

Water- en elektriciteitsgebruik van koeltechnieken bij datacenters

-Fit for 55-

Water- en elektriciteitsgebruik van koeltechnieken bij datacenters

Fit for 55

Februari 2023

Opsteller

OD Noordzeekanaalgebied (Marlies Lambregts)
EnergyGO (Bart Roossien)

Medewerking van;
Waternet (Joost Louter)
Certios (Dirk Harryvan)

Opdrachtgever

Provincie Noord-Holland (Pim van Herk)

Ebbehout 31
1507 EA Zaandam

Marlies.lambregts@odnzk.nl

Samenvatting

Naar aanleiding van het onderzoek "Watergebruik door datacenters in de Provincie Noord-Holland uitgevoerd door de Stichting Green IT 2020 i.o.v. provincie Noord-Holland, heeft de provincie aan de OD Noordzeekanaalgebied gevraagd om onderzoek te doen naar het water- en elektriciteitsgebruik van combinaties van koeltechnieken die door datacenters worden gebruikt. Dit rapport leidt tot de volgende conclusies en aanbevelingen aan de provincie Noord-Holland.

Conclusies

Het rapport leidt tot de volgende conclusies;

Energiebesparing

- 1 Het grootste deel van het gebruik van elektriciteit binnen een datacenter -ruim 80%- wordt ingezet ten behoeve van de IT-apparatuur. 99,99% van de gebruikte elektriciteit bij de IT-apparatuur wordt warmte die moet worden weggekoeld. Vanwege de redenering dat iedere vermeden kWh bij de IT-apparatuur niet hoeft te worden weggekoeld of duurzaam hoeft te worden opgewekt, is de realisatie van de energiebesparingsmaatregelen binnen een datacenter een onmisbare eerste schakel in het verlagen van het elektriciteits- en watergebruik voor de koeling binnen een datacenter;
- 2 Powermanagement in "balanced mode" geeft een besparing van 10 tot 15% op het elektriciteits- en watergebruik van een datacenter en heeft geen meetbaar effect op de PUE en WUE omdat de verhouding tussen hoeveelheid gebruikte energie en water ten behoeve van de IT-apparatuur versus overige installaties evenredig omlaaggaan;
- 3 Op het moment dat de herziene EML-maatregelen in 2023 in werking treden, is er aanleiding voor omgevingsdiensten om te bezien of er een reden is om een nieuw toezichts- en handavingsproject op het terrein van energie- en waterbesparing te starten bij alle datacenters. Onder meer deze maatregelen worden meegenomen in de uitvoering van de onderzoeksplicht;
- 4 De maatregelen, te weten de temperatuur van 27 °C of hoger -Ashrae- in de koude gang als er niet 100% vrij gekoeld wordt en monitoring (meten is weten) dragen bij in de realisatie van energie- en waterbesparing. Deze maatregelen zijn ingebracht door de OD Noordzeekanaalgebied in de inspraak op de ontwerp EML-maatregelen 2023;
- 5 De groei van elektriciteits- en watergebruik door een datacenter wordt sterk beïnvloed door de stand der techniek van de IT-apparatuur. Verdere innovatie van de IT-apparatuur kan naast energiebesparing bijdragen aan het afvlakken dan wel afname van het elektriciteits- en watergebruik van datacenters;

Combinaties van koeltechnieken

- 1 Uitgaande van een koude gang met een temperatuur van 27 °C, leiden de verschillende combinaties van koeltechnieken tot de volgende indicatieve scores op de parameters besparing IT apparatuur, PUE, WUE, elektriciteitsgebruik, relatieve energiebesparing en watergebruik;

Koeltechniek	Besparing IT-apparatuur	PUE	WUE (gemiddeld)	Elektriciteitsgebruik in MWh/MW IT-vermogen	Relatieve energiebesparing	Watergebruik in m ³ /MW IT-vermogen
1 Compressiekoeling met vrije koeling	0%	1,172	0,00	10.267	Referentie	0
2 Hybride droge koeler	0%	1,153	0,175	10.100	2%	1.533
3 Directe luchtkoeling met verdamping	0%	1,140	0,060	9.986	3%	526
4 Indirecte luchtkoeling met verdamping	0%	1,150	0,060	10.074	2%	526
5 Droge koeler met bodemenergiesysteem	0%	1,155	0,030	10.118	1%	263
6 Direct-op-chip koeling	5%	1,140	0,00	9.487	8%	0
7 Immersiekoeling ≥ 27 °C met bodemenergiesysteem	10%	1,140	0,030	8.988	12%	237
8 Immersiekoeling ≥ 50 °C	10%	1,120	0,00	8.830	14%	0

- 2 Het uitkoppelen van restwarmte van ongeveer 25 °C heeft beperkt toegevoegde waarde;
- 3 Voor de gangbare koeltechnieken 2 t/m 5 geldt dat de datacenterkoeling op dit moment verkeert in de fase, dat het verlagen van elektriciteitsgebruik leidt tot verhoging van het watergebruik bij het

datacenter en omgekeerd. Bij de opkomende koeltechnieken 6 t/m 8 is er sprake van ontkoppeling tussen het elektriciteits- en watergebruik;

Restwarmtebenutting

- 1 Bij het toepassing van immersiekoeling op minimaal 50 °C verandert de wijze van inpassing van de restwarmte van een datacenter als warmtebron in een warmtenet. Seizoensopslag in de vorm van bodemenergiesysteem vervalt omdat er geen sprake is van een mismatch tussen vraag en aanbod. Ook is de opwaardering van de datacenter warmte beperkt aan de orde, waarmee de bron van datacenter restwarmte goedkoper kan worden ingekoppeld. De investerings- en exploitatiekosten van een warmtenet nemen daardoor af. Dit verhoogt het draagvlak en de commerciële haalbaarheid van warmtenetten;
- 2 (Gedeeltelijke) uitkoppeling van restwarmte bij een datacenter heeft toegevoegde waarde als deze bron niet concurreert met andere hoogwaardigere duurzame bronnen, er voldoende warmtevraag is, redundantie -back-up- kan worden gerealiseerd in het warmtenet en de restwarmte een temperatuur heeft van minimaal 50 °C;

Watergebruik

- 1 Besparing op elektriciteit bij een datacenter levert een relatief grote besparing van koelwater bij elektriciteitscentrales -indirect gebruik- op ten opzichte van het -eventuele- extra watergebruik door het datacenter zelf. Dit geldt ook als een datacenter groene stroom inkoopt via Garantie van Oorsprong certificaten. Als het datacenter rechtstreeks gebruik maakt van duurzame elektriciteit, verandert deze situatie. Naarmate de elektriciteitsmix duurzamer wordt -aandeel elektriciteitscentrales wordt lager-, daalt het indirecte koelwatergebruik en kan het direct koelwatergebruik door het datacenter maatgevend worden;
- 2 Vanwege klimaatverandering komt schaarste van water steeds hoger op de agenda. Omdat energiebesparing en de keuze voor de koeltechniek in hoge mate bijdragen aan waterbesparing, kunnen de drinkwaterleveranciers samenwerken met omgevingsdiensten om via maatregelen te sturen op verlaging in de watervraag van datacenters. Nadat waterbesparing maximaal is gerealiseerd, zijn volgens Vewin industriewater, effluent en hemelwater alternatieven voor drinkwater. Hieraan worden door de OD Noordzeekanaalgebied gedemineraliseerd brak en zout water toegevoegd, mits bereid met duurzame elektriciteit;
- 3 Bij de toepassing van verdampingskoeling kunnen, indien gewenst, datacenters deels in hun eigen koelwaterbehoefte voorzien door hemelwater op te slaan in gebouwde waterbuffers of het grondwater;
- 4 Er vindt onderzoek plaats naar de inrichting van de tarifiering van water als mogelijk instrument om de eindgebruikers te prikkelen zuinig te zijn met water;
- 5 De gemeenten kunnen beleid en regelgeving maken wanneer de BBL-regeling 'Duurzaam gebruik daken niet wonen' in werking is getreden voor onder meer het bevorderen van hemelwatergebruik door datacenters;
- 6 Vanaf een gebruik van 5.000 m³ water worden bedrijven als waterrelevante bedrijven aangemerkt. Datacenters die watergekoelde technieken toepassen, zullen waterrelevante bedrijven zijn. Om watergebruik als onderwerp structureel op de agenda te krijgen, kunnen de kansen die artikel 4.22, eerste lid, sub c, van de Omgevingswet biedt, verder worden uitgewerkt. De gemeenten kunnen beleid en regelgeving maken wanneer de BBL-regeling 'Duurzaam gebruik daken niet wonen' in werking treedt voor onder meer het bevorderen van hemelwatergebruik door datacenters;
- 7 De wetgever is voornemens om de Elektriciteitswet zodanig aan te passen dat het bevoegd gezag inzicht krijgt in het jaarlijkse energiegebruik. Op dit moment heeft het bevoegd gezag ook geen inzicht in het jaarlijkse watergebruik van de bedrijven. Om eveneens adequaat aan de slag te kunnen gaan met waterbesparing bij de waterrelevante bedrijven, is het gewenst dat het bevoegd gezag inzicht krijgt in het watergebruik van onder meer datacenters. Middels een wetswijziging in de Drinkwaterwet kan de rijksoverheid regelen dat de wet zodanig wordt aangepast dat het ook inzicht in het watergebruik van onder meer datacenters bij het bevoegd gezag ontstaat, zodat er prioriteiten kunnen worden gesteld in de publiekrechtelijke aanpak gericht op waterbesparing.

Water- en elektriciteitsgebruik van koeltechnieken in datacenters, Fit for 55

Aanbevelingen

De bovenstaande conclusies leiden tot onderstaande aanbevelingen voor de provincie Noord-Holland.

Algemeen

1. Actief het podium en contact met de IT-branche zoeken over de route die in het rapport wordt geschetst om de Europese doelstelling Fit for 55 ook voor de branche datacenters binnen handbereik te brengen conform de aanbevelingen uit het rapport van Stichting Green IT;
2. De route Fit for 55 in 2030 verloopt volgens het rapport van Stichting Green It ook voor datacenters volgens de Trias Energetica. Het grootste deel van de elektriciteit binnen een datacenter wordt gebruikt ten behoeve de IT-apparatuur. Nagenoeg alle gebruikte elektriciteit bij de IT-apparatuur wordt omgezet in warmte die moet worden weg gekoeld. Omdat iedere vermeden kWh elektriciteit bij de IT-apparatuur ook niet hoeft te worden weggekoeld en duurzaam moet worden opgewekt, verloopt de te volgen route naar de Europese doelstelling via de achtereenvolgende stappen;
 - a. Maximale energiebesparing en innovatie;
 - b. Optimale koeltechnieken;
 - c. Rechtstreeks gebruik of inkoop van duurzame elektriciteit;
 - d. In die situaties waar -deels- uitkoppeling van de warmte die ontstaat bij een datacenter toegevoegde waarde heeft, kan deze maatregel worden toegevoegd waarbij de voorkeur uitgaat naar immersiekoeling ≥ 50 °C;
3. Via -onder meer- de community Nationale Coalitie Duurzame Digitalisering (NCDD) het podium en contact opbouwen en versterken met de IT-branche;

Energiebesparing

- 1 Het beleid, de lobby en de uitvoering van de wet- en regelgeving gericht op energiebesparing door de omgevingsdiensten bij datacenters blijven ondersteunen vanwege de te realiseren energie- (en water) besparing, ook bij de koeltechnieken;
- 2 Samenwerking stimuleren tussen drinkwaterleveranciers en omgevingsdiensten daar waar het waterbesparing en keuze soort water betreft;

Combinaties van koeltechnieken

- 1 Gezien de stand der techniek van alle combinaties van koeltechnieken in het beleid de ontwerp PUE in Noord-Holland aan te scherpen van $\leq 1,2$ naar $\leq 1,16$;
- 2 Stimuleren dat er verdere uitrol van de opkomende koeltechniek immersiekoeling ≥ 50 °C plaatsvindt zodat deze opkomende veelbelovende koeltechniek zich door ontwikkelt;

Restwarmtebenutting

Uitkoppeling van warmte van datacenters van tenminste 50 °C realiseren daar waar uitkoppeling toegevoegde waarde heeft;

Watergebruik

- 1 Conform het advies van de Vewin, het verbod op grondwatergebruik -niet zijnde opslag of een open bodemenergiesysteem-, ten behoeve van koeling door het datacenter continueren;
- 2 Volgen en eventueel beïnvloeden van onderzoek naar het beprijzen van water als sturingsinstrument voor watergebruik;
- 3 Ervan uit gaande dat er een integrale afweging (effecten op energie- materiaal- en chemicaliëngebruik naast watergebruik etc.) heeft plaatsgevonden door de Vewin, in samenwerking met de drinkwaterleveranciers bespreken hoe om gegaan wordt met de uitgesproken voorkeur voor achtereenvolgens waterbesparing en het gebruik van bronnen als hemelwater, en effluent, gedemineraliseerd brak of zout water met behulp van duurzame elektriciteit, industriewater ten behoeve van de productie van koelwater;
- 4 Omdat energiebesparing en keuze koeltechniek leidt tot waterbesparing, samenwerking stimuleren tussen waterleveranciers en omgevingsdiensten daar waar het de relatie tussen energiebesparing, koeltechniek enerzijds en waterbesparing en keuze soort water anderzijds betreft;
- 5 In overleg met gemeenten er bij uitwerking van de BBL Regeling "Duurzaam gebruik van daken van niet wonen" op sturen dat in geval er een combinatie van een koeltechniek wordt gebruikt waarbij koelwater wordt gebruikt, hemelwater optimaal wordt benut;
- 6 Om sturing op watergebruik bij waterrelevante bedrijven zoals datacenters als onderwerp structureel op de agenda te krijgen bij de bedrijven, de OD Noordzeekanaalgebied de opdracht te verlenen om de kansen die artikel 4.22, eerste lid, sub c, van de Omgevingswet biedt, verder uit te werken;

Water- en elektriciteitsgebruik van koeltechnieken in datacenters, Fit for 55

- 7 Met de rijksoverheid het gesprek aan te gaan om net als delen van het jaarlijkse energieverbruik van bedrijven met het bevoegd gezag ook het jaarlijkse watergebruik te gaan delen met het bevoegd gezag. Op deze wijze ontstaat inzicht in de omvang van het watergebruik per bedrijf en kunnen er prioriteiten worden gesteld door het bevoegd gezag in de aanpak waterbesparing bij de waterrelevante bedrijven.

Water- en elektriciteitsgebruik van koeltechnieken in datacenters, Fit for 55

Inhoud

Samenvatting	2
Inhoud	7
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Uitgangspunten	9
1.3 Leeswijzer	10
2 Wat gebeurt er in een datacenter?	11
3 Parameters beoordeling water- en energieverbruik	12
3.1 Energiegebruik	12
3.2 Watergebruik	13
4 Energiebesparing datacenters	14
4.1 Toepassing powermanagement (balanced mode)	14
4.2 Herziening van de EML-maatregelen	15
4.3 Innovatie	16
5 Koeltechnieken	18
5.1 Compressiekoeling met vrije koeling	18
5.2 Hybride droge koeler	19
5.3 Directe luchtkoeling met verdamping	20
5.4 Indirecte luchtkoeling met verdamping	20
5.5 Indirecte luchtkoeling met verdamping	21
5.6 Droge koeler i.c.m. open bodemenergiesysteem	21
5.7 Direct on chipkoeling	22
5.8 Immersiekoeling	23
5.9 Samenvatting	23
6 Restwarmte	25
6.1 Restwarmtebenutting bij luchtkoeling	25
6.2 Restwarmte bij immersiekoeling van tenminste 50 °C	26

Water- en elektriciteitsgebruik van koeltechnieken in datacenters, Fit for 55

7	Watergebruik.....	27
7.1	Koelwatergebruik bij de opwekking van elektriciteit	27
7.2	Bronnen voor de productie van koelwater	28
7.3	Hemelwatergebruik.....	29
7.4	Privaatrechtelijke mogelijkheden	30
7.5	Publiekrechtelijke mogelijkheden	30
8	Conclusies en aanbevelingen.....	32
8.1	Conclusies.....	32
8.2	Aanbevelingen.....	33
	Bijlage A Referenties.....	35
	Bijlage B Achtergrondinformatie koeltechnieken	36

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In 2020 heeft Stichting Green IT¹ in opdracht van de provincie Noord-Holland een onderzoek uitgevoerd naar het watergebruik door datacenters. Het rapport sloot af met de volgende aanbevelingen:

- 1 Creëer bewustwording bij de datacenters;
- 2 Vergroot de kennis over watergebruik binnen de datacentersector;
- 3 Bouw een community op voor meer en betere samenwerking met de datacentersector;
- 4 Benadruk de relatie tussen elektriciteitsgebruik en watergebruik;
- 5 Initieer onderzoek naar het wettelijk kader.

Deze aanbevelingen zijn voor de provincie Noord-Holland aanleiding geweest om de Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied in kaart te laten brengen welke combinaties van koeltechnieken door datacenters gebruikt worden en wat van elke combinatie het indicatieve elektriciteits- en watergebruik is.

Aanvullend is de relatie tussen het gebruik van elektriciteit en water, de relatie tussen de combinatie van koeltechniek en mogelijkheden restwarmtebenutting en de relatie tussen inkoop van duurzame elektriciteit en watergebruik onderzocht. De combinaties van koeltechnieken zijn hiermee in de context van het totale energiegebruik van een datacenter geplaatst.

Dit rapport is een bijdrage aan de realisatie van aanbevelingen 1, 2, 4 en 5 van het rapport van Stichting Green IT.

Routekaart Fit for 55

Net als de rest van Europa draagt ook de branche datacenters bij aan de 'FIT for 55' doelstelling van de EU om zo in 2030 de netto-emissies van broeikasgassen met tenminste 55% te hebben verminderd ten opzichte van 1990. Dit rapport geeft een route in de wijze waarop deze doelstelling door de branche binnen handbereik kan worden gebracht.

1.2 Uitgangspunten

In 2020 gebruikten datacenters in Nederland circa 3,2 miljard kWh elektriciteit, wat overeenkomt met 2,8% van het totale elektriciteitsgebruik in Nederland [1] en circa 1,26 miljoen Noord-Hollandse woningen².

Volgens informatie van Waternet gebruiken de datacenters in hun werkgebied per jaar circa 1 miljoen m³ drinkwater. Dat is ca. 1% van de jaarproductie van Waternet.

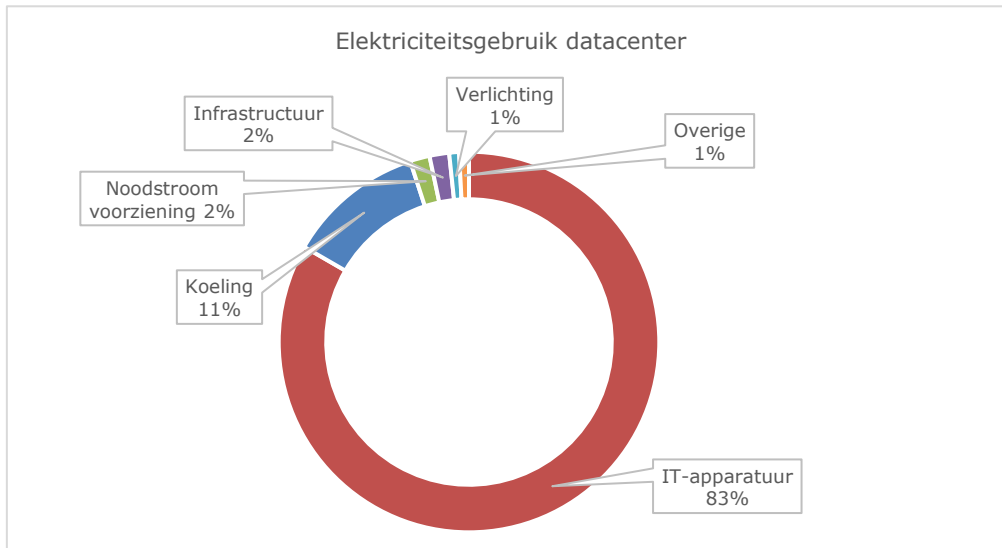
Naast de IT-apparatuur, zoals servers, zijn er ook andere installaties binnen een datacenter die elektriciteit gebruiken. In figuur 1 is de verdeling van het elektriciteitsgebruik van een datacenter in Nederland uitgaande van een ontwerp PUE van 1,2 weergegeven.

De IT-apparatuur is verantwoordelijk voor veruit het grootste deel van het elektriciteits- en watergebruik. Nagenoeg het volledige elektriciteitsgebruik door de IT-apparatuur wordt omgezet in warmte die moet worden weggekoeld, omdat de IT-apparatuur zichzelf anders uitschakelt of kapotgaat vanwege oververhitting. Koelsystemen gebruiken elektriciteit -en water- om deze warmte uit het datacenter te krijgen. Koeling is na de IT-apparatuur, de grootste gebruiker van elektriciteit in een datacenter.

Sinds een aantal jaren passen steeds meer datacenters koeltechnieken toe waarbij water verdampt wordt. Deze toename in verdampingskoeling is te danken aan het feit dat het gebruik van water voor koeling leidt tot een forse verlaging van het elektriciteitsgebruik voor koeling. Het is een kostenbesparing met een gunstig effect op CO₂ reductie.

¹ Onderzoek watergebruik door datacenters in de Provincie Noord-Holland, Stichting Green IT, 2020

² Volgens <https://cijfers.noord-holland.nl/dashboard/energietransitie> van provincie Noord-Holland was het elektriciteitsgebruik in 2020 van de gemiddelde woning in de provincie 2.542 kWh.



Figuur 1: Elektriciteitsgebruik van een typisch datacenter in Nederland, verdeeld naar functie uitgaande van een PUE van 1,2 en een temperatuur in de koude gang van 27 °C [2] [3]

Het Nederlandse beleid is vanwege klimaatverandering en energieschaarste erop gericht om zowel het gebruik van elektriciteit als water te verlagen. Het is daarom van belang om inzicht te hebben in de relatie tussen elektriciteits- en watergebruik van de verschillende koeltechnieken die datacenters gebruiken.

1.3 Leeswijzer

Hoe datacenters geëxploiteerd worden, is toegelicht in hoofdstuk 2. Hoofdstuk 3 gaat in op parameters die worden gebruikt om elektriciteits- en watergebruik te meten. Besparingsmogelijkheden binnen een datacenter zijn beschreven in hoofdstuk 4. De meest gebruikte -combinaties van- koeltechnieken in datacenters en de bijbehorende elektriciteits- en watergebruik zijn beschreven in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de mogelijkheden om restwarmte uit te koppelen. Hoofdstuk 7 gaat over het watergebruik en de juridische mogelijkheden -publiek- en privaatrechtelijk- om te sturen op watergebruik. Hoofdstuk 8 wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen.

Feiten in dit rapport zijn onderbouwd met externe bronnen. Naar deze bronnen worden verwijzingen gemaakt met behulp van een nummer, in het formaat '[x]', waarbij 'x' een getal is. In bijlage A zijn deze verwijzingen terug te vinden. Aanvullende toelichtingen zijn terug te vinden als voetnoot op dezelfde pagina, gemarkeerd met een klein nummer 'x'. De technische onderbouwing van de beschreven koeltechnieken is terug te vinden in bijlage B.

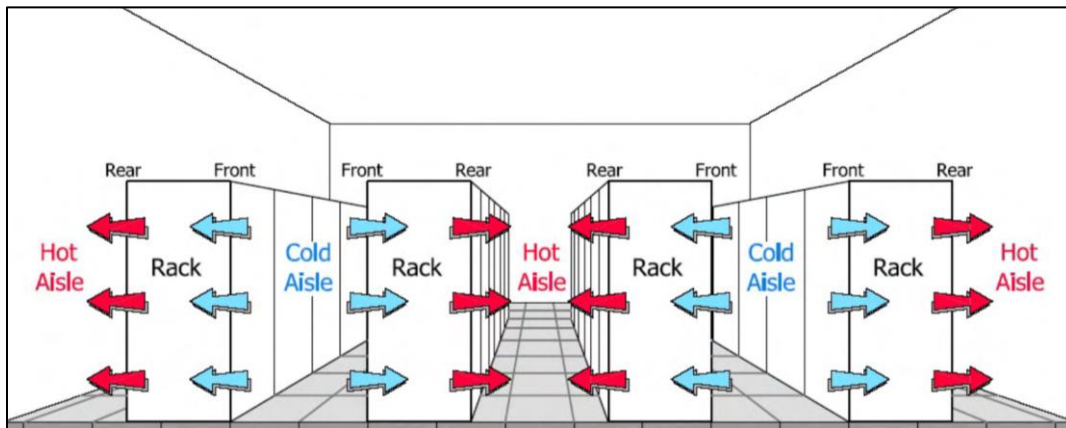
2 Wat gebeurt er in een datacenter?

Een datacenter is een gebouw, of verzameling gebouwen, waar IT-apparatuur onderdeel van uit maakt. Deze IT-apparatuur levert diensten via opslag, verwerking en verzending van data. Voorbeelden hiervan zijn het draaien van websites, afhandelen van e-mail, het opslaan van foto's of documenten en het verwerken van gebruikersdata. Voorbeelden hiervan zijn het draaien van websites, afhandelen van e-mail, het opslaan van foto's of documenten en het verwerken van gebruikersdata.

De omvang van een datacenter wordt in de regel uitgedrukt in het elektrische vermogen (MW) dat beschikbaar is voor de IT-apparatuur³, het IT-vermogen. Het totale elektrische vermogen elektriciteit van een datacenter is hoger dan dat van de IT-apparatuur, omdat ook de overige voorzieningen elektriciteit gebruiken.

Betrouwbaarheid, leveringszekerheid is zeer belangrijk bij een datacenter. Er is niets vervelender dan een e-mail die niet aankomt, een pintransactie die niet kan worden uitgevoerd, een document dat niet toegankelijk is, of contactinformatie op een website die het niet doet. Datacenters hebben dubbele of zelfs drievoudige voorzieningen getroffen voor mogelijke uitval van installaties voor bijvoorbeeld koelwater of de energievoorzieningen. Dit heet redundantie.

Om efficiënt te koelen in datacenters (zie hoofdstuk 5) wordt IT-apparatuur in rekken geplaatst die in tegengestelde rijen zijn opgesteld. De voorkanten en achterkanten van twee rijen wijzen naar elkaar toe (zie figuur 2). Koude lucht wordt aan de voorzijde van de IT-apparatuur aangezogen en de opgewarmde lucht wordt aan de achterzijde weer uitgeblazen. Hierdoor ontstaan er gangen met om-en-om koude en warme lucht. Het is energetisch gewenst dat in de koude gang de temperatuur in de zomer 27 °C is (hier wordt verder op ingegaan in paragraaf 4.2). In de warme gang ligt de temperatuur tussen de 35 °C en 40 °C. Het aanhouden van een temperatuur van 27 °C is nu nog niet de standaard.



Figuur 2: Warme ('hot aisle') en koude ('cold aisle') gangen in een datacenter (bron: ASHRAE (2007))

De koeltemperatuur binnen een datacenter moet het hele jaar beschikbaar zijn, ongeacht of de buitentemperatuur -15 °C of +40 °C is. Dit stelt hoge eisen aan koelinstallaties. Datacenters werken daarom veelal met een combinatie van koeltechnieken om zowel in de zomer als in de winter efficiënt te kunnen koelen.

Deze scheiding in warme en koude gangen vindt plaats bij de -combinaties van- koeltechnieken 1 t/m 6 (hoofdstuk 5). Bij koeltechnieken 7 en 8 worden de servers niet met lucht gekoeld, maar in een olie-achtige vloeistof geplaatst.

³ De omvang van het -gecontracteerde- IT-vermogen (met klanten van een datacenter) komt niet overeen met het totale gecontracteerde elektrische vermogen van het gehele datacenter, eveneens uitgedrukt in MW. Het laatste bevat naast het vermogen van de IT-apparatuur ook nog de vermogens van de overige energiegebruikers binnen het datacenter.

3 Parameters beoordeling water- en energiegebruik

3.1 Energiegebruik

Het elektriciteitsgebruik⁴ in een datacenter is te verdelen in twee groepen: het gebruik door de IT-apparatuur zelf en het gebruik door alle andere installaties, zoals de koelinstallaties, noodstroomvoorziening en verlichting etc. (zie figuur 1). Deze installaties ondersteunen de IT-apparatuur.

De verhouding tussen het elektriciteitsgebruik van de ondersteunende installaties en de IT-apparatuur heet de Power Usage Effectiveness of kortweg PUE [4]. Deze wordt berekend volgens:

A

$$[PUE] = \frac{[\text{Totaal jaarlijks elektriciteitsgebruik datacenter in kWh}]}{[\text{Jaarlijks elektriciteitsgebruik door IT apparatuur in kWh}]}$$

Of op een andere wijze geschreven:

B

$$[PUE] = 1 + \frac{[\text{Jaarlijks elektriciteitsgebruik ondersteunende functies in kWh}]}{[\text{Jaarlijks elektriciteitsgebruik door IT apparatuur in kWh}]}$$

Hoe lager de PUE, hoe beter het datacenter presteert, omdat de ondersteunende installaties dan relatief minder elektriciteit gebruiken. De PUE is per definitie altijd groter of gelijk dan 1 (zie bovenstaande rekenformule $1 + \dots$).

In 2007 was de ontwerp PUE van een datacenter in Nederland gemiddeld 2,5. Van het totale elektriciteitsgebruik van een datacenter ging er 40% naar IT-apparatuur en de overige 60% naar de ondersteunende installaties. Dit wil zeggen dat bij 1 kWh gebruik van de IT-apparatuur, 1,5 kWh wordt gebruikt door de ondersteunende apparatuur. In 2020 is de gemiddelde PUE gedaald naar ongeveer 1,4. Dit betekent dat er ruim 70% van het elektriciteitsgebruik wordt gebruikt door de IT-apparatuur.

Nieuwe datacenters hebben een nog lagere PUE. In het vestigingsbeleid van de gemeenten Amsterdam en Haarlemmermeer wordt erop gestuurd dat datacenters zich alleen mogen vestigen als zij een ontwerp PUE⁵ halen van maximaal 1,2 uitgaande van een volledig bezet datacenter. Een PUE van maximaal 1,2 betekent dat er minstens 83% van het elektriciteitsgebruik naar IT-apparatuur gaat en maximaal 17% naar de ondersteunende diensten.

De PUE zegt alleen iets over de verhouding tussen het elektriciteitsgebruik van de IT-apparatuur en de overige ondersteunende installaties. Het zegt niets over het totale elektriciteitsgebruik van het datacenter.

Omdat het hier om een verhouding gaat, leidt energiebesparing in de IT-apparatuur niet tot een wijziging van de PUE als de ondersteunende functies (ongeveer) evenredig minder energie gebruiken (zie bovenstaande formules). Daarom is naast de parameter PUE ook de parameter MWh/ MW IT vermogen/ jaar toegevoegd. Dit betreft het absolute elektriciteitsgebruik van het datacenter per jaar per referentie capaciteit aan IT-vermogen.

⁴ Energie wordt gebruikt om een taak te doen, bijvoorbeeld het aan de kook brengen van water, het optillen van een appel of het uitvoeren van een elektronische banktransactie. Hoe groter de taak, hoe meer energie er nodig is. Vermogen is de hoeveelheid energie die per tijdseenheid wordt gebruikt. De hoeveelheid vermogen zegt iets over hoe snel een taak wordt uitgevoerd. Hoe sneller de taak wordt uitgevoerd, hoe hoger het vermogen dat nodig is. De hoeveelheid energie die nodig is om de taak uit te voeren blijft echter gelijk. De hoeveelheid vermogen kan op elk tijdstip gemeten worden. De hoeveelheid energie wordt over een tijdsperiode gemeten. Energie = vermogen x tijdsperiode.

⁵ Een ontwerp PUE is de PUE waarbij het datacenter 100% wordt benut.

Water- en elektriciteitsgebruik van koeltechnieken in datacenters, Fit for 55

3.2 Watergebruik

De verhouding tussen het totale watergebruik van het datacenter (liter) en het elektriciteitsgebruik van de IT-apparatuur heet de Water Usage Effectiveness of kortweg WUE [5]. Deze wordt berekend volgens:

$$[WUE] = \frac{[Totaal\ jaarlijks\ directe\ watergebruik\ in\ liter]}{[Jaarlijks\ elektriciteitsgebruik\ door\ IT\ apparatuur\ in\ kWh]}$$

Hoe lager de WUE, hoe minder water het datacenter nodig heeft. De WUE kan nooit lager zijn dan nul omdat een datacenter geen bron is voor de levering van water. De WUE kijkt alleen naar water dat direct gebruikt wordt in het datacenter, bijvoorbeeld voor verdamping ten behoeve van koeling.

De bron van het water -bijvoorbeeld drinkwater, gedemineraliseerd brak water, zeewater, industriewater⁶, hemelwater of zoet oppervlaktewater- wordt niet meegenomen in de WUE. Twee identieke datacenters, waarvan er één gebruik maakt van drinkwater en de ander van hemelwater hebben dezelfde WUE. Toch zal het datacenter dat hemelwater gebruikt, gezien worden als een duurzamer datacenter [6].

Omdat de WUE een verhoudingsgetal is en dit niet voldoende zegt over watergebruik is ook hier een extra parameter toegevoegd in de vorm van absoluut watergebruik uitgedrukt in m³ water/ MW IT vermogen/ jaar.

⁶ Industriewater is vaak gezuiverd oppervlaktewater of gezuiverd effluent. Industriewater in de regio Amsterdam is geen drinkwater, maar voorgezuiverd rivierwater uit het Lekkanaal. Bij de productie van industriewater wordt geen gebruik gemaakt van de zuiveringscapaciteit in de Amsterdamse Waterleidingduinen, noch van de drinkwaterproductielocaties Leiduin en Weesperkarspel.

4 Energiebesparing datacenters

99,99% van deze gebruikte elektriciteit door een datacenter wordt omgezet in warmte die moet worden weggekoeld. Omdat iedere vermeden kWh door de IT-apparatuur niet wordt omgezet in warmte en daardoor niet hoeft te worden weggekoeld, is energiebesparing bij de IT-apparatuur een onmisbare schakel in het verlagen van het elektriciteits- en watergebruik door een datacenter.

4.1 Toepassing powermanagement (balanced mode)

IT-apparatuur met een lager elektriciteitsgebruik heeft een positief effect op het elektriciteits- en watergebruik door de koelinstallaties en overige apparatuur. Energie-efficiënte IT-apparatuur is daarom de cruciale stap in het effectiever omgaan met elektriciteit en water ten behoeve van de koeling van een datacenter.

Powermanagement is het instellen van IT-apparatuur op de stand balanced mode waarmee het elektriciteitsgebruik de werkbelasting van de servers volgt. Bijvoorbeeld een IT-apparaat dat de email van een bedrijf afhandelt en opslaat zal voornamelijk tijdens kantooruren veel werk verzetten, maar op zaterdagavond niets/ weinig te doen hebben. Met behulp van powermanagement volgt het elektriciteitsgebruik van IT-apparatuur de werkbelasting van de server.

Het LEAP-project van de Amsterdam Economic Board heeft uitgewezen dat powermanagement het gemiddelde energiegebruik van servers met 10 tot 15% verlaagt. Daarnaast heeft dit project ook uitgewezen dat de performance -leveringszekerheid- niet wordt aangetast als op IT-apparatuur powermanagement wordt toegepast.

Erkende maatregelen

Erkende maatregelen zijn maatregelen die in overleg met het bedrijfsleven en het bevoegd gezag zijn opgesteld door de rijksoverheid en op bedrijfstakniveau een terugverdientijd van vijf jaar of minder hebben. Er zijn 3 type maatregelen. Er zijn maatregelen die op een zelfstandig moment -ieder moment- gerealiseerd moeten worden. Ook zijn er maatregelen die op een natuurlijk moment gerealiseerd moeten worden. Dat wil zeggen op het moment dat een installatie of gebouw wordt vervangen. Tot slot is er een alternatieve maatregel. Een alternatief is gelijkwaardig of beter dan de techniek die genoemd staat in de erkende maatregelenlijst. Het alternatief kan alleen een maatregel met hetzelfde doel vervangen. Het doel van de erkende maatregel is bij 'omschrijving maatregel' toegelicht.

Powermanagement is sinds 1 januari 2019 een Erkende Maatregel, die zowel op een zelfstandig als een natuurlijk investeringsmoment toepasbaar is. Deze maatregel heeft volgens de rijksoverheid een terugverdientijd van vijf jaar of minder en is daarom één van de maatregelen waarmee datacenters in ieder geval voldoen aan de energiebesparingsplicht van artikel 2.15, eerste lid, van het Activiteitenbesluit milieubeheer (Abm). Dit geldt nu voor datacenters die onder het Activiteitenbesluit vallen. In de loop van 2023 is de energiebesparingsplicht van toepassing op alle datacenters in Nederland.

Conclusie: Powermanagement in "balanced mode" geeft een besparing van 10 tot 15% op het elektriciteits- en watergebruik van een datacenter en heeft geen meetbaar effect op de PUE en WUE omdat de verhouding tussen hoeveelheid gebruikte energie en water ten behoeve van de IT-apparatuur versus overige installaties evenredig omlaaggaan.

Naast de toepassing van powermanagement wordt er ook gestuurd op consolidatie en virtualisatie⁷. Het sturen op consolidatie en virtualisatie is te vergelijken met het rijden met een volle vrachtwagen. Het toepassen van powermanagement is te vergelijken met het start-stopsysteem in een auto. Als de auto stilstaat, wordt de motor uitgezet. Powermanagement is dus geen vervanging van virtualisatie, het is een aanvulling.

⁷ Consolidatie is het optimaliseren van de inrichting van de IT-architectuur. Met virtualisatie is er geen link tussen de fysieke infrastructuur en de softwareapplicaties die erop draaien. Vroeger draaiden één applicatie en één besturingssysteem rechtstreeks op de hardware van een server. Dat kwam er meestal op neer dat je per grote applicatie een machine nodig had. Met virtualisatie ga je op die server een extra virtuele laag installeren die als buffer dient tussen de infrastructuur en de applicaties. Die laag maakt een virtuele versie van de hardware, een zogenaamde virtual machine. Dat betekent onder meer dat je meer applicaties en zelfs meerdere besturingssystemen naast elkaar op één server kunt draaien.

4.2 Herziening van de EML-maatregelen

Om de 4 jaar actualiseert de rijksoverheid de Erkende Maatregelenlijsten -EML- die gericht zijn op de realisatie van energiebesparing bij bedrijven in Nederland. In de loop van 2023 treedt de herziene EML in werking.

Op uitnodiging van de rijksoverheid heeft de OD Noordzeekanaalgebied via Rijksdienst voor Ondernemend Nederland -RVO- gereageerd op de kansen om extra energie -en water- te besparen bij de branche datacenters in het bijzonder. De bevinding van de OD Noordzeekanaalgebied is dat er nieuwe extra kansen zijn om nog meer energiebesparing te realiseren door toevoeging van nieuwe EML-maatregelen.

De EML-maatregelen 2023 leiden tot een verdere verlaging van het energiegebruik -en daarmee watergebruik- van datacenters. In de loop van 2023 is de energiebesparingsverplichting van toepassing op alle datacenters in Nederland. Voor datacenters die een elektriciteitsgebruik hebben van ≥ 10 miljoen kWh per jaar geldt de onderzoeksplicht in de loop van 2023.

Conclusie: Op het moment dat de herziene EML-maatregelen in 2023 in werking treden, is er aanleiding voor omgevingsdiensten om te bezien of er een reden is om een nieuw toezichts- en handhavingsproject op het terrein van energie- en waterbesparing te starten bij alle datacenters. Onder meer deze maatregelen worden meegenomen in de uitvoering van de onderzoeksplicht.

Hieronder worden twee maatregelen die door de OD Noordzeekanaalgebied zijn ingebracht nader toegelicht.

Koude gang is tenminste 27 °C

In hoofdstuk 2 is uitgelegd dat veel datacenters bestaan uit koude en warme gangen, waarbij IT-apparatuur lucht uit de koude gang onttrekt om te koelen en de opgewarmde lucht uit te blazen in de warme gang.

De temperatuur in de koude gang heeft een groot effect op de effectiviteit van het elektriciteits- en watergebruik van de koelinstallatie. De temperatuur in de koude gang bepaalt namelijk hoe lang er vrij gekoeld⁸ kan worden. Is de aanvaardbare temperatuur van de koude gang hoger, dan kan vrije koeling ook bij hogere buitentemperaturen nog toegepast worden. Omdat vrije koeling de meeste energie-efficiëntie vorm is van koeling en geen water gebruikt, betekent meer vrije koeling dat het elektriciteits- en watergebruik daalt.

In dit rapport is uitgegaan van een temperatuur in de koude gang van 27 °C. Dit past binnen het advies van het internationale instituut ASHRAE [18] die een temperatuur tussen de 18 °C en de 27 °C als ontwerpcriterium aanhoudt voor de koellucht voor IT-apparatuur in een datacenter. Per 1 januari 2020 heeft de Europese Commissie een Verordening nr. 617/2013 gewijzigd, waarin deze ontwerpcriteria voor IT-apparatuur zijn vastgelegd. [19].

Het verhogen van de koude gang tot een temperatuur van 27 °C is als uitgangspunt gehanteerd bij de berekening van de effecten op water- en energiegebruik. In de praktijk is dit helaas nog niet standaard ondanks het feit dat het verhogen van de temperatuur in de koude gang tot circa 27 °C leidt tot een directe energie- en waterbesparing zonder enige impact op de bedrijfsvoering van datacenters. Vanwege de ontwerpcriteria die zijn vastgelegd in de Verordening, is alle IT-apparatuur geschikt voor het gebruik van koude gangen van 27 °C.

Equinix brengt temperatuur van de koude gang omhoog

In het Financieel Dagblad van 2 januari 2023 staat dat Equinix de temperatuur van de koude gang omhoog wil brengen van 23 °C naar 26 °C. Google zit volgens dit artikel op ruim 26,5 °C, Microsoft houdt 25 °C aan en NorthC zit op 23 à 24 °C. Equinix geeft aan hierop de contracten met klanten die servers plaatsen bij Equinix open te gaan breken. Iedere graad verhoging leidt volgens Equinix tot circa 4% energiebesparing. In totaal verwacht Equinix hiermee zeker 10% op de totale energierekening te kunnen besparen. Leveranciers van servers als Dell, HPE en Supermicro geven aan dat deze verhoging van de koude gangen eenvoudig te realiseren is zonder risico's voor het functioneren van servers en dat de temperatuur zelfs nog verder kan worden verhoogd. Dell noemt 27 °C als temperatuur waarbij geen risico's zijn voor de servers, randapparatuur en Arbo-omstandigheden. Deze temperatuur komt overeen met het advies van het internationale instituut ASHRAE.

⁸ Vrije koeling is een overkoepelende term, waarbij de bron van de koeling (bijv. buitenlucht) kouder is dan de gevraagde koeltemperatuur. Zie voor verdere informatie hoofdstuk 5.

Een verhoging van de temperatuur in de koude gang van bijvoorbeeld 24 °C naar 27 °C betekent dat vrije koeling ruim 200 uur per jaar meer kan worden gebruikt en een minder efficiënte koeltechniek 200 uur buiten gebruik kan blijven.

De OD Noordzeekanaalgebied heeft verzocht aan de rijksoverheid om de minimale temperatuur van 27 °C in de zomer in de koude gang als norm op te nemen in de Erkende Maatregelenlijst (EML) van 2023. In de wintermaanden, wanneer er met 100% vrije koeling gekoeld wordt, kan de temperatuur van de koude gang lager zijn dan 27 °C.

Metten = weten/ Energieregistratie- en bewakingssysteem (EBS)

Datacenters delen de opvatting van de OD Noordzeekanaalgebied dat ICT-toepassingen een belangrijke rol kunnen vervullen in de energietransitie. Metten = weten leidt tot inzicht in het gebruik van energie en water voor het bevoegd gezag en het datacenter zelf. Op dit moment is in de EML-maatregelen voor commerciële datacenters niet opgenomen dat er een EBS aanwezig moet zijn ten behoeve van het bevoegd gezag.

De OD Noordzeekanaalgebied heeft de rijksoverheid gevraagd om een meetverplichting voor datacenters op te nemen in de EML.

Er is een EBS aanwezig dat minimaal 5 jaar wordt bewaard en openbaar is ten behoeve van het bevoegd gezag; In het EBS worden de volgende kwartierwaarden uitgedrukt in kWh geregistreerd:

- 1 gebruik totaal datacenter;
- 2 gebruik totaal facilitaire apparatuur;
- 3 gebruik totaal door ICT-apparatuur,
- 4 opbrengst zonnepanelen;
- 5 omvang levering restwarmte (indien aan de orde).

Conclusie: De maatregelen, te weten de temperatuur van 27 °C of hoger -Ashrae- in de koude gang als er niet 100% vrij gekoeld wordt en monitoring (metten is weten) dragen bij in de realisatie van energie- en waterbesparing. Deze maatregelen zijn ingebracht door de OD Noordzeekanaalgebied in de inspraak op de ontwerp EML-maatregelen 2023.

4.3 Innovatie

Het grootste deel in elektriciteits- en watergebruik door een datacenter is vanwege de IT-apparatuur (zie paragraaf 1.2). 99,99% van de gebruikte elektriciteit door de IT-apparatuur wordt omgezet in warmte die vervolgens moet worden weggekoeld.

Lange tijd ging de ICT-wereld ervan uit dat de energie-efficiëntie van computers grofweg iedere 18 maanden verdubbelt. Dit is de Wet van Koomey.⁹ Deze snelheid van verdubbeling van de verwerkingscapaciteit per energie-eenheid zorgde ervoor dat datacenters konden groeien qua IT-diensten zonder een significante toename in elektriciteits-, water- of materiaalgebruik.

De afgelopen jaren vindt verdubbeling van energie-efficiëntie iedere 36 maanden plaats i.p.v. 18 maanden. Dit tempo lijkt verder te dalen (uitzonderingen daargelaten). Nu deze trend vertraagt, is de verwachting dat het elektriciteits-, water- of materiaalgebruik van datacenters vanwege verdere uitbreiding van IT-diensten zal toenemen. Innovaties of energiebesparing kunnen deze toename van IT-diensten compenseren.

⁹ <https://www.extremetech.com/computing/95913-koomeys-law-replacing-moores-focus-on-power-with-efficiency>

Water- en elektriciteitsgebruik van koeltechnieken in datacenters, Fit for 55

Onbekend is of de toekomstige technische innovaties naast energiebesparing wel voldoende zullen zijn om de te verwachten verdere groei in elektriciteits-, water- en materiaalgebruik van datacenters af te vlakken. Ook is niet bekend in hoeverre deze innovaties een bijdrage kunnen leveren aan de doelstelling om 55% CO₂ te reduceren in 2030.

Conclusie: De groei van elektriciteits- en watergebruik door een datacenter wordt sterk beïnvloed door de stand der techniek van de IT-apparatuur. Verdere innovatie van de IT-apparatuur kan naast energiebesparing bijdragen aan het afvlakken dan wel afname van het elektriciteits- en watergebruik van datacenters.

5 Koeltechnieken

Er is een aantal koeltechnieken waarmee warmte uit datacenters gekoeld kan worden. Sommige koeltechnieken werken beter bij lage buitentemperaturen. Andere technieken zijn meer geschikt bij hogere buitentemperaturen. Om het hele jaar door zo efficiënt mogelijk te koelen, gebruiken datacenters vrijwel altijd een combinatie van koeltechnieken.

Datacenters in Nederland gebruiken op dit moment met name één van de onderstaande gangbare combinaties van koeltechnieken:

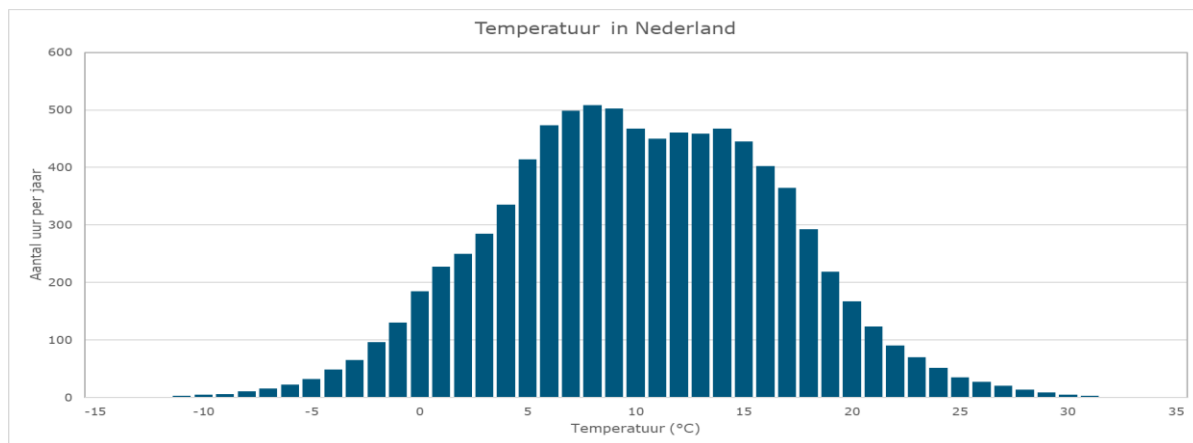
- 1 Compressiekoeling met vrije koeling;
- 2 Hybride droge koeler;
- 3 Indirecte luchtkoeling met verdamping;
- 4 Directe luchtkoeling met verdamping;
- 5 Droge koeler met bodemenergiesysteem;

Daarnaast zijn er opkomende technieken die nog niet grootschalig worden toegepast:

- 6 Direct-op-chip koeling;
- 7 Immersiekoeling op minimaal 27 °C in combinatie met een open bodemenergiesysteem;
- 8 Immersiekoeling op minimaal 50 °C in combinatie met vrije koeling.

Deze combinaties van technieken zijn in de volgende paragrafen verder uitgewerkt.

Het elektriciteits- en watergebruik van de combinaties van koeltechnieken 1 t/m 6 wordt bepaald door de buitentemperatuur en de temperatuur die wordt aangehouden in de koude gangen. In figuur 3 is het aantal uren van de verschillende buitentemperaturen in de regio Amsterdam weergegeven. Het grootste deel van het jaar is de temperatuur onder 27 °C.



Figuur 3: Verdeling van de buitentemperatuur in Nederland over een jaar. Bron: IWEK-weerdata Schiphol

5.1 Compressiekoeling met vrije koeling

Compressiekoeling is een traditionele vorm van koeling in datacenters. Een compressiekoelmachine is een vorm van airconditioning die ook in woningen of kantoorgebouwen wordt gebruikt. Of de buiten temperatuur 15 °C of 35 °C is, de compressiekoelmachine zorgt ervoor dat de gewenste temperatuur in de koude gang constant is.

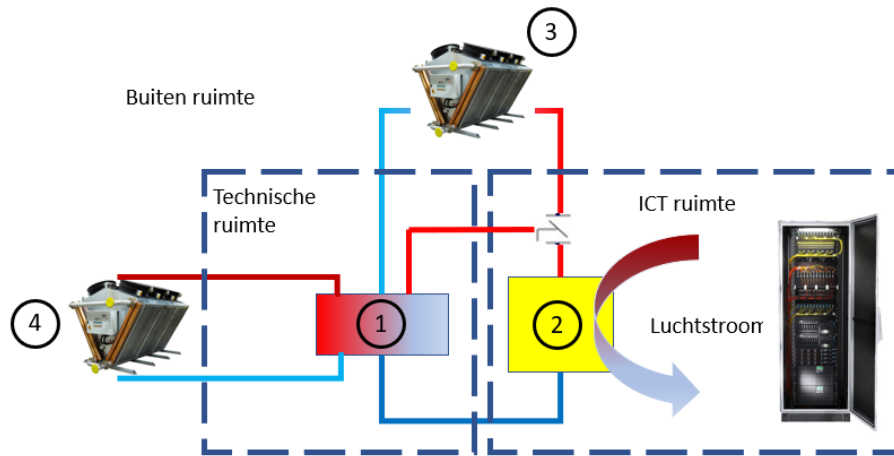
Een compressiekoelmachine gebruikt relatief veel elektriciteit. Daarom wordt deze techniek gecombineerd met vrije koeling¹⁰.

Bij veel datacenters stroomt water tussen de koelinstallatie op het dak en de zaalkoelers, de units die koude lucht in de koude gangen blazen (zie figuur 4). Bij koel weer blaast een ventilator op het dak koele buitenlucht over buizen met warm water afkomstig vanaf de zaalkoelers, waardoor het water afkoelt. Dit

¹⁰ Vrije koeling is een overkoepelende term, waarbij de bron van de koeling (bijv. buitenlucht) kouder is dan de gewenste koeltemperatuur.

Water- en elektriciteitsgebruik van koeltechnieken in datacenters, Fit for 55

heet droge koeling en is een vorm van vrije koeling. Zodra de buitentemperatuur te hoog is om vrij te koelen, start de compressiekoeling op om de koeling te leveren aan het datacenter.



Figuur 4 Schematische voorstelling van compressiekoeling met vrije koeling [20] (D.H.Harryvan, 2023)

In figuur 4 zijn de volgende componenten genummerd:

- 1) De compressiekoelmachine;
- 2) De zaalkoeler, die wordt gevoed met gekoeld water (onderste doorgetrokken blauwe lijn) en welke gekoelde lucht levert aan de IT-apparatuur;
- 3) De droge koeler (of hybride droge koeler, zie paragraaf 5.2);
- 4) De Condensorkoeling van de compressiekoelmachine.

In de praktijk wordt ongeveer twee derde van de jaarlijkse koelvraag ingevuld met vrije koeling en een derde met compressiekoeling. Bij gebruik van een nieuwe moderne compressiekoelinstallatie, levert dit een PUE op van 1,17. De WUE is 0,0.

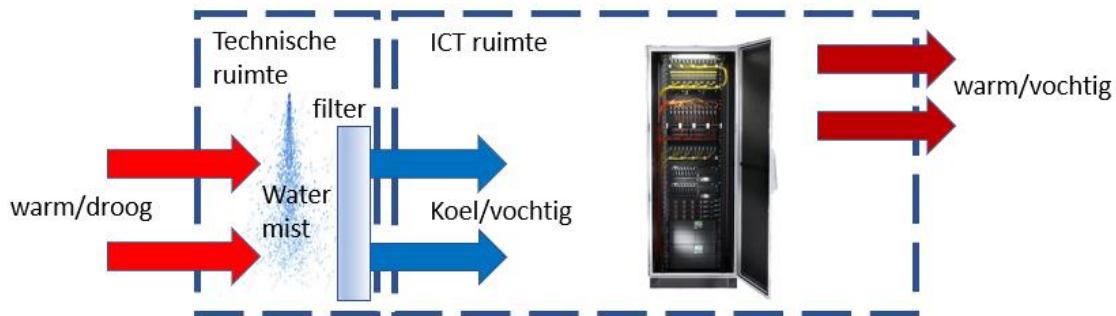
5.2 Hybride droge koeler

De opstelling met een hybride droge koeler is identiek aan die van compressiekoeling met vrije koeling (paragraaf 5.1 figuur 4) met dien verstande dat de droge koeler (nummer 3 in figuur 4) wordt voorzien van een watersproei-installatie. Een hybride droge koeler functioneert als een droge koeler bij lagere buitentemperaturen en levert vrije koeling aan het datacenter. Ook hier blaast een ventilator op het dak lucht over pijpen met water dat van de zaalkoeler komt.

Als het buiten te warm wordt voor vrije koeling, wordt verdampingskoeling toegepast. Bij verdampingskoeling, ook wel 'natte koeling' of 'adiabatische koeling' genoemd, wordt water over de pijpen heen gespoten, terwijl de ventilator er nog steeds lucht overheen blaast. Het verdampende water onttrekt warmte uit de pijpen, waardoor het water in de pijpen afkoelt. Dit is vergelijkbaar met het fysische effect dat ontstaat als een natte handdoek voor een ventilator hangt.

5.3 Directe luchtkoeling met verdamping

Directe luchtkoeling is technisch de eenvoudigste manier van koelen. Lucht wordt van buitenaf aangezogen en -eventueel- door de verdamper geleid. Daarna gaat de lucht via filters naar de datavloer. Afgezogen lucht uit de warme gang wordt vervolgens direct naar buiten geblazen (zie figuur 5).



Figuur 5 Schematische voorstelling van directe luchtkoeling met verdamping [20] (D.H.Harryvan, 2023)

Op koude dagen vindt er menging plaats tussen de afgezogen lucht en aangezogen buitenlucht om te voorkomen dat de temperatuur van de lucht in het datacenter te laag wordt.

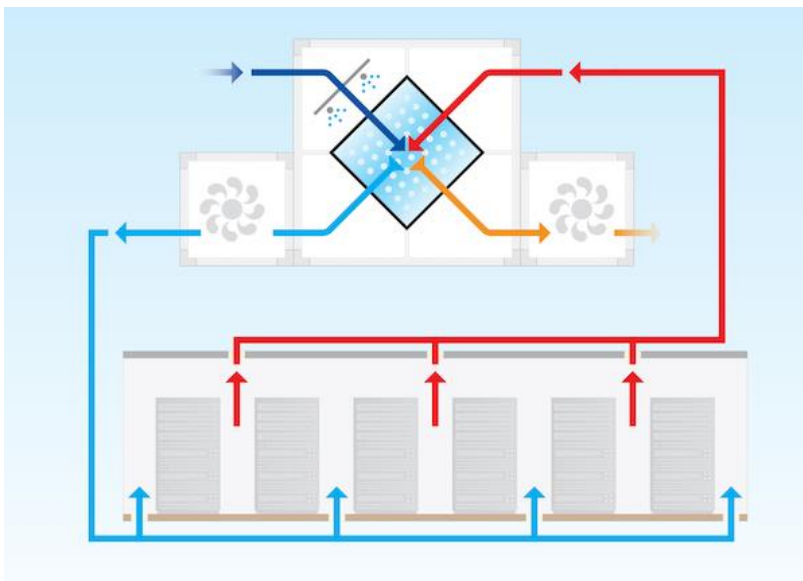
Bij directe vrije luchtkoeling wordt de aangezogen luchtstroom gefilterd voordat deze lucht naar binnen wordt geblazen in het datacenter. De lucht wordt op de datavloer verwarmd. Datacenters in de regio Amsterdam gebruiken deze techniek echter vrijwel (nog) niet. Datacenters als Google, Microsoft en Facebook in Nederland passen directe luchtkoeling toe.

De keuze om voor directe luchtkoeling in plaats van indirecte luchtkoeling wordt gedreven door de kwaliteit van de buitenlucht -locatie van het datacenter- en de risico's die men bereid is te nemen in relatie tot het financieel voordeel.

5.4 Indirecte luchtkoeling met verdamping

Een alternatief voor directe luchtkoeling is indirecte luchtkoeling met verdamping. De lucht uit de warme gang wordt met behulp van een lucht-lucht warmtewisselaar gekoeld met de buitenlucht (zie figuur 6).

Indirecte luchtkoeling met verdamping berust op hetzelfde principe als de hybride droge koeler. Bij koele buitentemperaturen wordt de buitenlucht gebruikt om de binnenlucht te koelen. Bij warmere buitentemperaturen wordt water verneveld in de buitenluchtstroom waardoor deze afkoelt, waarna deze warmte via de warmtewisselaar uit de binnenlucht onttrekt.

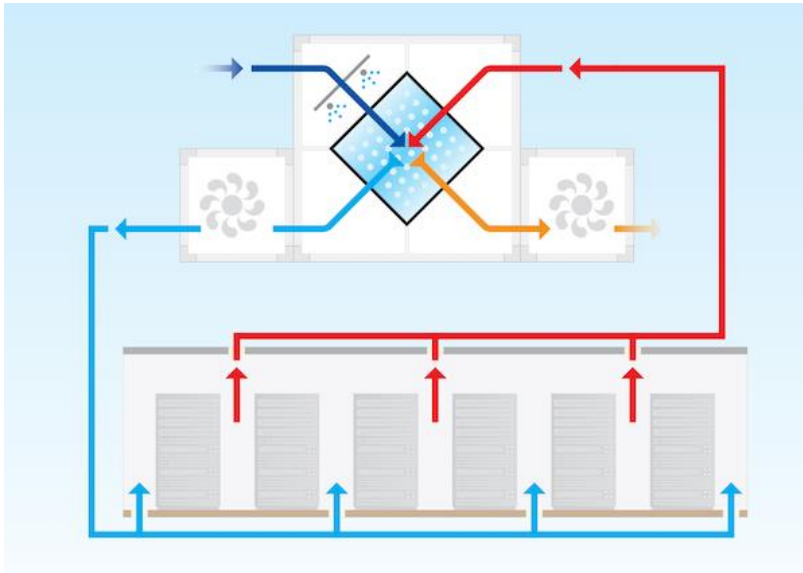


Figuur 6 schematische voorstelling van indirecte vrije luchtkoeling [21] (Lucam Climate Solutions BV, 2023)

5.5 Indirecte luchtkoeling met verdamping

Een alternatief voor directe luchtkoeling is indirecte luchtkoeling met verdamping. De lucht uit de warme gang wordt met behulp van een lucht-lucht warmtewisselaar gekoeld met de buitenlucht (zie figuur 6).

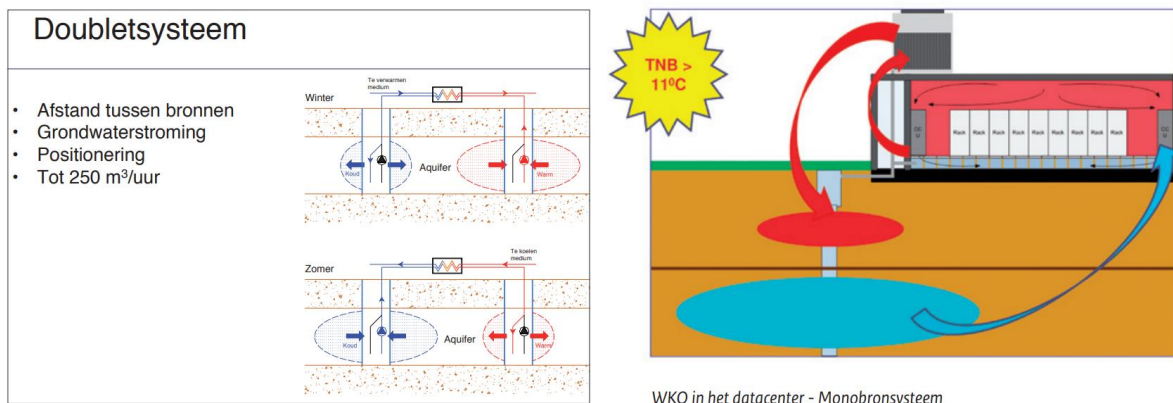
Indirecte luchtkoeling met verdamping berust op hetzelfde principe als de hybride droge koeler. Bij koele buitentemperaturen wordt de buitenlucht gebruikt om de binnenlucht te koelen. Bij warmere buitentemperaturen wordt water verneveld in de buitenluchtstroom waardoor deze afkoelt, waarna deze warmte via de warmtewisselaar uit de binnenlucht onttrekt.



Figuur 6 schematische voorstelling van indirecte vrije luchtkoeling [21] (Lucam Climate Solutions BV, 2023)

5.6 Droge koeler i.c.m. open bodemenergiesysteem

Bij een bodemenergiesysteem worden daarvoor geschikte bodemlagen gebruikt om warmte en koude op te slaan. Door het datacenter wordt koud water opgepompt en gebruikt voor koeling. Het opgewarmde water wordt vervolgens weer in de bodem gebracht (figuur 7). De bodem functioneert als een accu voor de opslag van koude en warmte. Het systeem kan niet het hele jaar door gebruikt worden om te koelen. Het is dus geen zelfstandige bron van alleen koude.



Figuur 7 Schematische voorstelling van bodemenergiesysteem. [22] (RVO, 2012)

In de wintermaanden wordt de bodem weer gekoeld door warm water uit de warme bron op te pompen en af te koelen door bijvoorbeeld levering van deze warmte aan de gebouwde omgeving of industrie. Hiermee bespaart het datacenter elektriciteit voor koelen en bespaart de andere functie aardgas voor verwarming.

Bij het ontbreken van een afnemer van de warmte, wordt de bron afgekoeld met koude buitenlucht door het gebruik van droge koelers en daarna weer teruggepompt in de koude bron. Dit heet regeneratie van het bodemenergiesysteem.

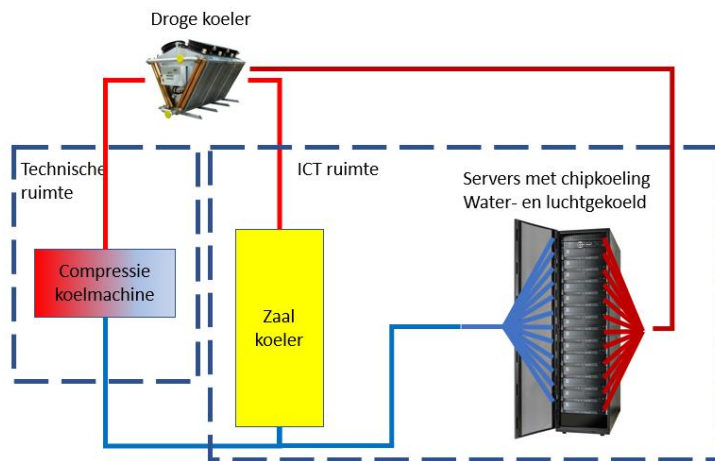
Bodemenergiesystemen stellen een datacenter in staat om bij hoge buitentemperaturen nog steeds te koelen. Indien een open bodemenergiesysteem wordt toegepast, blijft dezelfde hoeveelheid koelinstallaties op daken staan vanwege redundantie (leveringszekerheid, extra installatie die aan wordt gezet als primaire systeem faalt of in onderhoud is).

Het watergebruik van een bodemenergiesysteem betreft spuiwater. Spuiwater is water dat vrijkomt bij het maken en onderhouden van de bronnen van een bodemenergiesysteem. In dit rapport is spuiwater onderdeel van de WUE berekening.

5.7 Direct on chipkoeling

De meeste warmte in IT-apparatuur ontstaat door chips in de IT-apparatuur. Gewoonlijk blaast een kleinere ventilator de warmte van deze chips uit de behuizing van het IT-apparaat, waarna andere, grotere ventilatoren, deze warmte uit de warme gang afvoeren en koele lucht naar de koude gang aanvoeren.

Bij direct-op-chip koeling, wordt de warmte van deze chips direct afgevoerd naar een vloeistof in plaats van lucht (figuur 8). De rest van de warmte die het IT-apparaat produceert, wordt op traditionele wijze gekoeld via lucht uit de koude gang.



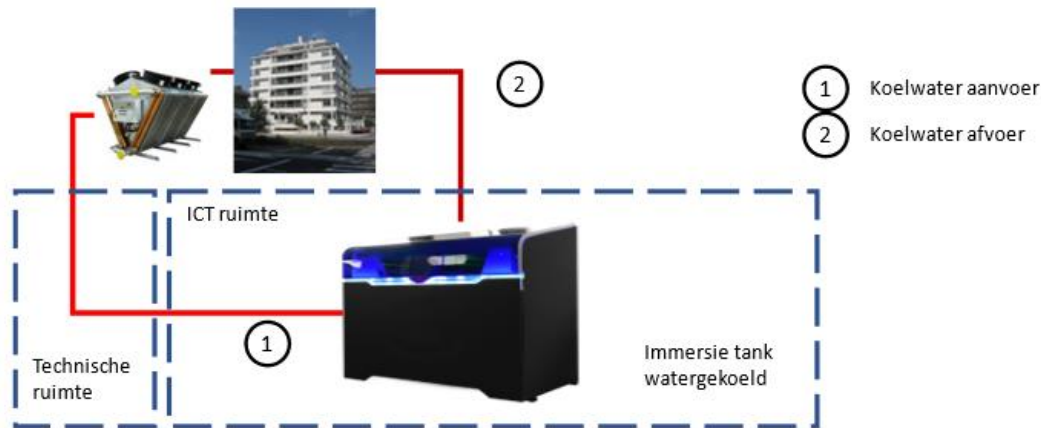
Figuur 8 Schematische voorstelling van direct-op-chip koeling [20] (D.H.Harryvan, 2023)

Naast het 'gewone' koelsysteem is er daarom een vloeistofcircuit nodig voor de warmte van de chips. De warmte in dit circuit heeft een temperatuur van 50 °C tot 60 °C. Hierdoor kan de warmte in dit circuit ook in de zomermaanden worden weggekoeld met vrije koeling. Dit leidt tot zowel elektriciteit- als waterbesparing.

Direct-op-chip koeling kan tot 80% van de warmteontwikkeling afvoeren naar een vloeistof, de rest wordt via luchtkoeling afgevoerd. Daardoor zijn er ook minder ventilatoren nodig in de IT-apparaten voor de luchtkoeling.

5.8 Immersiekoeling

Een stap verder dan direct-op-chip koeling is het onderdompelen van de IT-apparatuur in een olieachtige vloeistof. Alle warmte wordt via vloeistof weg gekoeld en niet met lucht. Dit heet immersiekoeling.



Figuur 9 Schematische voorstelling immersie koeling met directe verbinding met een warmtenet [20] (D.H.Harryvan, 2023)

Er zijn geen ventilatoren nodig in de servers om luchtkoeling te realiseren. Hierdoor neemt het elektriciteitsgebruik van de IT-apparatuur met 10% af [12] [13] [14] ten opzichte van reguliere luchtgekoelde systemen en daarmee de koelbehoefte.

Bij immersiekoeling met een vloeistoftemperatuur van tenminste 50 °C in de pod -immersietank- is de temperatuur hoog genoeg om deze het hele jaar door met een droge koeler te koelen. Dit verlaagt het elektriciteitsgebruik van de koelinstallatie. Er is geen sprake van watergebruik.

Bij immersiekoeling met een vloeistoftemperatuur van tenminste 27 °C in de pod -immersietank- wordt een combinatie gemaakt met een open bodemenergiesysteem. Er is watergebruik vanwege het spuiwater van het open bodemenergiesysteem.

Met immersiekoeling met een temperatuur van tenminste 27 °C in combinatie met een open bodemenergiesysteem wordt een PUE van 1,14 of lager gehaald [12] en is de WUE 0,03 (in verband met spuiwater). Met immersiekoeling met een vloeistoftemperatuur van tenminste 50 °C is alleen nog maar vrije koeling nodig en wordt een PUE van 1,12 of lager gehaald [12] en is de WUE nul.

Immersiekoeling van tenminste 50 °C is een zeer veel belovende opkomende koeltechniek voor datacenters zowel qua elektriciteitsgebruik- als watergebruik.

5.9 Samenvatting

Uitgaande van een koude gang met een temperatuur van 27 °C, leiden de 8 verschillende combinaties van koeltechnieken tot de volgende indicatieve scores op de parameters besparing IT apparatuur, PUE, WUE, elektriciteitsgebruik, relatieve energiebesparing en watergebruik. De resultaten zijn in tabel 1 samengevat.

Koeltechniek	Besparing IT-apparatuur	PUE	WUE (gemiddeld)	Elektriciteitsgebruik in MWh/MW IT-vermogen	Relatieve energiebesparing	Watergebruik in m³/MW IT-vermogen
1 Compressiekoeling met vrije koeling	0%	1,172	0,00	10.267	Referentie	0
2 Hybride droge koeler	0%	1,153	0,175	10.100	2%	1.533
3 Directe luchtkoeling met verdamping	0%	1,140	0,060	9.986	3%	526
4 Indirecte luchtkoeling met verdamping	0%	1,150	0,060	10.074	2%	526
5 Droge koeler met bodemenergiesysteem	0%	1,155	0,030	10.118	1%	263
6 Direct-op-chip koeling	5%	1,140	0,00	9.487	8%	0
7 Immersiekoeling ≥ 27 °C met bodemenergiesysteem	10%	1,140	0,030	8.988	12%	237
8 Immersiekoeling ≥ 50 °C	10%	1,120	0,00	8.830	14%	0

Tabel 1: Samenvatting van de indicatieve energie- en waterprestaties van de verschillende combinaties van koeltechnieken bij datacenters

Toelichting op berekeningsmethode

De uiteindelijke prestatie van een volledige koelinstallatie wordt bepaald door veel ontwerpfactoren die per datacenter verschillen. De genoemde getallen zijn daarom gemiddelden en indicatief en gebaseerd op een koude gang van 27 °C. Voor een nadere toelichting op de getallen wordt verwezen naar bijlage B.

In de berekening van de PUE is de aanname gedaan dat de bijdrage aan de PUE van de overige ondersteunende apparatuur, niet zijnde koeling, 0,07 is (zie figuur 1).

Spuiwater dat vrijkomt bij aanleg en onderhoud van open bodemenergiesystemen is onderdeel van de WUE-berekening.

Koeltechnieken 6 t/m 8 leveren ook energiebesparing op in de IT-apparatuur zelf. Bij direct-op-chip koeling wordt ongeveer 5% aan energie bespaard in de IT-apparatuur zelf, bij immersiekoeling is dit 10%. Deze energiebesparing is niet direct terug te zien in de parameters PUE en WUE, maar leveren, naast de energiebesparing in het IT-apparaat zelf, ook een elektriciteits- en waterbesparing op in de koelinstallatie.

Uitgaande van 1 MW aan IT-apparatuur in een traditionele luchtgekoelde rack-opstelling, gebruikt de IT-apparatuur 8.760.000 kWh per jaar. Dit elektriciteitsgebruik van de IT-apparatuur is bij alle lucht koeltechnieken aangehouden, maar voor de vloeistofkoeltechnieken wordt hierop een correctiefactor van 0,95 (direct-op-chip) of 0,9 (immersiekoeling) toegepast.

Het energiegebruik van de 1 MW IT-apparatuur wordt berekend volgens:

$$[\text{Energiegebruik IT-apparatuur}] = 1.000 \text{ kW} \times 8.760 \text{ uur} \times [\text{correctiefactor voor efficiëntere server}]$$

Het elektriciteitsgebruik wordt berekend via:

$$[\text{Elektriciteitsgebruik datacentrum per MW IT-vermogen}] = [\text{Energiegebruik IT-apparatuur}] \times \text{PUE}$$

Het watergebruik wordt berekend via;

$$[\text{Watergebruik datacentrum per MW IT-vermogen}] = [\text{Energiegebruik IT-apparatuur}] \times \text{WUE}$$

Omdat de PUE van alle koeltechnieken dicht bij elkaar liggen, is er geen wezenlijk verschil in het absolute elektriciteitsgebruik tussen de luchtkoelingstechnieken. Dit komt omdat de koeling bij energiezuinige datacenters inmiddels een zo'n klein aandeel in het elektriciteitsgebruik heeft, dat een besparing op het elektriciteitsgebruik van koeling nauwelijks zichtbaar meer is in de PUE.

Conclusie: De gangbare combinatie van koeltechnieken compressiekoeling met vrije koeling gebruikt de meeste elektriciteit. Immersiekoeling op tenminste 50 °C leidt tot het laagste elektriciteitsgebruik en geen watergebruik. Het voordeel van de drie opkomende technieken 6 t/m 8 is dat er ook op het energiegebruik van de IT-apparatuur zelf wordt bespaard. Deze besparing werkt ook door in het energiegebruik van de koelinstallatie en verklaart het significant lagere gebruik van elektriciteit.

Conclusie: Voor de gangbare koeltechnieken 2 t/m 5 geldt dat de datacenterkoeling op dit moment verkeert in de fase, dat het verlagen van elektriciteitsgebruik leidt tot verhoging van het watergebruik bij het datacenter en omgekeerd. Bij de opkomende koeltechnieken 6 t/m 8 is er sprake van ontkoppeling tussen het elektriciteits- en watergebruik.

De warmte in een datacenter die moet worden weggekoeld, kan gebruikt worden om bijvoorbeeld gebouwen te verwarmen of voor industriële processen.

6 Restwarmte

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de mogelijkheden om restwarmte van datacenters uit te koppelen.

6.1 Restwarmtebenutting bij luchtkoeling

Bij gekoelde IT-apparatuur bij koeltechnieken 1 t/m 6 zijn er twee manieren om deze warmte uit te koppelen:

1. Een warmtewisselaar onttrekt de warmte uit de lucht die uit de warme gang wordt gezogen, voordat de lucht naar de zaalkoeler gaat. Hierdoor is het mogelijk om restwarmte met een temperatuur tussen de 30 en 35 °C te onttrekken. Voordeel is dat deze warmte het hele jaar door beschikbaar is. Uitdaging is dat in de praktijk temperaturen in de warme gang kunnen schommelen, door wisselend gebruik van IT-apparatuur. Daarnaast is het soms lastig om in bestaande datacenters de uitkoppelininstallaties nabij deze luchtstroom te plaatsen;
2. Een warmtewisselaar onttrekt warmte uit het koelwatercircuit tussen de zaalkoeler en de koelinstallatie. Groot voordeel is dat dit een relatief simpel en goedkoop systeem is, dat aangelegd kan worden bij de bouw van een datacenter zonder dat er al vraag is naar de restwarmte. Nadeel is dat de temperatuur van de restwarmte in de wintermaanden lager ligt (ongeveer 18 °C) dan in de zomer (ongeveer 28 °C). Er bestaat in deze situatie dus een vraag/aanbod mismatch voor zowel de hoeveelheid restwarmte als de temperatuur van deze restwarmte. In de zomer is er vanwege lage vraag veel aanbod op een redelijke temperatuur. In de winter is er minder aanbod op een lagere temperatuur.

Uit de Warmte-atlas van gemeente Amsterdam blijkt dat circa 85% van de bestaande gebouwde omgeving toe kan met een aanvoertemperatuur van 40 tot 70 °C voor ruimteverwarming en warmtapwater. De levering van hoogtemperatuur warmte (> 70 °C) aan de bestaande gebouwde omgeving wordt door de warmtebedrijven afgebouwd vanwege energiebesparing. Het is de ambitie dat de temperatuur van de bestaande stadswarmtenetten gefaseerd omlaag wordt gebracht door aanpassingen van de bestaande gebouwde omgeving (isolatie).

Deze ambitie sluit aan bij de Standaard en Streefwaarden [7] voor de bestaande gebouwde omgeving. Eén van de doelen van de Standaard is om het merendeel van de woningen in Nederland klaar te stomen voor de energietransitie, waarbij elke woning geschikt moet zijn om te worden verwarmd met een aanvoertemperatuur van maximaal 50 °C¹¹. Deze keuze is gemaakt, omdat een woning dan volledig met middentemperatuurwarmte toe kan, bijvoorbeeld uit een -duurzaam- warmtenet of individuele warmtepomp.

De vraag naar met name middentemperatuur in de gebouwde omgeving betekent in de praktijk dat de restwarmte uitgekoppeld uit een datacenter nog altijd een te lage temperatuur heeft. Door toepassing van een warmtepomp, op gebieds-, gebouw- of woningniveau-, kan de temperatuur van de restwarmte worden verhoogd naar de gewenste temperatuur.

Omdat koelinstallaties in de zomermaanden met een lager rendement draaien dan in de wintermaanden, is het voor een datacenter gunstig om juist in de zomermaanden restwarmte te leveren en daar gratis koeling voor terug te krijgen. In de gebouwde omgeving is de vraag naar warmte in de wintermaanden het grootst. Het gebruiksprofiel van warmte van de gebouwde omgeving sluit daardoor niet optimaal aan bij het aanbodprofiel van warmte van het datacenter. Seizoensopslag in de vorm van bijvoorbeeld een open bodemenergiesysteem kan hierbij uitkomst bieden. Daarnaast verdient het aanbeveling om ook de industrie aan te sluiten op het warmtenet vanwege de doorlopende warmtevraag die de industrie heeft. Om de temperatuur van de warmte te verhogen kunnen warmtepompen worden toegevoegd.

De koelinstallatie van een datacenter blijft ook bij uitkoppeling van warmte in stand. Het leveren van restwarmte is geen betrouwbare bron van koeling voor het datacenter, omdat de vraag naar restwarmte variabel is. Ook willen datacenters niet altijd afhankelijk zijn van derden. Als er bijvoorbeeld minder warmte wordt afgenomen, moet de koelinstallatie van het datacenter direct kunnen inspringen. Betrouwbaarheid van de dienstverlening is belangrijk voor de datacenters (hoofdstuk 2).

¹¹ Volgens de Vewin moet op dit moment warmtapwater tenminste 60 °C zijn. Dus de aanvoertemperatuur van 50 °C volstaat niet voor warmtapwater.

Water- en elektriciteitsgebruik van koeltechnieken in datacenters, Fit for 55

Elke kilowattuur aan restwarmte van 25 °C die wordt uitgekoppeld, leidt tot verlaging van het elektriciteits- en watergebruik door het datacenter. Bij gebruik van 1.000 kWh restwarmte in de zomer bespaart een hybride droge koeler ongeveer 30 kWh aan elektriciteit en 2 m³ aan direct gebruik van koelwater. Ter indicatie: als 20% van alle geproduceerde warmte door een datacenter als restwarmte benut wordt, levert dit het datacenter een besparing van ongeveer 0,5% op het totale elektriciteitsgebruik. Het uitkoppelen van restwarmte heeft relatief weinig impact op het energiegebruik van het datacenter zelf.

De grootste energiebesparing bij uitkoppeling van restwarmte wordt buiten het datacenter gerealiseerd. Per 1.000 kWh uitgekoppelde restwarmte bij een datacenter wordt voor ruimteverwarming in de gebouwde omgeving ongeveer 125 m³ aan aardgas bespaard en de CO₂-emissie ongeveer met 120 kg verlaagd. De CO₂-reductie van restwarmtebenutting zit dus niet zozeer bij het datacenter zelf, maar bij de eindgebruiker van de warmte.

Conclusie: Het uitkoppelen van restwarmte van ongeveer 25 °C heeft beperkt toegevoegde waarde.

6.2 Restwarmte bij immersiekoeling van tenminste 50 °C

Bij toepassing van immersiekoeling van tenminste 50 °C ontstaat er een belangrijke verschuiving in de wijze waarop uitkoppeling van restwarmte plaatsvindt.

Immersiekoeling levert restwarmte van minimaal 50 °C op. Omdat het koelsysteem in zijn geheel uit vloeistof bestaat -vanaf de pod tot aan de koelinstallatie-, is het relatief eenvoudig om de restwarmte uit te koppelen. Daarbij is de temperatuur in elk seizoen tenminste 50 °C. De warmte in de wintermaanden kan direct gebruikt worden voor het voeden van een middentemperatuur warmtenet, zonder tussenkomst van een warmtepomp of seizoensopslagsysteem. De hoeveelheid warmte is in de winter gelijk aan de zomer en ook de temperatuur van tenminste 50 °C is constant. Dit verhoogt het draagvlak en de commerciële haalbaarheid van warmtenetten.

Het wordt ontraden om de toepassing van immersiekoeling van tenminste 50 °C te combineren met een seizoensopslag in de vorm van een bodemenergiesysteem, omdat de temperatuur van een bodemenergiesysteem op dit moment maximaal 25 °C mag zijn. Dit betekent dat als warmte uit een pod in een bodemenergiesysteem opgeslagen zou worden, de restwarmte eerst afgekoeld moet worden (lees vernietigd). De temperatuur van de restwarmte was 50 °C, maar na injectie in het bodemenergiesysteem is het nog maar maximaal 25 °C. Vervolgens moet de warmte in een bodemenergiesysteem weer opgewaardeerd worden, voordat deze benut kan worden. Dit leidt tot extra elektriciteitsgebruik.

Conclusie: (Gedeeltelijke) uitkoppeling van restwarmte bij een datacenter heeft toegevoegde waarde als deze bron niet concurreert met andere hoogwaardigere duurzame bronnen, er voldoende warmtevraag is, redundantie -back-up- kan worden gerealiseerd in het warmtenet en de restwarmte een temperatuur heeft van minimaal 50 °C.

7 Watergebruik

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het watergebruik van een datacenter in relatie tot het elektriciteitsgebruik. Daarnaast wordt ingegaan op de privaats- en publiekrechtelijke instrumenten om te sturen op waterbesparing en keuze in de bron van koelwater.

7.1 Koelwatergebruik bij de opwekking van elektriciteit

Bij het opwekken van elektriciteit via elektriciteitscentrales wordt oppervlaktewater gebruikt voor koeling. In Nederland wordt er jaarlijks 9 miljard m³ water gebruikt bij een elektriciteitsgebruik van 112 TWh (CBS, 2020) door elektriciteitscentrales. Daarmee komt het gemiddelde uit op 78 liter water per kWh geconsumeerde elektriciteit op basis van de huidige elektriciteitsmix.

Koelwatergebruik bij elektriciteitscentrales is vanwege klimaatverandering een belangrijk onderwerp. In de zomer van 2022 was het waterpeil van het oppervlaktewater dusdanig laag waardoor de beschikbaarheid van koelwater onder druk stond. Dit is niet de eerste keer dat er een koelwatertekort is bij elektriciteitscentrales. Dit zal door het extremer worden van het klimaat, naar verwachting vaker voorkomen. Het effect van koelwatertekort kan zijn dat elektriciteitscentrales moeten worden teruggeschakeld dan wel uitgezet moeten worden waardoor energieschaarste kan ontstaan.

Door elektriciteitsgebruik bij datacenters te verminderen, neemt ook de vraag naar koelwater bij elektriciteitscentrales af. Bij een buitentemperatuur van 35 °C gebruikt een hybride droge koeler ongeveer 4 liter water per kWh elektriciteit voor de IT-apparatuur. Diezelfde kWh elektriciteit leidt bij een PUE van 1,15 tot een koelwatergebruik bij een elektriciteitscentrale van 90 liter. Het besparen op het elektriciteitsgebruik bij datacenters heeft uitgaande van de huidige elektriciteitsmix, daardoor een veel grotere impact op het (indirect) watergebruik in Nederland dan besparing op het directe watergebruik van een datacenter.

Naarmate het aandeel van duurzame elektriciteit groter wordt in de elektriciteitsmix, zal het aandeel indirect koelwatergebruik dalen. Ergens zal er een omslagpunt zijn dat het directe koelwatergebruik het indirecte koelwatergebruik overstijgt. Naast vergroening van de elektriciteitsmix wordt het gebruik van koelwater uiteraard ook bepaald door de energiebesparingsmaatregelen en de gekozen koeltechniek van een datacenter.

Veel datacenters kopen groene stroomcertificaten. Het administratieve systeem van groene stroom staat echter niet gelijk aan hoe de fysieke levering van elektriciteit plaatsvindt. Groene stroom wordt gegarandeerd met behulp van groencertificaten (de zogenaamde 'Garanties van Oorsprong'). Voor elke kWh die een energieleverancier als groene stroom aan een klant verkoopt, moet deze energieleverancier beschikken over zo'n certificaat. Bronnen van groene stroom, zoals windenergie, zonne-energie en waterkracht krijgen de certificaten toegekend voor elke kWh die zij produceren. Deze certificaten kunnen leverancier van elektriciteit vrij verhandelen binnen (geografisch) Europa. De energieleverancier levert niet fysiek duurzame elektriciteit aan de klant. De klant ontvangt elektriciteit samengesteld uit de landelijke elektriciteitsmix. Ook als een datacenter duurzame elektriciteit inkoopt, heeft men dus nog altijd impact op het indirecte watergebruik. Indien een datacenter rechtstreeks -eventueel met tussenopslag in een batterij- duurzame elektriciteit gebruikt, is er daadwerkelijk sprake van fysiek gebruik van duurzame elektriciteit.

Conclusie: Besparing op elektriciteit bij een datacenter levert een relatief grote besparing van koelwater bij elektriciteitscentrales -indirect gebruik- op ten opzichte van het (eventuele) extra watergebruik door het datacenter zelf. Dit geldt ook als een datacenter groene stroom inkoopt via Garantie van Oorsprong certificaten. Als het datacenter rechtstreeks gebruik maakt van duurzame elektriciteit, verandert deze situatie. Naarmate de elektriciteitsmix duurzamer wordt (aandeel elektriciteitscentrales wordt lager), daalt het indirecte koelwatergebruik en kan het direct koelwatergebruik door het datacenter maatgevend worden.

7.2 Bronnen voor de productie van koelwater

Een datacenter dat een watergekoelde techniek toepast, zal het koelwater met name nodig hebben in de zomerperiode. Dit valt samen met de periode dat water schaars is. Langdurige en extreme droogte komt vanwege klimaatverandering steeds meer in Nederland voor. Datacenters maken op dit moment veelal gebruik van drinkwater.

In de Beleidsnota Drinkwater 2021-2026 is de inzet om, net als bij burgers, het bewust en zuinig drinkwatergebruik door zakelijke gebruikers zoals datacenters te stimuleren. In deze nota wordt ingezet op het motto "juiste water voor het juiste gebruik en het circulair maken van waterstromen".

Volgens de rijksoverheid moet laagwaardig gebruik van drinkwater, zoals bijvoorbeeld voor het koelen van datacenters, worden tegengaan. In het Deltaprogramma Zoet Water wordt met regio's in maatregelen geïnvesteerd die gericht zijn op waterbesparing en het zoeken naar het gebruik van andere soorten water dan drinkwater. De initiatiefnemer zal, afhankelijk van de lokale situatie, op zoek moeten gaan naar een alternatief voor drinkwater. Dit kunnen volgens Vewin waterbronnen als industriewater¹², effluent - afvalwater- en hemelwater alternatieven voor drinkwater zijn. Schaarste doet zich voor in drinkwater, oppervlaktewater en industriewater. Het gebruik van grondwater wordt ontraden.

Conclusie: Vanwege klimaatverandering komt schaarste van water steeds hoger op de agenda. Omdat energiebesparing en de keuze voor de koeltechniek in hoge mate bijdragen aan waterbesparing, kunnen de drinkwaterleveranciers samenwerken met omgevingsdiensten om via maatregelen te sturen op verlaging in de watervraag van datacenters. Nadat waterbesparing maximaal is gerealiseerd, zijn volgens Vewin industriewater, effluent en hemelwater alternatieven voor drinkwater. Hieraan worden door de OD Noordzeekanaalgebied gedemineraliseerd brak en zout water toegevoegd, mits bereid met duurzame elektriciteit.

Omdat een tekort aan water tot ernstige problemen kan zorgen is er in Nederland in 2003 de verdringingsreeks ontwikkeld. Bij langdurige schaarste van oppervlaktewater wordt volgens onderstaande prioriteitsvolgorde gestuurd op tijdelijke verlaging van het watergebruik (op volgorde van minder belangrijk naar zeer belangrijk);

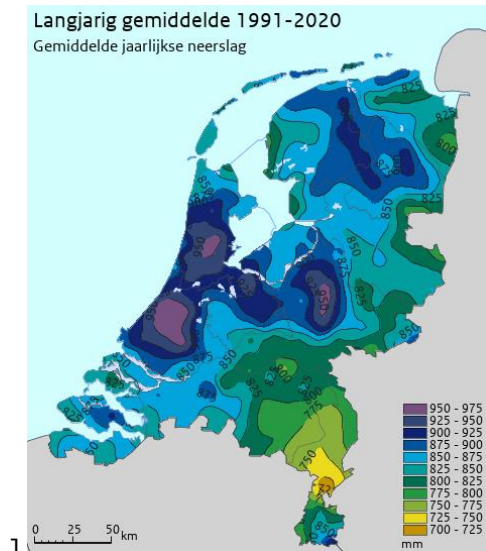
- 1 De watervoorziening voor akkers en weilanden, vervangbare natuur, waterrecreatie, scheepvaart en andere bedrijven **(inclusief datacenters)**;
- 2 Watervoorziening voor industrie en tuinbouwbedrijven;
- 3 Drinkwater- en energievoorzieningen (elektriciteitscentrales);
- 4 Waterveiligheid van de waterkeringen en voorkomen van nadelige onomkeerbare effecten op natuur zoals verzilting en veeninklinking.

¹² Industriewater in de regio Amsterdam is -op dit moment- afkomstig uit de rivier de Lek. Waternet is de leverancier van dit water.

7.3 Hemelwatergebruik

Vewin, de Vereniging van Waterbedrijven in Nederland, noemt hemelwater als bron voor koelwater door datacenters als één van de mogelijkheden voor de toekomst (paragraaf 7.2).

In de Randstad/ Nederland valt gemiddeld zo'n 950 liter per vierkante meter per jaar. Een datacenter met alleen een begane grond en een IT-vermogen van 1 MW heeft een dakoppervlak van circa 700 m² uitgaande van een gemiddelde vermogensdichtheid van 1,4 kW/ m². Bij een dak van deze omvang kan er 665 m³ hemelwater per jaar worden opgevangen.



Figuur 10 Langjarig gemiddelde 1991 – 2020/ gemiddelde jaarlijkse neerslag KNMI

Door een beperkte omvang van kavels en grondprijzen worden er ook datacenters in aantal gevallen de hoogte in. Dit betekent dat de hoeveelheid op te vangen hemelwater Per MW IT vermogen afneemt met een toenemend aantal verdiepingen, omdat het dakoppervlak relatief kleiner wordt.

Het regent in Nederland met name in het najaar en de winter, terwijl datacenters koelwater voor verdamping vrijwel alleen in de zomermaanden gebruiken. Het gebruiksprofiel van een datacenter komt niet overeen met het aanbodprofiel.

Datacenters kiezen op dit moment al voor de aanleg van kleinschalige waterbuffers waarmee ze onderbrekingen in de levering van water kunnen overbruggen van een dag. Deze buffers zijn gevuld met het water van de bron die gebruikelijk is. Dat is op dit moment drink- of industriewater. Deze buffers worden veelal gevuld op momenten dat er geen schaarste is.

Opslag van hemelwater hoeft niet perse in gebouwde waterbuffertanks te gebeuren. Het hemelwater kan ook direct in het grondwater worden gepompt en daar in de zomer weer uit worden gehaald. Een voorbeeld hiervan is het project dat Microsoft i.s.m. ECW Energy in Hollands kroon gaat uitvoeren. Een ander voorbeeld is het datacenter van IBT² in Apeldoorn die eveneens hemelwater opslaat in het grondwater voor later gebruik.

Conclusie: Bij de toepassing van verdampingskoeling kunnen, indien gewenst, datacenters deels in hun eigen koelwaterbehoefte voorzien door hemelwater op te slaan in gebouwde waterbuffers of het grondwater.

7.4 Privaatrechtelijke mogelijkheden

Tussen een waterleverancier en de eindgebruiker wordt een contract gesloten over het gebruik van industriewater of drinkwater.

De afweging of een datacenter in aanmerking komt voor het gebruik van drinkwater of industriewater, ligt bij het waterbedrijf. Een waterbedrijf kan hierbij de gevraagde aansluiting of levering weigeren op basis van zijn algemene voorwaarden. Drinkwaterleveranciers hanteren als uitgangspunt om geen grote hoeveelheden drinkwater te leveren als dat voor het gebruik niet passend is. De aansluit- en leveringsplicht uit de Drinkwaterwet is niet van toepassing op datacenters. M.a.w. datacenters hebben geen recht op drinkwater. Bij de bepaling van de mogelijkheden om drinkwater te leveren, wordt door drinkwaterleidingbedrijven gekeken naar de piekvraag i.c.m. risico's op langdurige droogte. Waterbesparing draagt bij in het verlagen van de piekvraag en noodzaak tot voorraadbeheer. Ook hoeft er minder water te worden bereid en geleverd, wat ook weer energie bespaart. De levering van drinkwater en industriewater is niet gegarandeerd.

Als er in noodsituaties wordt teruggevallen op drinkwater op het moment dat er geen industriewater voorhanden is, is een belangrijke voorwaarde van de waterbedrijven dat deze levering van drinkwater buiten de piekmomenten van het drinkwaterbedrijf plaatsvindt. Hierop worden op dit moment de waterbuffers van de datacenters gedimensioneerd.

Levering van industriewater is een marktactiviteit. Er kunnen per klant andere afspraken gemaakt worden voor wat betreft tarieven. Dat geldt niet voor drinkwater. Deze tarieven worden jaarlijks vastgesteld.

De tariefstelling voor drink- en industriewater voor grootgebruikers is niet geharmoniseerd in Nederland. Per waterbedrijf wordt hierop beleid gevoerd. Er loopt een landelijk onderzoek naar de inrichting van de tarifiering van water als mogelijk instrument om de eindgebruikers te prikkelen zuinig te zijn met drinkwater of te kiezen voor een ander soort water. Ook Waternet, die de waterleverancier is in de regio Amsterdam, is aangesloten bij dit onderzoek.

Conclusie: Er vindt onderzoek plaats naar de inrichting van de tarifiering van water als mogelijk instrument om de eindgebruikers te prikkelen zuinig te zijn met water.

7.5 Publiekrechtelijke mogelijkheden

In België is het sinds 2014 verplicht om een hemelwaterbuffer aan te leggen bij zowel eengezinswoningen als niet-woningen. Voor een niet-woning met een dakoppervlak van minimaal 100 m² moet een buffer van minimaal 50 liter per vierkante meter dakoppervlak worden aangelegd, met een maximum van 10 m³ (10.000 liter) [15]. Het doel is om hemelwater te gebruiken voor bijvoorbeeld het sproeien van de tuin en het doorspoelen van het toilet om zo efficiënter om te gaan met het beschikbare drinkwater.

In het kader van de ontwerp BBL Regeling (Besluit Bouwwerken Leefomgeving, onderdeel Omgevingswet) 'duurzaam gebruik daken niet-wonen' kunnen gemeenten aanschrijfbeleid dan wel regels opnemen in het Omgevingsplan die erop sturen dat onder meer datacenters worden verplicht om hemelwater op te vangen. Of, wanneer en hoe deze ontwerpregeling in werking treedt is niet bekend op dit moment.

Conclusie: De gemeenten kunnen beleid en regelgeving maken wanneer de BBL-regeling 'Duurzaam gebruik daken niet wonen' in werking treedt voor onder meer het bevorderen van hemelwatergebruik door datacenters.

Sinds 1993 is de Wet milieubeheer in werking. Deze wet biedt de mogelijkheid om te sturen op zowel energiebesparing en waterbesparing. Bedrijven worden in de VNG-publicatie "Handreiking verruimde reikwijdte Wet milieubeheer" als waterrelevante bedrijven aangemerkt vanaf een watergebruik van 5000 m³.

Tot op heden is door de wetgever in tegenstelling tot het onderwerp energiebesparing, het onderwerp waterbesparing niet verder ingekleurd dan een zorgplichtartikel dat van toepassing is op bedrijven die een Omgevingsvergunning Milieu nodig hebben. Ad hoc wordt door de OD Noordzeekanaalgebied het onderwerp waterbesparing meegenomen in de werkzaamheden.

Water- en elektriciteitsgebruik van koeltechnieken in datacenters, Fit for 55

In de Omgevingswet artikel 4.22, eerste lid, sub c, wordt voortgebouwd op dit zorgplichtartikel uit de Wet milieubeheer. Een doelmatig gebruik van energie en grondstoffen komt terug als onderdeel van het begrip beschermen van het milieu: (drink- industriewater is een grondstof.

Conclusie: Vanaf een gebruik van 5.000 m³ water worden bedrijven als waterrelevante bedrijven aangemerkt. Datacenters die watergekoelde technieken toepassen, zullen waterrelevante bedrijven zijn. Om watergebruik als onderwerp structureel op de agenda te krijgen, kunnen de kansen die artikel 4.22, eerste lid, sub c, van de Omgevingswet biedt, verder worden uitgewerkt.

De Rijksoverheid is voornemens om de Elektriciteitswet zodanig aan te passen dat de jaarlijkse energiedata beschikbaar worden gesteld aan het bevoegd gezag. Het bevoegd gezag heeft op dit moment ook geen inzicht in het jaarlijkse watergebruik van bedrijven.

Conclusie: De wetgever is voornemens om de Elektriciteitswet zodanig aan te passen dat het bevoegd gezag inzicht krijgt in het jaarlijkse energiegebruik. Op dit moment heeft het bevoegd gezag ook geen inzicht in het jaarlijkse watergebruik van de bedrijven. Om eveneens adequaat aan de slag te kunnen gaan met waterbesparing bij de waterrelevante bedrijven, is het gewenst dat het bevoegd gezag inzicht krijgt in het watergebruik van onder meer datacenters. Middels een wetswijziging in de Drinkwaterwet kan de rijksoverheid regelen dat de wet zodanig wordt aangepast dat het ook inzicht in het watergebruik van onder meer datacenters bij het bevoegd gezag ontstaat, zodat er prioriteiten kunnen worden gesteld in de publiekrechtelijke aanpak gericht op waterbesparing.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

In het rapport staan in de voorgaande hoofdstukken de volgende conclusies;

Energiebesparing

- 8 Het grootste deel van het gebruik van elektriciteit binnen een datacenter -ruim 80%- wordt ingezet ten behoeve van de IT-apparatuur. 99,99% van de gebruikte elektriciteit bij de IT-apparatuur wordt warmte die moet worden weggekoeld. Vanwege de redenering dat iedere vermeden kWh bij de IT-apparatuur niet hoeft te worden weggekoeld of duurzaam hoeft te worden opgewekt, is de realisatie van de energiebesparingsmaatregelen binnen een datacenter een onmisbare eerste schakel in het verlagen van het elektriciteits- en watergebruik voor de koeling binnen een datacenter;
- 9 Powermanagement in "balanced mode" geeft een besparing van 10 tot 15% op het elektriciteits- en watergebruik van een datacenter en heeft geen meetbaar effect op de PUE en WUE omdat de verhouding tussen hoeveelheid gebruikte energie en water ten behoeve van de IT-apparatuur versus overige installaties evenredig omlaaggaan;
- 10 Op het moment dat de herziene EML-maatregelen in 2023 in werking treden, is er aanleiding voor omgevingsdiensten om te bezien of er een reden is om een nieuw toezichts- en handavingsproject op het terrein van energie- en waterbesparing te starten bij alle datacenters. Onder meer deze maatregelen worden meegenomen in de uitvoering van de onderzoeksplicht;
- 11 De maatregelen, te weten de temperatuur van 27 °C of hoger -Ashrae- in de koude gang als er niet 100% vrij gekoeld wordt en monitoring (meten is weten) dragen bij in de realisatie van energie- en waterbesparing. Deze maatregelen zijn ingebracht door de OD Noordzeekanaalgebied in de inspraak op de ontwerp EML-maatregelen 2023;
- 12 De groei van elektriciteits- en watergebruik door een datacenter wordt sterk beïnvloed door de stand der techniek van de IT-apparatuur. Verdere innovatie van de IT-apparatuur kan naast energiebesparing bijdragen aan het afvlakken dan wel afname van het elektriciteits- en watergebruik van datacenters;

Combinaties van koeltechnieken

- 4 Uitgaande van een koude gang met een temperatuur van 27 °C, leiden de verschillende combinaties van koeltechnieken tot de volgende indicatieve scores op de parameters besparing IT apparatuur, PUE, WUE, elektriciteitsgebruik, relatieve energiebesparing en watergebruik;

Koeltechniek	Besparing IT-apparatuur	PUE	WUE (gemiddeld)	Elektriciteitsgebruik in MWh/MW IT-vermogen	Relatieve energiebesparing	Watergebruik in m ³ /MW IT-vermogen
1 Compressiekoeling met vrije koeling	0%	1,172	0,00	10.267	Referentie	0
2 Hybride droge koeler	0%	1,153	0,175	10.100	2%	1.533
3 Directe luchtkoeling met verdamping	0%	1,140	0,060	9.986	3%	526
4 Indirecte luchtkoeling met verdamping	0%	1,150	0,060	10.074	2%	526
5 Droge koeler met bodemenergiesysteem	0%	1,155	0,030	10.118	1%	263
6 Direct-op-chip koeling	5%	1,140	0,00	9.487	8%	0
7 Immersiekoeling ≥ 27 °C met bodemenergiesysteem	10%	1,140	0,030	8.988	12%	237
8 Immersiekoeling ≥ 50 °C	10%	1,120	0,00	8.830	14%	0

- 5 Het uitkoppelen van restwarmte van ongeveer 25 °C heeft beperkt toegevoegde waarde;
- 6 Voor de gangbare koeltechnieken 2 t/m 5 geldt dat de datacenterkoeling op dit moment verkeert in de fase, dat het verlagen van elektriciteitsgebruik leidt tot verhoging van het watergebruik bij het datacenter en omgekeerd. Bij de opkomende koeltechnieken 6 t/m 8 is er sprake van ontkoppeling tussen het elektriciteits- en watergebruik;

Restwarmtebenutting

- 6 Bij het toepassing van immersiekoeling op minimaal 50 °C verandert de wijze van inpassing van de restwarmte van een datacenter als warmtebron in een warmtenet. Seizoensopslag in de vorm van bodemenergiesysteem vervalt omdat er geen sprake is van een mismatch tussen vraag en aanbod. Ook is de opwaardering van de datacenter warmte beperkt aan de orde, waarmee de bron van datacenter restwarmte goedkoper kan worden ingekoppeld. De investerings- en exploitatiekosten van een warmtenet nemen daardoor af. Dit verhoogt het draagvlak en de commerciële haalbaarheid van warmtenetten;
- 7 (Gedeeltelijke) uitkoppeling van restwarmte bij een datacenter heeft toegevoegde waarde als deze bron niet concurreert met andere hoogwaardigere duurzame bronnen, er voldoende warmtevraag is, redundantie -back-up- kan worden gerealiseerd in het warmtenet en de restwarmte een temperatuur heeft van minimaal 50 °C;

Watergebruik

- 1 Besparing op elektriciteit bij een datacenter levert een relatief grote besparing van koelwater bij elektriciteitscentrales -indirect gebruik- op ten opzichte van het -eventuele- extra watergebruik door het datacenter zelf. Dit geldt ook als een datacenter groene stroom inkoopt via Garantie van Oorsprong certificaten. Als het datacenter rechtstreeks gebruik maakt van duurzame elektriciteit, verandert deze situatie. Naarmate de elektriciteitsmix duurzamer wordt -aandeel elektriciteitscentrales wordt lager-, daalt het indirecte koelwatergebruik en kan het direct koelwatergebruik door het datacenter maatgevend worden;
- 2 Vanwege klimaatverandering komt schaarste van water steeds hoger op de agenda. Omdat energiebesparing en de keuze voor de koeltechniek in hoge mate bijdragen aan waterbesparing, kunnen de drinkwaterleveranciers samenwerken met omgevingsdiensten om via maatregelen te sturen op verlaging in de watervraag van datacenters. Nadat waterbesparing maximaal is gerealiseerd, zijn volgens Vewin industriewater, effluent en hemelwater alternatieven voor drinkwater. Hieraan worden door de OD Noordzeekanaalgebied gedemineraliseerd brak en zout water toegevoegd, mits bereid met duurzame elektriciteit;
- 3 Bij de toepassing van verdampingskoeling kunnen, indien gewenst, datacenters deels in hun eigen koelwaterbehoefte voorzien door hemelwater op te slaan in gebouwde waterbuffers of het grondwater;
- 4 Er vindt onderzoek plaats naar de inrichting van de tarifiering van water als mogelijk instrument om de eindgebruikers te prikkelen zuinig te zijn met water;
- 5 De gemeenten kunnen beleid en regelgeving maken wanneer de BBL-regeling 'Duurzaam gebruik daken niet wonen' in werking is getreden voor onder meer het bevorderen van hemelwatergebruik door datacenters;
- 6 Vanaf een gebruik van 5.000 m3 water worden bedrijven als waterrelevante bedrijven aangemerkt. Datacenters die watergekoelde technieken toepassen, zullen waterrelevante bedrijven zijn. Om watergebruik als onderwerp structureel op de agenda te krijgen, kunnen de kansen die artikel 4.22, eerste lid, sub c, van de Omgevingswet biedt, verder worden uitgewerkt. De gemeenten kunnen beleid en regelgeving maken wanneer de BBL-regeling 'Duurzaam gebruik daken niet wonen' in werking treedt voor onder meer het bevorderen van hemelwatergebruik door datacenters;
- 7 De wetgever is voornemens om de Elektriciteitswet zodanig aan te passen dat het bevoegd gezag inzicht krijgt in het jaarlijkse energiegebruik. Op dit moment heeft het bevoegd gezag ook geen inzicht in het jaarlijkse watergebruik van de bedrijven. Om eveneens adequaat aan de slag te kunnen gaan met waterbesparing bij de waterrelevante bedrijven, is het gewenst dat het bevoegd gezag inzicht krijgt in het watergebruik van onder meer datacenters. Middels een wetswijziging in de Drinkwaterwet kan de rijksoverheid regelen dat de wet zodanig wordt aangepast dat het ook inzicht in het watergebruik van onder meer datacenters bij het bevoegd gezag ontstaat, zodat er prioriteiten kunnen worden gesteld in de publiekrechtelijke aanpak gericht op waterbesparing.

8.2 Aanbevelingen

De bovenstaande conclusies leiden tot de volgende aanbevelingen aan de provincie Noord-Holland;

Algemeen

4. Actief het podium en contact met de IT-branche zoeken over de route die in het rapport wordt geschetst om de Europese doelstelling Fit for 55 ook voor de branche datacenters binnen handbereik te brengen, conform de aanbevelingen uit het rapport van Stichting Green IT;
5. De route Fit for 55 in 2030 verloopt volgens het rapport van Stichting Green It ook voor datacenters, net als bij andere bedrijven, volgens de zogeheten trias energetica. Het grootste deel van de elektriciteit binnen een datacenter wordt gebruikt ten behoeve de IT-apparatuur. Nagenoeg alle gebruikte elektriciteit bij de IT-apparatuur wordt omgezet in warmte die moet worden weg

Water- en elektriciteitsgebruik van koeltechnieken in datacenters, Fit for 55

gekoeld. Omdat iedere vermeden kWh elektriciteitsgebruik bij de IT-apparatuur ook niet hoeft te worden weggekoeld en duurzaam moet worden opgewekt, verloopt de te volgen route naar de Europese doelstelling via de achtereenvolgende stappen:

- a. Maximale energiebesparing en innovatie;
 - b. Optimale koeltechnieken;
 - c. Rechtstreeks gebruik of inkoop van duurzame elektriciteit.
 - d. In die situaties waar -deels- uitkoppeling van de warmte die ontstaat bij een datacenter toegevoegde waarde heeft, kan deze maatregel worden toegevoegd waarbij de voorkeur uitgaat naar immersiekoeling ≥ 50 °C;
6. Via -onder meer- de Nationale Coalitie Duurzame Digitalisering (NCDD) het podium en contact opbouwen en versterken met de IT-branche;

Energiebesparing

- 3 Het beleid, de lobby en de uitvoering van de wet- en regelgeving gericht op energiebesparing door de omgevingsdiensten bij datacenters blijven ondersteunen vanwege de te realiseren energie- (en water) besparing, ook bij de koeltechnieken;
- 4 Samenwerking stimuleren tussen drinkwaterleveranciers en omgevingsdiensten daar waar het waterbesparing en keuze soort water betreft;

Combinaties van koeltechnieken

- 1 Gezien de stand der techniek van alle combinaties van koeltechnieken in het beleid de ontwerp PUE in Noord-Holland aan te scherpen van $\leq 1,2$ naar $\leq 1,16$;
- 2 Stimuleren dat er verdere uitrol van de opkomende koeltechniek immersiekoeling ≥ 50 °C plaatsvindt zodat deze opkomende veelbelovende koeltechniek zich door ontwikkelt;

Restwarmtebenutting

Uitkoppeling van warmte van datacenters van tenminste 50 °C realiseren daar waar het toegevoegde waarde heeft;

Watergebruik

- 1 Conform het advies van de Vewin, het verbod op grondwatergebruik -niet zijnde opslag of een open bodemenergiesysteem-, ten behoeve van koeling door het datacenter continueren;
- 2 Volgen en eventueel beïnvloeden van onderzoek naar het beprijzen van water als sturingsinstrument voor watergebruik;
- 3 Ervan uit gaande dat er een integrale afweging (effecten op energie- materiaal- en chemicaliëngebruik naast watergebruik etc.) heeft plaatsgevonden door de Vewin, in samenwerking met de drinkwaterleveranciers bespreken hoe om gegaan wordt met de uitgesproken voorkeur voor achtereenvolgens waterbesparing en het gebruik van bronnen als hemelwater, en effluent, gedemineraliseerd brak of zout water, industriewater ten behoeve van de productie van koelwater;
- 4 Omdat energiebesparing en keuze koeltechniek leidt tot waterbesparing, samenwerking stimuleren tussen drinkwaterleveranciers en omgevingsdiensten daar waar het de relatie tussen energiebesparing, koeltechniek enerzijds en waterbesparing en keuze soort water anderzijds betreft;
- 5 In overleg met gemeenten er bij uitwerking van de BBL Regeling "Duurzaam gebruik van daken van niet wonen" op sturen dat in geval er een combinatie van een koeltechniek wordt gebruikt waarbij koelwater wordt gebruikt, hemelwater optimaal wordt benut;
- 6 Om sturing op watergebruik bij waterrelevante bedrijven zoals datacenters als onderwerp structureel op de agenda te krijgen bij de bedrijven, de OD Noordzeekanaalgebied de opdracht te verlenen om de kansen die artikel 4.22, eerste lid, sub c, van de Omgevingswet biedt, verder uit te werken;
- 7 Met de rijksoverheid het gesprek aan te gaan om net als delen van het jaarlijkse energiegebruik van bedrijven met het bevoegd gezag ook het jaarlijkse watergebruik te gaan delen met het bevoegd gezag. Op deze wijze ontstaat inzicht in de omvang van het watergebruik per bedrijf en kunnen er prioriteiten worden gesteld door het bevoegd gezag in de aanpak waterbesparing bij de waterrelevante bedrijven.

Bijlage A Referenties

- [1] <https://www.dutchdatacenters.nl/thema-energie/>
- [2] <https://www.stimular.nl/maatregelen/meet-en-reduceer-energiegebruik-hulpapparatuur-in-de-serverruime/>
- [3] <https://datacenterworks.nl/artikelen/pue-is-op-orde-dus-hoe-nu-verder>
- [4] <https://www.thegreengrid.org/en/resources/library-and-tools/20-PUE:-A-Comprehensive-Examination-of-the-Metric>
- [5] [https://www.thegreengrid.org/en/resources/library-and-tools/238-Water-Usage-Effectiveness-\(WUE\)%3A-A-Green-Grid-Data-Center-Sustainability-Metric-](https://www.thegreengrid.org/en/resources/library-and-tools/238-Water-Usage-Effectiveness-(WUE)%3A-A-Green-Grid-Data-Center-Sustainability-Metric-)
- [6] <https://www.datacenterdynamics.com/en/opinions/an-industry-in-transition-1-data-center-water-use/>
- [7] https://energygo.blob.core.windows.net/files/Expert_Review_Standaard_en_Streefwaarden'_Eindraport.pdf
- [8] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261921012770>
- [9] <https://soilpedia.nl/Bikiwiki%20documenten/SKB%20Cahiers/Bodemenergie.pdf>
- [10] <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/7/2419/htm>
- [11] Duurzaam koelwater in datacenters, Royal HaskoningDHV, presentatie DDA, 25 feb 2021
- [12] <https://www.opencompute.org/files/Immersion-Cooling-for-Green-Computing-V1.0.pdf>
- [13] <https://www.datacenterdynamics.com/en/analysis/liquid-cooling-a-new-phase/>
- [14] <https://news.microsoft.com/innovation-stories/datacenter-liquid-cooling/>
- [15] <https://www.vlaanderen.be/verplichte-installatie-van-een-hemelwaterput-en-infiltratiesysteem-bij-nieuwbouw-en-herbouw>
- [16] <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/best-practices/data-center-facilities-paper.pdf>
- [17] <https://www.waternet.nl/service-en-contact/drinkwater/kosten/belasting-op-leidingwater/>
- [18] https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Bookstore/Supplemental%20Files/ReferenceCard_2021ThermalGuidelines.pdf
- <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019R0424&from=EN>
- [20] D.H. Harryvan, C. (2023, 2). *Duurzaam koelen van datacenters 2*. Opgehaald van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/energie-besparen-industrie/datacenters>
- [21] Lucam Climate Solutions BV. (2023, 1). *Evap2cool* <https://evap2cool.com/en/>. Opgehaald van <https://fhi.nl/itinfra/exposant/lucam-climate-solutions/>
- [22] RVO. (2012, 6). *Duurzaam koelen van datacenters*. Opgehaald van <http://www.airco-kenniscentrum.nl/images/pdf/anl%20factsheet%20duurzaam%20koelen%20van%20datacenters.p>

Bijlage B Achtergrondinformatie koeltechnieken

In deze bijlage is een technische onderbouwing terug te vinden van de cijfers en conclusies in het rapport.

Van elke individuele techniek is kort beschreven hoe deze functioneert. Daarna is het elektriciteits- en watergebruik in kaart is gebracht in relatie tot de buitentemperatuur. De buitentemperatuur is veruit de belangrijkste variabele bij koeltechnieken.

De beschreven koeltechnieken worden veelal niet zelfstandig in datacenters aangetroffen. Datacenters maken gebruik van een combinatie van de individuele koeltechnieken. In deze paragraaf zijn de individuele koeltechnieken beschreven.

De prestaties en cijfers van koelmachines zoals weergegeven in dit hoofdstuk zijn typische gemiddelden. De uiteindelijke prestatie van een volledige koelinstallatie hangt van veel ontwerpfactoren af die per datacenter verschillen. De genoemde getallen moeten daarom als indicatief worden beschouwd. De COP¹³-curves in dit hoofdstuk zijn bepaald met de aanname dat de koude gang 27 °C bedraagt.

Uit de gemiddelde (buitentemperatuur-gewogen) COP over een jaar van een koeltechniek of combinatie van koeltechnieken is het elektriciteitsgebruik van de koelinstallatie, en daarmee de PUE, te bepalen. Daarbij is aangenomen dat er een toeslag is van 7% boven op het IT-apparaat gebruik voor overige functies in een datacenter (infrastructuur, verlichting, UPS, beveiliging). In de praktijk zal deze toeslag per datacenter verschillen. De PUE is dus berekend volgens:

$$PUE = 1 + 0,07 + 1/COP_{\text{gemiddeld}}$$

Stel dat de gemiddelde COP van een koelinstallatie 8,0 is, dan is de PUE van het datacenter $(1 + 0,07 + 1/8,0) = 1,195$.

1 Compressiekoeling

Compressiekoeling is een van de meest traditionele vormen van koeling in datacenters. Een compressiekoelmachine werkt net zoals een koelkast of airconditioning. Een gasvormig koelmiddel wordt gecomprimeerd, waardoor de temperatuur en druk toeneemt. In een condensor, die in contact staat met de buitenlucht, wordt het koelmiddel afgekoeld waardoor het vloeibaar wordt. Door expansie wordt de druk in de vloeistof verlaagd en koelt deze verder af. In de verdamper wordt vervolgens warmte van buitenaf opgenomen, waardoor de vloeistof verdampt naar gas, waarna de cyclus weer opnieuw start. Groot voordeel van compressiekoeling is dat warmte afgevoerd kan worden naar een hogere temperatuur (condensor) dan waar het vandaan komt (verdamper). Daardoor is het mogelijk om nog altijd met 27 °C te kunnen koelen als het buiten 37 °C is.

Er zijn verschillende opstellingen voor compressiekoeling. Voorbeelden zijn:

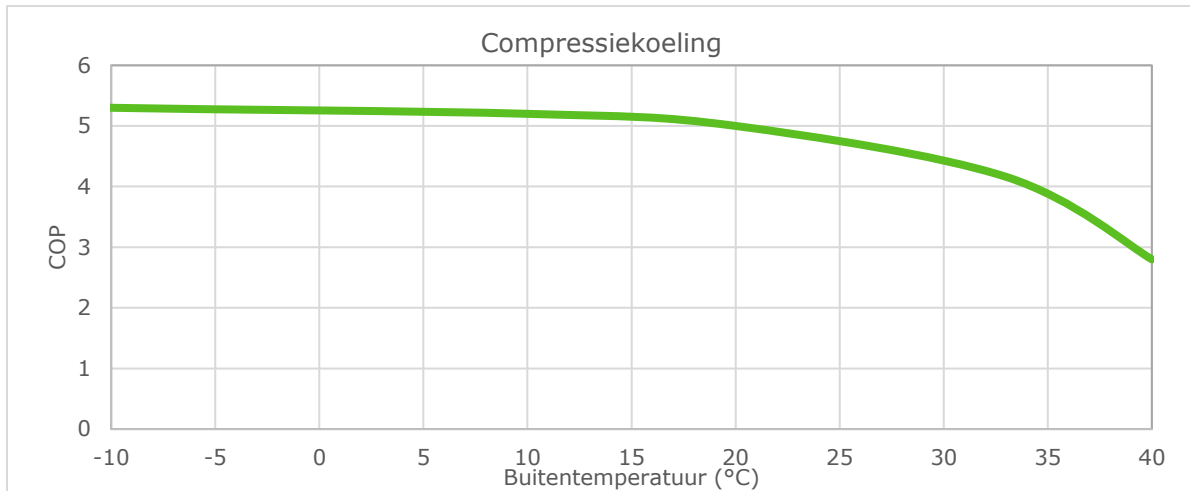
- 1 Een compressor op de zaal en een condensor op het dak, gekoppeld met een koelmiddelcircuit (split-opstelling);
- 2 Een compressor op de zaal en een droge koeler op het dak, gekoppeld met een watercircuit. Door de compressor uit te schakelen kan er vrij gekoeld worden;
- 3 Een compressor op het dak met een watercircuit naar een zaalkoeler (zonder compressor) voor koude overdracht naar lucht.

Er is meestal een bypass aanwezig waardoor er ook vrij gekoeld kan worden.

De efficiëntie van een compressiekoelmachine hangt af van de buitentemperatuur en is weergegeven in Figuur 1. De COP neemt af bij hogere buitentemperaturen, door de koelmachine meer elektriciteit nodig heeft om het grotere temperatuurverschil te overbruggen. In de praktijk worden compressiekoelmachines bij lage buitentemperaturen niet (meer) gebruikt.

¹³ COP staat voor Coefficient of Performance en is een maat voor de prestatie van een koelinstallatie. Een COP van 5 betekent dat er voor elke 5 eenheden aan koeling, er 1 eenheid aan elektriciteit nodig is. Hoe hoger de COP, hoe minder elektriciteit een koelmachine gebruikt.

Water- en elektriciteitsgebruik van koeltechnieken in datacenters, Fit for 55



Figuur B1: Benadering van het verloop van de COP van een compressiekoelmachine afhankelijk van de buitentemperatuur. Data is een samenstelling uit meerdere praktijk- en simulatiedata.

Een compressiekoeler gebruikt geen water. Het water in een gesloten watergekoeld systeem is verwaarloosbaar en wordt niet meegenomen in de bepaling van de WUE.

2 Droge koeler

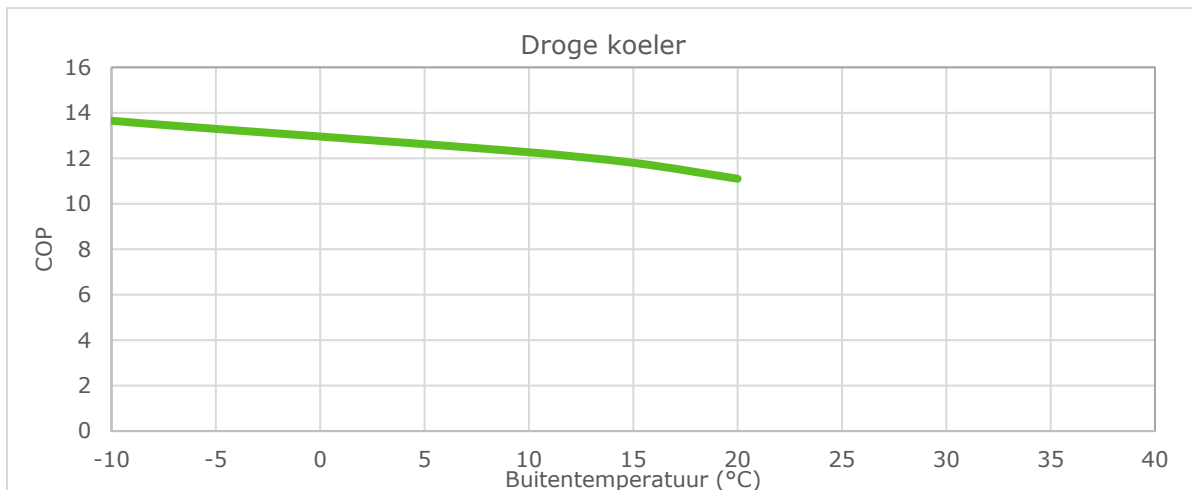
Een droge koeler, of 'dry cooler', bestaat uit een warmtewisselaar en een ventilator. Door de warmtewisselaar stroomt warm water dat uit het datacenter komt. De ventilator blaast buitenlucht over de warmtewisselaar, waardoor het water afkoelt. Het gekoelde water gaat terug het datacenter in. Op de datavloer staan vervolgens zaalkoelers welke het koele water gebruiken om lucht uit de warme gang te koelen en in de koude gang te blazen. Het (opgewarmde) water gaat vervolgens weer richting de droge koeler. Er kan niet kouder worden gekoeld dan de buitenlucht.

Het energiegebruik van een droge koeler zelf is laag, doordat er alleen een ventilator draait. In het datacenter draaien nog pompen voor het circulerend water en de ventilatoren in de zaalkoeler. Hoe warmer het buiten is, hoe harder de ventilator in de droge koeler moet draaien en hoe meer elektriciteit er wordt gebruikt, zoals weergegeven in Figuur 2.

Het elektriciteitsgebruik van de zaalkoelers en pomp neemt toe met toenemende buitentemperatuur, doordat de temperatuur van het water, en daarmee het debiet, hoger wordt. Vanaf een buitentemperatuur van ongeveer 20 °C kan een droge koeler onvoldoende koeling leveren aan het datacenter. Deze buitentemperatuur is lager dan de 27 °C in de koude gang, omdat bij de overdracht van buiten naar binnen een aantal graden in de temperatuur verloren gaan.

Droge koelers gebruiken geen water.

Water- en elektriciteitsgebruik van koeltechnieken in datacenters, Fit for 55



Figuur B2: Benadering van het verloop van de COP van een droge koeler afhankelijk van de buitentemperatuur. Data is een samenstelling uit meerdere praktijk- en simulatiedata. Vanaf 20°C kan een droge koeler in de praktijk onvoldoende koeling leveren aan een datacenter.

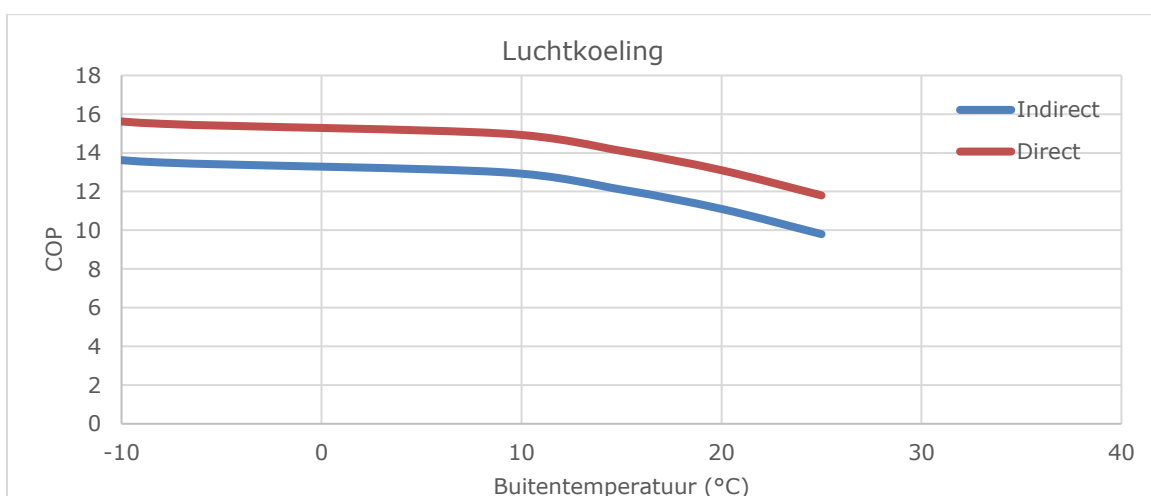
3 Luchtkoeling

Bij directe luchtkoeling wordt buitenlucht met behulp van een ventilator, via een filter, het datacenter in geblazen. Deze techniek wordt in de regio Amsterdam door datacenters nog weinig gebruikt, veelal omdat er de wens is om de binnen en buitenluchtstromen strikt gescheiden te houden en daarmee (vervuilde) buitenlucht buiten het datacenter te houden. Grote IT-bedrijven zoals Meta, Google en Microsoft passen deze techniek wel toe.

Bij indirecte luchtkoeling gaat buitenlucht met behulp van een ventilator, langs een lucht/lucht warmtewisselaar. Aan de andere zijde van deze warmtewisselaar wordt lucht uit het datacenter langs geblazen door een tweede ventilator. De lucht uit het datacenter geeft haar warmte af aan de buitenlucht en neemt zelf de temperatuur van de buitenlucht aan. In tegenstelling tot directe luchtkoeling is de lucht binnen en buiten het datacenter strikt gescheiden. Er kan niet kouder worden gekoeld dan de buitenlucht.

Het energiegebruik van indirecte luchtkoeling is laag, omdat er alleen twee ventilatoren nodig zijn. Het energiegebruik van de buitenluchtventilator neemt toe bij hogere buitentemperaturen. Het koelvermogen van de lucht neemt bij hogere temperaturen namelijk af, waardoor er meer lucht nodig is en de ventilator daarvoor harder moet draaien. Vanaf 25 °C buitentemperatuur kan indirecte luchtkoeling niet langer voorzien in de koelvraag.

Luchtkoeling gebruikt geen water.



Figuur B3: Benadering van het verloop van de COP van directe en indirecte luchtkoeling afhankelijk van de buitentemperatuur. Data is een samenstelling uit meerdere praktijk- en simulatiedata.

4 Adiabatische koeling

Bij adiabatische koeling, ook wel verdampingskoeling genoemd, wordt water verdampt. De energie die nodig is om het water te verdampen wordt onttrokken uit de lucht. Hierdoor kunnen temperaturen lager dan de buitenluchttemperatuur worden bereikt.

Welke temperatuur bereikt kan worden hangt af van de combinatie van de buitenluchttemperatuur en de vochtigheidsgraad. Een voorbeeld, als de buitenlucht 25 °C is met een luchtvochtigheid van 60%, dan is de laagste temperatuur die bereikt kan worden met verdampingskoeling 19,4 °C. Deze temperatuur heet de natteboltemperatuur en kan met een Mollier diagram worden bepaald. Hoe lager de luchtvochtigheid, hoe lager de natteboltemperatuur.

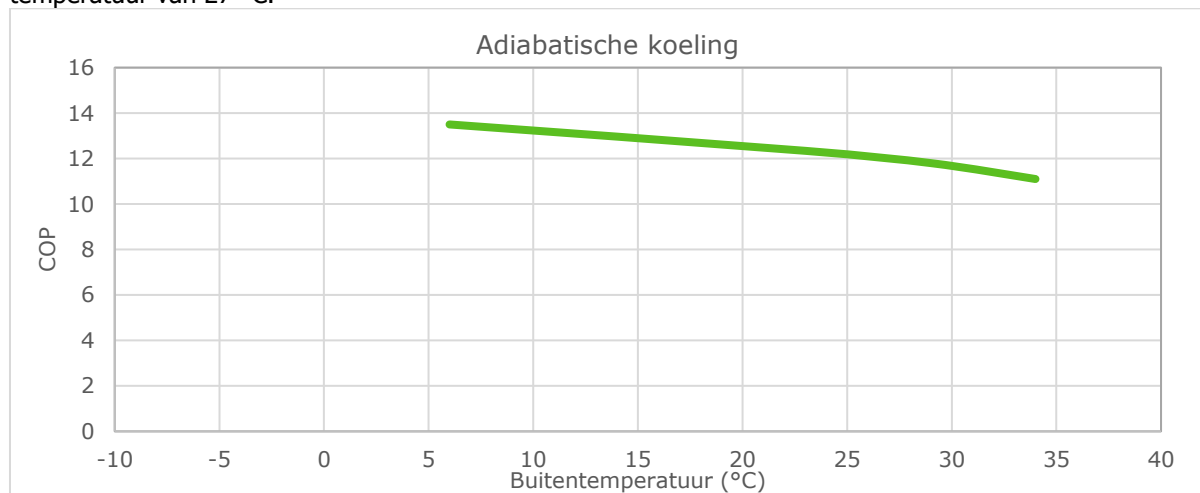
Er zijn verschillende vormen van adiabatische koeling:

- 1 Open (natte) koeltoren, waarin het koudwatercircuit in direct contact staat met het water in de koeltoren. Doordat water in de koeltoren verdampt wordt door er buitenlucht doorheen te blazen, koelt het water tot onder de buitentemperatuur lucht uit. Open koeltorens zijn gevoelig voor vervuiling van het koelwatercircuit door het directe contact met de buitenlucht.
- 2 Gesloten (natte) koeltoren, waarin het koudwatercircuit is gescheiden van het watersysteem van de koeltoren koeltoren, om zo vervuiling tegen te gaan.
- 3 Via verneveling van de warmtewisselaar platen in bijvoorbeeld een droge koeler of indirecte luchtkoeler.
- 4 Via verneveling bij directe luchtkoeling. Deze vorm wordt binnen datacenters niet gebruikt. De koellucht is dan namelijk verzadigd met water en de hoge luchtvochtigheid kan corrosie of kortsluiting in IT-apparatuur veroorzaken.

Verneveling heeft hierbij de voorkeur, omdat deze een relatief lager watergebruik hebben dan open en gesloten koeltorens.

Adiabatische koeling via verneveling wordt alleen gebruikt als de buitenluchttemperatuur te hoog is om zonder verdamping te kunnen koelen (bijvoorbeeld met een droge koeler of indirecte luchtkoeling).

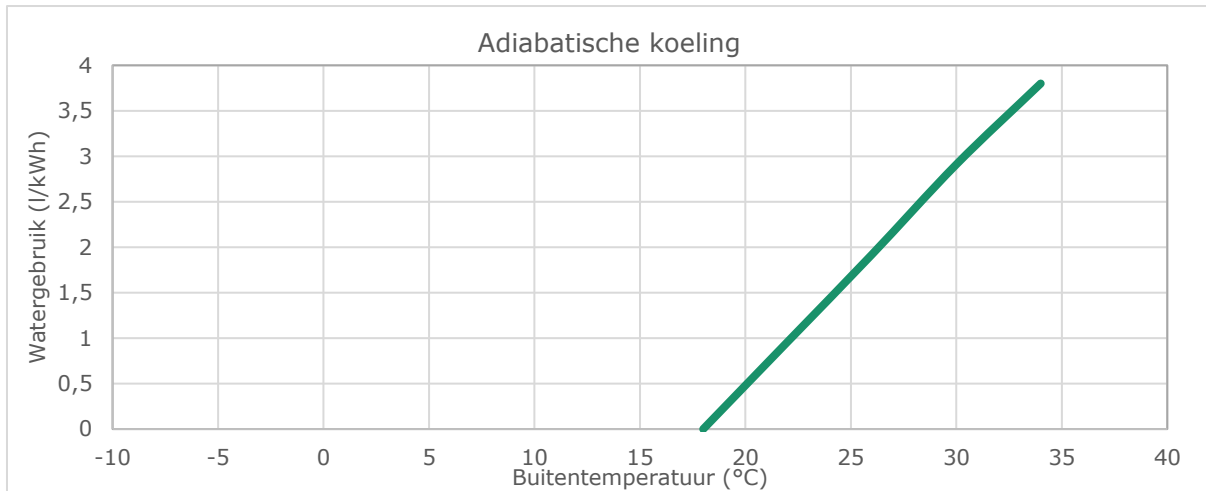
Het energiegebruik van adiabatische koeling is laag omdat deze alleen gebruik maakt van pompen en/of ventilatoren. Bij koude buitentemperaturen vindt er vrijwel geen verdamping plaats. Adiabatische koeling is in Nederland voor datacenters mogelijk tot buitentemperaturen van ongeveer 35 °C bij een koude gang temperatuur van 27 °C.



Figuur B4: Benadering van het verloop van de COP van directe luchtkoeling afhankelijk van de buitentemperatuur. Data is een samenstelling uit meerdere praktijk- en simulatiedata.

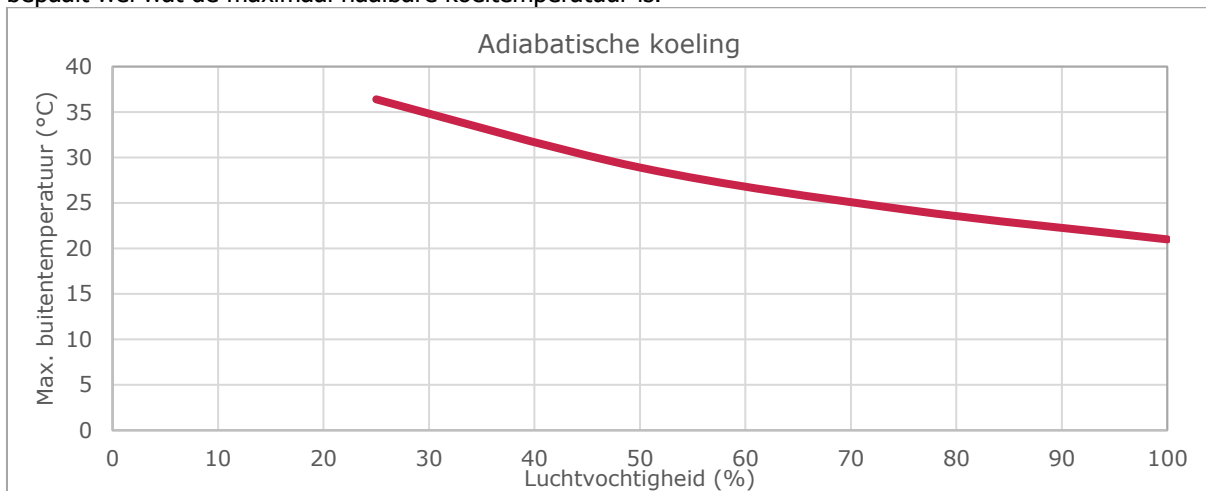
Adiabatische koeling maakt gebruik van water voor verdamping. De hoeveelheid water die nodig is hangt af van de buitentemperatuur en de gewenste koeltemperatuur, maar ook de retourtemperatuur van het koelwatercircuit in het datacenter. In Figuur 7 staat de hoeveelheid water die daadwerkelijk verdampt wordt weergegeven. Het werkelijke watergebruik ligt echter veel hoger, vanwege de voorbehandeling van water (reverse osmose) en indikking.

Water- en elektriciteitsgebruik van koeltechnieken in datacenters, Fit for 55



Figuur B5: Benadering van het verloop van het watergebruik per kWh aan koeling, aangenomen dat het koelwater 21 °C is. Data is theoretisch is op basis van het Mollier diagram.

De luchtvochtigheid van de buitenlucht heeft een verwaarloosbare impact op het watergebruik, maar bepaalt wel wat de maximaal haalbare koeltemperatuur is.



Figuur B6: Benadering van de maximale buitentemperatuur en luchtvochtigheid waarbij nog net koelwater van 21 °C kan worden gegenereerd. Data is theoretisch op basis van het Mollier diagram.

5 Open bodemenergiesysteem

Bij een warmte en koudeopslag, kortweg bodemenergiesysteem, worden specifieke grondlagen (zogenaaamde 'watervoerende zandpakketten') gebruikt om warmte en koude in op te slaan. Bij een datacenter wordt koud water opgepompt en gebruikt voor koeling. Het opgewarmde water wordt vervolgens weer de grond in teruggepompt.

In de wintermaanden wordt de bodem weer gekoeld door het water op te pompen, af te koelen met bijvoorbeeld de winterbuitenlucht en daarna weer terug te pompen. Een bodemenergiesysteem kan dus niet het hele jaar door gebruikt worden om te koelen. Soms wordt een bodemenergiesysteem gedeeld met een ander gebouw. Dit gebouw haalt dan in de winter de warmte uit de grond.

Het energiegebruik van een bodemenergiesysteem is te vinden in het elektriciteitsgebruik van de bronpomp. Deze hangt af van de eigenschappen van het bodemenergiesysteem, zoals welke grondlagen worden gebruikt en het temperatuurverschil tussen de warme en koude waterstroom. Gemiddeld genomen gebruikt de pomp ongeveer 0,028 kWh aan elektriciteit voor elke kWh aan warmte of koude dat aan de bron wordt onttrokken. Dit komt overeen met een COP van 35.

Omdat een datacenter alleen de koude gebruikt, maar deze in de winter weer terug in de bodem moet brengen, moet water een tweede keer verpompt worden. Daarbij wordt een droge koeler gebruikt om het

Water- en elektriciteitsgebruik van koeltechnieken in datacenters, Fit for 55

water te koelen als het van de warme naar de koude bron wordt gepompt. Verder moet het water in de zomer gedistribueerd worden naar de IT-apparatuur via de zaalkoelers. De COP komt daarmee uit op ongeveer 8. Dit is vrijwel onafhankelijk van de buitentemperatuur. Met een bodemenergiesysteem kan altijd gekoeld worden, ongeacht de buitentemperatuur.

Als het datacenter een bodemenergiesysteem deelt met een ander bedrijf dat warmte in de winter nodig heeft, is regeneratie niet nodig. Het koelen van de bron komt dan op conto van het andere bedrijf (wat daarvoor efficiënte verwarming voor terug krijgt), De COP komt dan op ongeveer 11 uit.

Om 1 kWh aan koude te leveren moet 86 liter aan water worden verpompt (en in de wintermaanden weer teruggepompt). Binnen de huidige definitie van de WUE is echter niet duidelijk of dit als watergebruik moet worden aangemerkt. In principe bevindt het bodemenergiesysteem namelijk na 1 jaar gebruik weer in precies dezelfde toestand. Daarnaast is er wetgeving vereist dat bodemenergiesysteem-systemen qua energie en water in balans moeten zijn. Daarom wordt in dit rapport het verpompen van water in bodemenergiesysteem-systemen niet aangemerkt als watergebruik.

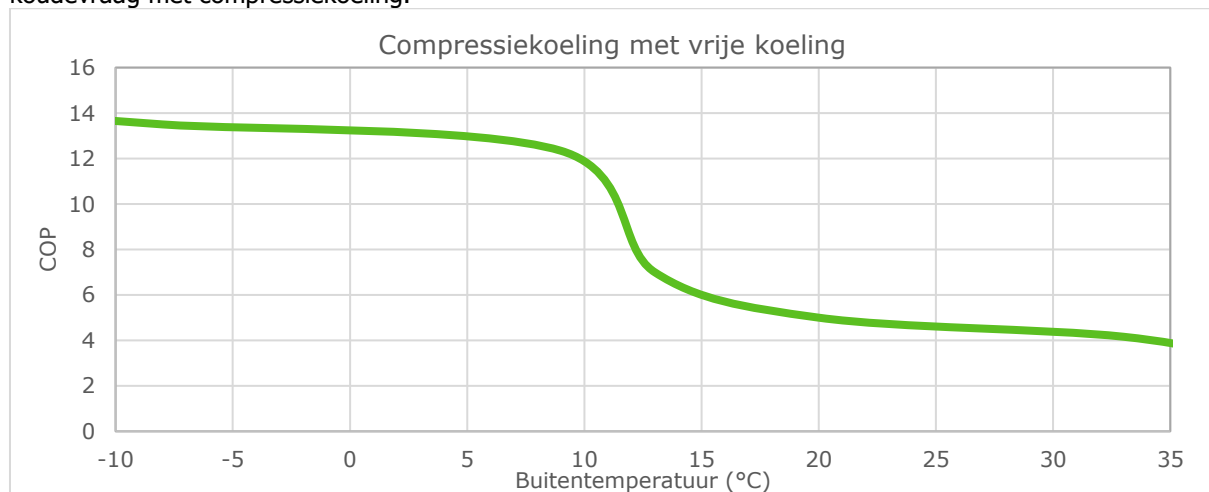
De filters in een bodemenergiesysteem-systeem kunnen verstopt raken met vuil. Doorgaans wordt daarom twee keer per jaar onder hoge debiet deze filters schoongemaakt. Het vuil water wordt geloosd. Hoeveel water hiervoor nodig hangt heel sterk af van de vervuiling en kan oplopen tot 0,5% van het jaarlijkse hoeveelheid water dat verpompt wordt [9]. Dit komt neer op ongeveer 0,86 liter per kWh geleverde koude.

6 Combinatie compressie met vrije koeling

Een veelgebruikte combinatie van koeltechnieken zijn een droge koeler voor de dagen met een lage buitentemperatuur en compressiekoeling voor de warme dagen. Het betreft hierbij veelal een geïntegreerd koelsysteem, waarbij de compressor uitgeschakeld kan worden en zo overgestapt wordt op 'vrije koeling'. De condensor van de compressiekoelmachine acteert dan als droge koeler.

Er is een transitiegebied waarbij zowel de droge koeler als compressiekoeler in deellast draaien. Het werkelijk energiegebruik is sterk afhankelijk van waar het transitiegebied ligt. Dit gebied ligt ergens tussen de 10 en 25 °C en is afhankelijk van ontwerpkeuzes, zoals de temperatuur op de datavloer en de aanvoer/retourtemperaturen van het koelmedium. Deze keuzes hebben veel invloed op het totale energiegebruik, omdat het transitiegebied precies bij buitentemperaturen die veel voorkomen in een jaar.

Een kleine verschuiving van het transitiegebied levert daardoor grote verschillen in energiegebruik op. In de praktijk wordt ongeveer 2/3 van de jaarlijkse koudevraag afgedekt met vrije koeling en 1/3 van de koudevraag met compressiekoeling.



Figuur B7: Benadering van het verloop van de COP van compressiekoeling met vrije koeling afhankelijk van de buitentemperatuur. Data is een samenstelling uit meerdere praktijk- en simulatiedata.

De gewogen gemiddelde COP op basis van Figuur 9 komt uit op 9,8. Daarbij is aangenomen dat de compressiekoelmachine modern is en bijvoorbeeld gebruik maakt van inverter compressoren en/of modulair is. Oudere compressiekoelmachines hebben een COP die lager ligt en/of bij een lagere buitentemperatuur al overschakelt op compressiekoeling. De COP kan hierdoor een stuk lager liggen.

Water- en elektriciteitsgebruik van koeltechnieken in datacenters, Fit for 55

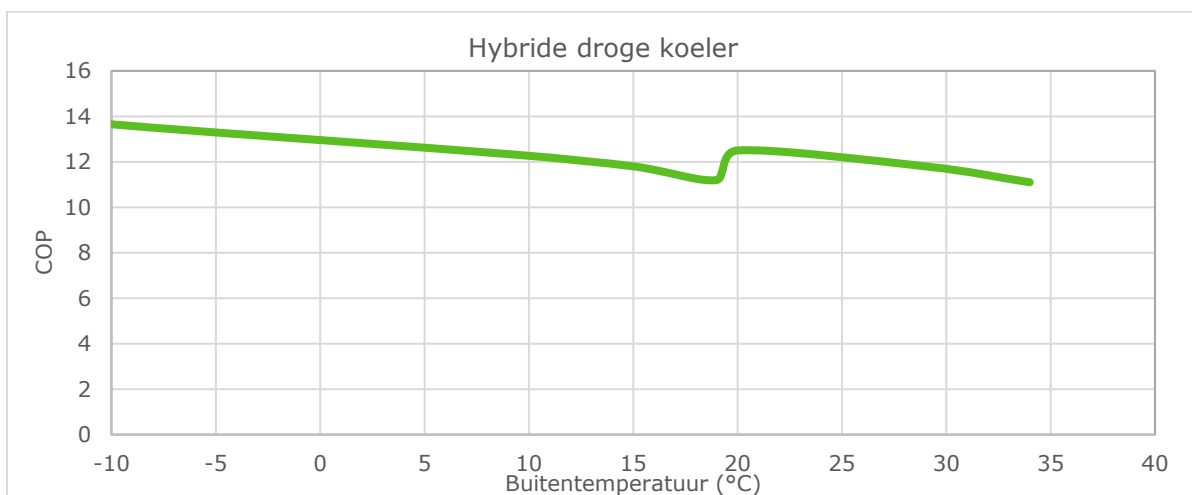
Er is geen watergebruik, waardoor de WUE op 0,0 komt.

7 Combinatie Hybride droge koeler

Een populair wordend koeltechniek is de hybride droge koeler. Dit betreft een droge koeler, waarbij adiabatische koeling is geïntegreerd. Bij lage buitentemperaturen draait de hybride droge koeler als gewone droge koeler. Bij toenemende buitentemperaturen zal de ventilator in de droge koeler harder moeten draaien, waardoor het energiegebruik toeneemt.

Bij verdere stijging van de buitentemperatuur zal er onvoldoende koelcapaciteit zijn, waardoor de waterverneveling wordt opgestart. Door het grote koeffect hiervan, hoeft de ventilator in eerste instantie minder hard te draaien. Bij verdere toename van de buitentemperatuur zal de waterverneveling toenemen alsook het ventilatorvermogen.

De gewogen gemiddelde COP komt uit op 12,0. De WUE is sterk afhankelijk van systeemkeuzen. Als adiabatisch bedrijf plaats vindt vanaf 20 °C buitentemperatuur, dan is de WUE 0,15-0,2. Bij adiabatisch bedrijf van 15 °C is deze 0,3-0,5 en bij nat bedrijf vanaf 10 °C tussen 0,6-0,9 [11].



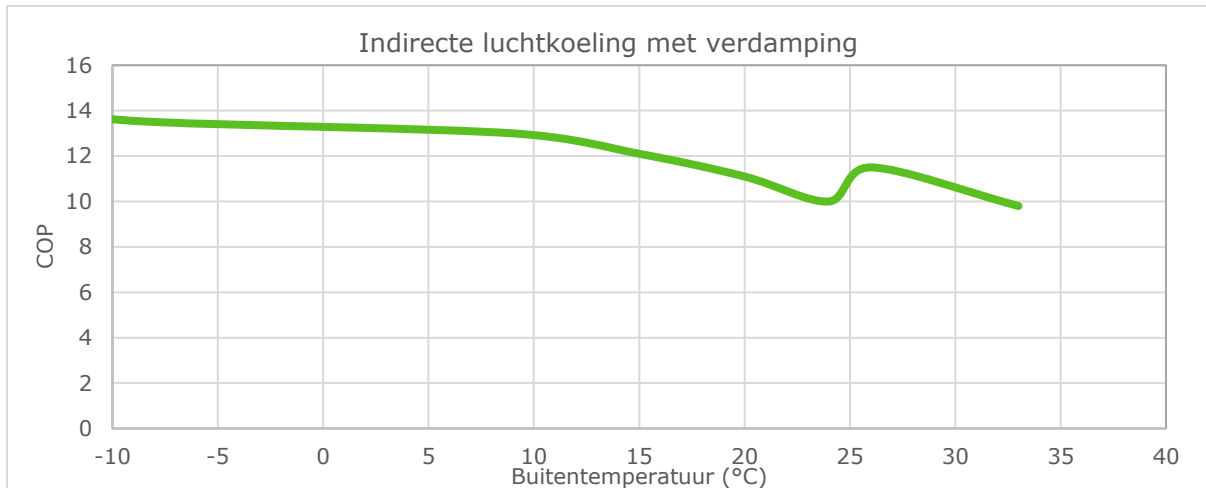
Figuur B8: Benadering van het verloop van de COP van een hybride droge koeling afhankelijk van de buitentemperatuur. De COP 'sprong' bij 20 °C is het moment dat adiabatische koeling wordt ingeschakeld. Data is een samenstelling uit meerdere praktijk- en simulatiedata.

8 Indirecte luchtkoeling met verdamping

Een alternatief op de hybride droge koeler is indirecte luchtkoeling met verdamping. Bij lagere temperaturen wordt er alleen met lucht gekoeld, bij hogere buitentemperaturen wordt er ook water verneveld om zo adiabatisch te koelen. Voorbeelden van deze type koeling zijn o.a. het Kyoto wiel en AirAtWork.

De gewogen gemiddelde COP komt uit op 12,6. De WUE ligt tussen de 0,02-0,1 afhankelijk van de buitentemperatuur waarbij adiabatische koeling bijschakelt.

Water- en elektriciteitsgebruik van koeltechnieken in datacenters, Fit for 55

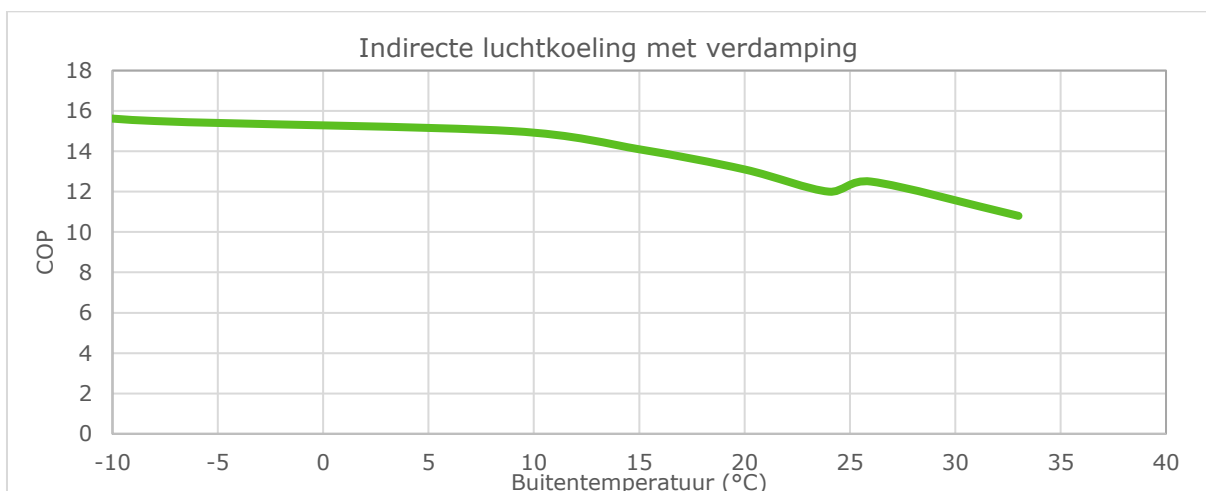


Figuur B9: Benadering van het verloop van de COP van een indirecte luchtkoeler met verdamping afhankelijk van de buitentemperatuur. De COP 'sprong' bij 25 °C is het moment dat adiabatische koeling wordt ingeschakeld. Data is een samenstelling uit meerdere praktijk- en simulatiedata.

9 Directe luchtkoeling met verdamping

Bij directe luchtkoeling met verdamping wordt bij lagere temperaturen er alleen met lucht gekoeld, bij hogere buitentemperaturen wordt er ook water verneveld om zo adiabatisch te koelen. Het water verdamt in de aangezogen buitenlucht. Deze vochtige buitenlucht wordt vervolgens direct in de koude gang geblazen.

De gewogen gemiddelde COP komt uit op 14,6. De WUE ligt tussen de 0,02-0,1 afhankelijk van de buitentemperatuur waarbij adiabatische koeling bijgeschakelt.



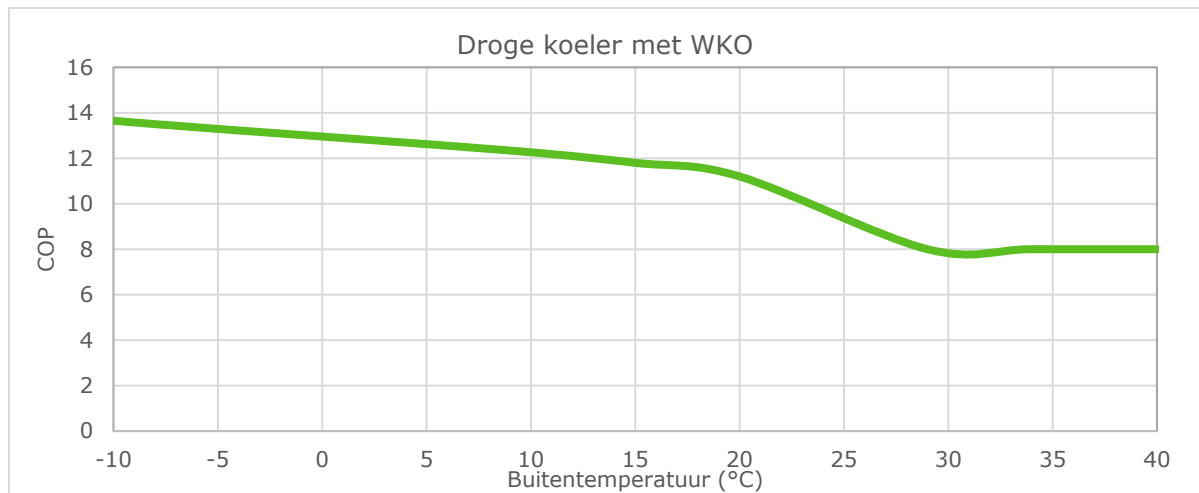
Figuur B10: Benadering van het verloop van de COP van een directe luchtkoeler met verdamping afhankelijk van de buitentemperatuur. De COP 'sprong' bij 25 °C is het moment dat adiabatische koeling wordt ingeschakeld. Data is een samenstelling uit meerdere praktijk- en simulatiedata.

10 Combinatie droge koeler en open bodemenergiesysteem

Bodemenergiesystemen zien steeds meer populariteit bij datacenters doordat zij bij hoge buitentemperaturen nog steeds maximaal kunnen koelen. Bij lage buitentemperaturen is een droge koeler voldoende om te koelen. De gewogen gemiddelde COP komt uit op 11,8. De WUE is ongeveer 0,04 voor het spuiwater.

Wordt het bodemenergiesysteem in de winter geregenereerd door een ander gebouw met warmtevraag, dan is de gemiddelde COP voor het datacenter van 12,0. De WUE halveert naar ongeveer 0,02.

Water- en elektriciteitsgebruik van koeltechnieken in datacenters, Fit for 55



Figuur B11: Benadering van het verloop van de COP van een droge koeler met bodemenergiesysteem afhankelijk van de buitentemperatuur. Data is een samenstelling uit meerdere praktijk- en simulatiedata.

