

Energiebesparing door best beschikbare technieken voor koeling van serverruimtes

Rapport
Delft, oktober 2014

Opgesteld door:
M.R. (Maarten) Afman
A.H. (Anouk) van Grinsven
A. (Ab) de Buck



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

M.R. (Maarten) Afman, A.H. (Anouk) van Grinsven, A. (Ab) de Buck
Energiebesparing door best beschikbare technieken voor koeling van serverruimtes
Delft, CE Delft, oktober 2014

Automatisering / Energiebesparing / Koelen / Best bestaande techniek
VT: Serverruimtes

Publicatienummer: 14.3E09.62

Opdrachtgever: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Maarten Afman.

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft
Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 35 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
1.1	Onderzoeksvragen	8
1.2	Opzet en onderzoeksmethoden	8
1.3	Leeswijzer	8
2	Typerende serverruimtes	9
2.1	Introductie	9
2.2	Vloeroppervlak	9
2.3	Serveropstelling	9
2.4	Opgesteld ICT-vermogen	10
2.5	Gemiddelde ingestelde temperatuur	10
2.6	Ontwikkeling serverapparatuur en inrichting van de serverruimte	11
3	Huidige technieken toegepast in serverruimtes	13
3.1	Introductie	13
3.2	Meest voorkomende koeltechnieken	13
3.3	Energie-efficiëntie van de koelinrichtingen (COP/EER)	15
3.4	Energiebesparende technieken en maatregelen	16
3.5	Algemene visie op energiebesparing serverruimtes	24
3.6	Conclusie	24
4	Identificatie best beschikbare koeltechnieken	27
4.1	Inleiding	27
4.2	BBT-technieken	28
4.3	Uitwerking BBT technieken per type serverruimte	29
4.4	Samenvatting	31
5	Modeldoorrekening	33
5.1	Inleiding	33
5.2	Referenties	33
5.3	Zelfstandig moment/natuurlijk moment	35
5.4	Financiering	35
5.5	Resultaten doorrekening	35
5.6	Besparingspotentieel	38
5.7	Aanbevelingen voor EIA-maatregelen	38
6	Conclusie	39
6.1	Energiebesparingspotentieel	39
6.2	Conclusies per type serverruimte	40
6.3	Slot	43
	Referenties	45



Bijlage A	Lijst met geïnterviewden	47
Bijlage B	Interviewvragen	49
Bijlage C	Beschrijving van het model	51
C.1	Werking, inputs en outputs	51
C.2	Werkbladen	52
C.3	Gevoeligheidsanalyse	52
C.4	Schermafbeeldingen	52



Samenvatting

Hoewel er een trend is naar het onderbrengen van ICT-systemen in externe datacenters, en clouddiensten aan populariteit winnen, zijn veel ICT-systemen ondergebracht bij bedrijven zelf, in inpanidige serverruimtes. Dit zijn kleine tot (middel-)grote ICT-ruimten, vaak voorzien van een actieve koelinstallatie (airconditioning). Het energiegebruik hiervan is binnen de onderneming relatief onzichtbaar. Er zijn sterke aanwijzingen dat er nog veel energiebesparing mogelijk is door energie-efficiënte technieken toe te passen.

In de EIA Energielijst 2013 zijn twee bedrijfsmiddelen opgenomen die te maken hebben met energiezuinige koeling van computerruimtes. Uit de meldingen voor deze bedrijfsmiddelen blijkt dat het vooral de grote datacenters zijn die gebruik maken van de EIA voor energie-efficiënte technieken. 'Kleinere' ondernemers doen dit niet of nauwelijks, ondanks dat verwacht wordt dat ook hier grote potentiële besparingen aanwezig zijn. Naar verwachting blijft hier dus een stuk potentieel voor energie-efficiency liggen. Ook is de kennisverspreiding over efficiënte technieken voor serverruimtes en de mogelijkheden van besparingen beperkt.

In opdracht van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland heeft CE Delft daarom het jaarlijkse energiebesparingspotentieel met betrekking tot de koeling van de eigen serverruimte in kaart gebracht. Er is gekeken naar de zakelijke dienstverlening (kantoren) in Nederland, voor de situatie dat men de huidige koelinstallatie zou vervangen en zou overstappen op de best beschikbare techniek.

In het onderzoek zijn de voor kantoren kenmerkende typen serverruimten in beeld gebracht, hoe deze serverruimtes momenteel typisch gekoeld worden en wat het energiegebruik daarvan is. Voor de best beschikbare koeltechnieken zijn de gemiddelde investeringskosten en het energiegebruik in kaart gebracht. Het onderzoek behelsde een serie interviews met praktijkdeskundigen en leveranciers, literatuuronderzoek en een synthese van de verkregen gegevens. De berekeningen voor de typerende serverruimtes (energiegebruiken en terugverdientijden) zijn uitgevoerd met een rekenmodel van de energiestromen in computerruimtes en datacenters dat CE Delft tot haar beschikking heeft.

Typerende serverruimtes

Uit de gesprekken komt naar voren dat er een aantal typerende serverruimtes kan worden onderscheiden:

- klein: circa 5 m² vloeroppervlakte, 5 tot 10 kW opgesteld ICT-vermogen;
- middelgroot: 10 m² tot 100 m² vloeroppervlakte; ICT-vermogen 15-40 kW;
- groot: 100 m²-600 m² vloeroppervlakte; meer dan 100 kW ICT-vermogen.

Veel voorkomende koeltechnieken

De meest voorkomende koeltechnieken voor kleine serverruimtes zijn de zeer inefficiënte split unit systemen (meer dan 90%) en directe vrije koeling (minder dan 10%). Voor middelgrote en grote serverruimtes (20-40 kW) is er een groter palet aan technieken in gebruik. Bij middelgrote serverruimtes worden ook split unit systemen aangetroffen, daarnaast zijn er in deze categorie ook DX-koelsystemen, en koelers die werken op gekoeld water, in 80% van de gevallen zonder vrije koeling. Voor grote serverruimtes is er een mix van ongeveer 50% DX-koelsystemen en 50% koeling met gekoeld water, wederom in 80% van de gevallen zonder vrije koeling.



Best beschikbare technieken

Op basis van de interviewresultaten zien we meerdere koeltechnieken die als ‘beste’ kunnen worden geclassificeerd, afhankelijk van de situatie. Deze technieken hebben deels verschillende toepassingsgebieden: sommige technieken zijn alleen geschikt voor de grotere of juist voor de kleinere serverruimtes.

1. Directe vrije luchtkoeling, dus inblazing van gefilterde of ongefilterde buitenlucht. Voor alle groottes toepasbaar, indien de bouwkundige situatie dit toelaat. Een variant is indirecte vrije luchtkoeling (lucht/lucht warmtewisselaar), al dan niet adiabatisch ondersteund.
2. Rack cooling met een DX-systeem, zonder vrije koeling, voor kleine serverruimtes
3. Een watergekoeld ‘precision airconditioning’ systeem uitgerust met (vaak optionele) vrije koeling. Op het dak van het gebouw staat alleen een droge koeler. Voor middelgrote en grote serverruimtes.
4. Gekoeldwatersysteem, met centrale koudwatermachine (chiller) én vrije koeling, door ofwel een droge ofwel een hybride droge koeler. Voor middelgrote en grote serverruimtes.

In alle gevallen moet gekozen worden voor:

- hoge inblaastemperaturen (23-27 °C) om vrije koeling mogelijk te maken;
- het gescheiden houden van warme en koude luchtstromen;
- toerenregeling op compressoren en ventilatoren.

Terugverdiertijden

De terugverdiertijden zijn bepaald voor het ‘zelfstandige moment’. Deze geven het aantal jaar aan waarbinnen de investeringsomvang terugverdiend wordt door de energiebesparing ten opzichte van de referentie.

De terugverdiertijden op een natuurlijk moment zijn aanmerkelijk korter, omdat dan alleen meerkosten van de efficiënte systemen hoeven te worden terugverdiend¹.

	Klein	Middel	Groot
Directe vrije luchtkoeling, met back-upsysteem	3	4	6
Rack cooling met DX-systeem	8		
Watergekoelde precision airco (row/rack cooling) met vrije koeling		8	
Gekoeldwatersysteem met vrije koeling (droog), row/rack cooling		7	11
Gekoeldwatersysteem met vrije koeling (hybride), row/rack cool			11

De terugverdiertijden zijn bepaald voor kantoren met een MS-aansluiting, bij een laagspanning aansluiting (kleiner dan 50 kW en tot 400 V) zijn deze 23% korter. De terugverdiertijden laten een gemengd beeld zien, maar voor alle categorieën serverruimtes heeft directe vrije luchtkoeling de kortste terugverdiertijd. Tegelijkertijd is deze optie erg van de specifieke (bouwkundige) situatie afhankelijk. Alle terugverdiertijden hangen sterk af van de specifieke situatie.

Veel energiebesparing mogelijk

Uit de doorrekening blijkt daarnaast dat voor alle typerende serverruimtes **minimaal 40-50%** op het energiegebruik van de koeling kan worden bespaard, wanneer men de beste techniekcombinaties implementeert. Ook compressiekoeling kan veel efficiënter dan de gangbare praktijk. Dit levert een belangrijk argument op om te kiezen voor energie-efficiënte technieken.

¹ Doorrekening van het natuurlijk moment viel buiten de onderzoeksopdracht.



1 Inleiding

Een huidige trend is dat ondernemingen hun ICT-systemen in een groeiend aantal externe datacentra onderbrengen; clouddiensten winnen daarbij aan populariteit. Maar er zijn ook veel ICT-systemen ondergebracht bij bedrijven zelf, in inpanidige serverruimtes². Dit zijn kleine tot (middel-)grote ICT-ruimten, die beschikken over vergelijkbare faciliteiten als standalone datacenters: klimaatbeheersing, ononderbroken stroomvoorziening, fysieke beveiliging, blusinstallaties. Alleen het schaalniveau is kleiner. Daarom bestaan er - net als bij datacenters - veel mogelijkheden voor het toepassen van efficiënte(re) technieken en het treffen van energiebesparende maatregelen.

Een probleem is echter dat van de serverruimten binnen kantoren veelal niet goed bekend is wat de huidige praktijk van de toegepaste technieken is, noch wat de huidige energetische prestaties zijn. Door de relatieve 'onzichtbaarheid' van het energiegebruik van serverruimte is hier vanuit het bedrijf zelf en vanuit de omgeving van het bedrijf (bijvoorbeeld de toezichthouder) slechts beperkt aandacht voor. Dit is een van de redenen waardoor de penetratie van energie-efficiënte technieken naar verwachting relatief gering is. Koelinstallaties zijn hier een belangrijke categorie. Ondernemers kunnen naar verwachting forse besparingen behalen, zowel op energie als financieel, door efficiënte koeltechnieken toe te passen.

In de EIA Energielijst 2013 zijn twee bedrijfsmiddelen opgenomen die te maken hebben met energiezuinige koeling. Uit de meldingen voor deze bedrijfsmiddelen blijkt, dat het vooral de grote datacenters zijn die gebruik maken van de EIA voor energie-efficiënte technieken. 'Kleinere' ondernemers doen dit niet of nauwelijks, ondanks dat de potentiële besparingen ook hier mogelijk aanwezig zijn. Het gevolg is tweeledig:

1. Er is een zeer beperkt zicht op de potentiële besparingsmogelijkheden voor (koeling van) serverruimtes bij de Nederlandse zakelijke dienstverlening.
2. De kennisverspreiding over efficiënte technieken voor serverruimtes.
3. En de mogelijkheden van besparingen is beperkt.

Om hier beter zicht op te krijgen heeft de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland CE Delft opdracht gegeven onderzoek te doen naar de potentiële energiebesparing bij koelinrichtingen van serverruimten binnen de zakelijke dienstverlening in Nederland. Dit rapport beschrijft het onderzoek, dat is uitgevoerd in de periode juli tot en met september 2014.

² In CE Delft (2012) hebben we de totale vloeroppervlakte van serverruimtes binnen kantoor-gebouwen geschat op 350.000 m² (op basis van 46 mln. m² vloeroppervlakte voor kantoren); qua grootteorde lijkt dit vergelijkbaar met de commerciële datacenters.



1.1 Onderzoeksvragen

De centrale vraagstelling luidt: geef voor de zakelijke dienstverlening in Nederland het jaarlijks energiebesparingspotentieel met betrekking tot de koeling van de eigen serverruimte als men zou investeren in de best beschikbare techniek ten opzichte van de huidige situatie (juni 2014). Er wordt verder gevraagd naar een onderverdeling naar vaak voorkomende typen serverruimtes, met dan voor ieder type:

1. Een raming van hoe vaak dit type serverruimte bij kantoren voorkomt.
2. De gemiddelde wijze waarop deze ruimten nu worden gekoeld.
3. Het energiegebruik van de koeling van de serverruimte (in kWh per jaar).
4. De best beschikbare techniek voor de koeling van het type serverruimte.
5. Een raming van de gemiddelde investeringskosten van die techniek.
6. Het energiegebruik en de terugverdientijd van die techniek.

1.2 Opzet en onderzoeksmethoden

Het onderzoek is opgedeeld in drie fasen:

Fase 1: gegevensverzameling en inventarisatie van soorten serverruimten, voorkomen van koeltechnieken, meest gebruikte huidige koelingswijze, huidige energiegebruiken, verbeteringsopties/maatregelen.
Activiteiten: interviews met praktijkdeskundigen, literatuur.

Fase 2: vaststellen van best beschikbare technieken met kosten en energetische prestaties. Activiteiten: interviews, literatuur, synthese en analyse van interviewresultaten.

Fase 3: verwerken van verzamelde kwantitatieve gegevens in rekenmodel om de terugverdientijd van de investeringen te kunnen bepalen. Bepaling van het jaarlijks energiebesparingspotentieel in een serverruimte, bij toepassing van de best beschikbare techniek ten opzichte van de referentiesituatie. Activiteiten: modelberekeningen, gevoeligheidsanalyse.

Deze rapportage doet verslag van alle drie de fasen.

Het onderzoek richt zich alleen op serverruimtes binnen kantoorgebouwen in Nederland. Met kantoorgebouwen wordt bedoeld de sector 'zakelijke dienstverlening'.

Fase 1 betreft de huidige praktijksituatie. Bij het zoeken naar de best beschikbare technieken en het doorrekenen (Fase 2 en 3) gaat het om koeltechnieken die aangeraden worden door deskundigen en die zich bewezen hebben doordat ze zich minimaal op één andere plaats hebben bewezen. Het zijn dus op de markt verkrijgbare technieken en geen technieken die nog in de R&D-fase zitten.

1.3 Leeswijzer

Het rapport is als volgt gestructureerd:

Hoofdstuk 2 beschrijft de resultaten die volgen uit de inventarisatie naar de typerende serverruimtes. Dit mondt uit in een aantal typerende serverruimtes met hun karakteristieken. Hoofdstuk 3 gaat in op de koeltechnieken die nu worden toegepast in de verschillende types serverruimtes, zowel over de efficiënte als de gangbare koeltechnieken. Op basis hiervan beschrijft Hoofdstuk 4 de als 'best beschikbaar' te beschouwen techniekcombinaties, die passend bij de typen serverruimtes. Hoofdstuk 5 beschrijft de modeldoorrekening van de best beschikbare technieken, op basis waarvan we de conclusies kunnen trekken in Hoofdstuk 6.



2 Typerende serverruimtes

2.1 Introductie

In het onderzoek is op basis van interviews onderzocht wat kenmerkende typen serverruimtes zijn die veel voorkomen in Nederlandse kantoorgebouwen. Op basis hiervan zien we drie hoofdtypen serverruimten, waarbij de grootte bepalend is. Daarnaast zijn er een aantal typerende configuraties in termen van de opstelling van de servers en de typerende koelinrichting. Er is ook sprake van een koppeling tussen de grootte van een serverruimte en de configuratie van de servers/serveropstelling en de koelinrichting.

2.2 Vloeroppervlak

Uit de gesprekken komt de volgende typerende vloeroppervlakte van de serverruimtes naar voren:

- Klein - 5 m² - en wordt vaak naar verwezen als 'bezemkasten' of als 'Secondary Equipment Room (SER)'.
- Middelgroot - 'Main Equipment Room (MER)' met een grootte van de tussen de 10 m² en 100 m².
- Groot -> 100 m²-600 m². Deze categorie zijn in feite kleine datacenters in een kantoorgebouw. Deze categorie komt niet vaak voor, maar is wel mogelijk bij instellingen die zeer zwaar op ICT leunen, zoals financiële instellingen, grote multinationals.

In dit rapport zullen we de bovenstaande indeling aanhouden³. De typerende serverruimtes van het midden- en kleinbedrijf vallen in deze indeling binnen de kleinste categorie.

Bij grotere kantoren kan er ook sprake zijn van één 'Main Equipment room' en dan per afdeling bijv. een 'Secondary Equipment room'. Een relatief groot totaal ICT-vermogen staat dan versnipperd opgesteld in het gebouw. Dit kan gevolgen hebben voor de te kiezen koelinrichting(en).

2.3 Serveropstelling

Er zijn verschillende manieren waarop servers gehuisvest kunnen worden. Onderscheiden kan worden: losse plaatsing (tower servers), rack mounted servers in los opgestelde racks, servers in racks die in rijen zijn opgesteld, servers in racks in volledig afgesloten (gecompartmenteerde) gangen.

Over de mate van het voorkomen van losse servers (dus tower-servers in plaats van rackmounted) zijn de meningen verdeeld. Sommige respondenten gaven aan dat dit steeds meer een uitzondering wordt, zeker voor de grote categorie, maar ook werd aangegeven dat het zeker nog heel erg veel voorkomt, vooral bij de kleine en middelgrote serverruimtes.

³ Een nuance over de terminologie: wat door ICT-ers in de praktijk als 'klein', 'middelgroot' of 'groot' wordt beschouwd, hangt ook af van de grootte van de serverruimte in relatie tot de grootte van het kantoorgebouw of het aantal medewerkers (een serverruimte van 20 m² is klein in verhouding tot een kantoorgebouw van 2.500 m² en 500 medewerkers).



Opstelling in racks is de minimale standaard voor nieuwere serverruimtes en voor serverruimtes waar kritieke apparatuur wordt gehuisvest. Investeringsen in racks verdienen zich terug door de verbeterde fysieke beveiliging, een gemakkelijker beheer, overzichtelijke bekabeling (geen bundels van snoeren meer), en - relevant voor dit onderzoek - sterk verbeterde koeling (APC, 2012a).

Bij de kleinste categorie serverruimtes staat er vaak maar één rack, welke vaak slechts voor een deel gevuld zal zijn. De kleinste serverruimtes zijn daarom te klein om de racks in rijen op te stellen, één rack herbergt vaak voldoende servers. Maar dat betekent niet dat er voor kleinste serverruimtes geen mogelijkheden zijn om de koude en de warme lucht gescheiden te houden.

De middelgrote serverruimtes kunnen meerdere racks bevatten, waardoor ook de opstelling van de racks een aandachtspunt kan zijn. Dit maakt het mogelijk om de racks zo op te stellen dat er koude en warme gangen gemaakt kunnen worden. Zo kunnen technieken als het volledig compartimenteren van de koude of de warme gang en row cooling toegepast kunnen worden.

De opstelling in verhoogde vloeren komt alleen voor bij de middelgrote en grotere ruimtes, waar een op ICT-koeling ontworpen koelsysteem is aangelegd.

2.4 Opgesteld ICT-vermogen

Het opgestelde ICT-vermogen is van belang voor de grootte van de koelinstallatie. Het opgestelde ICT-vermogen definiëren we als het uitgangsvermogen van het UPS op het gewenste redundantieniveau⁴.

De volgende waarden zijn typerend voor het opgestelde ICT-vermogen per grootteklasse serverruimte:

- kleine serverruimtes: 5-10 kW, max. 12 kW;
- middelgrote serverruimtes: 15-40 kW, gemiddeld 20-40 kW;
- grote serverruimtes: 100+ kW.

De respondenten geven aan dat in de praktijk het opgestelde vermogen verband houdt met het aantal medewerkers van een organisatie.

Een belangrijke opmerking is dat serverruimtes organisch kunnen groeien: wanneer er in de loop van de jaren steeds extra servers of hele racks worden bijgeplaatst, dan worden de keuzes met betrekking tot de koeling waarschijnlijk anders genomen dan als een serverruimte in één keer wordt ingericht en gevuld.

2.5 Gemiddelde ingestelde temperatuur

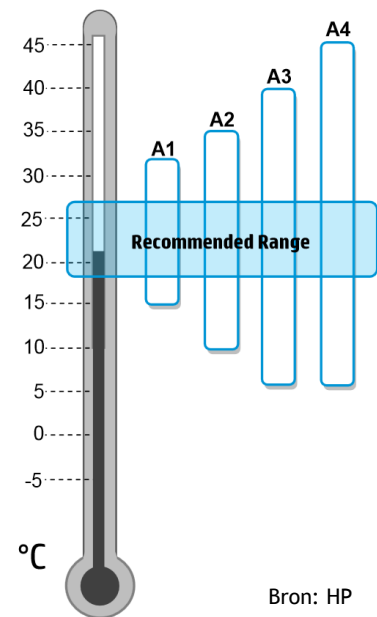
Uit de interviews bleek dat de ingestelde temperatuur vaak lager lag dan 20 °C, dit is nodeloos koud. De respondenten geven aan dat er wel een trend zichtbaar is waarbij men langzaamaan ook hogere temperaturen durft aan te nemen. Nieuwere serverruimtes worden ingericht voor vaak 24/25 °C, soms hoger. In de praktijk kunnen we spreken over een range van 16-25 °C.

⁴ Dus bij een enkel UPS van 5 kVA is het opgestelde ICT-vermogen 5 kVA, wat we beschouwen als kW. Bij een tweetal UPS-en van 5 kVA die geschakeld zijn om volledige (2N) redundantie te bieden, is het ICT-vermogen eveneens 5 kW.



De aanbevolen temperatuur voor datacenter ICT-apparatuur bedraagt 18-27°C. De minimaal en maximaal toelaatbare temperatuur waarbinnen de meest kritieke (Klasse A1) apparatuur goed moet functioneren betreft een ruimer bereik: 15-32°C (ASHRAE, 2011), zie afbeelding rechts. De temperatuur wordt gemeten bij de inlaatopeningen van de ICT-apparaten. De ASHRAE 2011 richtlijn wordt breed geaccepteerd en gehanteerd door veel leveranciers van ICT-apparatuur.

Het besparingspotentieel van koeltechnieken, in het bijzonder vrije koeling (Hoofdstuk 3), hangt vaak sterk samen met het aanpassen (verhogen) van de gemiddelde ingestelde temperatuur in een serverruimte. Daarom moet worden getracht de temperatuur te verhogen tot de bovengrens van het ASHRAE-aanbevolen gebied. Hoe hoger die temperatuur wordt ingesteld, des te efficiënter een compressiekoeling kan werken, en des te groter het aantal uren in een jaar dat van vrije koeling gebruik kan worden gemaakt.



Luchtvochtigheid

Gezien de relatie tussen de hoogte van de temperatuur en de hoeveelheid vocht die lucht kan bevatten is ook de vochtbalans relevant. Een aantal ondervraagden benoemden dat het vochtgehalte binnen serverruimtes vaak onderbelicht blijft, en men zich teveel op de ingestelde temperatuur richt.

De cf. ASHRAE (2011) toelaatbare relatieve luchtvochtigheidsgraad ligt tussen de 20% en 80%, de aanbevolen luchtvochtigheid betreft een krappere werkingsgebied. De aanbevolen luchtvochtigheid wordt gekarakteriseerd door een dauwpunt van +5,5°C of hoger, tot en met 60% relatieve luchtvochtigheid.

Bij split units is regelmatig sprake van onbedoelde condensvorming op de verdamper (de binnenunit). Dit kost elektriciteit en verandert de vochtbalans, waardoor de luchtvochtigheid lager dan wenselijk kan worden. Uit CE Delft (2013) weten we dat, naarmate de setpoints van de temperaturen hoger worden ingesteld, de vochtigheidsregulering steeds minder een probleem wordt doordat de luchtvochtigheid vrijwel altijd binnen de toelaatbare range valt en tevens onbedoelde condensvorming voorkomen kan worden.

2.6 Ontwikkeling serverapparatuur en inrichting van de serverruimte

De ICT-sector is dynamisch, ontwikkelingen volgen elkaar snel op. Momenteel zien de geïnterviewden een aantal trends, die meermalen genoemd werden. Deze trends beïnvloeden nu en in de komende jaren de configuratie van serverruimtes en daarmee ook indirect de keuze voor koeltechnieken.



Trend 1: servers worden steeds toleranter voor wat betreft de omgevingscondities

De belangrijkste trend waar naar verwezen werd is technologische vooruitgang van de servers zelf, waarbij serverleveranciers de vereiste omgevings-specificaties steeds verder oprekken. Hierdoor hoeven de omstandigheden in de serverruimtes (met name ten aanzien van de temperatuur en de luchtvochtigheid) minder strikt gecontroleerd te worden. Een hogere omgevingstemperatuur wordt steeds minder een probleem voor het goed functioneren van servers. Dit is erg belangrijk omdat het verruimen van de toegestane temperaturen in de serverruimte efficiëntere koeltechnieken mogelijk maakt. Door deze ontwikkelingen wordt verwacht dat actieve koeling op den duur geheel overbodig kan worden.

Trend 2: Outsourcen van servers/serverbeheer

Steeds meer bedrijven kiezen er voor hun servers voor een groot gedeelte onder te brengen in grotere datacenters, deze trend zorgt voor een daling van het opgesteld vermogen in serverruimtes binnen kantoorgebouwen zelf.

Als onderdeel van het outsourcen vindt vaak een consolidatieslag plaats (uitfaseren oude servers en consolideren van meerdere taken op een server) en worden nieuwe servers aangeschaft. Omdat de warmtebelasting dan afneemt moeten de gevolgen voor de koelinstallatie meegenomen worden. Als de koelinstallatie niet toerengeregeld is, dan zal deze vaker aan/uit gaan pendelen, wat een lager rendement tot gevolg heeft.

In een kleine serverruimte kan het outsourcen ook betekenen dat de servers (nagenoeg geheel) verdwijnen en alleen een patchkast overblijft met netwerk-apparatuur. In dat geval is het vaak niet meer nodig om de aanwezige split unit in bedrijf te houden omdat de warmtelast voldoende laag wordt, zodat passieve koeling (evt. aanbrengen van ventilatieroosters) afdoende is.

Trend 3: Toename in gebruik van clouddiensten

In lijn met het steeds meer outsourcen van serverbeheer ligt ook het toenemend gebruik van clouddiensten. Deze trend zorgt eveneens voor een daling van het opgesteld vermogen in serverruimtes dat onder eigen beheer valt.

Trend 4: Economische crisis en daaraan gerelateerde verhuizingen

Door de economische crisis in de afgelopen jaren hebben er waarschijnlijk minder kantoorverhuizingen plaatsgevonden. Omdat bij een fysieke verhuizing van het kantoor ook ruimte ontstaat om na te denken over de serverinrichting (consolidatie; nieuwbouw “en nu goed”) zijn deze overwegingen in de afgelopen jaren waarschijnlijk ook minder aan de orde geweest.

Trend 5: Zuiniger servers, zuiniger CPU's

Veel mensen verwachtten dat het energiegebruik van ICT zou blijven stijgen, bijvoorbeeld door *high density computing*: meer computerkracht per m², meer kW per rack. Alleen in de praktijk blijkt daarentegen dat het totale ICT-verbruik niet stijgt maar daalt. Een factor hierbij is dat CPU's die nu worden toegepast significant meer rekenkracht bieden per eenheid van energiegebruik dan de oudere systemen. Dit dalende energiegebruik heeft gevolgen voor de koeling van de serverruimte. Toerengeregelde systemen kunnen, wanneer de warmtebelasting minder is, rustiger gaan draaien waarbij ook efficiëntiewinsten optreden, waardoor een besparing in de ICT zich nog eens extra vertaalt in een energiebesparing in de koelinstallatie. Dit geldt niet voor systemen met aan/uit-regeling (de meerderheid van de tegenwoordig geïnstalleerde systemen). Op dit laatste punt gaan we in Paragraaf 3.4 verder in.



3 Huidige technieken toegepast in serverruimtes

3.1 Introductie

In het voorgaande hoofdstuk lag de nadruk op de algemene kenmerken van serverruimtes, zoals die naar voren kwamen in de interviewresultaten. In dit hoofdstuk gaan we in op de koeltechnieken die momenteel veel gebruikt worden, gebaseerd op de afgenomen interviews en literatuur.

3.2 Meest voorkomende koeltechnieken

Servers zijn vrijwel allemaal luchtgekoeld: ze zuigen zelf koude lucht aan en blazen warme lucht uit. De warme lucht moet of afgevoerd worden of gekoeld worden. Een actieve koelinrichting is echter niet altijd nodig. APC beschrijft voor kleine serverruimtes (en wiring closets) verschillende drempels t.a.v. ICT-vermogensopname (400-2.000 W), waaronder koelinrichtingen niet nodig zijn (APC, 2011). De drempel hangt af van zaken als de grootte van de ruimte (m³), bouwmaterialen, toegelaten temperaturen.

Momenteel worden serverruimtes die actieve koeling vereisen in het grootste deel van de gevallen gekoeld door middel van compressiekoeling. Bij compressiekoeling wordt in een verdamper een koelmiddel (een fluorkoolwaterstof zoals R410A) waarbij warmte wordt onttrokken aan de omgeving. De verdamper koelt dus af, wat de mogelijkheid geeft de lucht van de serverruimte langs de verdamper te leiden zodat deze ook afkoelt. Het nu gasvormige koelmiddel wordt vervolgens in een compressor op een hogere druk en temperatuur gebracht. Dit warme gecompriëerde gas wordt naar een condensor geleid, waar het weer condenseert en vloeibaar wordt. Hierbij wordt de warmte afgestaan aan de omgeving. De bovenstaande koelcyclus kan in verschillende configuraties gebruikt worden: met separate eenheden (condensor op het dak, verdamper in de computerruimte), of in een enkele eenheid zoals een centrale koelmachine.

APC geeft in white paper 59 een breed overzicht van de belangrijkste koeltechnieken in serverruimtes en datacenters (APC, 2012b). Slechts een deel van de door APC beschreven koeltechnieken zien we in de Nederlandse praktijk. We gaan nu in op de verschillende configuraties van 'dedicated' koelinrichtingen die in de serverruimtes van Nederlandse kantoren worden gebruikt. Per techniek zullen we kort uitleggen hoe de koelmethode werkt, wat de voordelen en nadelen zijn en de mogelijkheden voor energiereductie en efficiëntiewinsten.

- Directe en indirecte vrije luchtkoeling, eventueel adiabatisch ondersteund. Directe vrije luchtkoeling is koeling met de directe inblazing van verse lucht, eventueel via een filterpakket (afgebeeld). Indirecte vrije luchtkoeling kan via lucht/lucht warmtewisselaars eventueel ondersteund via adiabatische principes.



Er is een groot aantal opties en systemen van verschillende leveranciers.

- Split unit airconditioning systemen. Dit zijn relatief goedkope airconditioning units waarbij de (compacte) koelunit ruimtekoeling biedt, en bijvoorbeeld aan een muur bevestigd wordt (afbeelding hiernaast) of in het plafond. De (buitenluchtgekoelde) condensor en compressor zijn in een aparte unit ondergebracht die op de buitengevel of op het dak opgesteld wordt (afbeelding onderste deel). Leidingen bestaan uit leidingwerk voor het koudemiddel, bijv. R407C/R410A, en condenswaterafvoer.



- *Computer room air conditioning* systemen (CRAC's) waarbij verschillende varianten mogelijk zijn:

- Bij een DX-koelsysteem is een luchtgekoelde condensor op het dak of op de buitengevel aangebracht, maar zit de compressor in de zaalkoeler in de computerruimte. (DX staat voor directe expansie). Leidingwerk lijkt op dat van een split unit.
- Er zijn ook watergekoelde CRAC-systemen. Bij dit type ligt de koelcyclus volledig in de CRAC besloten en de warmte wordt overgedragen op een watersysteem. Het opgewarmde water wordt met een droge, natte of hybride luchtkoeler op het dak afgekoeld. CRAC's van dit type bieden optioneel vrije koeling. Het leidingwerk van de CRAC naar de luchtkoeler/koeltoren bestaat uit een watercircuit in plaats van leidingen voor koelmiddel, waardoor langere afstanden overbrugd kunnen worden.



- Systemen met gekoeld water (*chilled water*). De zaalkoelers worden aangesloten op een gekoeld water circuit. Het gekoeld water wordt in een aparte koelmachine (*chiller*; afgebeeld) op de vereiste temperatuur gebracht. De zaalkoelers in de computerruimte heten *computer room air handlers* (CRAH's), deze zijn eenvoudiger dan bovenvermelde CRAC's omdat er geen koelcyclus in zit. De configuratie van de centrale koelmachine bepaalt de systeem-efficiëntie. Een systeem met gekoeld water is altijd geschikt te maken voor vrije koeling door het bijplaatsen van een externe vrije koeling. Centrale koelmachines zijn verkrijgbaar in een grote range van capaciteiten.



De meest voorkomende systemen zijn split units en DX-systemen enerzijds en systemen met gekoeld water anderzijds. In de onderstaande tabellen gaan we nader in over het voorkomen van deze technieken in de serverruimtes.

Koeltechniek	Split units (standaard airco)/DX-cooling
Korte beschrijving	Koude-overdracht via lucht-koelcyclus-lucht
Huidige toepassing	Vooral in de kleinere kleinste categorie serverruimtes en de zogenaamde secondary equipment rooms. Komt zeer veel voor, over het geheel van de serverruimtes is 50% split units of DX en 50% gekoeld water. Binnen de eerste 50% is ongeveer 80% split-units en 20% DX. Deze 20% zijn vooral te vinden bij de middelgrote en grote serverruimtes, voor kleine serverruimtes worden zeer veel split units gemonteerd.
Voordelen	Goedkoop (met name split unit).
Nadelen	Compressiekoeling moet vaak 24/7 per dag aan staan. Hierdoor is het energieverbruik hoog. Vaak aan/uit geregeld (oudere systemen): de compressor is in werking of staat uit. De efficiency is hiermee laag.

Koeltechniek	Gekoeld water uit koudwatermachines (chillers)
Korte beschrijving	Koude-overdracht met water als tussenstap.
Huidige toepassing	Meer toegepast in de middelgrote serverruimtes. Tegenwoordig 50% DX, 50% water.
Voordelen	Makkelijk te combineren met WKO en vrije koeling (droge koeler), ook zonder vrije koeling iets gunstiger dan DX. Watergebaseerde koelsystemen kunnen gekoppeld worden aan watergebaseerde klimaatbeheersingssystemen, waardoor hergebruik van restwarmte mogelijk is.
Nadelen	Watergebaseerde koeling is vaak pas interessant bij grotere vermogens, omdat het systeem te duur is voor kleine koelvermogens.

Soms kunnen serverruimtes aangesloten worden op het centrale koelsysteem van het kantoor (zgn. comfort airconditioning). Dit is in de regel niet aan te raden omdat het gebouwkoelsystemen vaak 's nachts en in het weekend uitgezet worden, waardoor dan de IT-koeling wegvalt (APC, 2012a). Temperatuurschommelingen in de serverruimte zijn schadelijker voor de ICT-apparatuur dan constante hoge temperatuur.

Het aantal mogelijke koeltechnieken is in ontwikkeling. Een recente ontwikkeling is bijvoorbeeld oliekoeling, dit wordt getest op kleine schaal bij Coolmark en Dataplace.

3.3 Energie-efficiëntie van de koelinrichtingen (COP/EER)

De energie-efficiëntie wordt tot uitdrukking gebracht in parameters zoals de COP (Coëfficiënt of Performance) of de EER (Energy Efficiency Ratio). Dit soort maatstaven geven de verhouding weer tussen de geproduceerde koude (in kW) gedeeld door het opgenomen elektrische vermogen (kW). We zullen de term COP aanhouden omdat deze breed bekend is. De COP-waarde van een compressiekoelsysteem varieert sterk, de waarde is namelijk erg afhankelijk van de buitentemperatuurcondities (temperatuur bij de condensor) en de koellast (temperatuur bij de verdampers). Bij een hoge condensortemperatuur en een lage verdampertemperatuur, moet de compressor een stuk 'harder werken' dan bij matiger situaties. Daarom varieert de COP volgens een dag/nachtcyclus en ook met het weer/de seizoenen. Als we in deze studie een COP bedoelen (zie bijvoorbeeld het rekenmodel in Hoofdstuk 5), dan bedoelen we een jaargemiddelde COP-waarde. De Europese norm hiervoor is de ESEER



(European Seasonal Energy Efficiency Ratio)⁵. De COP kan bijvoorbeeld verbeteren van 3,0 bij vollastbedrijf naar 5,0 bij deellastbedrijf. Als dan ook nog gebruik gemaakt wordt van vrije koeling dan verbeterd de COP nog verder.

Enige typerende COP-waarden van koelingen:

- compressiekoeling op erg koude temperaturen: ca. COP 2,0-2,5;
- efficiënte toerengeregelde compressiekoeling: ca. COP 5-6;
- vrije koeling met dry cooler, elektriciteitsgebruik ventilatoren + waterpompen: ca. COP 20;
- idem, adiabatische koeling: COP > 25;
- passieve koeling: zeer hoog (geen elektriciteitsgebruik voor koeling).

De seizoensgemiddelde COP-waarden van compressiekoelinstallaties voor computerruimtes en datacenters zijn het afgelopen decennium verbeterd door een combinatie van technische ontwikkelingen (waaronder toerengeregelde compressoren, zie volgende paragraaf) alsook door het verhogen van de temperatuurniveaus. Tien jaar geleden was een typerend seizoensgemiddelde COP ongeveer 2,5 (ECN, 2008). Bij huidige gemiddelde koelinrichtingen wordt bij datacenters vaak een waarde van 4,0 (KWA/gebruikersgroep koeling MJA) gezien. Zoals in het overzicht hierboven vermeld kunnen moderne toerengeregelde compressiekoelsystemen jaargemiddeld een van COP 5-6 bereiken.

3.4 Energiebesparende technieken en maatregelen

We zoomen nu in op de aanpassingen aan de inrichting van serverruimtes met als doel energie te besparen. Het belangrijkste doel is hierbij het voorkomen van vermenging van warme en koude lucht, maar de positionering van de koudebron t.o.v. de server werd ook meermaals genoemd door de ondervraagden. Ook werd benoemd dat deze maatregelen an sich niet voor een besparing zorgen, maar gezien moeten worden als een middel om de temperatuurinstelling te verhogen. Wanneer er namelijk minder koude verloren gaat, kan de koude op warmere temperatuur ingeblazen worden. De besparing vindt dus pas plaats als de temperatuurbijstelling daadwerkelijk plaatsvindt. In één van de interviews werd de volgende stelregel genoemd: een temperatuurbijstelling van 1 °C omhoog levert een energiereductie op van ongeveer 3%.

3.4.1 Maatregelen koeltechnieken

De ondervraagden zien een groot reductiepotentieel ten opzichte van conventionele koeling. Hierbij moet wel gezegd worden dat veel reductiepotentieel afhankelijk is van wat men vervolgens met de temperatuurinstelling in de ruimte doet (die moet omhoog tot de idealiter de bovengrens van het ASHRAE aanbevolen werkingsgebied). Alleen het installeren van een nieuwe techniek zorgt dus vaak nog niet meteen voor de daadwerkelijke reductie van energie.

Efficiëntere compressiekoeling

Compressiekoeling kan efficiënter worden door het gebruik van toerengeregelde compressoren, en dit zijn vaak ook compressoren die uitgerust zijn met gelijkstroommotoren (EC-motoren). Toerenregeling heet ook wel inverterregeling.

Gelijkstroommotoren zijn daarbij typisch ca. 10-15% zuiniger dan wisselstroommotoren. Daarnaast zijn gelijkstroommotoren traploos regelbaar, waardoor het toerental aangepast kan worden aan de koelbehoefte.

⁵ ESEER is een mix van de efficiënties bij vier verschillende buitenluchttemperaturen.



De compressor hoeft niet harder te werken dan nodig. Een leverancier geeft aan dat de toerenregeling op compressoren niet per se beter is, dat het afhangt van de praktijksituatie. Als er veel in deellast gedraaid wordt dan is inverterregeling wel duidelijk beter, de energiebesparing bedraagt dan typisch 10%-20% of meer ten opzichte van de situatie met aan/uit regeling.

Maatregel	Toerengeregelde compressoren
Korte beschrijving	Reguliere compressoren zijn of ingeschakeld of uitgeschakeld wat leidt tot onnodige pieken en dalen in de koudevoorziening. Door te werken met toerengeregelde/frequentieregelde compressoren kan men het gebruik van de compressoren beter afstemmen op de vraag naar koude.
Huidige toepassing	Wordt nog nauwelijks gebruik van gemaakt.
Voordelen	Zonder toerenregeling is de compressor of in werking of staat deze uit. Toerengeregelde compressoren voorkomt het keer op keer opstarten en voorkomt daarmee pieken en dalen in de temperatuur.
Nadelen	Duur en hoge storingsgevoeligheid en dus minder betrouwbaar dan reguliere compressoren.
Energiebesparings-potentieel	Ongeveer 25-30% minder energieverbruik. Ook werd genoemd 10%.
Terugverdientijd/kosten	Meerkosten zijn ongeveer 10-15%.

Vrije koeling en adiabatiese koeling

De efficiëntie van de gehele koelinrichting kan verbeterd worden door het efficiënter maken van compressiekoeling zelf, maar ook door het minder inzetten van compressiekoeling en de warmte op een alternatieve wijze af te voeren. Een installatie om van natuurlijk aanwezige koude gebruik te maken, heet een vrije koeling. In het Engels is de term *free cooling*, maar men spreekt ook wel van een *economizer*.

Vrije koeling kan over het algemeen gebruikt worden in combinatie met systemen met gekoeld water. Er wordt een vrije koeling bijgeplaatst, of de koelmachine is al met een vrije koeling toegerust. Bij watergekoelde CRAC-systemen is vrije koeling vaak een optie. De koeltechnieken met een condensor op het dak, waaronder split units en DX-systemen, kunnen zelf niet vrij koelen. Vrije koeling kan dan alleen gerealiseerd worden met een additionele oplossing, bijvoorbeeld directe inblazing van buitenlucht.

Het aantal uren dat vrije koeling gebruikt kan worden verschilt tussen de verschillende technieken, en hangt af van de temperatuurinstelling van de serverruimte (aan de inblaaslucht). Naarmate het aantal uren (of percentage) vrije koeling hoger is, is het aantal uren waarbij de compressiekoeling in werking lager, waardoor energie bespaard wordt.

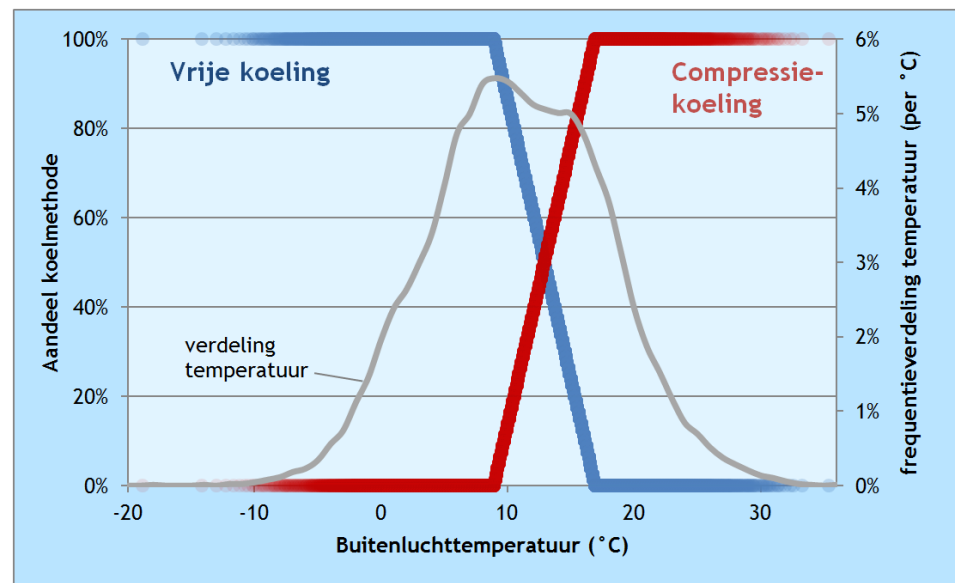
Voor Nederland kunnen KNMI-meetgegevens over het weer op een specifieke locatie gebruikt worden voor de inschattingen van het gemiddeld aantal uur dat de temperatuur onder bepaalde grenswaarden blijft (KNMI, 2014). Het KNMI biedt voor circa 35 meetstations meerjarige meetdata, op uurniveau waaronder de temperatuur en luchtvochtigheid. Van belang zijn verder de technische parameters van de koelinstallatie (waaronder het aantal warmte-wisselende oppervlakten tussen de serverruimtelucht en de buitenlucht, en de temperatuurgradiënten (ΔT 's) over de warmte-wisselende oppervlakten) en de wenselijke temperatuur in de serverruimte.



Temperaturen die respondenten veel noemen als haalbaar: beneden 5 °C tot 10 °C volledig vrij koelen. De bovenkant van die range strookt goed met wat uit onder andere de eerder uitgevoerde nieuwbouwstudie bekend is (CE Delft en Mansystems DCE, 2013). Boven die temperaturen is dan een overgangsgebied, en vanaf een bepaalde buitentemperatuur wordt de vrije koeling, indien dit mogelijk is, uitgeschakeld en is de compressiekoeling volledig in bedrijf.

Figuur 1 geeft de situatie weer voor een systeem dat beneden de 9 °C buitenluchttemperatuur volledig vrij kan koelen en vanaf 17 °C volledig op compressiekoeling draait. Met dit systeem is de vrije koeling circa 43% van de tijd van het jaar, draait het systeem circa 18% van de tijd van het jaar volledig op compressiekoeling⁶.

Figuur 1 Aandeel vrije koeling en aandeel compressiekoeling afhankelijk van de temperatuur. Ook is de frequentieverdeling van de temperatuur gedurende het typische Nederlandse jaar weergegeven (KNMI meetstation De Bilt)



Bron: CE Delft.

Naast vrije koeling door het gebruik van de buitenlucht bestaat er ook adiabatische koeling. Dit behelst het verdampen/vernevelen van water. Door de verdamping daalt de luchttemperatuur, en wordt de werkingsgraad van een vrije koeling vergroot.

Vrije koeltechnieken:

- vrije koeling door direct gebruik van de koude in de buitenlucht, door directe inblazing van koude lucht in de serverruimte, eventueel gefilterd. Separaat systeem;
- indirect gebruik van de koude in de buitenlucht, de voelbare koude wordt overgedragen op een ander medium, zoals lucht/lucht warmtewisselaars. Separaat systeem.

⁶ Het rekenmodel serverruimtes (zie Hoofdstuk 6 en Bijlage C) modelleert het overgangsgebied niet maar werkt met een gemiddeld percentage vrije koeling. In dit voorbeeld is dit het punt waar de lijnen in de grafiek kruisen, dit komt op 63% van de tijd van het jaar.

- Bij computer room airco's (CRAC's) behelst vrije koeling een dubbele warmtewisselaar in de koeleenheid in de serverruimte, waarmee computerruimtelucht rechtstreeks aan een glycol/water warmtewisselaar gekoeld wordt, en dan eventueel nagekoeld wordt aan de compressiekoeling. Hierbij kan een groot gedeelte van het jaar de compressor op een lager toerental draaien en een kleiner deel van het jaar kan de compressor geheel uit.
- Bij centrale koelmachines (chillers) kan de vrije koeling buiten de serverruimte worden gerealiseerd. Opties zijn een droge koeler die opgenomen wordt in het gekoeld watersysteem, een hybride (adiabatisch ondersteunde) droge koeler, een natte koeltoren. De natte koeltoren heeft meer operationele kosten in verband met de waterbehandeling. Het water wordt zo koud als mogelijk gemaakt, en afhankelijk van de buitentemperatuur is de chiller niet meer nodig.

De volgende tabellen gaan in op de voor en nadelen van de meest genoemde vrije koeltechnieken.

Koeltechniek	Directe vrije koeling (fresh air cooling)
Korte beschrijving	Bij directe vrije koeling wordt (gefilterde) buitenlucht direct de serverruimte ingebracht zonder tussenkomst van een koelmiddel. Er zijn systemen waarbij de compressiekoelmachine nog aanwezig is zodat er in noodgevallen (calamiteiten buiten de deur) overgegaan kan worden op zgn. gesloten bedrijf.
Huidige toepassing	Nog geen 10% van de serverruimtes maakt gebruik van directe vrije koeling met name door de angst om verontreinigde lucht binnen te laten.
Voordelen	Kan ook gecombineerd worden met DX-koeling/split units en is daardoor dus ook geschikt voor kleinere ruimtes.
Nadelen	Gevoelig voor vervuilde lucht, ondanks filter. In sommige gebieden is de luchtkwaliteit onvoldoende om de buitenlucht direct in de serverruimtes te laten. In Nederland is dit met name het geval in de omgeving van Schiphol en bij sommige industriële omgevingen (Rotterdams haven/industriegebied). Deze angst kan ook onterecht zijn, afhankelijk van de locatie en de gebruikte filters.
Energiebesparingspotentieel	25/30%-60%, afhankelijk van aantal uur mogelijk met vrije koeling.
Terugverdientijd	Twee jaar werd genoemd.



Koeltechniek	Droge koeler (dry cooler) in combinatie met koudwatermachines (chillers) oftewel indirecte vrije koeling
Korte beschrijving	De buitenlucht wordt gebruikt om de vloeistof in de droge koeler af te koelen. Deze koelvloeistof gaat vervolgens naar de koudwatermachine. Hiermee wordt de buitenlucht in feite gebruikt om de koudwatermachine te koelen, maar de koudwatermachine dient nog wel in bedrijf te zijn. Het water kan ook zonder tussenkomst van de koudwatermachine gebruikt worden om de serverruimte te koelen (bypass). Dit betekent dat de koudwatermachine dan niet altijd in bedrijf hoeft te zijn. De onderstaande figuur geeft links een droge luchtkoeler weer.
Huidige toepassing	Vanaf ca. 25 kW, ongeveer in 20% van de serverruimten.
Voordelen	Ook wanneer het buiten net te warm is kan het temperatuurverschil wel gebruikt worden om het water voor te koelen. Geen problemen met de luchtvochtigheid, omdat het een gesloten systeem is.
Nadelen	Complexe ingreep aan installatie, draagkracht van het dak kan een probleem zijn/ruimtebeperkingen.
Energiebesparingspotentieel	20-25% ten opzichte van watergebaseerde compressiekoeling zonder vrije koeling, maar ook werden reductiepercentages van 45-55% genoemd.
Terugverdientijd	Vier jaar werd genoemd.

Figuur 2 Droge koeler (links) en adiatisch ondersteunde droge koeler (rechts)



Koeltechniek	Verdampingskoeling/adiabatische koeling
Korte beschrijving	Bij adiabatische koeling wordt lucht afgekoeld door water te vernevelen. Dit vernevelen kan op verschillende manieren gebeuren, bijv. door ultrasone trillingen, hoge en lage drukventielen, perslucht, pakketbevochtiging of koudverdampers. Het is mogelijk om direct te vernevelen (combinatietoepassing met directe vrije luchtkoeling, waarbij ook de vochtbalans wordt beïnvloed), en het vernevelen kan extern gebeuren, waarmee bijv. een lucht/lucht of lucht/water warmtewisselaar verbeterd kan worden (zie afbeelding boven).
Huidige toepassing	Relatief nieuwe toepassing, wordt daarom nog maar weinig gebruikt.
Voordelen	Tevens goed voor de vochtbalans.
Nadelen	Watergebruik en waterkwaliteit kunnen problematisch zijn, afhankelijk van gebouw (waterleidingen).
Energiebesparingspotentieel	75-85% tot 90% (indien systeem met compressiekoeling achterwege kan blijven).
Terugverdientijd	Vier jaar.

Hoewel vrije koeling gezien wordt als een energie-efficiënte manier om een serverruimte te koelen, het blijft een efficiënte manier om warmte weg te gooien. Hergebruik van de (rest)warmte van de serverruimte, om bijvoorbeeld het kantoor te verwarmen, is een nog betere optie. De warmte van de serverruimte kan direct gebruikt worden (in de winter), of aan een warmte-koude opslag (WKO) worden afgegeven (in de zomer).

Opvattingen bij keuze koeltechnieken en maatregelen

In de interviews werden de volgende opvattingen meermalen genoemd:

- “Het moet koud zijn in een serverruimte”.
- “Water in de serverruimte vormt een risico en moet daarom altijd worden toegepast onder de servers”.
- “Bij directe vrije koeling bestaat de angst voor brand bij de burens en de schade die de serverruimte kan ondervinden door het inblazen van deze of andere vervuilde lucht”.

Hierbij werd ook genoemd dat deze opvattingen de implementatie van deze technieken en maatregelen in de weg kan staan.

Overige innovatieve koeltechnieken

De volgende innovatieve concepten werden in de interviews ook benoemd, maar bevinden zich nog in de experimentele fase:

- Nieuwe gasgestookte warmtepompen voor nieuwe datacenters (met als doel zowel koelen als verwarmen).
- Onderdompelen van serverskasten in water.
- Oliekoelen: racks in olie koelen, maar het gewicht kan hierbij een groot probleem worden. 3M is dit nu aan het testen, maar investeringskosten zijn nu nog heel hoog. Oliekoelen kan eventueel ook in combinatie met een droge koeler.

Deze koeltechnieken gaan mogelijk in de toekomst wel een grotere rol spelen.

3.4.2 Aanpassingen aan de inrichting van serverruimtes

De inrichting van serverruimtes moet erop gericht zijn om de koude zo gericht mogelijk te doseren, zodat menging van warme en koude luchtstromen wordt voorkomen. In de praktijk is dit vaak nog niet goed geregeld.

Volgende tabellen gaan in op de volgende mogelijke aanpassingen aan de inrichting van serverruimtes:

- gecompartmenteerde koude en warme gangen;
- afdekplaten/blindplaten in racks;
- rack cooling (direct op het rack koelen).



Maatregel	Koude en warme gangen, compartimenteren
Korte beschrijving	In het geval van koude en warme gangen worden servers zo gepositioneerd dat er zo min mogelijk menging optreedt van warme en koude lucht. De racks worden zo gepositioneerd dat er koude en warme gangen ontstaan. De servers zuigen vanuit de koude gang de koellucht aan en blazen dit in de warme gang. Om dit te bereiken moeten de rijen serverracks gespiegeld van elkaar worden opgesteld. Dit is mogelijk vanaf vier racks. Alleen het maken van koude en warme gangen is een verbetering, maar nog beter is het volledig afsluiten van de gangen, met een afdekplaat (dak) over ofwel de warme ofwel de koude gang, en zijafdichtingen deuren, etc. Bij volledige compartimentering kan de koeling heel doelmatig worden ingeblazen (row cooling).
Huidige toepassing	De kleinste serverruimtes zijn vaak te klein voor het toepassen van koude en warme gangen, omdat het aantal racks vaak niet voldoende is om rijen te vormen. In nieuwe (grotere) serverruimtes wordt dit vaak al wel meteen meegenomen. De inschatting is dat in ongeveer 50% van de gevallen sprake is van warme en koude gangen, hoewel andere ondervraagden ook hebben aangegeven dat er in meer dan de helft van de gevallen geen sprake is van scheiding. Koude warme gangen is in de afgelopen 2 tot 3 jaar vrijwel standaard geworden bij nieuwe serverruimtes.
Voordelen	Het belangrijke voordeel is dat het vermenging van koude en warme lucht voorkomen wordt. Dit is van cruciaal belang als er gebruik gemaakt is van compressiekoelsystemen om de koude lucht te maken. Als die koude lucht zich zou mengen met de warme lucht uit de achterkant van de server, voordat hij aangezogen wordt door de ICT-apparatuur, treedt er verlies van nuttige koellucht op. Het effect is dan dat de airconditioning unit moet gaan werken op een nodeloos koud werkings-gebied, waardoor de efficiency terugloopt.
Nadelen	Het afdichten om koude warme gangen te creëren kan problemen met de brandblusinstallatie opleveren. De temperatuur in de warme gang kan bij efficiënte ontwerpen onaangenaam hoog zijn (> 35°C).
Energiebesparings-potentieel	Het besparingspotentieel hangt af van hoeveel graden warmer de lucht kan worden ingeblazen. Ondervraagden gaven percentages aan van 20-30%, maar het potentieel hangt erg van het soort koeling af.
Terugverdientijd	Maanden tot een jaar, ongeveer € 70 per rack + kosten deur/dak, hoe meer kasten hoe goedkoper.

Maatregel	Afdekplaten/blindplaten
Korte beschrijving	Het afdekken van racks/servers met zijpanelen/voorpanelen om de menging van warme en koude lucht te voorkomen. Er is ook een operationeel aspect, bij veranderingen aan de aanwezige ICT-apparatuur kan vergeten worden om de blindplaten weer aan te brengen. Periodiek moet dus worden nagelopen of alle blindplaten geïnstalleerd zijn waar dat nodig is.
Huidige toepassing	In 50% van de gevallen zijn afdekplaten aangebracht.
Voordelen	Vermindert vermenging van warmte en koude lucht, vergroot efficiëntie van vrije koeling en compressiekoeling.
Nadelen	Afdichtingen kunnen problemen leveren met de brandblusinstallatie.
Energiebesparings-potentieel	Hangt sterk van de situatie af.
Terugverdientijd	Een paar maanden. Investering is beperkt tot een paar honderd euro (€ 500/€ 600) voor een serverruimte. Kostprijs per rack serverpositie vanaf € 1 per 1 U (hoogte-eenheid).



Maatregel	Rackgebaseerde koeling (direct op de kast koelen)
Korte beschrijving	Vaak hangt een split unit op enige afstand van het rack. Door deze afstand gaat er veel koude verloren. Naast het scheiden van warmte en koude lucht bestaan er ook varianten van koeling waarbij de koeling rackgebaseerd is, de CRAC zit tussen de computer racks en de koellucht wordt rechtstreeks naar de voorkant van de ICT geleid. Hierbij wordt alleen de koellucht gegenereerd die door de ICT nodig is, waardoor de dosering nauwkeurig is.
Huidige toepassing	Wordt nog niet heel veel toegepast, maar veel innovatieve nieuwe technieken richten zich wel op het verkorten van de afstand tussen koudeproductie en de server zelf.
Voordelen	Doordat de afstand tussen koudeproductie en server minimaal is kan er energie bespaard worden.
Nadelen	Systemen zijn niet altijd geschikt voor vrije koeling.
Energiebesparings-potentieel	30/40%.
Terugverdientijd	Niet bij respondenten bekend.

3.4.3 Maatregelen luchttransport

Maatregel	Toerengeregelde ventilatoren
Korte beschrijving	De capaciteit van ventilatoren is afhankelijk van het opgesteld vermogen. Door bijv. clouddiensten wordt het opgesteld vermogen in de server-ruimte minder, maar de ventilatoren zijn niet toegerust op deze reductie. Met toerengeregelde ventilatoren hoeven deze niet altijd op volle capaciteit te draaien.
Huidige toepassing	Nieuwe ventilatoren zijn bijna standaard toerengeregelde ventilatoren. Bij bestaande serverruimtes worden toerengeregelde ventilatoren vaak pas toegepast wanneer de oude ventilatoren toe zijn aan vervanging.
Voordelen	Het voorkomt onnodig draaien op maximale capaciteit (wel in combinatie met drukverschilmeter, zodat de toeren op basis van deze input geregeld worden). Hierbij zijn warme koude gangen een voorwaarde.
Nadelen	Wordt gezien als te grote ingreep, veel montagewerkzaamheden.
Energiebesparings-potentieel	Typisch 10% van het energiegebruik t.o.v. niet toerengeregelde ventilatoren. Halvering van het toerental levert een factor 8 energiebesparing op, dit gaat met de derde macht.
Terugverdientijd	Niet bij respondenten bekend.

Daarnaast noemen respondenten over het luchttransport dat men zoveel mogelijk moet aansluiten op natuurlijke luchtstromen. Warme lucht stijgt op en koude lucht daalt. Passieve koelconcepten maken volledig van dit principe gebruik, maar de inrichting van het kantoor moet dit wel toelaten.



3.5 Algemene visie op energiebesparing serverruimtes

Over het algemeen erkennen de meeste ondervraagden het grote besparingspotentieel bij serverruimtes, de technieken in bestaande serverruimtes zijn vaak niet efficiënt te noemen (weinig vrije koeling) terwijl hier wel mogelijkheden toe zijn.

Het energieverbruik van een serverruimte kan oplopen tot indicatief 1/3^e deel van het elektriciteitsverbruik van een kantoor, dat is op zichzelf substantieel. De ondervraagden geven echter aan dat dit binnen de totale kantoorkosten nog steeds beperkt is. Alleen bedrijven die serieus zaak maken van energiebesparing zullen serieus naar de serverruimtes willen kijken.

Merk ook op dat er vaak sprake is van **split incentives** waardoor de besparingen niet van de grond komt, en waardoor er geen aandacht is voor efficiency:

- de ICT-beheerder heeft vaak het energieverbruik van de koelinrichting niet binnen zijn takenpakket, dat is het takenpakket van gebouwbeheer / facilitair management;
- de facilitair manager heeft op zijn beurt weer onvoldoende zicht op de technische aspecten, de facilitair manager weet niet dat moderne ICT-apparatuur tegen hogere temperaturen bestand is, heeft geen kennis van de ICT en ondervindt daarmee weerstand om zich met de ICT en het beheer daarvan te bemoeien.

Het aanstellen van een milieucoördinator kan de split incentive overbruggen, omdat een milieucoördinator wel naar het geheel kijkt en projecten kan initiëren waarmee besparingen van de grond komen.

3.6 Conclusie

De meest voorkomende koeltechnieken voor kleine serverruimtes (5-10 kW ICT-vermogen) zijn split unit systemen, met een condensor op het dak/buitengevel en een muureenheid (>90%); en directe vrije koeling, directe inblazing van gefilterde/ongefilterde buitenlucht (<10%).

De split unit systemen zijn goedkoop maar inefficiënt, omdat warme en koude koellucht gemengd worden en er teveel condensatie voorkomt. Scheiden van warme en koude luchtstromen komt niet vaak voor.

Voor middelgrote serverruimtes (20-40 kW) is er een groter palet aan technieken in gebruik. Men ziet veel split unit systemen, maar ook DX-koelsystemen; beide zonder vrije koeling. Daarnaast is er een gering aantal middelgrote serverruimtes waar een systeem met gekoeld water wordt gebruikt (watergekoelde CRAH's, centrale koelmachine). De laatste vorm wordt in 80% van de gevallen zonder vrije koeling gebruikt.

Voor grote serverruimtes (vanaf ca. 100 kW) is er een mix van ongeveer 50% systemen met gekoeld water en centrale koudwatermachine alsmede 50% DX-koelsystemen. Ook hier werd genoemd dat de gekoeldewatersystemen in 80% van de gevallen zonder vrije koeling.



We zien dus dat er bij alle typen serverruimtes volgens de respondenten nog veel energiebesparingspotentieel te behalen is. Er is een groot aantal maatregelen en technieken voorhanden om de efficiency te vergroten. Genoemd zijn maatregelen om de efficiëntie van compressiekoeling te verhogen (toerenregeling, DC-motoren), diverse maatregelen om gebruik te maken van vrije koeling (directe, indirecte vrije koeling), adiabatische koeling, maatregelen om de mening van koude en warme koellucht te voorkomen en de koellucht precies te doseren (afschieden warme koude gangen, blindplaten, rack-cooling), en maatregelen om het luchttransport efficiënter te maken (toerengeregelde ventilatoren).

In het volgende hoofdstuk zullen we op basis van de interviewresultaten en het materiaal gepresenteerd in dit hoofdstuk de best beschikbare techniekcombinaties opstellen. Deze techniekcombinaties gaan we voor dan vervolgens doorrekenen met het model (Hoofdstuk 5).





4 Identificatie best beschikbare koeltechnieken

4.1 Inleiding

Uit de interviewresultaten (Hoofdstuk 3), gesprekken met koeldeskundigen, literatuur en eerdere projecten is een groot aantal energie-efficiënte koeltechnieken naar voren gekomen die in serverruimtes gebruikt kunnen worden. Het aantal technieken is echter groot, en ook de toepassingsgebieden lopen uiteen. Dat maakt het niet makkelijk om objectief de ‘beste techniek’ te destilleren. Er zijn namelijk meerdere koeltechnieken die als ‘beste’ kunnen worden geclassificeerd, afhankelijk van de situatie. Sommige technieken zijn alleen voor grotere of juist voor de kleinere serverruimtes geschikt. (Zo kunnen technieken met een watersysteem, koelmachines en externe vrije koeling erg efficiënt zijn, maar deze vergen complexere bouwkundige installaties dan de split units of DX-koeleenheden, waardoor waterkoeling niet de beste oplossing is voor kleine serverruimtes).

We hebben ons bij het opstellen van de lijst best beschikbare technieken laten leiden door de criteria dat technieken breed toepasbaar moeten zijn en een hoge mate van energie-efficiëntie kunnen bereiken, de techniek moet duidelijk een heel stuk beter zijn dan de huidige situatie. Gelukkig blijken er veel technieken voor de verschillende serverruimtes die hier aan voldoen. De lijst die in dit hoofdstuk gepresenteerd wordt is echter niet uitputtend. We hebben gestreefd een aantal typisch goed inpasbare efficiënte techniekcombinaties te benoemen die we per type serverruimte kunnen doorrekenen. Maar er zijn vast techniekcombinaties te verzinnen die ook hadden kunnen worden doorgerekend, en waarvan de leverancier van mening is dat de techniek breed toepasbaar is, maar die wij in het onderzoek niet tegen zijn gekomen⁷.

Bij de presentatie van de technieken gelden een aantal nuanceringen:

- Als eerste, de toepasbaarheid van technieken in de praktijksituatie hangt af van specifieke lokale omstandigheden. Wat voor een bepaalde serverruimte in een bepaalde omgeving dus de beste koeltechniek is, hoeft dat niet te zijn voor een andere serverruimte in een andere locatie. Dit vraagstuk speelt vooral sterk bij de technieken voor directe en indirecte vrije luchtkoeling: er zijn forse ventilatiesystemen en/of warmte-wisselende oppervlakten benodigd. Om deze reden hebben we ons bij deze BBT variant beperkt tot het doorrekenen van directe vrije koeling (inpasbaarheid gemiddeld makkelijker dan indirecte systemen).
- Ten tweede, het is belangrijk om als eerste te zoeken naar mogelijkheden om restwarmte van de serverruimte(n) nuttig te gebruiken. Technieken die de restwarmte kunnen hergebruiken zijn energetisch vrijwel altijd te verkiezen boven koeltechnieken die de restwarmte weggooien, ook al doen ze dat dan wel efficiënt. Voorbeelden zijn de warmte in een WKO-systeem ondergronds op te slaan voor gebruik in de winter, of rechtstreeks de warme lucht te leveren t.b.v. kantoorverwarming. Als een kantoor een

⁷ We nodigen leveranciers uit om data ter beschikking te stellen zodat we de technieken in het vervolg wel mee kunnen nemen.



WKO-systeem heeft, dan is het vaak mogelijk de serverruimtekoeling hier op aan te sluiten, en dit is een energie-efficiënte oplossing. Restwarmtebenutting is niet verder in kaart gebracht, WKO is een breder onderwerp dan serverruimte koelingen.

- Als laatste, als we het over ‘best beschikbare technieken’ hebben, dan bedoelen we de meest energie-efficiënte koeltechnieken die zich op meerdere andere locaties bewezen hebben in de praktijk onder omstandigheden die vergelijkbaar zijn met die van Nederlandse serverruimtes/ondernemingen. Dus technieken die zich alleen in een pilotomgeving bewezen hebben, vallen hier buiten.

4.2 BBT-technieken

De lijst best beschikbare techniekcombinaties:

1. **Directe vrije lucht koeling, dus inblazing van gefilterde of ongefilterde buitenlucht.** Dit moet ruimtelijk wel mogelijk zijn, de serverruimte bevindt zich dus dicht bij de gevel of het dak. Een variant hierop zijn de systemen voor **indirecte vrije lucht koeling, met lucht/lucht warmtewisselaars.** Zowel directe als indirecte vrije lucht koeling kan **adiabatisch ondersteund** zijn. Indirecte systemen hebben als voordeel dat ze gesloten zijn, er is dus geen risico voor de luchtkwaliteit in de serverruimte. In sommige gevallen zal een alternatieve koelvoorziening nodig zijn om extreem warme periodes te kunnen overbruggen, al hangt dat af van de eisen aan de koellucht. → Voor alle groottes toepasbaar, vaak met een alternatieve koelvoorziening.
2. **Rack cooling met een DX-systeem.** Efficiënt omdat de koude precies daar wordt geleverd waar hij moet zijn. Het nadeel is dat er bij dit soort systemen geen gebruik van vrije koeling gemaakt kan worden. Daarom alleen kosteneffectief voor koeling van kleine serverruimtes met een behoorlijke warmtelast. Voor middelgrote en grotere ruimten zou naar meer vrije koeling moeten worden gestreefd. → Alleen voor klein.
3. **Een watergekoeld ‘precision airconditioning’ systeem uitgerust met (vaak optionele) vrije koeling.** De optie voor vrije koeling houdt in dat de warme lucht rechtstreeks aan het water gekoeld kan worden als het water koud genoeg is. Er bestaan watergekoelde CRAC’s voor rack, row en ruimtekoeling. Op het dak van het gebouw staat alleen een droge koeler. → Voor middelgroot en groter.
4. **Gekoeldwatersysteem, met centrale koudwatermachine (chiller) en vrije koeling.** Als er gekoeld water voorhanden is in het gebouw, dan zijn luchtbehandelingskasten of rack/row cooling met gekoeld water ook een optie. De centrale koudwatermachine (chiller) moet wel ontworpen zijn voor vrije koeling of gekoppeld zijn aan een vrije koeling, waarbij droge koelers een lagere graad aan vrije koeling bieden dan hybride droge koelers of (natte) koeltorens. Deze vorm is toepasbaar vanaf de middelgrote categorie, en biedt een grotere koelcapaciteit in een kleinere oppervlakte en de centrale koudwatermachine biedt een grotere efficiëntie en meer opties voor vrije koeling. → Voor middelgroot en groter.

In alle gevallen moet er tevens gekozen worden voor de volgende technische componenten/maatregelen en operationele aspecten, die efficiënte koeltechniek mogelijk maken:

- hoge inblaastemperaturen (23-27 °C) om vrije koeling mogelijk te maken;
- gescheiden houden van warme en koude luchtstromen;
- toerenregeling op compressoren, dus regelbare compressoren met gelijkstroommotoren, ook wel inverter genoemd;
- toerengeregelde ventilatoren met drukregeling.



4.3 Uitwerking BBT-technieken per type serverruimte

In Hoofdstuk 5 zullen we de opgestelde BBT-technieken gaan doorrekenen op hun energetische prestaties en bepalen we de terugverdientijden van de investeringsomvang. Daartoe werken we in het hiernavolgende de BBT nader uit, voor de verschillende typerende grootteklassen serverruimtes.

4.3.1 Kleine serverruimtes (5-10 kW)

Kleine serverruimtes bieden een beperkte warmtebelasting. Indien van ruimtekoeling gebruik gemaakt wordt zal een deel van de warmtelast via 'passieve koeling' door de gebouwschil verdwijnen, afhankelijk van de fysieke serverruimte grootte en het soort gebouw. Het resterende deel moet actief weggekoeld worden. De complexere systemen zijn vaak niet kosteneffectief.

Goede technieken voor kleine serverruimtes:

1. Directe vrije luchtkoeling, of indirecte vrije luchtkoeling; eventueel met een compressiekoeling (ruimtekoeling) als 'back-up'.
2. Rack cooling met een DX-systeem.

Directe vrije luchtkoeling is een economische optie indien het geen bezwaar is als buitenlucht tot de serverruimte kan toetreden. De serverruimte moet niet te ver van een buitengevel of dak gesitueerd zijn, omdat het energie- en ruimtegebruik van luchttransport anders een probleem wordt. Voor momenten dat de luchtkwaliteit onvoldoende is (vervuild of te hoge temperatuur), kan een compressiekoelsysteem (bijvoorbeeld een split unit met toerenregeling), als kosteneffectieve back-up functioneren⁸. Het aantal draaiuren van de back-up compressiekoeling zal kleiner zijn dan 5% van het jaar als men buitenlucht tot ca. 22-23 °C direct inblaast.

Rack cooling met een DX-systeem is duurder dan de split units die meestal worden geïnstalleerd voor kleine serverruimtes. Hoewel DX-systemen zelf geen vrije koeling kunnen doen, zijn ze om een aantal redenen wel duidelijk efficiënter dan split units:

- Split units zijn gemaakt voor comfort ruimtekoeling ongeschikt voor een hoge warmtebelasting. Er zal altijd sprake zijn van menging van koude en warme luchtstromen.
- Split units kunnen toerengeregeld zijn (zgn. inverter en DC-motoren), maar zijn dat in de praktijk vaak niet. De aan/uit regeling zorgt voor inschakelpieken, fluctuaties van temperatuur en luchtvochtigheid, extra condensatie en daarmee extra stroomverbruik.
- Bij rack cooling wordt de temperatuur gestuurd op de uitblaaslucht, deze kan bijv. 24 °C zijn. Hierbij is de lucht die de servers verlaat bijvoorbeeld 29-35 °C. Hierdoor werkt de A/C unit veel efficiënter dan bij split units, die met een ruimtethermostaat geregeld worden. Split units blazen bijvoorbeeld lucht van 12-15 °C in, en zuigen lucht van 22 °C aan, waardoor ze minder efficiënt werken. Een probleem van split units is dat de lucht te droog kan worden door de onbedoelde condensatie (verdampertemperatuur beneden de 5,5 °C).

Genoemd werd een kostprijsniveau van een rack cooling DX-systeem, inclusief tweemaal een 19" rack, van € 12.000-20.000 afhankelijk van een aantal opties (zelf openslaande deuren, etc.). De koelcapaciteit kan 5-12 kW zijn. Met rack cooling DX is jaargemiddeld een COP van 5,5 haalbaar, bij hoge temperaturen.

⁸ De 'back-up' compressiekoelinrichting zal niet door alle serverruimtes gekozen worden. Omwille van de vergelijkbaarheid nemen we deze wel mee. Alle in dit onderzoek beschouwde techniekcombinaties kunnen dan (desgewenst) zorgen voor temperaturen in het gehele ASHRAE aanbevolen gebied, en zijn daarmee dus qua koelprestatie vergelijkbaar.



4.3.2 Middelgrote serverruimtes (15-40 kW)

Bij middelgrote serverruimtes zien we nu nog veel split units of DX-systemen, maar voor deze grootteklasse moet geprobeerd worden een zekere graad van vrije koeling te behalen. Voor deze middelgrote categorie is de warmtebelasting namelijk groot genoeg om de meerkosten van systemen voor vrije koeling te rechtvaardigen. Dus geen rack/row cooling met DX-systemen zonder vrije koeling.

We zien drie mogelijke BBT, alle met vrije koeling:

1. Directe vrije luchtkoeling, of indirecte vrije luchtkoeling; eventueel met een compressiekoeling (ruimtekoeling) als 'back-up'. Het aantal draaiuren van de back-up compressiekoeling zal kleiner zijn dan 5%.
2. Watergekoelde CRAC's met rack of row cooling, waarbij de CRAC's ook zijn toegerust met de optie voor vrije koeling. Hiermee kan afhankelijk van de temperatuurinstelling 40-50% vrij worden gekoeld.
3. Koudwatersysteem, koudwatermachine (chiller) met interne of externe vrije koeling. De koelers in de computerruimte zijn row cooling of rack cooling. Hiermee kan afhankelijk van de temperatuurinstelling 40-60% vrij worden gekoeld.

De watergekoelde systemen met een losse koudwatermachine zijn voor grootteklassen 20-30 kW duurder dan CRAC's, maar zijn het overwegen waard. Als er ook andere toepassingen voor gekoeld water zijn in het gebouw vergroot dit de haalbaarheid.

4.3.3 Grote serverruimtes (100+kW)

Bij grote serverruimtes is het ook cruciaal te kiezen voor vrije koeling. De grotere warmtelast zorgt ervoor dat energie-efficiënte systemen met hoge investeringskosten terugverdiend kunnen worden.

Best beschikbare technieken:

1. Directe vrije luchtkoeling, of indirecte vrije luchtkoeling; eventueel met een compressiekoeling (ruimtekoeling) als 'back-up'. Het aantal draaiuren van de back-up compressiekoeling zal kleiner zijn dan 5%.
2. Koudwatersysteem: koudwatermachine (chiller) met interne of externe vrije koeling door middel van een droge of hybride droge koeler. De dosering van koellucht geschiedt met row cooling of rack cooling. Hiermee kan afhankelijk van de temperatuurinstelling 40-60% vrij worden gekoeld (droge koeler) of tot 80% (adiabatisch/hybride).

Watergekoelde CRAC's zijn, in tegenstelling tot bij de middelgrote categorie, voor grote serverruimtes vaak niet de beste techniek omdat de investeringskosten en efficiëntie van een koudwatersysteem met centrale koelmachine met vrije koeling (interne of extern) gunstiger uitvallen. De koudwatermachine kan toegerust zijn met een interne of externe vrije koeling. Een interne droge koeler betekent een besparing op aanschaf- en installatiekosten. Het nadeel is dat het elektriciteitsverbruik in de zomer, als de vrije koeling minder effectief is, hoger is doordat alle lucht die door de chiller gaat langs twee warmtewisselaarpakketten moet. Een losse droge koeler kan tijdens warme uren worden uitgeschakeld, wat het energiegebruik van de ventilatoren bespaart, wat dit een betere techniek maakt.⁹

⁹ Nuancering: indien men de koudwatermachine 2N-redundant uitvoert, dan heeft men automatisch ook 2N aan warmtewisselend oppervlak t.b.v. vrije koeling. Bij externe droge koelers wordt in 2N redundant geval de koudwatermachine 2N uitgevoerd maar de droge koeler vrijwel altijd op enkele redundantie. In dit geval is de configuratie met 2N aan interne droge koelers in de praktijk energie-efficiënter. In deze studie nemen we echter geen 2N redundantie van de koelmachine aan.



Daarnaast kan bij externe vrije koeling ook gekozen worden voor een hybride droge koeler of een natte koeltoren. Dit levert een aantal graden lagere temperaturen in het watersysteem en daarmee een aanzienlijke extra graad aan vrije koeling, deze systemen hebben wat dat betreft de voorkeur boven droge koelers.

De natte open koeltorens kennen substantiële investeringen en hoge operationele kosten (watergebruik, vervuiling en legionellapreventie). Hybride droge koelers kennen een beperkter watergebruik en beperkte operationele meerkosten boven droge koelers. Als voorkeursvariant voor de doorrekeningen kiezen we dus externe vrije koeling met droge koeler of met hybride koelers.

4.4 Samenvatting

We hebben per type serverruimte een aantal best beschikbare techniekcombinaties opgesteld die kunnen worden doorgerekend (Hoofdstuk 5). Tabel 1 laat de techniekcombinaties zien, met de definitie van de referentiesituatie (de huidige situatie). Voor de huidige situatie zijn we uitgegaan van het beeld dat naar voren gekomen is in de meerderheid van de gevallen - weinig compartimentering, veel split units en weinig gebruik van vrije koeling en beperkt aandacht voor energie-efficiëntie. De rendementen van de compressiekoelingen in de referentiesituatie zijn hiermee in overeenstemming.

Tabel 1 Parameters doorrekening referenties en best beschikbare techniekcombinaties

	Best beschikbare techniekcombinatie	Jaargemiddelde COP-waarde van het compressiekoelsysteem		Percentage vrije koeling	
		Referentie	Best beschikbare techniek	Referentie	Best beschikbare techniek
Klein (5 kW)	Directe vrije luchtkoeling + split unit	2,25	3,0	-	95%
	Rack cooling op basis van DX-systeem		5,5	-	0%
Middel (20 kW)	Directe vrije luchtkoeling + DX back-up	2,5	5,0	-	95%
	Watergekoelde CRAC met vrije koeling (droge koeler)		5,5	-	45%
	Koudwatersysteem met vrije koeling (droge koeler)		5,5	-	50%
Groot (100 kW)	Directe vrije luchtkoeling + DX back-up	3,5	5,0	-	95%
	Koudwatersysteem met vrije koeling (droge koeler)		5,5	-	50%
	Koudwatersysteem met vrije koeling (hybride koeler)		5,5	-	80%

Alle 'beste' techniekcombinaties gaan uit van hoge inblaastemperaturen (23-27 °C) om vrije koeling mogelijk te maken; gescheiden houden van warme en koude luchtstromen; toerenregeling op compressoren en ventilatoren. In het volgende hoofdstuk volgt de beschrijving van de doorrekening van de energiebesparing en terugverdientijden van de investeringskosten.





5 Modeldoorrekening

5.1 Inleiding

De best beschikbare techniekcombinaties, gedefinieerd in Hoofdstuk 4, hebben aanwijsbare voordelen boven de huidige praktijk. De techniekcombinaties kennen echter uiteenlopende investeringskosten. Om te weten hoe de technieken scoren wat betreft rentabiliteit moeten ze worden doorgerekend. Het bepalen van de energiebesparingen en de typerende terugverdientijden van de investeringskosten is gedaan met een rekenmodel van de energiestromen van de typerende serverruimtes, het 'Rekenmodel Serverruimte Koeltechnieken'.

Dit model is een aangepaste versie van het door CE Delft ontwikkelde 'Rekenmodel Erkende Maatregelen Datacenters'. Dit laatste model is eind 2013-begin 2014 is opgezet om de erkende maatregelen van de datacentersector door te rekenen, in opdracht van RVO-Infomil (CE Delft, 2014). Het model berekent eenvoudige terugverdientijden (t.v.t.) conform ECN's 'Methodiek berekening terugverdientijd erkende maatregelen', versie januari 2014. Bijlage C beschrijft het model uitgebreid.

5.2 Referenties

Het model berekent terugverdientijden ten opzichte van een referentiesituatie. In Hoofdstuk 3 kwam naar voren dat de stand van de huidige toegepaste koeltechnieken verschilt tussen de kleine, middelgrote en grote serverruimtes. Zo worden in kleine serverruimtes heel veel split units (ruimtekoeling airco's) toegepast, en deze zijn duidelijk minder efficiënt dan bijvoorbeeld DX- of watergekoelde systemen van de grote serverruimtes. Daarom zijn er drie verschillende referentiesituaties gedefinieerd: voor de kleine, middelgrote en grote serverruimtes. Voor de middelgrote en grote serverruimtes hebben we een hogere jaargemiddelde efficiency van het compressiekoelsysteem aangenomen, gedefinieerd door de jaargemiddelde COP-waarde, op grond van praktijkinschattingen. Deze waarden zijn weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2 Definitie referenties

Type serverruimte	Opgesteld ICT-vermogen (kW ICT)	Jaargemiddelde COP-waarde compressiekoeling (EER)
Klein	5	2,25
Middel	20	2,5
Groot	100	3,5

De overige parameters zijn hetzelfde gehouden bij alle referenties¹⁰. We nemen verder aan dat in geen van de referenties vrije koeling wordt toegepast, overeenkomstig met wat we in de praktijk het meeste zien (zie Hoofdstuk 3).

¹⁰ Het model biedt de mogelijkheid om meerdere parameters te variëren, zoals de elektriciteitsprijs, maar we rekenen alle combinaties door met dezelfde elektriciteitsprijs.



In alle gevallen is er van uitgegaan dat de referentie géén scheiding van warme en koude gangen bevat, waardoor er menging van luchtstromen optreedt. De kosten van het afdichten van de racks, c.q. het maken van warme en koude gangen, zijn in de doorrekening betrokken.

5.2.1 Energieprijzen

Voor het berekenen van terugverdiertijden is een marginale elektriciteitsprijs nodig. We hebben een tarief van € 0,084 per kWh aangehouden, geldig voor:

- een aansluiting op het middenspanningsniveau (MS)¹¹;
- een totaaljaarverbruik per aansluiting van meer dan 50.000 kWh.

Het spanningsniveau is van belang omdat het variabele transporttarief hoger is bij aansluitingen op het laagspanningsniveau (LS; 230-400V). Bij LS-aansluitingen is de marginale elektriciteitsprijs voor deze klanten circa 23% hoger: 0,103 €/kWh. Voor de consistentie hebben we alle bepalingen van terugverdiertijden met de elektriciteitsprijs voor MS aansluitingen uitgevoerd. Voor bedrijven met LS aansluitingen zullen de terugverdiertijden circa 23% korter uitvallen.

Door het degressieve karakter van de energiebelasting (EB) dient voor het bepalen van terugverdiertijden met marginale in plaats van gemiddelde elektriciteitsprijzen gewerkt te worden. Voor de EB is het tarief van de derde schijf (50.000-10 mln. kWh) aangehouden¹². De opbouw van de marginale elektriciteitsprijs per type aansluiting is opgenomen in Tabel 3.

Tabel 3 Bepaling marginale elektriciteitsprijs 2014 (€/kWh)

Kostenonderdeel	Piek	Dal	Gemiddeld
Commodityprijs elektriciteit	0,0675	0,0529	0,062
Systeemdiensten	0,00101		
Transporttarief MS	0,0089		
Transporttarief LS	0,0353	0,0146	0,028
Energiebelasting (3e schijf)	0,0115		
Opslag duurzame energie	0,0007		
Marginale elektriciteitsprijs MS			0,084
Marginale elektriciteitsprijs LS			0,103

Noot: Voor het bepalen van het gemiddelde is gedaan met een aandeel van de piek van 65% en van de dal van 35%. Dit correspondeert met een dubbel zo hoog elektriciteitsverbruik in de piek.

Bronnen: Nuon; Essent; Liander; Belastingdienst.

¹¹ MS aansluitingen (>400 V) zijn typisch van toepassing aansluitwaardes boven de circa 50 kW.

¹² We gaan bij de kleine serverruimte uit van 5 kW opgesteld ICT-vermogen. Als dat ICT-vermogen inderdaad wordt afgenomen en wordt vermeerderd met de energiegebruiken van de koeling en verliesposten zoals het UPS, dan krijg je al snel 7 kW. Als dat vermenigvuldigd wordt met 8.760 uur per jaar, dan zit het stroomverbruik boven de 50.000 kWh, wat de keuze voor deze EB-schijf rechtvaardigt.



5.3 Zelfstandig moment/natuurlijk moment

De berekeningen zijn voor het zogenaamde ‘zelfstandige moment’ uitgevoerd. Dit betekent dat de bestaande installatie, die nog functioneert en nog niet aan vervanging is, wordt vervangen, en de volle investeringssom van de energie-efficiënte koeltechniek als kapitaaluitgave moet worden beschouwd en moet worden terugverdiend.

Dit is de minst gunstige situatie. In zijn algemeenheid is er bij dit soort investeringen sprake van een natuurlijk moment dat zich iedere paar jaar aandoet. Op een natuurlijk moment is een vervangingsinvestering noodzakelijk, omdat een onderdeel defect is geraakt (bv. een defect split unit airconditioning systeem). Of de groei van het aantal opgestelde ICT-apparaten zorgt ervoor dat de bestaande koeloplossing onvoldoende capaciteit heeft. In het geval van een natuurlijk moment wordt de terugverdientijd gunstiger dan op een zelfstandig moment, omdat de investeringssom van de energie-efficiënte techniek kan worden verminderd met de investeringssom van de minder efficiënte en iets goedkopere alternatieve techniek. In feite beschouwt men dus de meerkosten van de energie-efficiënte techniek boven een goedkopere, niet-efficiënte techniek die men anders zou kiezen.

Een precieze analyse van de terugverdientijd onder natuurlijk moment vergt de definitie van wat die meerkosten zijn, daarvoor is het ook nodig om de investeringssom van de niet-efficiënte oplossing te kennen. Dit is in de praktijk situatieafhankelijk en valt daarom buiten de scope van dit onderzoek.

5.4 Financiering

Financieringskosten van de koelmaatregelen is buiten het onderzoek gehouden. Er zijn dus geen kosten of rentepercentages voor aangenomen of meegenomen in de berekening. Financieringskosten zijn branche- en bedrijfsafhankelijk.

5.5 Resultaten doorrekening

Tabel 4 laat de hoofdresultaten van de doorrekening van de best beschikbare techniekcombinaties zien. Bespreking van de gevoeligheden en onzekerheden is opgenomen in Paragraaf 5.5.1.



Tabel 4 Hoofresultaten doorrekening bij elektriciteitsprijs van € 0,084 per kWh

	Best beschikbare techniekcombinatie	Investeringskosten voor de case (€)	Besparing elektriciteit (% op koeling)	Besparing elektriciteit (MWh/j)	T.v.t. (jaar)
Klein (5 kW)	Directe vrije lucht-koeling + split unit	€ 4.600	86%	18	3
	Rack cooling (DX-systeem)	€ 7.600	50%	11	8
Middel (20 kW)	Directe vrije lucht-koeling + DX back-up	€ 29.000	88%	84	4
	Watergekoelde CRAC met V.K. droge koeler	€ 37.000	61%	58	8
	Koudwatersysteem met droge koeler	€ 36.200	60%	57	7
Groot (100 kW)	Directe vrije lucht-koeling + DX back-up	€ 145.000	84%	300	6
	Koudwatersysteem met droge koeler	€ 164.000	47%	170	11
	Koudwatersysteem met hybride droge koeler	€ 214.000	60%	218	11

De terugverdiertijden, die voor het ‘zelfstandige moment’ in beeld zijn gebracht, liggen tussen de drie en de elf jaar.

De directe vrije lucht-koeling is volgens de doorrekening binnen de vijf jaar terugverdiend voor zowel de kleine als de middelgrote serverruimte en voor de grote serverruimte in zes jaar. Dat resultaat is wel onzeker omdat de kostend bij deze techniek sterk van de inpassingskosten afhangen.

Voor de grote serverruimte liggen de terugverdiertijden van de koudwatersystemen boven de tien jaar. Het koudwatersysteem met vrije koeling blijkt rendabeler in de middelgrote case dan in de case van de grote serverruimte. Een belangrijke factor is hier dat het rendement van de compressiekoeling in de referentiesituatie slechter is in de middelgrote case dan bij de grote serverruimte.

De terugverdiertijden zijn minder kort dan in de interviews genoemd, zo noemden respondenten voor directe vrije koeling een terugverdiertijd van circa twee jaar. Het kan zijn dat de additionele kosten voor een back-up compressiekoelsysteem (split unit of DX-systeem) door de geïnterviewden niet zijn beschouwd.

5.5.1 Bandbreedtes en gevoeligheid van de resultaten

De bandbreedtes en gevoeligheid van de resultaten hebben te maken met de raming van de investeringskosten, elektriciteitsprijs en de raming van het rendement van de compressiekoelinstallatie in de referentiesituatie.



Kosteninschattingen

De kosteninschattingen zijn sterk locatieafhankelijk. Omdat de leveranciers en betrokkenen slechts indicatief of voor enkele voorbeeldconfiguraties getallen konden noemen, en er dus veel geïnterpreteerd moet worden, zijn kosteninschattingen niet nauwkeuriger dan +/- 20% ten opzichte van het echte gemiddelde. Daarnaast kunnen locatieafhankelijke kostenverschillen voor grotere afwijkingen in de inschattingen zorgen.

Het mechanisme van de eenvoudige terugverdientijd is lineair. Indien de investeringskosten zoals in de tabel genoemd +20% afwijken, dan wordt de terugverdientijd 20% langer.

Elektriciteitsprijs

De elektriciteitsprijs is in zekere zin ook locatieafhankelijk. Als een kantoor is aangesloten op het LS spanningsniveau, dan is de elektriciteitsprijs circa 23% hoger: 0,103 €/kWh in plaats van de 0,0844 €/kWh, geldig voor MS aansluitingen (Paragraaf 5.2.1). Dit geldt ruwweg voor kantoren met een aansluitwaarde beneden de 50 kW. Met name kantoren met kleine serverruimtes kunnen hier onder vallen. Voor de consistentie hebben we alle bepalingen van terugverdientijden uitgevoerd met dezelfde elektriciteitsprijs die hoort bij MS aansluitingen. Voor bedrijven met een LS aansluiting zullen de terugverdientijden vanwege de hogere energieprijs circa 23% korter uitvallen.

Rendement compressiekoelinstallatie in de referentiesituatie

Voor de onnauwkeurigheid van de inschattingen van COP/systeemrendementen is een bandbreedte van +0,5 en -0,5 aangehouden om de gevoeligheid voor deze parameter te laten zien. De resultaten staan in Tabel 5.

Tabel 5 Gevoeligheid referentierendement

	Best beschikbare techniekcombinatie	Gevoeligheid terugverdientijd verandering referentie COP	
		COP -0,5	COP +0,5
Klein (5 kW)	Directe vrije luchtkoeling + split unit	-27%	23%
	Rack cooling (DX-systeem)	-36%	56%
Middel (20 kW)	Directe vrije luchtkoeling + DX back-up	-20%	20%
	Watergekoelde CRAC met V.K. droge koeler	-25%	31%
	Koudwatersysteem met droge koeler	-26%	30%
Groot (100 kW)	Directe vrije luchtkoeling + DX back-up	-13%	13%
	Koudwatersysteem met droge koeler	-22%	25%
	Koudwatersysteem met hybride droge koeler	-18%	19%

Hieruit maken we op dat het referentierendement belangrijk is voor de terugverdientijd, wat ook verwacht mag worden. Rendementen zullen in de praktijk sterk wisselen tussen kantoren, omdat er een samenhang met de operatie is. Hieronder valt het temperatuurgebied waarin de serverruimte wordt gehouden, maar ook de staat van onderhoud, ouderdom van de installatie, instellingen t.a.v. luchtvochtigheid. De terugverdientijden zullen in de praktijk dus ook verschillen.



Niet alleen de rendementen in de referentiesituatie hangen af van operationele aspecten zoals de temperatuurinstelling, de mate waarin vrije koeling gebruikt kan worden hangt hier ook sterk van af. De temperatuurinstelling in de serverruimte moet verhoogd worden tot het 'bovengebied' binnen het ASHRAE aanbevolen gebied (ruwweg 23-27 °C) om de percentages vrije koeling te behalen die zijn aangenomen voor de doorrekening.

5.6 Besparingspotentieel

Op grond van de modelberekeningen kunnen we stellen dat binnen serverruimtes op het onderdeel koeling, voor alle typerende serverruimtes minimaal 40-50% op het energiegebruik kan worden bespaard als men de techniekcombinaties implementeert.

Opvallend resultaat is dat ook met alleen DX-rack cooling een behoorlijke besparing gerealiseerd worden. Ook compressiekoeling kan dus veel efficiënter dan gangbaar in de praktijk.

Als vrije luchtkoeling mogelijk is, dan kan het elektriciteitsgebruik voor de koelinrichting zeer substantieel naar beneden.

5.7 Aanbevelingen voor EIA-maatregelen

Bij de vraag naar aanbevelingen voor de EIA kwamen de volgende punten naar voren:

- bekijk het hele koelsysteem als geheel en niet per afzonderlijk onderdeel;
- (dus in geval van (direct) vrije luchtkoeling behoren ook de luchtkanalen tot de koeloplossing);
- de vormen van vrije luchtkoeling worden gezien als de belangrijkste technieken.



6 Conclusie

6.1 Energiebesparingspotentieel

De centrale vraagstelling van dit onderzoek luidt: geef voor de zakelijke dienstverlening in Nederland het jaarlijks energiebesparingspotentieel met betrekking tot de koeling van de eigen serverruimte als men zou investeren in de best beschikbare techniek ten opzichte van de huidige situatie (juni 2014).

Uit het onderzoek blijkt dat de meerderheid van de serverruimtes wordt gekoeld met airconditioning systemen (split units) die niet specifiek voor de koeling van ICT-ruimten zijn ontworpen. Deze airco's kennen meerdere problemen die leiden tot een energiegebruik dat veel hoger is dan nodig (menging van warme en koude luchtstromen, te lage verdampertemperatuur, aan/uit-regeling).

Daarnaast wordt een deel van de serverruimtes op nodeloos lage temperaturen gehouden, waardoor de compressiekoeling meer energie gebruikt dan nodig is.

Op grond van de afgenomen interviews en de verzamelde gegevens over koelinstallaties van serverruimtes zijn een aantal 'beste' techniekcombinaties geformuleerd, die zijn doorgerekend op hun energetische prestaties.

Met de doorgerekende technieken is het mogelijk om een grote mate van energie-efficiëntie te bereiken, en dit blijkt ook uit de berekeningen. Op grond daarvan kunnen we stellen dat binnen serverruimtes op het onderdeel koeling, voor de typerende serverruimtes **minimaal 40-50% en maximaal 85%** op het energiegebruik van de koeling kan worden bespaard als men de beste techniekcombinaties implementeert. Dit levert een belangrijk argument op om te kiezen voor energie-efficiënte technieken. De terugverdientijden die zijn bepaald zijn in Tabel 6 weergegeven.

Tabel 6 Terugverdientijden op het zelfstandige moment

	Klein	Middel	Groot
Directe vrije luchtkoeling, met back-upsysteem	3	4	6
Rack cooling met DX-systeem	8		
Watergekoelde precision airco (row/rack cooling) met vrije koeling		8	
Gekoeldwatersysteem met vrije koeling (droog), row/rack cooling		7	11
Gekoeldwatersysteem met vrije koeling (hybride), row/rack cool			11

Bij de berekening is een marginale elektriciteitsprijs van 0,084 €/kWh aangehouden, dit is geldig voor kantoren met een MS-aansluiting.

Bij laagspanning aansluitingen (kleiner dan 50 kW en tot 400 V) zijn de terugverdientijden 23% korter.



De terugverdiertijden van meer dan vijf jaar lijken lang, maar belangrijk is om zich te realiseren dat in de praktijk de situatie van het ‘natuurlijk moment’ zich geregeld aandoet. Op een natuurlijk moment¹³ staat een vervangings-investering gepland, en worden in de business case alleen de meerkosten van een efficiënte techniek worden betrokken.

Voor alle categorieën serverruimtes heeft directe vrije luchtkoeling de kortste terugverdiertijd. Tegelijkertijd is deze optie erg van de specifieke (bouwkundige) situatie afhankelijk.

6.2 Conclusies per type serverruimte

In het onderzoek is verder gevraagd naar een onderverdeling naar vaak voorkomende typen serverruimtes, met dan voor ieder type een duiding van hoe vaak dit type voorkomt, de gemiddelde huidige wijze van koeling, het energiegebruik van de koeling in de huidige situatie, de best beschikbare techniek, een raming van de gemiddelde investeringskosten en een raming van het energiegebruik en de terugverdiertijd van de best beschikbare techniek.

De conclusies per type serverruimte geven we in Tabel 7, Tabel 8 en Tabel 9 weer.

Tabel 7 Hoofdconclusies en resultaten doorrekening kleine serverruimtes

	Kleine serverruimtes (5 kW ICT-vermogen)
Voorkomen binnen de doelgroep	Dit betreft een groot aantal serverruimtes, het precieze percentage of het aantal kon niet worden achterhaald.
De typische huidige wijze waarop deze ruimten nu worden gekoeld	De meest voorkomende huidige koeltechnieken voor kleine serverruimtes zijn: Split unit-systemen, met een condensor op het dak/buitengevel en een muureenheid (> 90%). Directe vrije koeling, directe inblazing van gefilterde/ongefilterde buitenlucht (< 10%).
Huidig energiegebruik van de koeling	Circa 23.000 kWh per jaar.
Best beschikbare techniek voor de koeling van het type serverruimte	1. Directe of indirecte vrije luchtkoeling, met split unit als back-up. 2. Rack cooling met een DX-systeem.
Raming van de gemiddelde investeringskosten	1. Directe vrije lucht koeling: circa € 4.600. 2. Rack cooling: circa € 7.600.
Energiegebruik en terugverdiertijd van de best beschikbare techniek	1. Directe vrije lucht koeling: circa 4.800 kWh/j, terugverdiertijd 3 jaar. Besparing op energiegebruik koeling: 86%. 2. Rack cooling: circa 12.600 kWh/j; terugverdiertijd 8 jaar. Besparing op energiegebruik: 50%.

Opvallend resultaat hierbij is dat als split units worden vervangen door een DX-rack cooling systeem dat een grote besparing (50%) gerealiseerd kan worden. Ook compressiekoeling kan dus veel efficiënter dan de gangbare praktijk. Het systeem met directe vrije luchtkoeling realiseert een nog grotere energiebesparing (86%).

¹³ Doorrekening op het natuurlijk moment viel buiten de onderzoeksopdracht.



Tabel 8 Hoofdconclusies en resultaten doorrekening middelgrote serverruimtes

	Middelgrote serverruimtes (20 kW ICT-vermogen)
Voorkomen binnen de doelgroep	Dit betreft een redelijk aantal serverruimtes, het precieze percentage of het aantal kon niet worden achterhaald. Er is een koppeling met de omvang van het kantoor.
De typische huidige wijze waarop deze ruimten nu worden gekoeld	Er is een wat divers palet aan technieken in gebruik: split unit systemen, DX-koelsystemen (CRAC met de condensor op het dak), koudwatersysteem met CRAH's (in 80% van de gevallen zonder vrije koeling).
Huidig energiegebruik van de koeling	Circa 103.000 kWh per jaar.
Best beschikbare techniek voor de koeling van het type serverruimte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Directe of indirecte vrije luchtkoeling met DX back-up systeem. 2. Watergekoelde CRAC (rack of row cooling), waarbij de CRAC's ook zijn toegerust met de optie voor vrije koeling 3. Koudwatersysteem met (externe) droge koeler.
Raming van de gemiddelde investeringskosten	<ol style="list-style-type: none"> 1. Directe vrije koeling met DX back-up: Circa € 30.000 2. Watergekoelde CRAC's: circa € 37.000. 3. Koudwatersysteem: circa € 36.000.
Energiegebruik en de terugverdientijd van de best beschikbare techniek	<ol style="list-style-type: none"> 1. Directe vrije koeling met DX back-up: circa 18.500 kWh/j, terugverdientijd ca. 4,1 jaar. Ongeveer 88% besparing op elektriciteitsverbruik koeling. 2. CRAC's met vrije koeling: circa 44.800 kWh/j, t.v.t. ca. 7,5 jaar. Besparing elektriciteitsverbruik 61%. 3. Koudwatersysteem: ca. 45.700 kWh/j, terugverdientijd ca. 7,4 jaar. Besparing elektriciteitsverbruik 60%.

De terugverdientijden van de systemen met CRAC's en CRAH's zijn langer dan het systeem met directe koeling. De besparing op het elektriciteitsgebruik bedraagt 88% bij directe vrije koeling en 60% bij de CRAC's en het koudwatersysteem, dit zijn forse besparingen ten opzichte van de gangbare praktijk.



Tabel 9 Hoofconclusies en resultaten doorrekening grote serverruimtes

	Grote serverruimtes (100 kW ICT-vermogen)
Voorkomen binnen de doelgroep	Dit betreft een beperkt aantal, zeer grote serverruimtes. Deze zijn vooral te vinden bij instellingen met zeer veel in-house ICT, zoals verzekeraars en multinationals en financiële instellingen.
De typische huidige wijze waarop deze ruimten nu worden gekoeld	Ongeveer 50% gebruikt een koudwatersysteem en 50% gebruikt DX-systemen. Koudwatersystemen hebben in 80% van de gevallen geen vrije koeling.
Huidig energiegebruik van de koeling	Circa 380.000 kWh per jaar.
Best beschikbare techniek voor de koeling van het type serverruimte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Directe of indirecte vrije luchtkoeling met DX back-up systeem. 2. Koudwatersysteem, koudwatermachine (chiller) met vrije koeling door een droge koeler. 3. Koudwatersysteem, koudwatermachine (chiller) met vrije koeling door een hybride koeler.
Raming van de gemiddelde investeringskosten	<ol style="list-style-type: none"> 1. Directe vrije koeling met DX back-up: Circa € 145.000. 2. Watergekoelde CRAC's: circa € 164.000. 3. Koudwatersysteem: circa € 214.000.
Energiegebruik en de terugverdientijd van de best beschikbare techniek	<ol style="list-style-type: none"> 1. Directe vrije koeling met DX back-up: circa 92.500 kWh/j, terugverdientijd ca. 5,6 jaar. Ongeveer 84% besparing op elektriciteitsverbruik koeling. 2. Koudwatersysteem met rack/row cooling, vrije koeling d.m.v. droge koeler: ca. 229.000 kWh/j, terugverdientijd ca. 11 jaar. 47% besparing op elektriciteitsgebruik koeling. 3. Koudwatersysteem met rack/row cooling, vrije koeling d.m.v. hybride koeler: ca. 181.000 kWh/j, terugverdientijd ca. 11,4 jaar. Besparing op elektriciteitsgebruik koeling ongeveer 60%.

Bij de doorrekening van grote serverruimtes vallen de terugverdientijden langer uit doordat het rendement van de compressiekoeling in de referentiesituatie hoger is. De optie voor directe vrije koeling is bijna rendabel op een zelfstandig moment met een terugverdientijd van 5,6 jaar. Dit systeem levert een grote energiebesparing indien het inpasbaar is. De systemen met gekoeld-water leveren maar verschillende energiebesparingen. De energiebesparing op energie is bij het systeem voor vrije koeling met de hybride koeler (een adiabatisch ondersteunde droge koeler) hoger dan bij de droge koeler. Omdat de investeringssom dat ook is, is de terugverdientijd die beide techniek-combinaties realiseren vergelijkbaar.



6.3 Slot

Al met al hebben we met dit onderzoek een beeld geschapen van de huidige praktijk van koelingen binnen serverruimtes in Nederlandse kantoren, anno 2014. We hopen dat de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland met de resultaten een goed geïnformeerde beslissing kan nemen over het al dan niet opnemen van koeltechnieken op de EIA Energielijst.

Het uitgevoerde onderzoek inspireert tot een aantal suggesties voor vervolgonderzoek:

- Nader onderzoek naar de drijfveren, wat motiveert een serverruimte eigenaar nu werkelijk. Hoe kan de energie efficiency van de koelinstallaties een prominente plek krijgen in de beslissing tot de aanschaf en vernieuwing? Dit om te voorkomen dat opnieuw niet-efficiënte koelinstallaties aangeschaft worden. Wat is de rol van de split incentives die in kantoren vaak optreden hierbij?
- Hoe ligt het toezicht op de serverruimtes in het kader van de rol van de gemeentelijke milieudienst in het kader van het toezicht op de Wet milieubeheer/het Activiteitenbesluit? En zou dit kunnen worden verbeterd?
- Wat zou het rendabele potentieel aan energiebesparing in serverruimtes voor heel Nederland zijn, als men de rendabele maatregelen in alle kantoren zou tellen? Hoeveel PJ energiebesparing betreft dit en hoeveel potentiële reductie van CO₂-emissies?





Referenties

APC, 2011. *Cooling Strategies for IT Wiring Closets and Small Rooms (White Paper 68)*, West Kingston, Rhode Island (V.S.): Schneider Electric.

APC, 2012a. *Practical Options for Deploying IT Equipment in Small Server Rooms and Branch Offices (White Paper 174)*, West Kingston, Rhode Island (V.S.): Schneider Electric.

APC, 2012b. *The Different Technologies for Cooling Data Centres (White Paper 59)*, West Kingston, Rhode Island (V.S.): Schneider Electric.

ASHRAE, 2011. *2011 Thermal Guidelines for Data Processing Environments - Expanded Data Center Classes and Usage Guidance*, Atlanta (Georgia, V.S.): American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc..

CE Delft en Mansystems DCE, 2013. *Investigation of techniques for energy-efficient new-build data centres*, Delft: CE Delft.

CE Delft, (in voorbereiding). *Handreiking en factsheets energiebesparende maatregelen datacenters*, Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

CE Delft, 2012. *Vergroenen datacenters 2012-2015*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2014. *Rekenmodel Erkende Maatregelen Datacenters*, Delft: CE Delft.

ECN, 2008. *Energiebesparing in datahotels; Meer met minder*, Petten: ECN.

EnergyGo, 2013. *Energie-efficiënt herinrichten van computerruimten en datacenters*, Alkmaar: EnergyGo.

KNMI, 2014. *Uurgegevens van het weer in Nederland*. [Online] Available at: <http://www.knmi.nl/klimatologie/uurgegevens/> [Geopend 1 september 2014].





Bijlage A Lijst met geïnterviewden

De interviews vonden telefonisch plaats in juli t/m september 2014.

Datum	Organisatie	Naam
30 juli 2014	Rittal	Stefan de Jong
6 augustus 2014	Air@Work	Arthur Singendonk
11 augustus 2014	Colt	Willy Lenaerts
11 augustus 2014	Geveke/Condair	Wilfred Heesakkers
21 augustus 2014	Xcellent	Mark Schoonderbeek
21 augustus 2014	PERF-IT B.V.	René de Theije
29 augustus 2014	Green IT Amsterdam	Jaak Vlasveld
10 september 2014	Western Airconditioning	Jobbin van der Velde (*)
10 september 2014	X-ICT	Roeland Roebersen (*)
11 september 2014	Rittal	Elbert Raben, Stefan de Jong (*)
15 september 2014	APAC Airconditioning	Richard de Boer (*)

(*): Beknopter gesprek met specifieke vragen, niet de gehele vragenlijst.





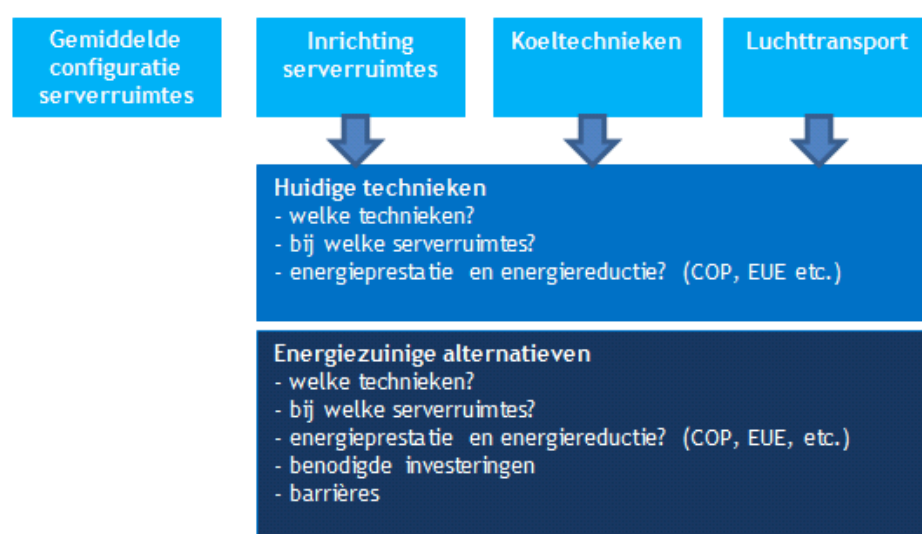
Bijlage B Interviewvragen

Delft, 29 juli 2014

Betreft : Vragenlijst energiebesparing koeling serverruimtes
Van : Anouk van Grinsven (CE Delft)/Ab de Buck (CE Delft)

Introductie

Allereerst bedankt dat u aan dit onderzoek mee wilt werken. Hieronder vindt u een schematische weergave van het interview. Als eerste zouden we graag een beeld krijgen van de gemiddelde serverruimte. Vervolgens hebben we de energiezuinige technieken in drie categorieën gedeeld: per categorie zouden we graag de huidige meest toegepaste technieken en beschikbare energiezuinige alternatieven willen doorspreken. Mocht uw expertise specifiek op één van deze gebieden liggen geeft u dit dan vooral aan, zodat we daar binnen het interview meer de nadruk op kunnen leggen.



Configuratie van serverruimtes:

- Wat is het gemiddelde vloeroppervlak van een gemiddelde serverruimte en wat is de bandbreedte?
- Welke serveropstelling(en) komt/komen het meeste voor?
- Wat is het gemiddeld opgesteld vermogen en wat is de bandbreedte?
- Wat is de gemiddelde ingestelde temperatuur?

Inrichting serverruimtes (bijv. warme/koude gangen):

- Welke technieken m.b.t. de inrichting van serverruimtes worden nu vooral toegepast?
- Bij welke type serverruimtes worden deze technieken toegepast?
- Wat is de invloed van deze technieken op het energieverbruik?
- Wat zijn de meest energiezuinige alternatieven voor deze technieken?
- Bij welke serverruimtes kunnen deze worden toegepast?
- Wat is het reductiepotentieel van deze technieken?
- Welke investeringen vraagt deze besparing?
- Welke barrières ziet u bij de toepassing van de meest energiezuinige alternatieven?

Koeltechnieken (vrije koeling/compressiekoeling, etc.):

- Welke technieken m.b.t. de inrichting van serverruimtes worden nu vooral toegepast?
- Bij welke type serverruimtes worden deze technieken toegepast?
- Wat is de invloed van deze technieken op het energieverbruik?
- Wat zijn de meest energiezuinige alternatieven voor deze technieken?
- Bij welke serverruimtes kunnen deze worden toegepast?
- Wat is het reductiepotentieel van deze technieken?
- Welke investeringen vraagt deze besparing?
- Welke barrières ziet u bij de toepassing van de meest energiezuinige alternatieven?

Luchttransport (denk aan ventilatoren/pompen, wijze van inblazing):

- Welke technieken m.b.t. de inrichting van serverruimtes worden nu vooral toegepast?
- Bij welke type serverruimtes worden deze technieken toegepast?
- Wat is de invloed van deze technieken op het energieverbruik?
- Wat zijn de meest energiezuinige alternatieven voor deze technieken?
- Bij welke serverruimtes kunnen deze worden toegepast?
- Wat is het reductiepotentieel van deze technieken?
- Welke investeringen vraagt deze besparing?
- Welke barrières ziet u bij de toepassing van de meest energiezuinige alternatieven?

Als laatste de vraag: als u een aanbeveling aan RVO zou mogen doen, welke technieken ziet u dan graag opgenomen in de EIA en waarom?

Vriendelijk bedankt voor uw tijd en medewerking aan dit onderzoek! Wanneer er zich nog vragen voordoen bij de uitwerking van dit interview zullen we deze nog aan u voorleggen.



Bijlage C Beschrijving van het model

De energiebesparingen en typerende terugverdientijden van best beschikbare techniekcombinaties zijn met een Excel model van de energiestromen berekend. Daarvoor is het 'Rekenmodel Serverruimte Koeltechnieken' opgezet. Het model berekent eenvoudige terugverdientijden (t.v.t.) van energiebesparende technieken conform ECN's 'Methodiek berekening terugverdientijd', versie januari 2014.

C.1 Werking, inputs en outputs

Belangrijkste **inputs** van het model zijn:

- a Energieprijzen.
- b Kostenramingen van technieken, op zelfstandig en natuurlijk moment (de laatste niet gebruikt in deze studie); we hebben een kostenblad met diverse serverruimte kostencomponenten toegevoegd.
- c Definitie van referentiesituatie.
- d Voor zowel de 'maatregel/BBT' als de referentiesituatie:
 - prestatiecoëfficiënten van de verschillende onderdelen koelsysteem:
 - SPF compressiekoelmachine (incl. condensorfans);
 - SPF vrije koeling d.m.v. droge koelers + extra pomp;
 - SPF CRAH's (luchtre circulatiekasten);
 - SPF waterpompen en/of overige regelingen van koeling.
 - percentage vrije koeling;
 - UPS conversierendement.
- e Rentepercentage t.b.v. financieringskosten (0% aangenomen in deze studie).

Uit deze inputs berekent het model de jaarlijkse energiegebruiken van de ICT, de energieverliezen in de stroomvoorziening, en de energiegebruiken van de onderdelen van het koelsysteem.

Belangrijke **outputs** van het model zijn:

- a Elektriciteitsgebruik van de diverse componenten van het datacenter/de serverruimte:
 - ICT-apparatuur;
 - compressiekoeling;
 - vrije koeling;
 - pompen, regelingen;
 - luchtbehandeling;
 - totaal overig;
 - verliezen UPS.
- b Totaal elektriciteitsverbruik serverruimte, in referentie en onder de maatregel/BBT, alsmede de besparing.
- c Idem, elektriciteitsgebruik voor de koeling, en het besparingspercentage.
- d De E.U.E., in de oude en nieuwe situatie (een overall energie-efficiency parameter, vooral gebruikt bij datacenters).
- e Energiekosten en besparing.
- f Voor zowel natuurlijk als zelfstandig moment: totaal kosten en baten en besparing, inclusief veranderingen in de jaarlijkse onderhoudskosten die met de technieken verband houden.



- g Eenvoudige terugverdiëntijd van de investeringskosten, op zelfstandig en natuurlijk moment, met een bandbreedte om de investeringskosten te variëren.

C.2 Werkbladen

Voor iedere techniekcombinatie is een apart werkblad opgezet. De structuur van de verschillende werkbladen met techniekcombinaties is hierbij zoveel mogelijk gelijk gehouden. De referentie heeft een apart werkblad. Belangrijke parameters van de referenties zijn naar voren gehaald en onder 'Instellingen' te selecteren. Daarnaast is er een samenvatting-tabblad waar alle resultaten naast elkaar worden gepresenteerd.

C.3 Gevoeligheidsanalyse

Met het model is het tevens mogelijk om geautomatiseerd doorrekeningen te doen om de gevoeligheden voor parameters zoals de jaargemiddelde COP van de compressiekoeling in beeld te brengen. Deze automatisering maakt gebruik van Excel macro's.

C.4 Schermafbeeldingen

Figuur 3 toont het openingsscherm. Maatregelen worden gekwantificeerd ten opzichte van een referentie, dus die heeft ook een rekenblad.

Figuur 3 Openingsscherm rekenmodel, inclusief overzicht gekwantificeerde erkende maatregelen

Rekenmodel Serverruimte Koeltechnieken

Dit Excelbestand bevat berekeningen van energiebesparingen en typerende terugverdiëntijden van energie efficiënte koelinrichtingen in serverruimtes. Het model berekent terugverdiëntijden (t.v.t.) van energiebesparende maatregelen conform ECN's "Methodiek berekening terugverdiëntijd", versie januari 2014.

Toelichting: voor iedere maatregel of techniek is een apart werkblad. De structuur van de werkbladen met de maatregelen is zoveel mogelijk gelijk gehouden. Het model berekent terugverdiëntijden ten opzichte van een referentiesituatie; de referentie is op een apart werkblad uitgewerkt. Belangrijke parameters van de referentie zijn naar voren gehaald en onder "Instellingen" te selecteren. Sommige maatregelen vereisten een afwijking in de referentie, dit is dan gedaan (en helder gemarkeerd) op het werkblad waar de maatregel is uitgewerkt.

Naam sheet	Inhoud
Instellingen	Belangrijke parameters t.b.v. doorrekening, gekoppeld aan de referentie
Referenties	Definitie van: referentie datacenter; aannames in berekeningen; parameters bandbreedtes
Kosten	Verzamelde kostenkennallen (DC en serverruimte maatregelen)
BBT Serverruimtes	Overzicht gedefinieerde best beschikbare techniekcombinaties, samenvatting uitkomsten
1. fresh air+split	uitwerking techniek: 'Directe vrije luchtkoeling'
2. rack-DX	uitwerking techniek: 'Rack cooling'
3. CRAC-drycooler	uitwerking techniek: 'CRAC met vrije koeling, droge koeler'
4. koudwater-drycooler	uitwerking techniek: 'Chiller met droge koeler'
5. koudwater-hybrid	uitwerking techniek: 'Chiller met hybride droge koeler'

Rekenmodel Serverruimte Koeltechnieken
 Versie 1, september 2014
 Auteur: Maarten Afman, afman@ce.nl, 015-2150 150
 © CE Delft B.V., Oude Delft 180, 2611HH Delft

Hierna volgt een scherm waar de belangrijkste invoerparameters t.b.v. de referentie kunnen worden aangepast. De kleine serverruimtes hebben een minder goede jaargemiddelde COP in vergelijking met de grotere serverruimtes.

Figuur 4 Invoerparameters met hoofdkeuzes t.a.v. referenties



Parameters referenties (groottes etc.) serverruimtes

Serverruimte grootteklassen:

	kW ICT:	E-prijs marginaal tarief (euro/kWh)	Referentie COP waarde jaargemiddeld (SPF)
klein	5	0,084	2,25
middel	20	0,084	2,5
groot	100	0,084	3,5

Redundantie koelinrichting
 → Factor investeringskosten kW : kW_{ICT}

Redundantie stroomvoorziening (UPS)
 → Factor investeringskosten kW : kW_{ICT}

Rentepercentage t.b.v. financiering maatregel met vreemd vermogen
 (0% = geen financieringskosten meenemen)

Gevoeligheidsanalyse

Bandbreedte investeringskosten ondergrens TVT

Bandbreedte investeringskosten bovengrens TVT

COP rendement +/- referentiecase bijv. COP 3,0 ipv 2,5



Figuur 5 Deel van het rekenblad referenties

Gebruikte gegevens modellering (referentie)serverruimtes.				Berekeningen	
Redundantie, belastingen obv. tier level III (N) Lichtgele achtergrond = te wijzigen					
Er zijn meerdere referenties: klein, middel, groot. Selecteer de juiste grootteklasse op het tabblad BBT serverruimte					
Huidige keuze: Referentie: <input type="text" value="klein"/> Serverruimte: klein ICT vermogen: 5 kW/ICT Marginale elektriciteitsprijs: 0,10 €/kWh Referentie systeem-COP: 2,25					
	Eenheid	Waarde	Bron / definitie	Opmerking	
Functionele/ICT parameters					
Koelstrategie			Compressiekoeling zonder vrijskoeling		
Tier klasse:		I			
Nominaal ICT vermogen	kW	5	stelpost		
Oppervlakte datacenter, whitepace	m ²	4	stelpost		
Besettingsgraad:		100%	CE Delft/Manzystems; EnergyGo	def: ICT vermogen / UPS output op redundantie	
Afgenomen ICT vermogen	kW	5	Daadwerkelijk door ICT gebruikt		
Aantal geplaatste rekken		2	stelpost		
ICT vermogen per rack	kW/rack	2,5	stelpost		
Aantal rekken per rij		5	stelpost		
Redundantie en (max) belastinggraden					
Redundantie koeling		N + 110%	10% overcapaciteit aanhouden	Aanpasbaar	
Redundantie stroomvoorziening		N+1N=4 of N+1N=3	25% of 33% overcapaciteit UPS	Aanpasbaar	
Max belasting, koelsystemen	%	31%			
Max belasting, UPS	%	80%	CE Delft/Manzystems		
Huidige belasting, koelsystemen	%	31%			
Huidige belasting, UPS	%	80%	CE Delft/Manzystems		
Vermogen: verhouding tussen werkelijk en schikbaar vermogen					
kW per kVA		0,75	CE Delft/Manzystems		
Gedimensioneerde vermogens (optelling alle eenheden)					
Gedimensioneerd koelvermogen	kW	6			
Gedimensioneerd UPS	kVA	8			
Tarieven					
Tarief voor elektriciteit:	€/kWh	10,10	Zie onder		
Tarief voor gas:	€/m ³	10,40	EnergyGo		
Tarief voor water:	€/m ³	10,42	EnergyGo		
Gegevens kantoren					
Totaal kantooroppervlakte:	m ²	250	EnergyGo	n.v.t.	
Jaarlijk elektriciteitsgebruik kantoren:	kWh	25000	EnergyGo	n.v.t.	
Jaarlijk gasgebruik kantoren:	m ³	2250	EnergyGo	n.v.t.	
Seizoenal performance factors van bestaande installaties					
SPF compressiekoelmachine (incl. condensorfase)		2,3	EnergyGo, ECM, KVA	Verouderde (niet-efficiënte) systemen: 2,5 of slechter. Modern "gemiddeld DC" 4,0 jaargemiddeld	
SPF vrijskoeling d.m.v. droge koelers + extra pomp		15,0	EnergyGo, CE Delft		
COP CRAH's (luchtrecirculatiekasten)		20,0	div bronnen, zie opmerkingen		
COP waterpompen en overige regelingen van koeling		60,0	CE Delft/Manzystems		
Aandeel vrijskoeling en redemeaten					
aandeel vrijskoeling		0%	% uren/jaar	Behalve bij vrijskoeling opties	
aandeel adiabatische ondersteuning		0%	% uren/jaar		
redemeent UPS		30%	energie uit/energie in		
overig energiegebruik: verlichting, generatorverwarming,		4%	% van energie ICT		
Warme belasting op datavloer					
ICT	kW	5			
Afgenomen vermogen luchtbehandeling	kW	0,25			
Warme belasting buiten datavloer:					
Afgenomen vermogen pompen en re	kW	0			
Afgenomen vermogen compressiekoel	kW	2			
Warmteproductie ivm UPS conversie	kW	1			
Jaargebruiken					
ICT		43.800			kWh/jaar
compressiekoeling		20.440			
vrijskoeling		0			
pompen, regelingen		767			
luchtbehandeling		2.190			
totaal overig		1.752			
verliezen UPS		4.380			
Totaal elektriciteit					
Totaal, water	kWh	70.329			
Totaal, gas	m ³	0			
Totaal, gas	m ³	0			
Energieprestaties					
EUE		1,67			
Energiekosten					
Elektriciteit		17.333			
Water		10			
Gas		10			
totaal kosten		17.333			



Figuur 6 Deel van het rekenblad van een maatregel (CRAC met vrije koeling)

Maatregel:	CRAC met optie voor vrije koeling, CRAC is watergekoeld via droge koeler			
Nummer	3			
Fasering:	Zelfstandig moment	X		
	Natuurlijk moment	X		
	Nieuwbouw	X		
Prestatie coëfficiënten en parameters relevante installaties		Oud	Maatregel	
	SPF compressor CRAC	2,25	4,5	
	SPF droge koeler	20	20	
	COP luchtflns CRACs	20	20	
	COP overige regelingen van koeling	30	30	
		Oud	Maatregel	
	percentage vrije koeling	0%	40%	
Warmtebelasting		Oud	Maatregel	
Datavloer	ICT	5	5	
	Afgenomen vermogen luchtbehandelingskasten	0,25	0,25	
Buiten datavloer	Afgenomen vermogen pompen en regelingen	0	0	
	Afgenomen vermogen compressiekoelmachine	2,333333333	1,166666667	
	Warmteproductie ivm UPS conversieverliezen	1	1	
Jaargebruiken energie (kWh)		Oud	Maatregel	
	ICT	43.800	43.800	
	compressiekoeling	20.440	6.132	
	vrije koeling	0	320	
	pompen, regelingen	511	511	
	luchtbehandeling	2.190	2.190	
	totaal overig	1.752	1.752	
	verliezen UPS	4.380	4.380	
		Oud	Maatregel	Besparing energie (kWh)
	Totaal elektriciteit	73.073	59.685	13.388
	Totaal water	0	0	0
	Totaal gas	0	0	0
Energie-efficiency prestaties		Oud	Nieuw	
	EUE	1,67	1,36	
Energiekosten en besparing		Oud	Maatregel	Besparing
	Elektriciteit	17.307	15.968	11.339
	Gas	10	10	10
	Subtotaal energiebaten	17.307	15.968	11.339
Investeringskosten		Zelfstandig moment		
	Investerings	18.823		
	Subsidie	0		
	Netto	18.823		
Financieringslasten		Rente 6,06%		
		Zelfstandig moment		
	Jaar	Besparing	Besparing	
	1			
	2	11.339	10	
	3	11.339	10	
	4	11.339	10	
	5	11.339	10	
			Zelfstandig	
	Terugverdientijd		8,0	
	Bandbreedte: ondergrens tvt		6,3	
	Bandbreedte: bovengrens tvt		9,7	

