niet interessant voor incidenteel gebruikte ruimten met veel menselijk verkeer, omdat dan geen verwarming maar ontvochtiging nodig is.

4.6.6 Biomassavergassing

Biomassavergassing is een embryonale technologie die nog niet rijp is voor toepassing in een omgeving waar geen deskundige operator voorhanden is. Het gaat om een vorm van wamtekrachtkoppeling, aangedreven door "biomassa". Te denken valt aan snoeihout, houtsnippers, of speciale gewassen. De bufferende werking van de gebouwmassa en de beschikbaarheid van hout maken forten wel een interessante locatie voor onderzoek en het opdoen van bedrijfservaring met biomassavergassing.

4.6.7 Windmolens

Toepassing van windmolens is alleen zinvol indien aan een aantal randvoorwaarden wordt voldaan. Deze zijn:

- Voldoende aanbod van wind. Verdubbeling van de windsnelheid leidt tot verachtvoudiging van de elektriciteitsopbrengst. Kustlocaties zijn daarom favoriet. De forten van de NHW liggen niet aan de kust maar wel bij open terreinen, de voormalige schootsvelden.
- Beschikbaarheid van een geschikte elektriciteitsaansluiting. Windmolens leveren niet continu elektriciteit. Het elektriciteitsnet moet zorgen voor backup en voor teruglevering van elektriciteit aan het openbare net als er veel windaanbod is. Daarmee is de windmolen geen oplossing meer voor het ontbreken van elektriciteitsvoorziening, maar een zelfstandige vorm van energieopwekking.
- Inpasbaar in het landschap en in het monument.

5. Conclusies

De klimatisering van ondergrondse ruimten in forten uit de Nieuwe Hollandse Waterlinie is tot nu toe niet gestructureerd aangepakt. In de praktijk zijn onverwacht positieve ervaringen naar voren gekomen maar ook duidelijk teleurstellende situaties. Deze bevindingen worden bevestigd door de theoretische benadering van het klimatiseringsvraagstuk en door metingen, verricht op het fort bij Vechten. Literatuur over het onderwerp is beperkt beschikbaar en soms strijdig met geldende Nederlandse richtlijnen.

De verwachting van het onderzoeksteam en de begeleidingscommissie is dat het opgestelde stappenplan een bruikbare bijdrage kan leveren aan de gestructureerde aanpak van het klimatiseringsvraagstukken in ondergrondse, historische gebouwen.

De noodzakelijke maatregelen blijken in sterke mate afhankelijk van de gekozen functie. Of bepaalde maatregelen nodig zijn is weergegeven in tabel 2. Hierbij dient opgemerkt te worden dat een slechte bouwkundige staat door geen enkele klimatiseringsmaatregel kan worden gecompenseerd.

De principes die gelden voor de bekende airconditioning in de utiliteit zijn ook geldig voor ondergrondse ruimten. Echter door de sterk verschillende bouw fysieke situatie zijn andere maatregelen noodzakelijk en ontstaan ongebruikelijke wensen ten aanzien van de klimaatinstallatie.

Tabel 2 Noodzakelijke klimatiseringsmaatregelen in verschillende situaties

Dynamiek (weinig menselijk verkeer / veel menselijk verkeer ▼	verwarmen	ventileren	ontvochtigen	koelen
Hoogwaardige opslag	nee	minimaal	ja	nee
Kantoor en wonen	ja	ja	nee	nee
Publieke gebouwen	ja	ja	meestal	soms
Feestruimte	soms	ja	ja	soms

De toe te passen klimatiseringsmaatregelen zijn uitgewerkt in tabel 3 op pagina 2.

Kantoor en wonen

Bij gebruik voor kantoor en wonen voldoet traditionele CV-verwarming. Dit is in de praktijk waargenomen. Een verbetering betreft de aanbeveling om ook in de zomer de verwarming aan te laten en de ingestelde binnentemperatuur licht te verhogen naar circa 23°C bij hoge buitentemperaturen. Dit zorgt voor een gunstiger relatieve luchtvochtigheid en een comfortabeler overgang tussen buiten naar binnen. Aantrekkelijke energiezuinige alternatieven zijn goed mogelijk maar niet gesignaleerd. De forten zijn zeer geschikt voor toepassing van warmtepompen of andere vormen van duurzame energie, omdat de warmtevraag relatief weinig af-

hankelijk is van de buitentemperatuur. Deze afhankelijkheid kan nog verder worden verminderd door warmteterugwinning op de ventilatielucht toe te passen. In dat geval zal aanwezige apparatuur en personen voor voldoende verwarming zorgen. Met een goede regeling van de ventilatie wordt de verwarmingsinstallatie na verloop van tijd overbodig. Wel zal aanvankelijk verwarming nodig zijn om de wanden en de gronddekking op temperatuur te brengen. Aanbevolen wordt een praktijkexperiment van deze oplossingsrichting uit te voeren.

Hoogwaardige opslag

Voor hoogwaardige opslag is ontvochtiging de aangewezen klimatiseringsmaatregel. In de praktijk zijn warmtepompontvochtigers waargenomen. Dit is de meest energiezuinige optie. Een sterkere mate van ontvochtiging geeft een desiccant wiel, maar een zeer sterke ontvochtiging is bij hoogwaardige opslag niet noodzakelijk en kan zelfs nadelig zijn voor de opgeslagen materialen. In beide gevallen wordt aanbevolen om de vrijkomende restwarmte van het ontvochtingsproces af te staan aan de te klimatiseren ruimte. Dit draagt aan de gewenste verlaging van de relatieve luchtvochtigheid en bespaart zodoende energie. Voor een minimale ventilatie moet worden gezorgd, vanwege kortdurende aanwezigheid van personen.

Een belangrijk alternatief dat in de literatuur is gevonden is de zogenaamde thermische activering in combinatie met gerichte ventilatie. Door de gebouwmassa te verwarmen ontstaat ook een verbetering van de relatieve luchtvochtigheid. In dit onderzoek komt als belangrijkste nadeel naar voren dat niet-herstelbare beschadigingen aan de gebouwen ontstaat, noodzakelijk voor het infrezen van verwarmingsleidingen. Gezien de monumentale waarde van het metselwerk in de Nieuwe Hollandse Waterlinie, wordt deze optie niet aantrekkelijk geacht.

Publieke ruimten en feestruimten

De meest complexe situatie ontstaat in publieke gebouwen. In bijvoorbeeld een bibliotheek of gemeentehuis geldt hetzelfde regime als voor kantoor en wonen. Wordt de ruimte alleen gebruikt als feestruimte of bijeenkomstruimte, dan heeft voldoende ventilatie de eerste prioriteit. Dit zal met name lastig in te passen zijn in de monumentale situatie, al kunnen bestaande luchtkanalen een goede bijdrage leveren. Gebalanceerde ventilatie is minder relevant vanwege de korte gebruikstijd, waarin vooral veel warmte en vocht moet worden afgevoerd. Ontvochtiging wordt de tweede prioriteit. In een intensief gebruikte feestruimte kan met een gebruikelijke koelmachine (=warmtepompontvochtiger) onvoldoende vocht uit de ventilatielucht worden gehaald om condensatie van vocht op de wanden te voorkomen. Dit noodzaakt tot meer ventilatie dan voor de (zuurstof)luchtverversing nodig is. De nog grotere ventilatiekanalen zijn nog lastiger in de monumentale situatie. Desiccant wielen of vloeistofdroogsystemen worden nu aantrekkelijk, omdat deze een veel lager dauwpunt kunnen bereiken. Het is dan wel mogelijk om met alleen de luchtverversing ook voldoende ontvochtiging te bereiken. Koeling is niet noodzakelijk en in de meeste weersomstandigheden ongewenst. De wanden nemen de warmte op die tijdens het feest ontstaat en geven die geleidelijk weer af aan de omringende grondlagen. Uit metingen blijkt dat dit ook in warme zomerperioden functioneert.

De warmte die bij het ontvochtigen vrijkomt kan worden afgegeven aan de lucht in de ruimte, zonder gevaar voor oververhitting. Verwarming is alleen nodig voordat de feestgangers de zaal betreden. Een eenvoudige verwarming volstaat dan. Aanbevolen wordt een praktijkexperiment uit te voeren, waarin maximaal gebruik gemaakt wordt van bestaande historische ventilatiekanalen. Verder wordt aanbevolen om de combinatie van warmtepompontvochtiger en desiccant systeem verder te ontwikkelen tot een geschikt en compact installatieproduct voor klimatisering van forten. In deze combinatie worden de gewenste inblaasluchtcondities gecreëerd tegen een laag elektrisch energiegebruik.

Tabel 3 Toe te passen beschikbare technieken in verschillende situaties

Dynamiek (weinig menselijk verkeer / veel menselijk verkeer ▼	verwarmen	ventileren	ontvochtigen	koelen
Hoogwaardige opslag				
Kantoor en wonen	CV-ketel of warmtepomp, radiatoren of vloerverwarming	Natuurlijke ventilatie; Eventueel mechanische afzuiging of gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning.		
Publieke gebouwen	CV-ketel of warmtepomp, radiatoren of vloerverwarming		Warmtepompontvochtiger Desiccant drogers toepassen bij hoge concentratie van mensen Combineer met koeling en ventilatie	Bij incidenteel gebruik door veel mensen koelen met de wanden. Bij continu gebruik koelmachine/warmtepomp toepassen. Combineer met ontvochtiging en ventilatie.
Feestruimte	Bij incidentele verwarming vóór de komst personen verwarmen met gas- of houtkachels. Bij continu gebruik zie kantoor en wonen. Combineer met koeling/warmtepomp	Mechanische toe- en of afvoer van ventilatielucht; Combineer met ontvochtiging en koeling/verwarming	Warmtepompontvochtiger Desiccant drogers toepassen bij hoge concentratie van mensen Combineer met koeling en ventilatie	Bij incidenteel gebruik door veel mensen koelen met de wanden. Bij continu gebruik koelmachine/warmtepomp toepassen. Combineer met ontvochtiging en ventilatie.

6. Financiering klimatiseringsonderzoek

(Bijdrage Nieuwland Opleidingen)

De uitvoering van klimatiseringsmaatregelen in grondgedekte gebouwen kost veel geld. Ook voor de voorbereiding, het doorlopen van het in dit rapport geformuleerde stappenplan is geld nodig. Voor het brede onderzoek, waaruit dit rapport is voortgekomen, zijn Belvédère-gelden, een subsidie van Novem (BSE-programma), een bijdrage uit het fonds "Vrienden van Fort Vechten", een bijdrage van een particuliere stichting (Maurits van Kattendijke stichting) en een sponsoring van een technisch bureau (Imtech) de financiële dragers geweest.

Kosten voor het vooronderzoek naar de juiste klimatiseringsmaatregelen omvatten:

- het verzamelen van informatie
- een bouwkundige inventarisatie
- een klimaat-technologisch en installatie-technisch advies
- het laten maken van tekeningen

Deze kosten zijn afhankelijk van aard, grootte, bouwkundige staat, functie en complexiteit van de te klimatiseren ruimte(n).

Voor (fort)gebruikers die ook op zoek zijn naar middelen om hun vooronderzoek naar de juiste klimatiseringsmaatregelen en / of klimaatinstallatie te financieren, zijn er de volgende ingangen en tips.

- Een belangrijk document is de "Financieringswijzer – duurzame energie" van de Novem. Dit is een wegwijzer voor de toepassing van financiële stimuleringsregelingen voor duurzame energie projecten. Deze wijzer is in 2001 uitgebracht. Er zit een rekenprogramma bij, zodat de gevolgen van verschillende stimulerende maatregelen berekend kunnen worden. De financieringswijzer kost 25 gulden en is te bestellen bij het Informatiecentrum Duurzame Energie (zie adressenlijst).
- Het Besluit Subsidies Energieprogramma's (BSE) wordt uitgevoerd door de Novem en is gericht op de ontwikkeling en toepassing van innovatieve projecten ten behoeve van duurzame energie en energiebesparing. In het kader van BSE bestaan jaarlijks verschillende specifieke programma's. Via Novem is het mogelijk een 'pre-advies' voor subsidie-aanvragen in te winnen.
- Senter is de organisatie die subsidie-programma's van het Ministerie van Economische Zaken uitvoert. Een belangrijke regeling is de EINP-regeling: Energievoorzieningen in non-profit en bijzondere sectoren. Bepaalde apparatuur of technieken, die voorkomen op de Energie-lijst komen in aanmerking voor maximaal 18,5% subsidie. (hoe hoger de investering, des te lager het subsidiepercentage).
- Fiscale regelingen (zoals VAMIL, MIA en EIA) worden veelal uitgevoerd door de Belastingdienst. Meestal werken deze regelingen als volgt: de belasting die over winst moet worden betaald, wordt met een bepaald percentage vermin-

derd. Deze regelingen leveren dus een fiscaal voordeel.

VAMIL = vrije afschrijving milieu-investeringen

MIA = Milieu-Investeringsaftrek

EIA = Energie-Investeringsaftrek

- Ook is het handig in een vroeg stadium contact op te nemen met het energiebedrijf.
- Als de installatie die u voor ogen heeft (ook) energie opwekt die teruggeleverd wordt aan het net, voorziet de Regulerende Energiebelasting (REB) in een extra terugleververgoeding. Voor duurzaam opgewekte stroom (groene stroom) wordt meer betaald dan voor 'gewone stroom'. Hiervoor moet u eveneens bij het energiebedrijf zijn.

Tips:

- Houd er rekening mee dat subsidies meestal niet 'stapelbaar' zijn. Dit houdt in dat verschillende subsidieregelingen niet tegelijk voor het voor hetzelfde project kunnen worden gebruikt.
- Vaak is een subsidieplafond aangegeven en moet de rest uit cofinanciering (geen subsidie) bestaan.
- Houd rekening met de indieningstermijnen van subsidieregelingen.
- Soms worden subsidieaanvragen gehonoreerd op binnenkomst (totdat het budget op is), soms wordt een tenderprocedure gehanteerd (waarbij uw project wordt vergeleken met andere projecten).

Adressenlijst duurzame energie en klimatiseringsprojecten:**Informatiecentrum Duurzame Energie**

Jansbuitensingel 7

6811 AA Arnhem

Postbus 12

6800 AA Arnhem

tel. 0900-9892

Internet: www.duurzame-energie.nlE-mail: info@duurzame-energie.nl**Novem (Nederlandse onderneming voor energie en milieu)**

Catharijnesingel 59

Postbus 8242

3503 RE Utrecht

tel.: 030 – 239.34.93 of 030 – 239.37.98

fax. 030 – 231.64.91

Internet: www.novem.nlE-mail: duurzame-energie@novem.nl**Senter (Ministerie van Economische Zaken)**

Dokter van Deenweg 108

Postbus 10073

8000 GB Zwolle

tel. 038 – 455.34.30 (helpdesk)

tel. 038 – 455.35.53

Internet: www.minez.nl of www.senter.nl**Belastingdienst**Internet: www.belastingdienst.nl

Belastingtelefoon: 0800 - 0443

7. Literatuur

- [1] Ir. M. van der Voorden, Bouwfysische knelpunten bij de realisatie van ondergrondse ruimten, sectie Ondergronds bouwen van de subfaculteit Civiele Techniek TU Delft.
- [2] Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Landesamt für dei Nichtstaatlichen Museen, Die Temperierung, Verfahren zur thermischen Bausanierung, Raumtemperierung und Klimastabilisierung in Museen und anderen Gebäuden, September 1995.
- [3] Henning Grosseschmidt, (Landestelle für die nichtstaatlichen museen . Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege) Raumklima in Museen und anderen Gebäuden oder: Das temperierte haus, sanierte Architektur und Grossvitrine, Kongressband Raumklima in Museen und historischen Gebäuden, Fachinstitut Gebäude-Klima e.V., 1. Auflage, Oktober 2000.
- [4] Dr. Andreas Burmester, Die Beteiligung des Nutzers bei Museumsneubau und –sanierung: Risiko oder Notwendigkeit? Kongressband Raumklima in Museen und historischen Gebäuden, 1. Auflage, Fachinstitut Gebäude-Klima e.V., Oktober 2000.
- [5] Dr. Ing. Helmut Künzel, Verbesserung der Raumklima- und Feuchteverhältnisse in historischen Gebäuden durch gesteuertes Heizen und Lüften. Kongressband Raumklima in Museen und historischen Gebäuden, Fachinstitut Gebäude-Klima e.V., 1. Auflage, Oktober 2000.
- [6] Gematigde thermische binnenomstandigheden: bepaling van de PMV- en de PPD-waarde en specificatie van de voorwaarden voor thermische behaaglijkheid (ISO 7730: 1994)/1996
Nederlands Normalisatie Instituut. 3^e dr, Delft.
- [7] Ir. H.B. Bouwman, Onderzoek naar minimum verse luchttoevoer, ISSO researchrapport 1, 1981
- [8] Energiewijzer kantoorgebouwen, ISSO publicatie 37, 1995
- [9] De klimatisering van reversbatterij K, op het Fort bij Vechten. Een reisverslag door het stappenplan van TNO. Stichting Werk aan de Linie, M. Vastenhout en C. Maayen, februari 2002.

-
- [10] Van der Sluis, S.M. en Rolloos, M.
Techniek inventarisatie mechanische koeling, Inclusief geïntegreerde systemen voor verwarming en koeling, juni 1999 (2e druk).
TNO-rapport R-98/301
- [11] H.A.W. Verboven, *Fort aan den Hoek van Holland Een kustverdedigingsmuseum*, Eindhoven, 2000, Afstudeerverslag Faculteit Bouwkunde, Capaciteitsgroep Fysische Aspecten van de Gebouwde Omgeving Technische Universiteit Eindhoven FAGO-rapport 00.04.W
- [12] Westgeest, W.F., *Instandhouding en bouwfysica: traditionele oplossingen voldoen niet altijd*, uit: *Jaarboek Monumenten, Zwollen Waanders Uitgevers*, 1999.
- [13] Martin Vastenhout en Christine Naaijen, "Nog even en het is hier niet meer KIL, KLAM en VOCHTIG!, De klimatisering van reversbatterij H, op het fort bij Vechten, Een reisverslag door het stappenplan van TNO", NieuwLand Opleidingen, December 2001, tel. 0317-421711 of mail groen@nieuwland.nl.
- [14] *Vochtproblemen Fort Liezele*, Laboratorium Bouwfysica van de Katholieke Universiteit Leuven, 2000
- [15] *Richtlijnen bouwhistorischonderzoek; een samenwerking van Rijksdienst voor de Monumentenzorg (RdMz) VROM/Rijksgebouwendienst (Rgd) Stichting Bouwhistorie Nederland (SBN) Stichting Historisch Boerderij Onderzoek (SHBO)*.

8. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Stichting Werk aan de Linie

Namen en functies van de projectmedewerkers:

Ir. N.R. Bootsveld

Ing. M.M. van Ingen

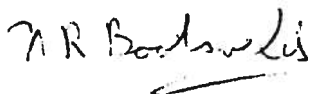
Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

- Projectbureau Nieuwe Hollandse Waterlinie (Kees Verhoeven)
- St. Menno van Coehoorn (Henk Rijksen)
- Bureau Bijzonder Beheer, Gemeente Utrecht (Thijs Offermans)
- Provincie Utrecht (Saskia Kemperman)
- Staatsbosbeheer (Jurrie de Vos)
- BunkerQ (Gerco Meijer)
- Imtech / COB (Bart Woltering)
- Fort Vechten / Stichting Werk aan de Linie (Martin Vastenhout, lokatiemanager en projectleider)
- Nieuwland Groen (Christine Naaijen project-medewerker / project-secretariaat)
- Rijks Dienst voor Monumenten Zorg (Marc Stappers)
- TNO-MEP (Marco van Ingen, uitvoering klimaattechnisch onderzoek)
- TNO-MEP (Collin Bootsveld, leiding klimaattechnisch onderzoek)

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

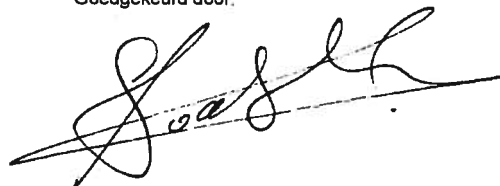
januari 2001 – januari 2002

Ondertekening:



Ir. N.R. Bootsveld
projectleider

Goedgekeurd door:



Ir. S.M. van der Sluis
afdelingshoofd

Bijlage 1 Literatuurrecherche en stand der techniek

Er is een literatuurrecherche uitgevoerd om vast te stellen welke kennis beschikbaar is over klimatisering van forten, grondgedekte gebouwen en historische gebouwen. Hiervoor zijn verschillende bronnen geraadpleegd. Ten eerste is in een aantal computerdatabases gezocht naar ingangen. Deze databases gaven echter geen enkele ingang naar relevante literatuur. Succesvoller was het bezoek aan de Internationale koudetechnische beurs in Neurenberg (Internationale Kälte und Klima) in oktober 2000 en oktober 2001, waar verschillende Duitse bronnen gevonden werden. Verder is gebruik gemaakt van de algemene kennis en het netwerk van de begeleidingscommissie. Dit bracht bijvoorbeeld twee rapporten over de klimatisering van forten boven water. Ten slotte werd via het COB een relevant rapport over klimatisering van ondergrondse ruimten bemachtigd. Literatuurverwijzingen hieruit zijn verder nagezocht.

Bouwfysische knelpunten bij de realisatie van ondergrondse gebouwen.

In een rapport, uitgegeven door het Centrum voor Ondergronds Bouwen, doet Van Voorden [1] verslag van een recente inventarisatie van bouwfysische knelpunten bij de realisatie van ondergronds bouwen. Het rapport is bedoeld als basis voor een eventueel te organiseren symposium en voor het formuleren van onderzoeksprojecten. Naast een literatuuronderzoek zijn ook interviews gehouden en worden demonstratieprojecten beschreven. Het rapport is algemeen van aard.

Relevant is de gehanteerde categorisatie van ondergrondse ruimten die in het rapport worden aangeduid als "Ruimte Omhullende Constructie":

- A. Volledig ondergronds ROC
- B. Ondergrondse ROC met een naar boven gericht atrium
- C. Aangeaarde ROC of ROC met een open gevel
- D. Half ondergronds ROC of ROC met meerdere open gevels

Forten vallen in de categoriën C en D.

Onderscheiden worden de bouwfysische aspecten warmte, vocht, ventilatie, licht en akoestiek.

Voor warmte wordt geconstateerd dat de warmteverliezen vanuit de ondergrondse ROC beduidend kleiner kunnen zijn dan bij een bovengrondse ROC. Dit leidt tot een grotere kans op oververhitting. Anderzijds is er de verhoogde kans op oppervlaktecondensatie vanwege warmtelekken naar de omringende grond. Als oplossing wordt voorgesteld om gebruik te maken van de meewerkende thermische massa van de ROC en eventuele isolatie aan de buitenzijde aan te brengen. De gesignaleerde restvragen betreffen het ontbreken van goede modellering van het ther-

misch-dynamisch gedrag. Gewezen wordt op de warmtegeleiding in natte en droge grond en het effect van langstromend grondwater.

Ten aanzien van vocht is van belang dat in bovengrondse situaties vocht door dampdiffusie door de gebouwmhulling naar buiten wordt afgevoerd. Ondergronds zal vocht alleen via ventilatie kunnen worden afgevoerd. Dit is een aandachtspunt voor het ontwerp van de klimaatinstallatie. Ook de kans op oppervlaktecondensatie als gevolg van de faseverschuiving tussen grondtemperatuur en temperatuur van de buitenlucht wordt genoemd. Als oplossing wordt aangeraden om een ROC altijd water(damp)dicht uit te voeren. Verder wordt de geventileerde spouwconstructie voor het afvoeren van binnendringend vocht genoemd maar niet uitgewerkt. Deze oplossing is op verschillende forten toegepast.

Bij ventilatie speelt dat ondergrondse gebouwen in de regel mechanisch zullen moeten worden geventileerd. Ventilatie leidt tijdens het stookseizoen tot energieverlies en bij hoge luchtsnelheden kunnen comfortklachten ontstaan. Als oplossing wordt opgemerkt dat dezelfde ventilatiestrategieën kunnen worden benut als bij bovengrondse gebouwen. Een restvraag is of het mogelijk is om, afhankelijk van het bekeken seizoen, vocht te kunnen afvoeren en tevens een bijdrage aan energiebesparing te kunnen leveren.

Een belangrijke leemte in de theorie en modelvorming wordt in de conclusies van het rapport als volgt samengevat: "... Ter plaatse van het buitenoppervlak van ondergrondse ROC's vindt warmteoverdracht plaats van en naar de omringende grondmassa en eventueel hierin aanwezig grondwater. Over deze gecombineerde vorm van warmteoverdracht is in de bouwfysica weinig tot niets bekend. Dit roept de vraag op in hoeverre op dit moment realistische uitspraken kunnen worden gedaan over optredende warmtetransporten naar de omringende grondmassa - en daarmee over het energiegebruik in ondergrondse ROC's. Voor die situatie waarin de transmissieverliezen naar de omringende grondmassa een substantieel deel uitmaken van het totale energiegebruik, is het van belang meer over deze warmteoverdracht te weten..." Opm.: deze situatie doet zich bij uitstek voor in de forten van de Nieuwe Hollandse Waterlinie. Een eerste model zoals hier genoemd is opgezet en beschreven in de Fort TIX berekeningen in bijlage 6.

Het rapport bevat tenslotte een overzichtelijk gerangschikte literatuuropgave.

Thermische activering van het gebouw.

De methode van "temperierung", is sinds 1982 ontwikkeld door de Landesstellen Nichtstaatliche Museen in Bayern (Landsinstantie niet-staatsmusea in Beieren) [2], [3]. De methode is toegepast in honderden gebouwen binnen en buiten Beieren.

Doel van het langlopende experiment was, het vermijden van ervaren nadelen op het gebied van conservering, monumentenzorg, bouwfysica en fysiologie van de

bestaande luchtverwarmingstechniek, door het toepassen van wandverwarming. Een centrale verwarmingsinstallatie met radiatoren wordt in deze vergelijking als luchtverwarming beschouwd, omdat de warmte via de lucht wordt overgedragen op muren, voorwerpen en personen. Er werd een minimuminstallatie ontwikkeld, waarbij de toepassing van vochtwerende lagen en isolatie van gebouwdelen achterwege blijft en waarbij geen speciale installatieonderdelen gebruikt worden.

De volgende principes worden gemeld:

1. Het gebouw moet wisselingen van de buitentemperatuur en de zoninstraling kunnen dempen. Daartoe moet een zo klein mogelijk deel van het gebouw in contact staan met de binnenlucht. Verder is het van belang dat ramen goed sluiten en aan de buitenzijde van zonwering zijn voorzien.
2. De ruimtetemperatuur moet niet constant worden gehouden maar moet meeglijden met de gemiddelde buitentemperatuur en daarmee met de gemiddelde absolute luchtvochtigheid van de buitenlucht. Hierdoor zijn de verschillen tussen binnen en buitenlucht geringer en ontstaat een rustiger regeling. De minimuminstallatie bestaat dan uit een ketel en verwarmingsbuizen die ingemetseld worden langs de plinten van de buitenmuren, vlak onder ramen en in de vloeren die direct op de aarde liggen. De gebouwmassa wordt door continue verwarming op temperatuur gebracht en gehouden. De verhoging van de wandtemperatuur leidt tot droge muren en doet de wanden werken als stralingsverwarming. Wand en vloeren die met aardlagen in contact komen worden ook 's zomers verwarmd.
3. De bevochtiging van binnenlucht in de winter kan minimaal zijn en kan indien nodig worden voorzien middels losse apparaten.
4. Een ontvochtigingsinstallatie is overbodig.
5. De ventilatie wordt beperkt tot de fysiologische behoefte van aanwezige personen. Aanbevolen wordt een ventilatievoud van 1/10 tot 1 of een luchtverversing van maximaal 5m³ per uur per persoon, (dit is veel lager dan de in Nederland gehanteerde norm van minimaal 30m³ per uur per persoon, zie bijlage 2 "Criteria voor luchtverversing en ventilatie").

De methode gaat uit van de volgende veronderstellingen:

1. Drogere muren isoleren beter dan vochtige muren. De bouwrichtlijnen zouden uitgaan van te hoge ongunstige isolatiewaarden afkomstig van vochtiger materiaal.
2. Er ontstaan nauwelijks luchtstromingen door de gelijkmatige verdeling van warmte in de ruimte en de lagere luchttemperatuur geeft minder thermiek. Hierdoor zijn de warmteverliezen door luchtlekkage kleiner en ervaren personen geen tocht.
3. Toepassing van verwarmingsbuizen langs de plinten geeft voldoende verwarmingsvermogen en een gelijkmatige verdeling van warmte.
4. De schade die aangebracht wordt aan het object, door het infrezen van buizen langs de plinten, is geringer dan bij andere oplossingen en is acceptabel vanuit het oogpunt van monumentenzorg.

Toepasbaarheid voor forten

Het idee lijkt interessant genoeg om verder te onderzoeken. Aansprekend is de gedachte om door continue verwarming van de wanden vanaf de plinten enerzijds de ruimte te verwarmen en anderzijds vocht uit de muren te weren. Bij de basisveronderstellingen zijn verschillende opmerkingen te maken.

ad 1. Geen opmerkingen.

ad 2. Dit is juist zolang de ventilatie plaatsvindt door natuurlijke trek en niet door gecontroleerde en gebalanceerde ventilatie. Het punt van luchtstromingen sluit aan op de ervaringen in de gemeenschapsruimte van de gemeente Muiden, waar radiatoren zijn toegepast en waar enige tochtklachten gemeld worden bij het openen van de luchtkanalen.

ad 3. Uit de berekeningen aan het energiegebruik van fort Hoofddijk blijkt dat het benodigde verwarmingsvermogen voor forten circa 50W/m^2 bedraagt. Dit vermogen is verklaarbaar door de benodigde verwarming van ventilatielucht. Bij een gerapporteerd verwarmingsvermogen van 15 W/m buislengte, is dus $3,3$ meter verwarmingsbuis per m^2 vloeroppervlak nodig. Ter vergelijking: een travee van 12 bij 5 m heeft 34 m plint op 60 m^2 oppervlak, of $0,56\text{ m/m}^2$. Er zouden dus 6 parallelle buizen nodig zijn langs de plinten en wanden, om voldoende verwarmingsvermogen te bereiken. Wordt geaccepteerd dat bij zeer koud weer een lagere binnentemperatuur bereikt wordt, dan is het verwarmingsvermogen wellicht toereikend.

ad 4. De schade die wordt aangebracht aan het metselwerk van een fort, door het uitfrozen van gleuven voor meerdere parallelle leidingen, is permanent en niet meer terug te draaien. (Oordeel waardesteller RDMZ gevraagd).

Conclusie

De methode gaat uit van een te lage ventilatie en is daardoor alleen relevant bij weinig menselijk verkeer en kortdurend verblijf. De methode is geschikt voor toepassingen met weinig menselijk verkeer. In deze situatie is weinig ventilatie nodig en kan het aantal aan te brengen verwarmingsbuizen beperkt blijven. De visuele schade is te repareren als de wanden aangesmeerd zijn met cement of stucwerk. Dit klopt vanuit de waardestelling zolang het niet origineel c.q. oorspronkelijk is maar een latere, vanuit waardestelling niet waardevolle toevoeging. De schade aan het metselwerk van forten van de Nieuwe Hollandse Waterlinie zou echter onacceptabel zijn.

Gestuurde verwarming en ventilatie

Het Fraunhofer Institut für Bauphysik Holzkirchen rapporteert over de mogelijkheden van gestuurde verwarming en ventilatie [5]. De denkwijze wordt hier samengevat.

Met goed gestuurd verwarmen en ventileren kan zonder al te grote inspanning het binnenklimaat en de vochthuishouding in historische gebouwen, positief beïnvloed worden. Warme lucht heeft een grotere opnamecapaciteit voor waterdamp en wordt bij verwarmen relatief droger. In contact met vochtige bouwmaterialen ontstaat desorptie: vocht wordt opgenomen, waardoor bij verwarming het absolute vocht-

gehalte stijgt, terwijl de relatieve luchtvochtigheid daalt. Indien met tussenpozen wordt verwarmd, zoals bij kerken gebeurt, ontstaat een cyclus van adsorptie en desorptie.

Gepleit wordt voor buitenklimaatgestuurde verwarming: bij lagere buitentemperaturen moet de ruimtetemperatuur lager worden ingesteld als bij hogere buitentemperaturen. Hiermee wordt ontstaat een gemiddeld kleiner temperatuurverschil tussen binnen- en buitenlucht en kleinere variatie van de relatieve vochtigheid van de binnenlucht.

Met gestuurde ventilatie kan het vochtgehalte van de binnenlucht eveneens binnen grenzen worden gereguleerd. Bij hogere vochtigheid van de buitenlucht moet ongecontroleerde luchtuitwisseling zo veel mogelijk worden vermeden. Mogelijke maatregelen zijn automatische deursluiters en dubbele deuren. Een gewenste verwarming van niet verwarmde ruimten is mogelijk in periodes waarin de absolute vochtigheid van de buitenlucht lager is dan van de binnenlucht.

In onverwarmde kerken worden, ondanks gestuurde ventilatie, nog luchtvochtigheden boven 80% gerapporteerd. Om condensatie op koude plekken te voorkomen wordt aanbevolen deze bouwdelen enkele graden celsius te verwarmen. Deze maatregel moet gezien worden als bescherming van het gebouw en niet als ruimteverwarming.

Toepasbaarheid voor forten

Gestuurde verwarming en ventilatie biedt goede uitgangspunten voor verbetering van het binnenklimaat van grondgedekte gebouwen tegen relatief geringe kosten en inspanningen. De methode is toepasbaar bij opslag en bij weinig menselijk verkeer. De in het voorgaande gepresenteerde methode is nog niet voldoende voor volledige klimatisering.

Afstudeerrapport Fort aan den Hoek van Holland

Verboven bespreekt in [11] de mogelijkheden voor verbetering van het binnenklimaat in het fort aan den Hoek van Holland voor de aanwezige museale collectie en voor het fort zelf. In het fort is het kustverdedigingsmuseum gevestigd. Er is gebruik gemaakt van metingen en van modellen.

De eindconclusie van het rapport luidt “dat het onbegonnen werk is om het fort van een geschikt binnenklimaat te voorzien.” Dit wordt veroorzaakt door de bouwkundige situatie. De constructiedelen van het fort vormen een grote vochtbron. Er wordt aanbevolen de gevoelige museumstukken in aparte geklimatiseerde kasten te conserveren.

Er is een model gemaakt voor de verwarming van het fort, dat echter niet overeenkwam met de werkelijke situatie. Het model voorspelde een factor vier hoger energieverbruik voor verwarming dan gemeten is. Dit maakt voorspellingen op basis van het model onzeker.

Toepasbaarheid

Het rapport laat zien dat het belangrijk is om bij de regeling van de verwarming niet alleen de temperatuur maar ook de relatieve luchtvochtigheid in de gaten te houden. Een gecombineerde regeling op temperatuur met een thermostaat en op relatieve luchtvochtigheid met een hygrostaat is noodzakelijk. Als instelpunten kan bijvoorbeeld gewerkt worden met een minimumtemperatuur van 18°C en een maximale relatieve luchtvochtigheid van 70%. Bij lagere luchttemperatuur en/of een hogere relatieve luchtvochtigheid wordt de verwarming ingeschakeld. Dit betekent dat ook in de zomer een zekere verwarming nodig is.

Bijlage 2 Technisch onderzoek randvoorwaarden

Inleiding begrippen thermisch comfort in zomersituatie

Een aangenaam binnenklimaat in de zomer wordt bereikt bij een gemiddelde temperatuur van maximaal 26°C en een relatieve luchtvochtigheid van maximaal 70%. Koeling tot 20°C is onjuist en af te raden. Deze temperatuur is correct voor verwarming in de winter, maar is te koud bij zomerse kledij. Bovendien wordt het verschil met buiten te groot en treden eerder vochtproblemen op. De juiste keuze van de binnentemperatuur hangt af van de activiteiten die verricht worden en de kleding. Voor de beoordeling van het binnenklimaat meestal gebruik gemaakt van het onderzoek van de Deense professor Fanger. Hieronder wordt een beknopte introductie gegeven in de belangrijkste begrippen.

Voor de bepaling van het thermisch comfort dat 's zomers bereikt wordt zijn de volgende parameters van belang:

- de kleding
- de relatieve luchtvochtigheid
- de gemiddelde stralingstemperatuur
- de luchttemperatuur
- de lichtsnelheid
- het metabolisme (de lichamelijke activiteit van personen)

Voor de kleding nemen we aan dat men lichte zomerkleren draagt. Het metabolisme hangt af van de mate van activiteit die de aanwezigen verrichten. De meeste gegevens zijn beschikbaar uit onderzoek voor de kantooromgeving, waarbij uitgegaan wordt van weinig lichamelijke activiteit.

De relatieve luchtvochtigheid (R.V.) is volgens de literatuur van ondergeschikt belang voor personen die zich thermisch behaaglijk voelen. Volgens ISO 7730 moet de relatieve luchtvochtigheid gehandhaafd worden tussen 30% en 70%. Vanuit de vochthuishouding en vanwege het voorkomen van condensatie op de muren of voorwerpen, is de relatieve vochtigheid van groot belang. Uit het oogpunt van hygiëne is een maximale relatieve luchtvochtigheid van 70% ook aan te bevelen.

De stralingstemperatuur is van belang voor dit onderzoek omdat de wanden in de grondgedekte ruimten 's zomers koeler zijn dan de aanwezige lucht. De gemiddelde stralingstemperatuur (T_{mrt}) wordt bepaald door te middelen over de temperaturen van de zichtbare wanden:

$$T_{mrt} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{A_{tot}} T_i$$

waarin:

n = het aantal wanden van het betreffende vertrek

- A_i = oppervlakte wand i [m^2]
 A_{tot} = totale zichtbare wandoppervlak van het vertrek [m^2]
 T_i = temperatuur van wand i [$^{\circ}C$]
 i = index

Bij deze benadering wordt dus geen rekening gehouden met de plaats van een persoon in een vertrek. Dit betekent dat lokale verschillen in de ruimte in deze benadering niet meegenomen worden.

Een bijzonder aspect van de stralingstemperatuur is de stralingsasymmetrie. Dit houdt in dat een groot verschil in stralingstemperatuur tussen oppervlakken in een ruimte als onbehaaglijk wordt ervaren. Volgens ISO 7730 moet deze stralingsasymmetrie kleiner dan $10^{\circ}C$ zijn. Door het geringe temperatuurverschil tussen gekoelde oppervlakten en ruimtetemperatuur, zal stralingsasymmetrie door koeling geen rol spelen.

De luchttemperatuur is de meest voor de hand liggende parameter. De meest comfortabele luchttemperatuur hangt vooral af van de stralingstemperatuur van de ruimte. Het verband tussen luchttemperatuur, stralingstemperatuur en mate van welbevinden is weergegeven in onderstaande tabel, afkomstig uit DIN ISO 7730. Hierin wordt aangegeven welk percentage van de personen in een ruimte ontevreden zal zijn bij een gegeven combinatie van luchttemperatuur en stralingstemperatuur (= predicted percentage dissatisfied, PPD). Volgens de theorie is altijd 5% ontevreden.

Tabel 4 Het verband tussen luchttemperatuur, stralingstemperatuur en mate van welbevinden.

Luchttemperatuur $^{\circ}C$	Predicted Percentage Dissatisfied (PPD)																				
	Het met een onderbroken lijn gemarkeerde deel van de tabel geeft het behaaglijkheidsgebied aan: bij deze combinaties van luchttemperatuur en stralingstemperatuur (=wand + muur) ontstaan de minste klachten. De tabel gaat uit van 's zomers geklede personen die rustige activiteiten verrichten. De tabel geldt zolang de relatieve luchtvochtigheid niet hoger is dan 70%																				
Behaaglijkheidsgebied																					
30	5	6	8	10	14	18	23	29	36	43	51	59	67	74	81	87	91	95	97	98	100
29	5	5	6	8	11	14	18	24	30	37	44	52	60	68	75	82	88	92	95	97	99
28	6	5	5	6	8	11	14	19	24	30	37	45	53	61	69	76	83	88	93	96	98
27	7	6	5	5	6	8	11	14	19	24	31	38	46	54	62	70	77	84	89	93	96
26	9	7	6	5	5	6	8	11	15	19	25	32	39	47	55	63	71	78	84	89	93
25	12	9	7	5	5	5	6	8	11	15	20	26	32	39	47	55	63	70	77	84	89
24	15	12	9	7	5	5	5	7	9	12	15	20	25	32	39	46	54	62	70	77	83
23	19	15	12	9	7	5	5	5	6	8	11	15	19	24	31	38	45	53	61	69	76
22	25	19	15	12	9	7	6	5	5	6	8	11	14	18	24	30	36	44	52	60	68
21	31	26	21	16	12	10	7	6	5	5	6	8	10	13	17	23	29	35	43	51	59
20	39	33	27	22	17	13	10	8	6	5	5	6	7	9	13	17	21	27	34	41	49
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40

Een bijzonder aspect van de luchttemperatuur betreft de verticale temperatuurgradiënt, zoals die zich kan voordoen bij vloerkoeling. Volgens ISO 7730 moet dit verschil kleiner zijn dan 3°C.

De samenhang en uitwisselbaarheid tussen lucht- en stralingstemperatuur kan vereenvoudigd worden uitgedrukt door gebruik te maken van de operationele temperatuur. De operationele temperatuur (T_o) is de samenstelling van luchttemperatuur en stralingstemperatuur en is als volgt gedefinieerd:

$$T_o = \frac{\alpha_s \cdot T_{mrt} + \alpha_c \cdot T_l}{\alpha_s + \alpha_c}$$

met:

α_s = warmteoverdrachtscoëfficiënt van de mens voor straling [m^2K/W]

T_{mrt} = gemiddelde stralingstemperatuur [$^{\circ}C$]

α_c = warmteoverdrachtscoëfficiënt van de mens voor convectie [m^2K/W]

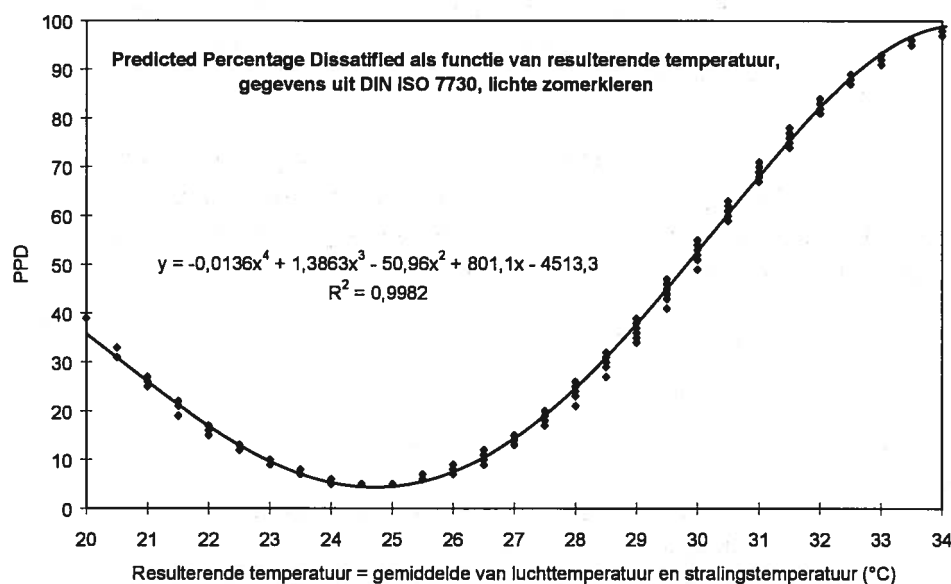
T_l = binnenluchttemperatuur [$^{\circ}C$]

Indien we aannemen dat de mens evenveel warmte verliest aan straling als aan convectie, dan ontstaat de resulterende temperatuur:

$$T_r = \frac{T_{mrt} + T_l}{2}$$

Deze benadering is verantwoord bij luchtsnelheden $<0,4$ m/s en een gemiddelde stralingstemperatuur die lager is dan 50°C.

Combinatie van deze formule met bovenstaande tabel geeft het verband tussen behaaglijkheid, stralingstemperatuur en luchttemperatuur. Dit kan uitgedrukt worden in onderstaande grafiek, die laat zien dat optimaal comfort wordt bereikt bij een resulterende temperatuur van circa 25°C.



Figuur 8 Predicted Percentage Dissatisfied (PPD) als functie van de comforttemperatuur.

De luchtsnelheid is niet van belang bij snelheden onder 0,1 m/s, waarnaar normaal gesproken gestreefd wordt. Echter, onder warme omstandigheden kan een hogere luchtsnelheid juist als behaaglijk ervaren worden. Op deze wijze kan met beperkte klimatisering (=laag energieverbruik) toch voldoende klimatisering bereikt worden.

Bij langdurig zittend verblijf moet volgens ISO 7730 de vloertemperatuur liggen tussen 19°C en 29°C. De minimumtemperatuur is noodzakelijk voor het thermisch comfort maar ook vanwege de voorkoming van condensatie.

Criteria voor luchtverversing en ventilatie

De minimale benodigde luchtverversing voor kantoorvertrekken is vastgelegd in de Arbowet op 30m³/uur per persoon. De Rijksgebouwendienst hanteert een minimum van 40m³ per uur per persoon vanwege rokers. Volgens het "onderzoek naar minimum verse luchttoevoer" [7] is een minimale luchtverversing van 35 m³ per uur per persoon noodzakelijk om geurhinder voldoende te voorkomen.

Conclusie

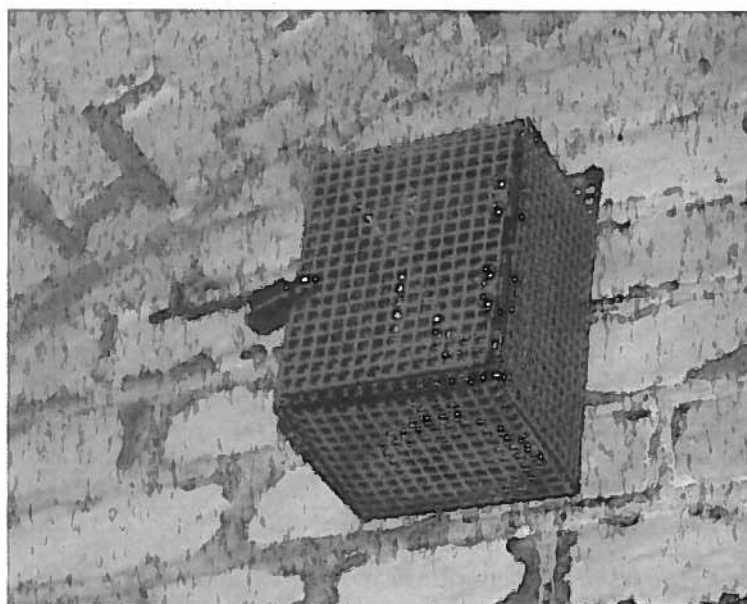
De in paragraaf 0 uit [2] en [3] genoemde minimum luchtverversing van 5 m³ per uur per persoon is onjuist. Een minimum van 30 to 40 m³ per persoon per uur is noodzakelijk.

Nulmeting binnenklimaat

Op het Fort bij Vechten zijn diverse metingen verricht in verwarmde en onverwarmde ruimten om de uitgangssituatie in kaart te brengen. De bouwwijze van de forten in de NHW is min of meer standaard waardoor de metingen als representatief kunnen worden beschouwt voor alle forten in de NHW. Er zijn metingen verricht met dataloggers die elk uur de temperatuur en in drie gevallen temperatuur en relatieve luchtvochtigheid registreren. De dataloggers zijn op 26 februari 2001 geplaatst in speciaal door medewerkers van de Stichting Werk van de Linie geconstrueerde kooien om verstoring van de metingen te voorkomen. Een overzicht van de meetpunten is opgenomen in Tabel 5.

Tabel 5 Meetpunten nulmeting klimaatonderzoek

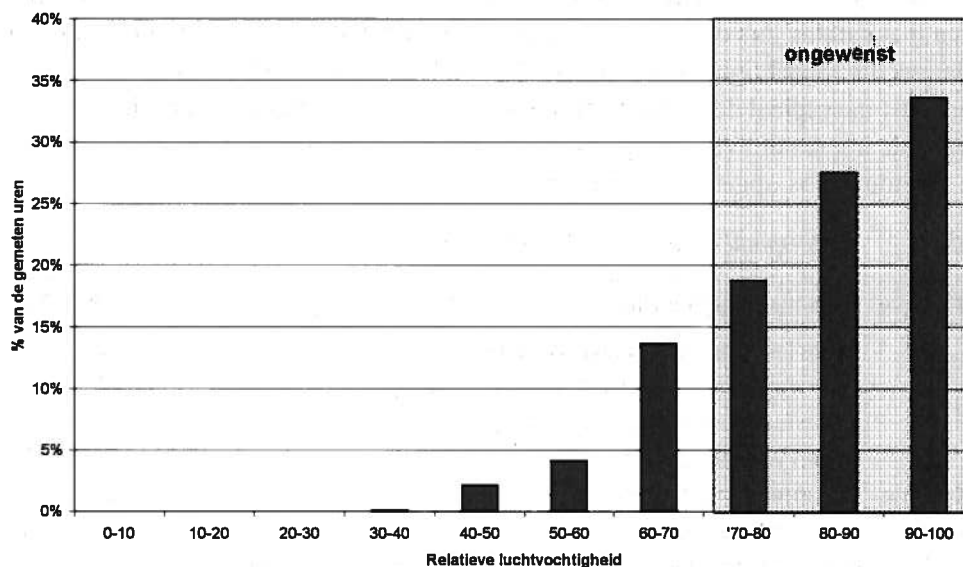
Gebouw	Omschrijving lokatie	Nr.	T/RV
H	Grote feestruimte middenin achterin	268	T/RV
H	Grote feestruimte, aansluiting gang - batterij	501	T
H	Grote feestruimte buskruit magazijn	497	T
H	Buiten voor de grote feestruimte	512	T
Kazerne	Kazerne verhuurde ruimte	266	T/RV
Kazerne	Kazerne lege ruimte	505	T
G	Noordelijk gelegen batterij, dakdekkers, middenin achterin	267	T/RV
G	Noordelijk gelegen batterij, dakdekkers, aansluiting gang - batterij	504	T
L	Smederij	514	T
I	Logement I Management Training	513	T
T	Remise (niet in gebruik)	509	T



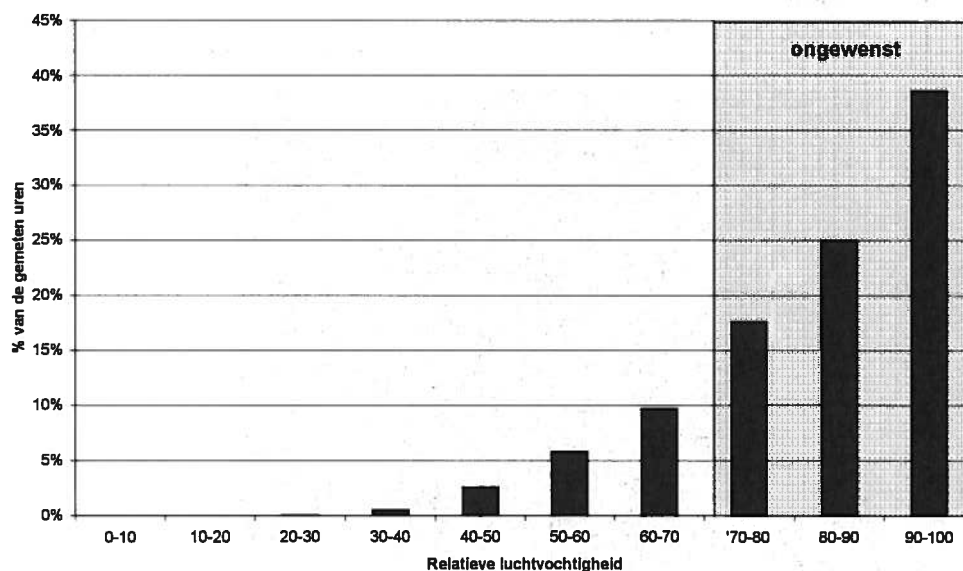
Figuur 9 Datalogger in kooi

De metingen zijn vervolgens vergeleken met gegevens over de bezetting van de ruimten om conclusies te kunnen trekken.

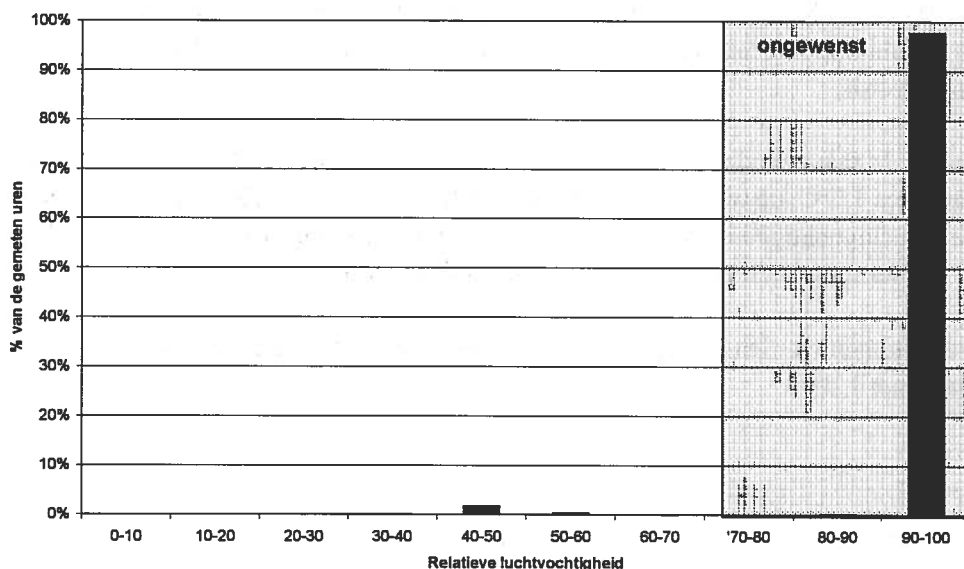
Uit figuur 10, 11 en 12 blijkt dat er inderdaad een vochtprobleem bestaat in de verschillende ruimten. Een als problematisch te beschouwen relatieve luchtvochtigheid van meer dan 70% treedt 80% van de meetperiode op in de grote feestruimte. Bij de dakdekkers (figuur 12) is dit zelfs 98% van de tijd het geval.



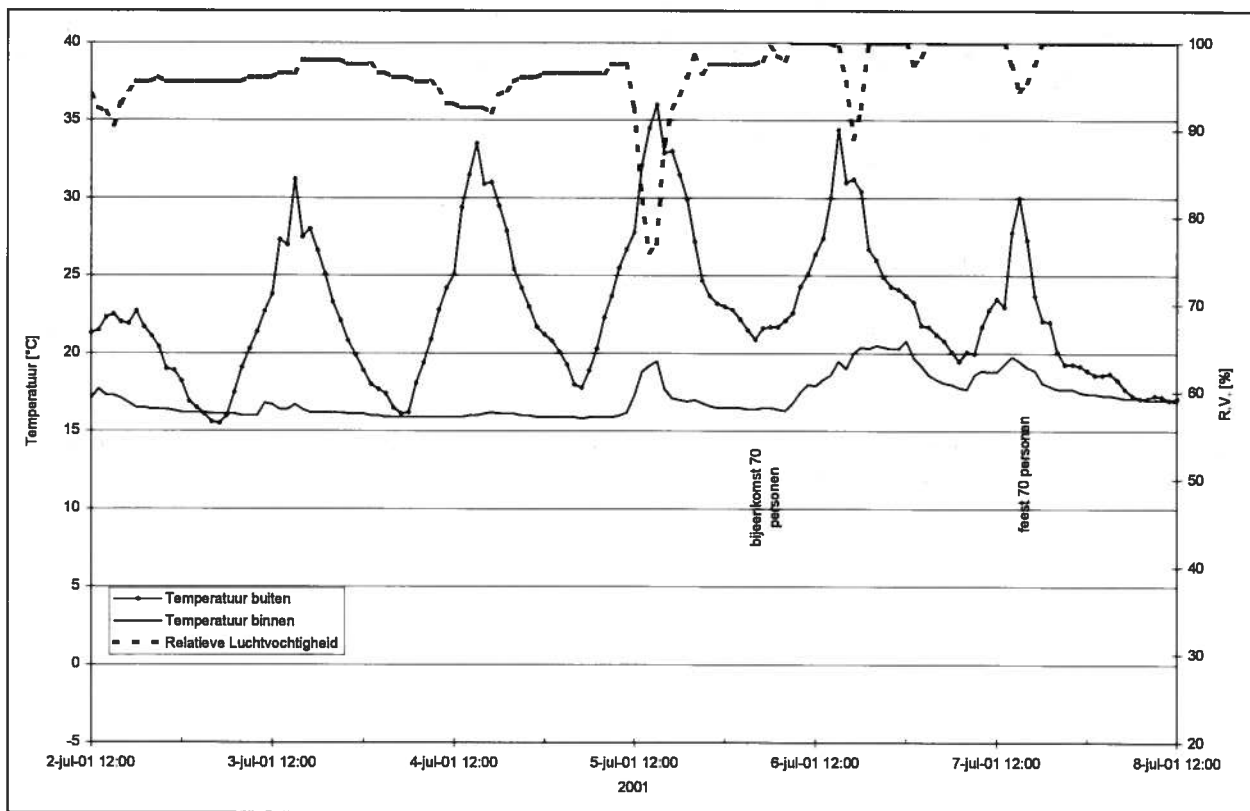
Figuur 10 Histogram van de relatieve luchtvochtigheid in reversbatterij H (grote feestruimte) fort bij Vechten; meetpunt 268



Figuur 11 Histogram van de relatieve luchtvochtigheid in de kazerne, verhuurde ruimte op het fort bij Vechten; meetpunt 266.



Figuur 12 *Histogram van de relatieve luchtvochtigheid in reversbatterij G (dakdekkers) op fort bij Vechten; meetpunt 267*

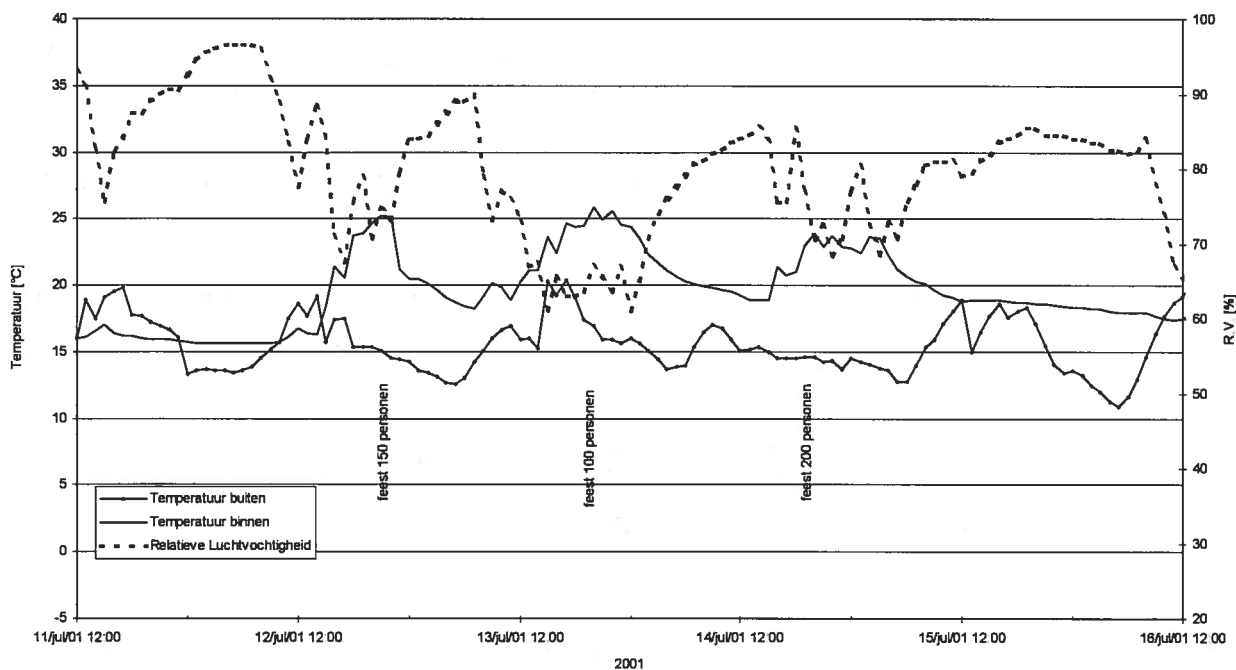


Figuur 13 *Temperaturen binnen en buiten en relatieve luchtvochtigheid tijdens een feest; meetpunt 268*

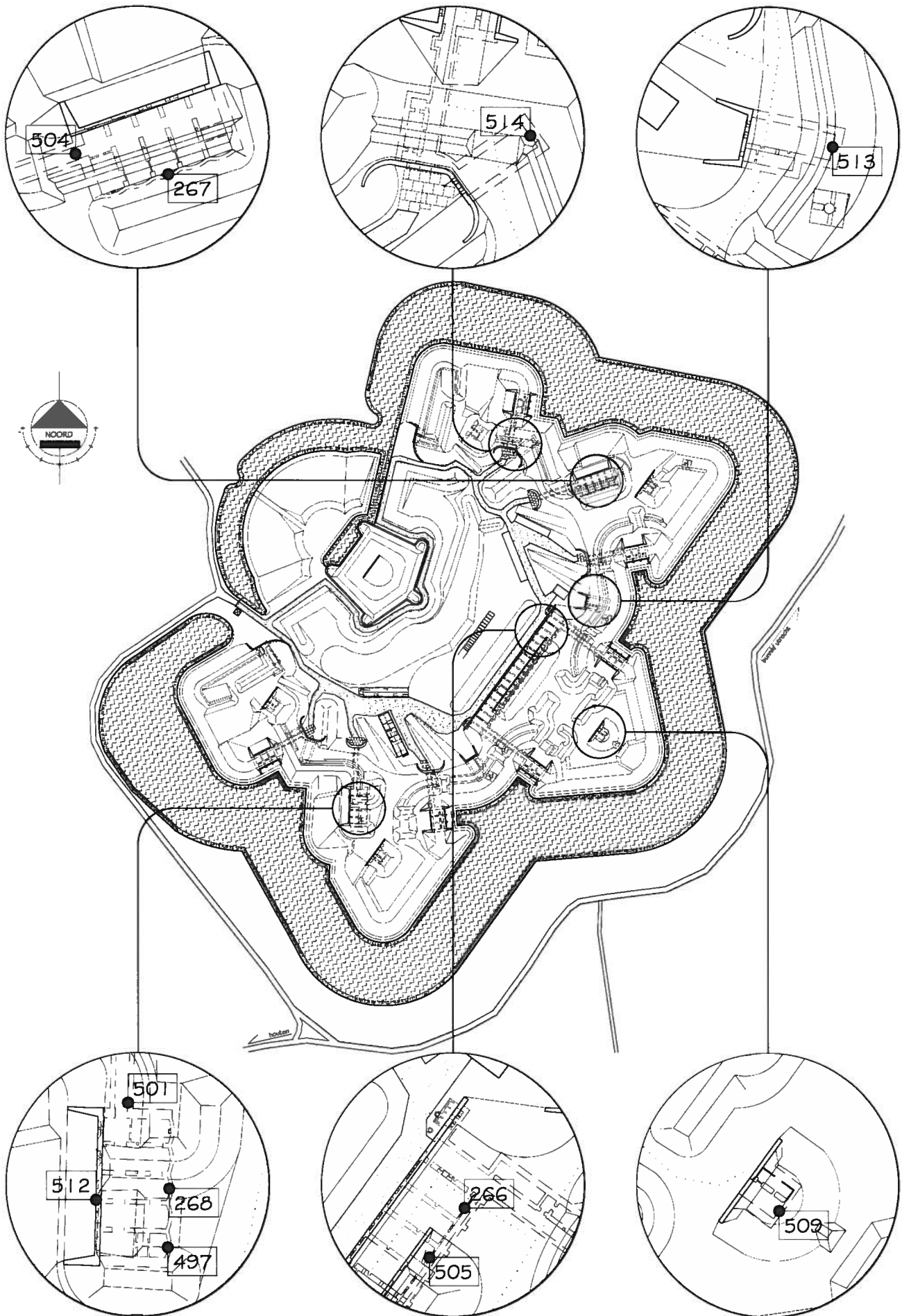
Uit figuur 13 blijkt dat zelfs bij een feest van 70 personen en zeer warm weer geen oververhitting ontstaat, terwijl de relatieve luchtvochtigheid wel ontoelaatbaar hoog wordt.

Figuur 14 laat zien dat bij feesten van 100 tot 200 personen bij buitentemperaturen van circa 15 °C, de binnentemperatuur slechts 5 °C stijgt tot 20°C, terwijl de relatieve luchtvochtigheid met 70 tot 80% te hoog is maar geen 100%. Niet bekend is of verwarming heeft plaatsgevonden tijdens deze feesten.

De metingen worden uitgebreider gerapporteerd als jaarrondmetingen in maart/april 2002.



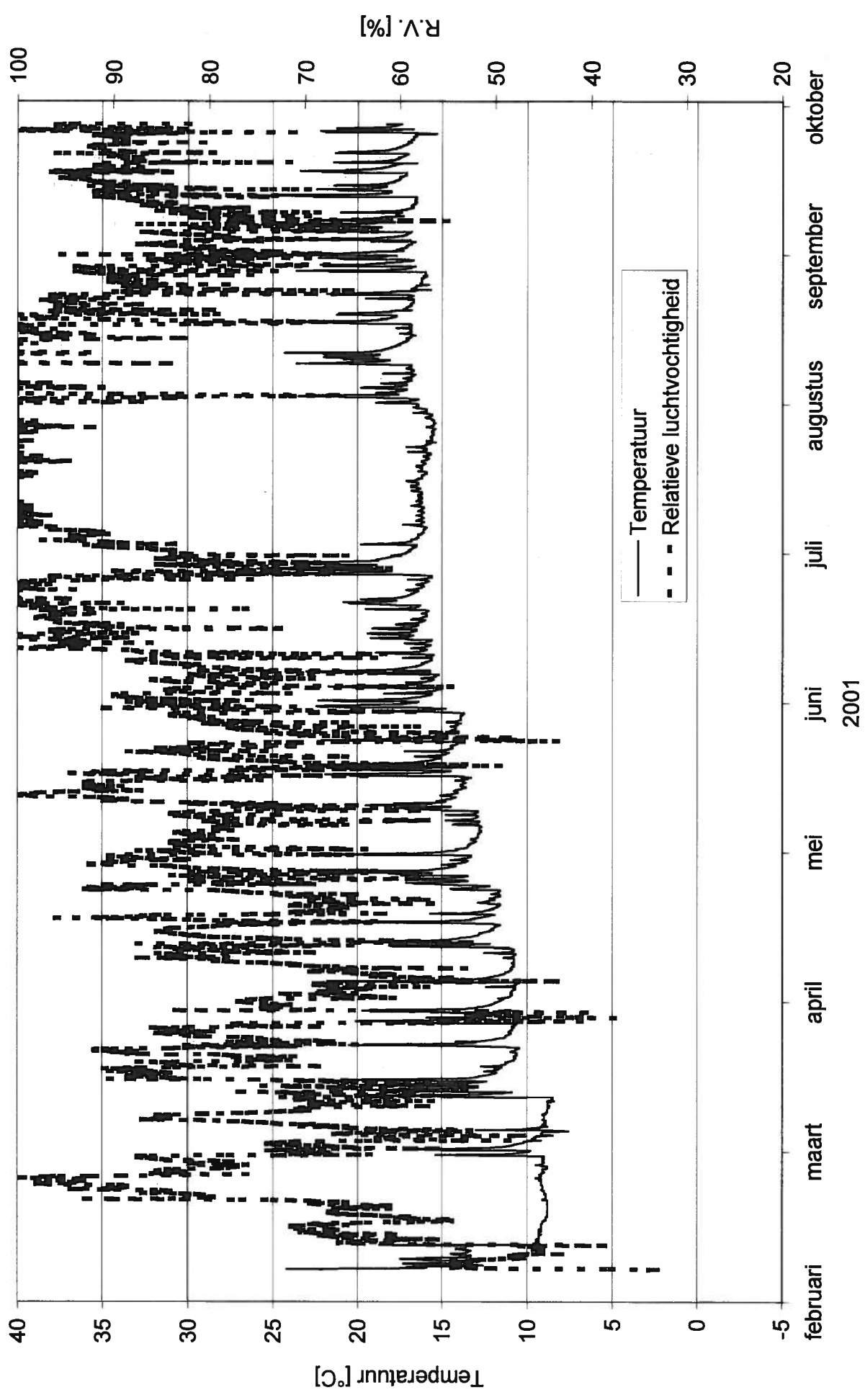
Figuur 14 Temperaturen binnen en buiten en relatieve luchtvochtigheid in reversbatterij H, fort bij Vechten, tijdens feesten; meetpunt 268

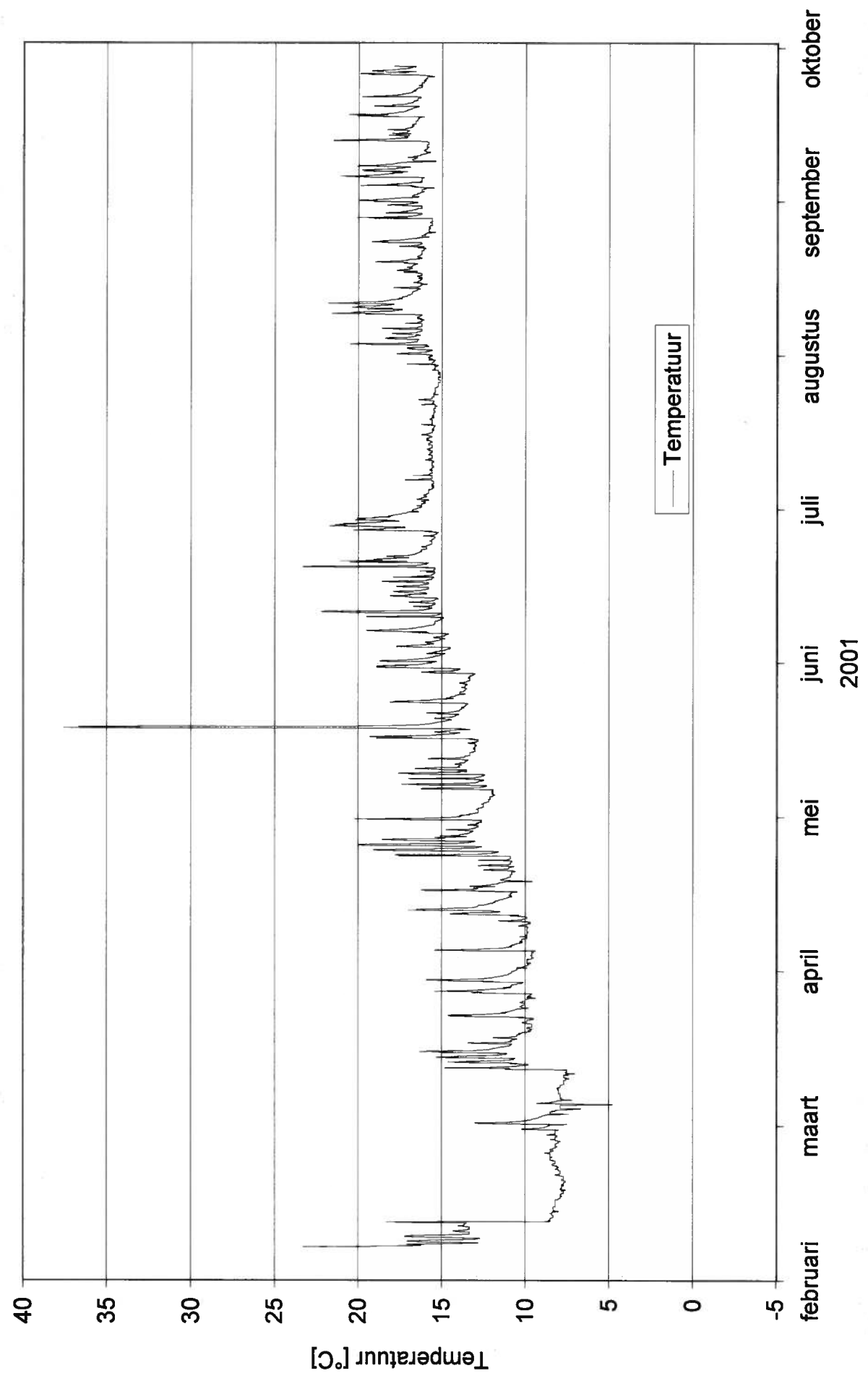


opstelling TNO dataloggers klimaatonderzoek grondgedekte gebouwen

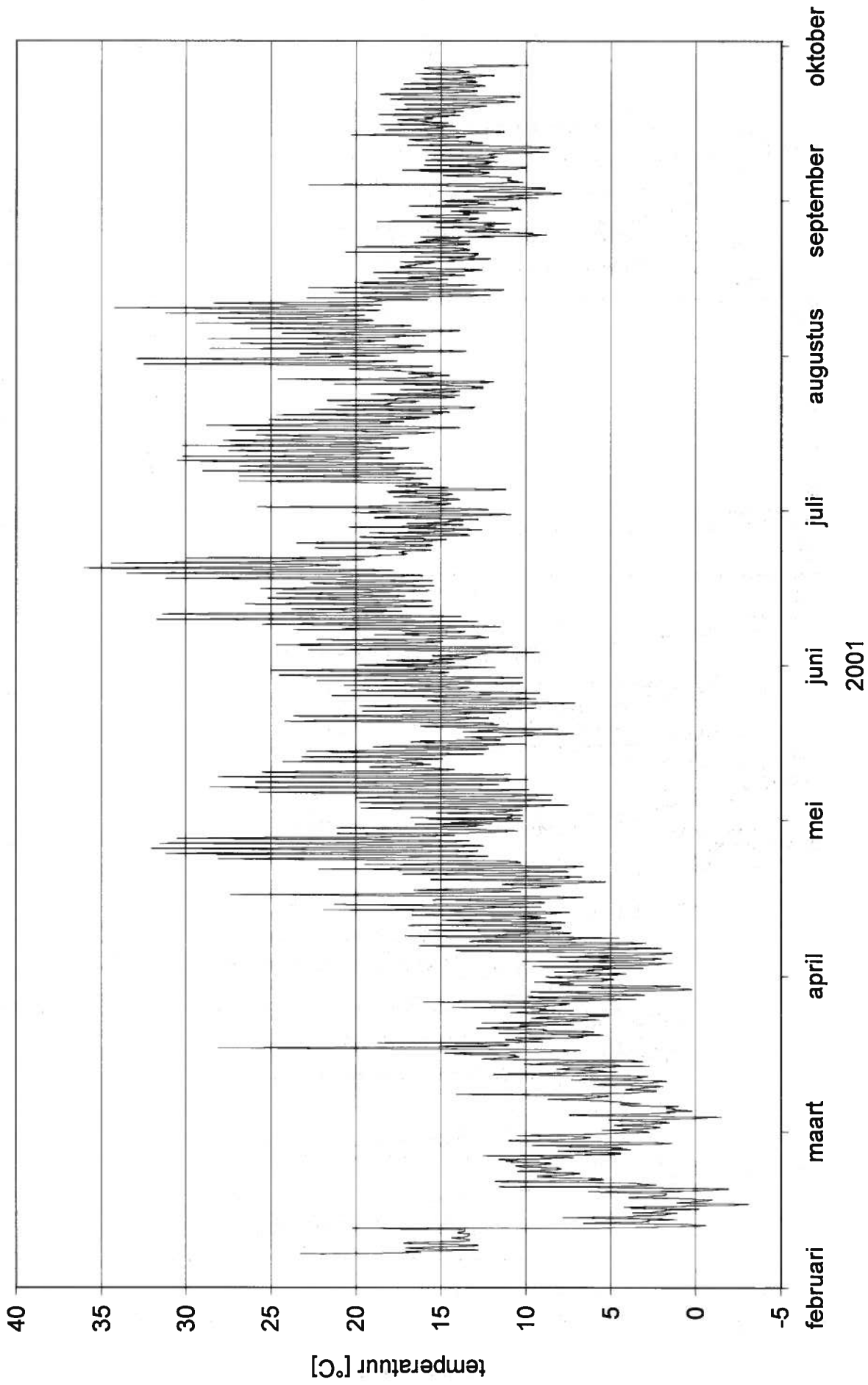
**Bijlage 3 Metingen Fort Vechten Metingen van de
temperatuur en in drie gevallen de relatieve
luchtvochtigheid, als functie van de tijd**

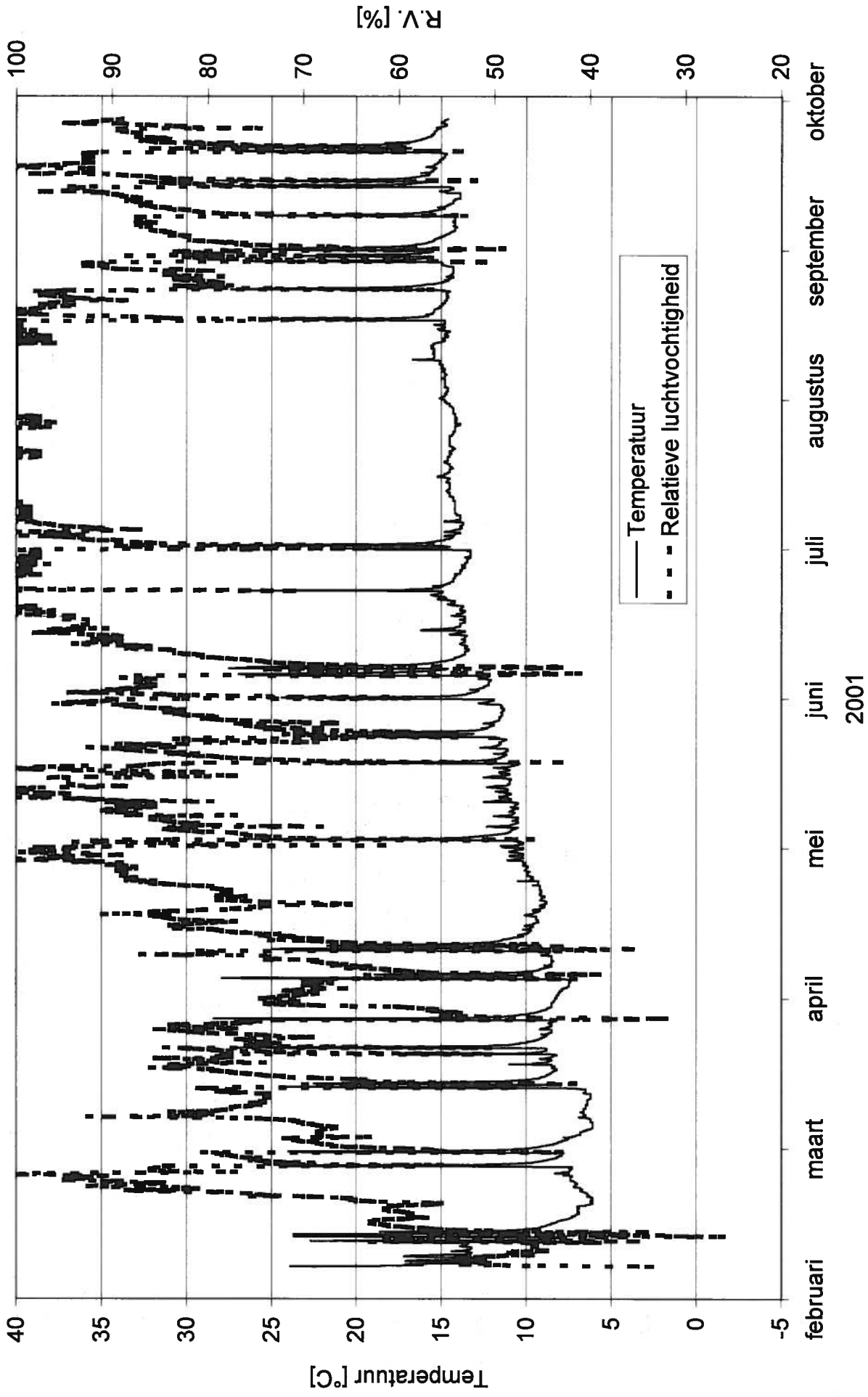
Meetperiode 21 februari – 29 juni 2001

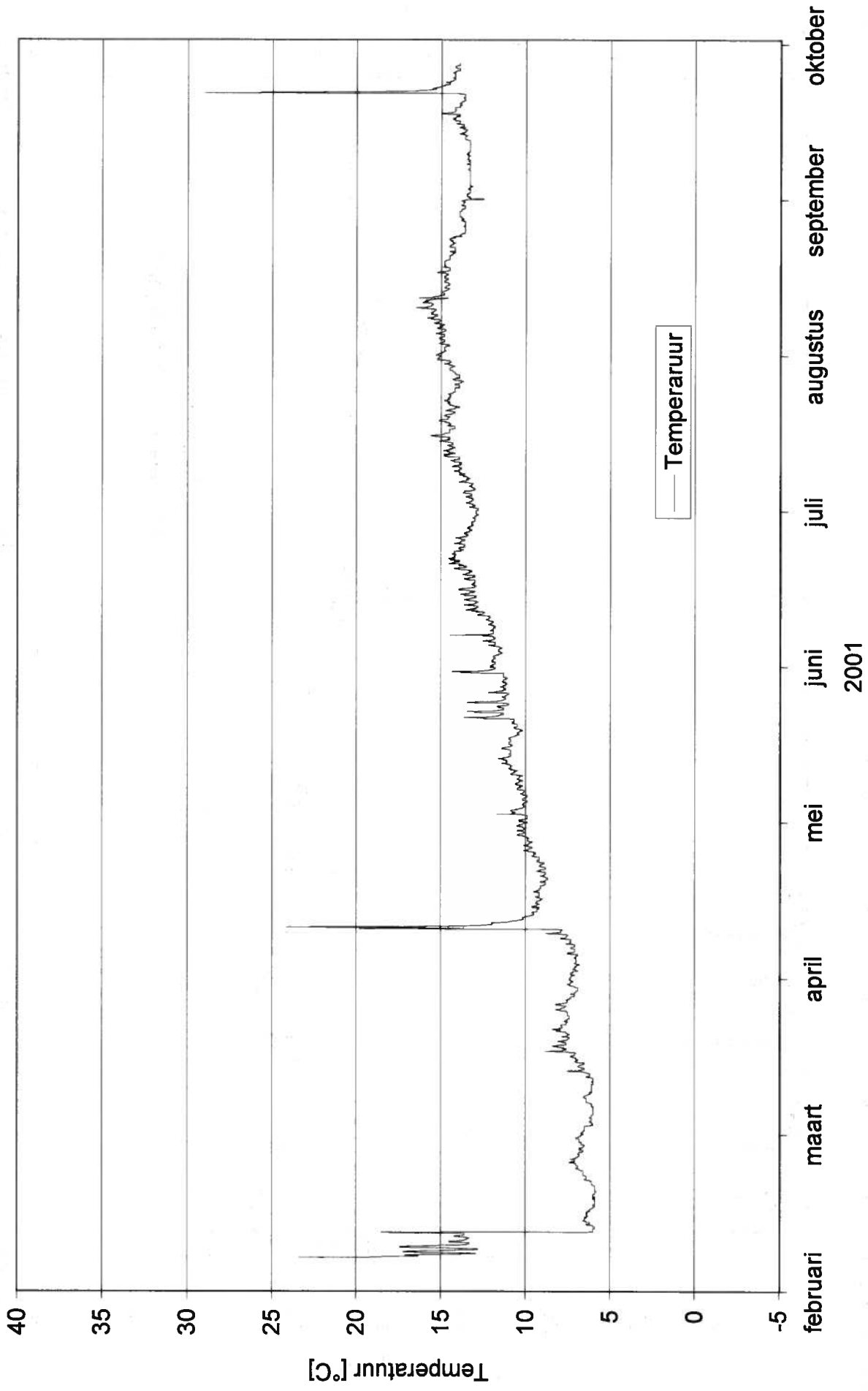


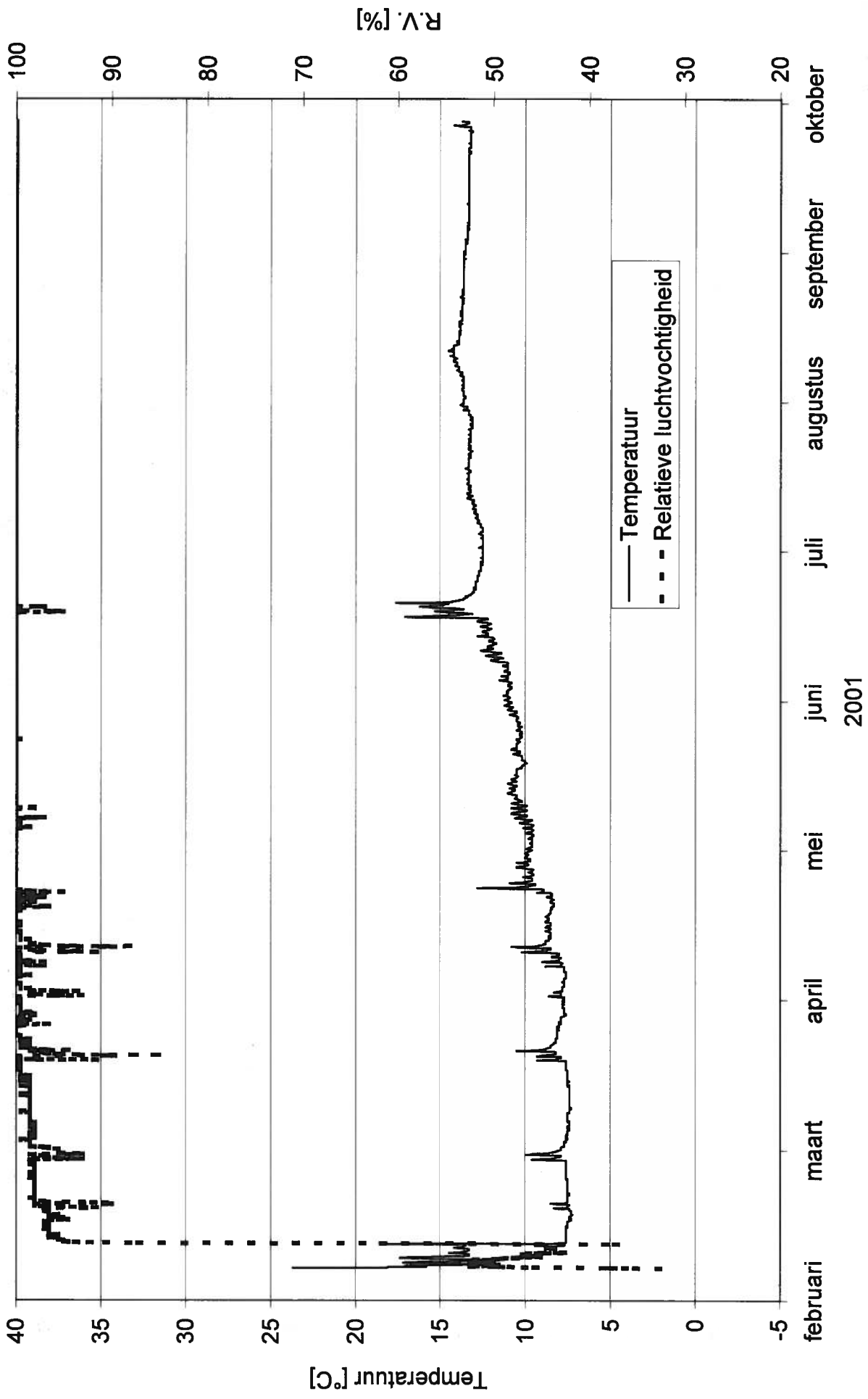


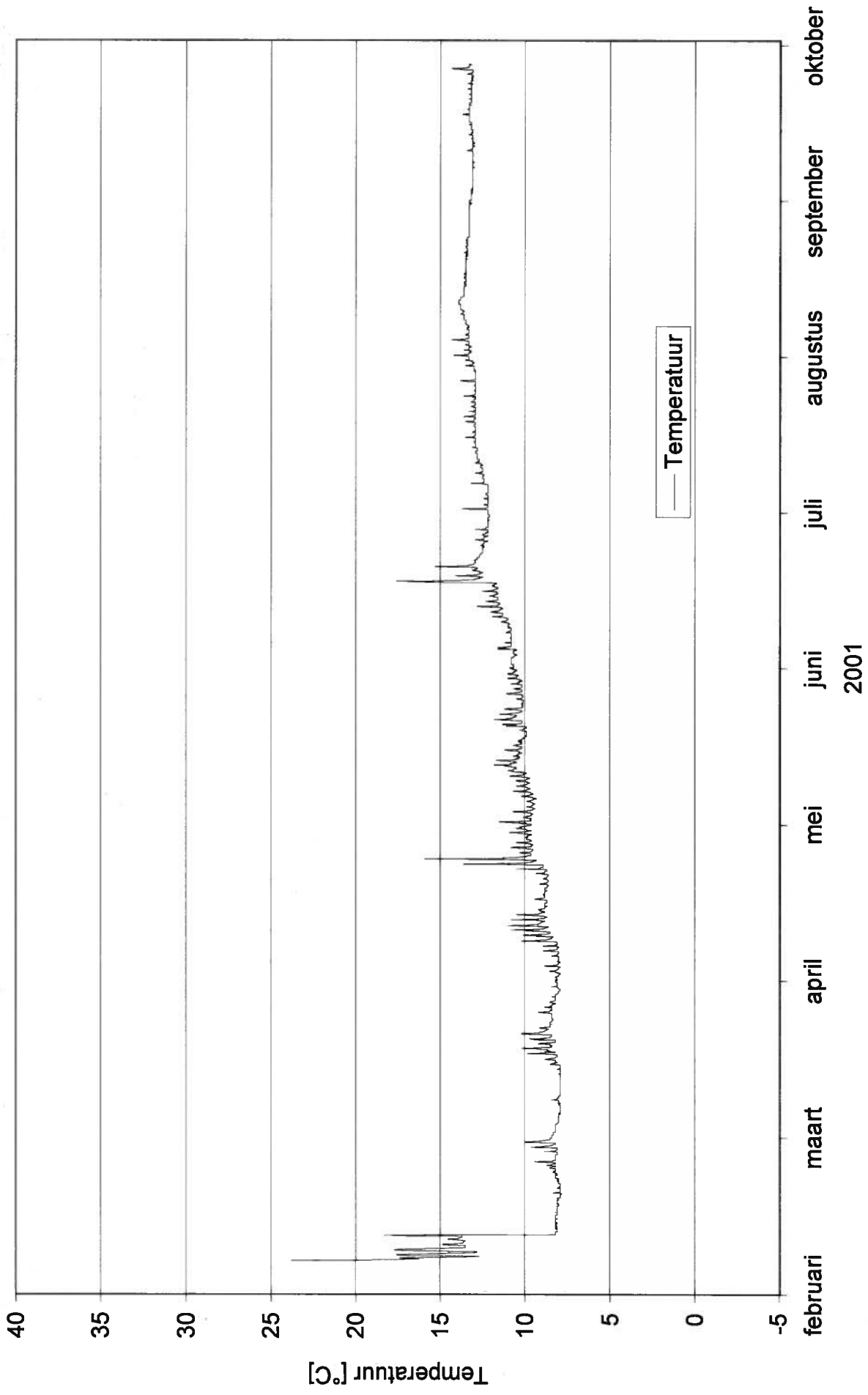


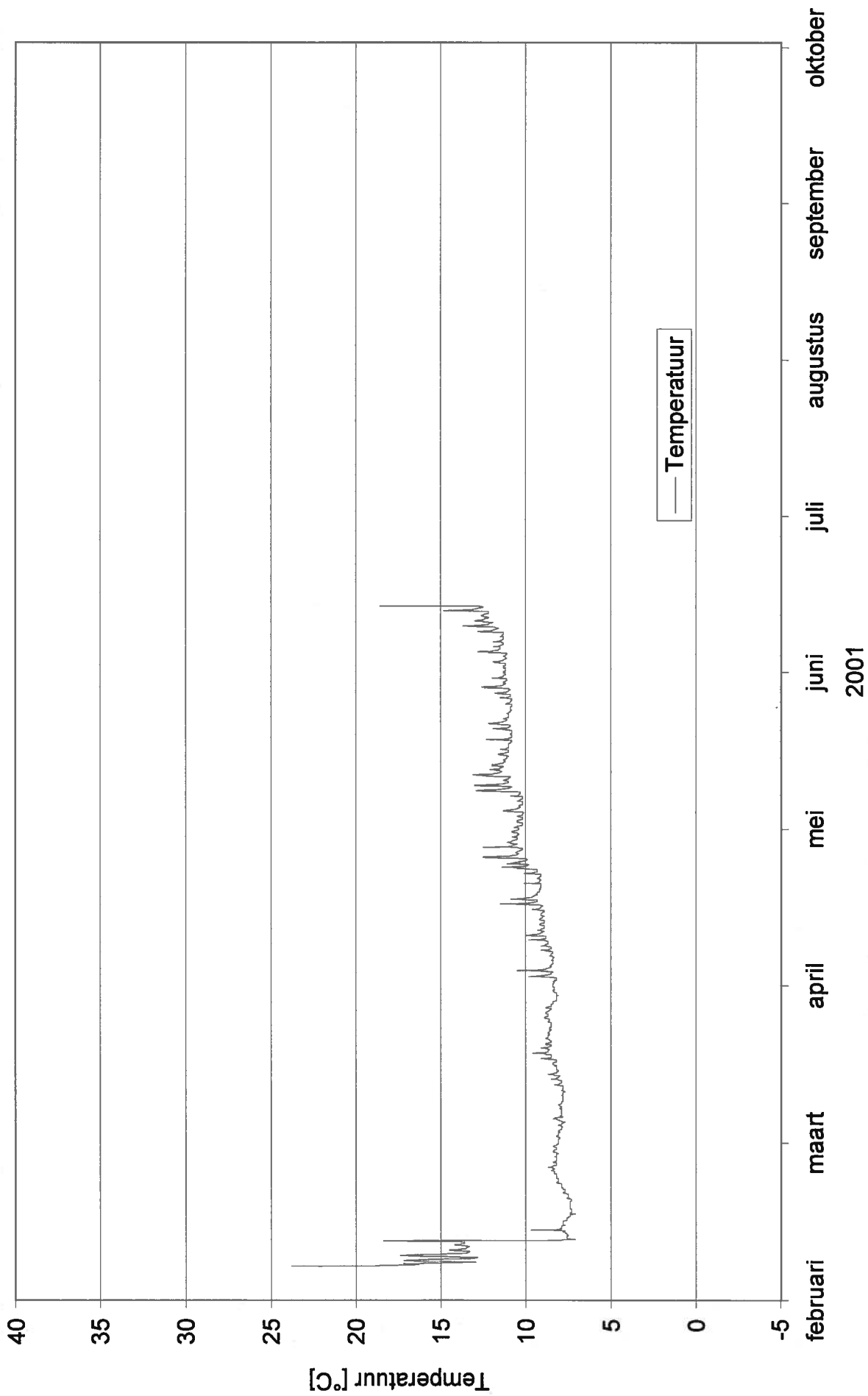


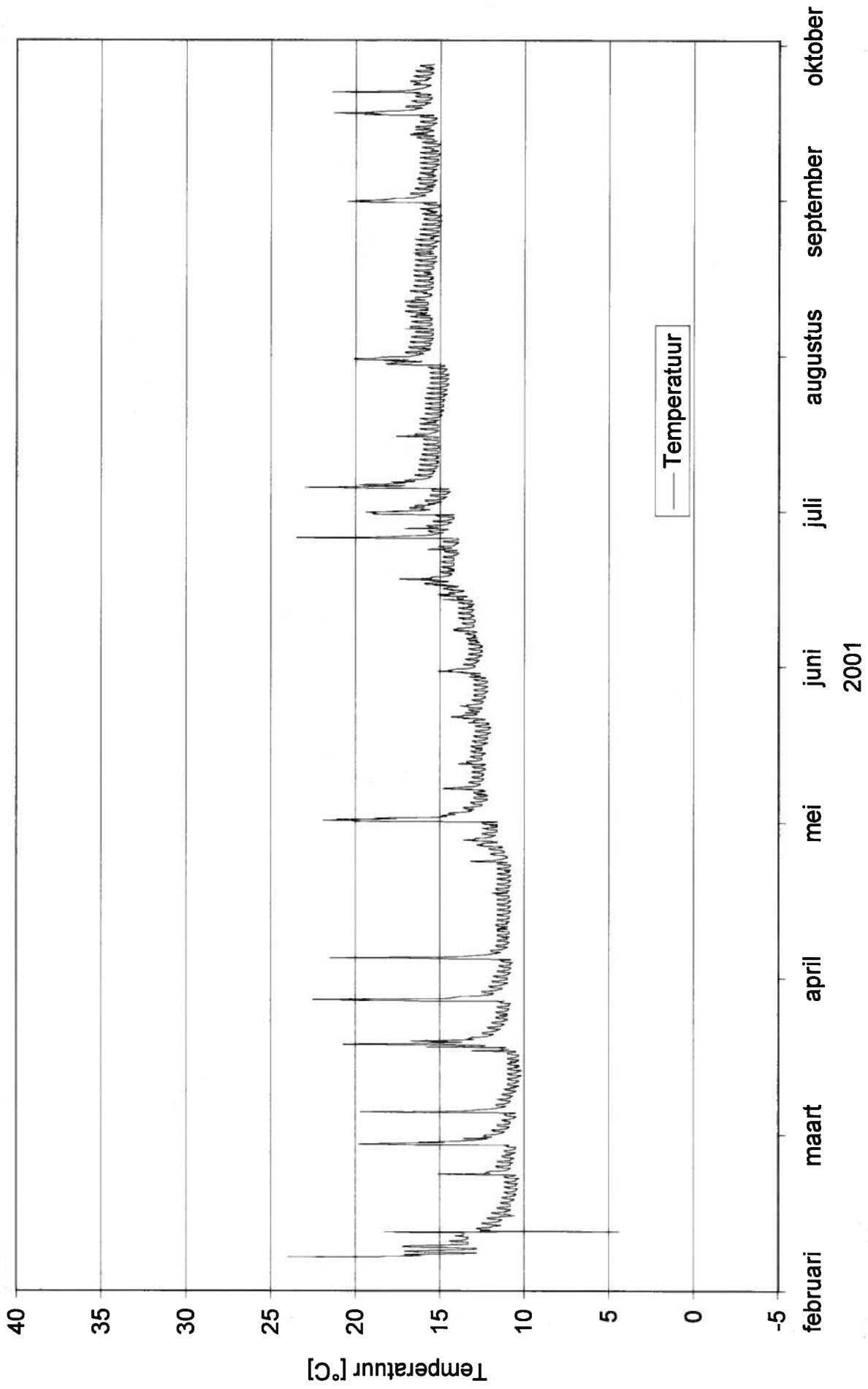


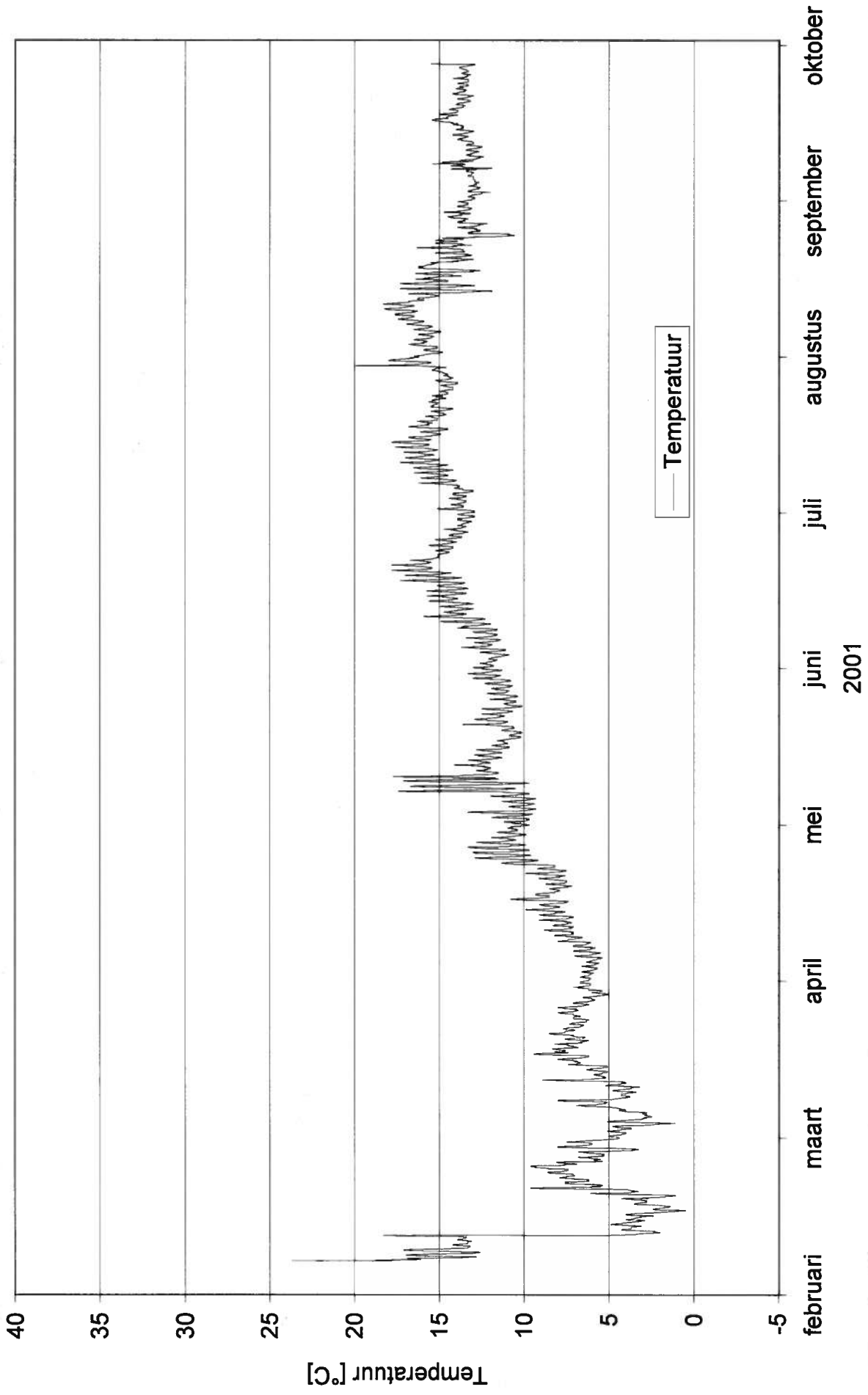






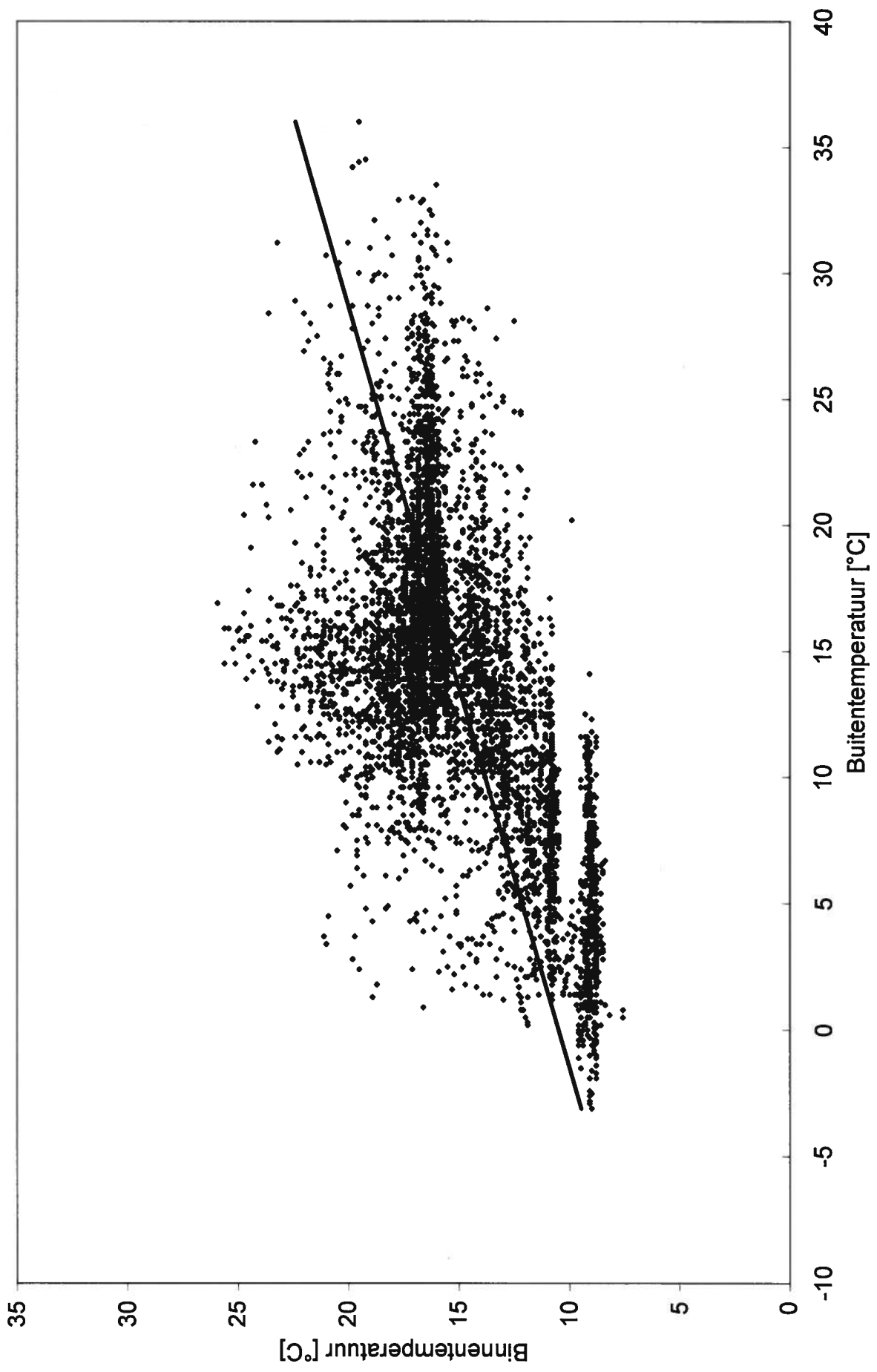


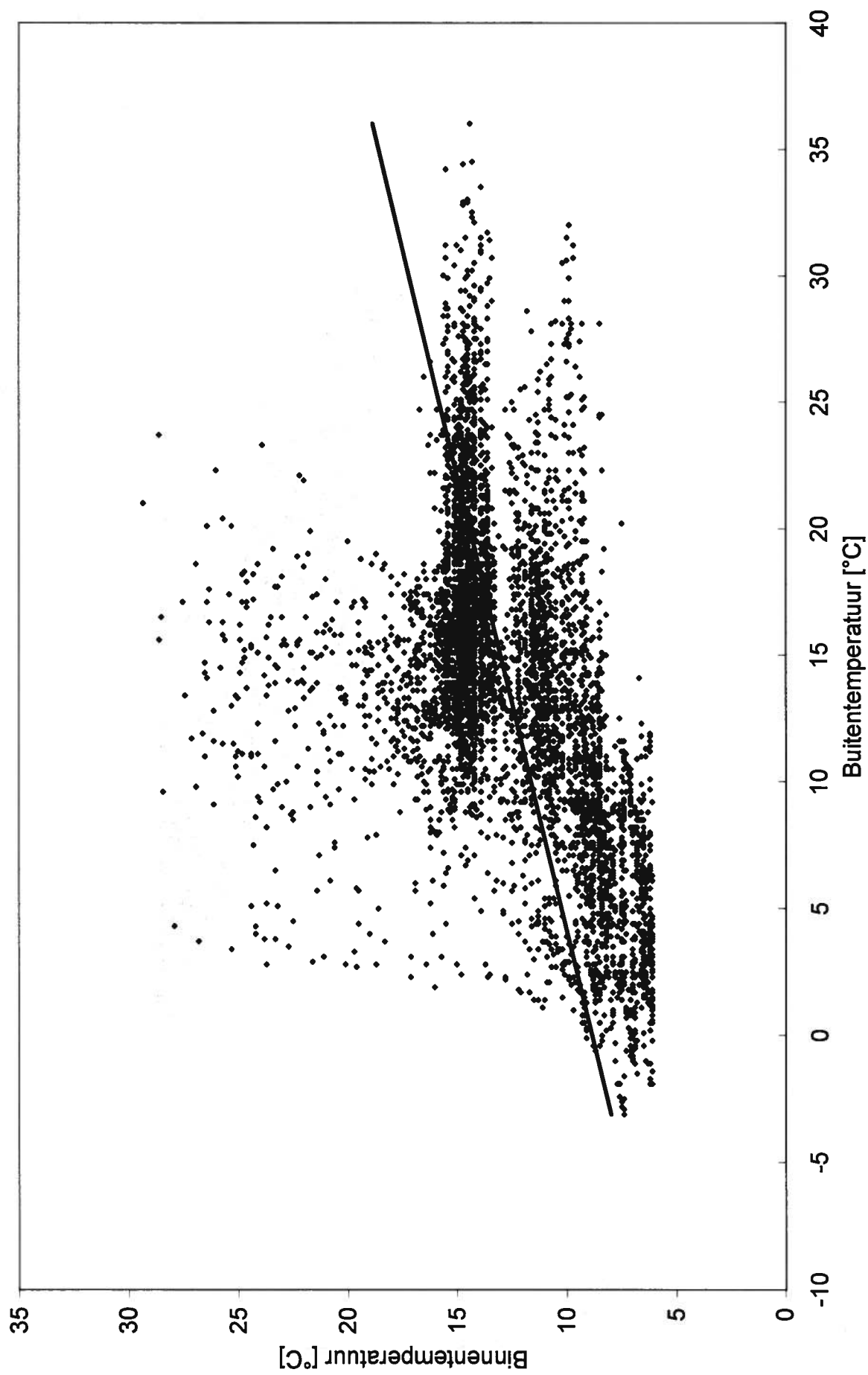


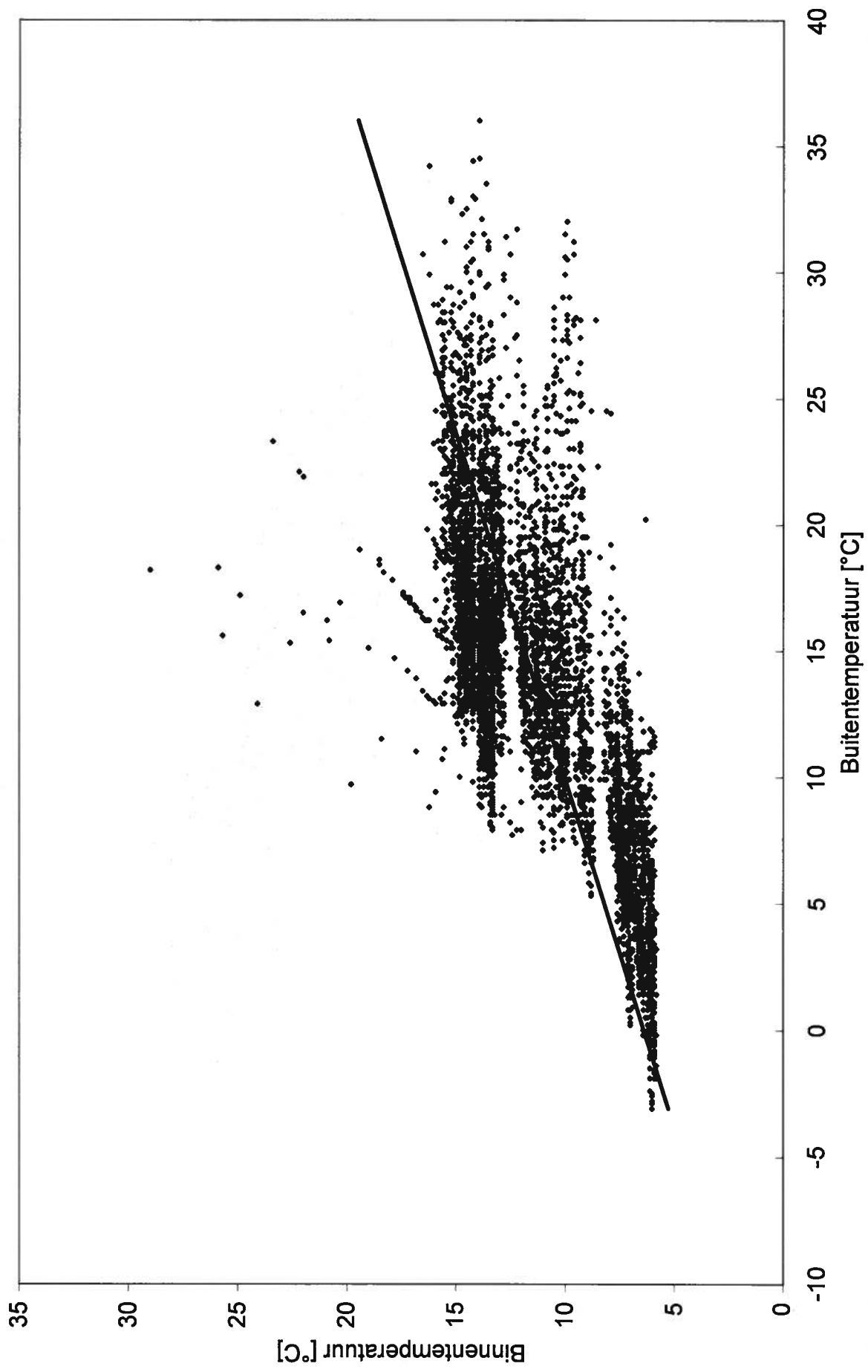


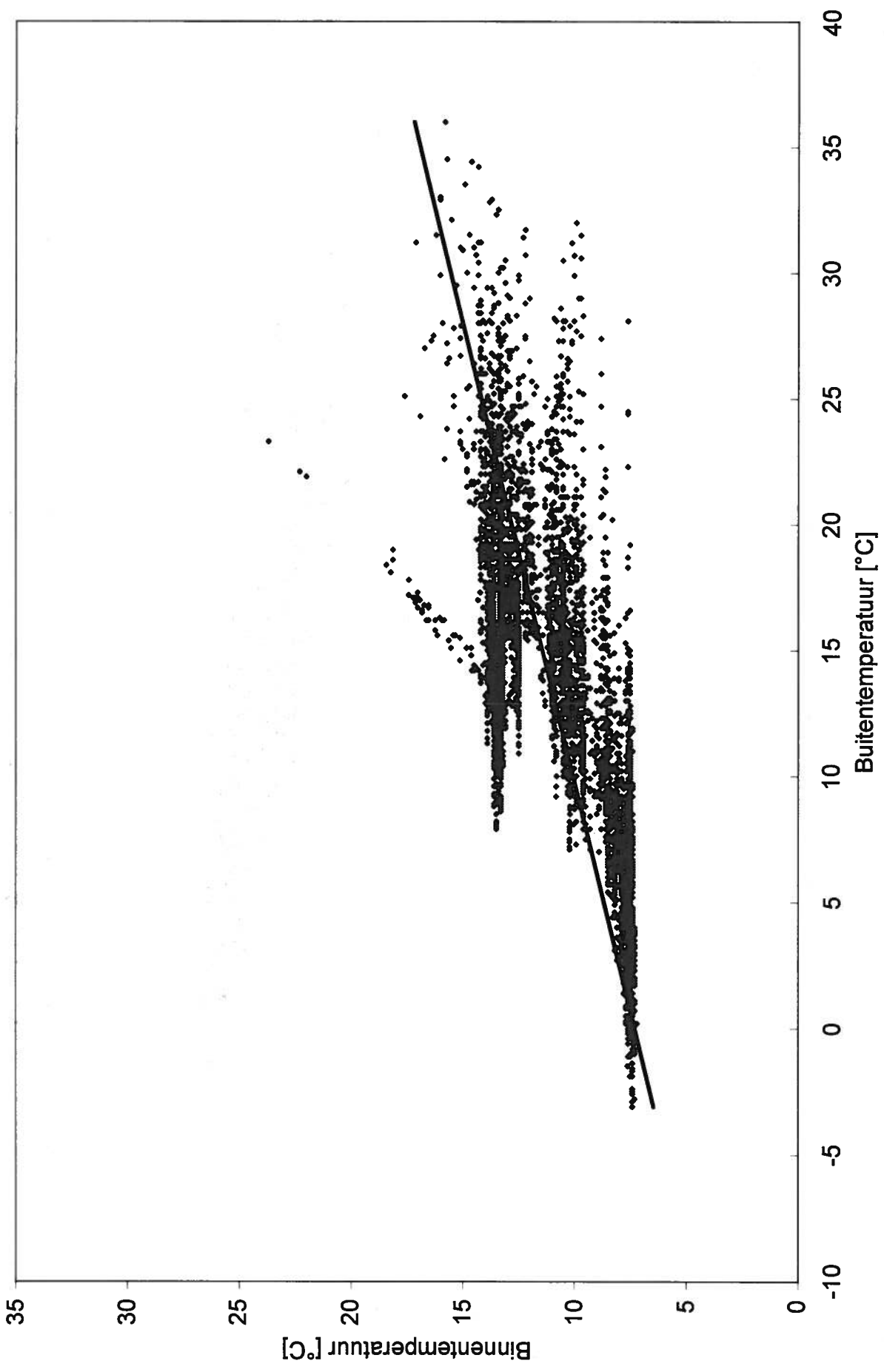
Bijlage 4 Uitgewerkte metingen Fort Vechten; Grafieken van de binnentemperatuur tegen de buitentemperatuur

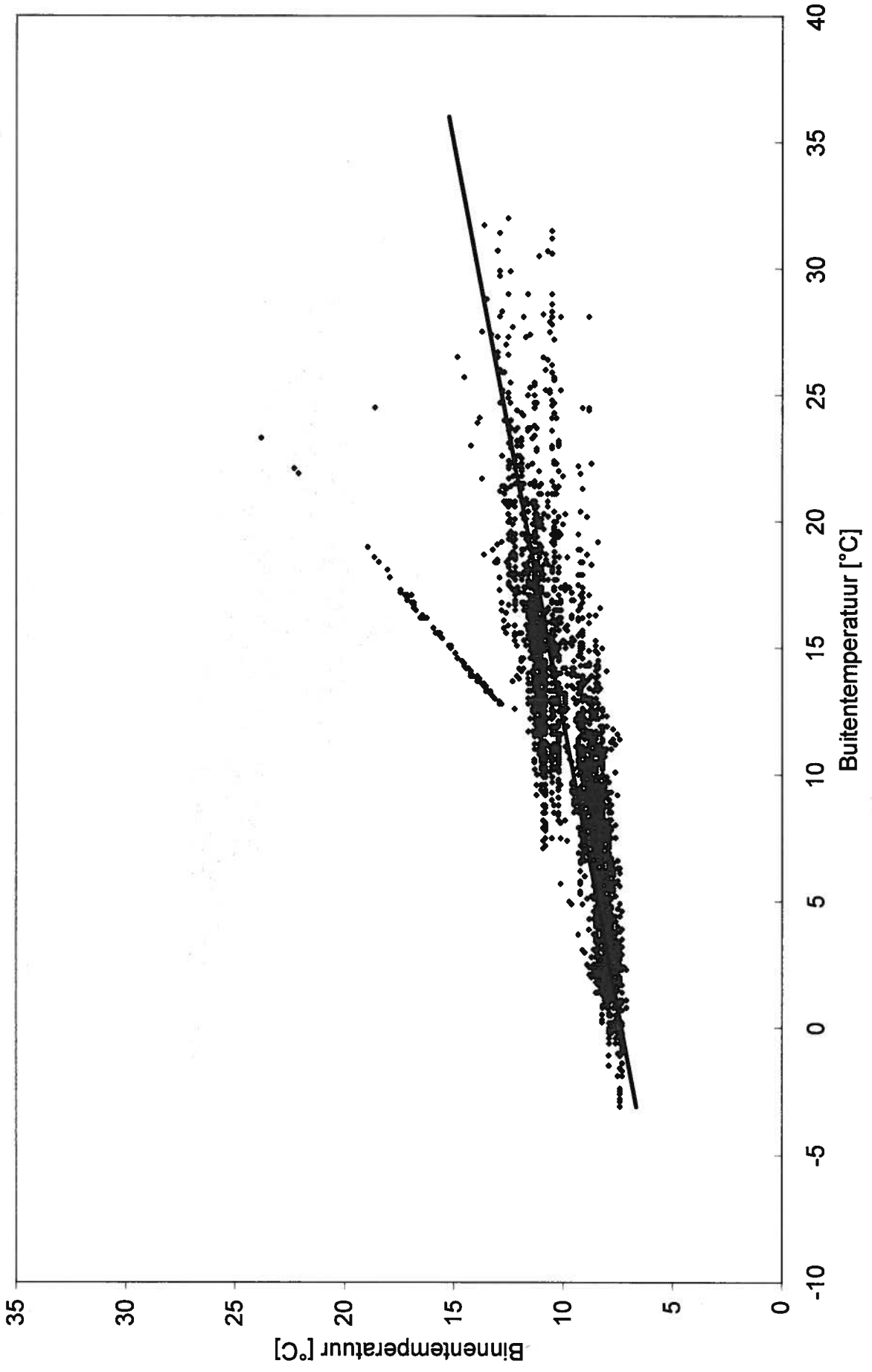
Meetperiode 21 februari – 29 juni 2001

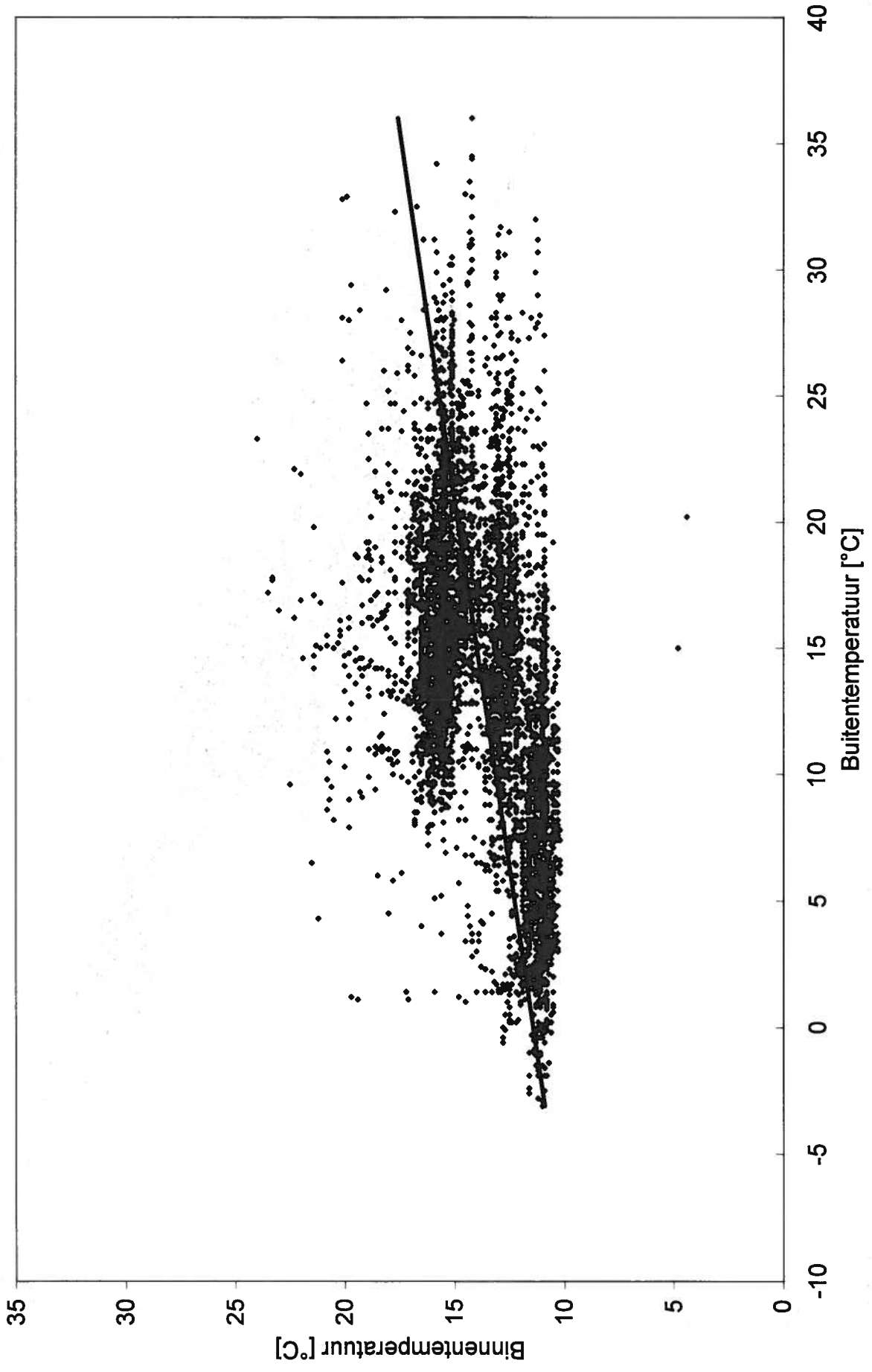


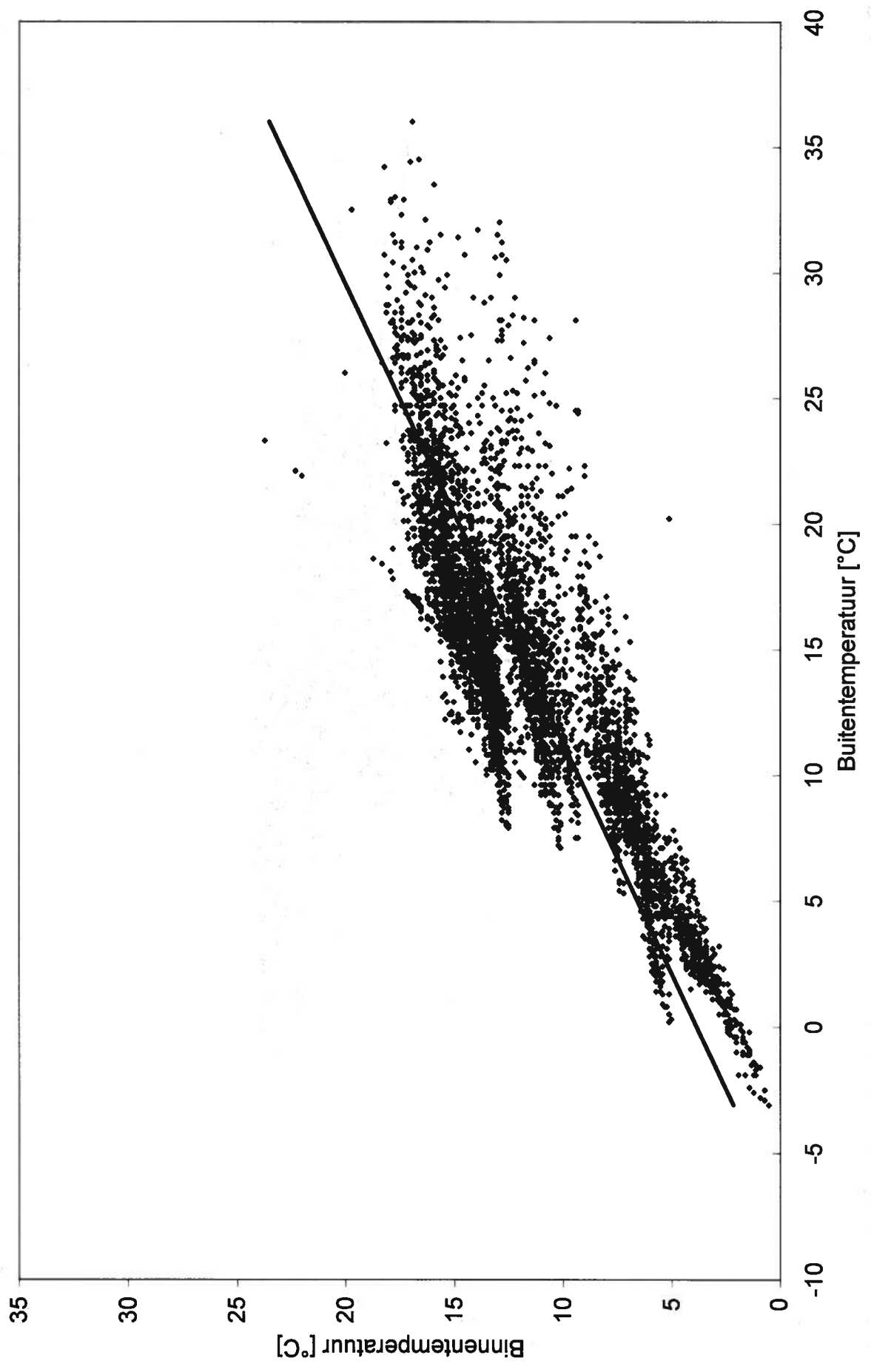






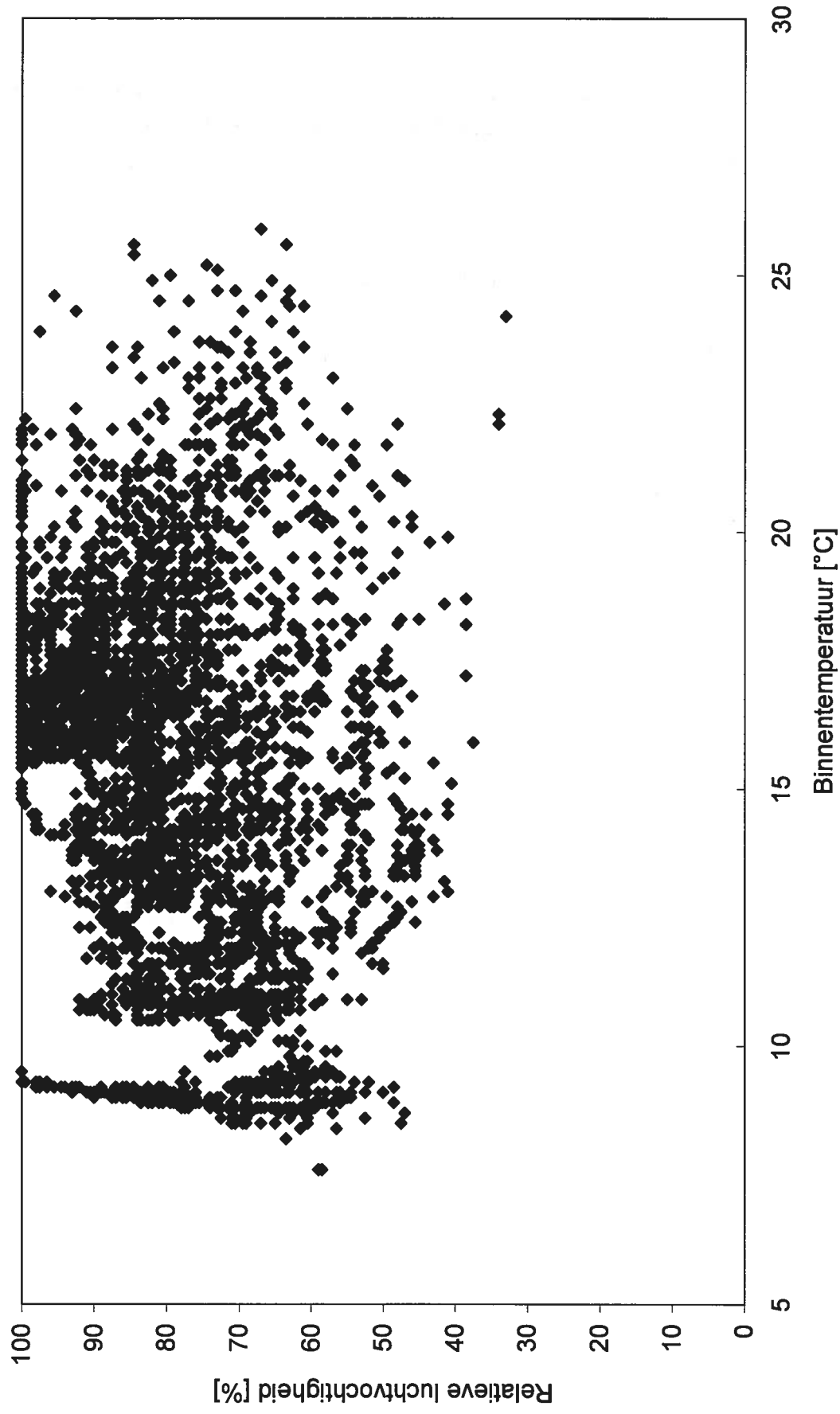


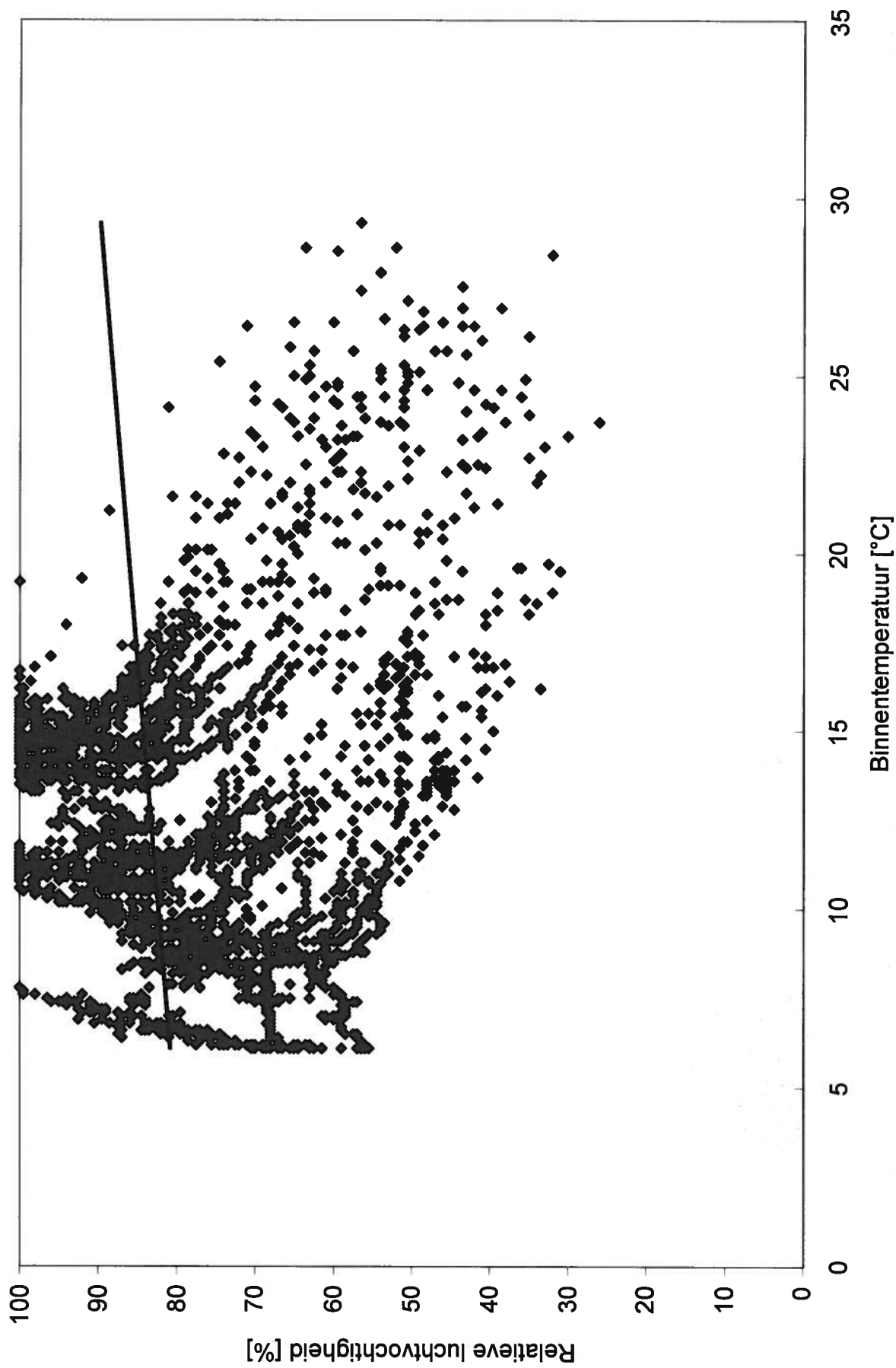


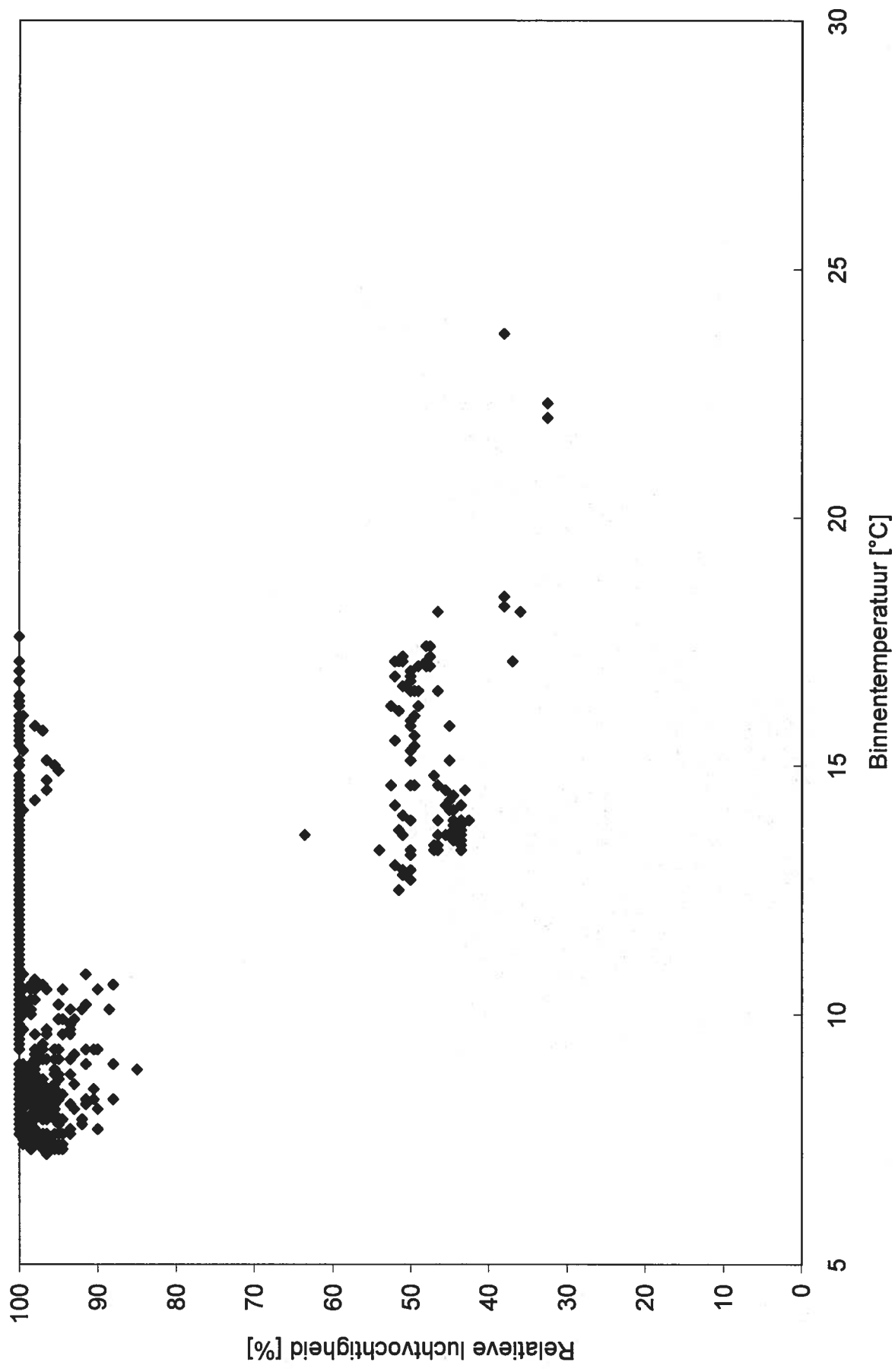


**Bijlage 5 Uitgewerkte metingen Fort Vechten; Grafieken van
de relatieve luchtvochtigheid tegen de
binnentemperatuur in een ruimte.**

Meetperiode 21 februari – 29 juni 2001







Bijlage 6 Berekningen

Gebouwsimulatie

Bij het opzetten van een gebouwinstallatie wordt in de regel gebruik gemaakt van gebouwsimulatiesoftware. Hiermee wordt de hoofdkenmerken van het gebouw in een softwarepakket geprogrammeerd, waarna voorspeld kan worden welke warmte- en koudevraag zich voordoen, afhankelijk van de buitencondities. Op deze wijze kan het verloop van de vraag naar verwarming en koeling gedurende een standaard referentiejaar worden voorspeld en kan een gefundeerde keuze worden gemaakt voor een geschikte installatie van de juiste grootte. De software dient als ondersteuning van het ontwerpproces maar ook als mogelijkheid om het energieverbruik van een gekozen installatie te voorspellen. Optimalisatie vindt plaats door wijziging van de gebouwkenmerken, zoals bijvoorbeeld de mate van isolatie en door veranderingen aan de installatie.

Er zijn verschillende pakketten op de markt, die alle gebruik maken van zogenaamde semi-stationaire modellering. Daarbij wordt het jaar verdeeld in uren en wordt voor elk uur de warmtebalans over het gebouw uitgerekend, onder de veronderstelling dat binnen dat uur geen veranderingen optreden. Er wordt gedaan alsof er geen dynamische effecten optreden. Men houdt geen rekening met de invloed van warmteopslag in de gebouwmassa. Dit is verantwoord zolang sprake is van dunne wanden met een lage zogenaamde thermische massa. De thermische massa wijst op het materiaal van het gebouw dat warmte kan bufferen. Het niet meenemen van deze invloed is het gevolg van de complexiteit van de benodigde dynamische modellering. In moderne energiezuinige gebouwen is de thermische massa wel degelijk van invloed. Deze invloed wordt opgevangen door de ervaring van de installateur, en de gebruiker die bijvoorbeeld weet dat hij geen nachtverlaging onder 15°C moet toepassen, omdat het anders te lang duurt voordat de ruimte weer opgewarmd is.

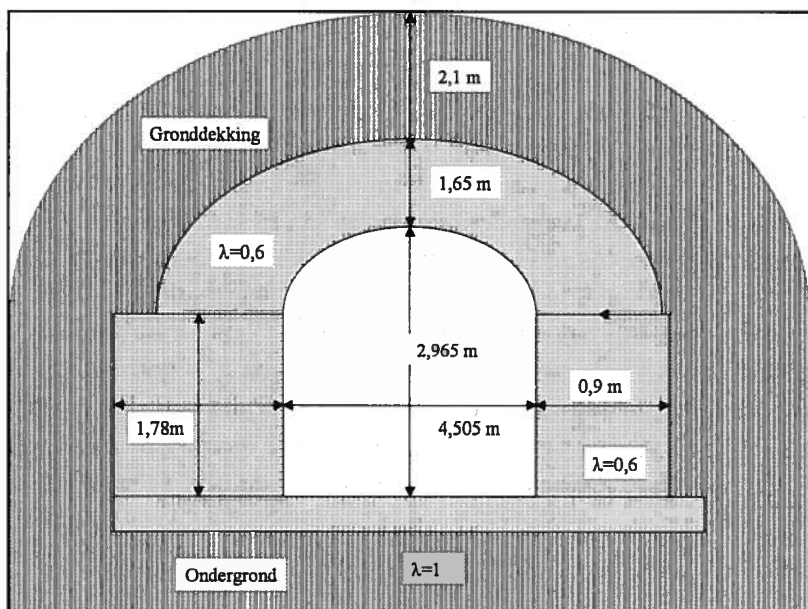
In de ondergronds historische ruimten is het verwaarlozen van de thermische massa niet langer verantwoord. Met metselwerk en grondlagen die beide meters dik kunnen zijn, is de thermische massa de hoofdoorzaak van de bijzondere omstandigheden van het binnenklimaat. Bovendien ontbreekt de benodigde ervaring om op basis daarvan toch te komen tot een goede oplossing, zelfs al zijn de rekenmodellen niet volledig. In dit onderzoek is er daarom voor gekozen om toch aandacht te geven aan de invloed van de thermische massa. Gezien de omvang van het onderzoek moest deze inzet van modellering beperkt blijven. Toch kunnen interessante conclusies worden getrokken.

Fortix

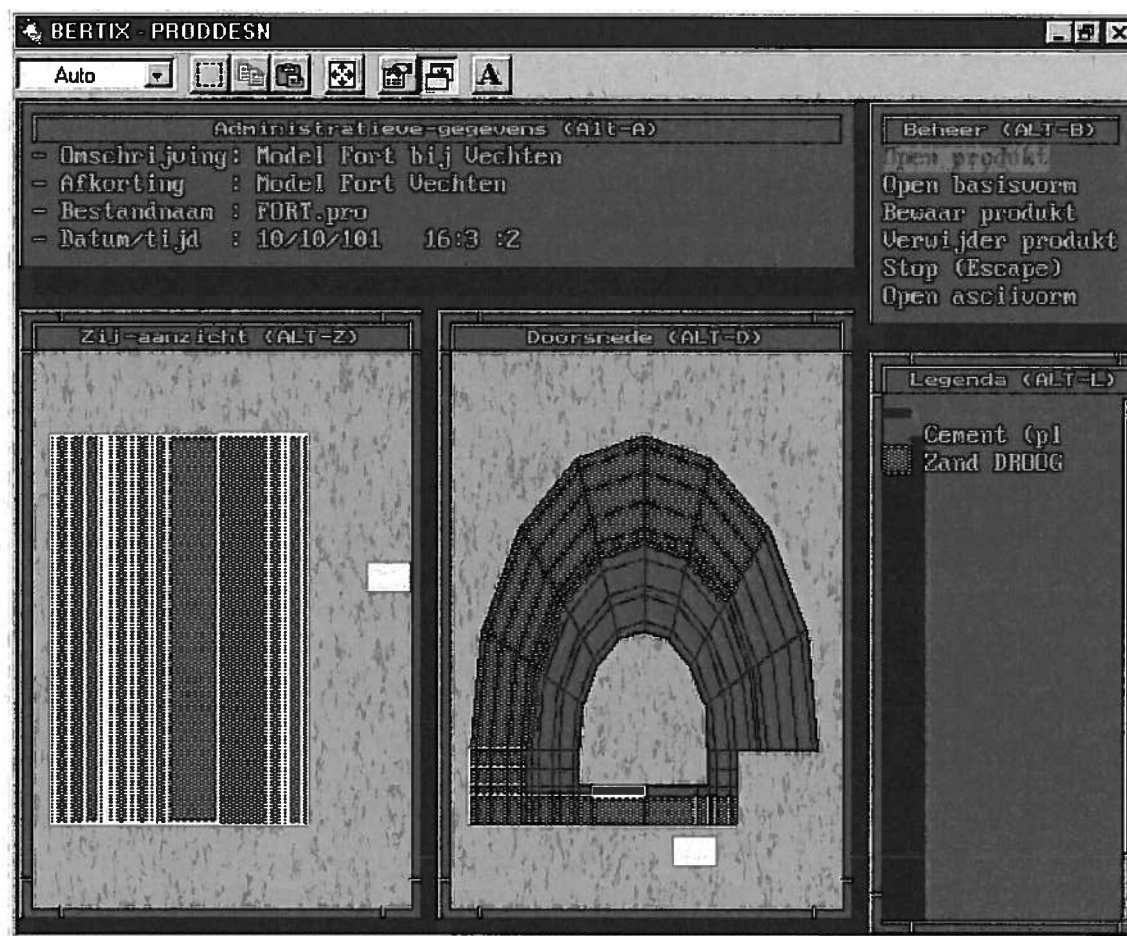
Inleiding tixen.

Er zijn twee modellen gemaakt van een ondergrondse ruimte, waarin plotseling de temperatuur wordt verhoogd naar 28°C. Dit is van belang bij een feestruimte met grote aantallen mensen en bij het verwarmen van een ruimte als er weinig mensen zijn. Gezien de lage wandtemperaturen betekent een luchttemperatuur van 28°C dat toch een redelijk comfortabel binnenklimaat wordt verkregen, met een resulterende temperatuur van 20 tot 24 °C.

In het eerste model is een travee gemodelleerd, zoals weergegeven in Figuur 13. De bakstenenwanden zijn vereenvoudigd weergegeven, evenals de gronddekking en de vloer. λ is de warmtegeleidingscoëfficiënt.



Figuur 13 Vereenvoudigd model van een standaard grondgedekte ruimte in een fort

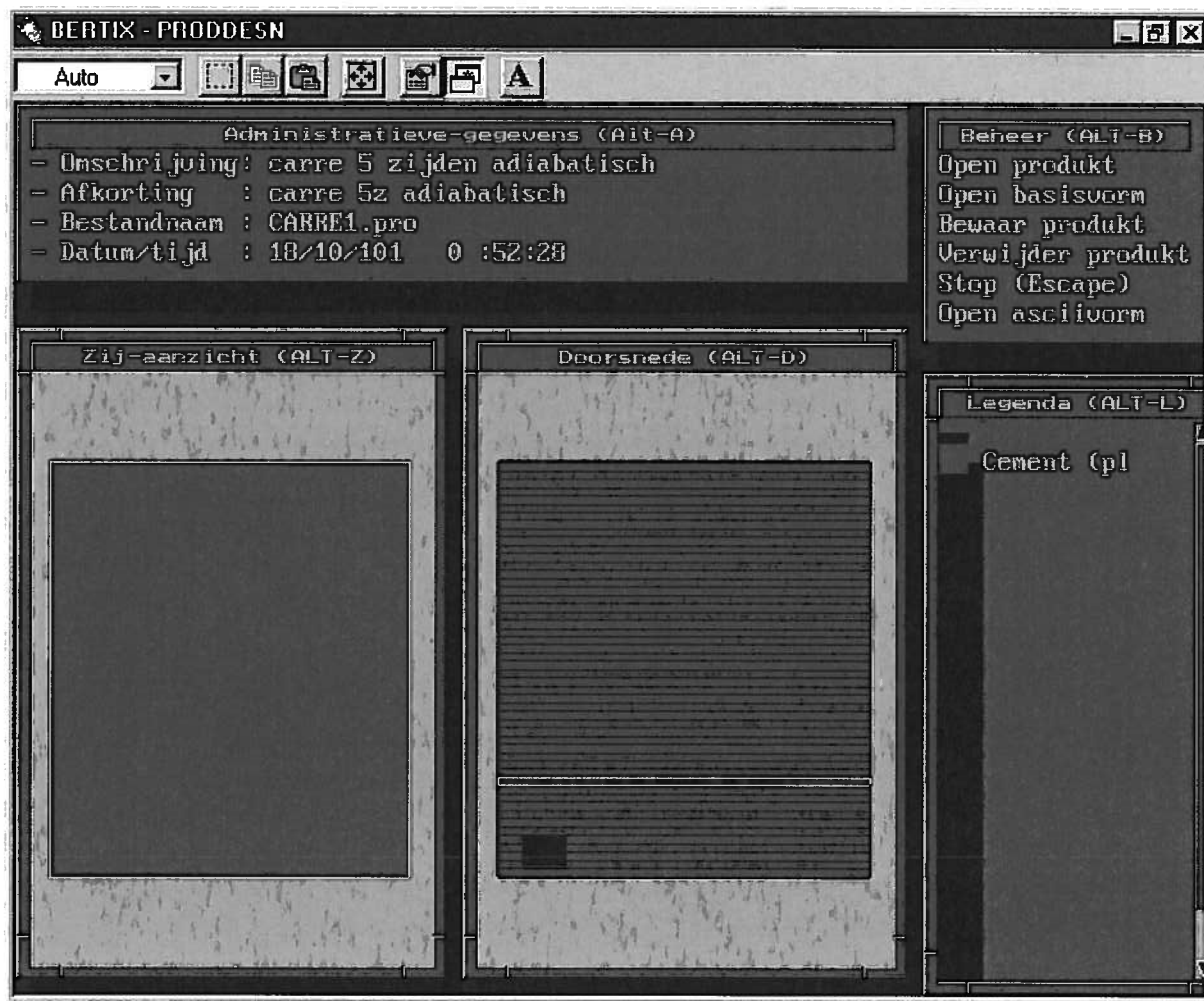


Figuur 14 Model TIX

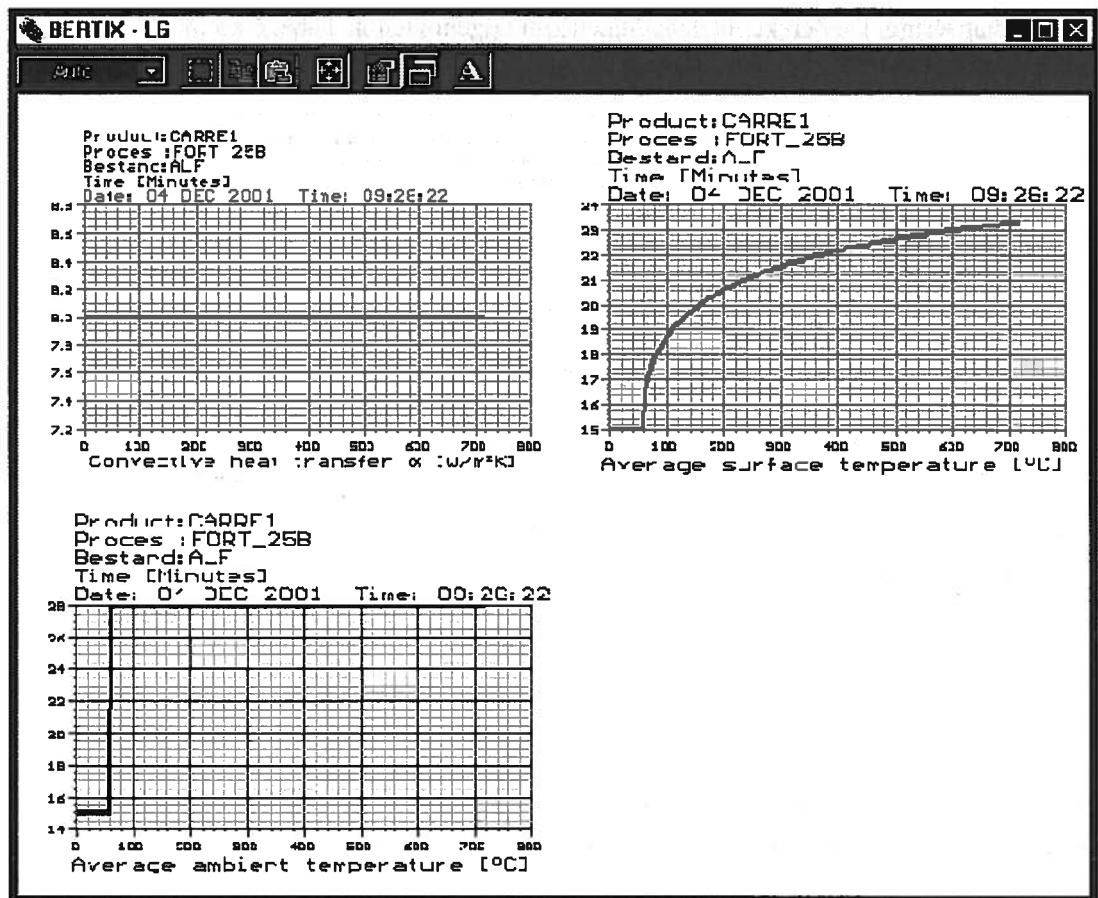
Uit het model blijkt dat de verschillende doorsneden van de wanden zich vergelijkbaar gedragen. Met andere woorden: het model is onnodig complex. Daarom is een eenvoudiger model gemaakt waarin slechts één blok in de wand nader bekenen is. Het model en de resultaten zijn weergegeven in Figuur 15 en Figuur 16.

In figuur 16 is links onderaan de luchttemperatuur weergegeven. Deze wordt op tijdstip 60 minuten verhoogd van 15°C naar 28°C.

Rechtsbovenaan is de oppervlaktetemperatuur uitgezet als functie van de tijd in minuten. Duidelijk is te zien dat na een aanvankelijk snelle stijging van de wandtemperatuur, deze stijging vervolgens vlakker wordt.



Figuur 15 Vereenvoudigd model instationaire warmteoverdracht naar grondgedekte wand



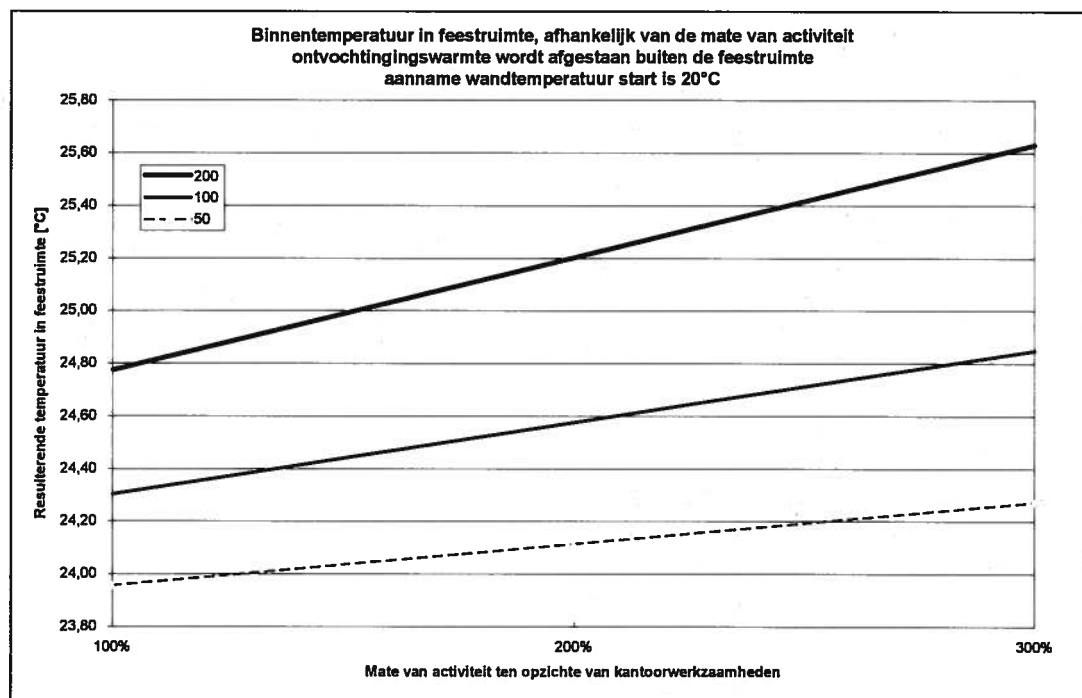
Figuur 16 Resultaten berekening instationaire warmteoverdracht naar grondgedekte wand

Uit de berekeningen aan de instationaire warmteoverdracht van lucht van 28°C naar een wand van een grondgedekte ruimte, blijkt dat de wandtemperatuur in 100 minuten (1h40min) stijgt tot 20 °C, om daarna in 540 minuten (9 uur te stijgen tot 23 °C. Bij deze laatste conditie is de resulterende temperatuur 25,5 °C. Dit is nog binnen de comfortgrenzen.

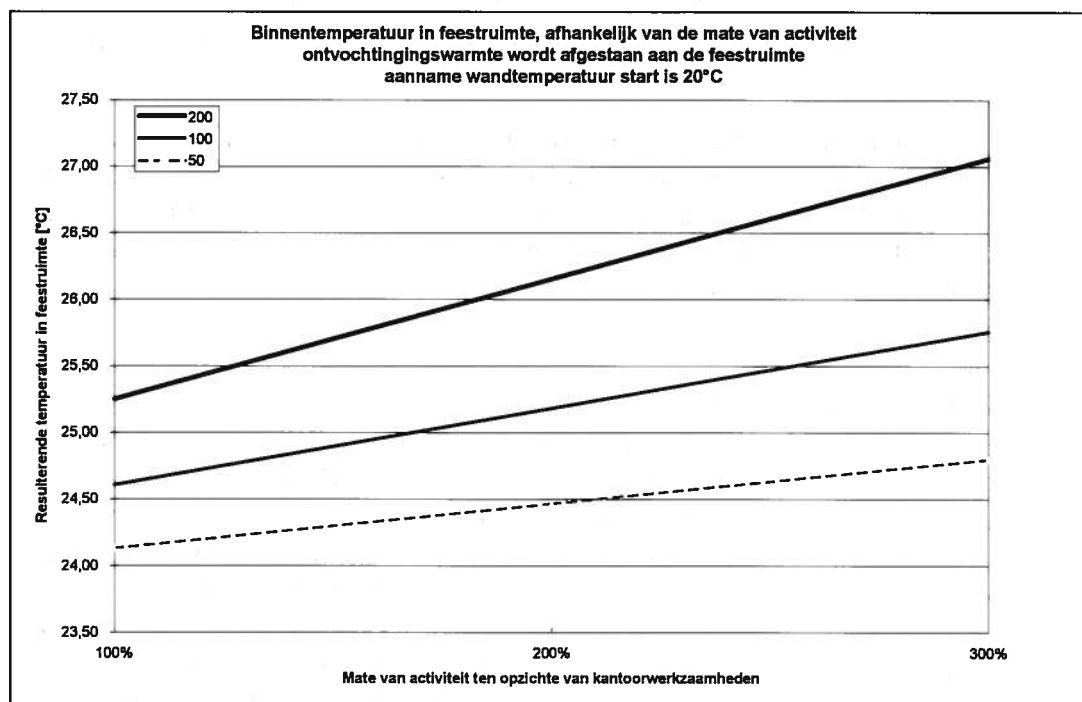
Gevoeligheidsanalyse

Zoals aangetoond in de vorige paragraaf en zoals blijkt uit metingen is de binnentemperatuur in een ondergrondse ruimte erg stabiel en afhankelijk van de grond/wandtemperatuur en de warmteoverdracht van de binnenlucht naar de wanden. Een extreme gebruikssituatie doet zich voor als de ruimte incidenteel gebruikt wordt door een groot aantal mensen. Door het incidentele gebruik ligt continue klimatisering niet voor de hand vanwege de kosten en het energiegebruik. Bovendien is tijdens gebruik waarschijnlijk koeling en ontvochtiging gewenst en geen verwarming. De wanden kunnen juist bij dit incidentele gebruik een belangrijk deel van de koeling verzorgen. Daarom is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de onderlinge interactie tussen wandtemperatuur, gebruik van de ruimte en de wijze

van klimatisering. De berekeningsresultaten zijn opgenomen in Tabel 6 en in Figuur 17 en Figuur 18.



Figuur 17 Gevoeligheidsanalyse koeling door de wanden



Figuur 18 Gevoeligheidsanalyse in feestruimte; effect van ontvochtigers in de ruimte zelf

Uit de gevoeligheidsanalyse kunnen twee conclusies worden getrokken. Ten eerste is het noodzakelijk dat de wandtemperatuur minimaal 20°C is. Bij een wandtemperatuur van 20°C en een luchtinblaasttemperatuur van 15°C ontstaat volgens de berekeningen een operationele temperatuur van 16,3°C. Dit is te laag. Bij een wandtemperatuur van 20°C wordt de operationele temperatuur 20,5°C, de benodigde wandtemperatuur kan bereikt worden door enkele uren voor de komst van gasten een "nood"kachel in te schakelen. Er zijn nog geen gasten, dus tocht of stralingsasymmetrie zijn niet relevant. Deze noodkachels mogen uit zodra de gasten komen.

Ten tweede blijkt dat bij wandtemperaturen van 20 tot 23°C, die te verwachten zijn onder deze omstandigheden, de resulterende temperatuur binnen het comfortgebied blijft. Bij minder gasten of minder activiteit wordt minder warmte afgestaan, maar is het warmteverlies naar de wanden ook geringer, door de lagere luchttemperatuur. Kortom de situatie is stabiel en comfortabel.

Invoergegevens

vloeroppervlak feestruimte	307 m2
wandoppervlak	971 m2
Aantal personen	120
Latente warmte (vocht)	40 W p.p.
Voelbare warmte	60 W p.p.
T wand °C	23 °C
Max. T lucht °C	28 °C
installaties	25 W/m2 vloer
alpha lucht-wand	8 W/m2K
percentage warmteproductie	300%
ventilatie	30,00 m3/pp/uur
T luchtinblaas van buiten	28,00 °C
COP ontvochtiger	3,00

Berekeningen met ontvochtingswarmte naar buiten afgevoerd

Latente warmte personen	14,4 kW	
Voelbare warmte personen	21,6 kW	
Warmteproductie apparatuur	7,7 kW	
wandkoeling bij max Tlucht	38,8 kW	
warmteproductie ontvochtiger	4,8 kW	
Totaal voelbare warmteproductie	29,3 kW	
Totale warmteproductie	43,7 kW	
Warmtevoeder ventilatielucht	3,3 kW	
koeling wand	32,6 kW	aanname WP-ontvochtiging doet latente warmte
Resulterende T lucht	27,1 °C	
Operatieve temperatuur	25,0 °C	

Gevoelighedsanalyse operatieve temperatuur (hier gemiddelde lucht en wandtemperatuur) als functie van aantal personen en wandtemperatuur

personen/ warmteproductie	rustig		zeer actief	
	100%	200%	300%	300%
200	24,77	25,20	25,63	25,63
100	24,30	24,58	24,85	24,85
50	23,96	24,11	24,27	24,27

Conclusie: wandkoeling is erg effectief.

Weinig invloed van aantal personen of activiteit

T wand	T inblaas		
	15,00	20,00	30,00
15	16,26	17,04	18,59
20	20,49	21,26	22,81
23	23,02	23,80	25,35

Conclusie: wandT van 20°C belangrijk

Latente warmteproductie als functie an aantal personen en hun mate van activiteit

personen/ warmteproductie	rustig		zeer actief	
	100%	200%	300%	300%
200	8,00	16,00	24,00	24,00
120	4,80	9,60	14,40	14,40
50	2,00	4,00	6,00	6,00

Berekeningen met ontvochtiger in de ruimte

Latente warmte personen	14,4 kW	
Voelbare warmte personen	21,6 kW	
Warmteproductie apparatuur	7,7 kW	
potentiële wandkoeling	38,8 kW	
warmteproductie ontvochtiger	4,8 kW	
Totaal voelbaar	34,1 kW	
Totale warmteproductie	53,3 kW	
Warmtevoeder ventilatie	4,1 kW	
koeling wand	49,2 kW	aanname ontvochtigerswarmte komt in de ruimte
Resulterende T lucht	29,1 °C	
Operatieve temperatuur	26,1 °C	

aantal personen	rustig		zeer actief	
	100%	200%	300%	300%
200	25,25	26,16	27,06	27,06
100	24,61	25,18	25,76	25,76
50	24,13	24,47	24,80	24,80

Conclusie: ontvochtigerswarmte rustig toe te voeren aan toevoerlucht.

T wand	T inblaas		
	15,00	20,00	30,00
15	17,30	18,07	19,62
20	21,52	22,30	23,85
23	24,05	24,83	26,38

Geen oververhitting

Advies op basis van deze berekeningen:

WP-ontvochtiger gebruiken met warmteafgifte aan de toevoerlucht; óók als het buiten erg warm is.

De aparte condensor naar de buitenlucht kan dus achterwege blijven.

Zorg voor een aanwarmverwarming voordat de gasten komen

Tabel 6 Gevoelighedsanalyse binnenklimaat feestruimte

Bijlage 7 Vragenlijst voor bezoeken aan locaties

Versie 4 april 2001

Een locatie is een verzameling met grond gedekte ruimten, waarbij in één of meer van deze ruimten oplossingen zijn gerealiseerd voor de klimatisering van de ruimte, ten behoeve van een hoogwaardige functie. Een hoogwaardige functie betreft een functie die economische waarde heeft en die zonder (klimatiserings)maatregelen niet in een fort of grondgedekte ruimte worden gerealiseerd.

1. Controle gegevens voor communicatie
 - a. naam eigenaar
 - b. naam gebruiker
 - c. bezoekadres
 - d. postadres
 - e. contactpersoon
 - f. telefoonnummer
 - g. fax
 - h. e-mail adres
2. Gegevens locatie
 - a. naam
 - b. foto's
 - c. beschrijving aanwezige gebouwen/ruimten
 - d. bouwperiode
 - e. bijzonderheden
 - f. historische of recente aanpassingen en toevoegingen
 - g. toestand vóór ingebruikname voor nieuwe functie
3. Gegevens huidige, nieuwe functie
 - a. Wat is de nieuwe functie?
 - b. Waarom is voor deze functie gekozen? Is de functie gekozen uit strategische overwegingen of vanuit beperkte mogelijkheden?
 - c. Zijn mogelijke functies afgefallen door lokale regelgeving?
 - d. Hoe wordt de lokatie beleefd in relatie tot de nieuwe functie?
 - e. Zou verbetering van het binnenklimaat leiden tot andere gebruiksmogelijkheden?
 - f. Welke gebruiksmogelijkheden worden voor de toekomst overwogen en welke problemen moeten daarbij opgelost worden?
 - g. Welke investeringskosten zijn gemaakt?
 - h. Wat zijn de lopende kosten? Te denken valt aan energie, onderhoud, beheer.
 - i. Wat is het jaarlijkse energiegebruik?
4. Beleving
 - a. Bevalt de ruimte voor de gasten?
 - b. Als u het weer zou doen, wat zou u dan anders doen?

5. Maatregelen

- a. Is advies ingewonnen van een onafhankelijke partij? Welke?
- b. Wat was de aard van het probleem?
- c. Welke bouwkundige maatregelen zijn genomen en welke zijn uitgevoerd, zoals b.v. isolatie, verwijderen van grond, aanpassingen aan de gevel?
- d. Welke maatregelen zijn overwogen en welke zijn geplaatst om de relatieve luchtvochtigheid te verlagen, zoals ontvochtigingsinstallaties, airconditioning, ventilatie?
- e. Welke maatregelen zijn overwogen en welke zijn uitgevoerd om de binnentemperatuur te verhogen?
- f. Hoe is de energievoorziening geregeld? Te denken valt aan elektriciteit, gas, eigen opwekking.
- g. Hoe is de verbetering van het binnenklimaat gefinancierd? Is gebruik gemaakt van subsidie en welke?
- h. Zijn bepaalde oplossingen afgefallen vanwege vergunningen of vanwege de monumentale situatie? Waarom niet?
- i. Welke investeringskosten zijn gemaakt?

6. Detailgegevens.

- a. Is er een externe adviseur die geraadpleegd kan worden voor meer details?
- b. Zijn er kopiën van kaarten, ontwerptekeningen en meetgegevens?
- c. Wat wordt gedaan aan monitoring en door wie? Zijn gegevens beschikbaar?
- d. Wat is de breedte en de diepte van de vloer?
- e. Wat is de hoogte in het midden van de gewelven?
- f. Hoeveel gewelven zijn er naast elkaar?
- g. Wat is de dikte van de tussenmuren op het niveau van de vloeren?
- h. Wat is de oppervlakte van de gevel die in contact staat met de buitenlucht en wat is de oriëntatie van de gevel?
- i. Hoe groot is het raamoppervlak daarin?
- j. Op hoeveel dagen per jaar treedt condensatie van waterdamp op?
- k. Beschrijf het type vegetatie (bomen, struiken, gras).

Bijlage 8 Wet- en regelgeving bij een monument

Vaststellen van de monumentenstatus

- Rijksmonument
- Provinciaal monument
- Gemeentelijk monument

Omvang van de bescherming uitzoeken: wat is beschermd, wat niet?

Rijksmonumenten. Voor Rijksmonumenten kan men terecht bij de Rijksdienst voor de Monumentenzorg. Bij de afdeling Monumentenregistratie kan een zogenaamde redegende omschrijving alsmede een kaart opgevraagd worden. Hierin is de omvang van de bescherming vastgelegd.

Provinciale en gemeentelijke monumenten. Voor provinciale en gemeentelijke monumenten kan respectievelijk bij de betreffende provincie of gemeente eveneens een beschrijving en eventueel een kaart worden verkregen.

Met deze beschrijvingen en kaarten kan nagegaan worden wat precies tot het beschermde monument gerekend wordt. Als blijkt dat de plannen betrekking hebben op een beschermd monument dan is men verplicht hiervoor een **monumentenvergunning** aan te vragen.

Voor Rijksmonumenten gebeurt dit op grond van de Monumentenwet 1988, voor provinciale en gemeentelijke monumenten op grond van de verordening die die provincie of gemeente heeft.

Waardstelling: wat zijn de specifieke monumentale waarden die behouden moeten blijven?

In de hiervoor genoemde redegende omschrijving is meestal ook een waardstelling opgenomen. Deze waardstelling is zeer globaal en bedoeld voor de aanwijzing tot monument. Bij verbouwing of restauratie van een object is het noodzakelijk een nadere, specifiek voor dat object geschreven bouwhistorische verkenning (waardstelling) te (laten) maken in relatie tot de voorgenomen plannen. Het doel van de bouwhistorische verkenning is het verkrijgen van een globaal inzicht in de (mogelijke) monumentale waarden van een object als voorbereiding op een beslissing tot nader onderzoek (zie: *Richtlijnen Bouwhistorisch Onderzoek*).

Vooroverleg: overleggen vóór de vergunningaanvraag is lonend

In het proces van planontwikkeling dat moet leiden tot de uiteindelijke aanvraag van een monumentenvergunning is het raadzaam vooroverleg te plegen met alle betrokkenen. Dit vooroverleg dient tenminste plaats te vinden tussen eigenaar, beheerder of exploitant, architect en de gemeente. Eventueel kan ook het Rijk (in geval van een Rijksmonument) of de Provincie hierbij betrokken worden

Vergunningaanvraag

Wanneer de plannen acceptabel zijn of in de richting van een acceptabel plan komen, kan de monumentenvergunning worden aangevraagd. Voor Rijksmonumenten moet deze vergunning bij de desbetreffende gemeente worden aangevraagd. Het betreft hier een monumentenvergunning ex artikel 11 van de Monumentenwet 1988. Na een periode van ten hoogste 6 (!) maanden waarin bij de Gemeentelijke Monumentencommissie (ten hoogste 3 maanden) en de Rijksdienst voor de Monumentenzorg (ten hoogste 3 maanden) advies wordt ingewonnen, neemt het college van Burgemeester en Wethouder(s) op grond van de adviezen een besluit over het al dan niet verlenen van een monumentenvergunning.

Voor provinciale en gemeentelijk monumenten moet de vergunning resp. bij de provincie of gemeente worden aangevraagd. De bepalingen in de provinciale of gemeentelijke verordeningen volgen in grote lijnen die van de Monumentenwet 1988, maar kunnen op bepaalde punten hiervan ook afwijken.

N.B. Behalve de aanvraag van een Monumentenvergunning dienen alle andere vergunningen, b.v. de bouw- of sloopvergunning ook te worden aangevraagd.

Financiële aspecten: subsidie en belasting aftrek

Om in aanmerking te komen voor subsidie is het zaak om, evenals bij de vergunningsaanvraag, contact op te nemen met de desbetreffende gemeente. Daar dient gemeld te worden dat men wil restaureren en of subsidie mogelijk is. Vervolgens wordt er gekeken of er budget is en in welk jaar dat verstrekt zou kunnen worden. Daarnaast kan geïnformeerd worden om opgenomen te worden in het meerjarenprogramma. De gemeente kan daarnaast ook vertellen wat subsidiabel is. Voor vragen kan men ook contact opnemen met: Stichting Nationaal Restauratiefonds, Postbus 15, 3870 DA Hoevelaken, tel. 033 25 39 439, fax 033 25 39 598 of email info@restauratiefonds.com.

Ook kunt u in aanmerking komen voor belasting aftrek. Hierover leest u het beste eerst de folder

“Als u werkzaamheden aan uw monumentenpand gaat verrichten” van de Belastingdienst. Voor verdere vragen kunt u contact opnemen met: Belastingdienst/Particulieren Amersfoort, Bureau Monumentenpanden, postbus 4050, 3800 EB Amersfoort, telefoon 033 450 52 22 of via internet www.belastingdienst.nl.

Bijlage 9 Verslagen vooronderzoek locaties

Fort Juthaas

Fort Sabina

Fort Nieuwersluis

De Kazerne en het Muizenfort te Muiden

Fort Hoofddijk

Fort de Bilt

Fort bij Rijnauwen

Fort Voordorp

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie

Besprekingsverslag

Aan
Stichting Werk aan de Linie

Van
Collin Bootsveld

Aanwezig
Mw. Kortekaas-Herfkens

Afwezig

Kopie aan

Business Park E.T.V.
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93
F 055 541 98 37
info@mep.tno.nl

Onderwerp
Fort Jutphaas

Datum
20 juli 2001

Onze referentie
2001KTW/633/32122/01.01/
BOO/na

Doorkiesnummer
055 549 3085

1. Gegevens contact

Er is gebeld op 20 juli 2001.

	Eigenaar	Gebruiker
Naam	Ing. W.J. Kortekaas	Wijnkooperij "Trouvaille" b.v.
Bezoekadres	Het Fort Jutphaas 3	
Postadres	Postbus 36	
Postcode / plaats	3430 AA Nieuwegein	
Contactpersoon	Mw. Kortekaas-Herfkens	
Functie	Procuratiehouder	
Telefoon	030 – 6031708	
Fax	030 – 6047178	
e-mail		
Internet		

2. Gegevens locatie

Het Fort is gebouwd tussen 1820 en 1840. Kopieën van het bestek en de bouwtekeningen zijn beschikbaar bij de eigenaar. Het Rijksarchief bezit de originelen. Het Fort Jutphaas is in de tweede wereldoorlog gebombardeerd geweest, waardoor de plafonds gescheurd zijn. Het is recent gekocht van de gemeente, die het gekocht had van Domeinen.

3. Huidige functie

Het fort is al 42 jaar in gebruik als wijnopslag. Het binnenklimaat wordt ideaal voor wijnopslag genoemd. Er is geen behoefte aan verandering van het binnenklimaat. Het

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie

Besprekingsverslag

fort is wat vochtig, waardoor sommige etiketten aangetast worden. De kurken worden zeker niet aangetast door de hoge vochtigheid. De kurken horen juist vochtig te blijven.

Twee ondergrondse ruimten zijn ingericht als respectievelijk kantoor en proeflokaal. Deze ruimten worden verwarmd.

4. Beleving

De ruimte wordt als uitstekend geschikt ervaren voor de toepassing als wijnopslag.

5. Maatregelen

Het kantoor en het proeflokaal worden verwarmd met “ouderwetse” losstaande gaskachels, gevoed door een gastank. De kelders worden droog gehouden met pompen. De grondlaag bovenop is gedraineerd, om de meeste wateroverlast door het doorsijpelen van regen door het gescheurde plafond te voorkomen. Maatregelen om het binnenklimaat te verbeteren zijn verder niet nodig.

Niet alleen de aardlaag van het dak is gedraineerd maar ook rondom het fort is drainage aangebracht. Daar het fort op een wel is gebouwd, moet dit extra water worden weggepompt.

6. Detailgegevens

Geen.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie

Besprekingsverslag

Aan

Van
Collin Bootsveld

Aanwezig
Mw. A. Rampaart

Afwezig

Kopie aan

Business Park E.T.V.
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93
F 055 541 98 37
info@mep.tno.nl

Onderwerp
Fort Sabina

Datum
24 juli 2001

Onze referentie
/ /

Doorkiesnummer
055 549 3085

Er is op 24 juli een telefonisch interview afgenomen met mw. Angela Rampaart over het fort Sabina. Op 17 september is gesproken met de heer Marijn Broumels.

1. Gegevens contact

	Eigenaar	Gebruiker
Naam	Staatsbosbeheer	Gemeente Moerdijk
Bezoekadres		Fortweg 1
Postadres		Postbus 4
Postcode / plaats		4760 AA Zevenbergen
Contactpersoon		Mw. A. Rampaart
Functie		
Telefoon		0168 – 373427
Fax		0168 – 373583
e-mail		angela.rampaart@moerdijk.nl
Internet		

2. Gegevens locatie

Het Fort Sabina Henrica is gebouwd door de Fransen in 1811 en van 1880 tot 1883 sterk uitgebreid. Het behoort tot de stelling van het Hollands Diep en Volkerak en verzorgt de kustverdediging. Het omvat onder meer Kazernegebouw, Tourmodèle, poortgebouw, botenloods, kruitruste, diverse capponnières en magazijntjes. De onlangs aangelegde verwarming beperkt zich tot het kazernegebouw en het aansluitende tourmodèle. De bouwkundige toestand is wisselend. Sommige delen zijn vochtig en vertonen een afbrokkelende buitenmuur, andere delen zijn wel intact. Er zijn geen omvangrijke restauraties uitgevoerd voor ingebruikname, omdat daarvoor het budget ontbrak.

Datum

24 juli 2001

Onze referentie**Blad**

2/3

3. Huidige functie

Het fort combineert een publieke en recreatieve functie met natuurwaarden. Dit is vastgelegd in de erfpachtovereenkomst tussen de gemeente en Staatsbosbeheer.

Deze combinatie is gekozen vanwege de bijzondere natuurwaarden van het fort en om mensen de fiets- en wandelbestemming te geven. Een deel van het fort wordt door Staatsbosbeheer beheert voor vleermuizen.

De gemeente heeft het fort in beheer gegeven aan de stichting Fort Sabina Henrica. Kleine werkzaamheden worden uitgevoerd in het kader van een gemeentelijk werkgelegenheidsproject in overleg met de stichting. Het groenbeheer wordt door de gemeente Moerdijk uitgevoerd.

De kosten voor verwarming bedroegen het eerste jaar f6500,- voor 6500 liter LPG.

4. Beleving

De lokatie is één winterseizoen in gebruik geweest met verwarming en dat is naar wens verlopen. Het binnenklimaat is volgens Broumels uitstekend, omdat de wanden mee gaan stralen met de vloerverwarming, als een spekkachel.

5. Maatregelen

De uitvoering van de maatregelen is gebeurd onder leiding van een functionaris van de gemeente. Het ging daarbij om het verwarmen van ruimten, het aanbrengen van voorzieningen en energie-infrastructuur. Er is ook advies ingewonnen van een onafhankelijk adviseur.

Er zijn geen bouwkundige maatregelen genomen zoals het verwijderen van grond en het waterdicht maken van gewelven. Dit is een project dat ten behoeve van het behoud van de gebouwen, opgepakt zou moeten worden.

Er zijn geen ontvochtigingsinstallaties gebouwd en er zijn ook geen ventilatievoorzieningen geïnstalleerd. Wel is het bestaande, originele ventilatiesysteem hersteld. Dat betrof het verwijderen van puin en het vernieuwen van roosters. Deze keuze is gebaseerd op de ervaringen van de heer Baas op Fort Frederik te Oltgensplaat (Goeree Overflakkee). Dit fort is al 30 jaar in particulier gebruik en daar is het oude ventilatiesysteem hersteld. Dat functioneert naar zeggen heel goed. De kruitkamer is daar in gebruik voor barbecue's.

Verwarming wordt verzorgd met een ketel, radiatoren en vloerverwarming. Het betreft 476 m². Daarom is 144 m² voorzien van vloerverwarming (aangelegd in het tourmodèle). Vloerverwarming is aangebracht bovenop de aanwezige cementachtige strijkvloer en voorzien van een soortgelijke afwerking.

De ketel wordt gevoed met LPG uit een tank.

De investeringen zijn voor de helft gesubsidieerd door de provincie uit een werkgelegenheidsfonds. Bovendien zijn de kosten laag gehouden door het laten uitvoeren van een deel van de werkzaamheden als werkgelegenheidsproject en door de projectleiding in eigen beheer te houden en niet apart in rekening te brengen.

Fort Sabina is géén Rijksmonument. Daardoor zijn er geen maatregelen afgevallen vanwege de monumentale situatie. Wel is het gebouw gescreend door de monumentenwacht.

Datum

24 juli 2001

Onze referentie**Blad**

3/3

De investeringskosten bedroegen f400.000,- voor de volgende posten:

- aanbrengen verwarming
- modernisering van het sanitair
- aanbrengen van elektriciteit
- plaatsen van een keuken

Warmte-Krachtkoppeling is afgefallen omdat de investeringen daarvoor ongeveer de helft van het beschikbare budget zouden vragen.

6. Detailgegevens

Naast de cultuurhistorische waarde van het complex zijn de natuurwaarden van bijzonder belang.

Er is een bijzondere, lage, vegetatie die door een maairegiem behouden moet blijven.

Voor de vleermuizenpopulatie worden bijzondere maatregelen getroffen.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie

Besprekingsverslag

Aan
Stichting Werk aan de Linie

Van
Collin Bootsveld

Aanwezig
De heer Honig, Natuurmonumenten

Afwezig

Kopie aan

Business Park E.T.V.
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93
F 055 541 98 37
info@mep.tno.nl

Onderwerp
Fort Nieuwersluis

Datum
20 juli 2001

Onze referentie
/ /

Doorkiesnummer
055 549 3085

Er is op 20 juli gebeld met de heer Piet Honig van Natuurmonumenten over het fort Nieuwersluis.

1. Gegevens contact

	Eigenaar	Gebruiker
Naam	Vereniging Natuurmonumenten	Vereniging Natuurmonumenten
		Fort Nieuwersluis
Bezoekadres		Rijksstraatweg achter 9
Postadres		Rijksstraatweg achter 9
Postconde / plaats		Nieuwersluis
Contactpersoon		De heer P. Honig
Functie		
Telefoon		
Fax		
e-mail		
Internet		

Bezoek is mogelijk op aanvraag.

2. Gegevens locatie

Fort Nieuwersluis is onderdeel van de Nieuwe Hollandse Waterlinie. Het torenfort is gebouwd in 1850, de drie remises en de kokerschietbaan in 1880. Het terrein heeft kadastraal een omvang van 7 hectare. Een gedeelte is ingericht voor Bescherming Burgerbevolking. De installaties zijn nog aanwezig en functioneren nog. De vloeren zijn deels van hout en deels van steen. Er is lekkage, maar het meeste vocht is waarschijnlijk afkomstig uit de atmosfeer.

Datum

20 juli 2001

Onze referentie**Blad**

2/2

3. Huidige functie

Het fort is nu een excursieobject voor Natuurmonumenten. Een betere binnenklimaat zou niet veel meer mogelijkheden geven, omdat er niet zo veel vraag is naar de ruimten. De ruimten worden kortstondig gebruikt voor bijeenkomsten of exposities.

4. Beleving

De locatie voldoet goed als excursieobject om mensen enthousiast te maken voor forten. Er is geen wens om de ruimten langdurig te verhuren, want dan zouden er geen bezoekers meer naar binnen kunnen.

5. Maatregelen

Er zijn alleen twee petroleumkachels aangebracht in twee kleine ruimten die gebruikt worden voor ontvangsten bij excursies.

De BB-installatie is aangebracht zonder rekening te houden met het monument. Er zijn daardoor extra openingen gemaakt en een deel van het fort is niet bruikbaar vanwege pijpen die in de weg liggen.

6. Detailgegevens

Geen

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie

Besprekingsverslag

Aan
aanwezigen

Van
Collin Bootsveld

Aanwezig
Gerco Meijer, Henk Rijksen
de heren Dikkerboom, Van Wijk (Gemeente Muiden)

Afwezig

Kopie aan
Begeleidingscommissie

Business Park E.T.V.
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93
F 055 541 98 37
info@mep.tno.nl

Onderwerp
Bezoek Gemeentehuis Muiden

Datum
23 juli 2001

Onze referentie
2001KTW/610/03000/BOO/jwo

Doorkiesnummer
055 549 3085

1. Gegevens locatie

Er is op 9 april een bezoek gebracht aan twee locaties in de Gemeente Muiden: "de kazerne" en "het Muizenfort". Deze grondgedekte ruimten zijn circa 20 jaar geleden in gebruik genomen voor kantoor- en andere functies.

	Kazerne	Muizenfort
Eigenaar	Gemeente Muiden	Gemeente Muiden
Gebruiker		Stichting Herstelling
Bezoekadres	Kazernestraat 10	Vestingplein 1
Postadres	Het Anker 2	Vestingplein 1
Postcode / plaats	1398 ES Muiden	1398 VE Muiden
Contactpersoon	Dhr. R.van Noord	Dhr. Albert van der Lugt
Functie		Directeur
Telefoon	0294 – 210246	0294 – 265683
Fax	0294 – 261386	0294 – 265857
e-mail		

Datum

23 juli 2001

Onze referentie

2001KTW/610

Blad

2/5

2. Gegevens locatie 1: De Kazerne

Hij is gebouwd in 1876 maar heeft een betonnen rand op 8 meter hoogte, die later moet zijn aangebracht. Het gebouw bevat twee lagen. Bij twee gewelven is de tussenvloer verwijderd, evenals een tussenmuur, waardoor een zaal ontstaan is met een hoogte van 5,75 meter. Voor ingebruikname, 20 jaar geleden, waren de binnenmuren beklad met graffiti en dergelijke. Daarom zijn de muren aan de binnenzijde gezandstraald, waardoor de oppervlakte van de stenen beschadigd is.

3. Huidige functie

De huidige functies zijn die van openbare raadszaal en trouwzaal voor de grote ruimte, bibliotheek, jeugdhonk, beperkte opslag van goederen, danszaal, VVV en kantoor. Bij de keuze voor deze functies worden alleen beperkingen ervaren vanuit de bouwkundige constructie. Zo kan men in het bibliotheekgedeelte niet eenvoudig de hele collectie in de gaten houden. Ook wordt het als nadelig ervaren dat je door de ene ruimte naar de volgende moet. Regelgeving heeft geen beperkingen opgelegd bij de keuze van functies.

4. Beleving

De beleving van de ruimten is in orde. Ze voelen prettig aan en voldoen voor de gebruikers. In enkele hoeken en achter objecten die tegen muren staan, is enige vochtuittrekking herkenbaar aan de zoutkristallen aan de oppervlakte. Het binnenklimaat is naar tevredenheid. Alleen met grote groepen in de raadszaal loopt de binnentemperatuur op.

5. Maatregelen

De kazerne is omvangrijk gerestaureerd; er waren voldoende middelen beschikbaar. De grondlagen zijn verwijderd en de gewelven zijn voorzien van een waterdichte en isolerende laag. De stortkokers voor de afvoer van water uit het grondpakket zijn dicht gemaakt.

De oorspronkelijke vloer is verwijderd en vervangen door een betonnen vloer met holle ruimtes.

Er zijn ventilatoren geplaatst in de luchtkokers van de raadszaal, die aangezet worden bij de aanwezigheid van groepen. Verder wordt gebruik gemaakt van natuurlijke ventilatie via de ventilatiekokers en door het openen van ramen. De gebruikers hebben soms de neiging om de luchtkokers te sluiten omdat ze dan tocht ervaren. Er is geen ontvochtigingsinstallatie.

Datum

23 juli 2001

Onze referentie

2001KTW/610

Blad

3/5

Verwarming vindt plaats met een recent geplaatste HoogRendements gasgestookte ketel en met radiatoren in de ruimten (17,9-60 kW / 19,7 – 64,7 kW condenserend). De ervaring van de beheerder (Van Wijk) is dat hij vroeg in de ochtend de verwarming aan moet laten gaan, om de ruimten op tijd op temperatuur te hebben.

In de energievoorziening is voorzien middels aansluitingen op het aardgasnet en het elektriciteitsnet.

6. Detailgegevens

Omdat de restauratie en aanpassingen ongeveer 20 jaar geleden hebben plaatsgevonden, zijn weinig detailgegevens beschikbaar over de wijze waarop dit is gebeurd.

Het energiegebruik is beschikbaar via de heer Van Noord.

De kazerne gebruikt op jaarbasis 10621 m³ gas en 32389 kWh; het muizenfort gebruikt 7403 m³ gas en 18765 kWh elektriciteit.

De gewelven zijn 10,02 meter diep en 5,015 meter breed. De hoogte in het midden bedraagt 2,4 meter.

De kazerne bestaat uit elf traveën en twee koptraveën

De vegetatie op de kazerne bestaat uit gras.

Locatie 2: Muizenfort

Het muizenfort is een kleinere locatie dan de kazerne, uit dezelfde bouwperiode. In vergelijking met de kazerne zijn minder verstrekkende maatregelen genomen, vanwege het niet meer beschikbaar zijn van voldoende budget. Terwijl in de kazerne een nieuwe vloer met holle ruimtes is aangelegd, ligt in het muizenfort nog de oude vloer, direct op het zand. Beide hebben een gewone CV-installatie. De kazerne voldoet en heeft een aangenaam binnenklimaat, terwijl het muizenfort ongewenste vochtproblemen heeft, door condensatie van waterdamp op de koude vloer. De gebruikservaring is dat de vloer 's zomers drijfnat wordt. De atmosfeer in het fort was bij binnentreden enigszins muf en bedompt.

De oorspronkelijke vloer is niet vervangen, maar er is een laag stenen verwijderd om hoogte te winnen. De vloer ligt direct op het zand. Verwarming gebeurt middels radiatoren en een HR-CV-ketel (12,6 – 40 kW / 13,9 – 43,3 kW condenserend).

Datum

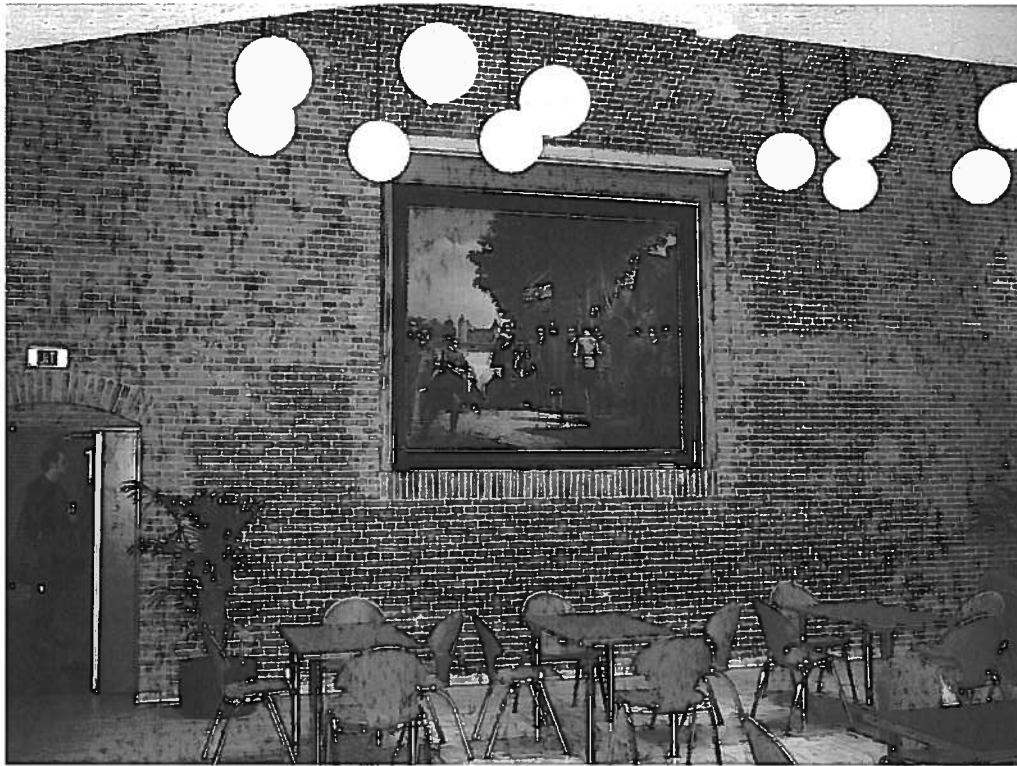
23 juli 2001

Onze referentie

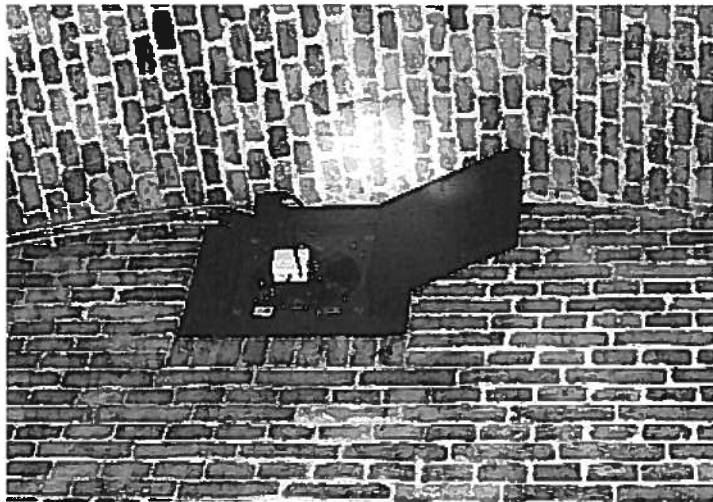
2001KTW/610

Blad

4/5



Figuur 1 Raadszaal in De Kazerne te Muiden



Figuur 2 Ventilator in bestaand kanaal in Kazerne Muiden

Datum
23 juli 2001

Onze referentie
2001KTW/610

Blad
5/5



Figuur 3 Verwarming middels radiatoren in Kazerne te Muiden

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie

Besprekingsverslag

Aan
Martin Vastenhout, Stichting Werk aan de: Linie

Van
Collin Bootsveld

Aanwezig
Dhr. Van het Schip, De heer Burstede,
Prof. Langereis, dhr. Van der Plak

Afwezig

Kopie aan

Business Park E.T.V.
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93
F 055 541 98 37
info@mep.tno.nl

Onderwerp
Bezoek Fort Hoofddijk

Datum
30 juli 2001

Onze referentie
2001KTW657/32122/01.01/BOO/

Doorkiesnummer
055 549 3085

1. Gegevens contact

Er is op 8 mei een bezoek gebracht aan het fort Hoofddijk, met een rondleiding door de heer van het Schip en een gesprek met twee gebruikers.

	Eigenaar	Gebruiker
Naam	Universiteit Utrecht	Botanische Tuinen/Geologisch Instituut
	Fort Hoofddijk	Afdeling Paleomagnetisme
Bezoekadres		Budapestlaan 17
Postadres		
Postcode / plaats	Utrecht	3584 CD Utrecht
Contactpersoon	De heer E.P.W. Burstede	
Functie	Hoofd Technische Dienst	
Telefoon		030-2535455
Fax		
e-mail		
Internet		

2. Gegevens locatie

Het fort is ruim dertig jaar geleden in gebruik genomen door de Universiteit Utrecht. Het bestaat uit een hoofdgebouw met vijf traveeën van 5 meter breedte, één van 4,9 meter breedte en één van 3 meter breedte. Deze laatste fungeert als technische ruimte. De diepte bedraagt 9,82 meter. Erachter loopt een gang over de gehele breedte van 1 meter diep. In het midden van deze gang verbindt een dwars gang van 13,45 meter en 1,8 meter breed de kazerne met de voormalige kruitkamer. Hierin bevinden zich twee traveeën van 5 meter breed en 8,8 meter diep en één van 3,5 meter breed. De kruitkamer heeft geen daglichttoetreding, maar wel een smal trapgat naar een tweede verdieping. Het hoofdgebouw heeft ook een tweede verdieping met vijf traveeën van 5 meter breed en 7,3 meter diep.

Datum

30 juli 2001

Onze referentie

2001KTW657

Blad

2/4

3. Huidige functie

Het gebouw huisvest het geologisch instituut afdeling paleomagnetisme. Het bevat kantoren en onderzoeksruimten. Het gebouw is speciaal geselecteerd voor onderzoek aan aardwetenschappen, omdat de gevoelige apparatuur niet verstoord mocht worden door metalen voorwerpen en trillingen. Daartoe worden de voormalige kruitkamers gebruikt als onderzoeksruimten.

4. Beleving

Het binnenklimaat wordt door de gebruikers als plezierig ervaren, al blijken er wel enige problemen met tocht. Deze wordt veroorzaakt door de sterke afzuiging die later is aangebracht om warmte af te voeren van meetopstellingen. Hierdoor wordt lucht aangezogen via de kantoren. De gebruikers voegen toe dat het als een voorrecht wordt beschouwd om in een dergelijk karaktervol en historisch gebouw te mogen werken en dat kleine nadelen daardoor gemakkelijk vergeven worden.

De heer Burstede vermeldt dat op de vloer van de kantine vochtproblemen zijn geweest bij de toepassing van marmoleum. Dit vocht is afkomstig uit de onderliggende drinkwaterkelder.

5. Maatregelen

Er is een Centrale Verwarming met radiatoren aangelegd. De vermoedelijk vroeger aanwezige ketel is vervangen door een aansluiting op het warmtenet van de universiteit. Er zijn geen overige maatregelen genomen bij de ingebruikname van het pand. De grondlagen zijn niet verwijderd geweest. Wel zijn niet-originele kozijnen, deuren en een enkel tussenplafond aangebracht.

6. Detailgegevens

Op de gewelven is vanaf 1963 een botanische tuin aangelegd.

In de toekomst wordt een probleem voorzien bij het in gebruik houden van het pand. Vanuit de Arbo- wetgeving en de brandveiligheid bestaan verschillende bezwaren. Er is onvoldoende daglichttoetreding, zeker in de kruitkamer, er zijn te weinig vluchtwegen en de ventilatie zou niet voldoende zijn. Dit laatste is in strijd met de sterke afzuiging in de meetruimte en de gesignaleerde tocht. Bij de afgifte van een gebruiksvergunning door de gemeente wordt door de afdeling gebouwbeheer??? van de universiteit rekening gehouden met bezwaren.

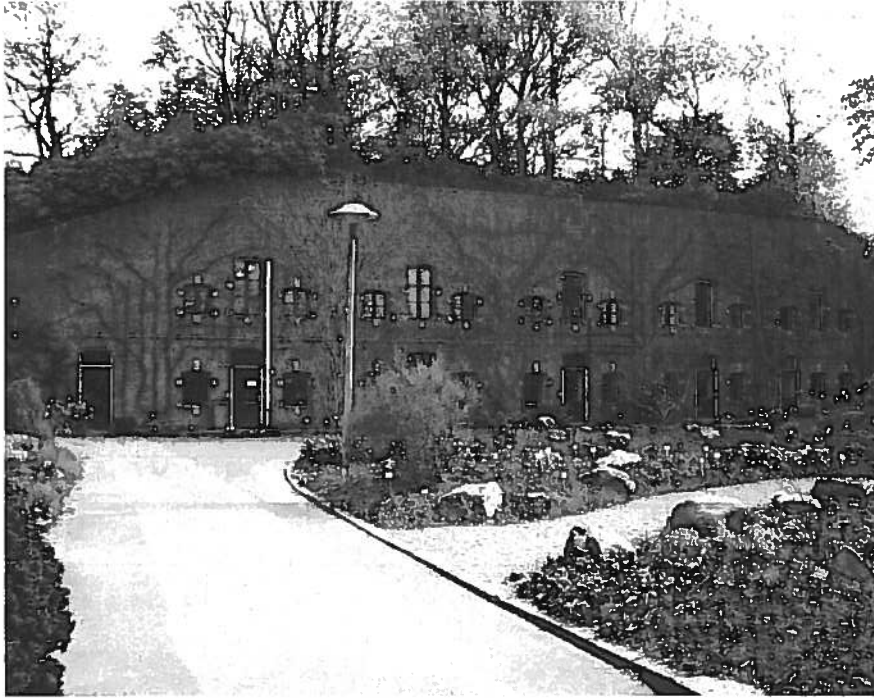
Warmte gebruiksgegevens zijn bekend.

Datum
30 juli 2001

Onze referentie
2001KTW657

Blad
3/4

Foto's



Figuur 1 Fort Hoofddijk

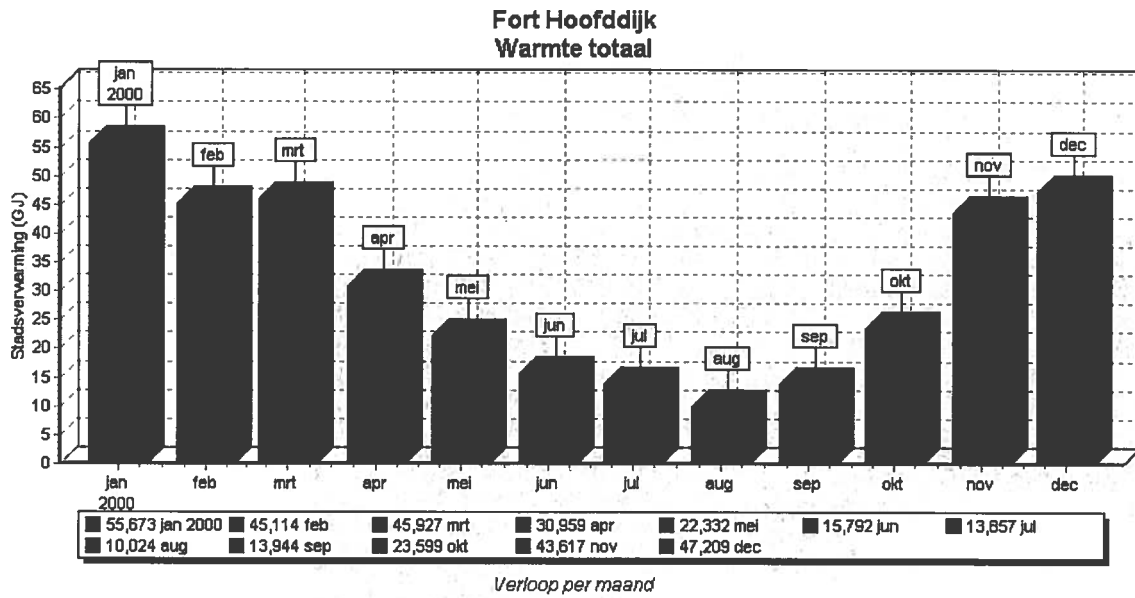


Figuur 2 Verwarming middels radiatoren op warmtenet, Fort Hoofddijk

Datum
30 juli 2001

Onze referentie
2001KTW657

Blad
4/4



Figuur 3 Energieverbruik Fort Hoofddijk

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie

Besprekingsverslag

Aan
Martin Vastenhout, Stichting Werk aan de Linie

Van
Collin Bootsveld

Aanwezig
Jan Durk Tuinier, Geu Visser, Henk Rijksen

Afwezig
Gerco Meijer

Kopie aan

Business Park E.T.V.
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93
F 055 541 98 37
info@mep.tno.nl

Onderwerp
Fort De Bilt

Datum
17 juli 2001

Onze referentie
2001KTW/612/32122.01.01/BOO,
jwo

Doorkiesnummer
055 549 3085

1. Gegevens contact

Er is op 15 mei een bezoek gebracht aan Fort De Bilt in de Gemeente Utrecht. Het fort is enkele jaren geleden verworven van Domeinen door de Gemeente Utrecht:

	Eigenaar	Gebruiker
Naam	Dienst Stadsbeheer Gemeente Utrecht	Herinneringscentrum Fort De Bilt
	Bureau Bijzonder Beheer	Stichting Vredeseducatie
Bezoekadres		Biltsestraatweg 160
Postadres	Postbus 8375	
Postcode / plaats	3503 PJ Utrecht	3573 PS Utrecht
Contactpersoon	Dhr. Thijs Offermans	Jan Durk Tuinier en Geu Visser
Functie	Rentmeester	
Telefoon	030 – 286 43 94	030 – 272 35 00
Fax	030 – 271 00 47	030 – 272 35 63
e-mail	t.offermans@utrecht.nl	vrede@xs4all.nl
Internet		www.vredeseducatie.nl

2. Gegevens locatie

De locatie bestaat uit een bomvrije kazerne uit 1877 met vier traveeën van 12m lengte en 5m breed en een ondergrondse gang. De kazerne is in gebruik voor een interactieve tentoonstelling voor scholieren. Op het terrein bevinden zich verder enkele geschutskazematten, die niet geklimatiseerd worden en waarvan enkele in gebruik zijn voor een interactieve tocht. Op enkele plaatsen is de muur gestraald. Recent is een balie met pantry en een toiletgroep aangebracht.

Datum

17 juli 2001

Onze referentie

2001KTW/612

Blad

2/5

3. Huidige functie

De huidige functie is die van herinneringscentrum. Voor deze functie is gekozen vanwege het historische karakter van de locatie. Er zijn in de tweede wereldoorlog circa 140 verzetsstrijders gefusilleerd.

Volgens Tuinier zou verbetering van het binnenklimaat niet leiden tot meer gebruiksmogelijkheden omdat er weinig ruimten zijn op het fort.

4. Beleving

De ruimte bevalt voor de gasten. De locatie voldoet goed voor de bezoekende scholieren, die kennismaken met het begrip verzet en dat toepassen op hun eigen situatie, zoals het omgaan met pesters in de klas. Voor de kinderen is het kille binnenklimaat acceptabel omdat ze hun jas aanhouden, niet al te lang in het fort zijn en vanwege de daardoor Spartaanse ervaring van het fort. Voor de begeleiders, die vijf uur per dag in het fort zijn, is het binnenklimaat wel een probleem. Als Tuinier het opnieuw mocht doen, zou hij kiezen voor verwarming, vanwege het onderhoud. De tentoongestelde koffers van vluchtelingen hebben namelijk te leiden van de hoge luchtvochtigheid.

Een adviseur van de Gemeente Utrecht heeft geadviseerd over de klimaatinstallatie. Er zijn geen bouwkundige maatregelen genomen in relatie tot het binnenklimaat. Wel zijn scheurtjes in het stucwerk gerepareerd en is de eerste meter grond vanaf de gevel afgegraven om de gevel vanaf de binnenkant te conserveren.

Er zijn geen maatregelen genomen ter verlaging van de luchtvochtigheid. De expositie is op de koffers na, geheel waterbestendig opgebouwd. Hierdoor houden de materialen stand in het heersende binnenklimaat.

Er zijn infraroodstralers geplaatst om de binnentemperatuur (de stralingstemperatuur) van de ruimten te verhogen (zie foto).

Datum

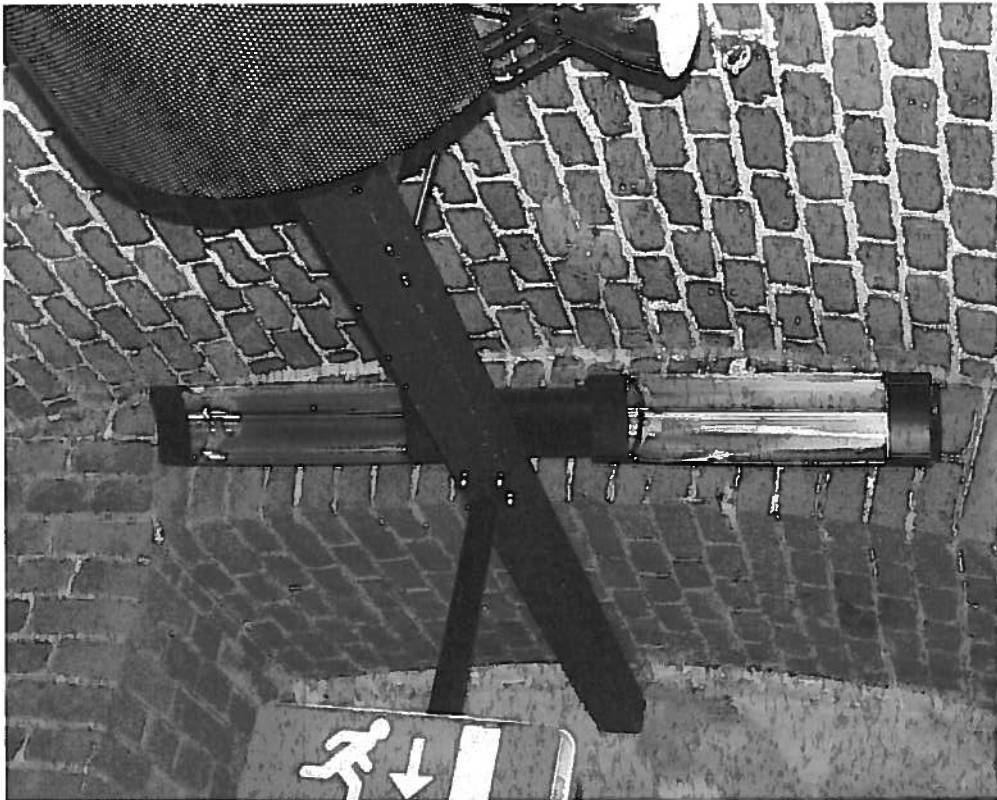
17 juli 2001

Onze referentie

2001KTW/612

Blad

3/5



Figuur 1 Elektrische stralers in Fort de Bilt

Verder is een elektrische radiator met een thermostaat geplaatst in de kast waarin de TV, audio- en video-apparatuur zijn opgesteld, om de temperatuur te verhogen en daarmee de relatieve luchtvochtigheid te verlagen (zie foto).

Datum
17 juli 2001

Onze referentie
2001KTW/612

Blad
4/5



Figuur 2 Klimaatregeling audio-video kast

Een luchtsysteem is overwogen maar afgefallen vanwege de gaten die gemaakt moesten worden in de dikke muren en vanwege de monumentale situatie.

Een CV-installatie is afgefallen omdat het fort slechts circa 100 dagen per jaar open is.

De bezetting werd te gering geacht voor investering in een CV-installatie.

De energievoorziening is verbeterd middels een zwaardere elektriciteitskabel en een nieuwe meterkast. Er is geen gas in het fort.

Datum

17 juli 2001

Onze referentie

2001KTW/612

Blad

5/5

6. Detailgegevens

Detailgegevens zijn beschikbaar in de “groepsplannen” van de dienst stadsbeheer van de Gemeente Utrecht. Dit gaat vooral over de aanwezige flora en fauna, die gedetailleerd in kaart zijn gebracht. De begroeiing van de het fort bestaat uit struiken en bomen. Er zijn veel zware bomen gekapt.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie

Besprekingsverslag

Aan
Martin Vastenhout, Stichting Werk aan de Linie

Van
Collin Bootsveld

Aanwezig
De heren Andries van Barneveld, Henk Rijksen, Gerco Meijer

Afwezig
--

Kopie aan
--

Business Park E.T.V.
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93
F 055 541 98 37
info@mep.tno.nl

Onderwerp
Fort Rijnauwen

Datum
2 augustus 2001

Onze referentie
2001KTW/667/32122.01.01/BOO,
nsc

Doorkiesnummer
055 549 3085

1. Gegevens contact

Doel van het bezoek aan Fort Rijnauwen op 15 mei 2001 was het verzamelen van informatie over de toegepaste klimatisering in de verschillende depots.

	Eigenaar	Gebruikers
Naam	Staatsbosbeheer	<ul style="list-style-type: none">• Staatsbosbeheer• Rijksdienst voor de Monumentenzorg• Stadsarcheologische Dienst van de stad Utrecht
	Fort bij Rijnauwen	
Bezoekadres	Vossegatsedijk 35	
Postadres		
Postcode / plaats	3981 HS Bunnik	
Contactpersoon	De heer Andries van Barneveld	
Functie	Beheerder	
Telefoon	030 – 656 12 63	
Fax		
e-mail		
Internet		

2. Gegevens locatie

Het fort bij Rijnauwen is het grootste fort van de Nieuwe Hollandse Waterlinie en bevat een kazerne van drie verdiepingen, vele geschutsbatterijen en remises en andere gebouwen. Bij restauratie wordt steeds de situatie in het jaar 1885 als basis genomen. Daardoor zijn enkele later aangebrachte remises op de kazerne verwijderd bij de restauratie die twaalf jaar geleden heeft plaatsgevonden.

De huidige toestand van de remises is dat enkele batterijen middendoor scheuren, omdat ze gebouwd zijn op opgebrachte grond. Allen de kazerne en het reduit staan goed

Datum

2 augustus 2001

Onze referentie

2001KTW/667

Blad

2/5

gefundeerd op o.a. stroomruggen van de Kromme Rijn. Het reduit is beschadigd door het opblazen van munitie kort na de tweede wereldoorlog.

De kazerne was voor restauratie bouwkundig in orde, maar vertoonde wel lekkage.

3. Huidige functie

De hoofdfunctie van het fort Rijnauwen is die van ecologische hoofdstructuur in het verstedelijkte gebied. Het heeft een bijzonder biotoop. Daarnaast is er één maal per jaar de functie als oorlogsmonument. De geplande functie voor de kazerne als museum is afgelast vanwege de hoge luchtvochtigheid waardoor de historische materialen werden aangetast en verblijf voor gasten onaangenaam bleek.



Figuur 1 De functie als museum is vervallen wegens problemen met het binnenklimaat

De belangrijkste functie voor dit onderzoek is die van archief, zowel in geklimatiseerde ruimten als in niet geklimatiseerde ruimten. De keuze voor de functie als depot komt voort uit de kostprijs van de locatie en het feit dat er voor een depot weinig bewegingen plaatsvinden, zodat deze functie niet strijdig is met die van ecologische hoofdstructuur. De kazerne wordt gebruikt voor twee depots. De stadsarcheologische dienst van de gemeente Utrecht heeft het grootste depot met honderden dozen met vondsten als scherven, potjes etc. op de begane grond. Het geraamtedepot bevindt zich op de tussenverdieping. Op de derde verdieping is geen opslag.

Datum
2 augustus 2001

Onze referentie
2001KTW/667

Blad
3/5



Figuur 2 Opslag van dierlijke beenderen en archeologische vondsten in ongeklimatiseerde grondgedekte ruimten in dozen

De Rijksdienst voor de Mounumentenzorg gebruikt geklimatiseerde ruimten voor een depot van voornamelijk bouwkundige historische voorwerpen. De luchtvochtigheid wordt geregeld op 55% relatieve luchtvochtigheid.

Eén ruimte in de kazerne dient als vergaderruimte. Deze ruimte van 12m bij 5 m wordt middels een gaskachel en een thermostaat op 15 °C gehouden. Dit voldoet, al zijn er 's zomers bij vochtig weer en open deuren wel vochtproblemen (natte suikerklontjes).

Datum

2 augustus 2001

Onze referentie

2001KTW/667

Blad

4/5



Figuur 3 Depot historische materialen Rijksdienst voor de Monumentenzorg

De wens bestaat bij de RDMZ om tentoonstellingen te gaan inrichten. Verbetering van het binnenklimaat in de kazerne zou leiden tot andere gebruiksmogelijkheden, zoals een restaurant, museum, publieksruimte. Echter de functie van natuur vraagt juist om weinig publiek.

4. Beleving

De functie als museum is, zoals aangegeven, niet gerealiseerd.

Voor de opslag voldoet de kazerne goed. De opslag van dierlijke beenderen en in dozen (zie foto) moet elke 10 à 15 jaar worden overgepakt naar nieuwe dozen. Dit wordt acceptabel gevonden. De Rijksdienst voor de Monumentenzorg is volgens Van Barneveld zeer tevreden met het bereikte binnenklimaat. Wel is er de wens om in de toekomst ook herstelwerkzaamheden te gaan verrichten. Daarvoor is de temperatuur nu te laag.

5. Maatregelen

De restauratie van de kazerne is grootschalig en professioneel aangepakt. Aanleiding van de restauratie was de wens om de gebouwen in gebruik te nemen als museum en als depot, waarbij de gewelven waterdicht moesten worden gemaakt. Daartoe is bij de restauratie de gronddekking verwijderd en zijn de volgende lagen aangebracht:

- folie;
- grind;
- waterdoorlatende folie;

Datum

2 augustus 2001

Onze referentie

2001KTW/667

Blad

5/5

- zand van verschillende grofheden;
- gestapelde bakstenenlaag.

In feite is het oude systeem voor filtering van drinkwater met enkele moderne materialen hersteld.

Er is elektriciteit aangelegd in de ruimten van de Rijksdienst voor de Monumentenzorg en op hun kosten. Er is geen nieuwe hoofdkabel naar het fort aangelegd. In het geklimatiseerde gedeelte wordt gebruik gemaakt van twee ontvochtigers die droge, koele lucht in de depotruimte blazen en warme, natte lucht naar buiten de depots.

De werking is als volgt. Lucht wordt van buiten de ruimte aangezogen en afgekoeld met een compressiewarmtepomp/koelmachine. Hierdoor condenseert de waterdamp. De droge koude lucht wordt deels in de ruimte geblazen. Lucht uit de ruimte wordt aangezogen en opgewarmd met warmte van de condensor van de warmtepomp. Daarna verdampt het condenswater in deze verwarmde luchtstroom. Deze constructie heeft in zich dat geen aparte afvoer voor condenswater nodig is.



Figuur 4 Ontvochtiger in depot Fort Rijnauwen

6. Detailgegevens

De druipkokers functioneren nog, al raken ze soms verstopt door kalkaanslag, waardoor water in de gewelven komt.

Het geklimatiseerde deel bestaat uit 5 traveeën van 5 bij 12 meter.

Beste Collin Bootsveld,

Utrecht, 8 okt. '01

Fort Voordorp op 29 aug. j.l. bezocht, gesproken met dhr. v.Denderen sr.

De diverse ruimten worden naar behoefte elektrisch verwarmd via op de muur bevestigde panelen.

Het verbruik is fl.32000,- per halfjaar voor 1000 m2 vloeroppervlak.

De ruimten worden 2 tot 3x per week gebruikt.

Het verwarmingssysteem voldoet goed.

Het gevolg van het onregelmatig opwarmen van de ruimten is dat regelmatige "zoutuitbloei" van de voegen optreed, dit is goed zichtbaar op de vloerbedekking (zwarte rubbertegels).

De gewelven zijn niet geschilderd, tijdens de restauratie van het fort zijn alle gewelven schoongestraald.

Op de langere termijn kan er mogelijk schade ontstaan aan de voegwerk van de gewelven.

De inpandige ruimten (o.a.voormalige kruitkamer) waren na de restauratie van wege de grote vochtbelasting onbruikbaar.

Men heeft hier door het aanbrengen van een eenvoudige luchtbehandeling en verwarming redelijk bruikbare ruimten van kunnen maken (o.a.bar)

In Naarden bij het Vestingmuseum en het Arsenaal en Promeskazerne (Jan des Bouvrie) ben ik niet veel wijzer geworden.

De vochtproblemen in deze gebouwen zijn bijna identiek: door o.a. het regelmatig open staan van buitendeuren en onregelmatig bezoek van groepen mensen.

Mogelijke verbeteringen zijn hier: bij warm weer (hoge luchtvochtigheid) deuren dicht en een gedisciplineerd stook- en ventilatiegedrag.

Met vriendelijke groeten,

Henk Rijksen

