



# **BIG DATA OP EEN DODE PLANEET: DE VERWAARLOOSDE MILIEUEFFECTEN VAN DE DIGITALE TRANSITIE**

## Auteurs

Javier Felipe Andreu (jfelipe@unizar.es) Alicia Valero Delgado (aliciavd@unizar.es) en Jorge Torrubia Torralba (jtorrubia@unizar.es) van het Onderzoekscentrum voor energiebronnen en –gebruik (CIRCE Instituut), Universiteit van Zaragoza, CIRCE-gebouw, Campus Rio Ebro, Mariano Esquillor Gómez, 15, 50018 Zaragoza, Spanje.

Lidia Ríos Vera (lirios.vera@terraqui.com) en Christian Morron Lingl (cmorron@terraqui.com) van Terraqui Avinguda Diagonal, 527 1o 1a 08029 Barcelona

Versie 2.0 15 november 2022



B-1047 Brussels, Belgium  
+32 (0)2 283 23 01  
left-communications@europarl.europa.eu  
www.left.eu



# INHOUD

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>EFFECTEN</b>	<b>9</b>
	2.1 Milieueffecten	9
	2.2 Water	11
	2.3 Energie	12
	2.3.1 Energiebesparing op IT	12
	2.3.2 Energiebesparing op de koeling	13
	2.3.3 Vermogensdichtheid van serverkasten	14
	2.3.4 Energie-integratie	15
	2.4 Grondstoffen	16
	2.5 Maatschappelijke aspecten	18
	2.5.1 Digitalisering van de maatschappij	18
<b>3</b>	<b>BELEID</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>CASE STUDIES</b>	<b>25</b>
	4.1 Ierland	25
	4.1.1 Wettelijk en politiek kader in Ierland	26
	4.2 Nederland	27
	4.2.1 Wettelijk en politiek kader in Nederland	27
	4.3 Zweden	28
	4.3.1 Wettelijk en politiek kader in Zweden	29
	4.4 Het effect van datacentra in deze voorbeelden	30
<b>5</b>	<b>BELEIDSVOORSTELLEN</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSIES</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>FIGUREN</b>	<b>38</b>
<b>8</b>	<b>TABELLEN</b>	<b>39</b>
<b>9</b>	<b>LITERATUURREFERENTIES</b>	<b>40</b>



# INLEIDING

Datacentra zijn grote hallen waar de noodzakelijke apparatuur voor het verwerken van de informatie van een organisatie is geconcentreerd; ze fungeren als centrale opslagruimte voor het verzamelen, opslaan en versturen van informatie. De voornaamste ruimtes in een datacenter zijn: de IT-ruimte, de ondersteuningsruimte die het energie- en koelsysteem bevat, en kantoren (Sovacool, Monyei en Upham,

2022). De IT ruimte bestaat uit een zaal waar de IT apparatuur zich bevindt in de vorm van stellingen vol servers, zie figuur 1. In de servers worden de data ofwel informatie opgeslagen. Omdat alle apparatuur elektronisch is, werken datacentra op elektriciteit en bezitten ze gewoonlijk back-upsystemen.



Fig. 1 Een IT-ruimte met stellingen vol servers. Bron: Imagen (FS gemeenschap 2021).

Digitalisering en nieuwe digitale technologieën leiden in de meeste economische sectoren tot een groeiende vraag naar data (IEA 2017). Tot de digitale diensten behoren het internet der dingen (internet of things, IoT), 5G, blockchain, crypto, kunstmatige intelligentie, zelflerende systemen en virtuele werkelijkheid. De snelle groei van videoverkeer via mobile netwerken bedraagt bijvoorbeeld 55 procent per jaar (IEA 2020) en de verwachting is dat deze groei veelvoudig zal toenemen naarmate de kwaliteit van de videobeelden verbetert (CISCO 2020). Wereldwijd zou de hoeveelheid data kunnen toenemen van 33 ZB in 2018 tot 175 ZB in 2025 (Fenn en Fesch, 2020). Deze voorspellingen worden

vaak al weer snel bijgesteld, zoals blijkt uit de meest recente voorspelling die uitgaat van 181 ZB in 2025 (Statista Research Department 2022), fig. 2. Gezien de plannen voor de 'digitale transitie' zal deze trend zich in de EU verder doorzetten (Europese Commissie 2022b).

Het is van belang om te onderstrepen dat 55 procent van de data die door organisaties worden geproduceerd slechts één keer wordt gebruikt (Jackson en Hodgkinson 2022); dat betekent dat een groot deel van de opgeslagen informatie nutteloos is.



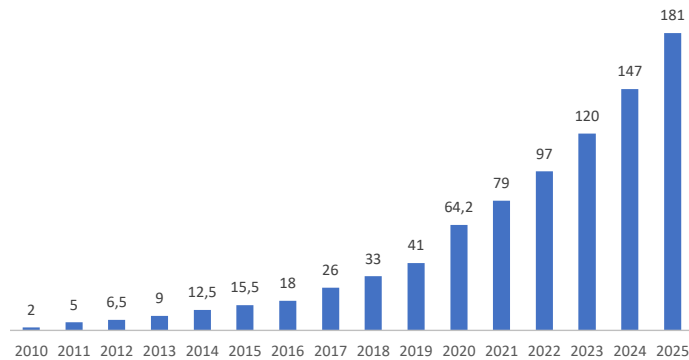


Fig. 2 De hoeveelheid mondiaal geproduceerde data in zettabytes (ZB). Bron: Statista Research Department 2022).

Omdat deze behoefte aan rekencapaciteit de afgelopen jaren explosief is toegenomen, is de behoefte aan datacentra, netwerkverkeer en werklast sterk gegroeid. Ondanks die sterke groei is het elektriciteitsgebruik van datacentra minder snel toegenomen (Masanet et al. 2020). In het linkerdeel van fig. 3 zijn de toename in internetverkeer, de hoeveelheid data, de werklast van de datacentra en het aantal internetgebruikers vergeleken met de energiebehoefte van datacentra. Sinds 2015 is het internetverkeer meer dan vervijfvoudigd, de werklast verdrievoudigd, maar is het energieverbruik van datacentra met 40 procent toegenomen. Dat is te danken aan steeds efficiëntere IT-hardware en een verschuiving naar hyperscale datacentra (Masanet et al. 2020). In het rechterdeel van fig. 3 is de toename van de energiebehoefte<sup>1</sup> van datacentra, netwerken

voor informatieoverdracht en cryptomining sinds 2015 te zien. In 2021 was het elektriciteitsgebruik van datacentra 220-320 TWh (1 TWh = 1 miljard kilowattuur), ongeveer 1 procent van alle elektriciteit wereldwijd. Het energieverbruik voor cryptomining was in 2021 100-140 TWh en 60-70 TWh in 2020 (IEA 2022b), een dertigvoudige toename sinds 2015. Het elektriciteitsverbruik voor de digitale dataverkeer bedroeg in 2021 260-340 TWh (IEA 2022b). In 2021 waren ze samen goed voor 2,9 procent van het wereldwijde elektriciteitsgebruik en voor 0,9 procent van de mondiale CO<sub>2</sub> uitstoot, veroorzaakt door verbranding voor de energieproductie en industriële processen<sup>2</sup>.

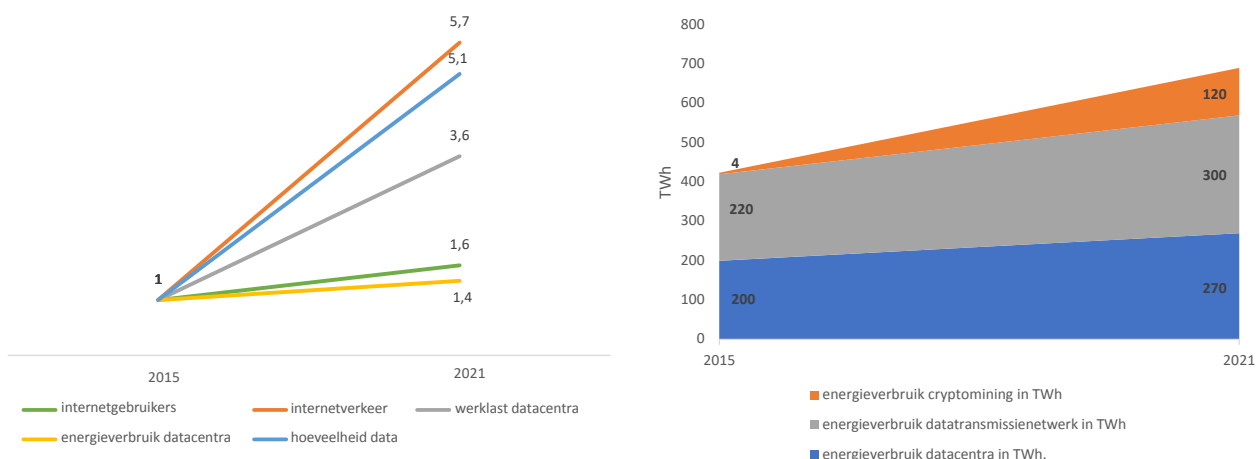


Fig. 3 Links: De factor waarmee het internetverkeer, de werklast van datacentra, de hoeveelheid data en het energieverbruik sinds 2015 zijn toegenomen. Rechts: De energiebehoefte van data centra, transmissienetwerken en cryptomining wereldwijd. Bron: IEA 2022b en Statista Research Department 2022).

1 Hoewel in de literatuur over de totale energiebehoefte in datacentra geen overeenstemming bestaat, geven wij hier de meest recente resultaten van het IEA weer (IEA 2022b).  
 2 Dit zijn schattingen op grond van de gemiddelde mondiale emissies die gepaard gaan met de elektriciteitsproductie van 475gCO<sub>2</sub> eq/kWh en de emissies van de mondiale verbranding ten behoeve van energieproductie en industriële processen van 36,3 Gt CO<sub>2</sub>(IEA 2022a). Als we kijken naar de emissie van broeikasgassen in 2019: 49,76 Gt CO<sub>2</sub> (gemeten in CO<sub>2</sub> equivalenten), vertegenwoordigen de emissies van datacentra, cryptomining en netwerken 0,66% van de mondiale emissies van broeikasgassen (Ritchie en Roser 2022).

In Europa is de behoefte aan elektriciteit de laatste tijd gestaag toegenomen, zie fig. 4. Volgens een schatting van het Joint Research Centre (JRC) bedroeg die elektriciteitsbehoefte voor datacentra in 2020 104 TWh (3,7 procent van de totale Europese elektriciteitsbehoefte) en zal hij in 2030 zijn opgelopen tot 160 TWh (Dodd et al. 2020). Dat kan de

EU-plannen voor de energietransitie – die onlangs enigszins zijn veranderd als reactie op de Russische invasie van Oekraïne en de daaruit voortvloeiende beslissing om onafhankelijk te worden van Russische energiebronnen – ingewikkelder maken en bovendien de vraag verminderen.

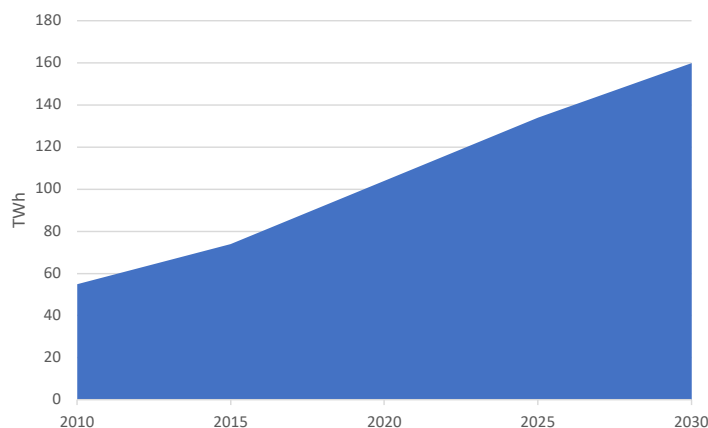


Fig. 4 Het energieverbruik van datacentra in Europa. (Bron: Dodd et al. 2020).

Het complexe karakter van de directe en indirecte effecten van digitale dienstverlening maakt het buitengewoon lastig om de netto-milieu-effecten van datacentra en digitalisering te kwantificeren. De alternatieve vormen van energiegebruik zoals dat voor toegang tot streaming media, hebben een duidelijke terugslag op de elektriciteitsbehoefte en systeemeisen (IEA 2020). Daarnaast worden ook andere effecten zoals het gebruik van water en grondstoffen onderwerp van het publieke debat. Dit rapport richt zich daarom zowel op de directe als de indirecte effecten van datacentra.

In paragraaf 2 kijken we naar de effecten van datacentra. We verdelen ze in milieueffecten, effecten op water, energie en grondstoffen, en maatschappelijke effecten. In paragraaf 3 geven we een korte samenvatting van het huidige beleid ten aanzien van datacentra. Paragraaf 4 beschrijft de situatie in Ierland, Nederland en Zweden en het wettelijke en politieke kader in die landen als specifieke voorbeelden binnen de EU. In paragraaf 5 doen we aan de hand van het huidige beleid, de effecten zoals die beschreven worden in paragraaf 2 en de casestudies, beleidsvoorstellen om de effecten van datacentra te verminderen. Paragraaf 6 sluit af met de belangrijkste aspecten waarover moet worden nagedacht.





# EFFECTEN

Gewoonlijk onderscheiden we drie fasen waarin datacentra effect hebben op het milieu: de productie- of bouwfase, de fase waarin ze operationeel zijn, en de fase van de ontmanteling. De productiefase verwijst naar de stappen van de aanschaf van grondstoffen, de constructie van geïntegreerde circuits, de bouw van de datacentra, de opstelling van de servers en de montage. De operationele fase verwijst naar het gebruik, de levensduur van de hardware en het energieverbruik. Ontmanteling is het verwijderen van materialen. Wij laten de effecten van datacentra zien voor zover daarover gegevens beschikbaar zijn. Het verzamelen van die gegevens was een van de moeilijkste opgaven als gevolg van het gebrek aan transparantie.

## 2.1 MILIEUEFFECTEN

Levenscyclusanalyse (LCA) is een techniek die alle processen van de wieg tot het graf onderzoekt. Als deze methode wordt toegepast op datacentra blijkt dat het milieueffect het grootst is tijdens de operationele fase (80%); de productiefase is verantwoordelijk voor 19,78% en de ontmantelingsfase

heeft een minimaal effect (Whitehead, Andrews & Shah 2015). Dat komt door het gebruik van fossiele brandstoffen als bron voor elektrische energie en het dumpen van carcinogene afvalproducten die vrijkomen bij de zuivering van metalen tijdens de vervaardiging van IT-onderdelen en distributienetwerken voor elektriciteit (Flucker, Tozer & Whitehead 2018).

In figuur 5 wordt de uitstoot van CO<sub>2</sub><sup>3</sup> gedurende de driejarige levensduur van een server vergeleken aan de hand van de gebruikte elektriciteitsbron. In de vergelijking zijn opgenomen: Zweden, dat dankzij hernieuwbare energie en kernenergie een lage CO<sub>2</sub>-emissie heeft (8gCO<sub>2</sub>/kWh); Ierland (281 gCO<sub>2</sub>/kWh) en Nederland (333 gCO<sub>2</sub>/kWh) (EEA2021)<sup>4</sup>, het mondiale gemiddelde (475 gCO<sub>2</sub>/kWh (IEA 2019)) en de uitstoot bij het gebruik van uitsluitend fossiele brandstoffen (490 gCO<sub>2</sub>/kWh voor aardgas en 820 gCO<sub>2</sub>/kWh voor steenkool). De operationele fase van de server is vergeleken met de constructiefase van de server. De bouw van een Dell rack server vergt 471 kg CO<sub>2</sub> equivalenten (M. Stutz, O'Connell en Pflueger 2012).

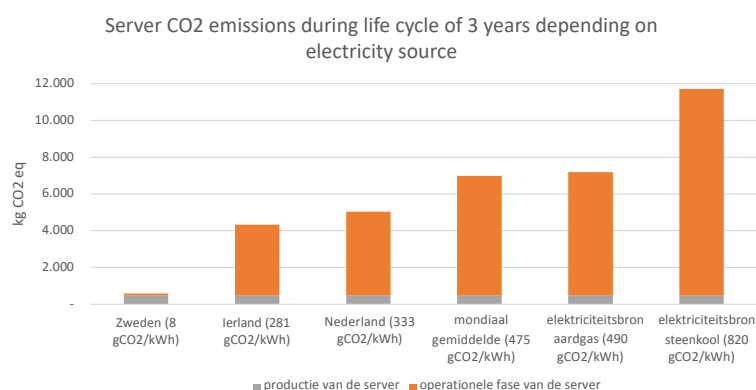


Fig. 5 Emissie van een Dell server, afhankelijk van de elektriciteitsbron, tijdens een levensduur van drie jaar.

<sup>3</sup> Om de elektriciteitssystemen te kunnen vergelijken zijn de berekeningen gemaakt op basis van de CO<sub>2</sub> – emissie. Andere milieueffecten als gevolg van straling of het gebruik van afval voor de opwekking van elektriciteit zijn niet meegerekend, maar dat betekent niet dat het effect daarvan onbelangrijk is.

<sup>4</sup> Levensduur-emissies van duurzame bronnen zijn niet opgenomen, omdat sommige andere informatiebronnen andere emissiewaarden geven: voor Zweden 29gCO<sub>2</sub>/kWh, voor Ierland 313gCO<sub>2</sub>/kWh en voor Nederland 516gCO<sub>2</sub>/kWh. (Nowtricity 2022).

Als de elektriciteit wordt geleverd door bronnen met een lage CO<sub>2</sub> - uitstoot, is het energieverbruik tijdens de operationele fase het belangrijkste vervuilende effect. [Hier is m.i. de Engelse tekst incorrect; het "do not" moet vervallen] Daarom moeten we ons vooral toelagen op de vervanging van de energiebronnen door duurzame bronnen en op de vermindering van de elektriciteitsbehoefte van IT-apparatuur. Sinds kort zijn datacentra duurzame energie gaan inkopen om in hun elektriciteitsbehoefte te voorzien door stroomafnamecontracten – PPA's (power purchase agreements). Deze aanpak is controversieel omdat het niet het fysieke gebruik van duurzame energie uit het netwerk impliceert, maar eerder dient om de boekhouding van het bedrijf in balans te brengen (Schulze 2022). Het milieueffect in de operationele fase is aanzienlijk kleiner als de

elektriciteit wordt geleverd door duurzame energiebronnen met een CO<sub>2</sub>-uitstoot van nul. Als we Zweden nemen als voorbeeld van een land met energiebronnen die weinig CO<sub>2</sub> uitstoten, is de emissie als gevolg van de productie van IT-producten de belangrijkste factor, namelijk 77 procent van de totale emissie tijdens de driejarige levensduur van de server (bij vervanging na drie jaar). De operationele periode van de server en de ontmanteling ervan nemen 22% respectievelijk 1% voor hun rekening (Fenn & Fesch 2020). Zie figuur 6, links. Wanneer de emissie tijdens de hele levensduur gedurende de bouw van duurzame energiecentrales zou worden meegerekend (Nowtricity 2022) – zie figuur 6, rechts – zou de CO<sub>2</sub> – emissie van de server tijdens de operationele fase hoger zijn, maar nog altijd lager dan die tijdens de bouw, namelijk 54% van de emissie.

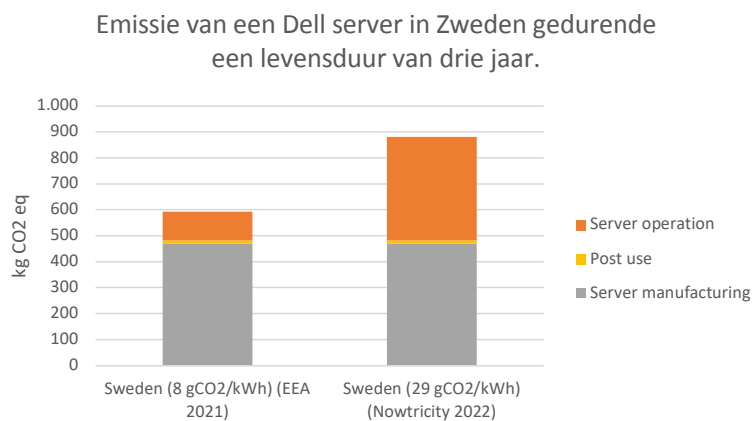


Fig. 6 Emissie van een Dell server in Zweden gedurende een levensduur van drie jaar.

Ervan uitgaande dat de elektriciteit wordt geleverd door duurzame energie via PPA's, blijkt uit recente studies dat scope<sup>5</sup> 3 op weg is om de belangrijkste CO<sub>2</sub>-emissie te worden voor bedrijven als Facebook en Google, zie fig. 7 (Gupta et al. 2021). Dat geldt des te meer als we kijken naar de verandering in de informatievoorziening over de hardware-voetafdruk. Bovendien verzamelde slechts 12 procent van de respondenten in een recent onderzoek gegevens over de CO<sub>2</sub> emissie van scope 1, 2, en 3 in hun datacentra (Davis et al. 2022). Dat onderstreept hoe belangrijk het is om de berekening van en de informatie over de CO<sub>2</sub>-emissie te verbeteren.

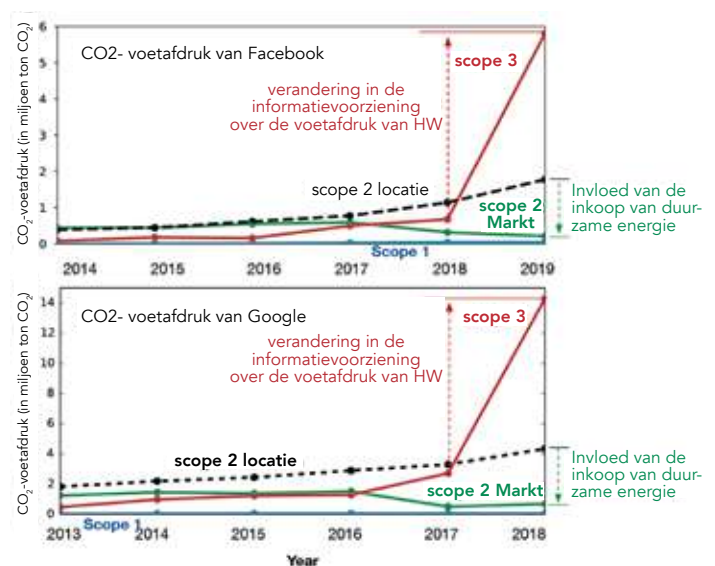


Fig. 7 De CO<sub>2</sub>-voetafdruk van Facebook en Google. (Bron: Gupta et a. 2021)

<sup>5</sup> scope 1 (blauw) van de CO<sub>2</sub> - uitstoot is afkomstig uit het gebruik van koelstoffen, aardgas en diesel door datacentra. scope 2 (groen) van de CO<sub>2</sub> - uitstoot wordt bepaald door de ingekochte elektriciteit. scope 3 (rood) van de CO<sub>2</sub> - uitstoot wordt veroorzaakt door de toeleveringsketen inclusief woon-werkverkeer van het personeel, de bouw en de vervaardiging van de hardware (Gupta et al. 2021).

De emissie van bedrijven als Intel, AMD en TSMC die gebruikmaken van duurzame energie kan het milieueffect van de productie van hardware belangrijk verminderen. Maar er zal nog steeds een aanzienlijk effect zijn door het winnen en produceren van grondstoffen, zoals LPG, wafers, pfc's en diffuse emissies, plus het gebruik van chemicaliën en gassen (Gupta et al. 2021).

De levenscyclusanalyse onderstreept het belang van het overschakelen op duurzame energiebronnen en het verbeteren van de energie-efficiëntie om het energieverbruik te verminderen, het verlengen van de levensduur van de server en het overstappen op duurzame energiebronnen tijdens de bouwfase.

## 2.2 WATER

Meestal wordt voor het koelen van datacentra water gebruikt omdat de IT apparatuur warmte produceert die moet worden afgevoerd om beschadiging van de apparatuur te voorkomen. Veel operators van grote datacentra hebben de afgelopen tien jaar gezocht naar manieren om water te besparen, maar de vooruitgang in de sector als geheel verloopt traag. Sommige eigenaars van de grootste datacentra zijn nog maar kortgeleden begonnen met het zorgvuldig documenteren van hun waterverbruik; anderen werken daar nog aan. Slechts 39 procent van de respondenten meldde in een recent onderzoek dat hun organisatie gegevens bijhield over het waterverbruik (Davis et al. 2022), de overige 61 procent deed dat niet, hoofdzakelijk omdat er voor het bedrijf geen voordelen aan verbonden zijn. Dat maakt wel duidelijk dat er nog een lange weg te gaan is.

Sommige traditionele watergekoelde systemen maken voor de warmteafvoer gebruik van koeltorens, die grote hoeveelheden water gebruiken en lozen,

maar minder energie nodig hebben dan luchtgekoelde systemen. In moderne energiezuinige datacentra wordt gebruikgemaakt van koeling door middel van verdamping, omdat dit het energieverbruik aanzienlijk vermindert, hoewel er in vergelijking met luchtkoeling meer water nodig is. Daarom vormt waterschaarste een bedreiging voor de toekomstige groei en de operationele betrouwbaarheid, zeker gezien de recente droogteperiodes in de zomer van 2022 (Judge 2022). Bovendien heeft het afvalwater een aanzienlijk milieueffect omdat het moet worden gezuiverd voordat het op het oppervlaktewater kan worden geloosd. Met dit effect wordt in de levenscyclusanalyse doorgaans geen rekening gehouden vanwege de beperkte hoeveelheid gegevens en het gebrek aan aandacht ervoor (Shah, Chen en Bash 2012).

In reactie op de bezorgdheid over het waterverbruik van datacentra heeft The Green Grid een maat ontwikkeld voor de effectiviteit van watergebruik (WUE). Deze WUE geeft aan hoeveel water wordt gebruikt per kWh verbruikte energie en wordt weergegeven in liter/kWh. De mondiale waterconsumptie in datacentra ligt tussen de 20.188 en 32.806 m<sup>3</sup> per megawatt, wat neerkomt op een gemiddelde WUE van 1,8 liter per kWh (Shehabi et al. 2016).

De huidige tendens bij nieuwe datacentra is het vermijden van watergebruik om te koelen, en het toepassen van andere technieken zoals luchtkoeling, of het gebruik van andere vloeistoffen (Vermeulen en Madsen 2021). Het gemiddelde waterverbruik van moderne datacentra ligt veel lager: zo'n 0,1 liter/kWh (Open Compute Project 2022), 0,27 liter/kWh zoals techreus Facebook meldt (Facebook 2020), zelfs 0 liter/kWh (Open Compute Project 2022), zoals fig. 8 laat zien.

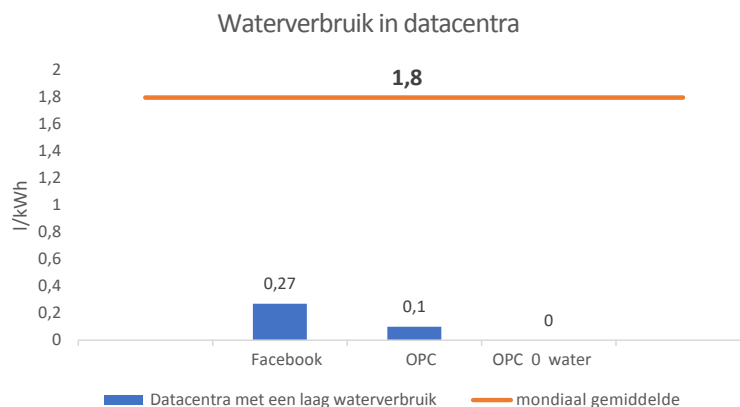


Fig. 8 Het mondiale gemiddelde waterverbruik in datacentra versus datacentra met een laag waterverbruik.

## 2.3 ENERGIE

De inspanningen zijn primair gericht op een vermindering van de energiebehoefte in IT-ruimten, waar het energieverbruik van datacentra het grootst is. Drieënzestig procent van de energiebehoefte van datacentra gaat naar de IT-ruimte, terwijl het koelsysteem de resterende 37 procent voor zijn rekening neemt. Ook zijn er mogelijkheden om de restwarmte van het koelsysteem te hergebruiken, wat de algehele efficiëntie van een datacentrum zou vergroten.

### 2.3.1 Energiebesparing voor IT

Er bestaan besparingstechnieken om de energiebehoefte te verminderen, zoals: hardwarematig dynamisch energiebeheer voor computerclusters en grids, dynamische capaciteitsplanning voor clusters, verplaatsing naar de cloud en virtuele machines (VM) die het dankzij serverconsolidatie mogelijk maken om verscheidene VM's op één hostcomputer te laten functioneren (Zakarya 2018). Deze energiebesparingen hebben geleid tot de formulering van de wet van Moore en de wet van Koomey. Volgens de wet van Moore verdubbelt het werkvermogen (het aantal transistors in een compact geïntegreerd circuit) ongeveer iedere twee jaar, en volgens de wet van Koomey verdubbelt

de energie-efficiëntie van computers iedere 1,5 jaar (Koomey et al. 2011). De wet van Moore lijkt sinds 2000 steeds minder te gelden, omdat er meer tijd nodig is om het werkvermogen te verdubbelen (Jones 2018), wat misschien de mogelijkheden tot verdere energiebesparing die in de sector wordt verwacht beperkt. Het betekent ook hogere kosten, grotere en trager servers en meer servers voor dezelfde werklast dan verwacht.

Maar de toegenomen rekenbehoefte als gevolg van netwerkverkeer en nieuwe werklasten hebben de energie-efficiëntie in de sector met een bescheiden mondiale toename van energie (Bol, Pirson en Dekimpe 2021, IEA 2022b) en een vergroting van de mondiale CO<sub>2</sub>-voetafdruk overschreden, zie fig. 3. Extrapolatie naar de toekomst is uiterst ingewikkeld wegens de buitengewoon grote technologische onzekerheid op digitaal gebied, maar sommige verwachte ontwikkelingen verdienen te worden overwogen. Onzekerheden over de geldigheid van de wet van Moore, de toename van de behoefte aan data als gevolg van nieuwe technologieën en de combinatie van deze beide onzekerheden in aanmerking genomen, valt er volgens een onderzoek door Koot en Wijnhoven voor alle scenario's in 2030 een toename van de vraag naar elektriciteit te verwachten (Koot en Wijnhoven 2021), zie fig. 9.

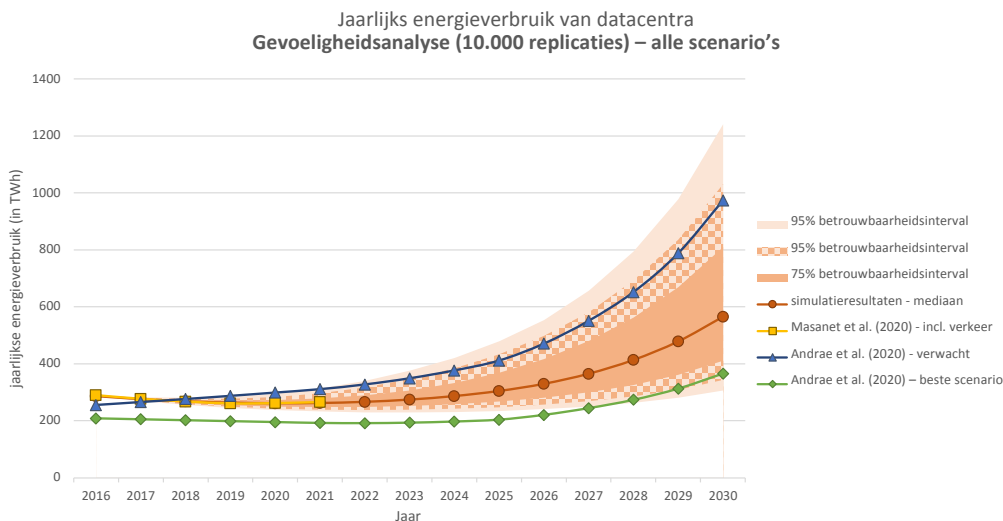


Fig. 9 Jaarlijks energieverbruik van datacentra. (bron: Koot en Wijnhoven 2021).

Om die reden bepleiten sommige onderzoeken bezuiniging op ICT-gebruik en innovatie, in combinatie met strenge regels voor een efficiënt energiegebruik om milieuproblemen aan te pakken, omdat de

huidige innovaties hebben geleid tot groei in plaats van vermindering van de energieconsumptie<sup>6</sup> (Bol, Pirson en Dekimpe 2021).

<sup>6</sup> Ondanks aanzienlijke verbeteringen van de energie-efficiëntie gedurende de afgelopen decennia nemen de mondiale energiebehoefte en de CO<sub>2</sub>-voetafdruk van ICT nog steeds toe. Daarom kan het verbeteren van de efficiëntie nooit het enige ecologische doel zijn, omdat die verbetering eerder dient om economische winst te behalen dan om de wereldwijde voetafdruk te verminderen. Dat wordt nog versterkt in de context van een groeiende dat dit effect nog vergroot (Bol, Pirson & Dekimpe 2021).

### 2.3.2 Energiebesparing op koeling

De energie die voor het koelen wordt gebruikt kan toenemen als het ontwerp niet deugt, bijvoorbeeld doordat de koeling op een verkeerde plek plaatsvindt, de stellingen met servers dicht op elkaar staan, de ventilatie slecht is geregeld en een belangrijk mechanisch onderdeel niet goed functioneert. Als maat voor de energie-efficiëntie geldt gewoonlijk de power usage effectiveness (PUE) die de totale energie van het gebouw vergelijkt met die van de IT apparatuur. Een PUE waarde van 1 is ideaal. De gemiddelde waarde in de datacentra is wereldwijd 1,5 tot 1,59. Maar Scandinavische landen hebben dankzij hun geografische ligging en de omgevingstemperatuur een PUE waarde tussen 1,05 en 1,3 (Sovacool, Monyei en Upham 2022). Nieuwe datacentra hebben eveneens lage PUE-waarden laten zien (Open Compute Project 2022).

Er bestaan verschillende vormen van energiebesparende koeltechnieken voor datacentra:

- Vrije luchtkoeling of waterkoeling, die sterk afhankelijk is van de locatie en verantwoordelijk is voor de lage vermogensdichtheid van datacentra, is de oudste technologie en heeft gewoonlijk een PUE van 1,5 tot 1,6.

- Vloeistofkoeling met behulp van een koelplaat of vloeistof-immersiekoeling maakt een hoge vermogensdichtheid en lagere PUE-waarden mogelijk, zoals 1,03 (Zhang et al. 2022). Het is een veelbelovende technologie maar hij dient zorgvuldig te worden gebruikt vanwege het risico op lekkages (Sovacool, Monyei en Upham 2022).
- Twee-fasen-koeling met behulp van een warmteafvoerbus of thermosifon is te combineren met natuurlijke koelsystemen om de efficiëntie van het systeem te verbeteren.
- Koeling door middel van thermische energieopslag vermindert de wanverhouding tussen het energie-aanbod en de energiebehoefte en voorkomt pieken in geval van energie-integratie.

Het wereldwijde onderzoek door Uptime Institute, fig. 10, toont de gemiddelde mondiale PUE-waarde voor een datacenter sinds 2007. In Europa bedraagt de PUE-waarde 1,46, iets lager dan het mondiale gemiddelde.

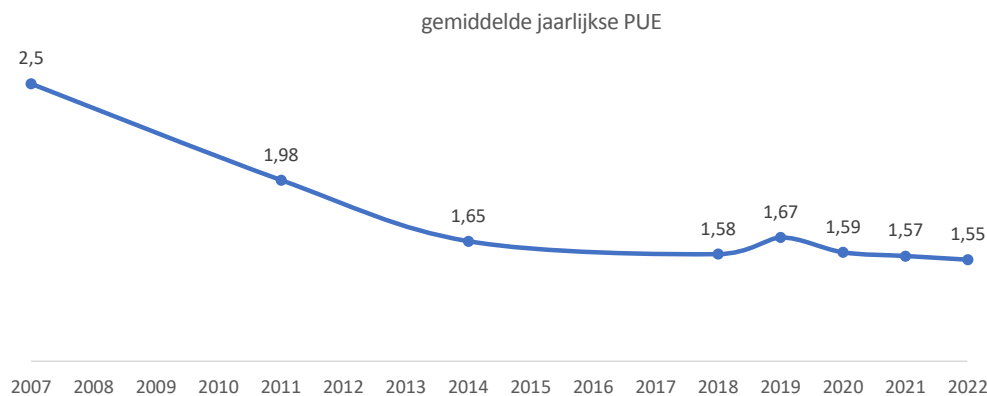


Fig. 10 PUE-waarde van datacentra wereldwijd. (Bron: Davis et al. 2022.)

Uit fig. 10 blijkt dat de verbeteringen in PUE-waarde sinds 2013 marginaal zijn geweest. De PUE-waarde van de meeste nieuwe datacentra ligt tussen 1,2 en 1,4, met uitschieters van zeer efficiënte datacentra met een PUE-waarde van 1,07 (Open Compute Project, 2022), zie fig. 11. Maar duizenden oudere datacentra kunnen nog altijd niet economisch of veilig worden verbeterd, vooral niet als ze ononderbroken operationeel moeten zijn. De PUE-waarden zijn gebaseerd op de gemiddelde PUE per

locatie, ongeacht grootte of leeftijd. Nieuwere datacentra, meestal gebouwd door hyperscale- of colocatiebedrijven<sup>7</sup> zijn dankzij schaalconomie doorgaans efficiënter. Grotere datacentra hebben een lagere PUE-waarde, maar vertonen ook diezelfde neiging tot stagnatie (Ascierto en Lawrence 2020), wat verklaart dat er voortdurend wordt gezocht naar locaties die een lagere PUE-waarde mogelijk maken, zoals de Scandinavische landen.

<sup>7</sup> Co-locatie maakt het mogelijk de servers van verschillende gebruikers in hetzelfde datacenter te concentreren door ruimte te huren; door het samenvoegen van verschillende gebruikers worden de datacentra groter. Hyperscale datacentra zijn grotere datacentra die voldoen aan de technische, operationele en tarief-eisen van data-intensieve bedrijven, en zijn exclusief voor één bedrijf.

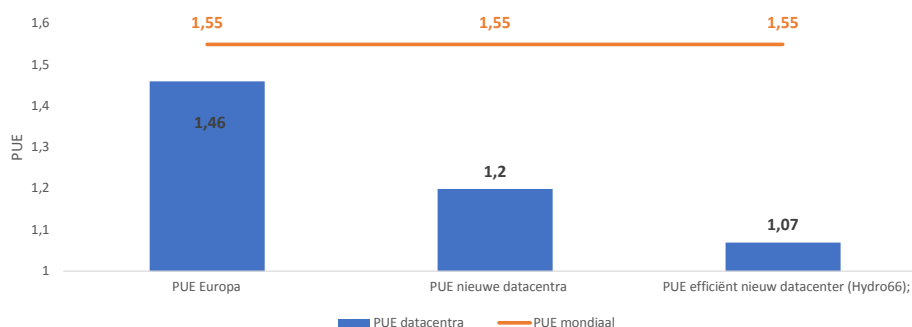


Fig. 11 Vergelijking van PUE-waarden tussen mondiale, Europese, nieuwe en uiterst efficiënte datacentra.

De afgelopen jaren is het werkbereik voor lucht die IT apparatuur binnenkomt vergroot, door samenwerking met hardwareproducenten om de energiebehoefte van koelsystemen voor datacentra te verminderen (Flucker, Tozer & Whitehead 2018). Maar nieuwe IT apparatuur is compacter, waardoor de serverkasten dichter op elkaar staan wat de warmteproductie in datacentra vergroot. Dat betekent dat er specifiek IT koelsystemen moeten worden ontworpen die via vloeistofkoeling of twee-fasen-koeling werken (Ascierto & Lawrence 2020).

### 2.3.3 Vermogensdichtheid van serverkasten

De vermogensdichtheid per serverkast [in kilowatt] is een essentieel getal in het ontwerp van het koelsysteem in datacentra. De sector is het afgelopen decennium gewaarschuwd voor een explosieve toename van de vermogensdichtheid van serverkasten, die een gemiddelde waarde van 8,4 kW/serverkast bereikte (Ascierto en Lawrence 2020), zie fig. 12.

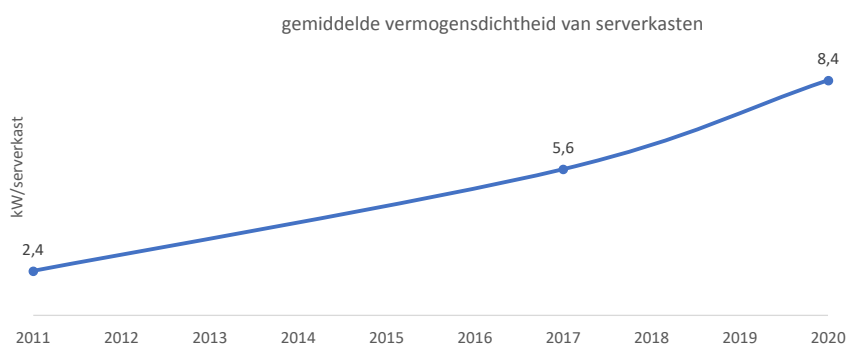


Fig. 12 Gemiddelde vermogensdichtheid van serverkasten. (Bron: Ascierto en Lawrence 2020).

Een van de oorzaken van deze toename is de groei van de rekenintensieve werklasten (AI, IoT, cryptomunten en virtuele werkelijkheid), die de behoefte aan serverkasten met een hoge vermogensdichtheid opstuwden. Uit een recent onderzoek blijkt dat hoewel de vermogensdichtheid van de meeste serverkasten 6 kW bedraagt, de vermogensdichtheid hoger is naarmate de datacentra groter zijn (Davis et al. 2022), maar ook dat deze centra een lagere PUE waarde hebben.

Bovendien toont fig. 13 de huidige tendens van een verschuiving naar hyperscale datacentra, die gewoonlijk gebruikmaken van een hogere serverkastdichtheid; dat betekent dat de toekomstige vermogensdichtheid van serverkasten naar verwachting alleen maar nog groter zal zijn. Daar staat tegenover dat de recente hausse van 'slimme' oplossingen en 5G zal dwingen tot edge computing met kleinere perifere datacentra die zich dicht bij de bron bevinden (PwC 2019).



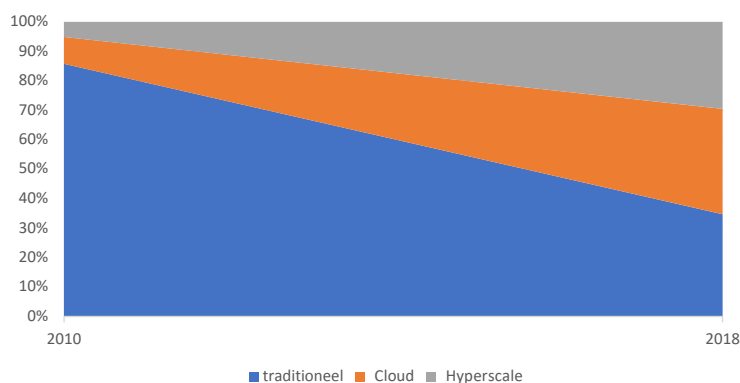


Fig. 13 Data centre type 2010-2018. Data obtained in (Masanet et al. 2020)

Vermogensdichtheden van serverkasten van 20kW en meer zijn tegenwoordig voor 25 procent van de datacentra de realiteit (Davis et al. 2022). Als de vermogensdichtheid van de serverkasten groter is dan 20-25 kW, worden rechtstreekse vloeistofkoeling en preciseluchtcooling zuiniger en efficiënter, wat een mogelijkheid biedt tot energie-integratie van datacentra (Ascierto & Lawrence 2020).

### 2.3.4 Energie-integratie

Energie-integratie wordt een serieuze mogelijkheid als de vermogensdichtheid van serverkasten toeneemt (Ascierto & Lawrence 2020), waardoor het geheel compacter wordt en meer koeling vergt. In het gunstigste scenario kan iedere MWh energie-integratie een besparing van 260 kg CO<sub>2</sub> opleveren, equivalent aan het gebruik van een conventionele gasboiler (Dodd et al. 2020).

Voorbeelden van het gebruik van restwarmte van een naburige industrie zijn o.a. het drogen van biomassa, het voorverwarmen van een energiecentrale, of hergebruik van restwarmte via een organische rankinecyclus (Sovacool, Monyei en Upham 2022) of zelfs voor kasverwarming en aquacultuur. Maar al deze voorbeelden zijn gebonden aan het in de directe omgeving voorkomen van deze industrieën en hun eventuele restwarmtegebruik. Restwarmte kan ook worden gebruikt voor stadsverwarming of koeling via absorptie. De temperatuur van de luchtuitstroom bij datacentra bedraagt 25 tot 35 °C. Dus voor energie-integratie in het stadsverwarmingssysteem moet die temperatuur worden verhoogd tot 75 á 90 °C. Maar de vierde-generatie stadsverwarming functioneert ook bij lagere temperaturen, zoals 35-55 °C (Koronen, Åhman & Nilsson 2020).

Er bestaan enkele succesverhalen over energie-integratie in datacentra:

- Datacenter Digiplex Oslo Ulven realiseerde een succesvolle energie-integratie met stadsverwarming, omdat het datacenter in het stadscentrum werd gebouwd. Digiplex Oslo Rosenholm maakt 's winters gebruik van restwarmte omdat het datacenter in de buurt van een campus staat (Sovacool, Monyei & Upham 2022).
- In Amsterdam Science Park worden momenteel 1300 appartementen verwarmd. In Eindhoven verwarmen zo'n veertig kantoorgebouwen op de Hightech Campus plus een datacenter een zwembad, een school en een kwekerij in Aalsmeer. Binnenkort zullen in Groningen ongeveer 2500 woningen op die manier worden verwarmd.

Toch blijkt in de praktijk dat er op dit moment in de EU heel weinig datacentra zijn waarvan de restwarmte wordt hergebruikt, misschien minder dan honderd (Dodd et al. 2020). In een onderzoek onder eigenaars van datacentra bleek restwarmte een netelige kwestie. Ze verklaarden dat het moeilijk was om aan alle vereiste voorwaarden te voldoen (een gebouw dat warmte nodig heeft, infrastructuur om de warmte uit te wisselen, een energiecentrale of hoogspanningslijnen om de datacentra van energie te voorzien). 'Als je dichtbij een energiecentrale zit, ben je meestal te ver van een stad of een instelling die de warmte nodig heeft. Maar bouw je het datacenter in een stad, dan heb je een langere transmissielijn, hoge kosten en een energieverlies van 10 tot 12 procent aan transport' (Sovacool, Monyei en Upham 2022).



## 2.4 GRONDSTOFFEN

Ook voor de productie van IT apparatuur zijn veel grondstoffen nodig. Gezien de aanzienlijke hoeveelheden benodigde metalen en het complexe fabricageproces vergroot die productie de verwachte behoefte aan grondstoffen voor de energietransitie en mogelijke problemen met de leverantie (Valero et al. 2018).

Tijdens de levensduur van servers vereist de vernieuwing of vervanging daarvan de meeste grondstoffen. De uitkomst van een enquête suggereert dat een kleine meerderheid van beheerders van datacentra denkt dat de motivatie om de hardware vaker te vernieuwen is afgenomen;

de redenen daarvoor zijn o.a. de verminderde geldigheid van de wet van Moore (Ascierto en Lawrence 2020) en het tekort aan halfgeleiders (Davis et al. 2022). Anderzijds wordt opgemerkt dat er sprake is van 'ingebouwde veroudering', hetzij vanwege gebreken in de hardware of door vernieuwing van de software zodat die niet meer past bij de oude hardware, en de servers dus vernieuwd moeten worden. In fig. 14 is de huidige tendens zichtbaar waarbij datacentra de vernieuwingstermijn van de servers beginnen op te rekken.

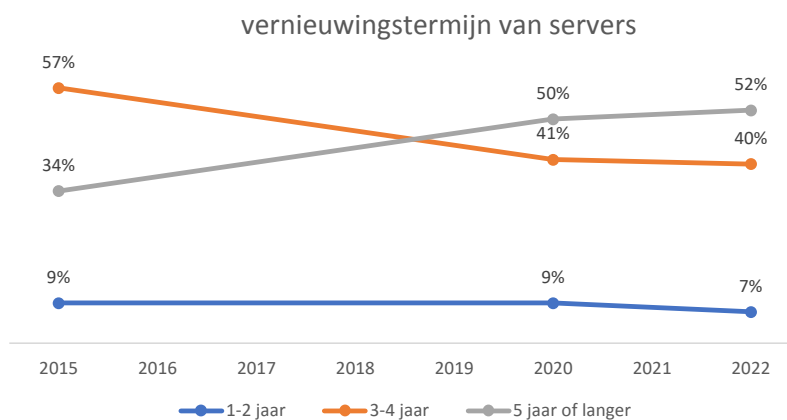


Fig. 14 Vernieuwingsstermijn van servers in datacentra. (Bron: Davis et al. 2022).

De standaard-samenstelling van een serverkast van 4,22 kW is weergegeven in tabel 1, op basis van gegevens van Pehlken et al. 2020. Deze serverkast bevat dertien servers. Een datacenter met een vermogen van 4.22 MW bestaat uit duizend van zulke kasten. Een eenvoudige serverkast bevat grondstoffen als antimonium (Sb), barium (Ba) zeldzame aardmetalen, beryllium (Be), silicium (Si), indium (In), tantalium (Ta), bauxiet [geen symbool, bauxiet is een aluminiumerts, onjuist in tekst], niobium (Nb) en gallium (Ga). Deze grondstoffen beschouwt de Europese Commissie (Europese Commissie 2020d) als essentiële grondstoffen; ze hebben een laag recyclingpercentage (Graedel et al. 2011).

In een onafhankelijk onderzoek van datacentra in Spanje kwam aan het licht dat er gewoonlijk nieuwe kabels worden geïnstalleerd als de servers verouderd raken. De oude kabels worden niet ingezameld en opgeruimd, wat leidt tot een aanzienlijke accumulatie van koper.

**Tabel 1 Minerale samenstelling in grammen voor een serverkast van 4,22 kW**

Materiaal	totaal (g)	recycling bij vernieuwing (%) (Graedel, Reck en Miatto, 2022)
<b>Au</b>	0.33	90%
<b>Ag</b>	1.50	35%
<b>Pd</b>	0.04	60%
<b>Al</b>	1,040.84	60%
<b>Cu</b>	897.04	48%
<b>Fe</b>	10,482.24	78%
<b>Dy</b>	0.08	0%
<b>Nd</b>	0.07	1%
<b>Y</b>	0.05	1%
<b>Ba</b>	13.02	0%
<b>Ga</b>	0.57	5%
<b>In</b>	2.09	5%
<b>Nb</b>	0.22	6%
<b>Sb</b>	3.59	5%
<b>Ta</b>	0.43	20%
<b>Ti</b>	2.37	70%
<b>W</b>	0.94	25%
<b>Si</b>	700.41	63%
<b>Sn</b>	2.31	30%
<b>Be</b>	0.00	21%

De behoefte aan grondstoffen is toegenomen omdat de apparatuur in datacentra vaak om verschillende redenen groter is dan strik noodzakelijk: vanwege een hoog Tier<sup>8</sup>-niveau, klanten die mogelijk wat overcapaciteit inbouwen als ze hun eisen specificeren, hogere kosten van stroomonderbrekingen (Davis et al. 2022) en omdat bij het ontwerp veiligheidsmarges worden gehanteerd. Data kunnen twee en drie maal worden opgeslagen, wat meer servers vereist. Bij het bepalen van de grootte van het datacenter wordt vaak een model gekozen dat net een maatje groter is (Flucker, Tozer & Whitehead 2018). Omdat er bij het ontwerpen wordt uitgegaan van het doemscenario zijn de meeste mechanische onderdelen extra groot of in tweevoud aanwezig, bij wijze van veiligheidsmaatregel. Maar dat is misschien niet voor alle IT-diensten nodig (Flucker, Tozer & Whitehead 2018) want er zijn voorbeelden van datacentra die met een lagere redundantie werken (Sovacool, Monyei & Upham 2022).

Tijdens de productie en de ontmanteling van IT-apparatuur komen chemische stoffen vrij die een bedreiging vormen voor het milieu en de gezondheid (zoals kwik, lood, chroom, polybroomdifenylether etc.). De gevolgen voor gezondheid en milieu zijn nog ingrijpender als dit elektronische afval wordt verscheept naar arme en opkomende landen waar minder strenge wettelijke bepalingen gelden op het gebied van milieu, gezondheid en arbeidsomstandigheden.

Volgens schattingen wordt er wereldwijd 200 tot 250 miljoen ton elektrisch en elektronisch afval geproduceerd (WEEE, in het Nederlands AEEA) waarvan slechts een klein percentage wordt gerecycled en deze hoeveelheid groeit jaarlijks met 3 tot 5 procent (Guillaume, Benjamin & Vincent 2022). In Europa kwam in 2019 naar schatting 11 miljoen ton elektrische en elektronische apparatuur (EEA) op de markt en in datzelfde jaar werd slechts 4,49 miljoen ton ingezameld (Eurostat 2022a), en werd een groot percentage AEEA niet ingezameld. In 2008 werd naar schatting 16 tot 38% AEEA geëxporteerd (Dodd et al. 2020), in een geschatte 10% van de gevallen illegaal (Forti et al. 2020). Volgens een recent onderzoek volgde slechts 28% van de respondenten hun AEEA of de levenscyclus van hun apparatuur (Davis et al. 2022).

De grote hoeveelheid elektronisch afval die datacentra wereldwijd opleveren, biedt kansen voor een circulaire economie. Mondiaal is er een tendens naar hyperscale datacentra vanwege de lagere kosten en de grotere efficiëntie. Maar die hyperscale datacentra vereisen een kortere 'vernieuwingstermijn' dan de traditionele datacentra. Dat biedt kansen voor een strategie van circulaire economie, omdat veel andere datacentra die apparatuur misschien kunnen gebruiken zonder dat dit afbreuk doet aan hun functioneren (Fenn & Fesch 2020). Uit een recent onderzoek blijkt dat bij toepassing van circulaire economie 24% CO<sub>2</sub>-equivalenten kunnen worden bespaard dankzij het feit dat er maar half zoveel servers geproduceerd hoeven te worden (Fenn & Fesch 2020).

<sup>8</sup> De hoogte van een tier (niveau, klasse) van datacentra bepaalt welke infrastructuur nodig is voor het functioneren van het datacenter in kwestie. Het tiersysteem onderscheidt gestandaardiseerde niveaus van 1 tot 5. Deze classificatie is een manier om de prestaties van de verschillende datacentra met elkaar te vergelijken. <https://uptimeinstitute.com/tiers>.

## 2.5 MAATSCHAPPELIJKE ASPECTEN

Aanvankelijk werd de vestiging van datacentra in kleine steden en afgelegen gebieden met enthousiasme begroet in de verwachting dat ze zouden leiden tot lokale werkgelegenheid en de ontwikkeling van gespecialiseerde deskundigheid. Ze vergrootten de hoop op het verminderen van lokale economische, demografische of maatschappelijke crises; voorbeelden waren Athenry in Ierland en Groningen in Nederland (Libertson, Velkova & Palm 2021).

Wanneer hun mening over datacentra werd gevraagd bleek dat bewoners/gemeenschappen in noordelijke regio's een globaal idee hadden van de functie van datacentra, maar weinig hadden nagedacht over datacentra als zodanig. Ze maakten zich vooral zorgen over het gebruik en mogelijk misbruik van de digitale gegevens, onder andere door hackers. Maar de deelnemers aan het onderzoek vertrouwden erop dat de datacentra zelf voldoende veiligheidsmaatregelen zouden treffen. De tweede belangrijke zorg was het energieverbruik en bijgevolg de mogelijke invloed op de elektriciteitskosten voor gebruikers, de eventuele noodzaak voor extra infrastructuur voor het opwekken en de distributie van energie. Anderen maakten zich vooral zorgen over effecten van de opwarming van het klimaat op hun eigen leven, of over vervuiling door de energiecentrale. Bijkomende zorgen die mensen noemden waren: de mogelijke effecten van onderzeese optische vezelkabels op zeezoogdieren, problemen van toereikendheid en de angst dat de ontwikkelingen niet te stuiten zouden zijn (Sovacool, Monyei & Upham 2022).

In landen als Ierland, waar op grote schaal datacentra worden gebouwd, bestaat daarentegen grote bezorgdheid over storingen in de brandstof- en elektriciteitsvoorziening en over de milieueffecten van emissies; die bezorgdheid kan complicaties veroorzaken voor de doelstelling dat in 2030 de elektriciteit voor 80% door duurzame energie wordt opgewekt. Oorzaak daarvan zijn de problemen als gevolg van overbelasting van het net, op grond

waarvan EirGrid in elk geval tot 2028 geen nieuwe datacentra in Dublin wil vestigen (Swinhoe 2022). In Zweden hebben diverse partijen – overheid, ondernemers en particulieren – hun zorgen geuit over de uitbreiding van de capaciteit van datacentra als gevolg van overbelasting van het elektriciteitsnet en de beknotting van andere industrieën (Capella 2022). De recente droogteperioden in Europa en als gevolg van de door de oorlog in Oekraïne toegenomen energiecrisis is er grote bezorgdheid ontstaan over het energie- en waterverbruik in Nederland (Judge 2022).

In het algemeen moedigen landen de bouw van datacentra aan hun grenzen aan met lage belastingtarieven op energie en garanties voor de elektriciteitsvoorziening. Daardoor worden datacentra niet gestimuleerd om duurzame energievoorzieningen voor eigen gebruik te bouwen en hebben ze een nadelige invloed op de capaciteit van het elektriciteitsnet voor andere gebruikers; dat kan leiden tot ingrijpende consequenties voor lokale gemeenschappen en regionale bedrijven. Anderzijds kunnen plaatselijke duurzame energiebronnen in steden voorzien in een klein deel van het totale energieverbruik van datacentra. Laten we bijvoorbeeld kijken naar het potentieel van PV-zonnecellen met een vermogen van 100 W/m<sup>2</sup> (installatiefactor) op daken. Dat is veel lager dan de gemiddelde vermogensdichtheid van een datacentrum (4kW/m<sup>2</sup>) en beslaat nog geen 1% van de energie. Een datacentrum met een vermogensdichtheid van 0,4 kW/m<sup>2</sup> kan 3% van de energie dekken.

### 2.5.1 Digitalisering van de maatschappij

De noodzaak voor meer datacentra houdt onder andere verband met het feit dat ieder jaar zowel het aantal internetgebruikers dat actief is op sociale media als de tijd die zij daarop doorbrengen toeneemt. In fig. 15 is de recente toename van gebruikers van sociale media in Europa, Ierland, Nederland en Zweden weergegeven. Hieraan is te zien dat in 2021 57% van de Europeanen het internet gebruikte voor activiteiten op sociale media (Eurostat 2022b).

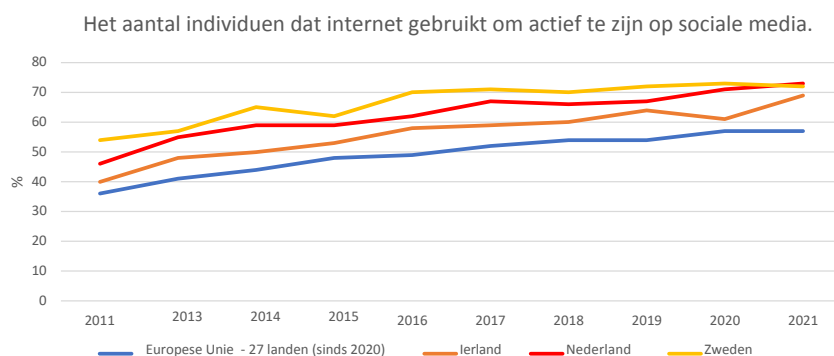


Fig. 15 Het aantal individuen dat internet gebruikt om actief te zijn op sociale media. Bron: Eurostat 2022b.

De instrumenten die worden gebruikt om het aantal gebruikers en de tijd die zij op de sociale media doorbrengen te vergroten zijn onder andere gepersonaliseerde reclame, overdadige pushberichten om gebruikers te verlokken tot het steeds opnieuw checken van hun telefoon, een voortdurende stroom verhalen, bekrachtiging na een variabel aantal reacties<sup>9</sup>, beloningsmechanismen, sociale wederkerigheid, apps voor games, virtuele herinneringen in apps en mechanismen om de op internet doorgebrachte tijd te vergroten (Coleman 2021). Deze instrumenten veroorzaken bij gebruikers een mentale verslaving, die naar verluidt vergelijkbaar is met fysieke verslaving aan alcohol of drugs (Ko et al. 2009, Homes, Kearns & Timko 2014). Dit versterkt de recente oproepen tot digitale matiging (Ferreboeuf 2019) en opent mogelijkheden om de sector te reguleren teneinde internetgebruikers te beschermen en de hoeveelheid data te beperken (fig. 2). Daarbij kan worden aangetekend dat in 2023 gebruikers van sociale media verantwoordelijk zullen zijn voor 74% van alle internetverbindingen en het bedrijfsleven de resterende 26% voor zijn rekening neemt (CISCO 2020).

In deze studie is niet gekeken naar andere effecten op de gezondheid, zoals het aantal uren dat zittend en geïsoleerd van anderen wordt doorgebracht achter persoonlijke schermen. Dat kan leiden tot meer obesitas of een verminderde ontwikkeling van sociale vaardigheden, maar ook tot gezondheidsklachten door een slechte lichaamshouding (Farbiarz-Mas 2022).

<sup>9</sup> Variabele bekrachtiging vindt plaats wanneer een reactie wordt beloond na een onvoorspelbaar aantal reacties. Dit mechanisme creëert een grote en gestage mate van reageren. Gok- en loterijspelletjes zijn goede voorbeelden van beloning gebaseerd op variabele bekrachtiging.



De recente maatschappelijke bezorgdheid en het gebrek aan regulering hebben de datacentra-sector gestimuleerd tot initiatieven voor zelfregulering op het gebied van energiebesparing, het gebruik van CO<sub>2</sub>-vrije energiebronnen, waterbesparing, energie-integratie, en hergebruik en reparatie van servers. Het doel van deze initiatieven is dat datacentra in 2030 klimaatneutraal zijn (Klimaatneutraal Datacenter Pact 2022). Een zeer goede praktische richtlijn voor de EU is een [Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency](#) (Gedragscode inzake energie-efficiëntie van datacentra) van het Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek (JRC) (Europese Commissie 2022a). Een ander initiatief op het gebied van hardware-ontwerp in een open gemeenschap is het Open Compute Project (Open Compute Project 2022).

De Green New Deal wil de ontwikkeling van digitalisering baseren op duurzaamheid en onderzoekt welke maatregelen er kunnen worden genomen om de energie-efficiëntie en de wijze van functioneren van de sector in overeenstemming te brengen met de principes van de circulaire economie. De Europese Green Deal wil ook nagaan hoe groot de noodzaak is tot transparantie over de milieueffecten van elektronische communicatiediensten, welke strengere maatregelen er kunnen worden genomen bij de ontwikkeling van nieuwe netwerken en wat de voordelen zijn van het ondersteunen van inzamelsystemen die recycling van apparatuur stimuleren.

Het EU-beleid voor datacentra bestaat uit strategieën en een stappenplan om te komen tot het beoogde duurzame gebruik van grondstoffen en een CO<sub>2</sub> – vrije economie:

- Volgens de Europese Digitale Strategie moeten datacentra en telecommunicatie energie-efficiënter worden, restenergie hergebruiken en meer gebruikmaken van duurzame energiebronnen. In 2030 kunnen en moeten ze klimaatneutraal zijn. Het is van belang hoe ICT apparatuur wordt ontworpen, gekocht, gebruikt en gerecycled. Behalve de vereiste energie-efficiëntie van ecodesign moet ICT apparatuur volledig circulair

worden – dat wil zeggen zodanig worden ontworpen dat de levensduur langer is, adequaat worden onderhouden, gerecyclede materialen bevatten en gemakkelijk ontmanteld en gerecycled kunnen worden (Europese Commissie 2020b).

- De Europese datastrategie wil één gezamenlijke markt voor data verwezenlijken. Tot de milieudoelen behoren een koolzuurarme economie en steun aan de prioriteiten van de Green Deal op het gebied van klimaatverandering, circulaire economie, het tot nul reduceren van vervuiling, herstel van de biodiversiteit, ontbossing en de garantie van naleving (Europese Commissie 2020a).
- Het “Fit for 55 pakket” heeft ook gevolgen voor datacentra op het gebied van energie-efficiëntie, in het bijzonder de verplichting om jaarlijks – vanaf 2024 – informatie te verschaffen over hun energiegebruik. De Commissie zal deze informatie bekend maken in een publieke database (Persbericht van de Raad van Europa 2022).
- De EU strategie voor integratie van energiesystemen wijst op de mogelijkheden van datacentra voor hergebruik van restwarmte door ze te verbinden met netwerken voor stadsverwarming, een energieboekhouding en contractuele kaders als onderdeel van de herziening van de Richtlijn Hernieuwbare Energie en de Richtlijn 2012/27 inzake de energie-efficiëntie (Europese Commissie 2020c).
- Het Europees grondstoffeninitiatief, bedoeld om het probleem van de duurzame toegang tot grondstoffen in de EU te regelen, moet ook worden toegepast op de digitalisering en heeft een directe relatie met de datacentra-sector.

Het wettelijke kader bestaat uit Richtlijnen en Verordeningen. De Richtlijnen stellen doelen die de lidstaten moeten bereiken, maar het is aan de afzonderlijke landen zelf om te beslissen hoe ze dat doen. De Verordeningen zijn bindend en direct toepasbaar in de lidstaten. Sommige richtlijnen en voorschriften in de Europese Unie gaan over digitalisering en het effect van datacentra, zoals uit het onderstaande blijkt:

### **Energie-efficiëntie**

- Het voornaamste obstakel om een verordening voor datacentra in te passen in Richtlijn 2012/27 over energie-efficiëntie (Richtlijn energie-efficiëntie) is dat enkele ongreepbare aspecten van cloudcomputing lastig te meten zijn. Toch wijst de Richtlijn energie-efficiëntie op een veelbelovend aspect in termen van energie-efficiëntie: het gebruik van restwarmte in infrastructuur voor stadsverwarming en –koeling. De Richtlijn energie-efficiëntie stelt dat lidstaten efficiënte verwarmings- en koelsystemen dienen te ontwikkelen, en dat er moet worden nagedacht over de mogelijkheden voor de ontwikkeling van lokale en regionale warmtemarkten.
- Om het probleem van het energievervalsing door datacentra aan te pakken staat in het Voorstel voor een Richtlijn van het Europese Parlement en de Europese Raad inzake energie-efficiëntie, dat de lidstaten gegevens moeten verzamelen en openbaar maken over hun energiegebruik, hun watervoetafdruk en de flexibiliteit aan de vraagzijde van datacentra met een energiebehoefte van minstens 100 kW. Het verzamelen van gegevens moet zijn gebaseerd op een Europees standaardmodel en garanderen dat restwarmte wordt benut als dat technisch en economisch haalbaar is. Deze informatie moet worden gebruikt om duurzame indicatoren vast te stellen voor energie-efficiëntie, duurzame energiebronnen, hergebruik van restwarmte, effectieve koeling, koolstofgebruik en gebruik van zoet water. Ook dienen lidstaten de eigenaars en beheerders van datacentra van 1 MW of meer aan te sporen om zich te houden aan de Europese Gedragscode inzake de Energie-efficiëntie van Datacentra. Bovendien moet de Europese Commissie in 2025 minimumnormen vaststellen voor het prestatieniveau van datacentra.
- Om het gebruik van restwarmte en -koude van datacentra te bevorderen verplicht de Voorgestelde Richtlijn – die Richtlijn (EU) 2018/2001, Regulering (EU) 2018/1999 en Richtlijn 98/70/EC inzake de bevordering van

energie uit duurzame bronnen wijzigt, en waarmee Richtlijn (EU) 2015/652 vervalt – de lidstaten tot het faciliteren van het gebruik van restwarmte en –koude door een coördinatiekader van industriële bedrijven en ondernemingen uit de tertiaire sector zoals datacentra die restwarmte en –koude genereren, die economisch kunnen worden gerecycled via systemen voor stadsverwarming en –koeling.

### **Ecodesign (milieugerichte productontwikkeling)**

- Richtlijn 2009/125/EC (Europese Richtlijn Ecodesign) biedt een kader voor het vaststellen van de eco-design-eisen voor energie-gerelateerde producten; deze richtlijn behelst de minimale efficiëntie-eisen waaraan producten tijdens hun levenscyclus moeten voldoen om op de Europese markt te worden toegelaten. De Verordening van de Europese Commissie 2019/424 die de eisen ten aanzien van het eco-design van servers en apparatuur voor de opslag van digitale gegevens vastlegt volgens deze Richtlijn 2009/125/EC en een wijziging is van de Richtlijn van de Commissie (EU) 617/2013, scherpt de eco-design-eisen voor servers en apparatuur voor de opslag van digitale gegevens verder aan. De verordening heeft betrekking op de efficiëntie van de energievoorziening; de broodnodige grondstoffen-efficiëntie (voor de ontmanteling) en het vermijden van ingebouwde veroudering (i.e. het bewust ontwerpen van producten met een beperkte levensduur) (nieuwste firmware na 2 jaar van de eerste verkoop tot 8 jaar na de laatste verkoop, beveiligings-firmware minstens 8 jaar na het op de markt brengen van het eindproduct); maximale efficiëntie in slaapstand, minimaal energiegebruik in actieve stand; de vershillen in de hoeveelheid kobalt in batterijen, neodymium in HDD; specifieke werkomstandigheden om vrije koeling te garanderen en het testen van de apparatuur op het functioneren onder extreme omstandigheden. Binnenkort valt een overzicht van eco-design-eisen voor computers en computerservers (2022) te verwachten.
- De Verordening van de Commissie (EU) 2021/341 die een wijziging betekent van de verordeningen (EU) 2019/424, (EU) 2019/1781, (EU) 2019/2019, (EU) 2019/2020, (EU) 2019/2021, (EU) 2019/2022, (EU) 2019/2023 en (EU) 2019/2024 inzake eco-design-eisen voor servers en de opslag van digitale gegevens, electromotoren en frequentieregelaars, koelapparatuur, lichtbronnen en afzonderlijke voorschakelapparatuur, beeldschermen, vaatwassers, wasmachines en



wasdrogers en koelkasten voor rechtstreekse verkoop, verandert beide. In de verordening worden de criteria voor de meetmethoden vastgesteld. Er ligt een nieuw voorstel voor een verordening 2022/0095 (COD) voor ecodesign van duurzame producten, waarmee Richtlijn Ecodesign vervalt.

### **Criteria voor het EU milieukeurmerk, het "energielabel"**

- Bedrijven kunnen ervoor kiezen hun elektronische producten te voorzien van een eco-label. Het Besluit van de Europese Commissie (EU) 2020/1804 stelt de criteria vast voor het EU Milieukeurmerk voor beeldschermen, en geeft een lijst van eisen inzake energieverbruik, milieueffect van giftige stoffen, grondstoffengebruik, afvalproductie en sociale effecten.

### **Elektronisch afval**

- Richtlijn 2012/19/EU van het Europees Parlement en de Raad – van 4 juli 2012 – inzake afgedankte elektrische en elektronische apparatuur (WEEE, in het Nederlands AEEA). De richtlijn is bedoeld om inzameling, recycling en hergebruik van elektronisch afval te reguleren. De AEEA-richtlijn houdt in dat de lidstaten moeten bevorderen dat elektrische en elektronische apparatuur zodanig wordt ontworpen en geproduceerd, dat het ontmantelen en recyclen op een verantwoorde manier mogelijk wordt gemaakt, in het bijzonder het hergebruik en de recycling van elektronisch afval, de onderdelen en grondstoffen ervan. De lidstaten dienen gerichte maatregelen te nemen om het storten van elektronisch afval als ongescheiden gemeentelijk afval tot een minimum terug te brengen en het elektronisch afval zoveel mogelijk gescheiden in te zamelen. De Richtlijn verplicht de lidstaten tot het opzetten van systemen die het eindgebruikers en distributeurs mogelijk maken om elektronisch afval kosteloos in te leveren. Om een milieuveilige behandeling van gescheiden ingezameld elektronisch afval te garanderen, stelt de Richtlijn Elektronisch afval eisen met betrekking tot de behandeling van specifieke grondstoffen en onderdelen van elektronisch afval en de verwerkings- en opslagplaatsen. Dit wettelijke kader hanteert de Uitgebreide Producentenverantwoordelijkheid, waarbij van producenten wordt geëist dat zij de inzameling, verwerking en recycling van hun producten organiseren en/of financieren aan het eind van de levensduur. De toegenomen hoeveelheid

verwerkt elektronisch afval moet aan de bevoegde nationale autoriteit worden verantwoord en gemeld. Alle EU lidstaten plus Noorwegen, Zwitserland en IJsland hebben de Europese regels geïmplementeerd in nationale wetgeving overeenkomstig de wet- en regelgeving in hun land (Farbiaz-Mas 2018).

- Het transport van elektronisch afval is gereguleerd door Verordening (EC) nr. 1013/2006 van het Europees Parlement en de Raad van 14 juni 2006 inzake het transport van afval, waarin procedures en controlesystemen voor afvaltransport zijn vastgelegd, afhankelijk van de herkomst, de bestemming en de route van het transport, het soort afval dat wordt vervoerd en de verwerking op de plaats van bestemming. Er ligt een nieuw voorstel voor nieuwe Verordeningen inzake afvaltransporten klaar, ter ondersteuning van een schone en circulaire economie in de EU.

### **Gevaarlijke stoffen**

- Richtlijn 2011/65/EU van het Europees Parlement en de Raad van 8 juni 2011 inzake het gebruik van gevaarlijke stoffen in elektrische en elektronische apparatuur (RoHS Richtlijn) gaat over het vermijden van gevaarlijke stoffen in elektronische apparatuur.

### **EU-taxonomie**

- Overeenkomstig de EU-Duurzaamheidstaxonomie, is de Gedelegeerde Verordening van de Commissie (EU) 2021/2139 van 4 juni 2021 een aanvulling op Verordening (EU) 2020/852 van het Europees Parlement en de Raad, door de vaststelling van technische beoordelingscriteria voor het bepalen van de voorwaarden waaronder een economische activiteit geldt als een substantiële bijdrage aan het tegengaan van klimaatverandering of als een aanpassing aan klimaatverandering, en om vast te stellen of die economische activiteit de andere milieudoelen geen grote schade toebrengt. De Gedelegeerde Verordening bevat een aantal criteria voor het omgaan met digitale gegevens, hosting en daaraan gelieerde activiteiten.

### **Digitale diensten**

- Het onlangs goedgekeurde Verordening Digitale Diensten biedt de Europese Commissie de mogelijkheid online platforms aan te pakken die misleidend gedrag vertonen tegenover consumenten, te definiëren als 'duistere patronen'

(dark patterns), door de variable bekrachtigingsschema's die zulke online platforms hanteren te verbieden (Europese Raad 2022). De Europese Commissie heeft twee wetsontwerpen ingediend: de Digital Service Act (DSA) en de Digital Markets Act (DMA), en het voornaamste doel van beide is het scheppen van een veiligere digitale ruimte en het bevorderen van innovatie, groei en eerlijke concurrentie (Europese Commissie 2022).

### **Gefluoreerde broeikasgassen**

- Verordening (EU) nr. 517/2014 van het Europese Parlement en de Raad van 16 april 2014 inzake gefluoreerde broeikasgassen die Verordening (EC) nr. 842/2006 vervangt, reguleert het gebruik van koelstoffen met een potentieel broeikaseffect.

### **Groene overheidsopdrachten**

- In Richtlijn 2014/24/EU van het Europese Parlement en de Raad van 26 februari 2014 inzake overheidsopdrachten en het technische rapport over de Ontwikkeling van de Groene overheidsopdrachten (GGP) zijn criteria vastgelegd voor datacentra, serverruimtes en clouddiensten (Dodd et al. 2020).

## CASE STUDIES

Hieronder worden drie Europese case studies besproken: Ierland, Nederland en Zweden. De effecten van de datacentra in deze landen en de specifieke nationale wetgeving die erop van toepassing is worden geanalyseerd.

### 4.1 IERLAND

Het Ierse klimaat reduceert de benodigde hoeveelheid energie voor de koeling van servers, en het vennootschapsbelastingtarief (een van de laagste ter wereld) plus de soepele wetgeving maken Ierland tot een aantrekkelijk land voor grote bedrijven. Bovendien neemt Ierland volgens Arcadis de 28ste plaats in op de wereldranglijst voor investeringen in datacentra (Arcadis 2021).

In 2019 produceerde Ierland 93 kiloton elektronisch afval (AEEA) waarvan 52 kiloton werd ingezameld (Forti et al. 2020).

Ierland publiceert sinds een aantal jaren het geschatte landelijke energieverbruik van datacentra; die energieconsumptie is sinds 2015 meer dan verdrievoudigd. Volgens officiële cijfers bedraagt het energieverbruik van datacentra 3,99 TWh, 14% van het totale energieverbruik (Centraal Bureau voor de Statistiek 2022). EirGrid, de beheerder van het net, heeft onlangs openbaar gemaakt dat het energieverbruik van datacentra en nieuwe techbedrijven 5,3 TWh bedraagt, 16,7% van het totale energieverbruik in 2021. In 2031 zullen datacentra en nieuwe techbedrijven in Ierland 28% van de totale energiebehoefte in Ierland voor hun rekening nemen (EirGrid en SONI 2022), zie fig. 16.

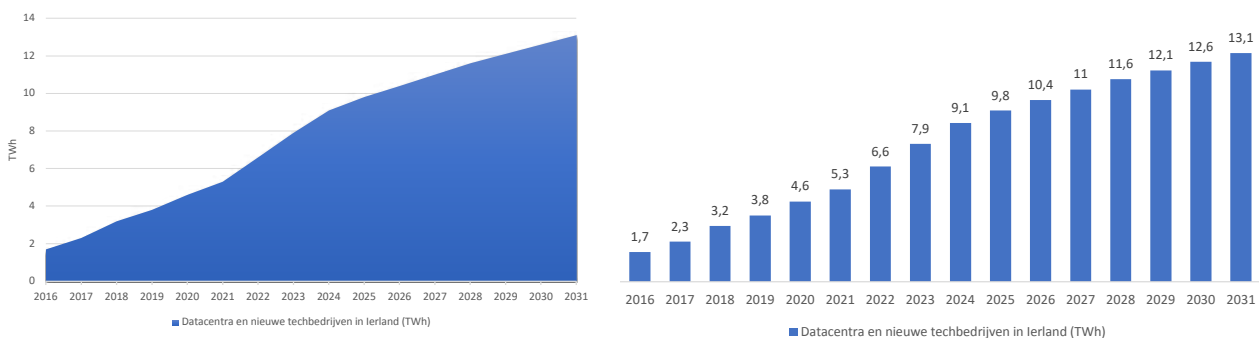


Fig. 16 Datacentra en nieuwe techbedrijven in Ierland. Bron: EirGrid en SONI 2022).

De groeiende hoeveelheid elektriciteit die datacentra in Ierland vergen baart de netbeheerder zorgen. De Commissie voor de regulering van water en energie (CUR) heeft gewaarschuwd dat een explosieve groei van datacentra zou kunnen leiden tot het optreden van stroomstoringen, en heeft verzocht om een tijdelijk verbod op de bouw van nieuwe datacentra. Later heeft de CUR deze eis ingetrokken vanwege een 'constructieve dialoog met belanghebbenden in de sector', maar EirGrid heeft Dublin tot ten minste 2028 verboden nieuwe datacentra te bouwen vanwege problemen van overbelasting van het net (Dan Swinhoe 2022). EirGrid adviseert ze te vestigen

in minder dichtbevolkte gebieden en met meer gebruikmaking van duurzame bronnen.

Onlangs was er sprake van maatschappelijke bezorgdheid over vervuiling en energieverbruik naar aanleiding van een nieuw datacenter. De ontwikkelaar van het nieuwe datacenter in Ennis verklaarde dat het 250 vaste en 1200 tijdelijke banen zou opleveren. Het datacenter zou bestaan uit zes gebouwen met twee verdiepingen. De energie zou worden geleverd door achttien aardgasmotoren en 66 reserve-dieselmotoren die 657.000 ton CO<sub>2</sub> per jaar uitstoten, 1,1% van de mondiale emissie aan broeikasgassen voor Ierland (EPA 2022).

#### 4.1.1 Wettelijk en politiek kader in Ierland

De Ierse regering heeft een moratorium voor de bouw van nieuwe datacentra overwogen. Maar uiteindelijk heeft ze daarvan af gezien en gekozen voor strengere regulering voor de vestiging van datacentra in het land.

In juli 2022 kwam de overheid met een verklaring over de rol van datacentra in de Ierse bedrijfsstrategie, met daarin zes uitgangspunten voor een duurzame ontwikkeling van datacentra in Ierland. De voorkeur gaat uit naar datacentra die rekening houden met deze uitgangspunten die primair zijn gebaseerd op energie-efficiëntie en het gebruik van hernieuwbare energiebronnen. Samengevat spreekt het document een voorkeur uit voor datacentra die:

- iets te maken hebben met de economische activiteit van het land (het economisch-effectbeginsel);
- Efficiënt gebruikmaken van het elektriciteitsnet en aantoonbaar additioneel gebruikmaken van duurzame energie (netcapaciteit en efficiëntiebeginsel en het additionaliteitsbeginsel van hernieuwbare energiebronnen);
- De mogelijkheid hebben voor co-locatie van duurzame opwekking of een geavanceerde opslagsysteem van energie (co-locatiebeginsel of de nabijheid van een toekomstbestendige energievoorziening);
- Kunnen aantonen dat zij streven naar een koolstofarm scenario en datadiensten met nul CO<sub>2</sub> – emissie (het principe van koolstofarm ontworpen datacentra);
- - Mogelijkheden bieden voor deelname van kleine en middelgrote bedrijven, en voordelen opleveren voor de samenleving (het principe van toegang voor kleine en middelgrote bedrijven en voordelen voor de samenleving).

Het Klimaatactieplan van 2021 gaat ervan uit dat in 2030 de elektriciteit in Ierland voor 80 % duurzaam zal worden opgewekt. Het intensieve elektriciteitsgebruik van datacentra in aanmerking genomen, moet deze sector daaraan een grote bijdrage leveren.

In november 2021 werd het CRU-besluit voor systeembeheerders inzake de netaansluiting van datacentra bekendgemaakt, waardoor bedrijven in deze sector onder bepaalde voorwaarden op het elektriciteitsnet kunnen worden aangesloten, zoals het ter plekke opwekken en/of via batterijen opslaan

van energie voor nieuwe aansluitingen van datacentra, zodat ze in hun eigen energiebehoefte kunnen voorzien. Om overeenkomstig de klimaatdoelstellingen van het land te streven naar het koolstofarm maken van de sector, moet deze energieproductie bovendien plaatsvinden via duurzame bronnen, inclusief groen gas of groene waterstof als daarvan meer beschikbaar komt.

De recente verklaring over de rol van datacentra in de Ierse bedrijfsstrategie wijst op het belang van capaciteit in het energiebeheer van datacentra (flexibiliteitsdiensten), i.e. het vermogen van datacentra om hun behoefte aan energie of de productie ervan te veranderen, door hun interne processen (opwarming, koeling) te reguleren of door gebruik te maken van lokale apparatuur voor opslag of opwekking, in het bijzonder op momenten waarop het elektriciteitsnet extra belast is.

Met deze nieuwe uitgangspunten voor de duurzame ontwikkeling van datacentra krijgen stroomafnamecontracten (PPA's) een belangrijke rol in het koolstofarm maken van de energiesector. Via deze contracten kunnen datacentra duurzame energie inkopen van duurzame energiebronnen, wat op zijn beurt een instrument is om projecten van duurzame energieproductie te financieren. Daarvoor is de locatie van datacentra in de buurt van duurzame energie-opwekking essentieel. Maar toch vormen stroomafnamecontracten een controversieel instrument, omdat er feitelijk geen fysieke duurzame energie uit het net wordt afgenomen maar zulke contracten meer dienen als financieel instrument voor de boekhouding van een bedrijf.

De verklaring over de rol van datacentra in de bedrijfsstrategie maakt duidelijk hoe datacentra kunnen bijdragen aan het elektriciteitsnet door restwarmte te leveren aan stedelijke gebouwen als commerciële instellingen of woonhuizen en zo de lokale energievoorziening koolstofarm te maken en de kosten te drukken. Het regeringsbeleid zal het gebruik van deze restwarmte faciliteren en de meeproducerende consument bevorderen. Een voorbeeld hiervan is het project om restwarmte van het datacenter van Amazon te hergebruiken voor de verwarming van de gebouwen van de County Council van Zuid-Dublin en de campus van TU Dublin-Tallaght, via de Tallaght stadsverwarming.

Samen met belanghebbenden overweegt de SEAI (Autoriteit voor duurzame energie voor Ierland) overeenkomstig het Klimaatactieplan 2021 een meldpunt op te zetten voor de rapportage van toegenomen emissies van grootverbruikers van energie zoals datacentra.

## 4.2 NEDERLAND

Nederland neemt in Europa een leidende positie in als het gaat om de vestiging van datacentra. Op de ranglijst van landen die het meest geschikt zijn voor de investering in datacentra nam Nederland onlangs de negentiende plaats in (Arcadis 2021). De totale capaciteit van zijn datacentra is 590 MW. Het aantal datacentra neemt al jaren af omdat kleine Nederlandse datacentra worden gesloten en opgaan in grotere (Vermeulen & Madson 2021).

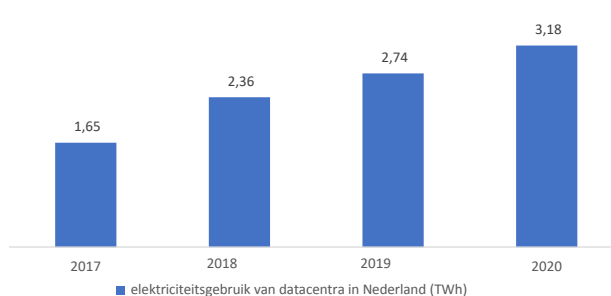
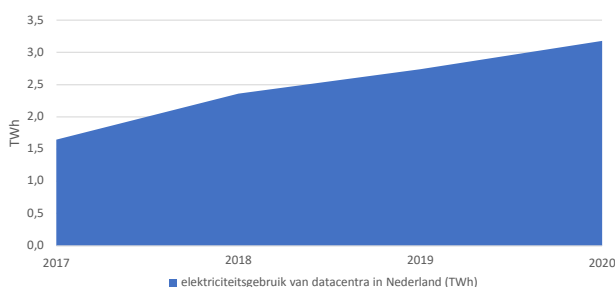


Fig. 17 Elektriciteitsgebruik van datacentra in Nederland. Bron: CBS 2021, Dutch Data Centre Association 2022).

De Nederlandse datacentra betrekken het grootste deel van hun energie (86%) via PPA's uit duurzame bronnen. Maar tegelijkertijd maken ze door de duurzaam opgewekte energie te monopoliseren de overige elektriciteit voor andere gebruikers vervuilender als ze de rechtstreekse installatie van duurzame bronnen niet bevorderen (Vermeulen & Madsen 2021).

Er zijn voorbeelden van energie-integratie. De helft van de datacentra slaat zijn restwarmte op of hergebruikt die. Restwarmte van datacentra wordt gebruikt voor de verwarming van 1300 appartementen in Amsterdam Science, zo'n 40 kantoorgebouwen op de campus van de Technische Universiteit in Eindhoven of voor een zwembad, school en kassencomplex in Aalsmeer. Binnenkort zullen daar 2500 huizen in Groningen bij komen. Maar dat zouden er volgens de DDCA (Dutch Data Centre Association 2022) veel meer kunnen zijn als er beperkende maatregelen zouden komen

Van alle Nederlandse datacentra gebruikt 17% helemaal geen water, 17% gebruikt grijs water<sup>10</sup> en 65% gebruikt drinkwater (Vermeulen & Madsen 2021).

Het watergebruik van 78 miljoen m<sup>3</sup> in gebouwen van Microsoft heeft tijdens de recente droogteperiodes in Nederland geleid tot maatschappelijke bezorgdheid

Sinds een aantal jaar publiceert Nederland het energiegebruik van datacentra (CBS 2021). De Nederlandse datacentra gebruiken 3,2 TWh aan elektriciteit, dat is 2,7 % van het Nederlandse elektriciteitsgebruik (Dutch Data Centre Association 2022), bijna een verdubbeling sinds 2017, zie fig. 17. Het waterverbruik bedraagt 1 miljoen m<sup>3</sup> (CBS Statline 2022), dat is 0,08% van het drinkwatergebruik met een WUE van 0,3125 liter/kWh.

(Judge 2022). Microsoft verklaart dat de WUE van haar nieuwe datacentra 0,08 liter/kWh bedroeg (lager dan het Nederlandse gemiddelde), hoewel ze waren ontworpen voor een efficiëntiegraad van 0,01 liter/kWh (Microsoft 2022).

Inzake het elektronisch afval biedt 8% van de datacentra een volledige recyclingsservice aan, 21% stimuleert recycling, 29% biedt de mogelijkheid van recycling door een derde partij en 42% doet helemaal niets aan recycling (Vermeulen & Madsen 2021). In 2019 produceerde Nederland 373 kt elektronisch afval en werd er 166 kt ingezameld (Forti et al. 2020).

Het Open Compute Project geeft informatie over een datacenter in Nederland, Maincubes AMS01 genaamd, Capronilaan 2, 1119 NR Schiphol-Rijk, met een vloeroppervlak van 4400 m<sup>2</sup>, 4,7 MW aan IT vermogen en een PUE van minder dan 1,6. Het koelsysteem maakt geen gebruik van water en bestaat uit een front-to-back system met warme/koudegangopstelling voor alle serverkasten in de IT-ruimte. Ook immersiekoeling is mogelijk. Het datacenter levert duurzame energie (Open Compute Project 2022).

<sup>10</sup> Grijs water is gebruikt water dat geen giftige chemicaliën of uitwerpselen bevat.

#### 4.2.1 Wettelijk en politiek kader in Nederland

De Nederlandse overheid heeft maatregelen aangekondigd om de niet-duurzame uitbreiding van hyperscale datacentra te beperken, en te bevorderen dat er rekening wordt gehouden met ruimtelijke ordening en gebiedsontwikkeling en het gebruik van natuurlijke hulpbronnen.

De Ruimtelijke Strategie voor Datacenters 2030 erkent de zwakte van de sector maar bepaalt tegelijkertijd een routekaart om de regie over zijn datapoorten te behouden. De strategie maakt onderscheid tussen kleine datacentra (met een vloeroppervlak van 500 tot 5000 m<sup>2</sup> en een gering energieverbruik van minder dan 2 MW) en hyperscale datacentra (met een vloeroppervlak van 2000 tot 50.000 m<sup>2</sup> en een hoog energieverbruik, van 1 tot 25 MW). De locatie hangt af van factoren als grootte of energieverbruik. Sommige delen van de regio Amsterdam lenen zich goed voor de vestiging van hyperscale datacentra, en Almere, Lelystad, Zeewolde of Dronten zouden kunnen dienen voor verdere expansie.

Om de in het klimaatakkoord vastgelegde doelen te bereiken benadrukt de strategie dat de datacentra gelokaliseerd moeten worden in de buurt van duurzame energiebronnen, en bovendien moeten voldoen aan eisen van duurzaamheid zoals het installeren van zonnepanelen op daken en gevels.

Gebaseerd op de hierboven genoemde Ruimtelijke Strategie voor Datacenters 2030 is de Nationale Omgevingsvisie ontwikkeld (NOVI, de langetermijnvisie van het Rijk op de toekomstige inrichting en ontwikkeling van de leefomgeving) die een selectieve groei van datacentra in het land nastreeft. In deze visie worden voorwaarden aangegeven waaraan een datacenter moet voldoen voordat het zich op een bepaalde locatie mag vestigen: 1) dat duurzaam kan worden voorzien in de energiebehoefte door bestaande of toekomstige elektriciteitsnetten; 2) dat restwarmte kan worden teruggeleverd aan netwerken voor stadsverwarming; 3) dat voldaan wordt aan de door deelnemers aan de markt gestelde eisen betreffende digitale aansluiting.

Om de transitie naar dit nieuwe model van selectieve groei van datacentra in Nederland te faciliteren werd in februari 2022 het nationale interimbesluit om de bouw van hyperscale datacentra op te schorten genomen; dit moratorium heeft betrekking op datacentra of bedrijven die gezamenlijk het transport

of de opslag van data ondersteunen en waarvan het oppervlak meer dan 10 hectare beslaat en die meer dan 70 megawatt aan stroom verbruiken. Dit besluit geldt voor een periode van negen maanden en is alleen van toepassing op hyperscale datacentra.

De provincie Noord-Holland heeft als eerste haar eigen Datacenter strategie voor 2022-2024 ontwikkeld. Volgens de strategie mogen nieuwe datacentra alleen op bedrijventerreinen van Amsterdam, Haarlemmermeer en Hollands Kroon worden gevestigd. Tevoren dienen ze het eens te worden met de provincie over integratie in het landschap, energie- en watergebruik en het gebruik van restwarmte door een planning die strookt met de ruimtelijke ordening en het milieubeleid. In die planning moet ook rekening worden gehouden met de risico's voor klimaatverandering, zoals overstromingen of watertekorten. Deze strategie legt de basis voor de verduurzaming van de groei van datacentra.

Op lokaal niveau beperkt het gemeentelijke beleid van Haarlemmermeer de huidige groei van datacentra in bepaalde zones door een algemeen bestemmingsplan. Amsterdam (2020 – 2030) richt zich vooral op de duurzaamheid van datacentra in milieu-opzicht, en minder op het aanwijzen van specifieke locaties voor datacentra, en hanteert regels voor de ruimtelijke integratie van de gebouwen, energie-efficiëntie en veiligheid, vermindering van het watergebruik, gebruik van restwarmte voor stadsverwarming, duurzame energieproductie en het monitoren en evalueren van de ontwikkeling van datacentra in de gemeente.

#### 4.3 ZWEDEN

Scandinavië wordt beschouwd als een ideale locatie voor datacentra, vanwege de overvloed aan ruimte, de lage temperaturen die natuurlijke koeling mogelijk maken en de schone energiebronnen (Sovacool, Monyei & Upham 2022). Bovendien is energie in Zweden goedkoop en de belasting op elektriciteit voor datacentra laag. Bovendien is Zweden via onderzeese kabels verbonden met Denemarken en de Baltische staten. Daarom heeft het mondiaal opererende duurzame ingenieursbureau Arcadis Zweden tot beste Europese locatie voor investering in datacentra genoemd (gevolgd door Noorwegen, Denemarken en Finland) en tot de op drie na beste locatie ter wereld (Arcadis 2021). De verwachting is dan ook dat het aantal datacentra in het land sterk zal groeien.



Zweden telt verspreid over het land diverse clusters van datacentra, die talloze mogelijkheden voor co-locatie bieden. De belangrijkste co-locaties van datacentra zijn Stockholm, Malmö, Göteborg, Lulea en Linköping. In totaal staan er in Zweden 81 datacentra en de meeste daarvan bevinden zich in en rond Stockholm.

De Zweedse co-locatie faciliteiten hebben een vermogen van meer dan 122.54 MW en de serverkastdichtheid varieert van 3 tot 20 kW. Hun PUE, de maatstaf voor de energie-efficiëntie, ligt tussen 1,07 en 1,70; de gemiddelde PUE-waarde voor Zweedse datacentra is 1,37 (Cloudscene 2022), en veel datacentra gebruiken restwarmte voor stadsverwarming. Zweden kan bovendien bogen op het eerste CO<sub>2</sub>-negatieve<sup>11</sup> datacenter ter wereld, gebouwd door EcoDataCentres in Falun (Emily Holbrook 2018).

Maar net als in Ierland hebben verschillende partijen in Zweden hun zorgen uitgesproken over de uitbreiding van de capaciteit aan datacentra (Nicole Capella 2022) omdat Zweden sinds 2015 last heeft van een tekort aan netcapaciteit. De voornaamste oorzaken daarvan zijn verstedelijking, nieuwe industrieën en datacentra. Deze door datacentra veroorzaakte capaciteitsproblemen hebben een negatief effect op andere vormen van industrie met als gevolg tekorten in sommige delen van Zuid-Zweden en geen garantie van de distributienetbeheerder voor de nieuwe vereiste elektriciteitsbehoefte voor de uitbreiding van bestaande voorzieningen (Libertson, Velkova & Palm 2021).

Het Open Compute Project geeft informatie over een datacenter – Hydro66 Hydrogränd 2 – Gebouw 1. Het datacenter staat in Hydrogränd 2, Boden, Zweden 961 43. Het heeft een vloeroppervlak van 500 vierkante meter, 1,6 MW IT-vermogen, directe vrije front-to-back luchtkoeling met warme/koude gangopstelling voor alle serverkasten en een energievoorziening via 100% duurzame waterkracht met een vliegwielen-UPS system (UPS = uninterruptible power supply). De PUE van dit datacenter is kleiner dan 1,08 en het waterverbruik is 0,059 liter water per kWh. De effectiviteit van het CO<sub>2</sub>-gebruik is 0,0428 kg CO<sub>2</sub>/kWh (Open Compute Project 2022).

Een ander voorbeeld is het datacenter Stockholm SWE01: SIF DC. Het complex heeft een IT werklust van 11,2 MW en wekt overvloedige warmte op die

Stockholm Exergi gebruikt om woningen per plaats te verwarmen. Het is een datacenter met een vloeroppervlak van 6000 m<sup>2</sup> en bevat zo'n 40 kWh luchtgekoelde infrastructuur of meer dan 100 kWh aan vloeistofgekoelde infrastructuur om te voldoen aan de groeiende behoefte aan grootschalige rekenkracht. De capaciteit van het datacenter bedraagt ongeveer 600 serverkasten. Het draait op CO<sub>2</sub>-vrije energie, met andere woorden schone energie, maar voor de back ups wordt gebruik gemaakt van dieselgeneratoren (atNorth 2021).

Wat betreft het elektronisch afval: In 2019 produceerde Zweden 208 kt elektronisch afval waarvan 142 kt werd ingezameld (Forti et al. 2020).

### 4.3.1 Wettelijk en politiek kader in Zweden

In april 2018 kwam het Akkoord over het Zweedse energiebeleid tot stand waarin werd vastgelegd dat de Zweedse economie in 2045 klimaatneutraal moet zijn. Hoewel de elektriciteitsproductie in Zweden vrijwel CO<sub>2</sub>-loos plaatsvindt, heeft de regering de subsidies voor kernenergie afgeschaft om deze energiebron te ontmoedigen. Van meet af aan heeft Zweden besloten energie-efficiëntie te bevorderen en de CO<sub>2</sub>-uitstoot via het belastingstelsel te verminderen, met belasting op energie en CO<sub>2</sub>. Feitelijk is Zweden's energievoorziening een combinatie van kernenergie en hydro-elektrische energie, elk goed voor zo'n 40%; de overige 20% [geen 10 toch, dat zou samen maar 90% zijn] is afkomstig van windenergie (IEA 2022).

Op 22 juli werd in Zweden een verbod op het winnen van steenkool, olie en aardgas van kracht. Daarin worden ook voorstellen gedaan tot wijziging van de Zweedse Milieuwet en de Mijnbouwwet. De nieuwe wet geldt voor de winning van steenkool, bruinkool, aardolie, schalieolie en aardgas zoals al eerder voor uranium, en bevat ook strengere regels voor de winning van aluinschalie.

Het Internationale Energieagentschap adviseert in het rapport Energy Politics of IEA countries, Sweden 2019 de bevordering van 4G-stadsverwarmingssystemen en de integratie daarvan in slimme stedelijke netwerken.

De breedbandstrategie "A completely connected Sweden by 2015" wijst op de noodzaak van het ontwikkelen van geïntegreerde elektriciteitsnetten om het capaciteitsprobleem van de hele infrastructuur

<sup>11</sup> The waste heat is used externally (this way the waste heat consumer do not use fossil fuels to heat), and as the data centre uses renewable energy to supply its electricity demand, the overall impact reduces the carbon emissions.



tijdens piekperiodes in de vraag naar energie op te lossen. Maar gezien de recente regeringwisseling valt een drastische verandering van het landelijke energie- en klimaatbeleid te verwachten. Deze omslag in het Zweedse beleid manifesteert zich al in het besluit om het ministerie van Milieu op te heffen en te integreren in het ministerie van Energie, Bedrijfsleven en Industrie. Bovendien heeft de energiecrisis die nog verergerd is door de oorlog in Oekraïne en het afsnijden van de gastoevoer, de bouw van nieuwe kerncentrales gestimuleerd om de energievoorziening veilig te stellen. Ook het netwerk van laadpalen voor elektrische auto's zal worden uitgebreid. Voorlopig is te verwachten dat kernenergie een grotere rol zal spelen op weg naar een CO<sub>2</sub> – arme energievoorziening.

#### 4.4 HET EFFECT VAN DATACENTRA IN DEZE VOORBEELDEN

Wij hebben het effect van datacentra in Ierland, Nederland en Zweden geëvalueerd door te kijken naar de gecombineerde energievoorziening in deze drie landen<sup>12</sup>.

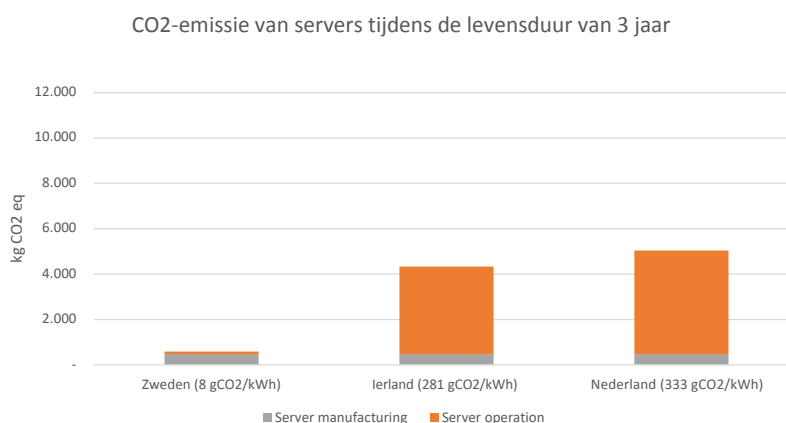
**Ierland:** De Ierse elektriciteit is voor 29% afkomstig uit duurzame energiebronnen met een emissie van 281 gCO<sub>2</sub>/kWh (EEA 2021), dus voor een nieuw datacenter met een IT-vermogen van 1MW dat aangesloten is op het net zou dat een emissie

betekenen van 3,854 ton per jaar, met een materiaalintensiteit van 423 kg per drie jaar.

**Nederland:** 18% van de gebruikte elektriciteit in Nederland is afkomstig uit duurzame bronnen (PBL, Planbureau voor de Leefomgeving 2020). De emissie van het Nederlandse elektriciteitsnet bedraagt 333 gCO<sub>2</sub>/kWh (EEA 2021). Voor een nieuw datacenter met een IT-vermogen van 1MW dat aangesloten is op het net zou de emissie dus 4,568 ton CO<sub>2</sub> per jaar bedragen, met een materiaalintensiteit van 423 kg per drie jaar. Als we uitgaan van een CO<sub>2</sub>- uitstoot van meer dan 516g CO<sub>2</sub>/kWh voor het Nederlands elektriciteitsnet, zoals Nowtricity stelt (Nowtricity 2022), bedraagt de totale emissie 6,269 ton CO<sub>2</sub> per jaar.

**Zweden:** De Zweedse elektriciteit wordt voor 59% opgewekt via duurzame bronnen (Zweeds Energiebedrijf 2021), met een emissie van 8,8gCO<sub>2</sub>/kWh (EEA 2021)<sup>13</sup>. Een nieuw datacenter met een IT-vermogen van 1 MW dat aangesloten is op het net zou 110 ton CO<sub>2</sub> per jaar uitstoten, en een materiaalintensiteit hebben van 423 kg per drie jaar.

Fig. 18 vergelijkt de driejarige levensduur van een server per land. Zoals hierboven gezegd is de invloed op het klimaat geringer als de CO<sub>2</sub> –uitstoot van de energiebronnen laag is. Dat is voor Zweden het geval.



CO<sub>2</sub>- uitstoot van servers tijdens een levensduur van 3 jaar voor Zweden, Ierland en Nederland.

<sup>12</sup> Om de elektriciteitssystemen te kunnen vergelijken zijn de berekeningen gemaakt op basis van de CO<sub>2</sub> – uitstoot. Andere milieueffecten als gevolg van straling of het gebruik van afval voor het opwekken van elektriciteit zijn niet meegerekend, maar dat betekent niet dat de invloed daarvan onbelangrijk is.

<sup>13</sup> Hoewel de CO<sub>2</sub>- uitstoot bij het opwekken van energie in het geval van Zweden gering is, zijn er andere milieueffecten, zoals de van kerncentrales afkomstige straling die in deze studie niet zijn meegenomen.

# AANBEVELINGEN VOOR BELEID

We hebben een aantal overwegingen om het effect van datacentra te verminderen op een rij gezet. Sommige ervan zijn al verwerkt in de Europese richtlijnen en de nationale wetgeving die we hierboven hebben besproken. Allereerst dient te worden vermeld dat het vergaren van gegevens een hele klus was. De geraadpleegde literatuur erkent in het algemeen de noodzaak van transparantie over digitale gegevens en het opzetten van databestanden met openbare informatie. Ook bestaat er eensgezindheid over het instellen van een wetenschappelijke toezichthouder en een commissie die unanieme en door vakgenoten getoetste informatie kunnen verschaffen aan de Europese Commissie over de effecten van digitale techniek op milieu en gezondheid. Dat blijkt uit het onlangs ingediende [Voorstel voor nieuwe Europese richtlijnen inzake energie-efficiëntie](#).

Hieronder volgt een lijst van optimale procedures die in datacentra kunnen worden toegepast, onderverdeeld in algemene en specifieke maatregelen met betrekking tot energie, koeling, grondstoffen en bescherming van consumenten.

## ALGEMENE ASPECTEN

Bevorder verplichte rapportage aan overheden voor een volledige transparantie van gegevens (over energiegebruik, energiebronnen, materiaalgebruik in servers, watergebruik, LCA [onjuist gespeld in Engelse tekst]). Rapportage over duurzaamheid en ESG-criteria [milieu-, sociale – en bestuurscriteria] moet verplicht worden voor alle datacentra, net als het berekenen van de mondiale CO<sub>2</sub> – voetstap en het vermelding van scope 1, 2 en 3 emissies. Het gebruik van digitale diensten moet worden meegerekend bij de normen voor de uitstoot van broeikasgassen. Inzake grondstoffengebruik besteedt het [Voorstel voor nieuwe Europese richtlijnen voor energie-efficiëntie](#) geen aandacht aan materialen in servers en Richtlijn (EU) 2019/424 noemt slechts twee grondstoffen. Als alle – of op zijn minst de belangrijkste – grondstoffen (i.e. essentiële grondstoffen) zouden worden gerapporteerd, zou een nauwkeurige levenscyclusanalyse mogelijk zijn, zoals voorgesteld door de [Gedragscode inzake energie-efficiëntie van datacentra](#).

- Garandeer **billijke belastingtarieven** voor datacentra (vermijd fiscale prikkels en uitzonderingen door afzonderlijke landen en bevorder hogere belasting op hogere omzetten in datacentra of gebruik van grondstoffen).
- Verplicht lidstaten om **plannen en strategieën te ontwikkelen om de uitbreiding van datacentra te beteugelen door middel van bestemmingsplannen**, waarbij ook rekening wordt gehouden met de effecten en de risico's van klimaatverandering (Lawrence 2021). In Amsterdam en Frankfurt wordt aan een dergelijke regulering gewerkt. In de plannen moet rekening worden gehouden met de bijdrage van het datacenter aan de economie, de lokale werkgelegenheid, de mogelijkheid om duurzame energie op te wekken en de kansen en voordelen voor de samenleving.
- Bevorder **fiscale prikkels om de milieueffecten van datacentra te verminderen**. In Frankrijk werd op 15 november 2021 Wet nr. 2021-1485 aangenomen. Deze is bedoeld om de voetstap van de digitale technologie te verkleinen en verschaft belastingvoordeel aan datacentra die het goede voorbeeld geven, bijvoorbeeld door hergebruik van de restwarmte die ze produceren. Geef bovendien belastingvoordelen aan bedrijven die open code practices omarmen en daardoor de energie-efficiëntie van computergebruik vergroten. Hanteer tegelijkertijd **hogere belastingtarieven voor datacentra die niet volgens optimale criteria werken** of zich niet houden aan de [Gedragscode inzake energie-efficiëntie](#). De Gedragscode richt zich vooral op datacentra van 1 MW, maar zou moeten gelden voor alle datacentra ongeacht hun omvang, zeker met de recente explosieve toename van kleinere, specifiekere datacentra (PwC 2019).
- Pas de **criteria voor Groene Overheidsopdrachten ook toe op datacentra**, serverruimtes en clouddiensten, en bevorder Community Benefit Agreements (CBA) tussen de projectontwikkelaar en de bewoners in het gebied waar het datacenter wordt gebouwd.

- **Vermijd overdreven beschermingssystemen en datacentra van klasse/Tier 4.**<sup>14</sup>. Geen dubbele opslag van data als dat niet strikt noodzakelijk is, ter vermindering van de reusachtige databestanden die ontstaan als standaard wordt uitgegaan van het allerslechtste scenario. Vermijd bij het ontwerpen van datacentra waar mogelijk redundantie in onderdelen; en stel criteria vast voor het dupliceren van het type datacenter of het soort informatie op grond van het nut ervan.
- **Verhoog tegelijkertijd de robuustheid van datacentra door regelmatige controle en preventief onderhoud**, om het effect van storingen, zoals stroomuitval, te verminderen (TechUK 2021), door de beschikking over lokale energieproductie en/of opslag in batterijen te bevorderen zodat het datacenter in de eigen behoefte kan voorzien en op duurzaam gewonnen energiebronnen kan draaien.
- Inzake het gebruik van data: overweeg het **stimuleren van het op termijn vernietigen van ongebruikte data**, zodat er geen grote hoeveelheden nutteloze data worden opgeslagen (via mechanismen als de CO2 markt of progressieve belastingtarieven gekoppeld aan het gebruik van data).
- **Beperk cryptomining** en stimuleer dat transacties met cryptomunten overgaan op het **proof-of-stake mechanisme in plaats van gebruik te maken van het huidige proof-of-work** mechanisme om transacties te valideren<sup>15</sup>.
- Verhoog de financiering van **onderzoek en ontwikkeling** voor een efficiënter gebruik van energie en grondstoffen en nieuwe computer- en communicatietechnologie.
- Overweeg gezamenlijke wetgeving voor potentiële datacentra op de zeebodem. Daarvoor moeten zowel de voordelen (zoals een gelijkmatig klimaat of de capaciteit voor duurzame energie) als de nadelen van deze nieuwe locatie voor datacentra worden bepaald en vergeleken met traditionele datacentra op het land, waarbij rekening wordt gehouden met het effect op ecosystemen in zee. Deze tendens leidt ook tot een hernieuwde discussie over de mogelijke mazen in de wetgeving in Internationale wateren.

## ENERGIE

### Energievoorziening:

- **Duurzame energie voor elektriciteitsnetten**, wat PPA's (stroomafnamecontracten) met naburige leveranciers verzekert van fysieke integratie met hernieuwbare bronnen en integratie van meer duurzame capaciteit. De bouw van nieuwe duurzame energievoorzieningen moet worden gestimuleerd; zo zou een bepaald percentage van de energiebehoefte van een datacenter afkomstig moeten zijn van een nieuwe duurzame energievoorziening – binnen een straal van X kilometer of zelf opgewekt – om te voorkomen dat de duurzame bronnen worden gemonopoliseerd en het elektriciteitsnet voor andere gebruikers vervuilender wordt. Het Voorstel voor een Richtlijn energie-efficiëntie overweegt het gebruik van indicatoren voor energiebronnen, maar zegt niets over de nabijheid.
- **Intensiever gebruik van apparatuur om energie op te slaan**, met een niet-fossiele back-up.
- **Schaf de fiscale prikkels voor datacentra af** omdat die de toegang tot het net voor andere gebruikers beperken door problemen van overbelasting, en de datacentra niet aanmoedigen om duurzame energievoorzieningen voor eigen gebruik te installeren. Incorporeer daarentegen prikkels voor datacentra die bijdragen aan de netcapaciteit met de productie van energie en die hun energiebehoefte reguleren. Maar de inkoop van duurzame energie is slechts voor een deel van de CO2 voetstap van datacentra verantwoordelijk, omdat de energiebronnen die worden gebruikt voor het winnen en vervaardigen van de onderdelen en gebruikte materialen ook moeten worden meegerekend om 'groenwassen' te voorkomen. Van bijzonder belang is in dit verband de classificatie van activiteiten en duurzaamheidscriteria zoals genoemd in de Gedelegeerde Verordening (EU) 2021/2139, die precies omschrijft wanneer de activiteit van datacentra beschouwd kan worden als een bijdrage aan een vermindering van klimaatverandering en geen afbreuk doet aan de milieudoelen, zoals het recyclen van elektrische en elektronisch afval aan het eind van de levensduur.
- Roep een **serieuze beoordelingsinstantie** in het leven om te onderzoeken welke activiteiten prioriteit verdienen als er sprake is van een beperkte energievoorziening. Deze instantie dient ongelijke machtsverhoudingen te vermijden.

<sup>14</sup> Een Tier 4 - datacenter bezit verscheidene onafhankelijke en fysiek gescheiden systemen die functioneren als redundante capaciteitsonderdelen en distributiekkanalen (<https://uptimeinstitute.com/tiers>).

<sup>15</sup> raadpleeg voor meer informatie [https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/2021/12/4E-Policy-Brief-EDNA\\_14-010322.pdf](https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/2021/12/4E-Policy-Brief-EDNA_14-010322.pdf)

- **Energiegebruik:**

- Bevorder het verstrekken van een **energielabel op grond van de energiezuinigheid van IT apparatuur en het effect van de levensduur**, zodat er een standaard ontstaat met vaste criteria, beoordelingsinstrumenten en methode. Deze labels moeten periodiek worden bijgewerkt. Dit staat in Verordening (EU) 2021/341. Bovendien overweegt het Voorstel voor een [Richtlijn inzake energie-efficiëntie de Commissie](#) minimumduurzaamheidsindicatoren te laten vaststellen voor de energie-efficiëntie. Enkele Europese maatstaven voor energie-efficiëntie en PUE zijn: Klimaat- en energiebeheer EN 50600-TR, SC3 criterium, Milieubeheer TS 5; EN 50600-2-3, Zorgvuldige procedures voor koelsystemen TS 7; EN 50600-TR 99, norm EN 50600-4-2.

- Stel **richtlijnen op voor de bouw van goede datacentra** met daarin aanbevelingen en optimale procedures, zoals gebruik van gelijkstroom in datacentra, modulaire onderbrekingsvrije voeding (UPS) voor meer efficiëntie of het gebruik van hoogwaardige apparatuur en de installatie van apparatuur voor dynamische systeemcontrole om de efficiëntie bij gedeeltelijke werklast te verbeteren.

- Stel **controle van het energiegebruik verplicht** om te garanderen dat bedrijven voldoen aan de voornaamste energiemaatregelen zoals voorgesteld in de Gedragscode inzake energiezuinigheid van datacentra.

- **Geharmoniseerde belastingheffing in de lidstaten** om een efficiënt Energiegebruik te stimuleren en een vermindering van CO2 emissie als gevolg van het energiegebruik te bereiken, bijvoorbeeld via belasting op vervuilender brandstoffen (Chitakasem 2020).

- **Financiële steun voor energiezuinige maatregelen** verdient overweging, in het bijzonder voor kleine en middelgrote bedrijfsdatacentra. Bijvoorbeeld voor maatregelen zoals het stopzetten of in sluimerstand zetten van servers die niet in gebruik zijn.

- Energie-integratie zou moeten worden gestimuleerd. **Prikkels voor energie-integratie** kunnen aantrekkelijk zijn omdat er op dit moment geen prikkels zijn om te investeren in zulke infrastructuur; bijvoorbeeld door lagere belastingen op de energie uit restwarmte en erkenning van gerecyclede en opnieuw gebruikte warmte als

energiebron die de uitstoot vermindert. Het Voorstel voor een [Richtlijn inzake energie-efficiëntie](#) suggereert dat de lidstaten moeten garanderen dat datacentra van ten minste 100 kW vermogen restwarmte recycleren als dat economisch en technisch haalbaar is. Het kan interessant zijn om in Europa een beleidskader vast te stellen dat energieslurpende industrieën faciliteert en aanmoedigt om te streven naar recycling en hergebruik van warmte in samenwerking met omwonenden of bedrijven. Enkele cijfers met betrekking tot hergebruik van warmte: ERSI ES 205 200-2-1 (ISO/IEC 30134-6:2021); EN 50600-4-6:2020 Deel 4-6: ERF, de verhouding tussen de hergebruikte energie en de totale hoeveelheid energie die datacentra gebruiken.

## KOELING

- **Verbeter de regulering van de luchtstroom** om de noodzaak voor koeling te verminderen, bij voorkeur met vrije koeling of vloeistofkoeling om het gebruik van water voor koeling te vermijden, en verricht onderzoek naar het beheersen van luchtstromen met programmatuur voor computationele vloeistofdynamica (cfD).

- Gebruik warme en koude gangopstelling voor een efficiëntere koeling, dat wil zeggen houd de koude zone (waar lucht voor de koeling binnenkomt) en de warme zone waarin de lucht afkomstig van de server vrijkomt, gescheiden.

- Verhoog de toelaatbare temperatuur in de serverruimtes omdat dat energie bespaart bij de koeling. In Verordening (EU) 2019/424 zijn drempelwaarden voor de temperatuur vastgelegd.

- Faciliteer **hergebruik van industrieel afvalwater** en andere bronnen van niet-drinkbaar water om te koelen.

- Vermijd koelmiddelen die opwarming van de aarde kunnen veroorzaken, zoals vastgelegd in Verordening (EU) 517/2014.

## GRONDSTOFFEN:

### Productie:

- Bevorder BEMP (**energie- en milieubesparingsplannen**) voor producenten.

- Eis het gebruik van **gecertificeerde materialen voor datacentra** en vermijd het gebruik van conflictmineralen.

- Stel het gebruik van een **minimum aan gerecyclede materialen** voor nieuwe servers verplicht en besteed speciale aandacht aan essentiële grondstoffen om de afhankelijkheid daarvan te verminderen.
- **Verbeter productieprocessen** zodat er minder fossiele brandstoffen en giftige stoffen nodig zijn. Verminder bijvoorbeeld het gebruik van zware metalen bij de productie van IT onderdelen om de kankerverwekkende effecten tijdens de productiefase te verminderen. Reduceer de emissie van PFC (perfluorkoolstoffen) bij de vervaardiging van intern geheugen. Reduceer tegelijkertijd de toepassing van koper en goud in onderdelen en de gebruikte zuiveringsprocedures van die metalen om de emissie op lange termijn te verminderen.
- **Bevorder dematerialisatie in het ontwerp** door servervirtualisatie en consolidatie van datacentra. Centralisering en schaaconomie via cloud-computing of hyperscale datacentra kunnen een boemerangeffect hebben als geen rekening wordt gehouden met het effect van dataopslag voor de gebruiker.
- **Vermijd ingebouwde veroudering in servers**, zowel in het ontwerp van hardware als door software-updates, door de garantie uit te breiden tot een minimum aantal jaren dat ten minste gelijk is aan de optimale vervangingstermijn. Verordening (EU) 2019/424 bepaalt een minimumtermijn voor het vernieuwen van firmware.
- **Bevorder het idee van gefaseerde ontmanteling**, waardoor het mogelijk wordt alleen versleten onderdelen te vernieuwen in plaats van alles te vervangen (inclusief kabels). Er zou bijvoorbeeld een minimum aantal gerenoveerde servers in datacentra kunnen worden vastgesteld. De Ecodesign Richtlijn 2009/125/CE en de AEEA Richtlijn 2012/19/EU houden zich bezig met deze kwestie. Maar ze zouden specifiekere moeten worden met standaardcriteria (bijvoorbeeld NSF/ANSI 426-2019 voor milieu- en maatschappelijk verantwoord ondernemen op het gebied van servers). Bovendien zouden er **richtlijnen voor een zo efficiënt mogelijke reparatie en ontmanteling** moeten komen. Daarvoor bestaat een Europese norm: UNE-EN 45559:2019.
- **Schep een “tweede-kans markt” voor IT-apparatuur**. Enkele voorbeelden: hyperscale datacentra hebben betere servers nodig en moeten misschien sneller worden vernieuwd. De apparatuur is misschien bruikbaar in andere sectoren. Creëer standaardcertificering voor kwaliteit en herkomst voor zulke tweede-kans IT. Standaardiseer apparatuur om hergebruik te vergemakkelijken door bijvoorbeeld open hardware-projecten te bevorderen. Voorbeelden: het Open Compute Project (OPC) profiteert van innovaties (Open Compute Project 2022) en deelt ideeën voor minder materiaalgebruik en een grotere energie-efficiëntie.
- Investeer in **onderzoek naar manieren voor verbetering van de huidige procedure** voor het winnen van kostbare metalen in elektronische schermen en het recyclen van essentiële en niet-kostbare metalen uit elektronische producten/afval door te investeren in AEEA-recyclingbedrijven. Beschouw electronica als grondstoffen om te vermijden dat ze naar het buitenland verdwijnen; recycle ze in eigen land en probeer illegale export van AEEA te voorkomen.
- **Vermijd ongelijkheidscriteria** en harmoniseer de toepassing en de interpretatie van criteria op staatsniveau voor het reguleren van de export van afval, omdat een deel van het AEEA illegaal wordt geëxporteerd. Er moet een nauwkeuriger definitie worden ontwikkeld van elektronisch afval om te voorkomen dat mazen in de wet worden gebruikt die illegale export naar ontwikkelingslanden bevorderen vanuit de aanname dat het AEEA wordt hergebruikt ondanks het feit dat het geëxporteerde materiaal vaak niet te repareren is en terecht komt op de vuilstort, waar zich gevaarlijk afval ophoopt.

## Functionering

- Moedig de afgifte van een energielabel zodat het kiezen van **IT-apparatuur met een zo laag mogelijk effect** aantrekkelijk wordt.
- **Verleng de vervangingstermijn**. Bevorder ontwerpen met een langere vervangingstermijn en een optimaal tijdschema voor het vernieuwen van hardware door regels op te stellen voor de vervangingstermijn. Sommige programma's zoals het Eureka project stellen een optimale vervangingstermijn vast (Bashroush 2018).

## Einde van de levensduur

- Vermijd een beleid dat hergebruik van materialen in een circulaire economie belemmert en ondersteun beleid dat **hergebruik en recycling van apparatuur** stimuleert.



## CONSUMENTENBESCHERMING (DE TOENAME VAN DE BEHOEFTE AAN DIGITALE INFORMATIE IS TE WIJTEN AAN DE VERSLAVING VAN CONSUMENTEN AAN SOCIALE NETWERKEN).

- Bescherm consumenten tegen verslavende mechanismen met commissies die de werkwijze van platforms of apps controleren. Dit moet misschien worden opgenomen in de definitie van duistere patronen in het pakket van digitale diensten.
- Investeer in onderwijs om consumenten bewust te maken van verslaving aan digitale informatie, de effecten daarvan op het milieu, en het energiegebruik.
- Het realiseren van de hierboven gegeven aanbevelingen zou de effecten van datacentra aanzienlijk kunnen verminderen. Wij hebben potentiële besparingsscenario's van CO<sub>2</sub>-emissies voor een datacenter van 1 MW gemaakt, rekening houdend met een aantal van de volgende maatregelen:

- Het basisscenario gaat uit van een PUE van 1,46, het gemiddelde in de EU, een CO<sub>2</sub> – intensiteit bij de elektriciteitsproductie van 255gCO<sub>2</sub>/kWh en een vervangingstermijn van 3 jaar voor de servers.
- Als we uitgaan van een PUE van 1,07 kan de CO<sub>2</sub>-emissie met 23% dalen.
- Als er duurzame energie wordt gebruikt kan de CO<sub>2</sub>-emissie met nog eens 72% afnemen.
- Als we uitgaan van een vervangingstermijn van 5 in plaats van 3 jaar, kan de CO<sub>2</sub> –emissie met een 26% afnemen.
- In een circulaire economie zou een extra vermindering van de CO<sub>2</sub> – uitstoot met 16% mogelijk zijn<sup>16</sup>.
- Het toepassen van al deze maatregelen zou de emissie van CO<sub>2</sub> met 87% verminderen, zie fig. 19.

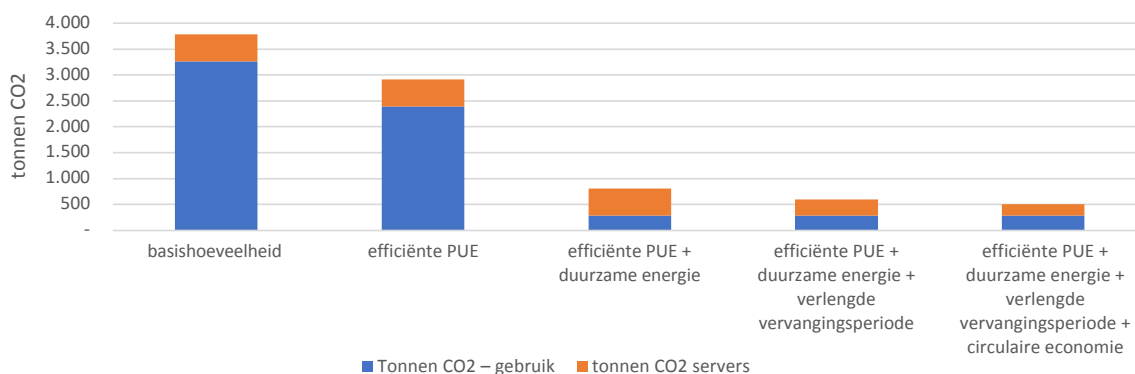


Fig. 19 Potentiële reductie van de CO<sub>2</sub> – uitstoot voor een datacenter van 1 MW.

<sup>16</sup> Volgens het onderzoek van Fenn & Fesch (2020) waarin wordt verondersteld dat 24% CO<sub>2</sub> equivalenten kunnen worden bespaard als in een circulaire economie maar de helft van de servers nieuw geproduceerd wordt.





# CONCLUSIES

Het feit dat de Wet van Moore niet blijkt te gelden en een explosief groeiende behoefte aan digitale informatie betekenen dat volgens alle voorspellingen de energiebehoefte exponentieel zal toenemen. Ieder jaar wordt de voorspelde verwachte toename van het energiegebruik door datacentra ingehaald door de werkelijkheid. Het is duidelijk dat over vijf tot tien jaar de huidige energiebesparing onvoldoende is om de groei van de vraag naar data te kunnen compenseren. Dus moet worden gestreefd naar:

- Het verplicht verzamelen van gestandaardiseerde gegevens en transparantie.
- De integratie van aandacht voor maatschappelijke aspecten en problemen van overbelasting in het ontwerp van datacentra, en in het creëren van bezwaarprocedures.
- Het bevorderen van duurzaam opwekken van elektriciteit om de totale invloed te verminderen.
- Een grotere IT efficiëntie (berekeningen uitvoeren, hardware, ontwerp, virtualisering etc.) naast een verlaging van PUE en energie-integratie.
- Waterbesparing door geen water te gebruiken voor koeling.
- Een lage CO<sub>2</sub>- uitstoot bij de fabricage van IT onderdelen en een maximaal gebruik van gerecyclede materialen, in het bijzonder van essentiële grondstoffen.
- Zorgvuldige omgang met elektronische apparatuur door recycling en hergebruik, door verlenging van de levensduur van servers, door een circulaire economie met verplichte normen op Europees en nationaal niveau.
- Het vermijden van nutteloze digitale informatie.

Samengevat heeft dit rapport duidelijk gemaakt dat het huidige beleid van de EU strookt met de eerder genoemde manieren om het milieu-effect van datacentra te verminderen. Niettemin blijken transparantie en traceerbaarheid nog steeds een probleem voor de datacenter-sector en bepalen de bereidheid en de betrokkenheid van bedrijven hoe daarmee wordt omgegaan. Het Voorstel voor een Richtlijn inzake energie-efficiëntie wil komen tot een bindend wettelijk kader waardoor datacentra worden gedwongen transparanter te zijn over hun energie-efficiëntie, gebruik van duurzame energiebronnen, hergebruik van restwarmte en watergebruik. Maar desondanks moeten er duidelijke criteria worden ontwikkeld om de duurzaamheid van datacentra te meten. Ook een geharmoniseerd gemeenschappelijk kader om – bijvoorbeeld – het gebruik van duurzame energie te meten, zal van grote waarde zijn. De Richtlijnen inzake AEEA en Ecodesign hebben betrekking op het gebruik van grondstoffen. Maar ook hierbij geldt dat er specifiekere normen voor datacentra zouden moeten komen om het gebruik van conflictvrije grondstoffen te stimuleren, de materiaal-efficiëntie, de levensduur van apparatuur, het gebruik van gerecyclede onderdelen en materialen te vergroten en hergebruik en recycling aan het einde van de rit te bevorderen. Ten slotte wordt het maatschappelijke aspect van het gebruik van digitale informatie steeds belangrijker als gevolg van de snelle groei van de hoeveelheid digitale gegevens, de vraag waarvoor al die gegevens worden gebruikt, de verslaving aan sociale media en de gezondheidsproblemen die dat veroorzaakt. Uitgaande van de huidige tendens zullen deze kwesties steeds belangrijker worden en zullen toekomstige Europese wetten hiermee rekening moeten houden.

# FIGUREN

<b>Fig. 1</b>	Een IT-ruimte met stellingen vol servers. Bron: Imagen (FS gemeenschap 2021).	3
<b>Fig. 2</b>	De hoeveelheid mondiaal geproduceerde data in zettabytes (ZB). Bron: Statista Research Department 2022).	3
<b>Fig. 3</b>	Links: De factor waarmee het internetverkeer, de werklast van datacentra, de hoeveelheid data en het energieverbruik sinds 2015 zijn toegenomen. Rechts: De energiebehoefte van data centra, transmissienetwerken en cryptomining wereldwijd. Bron: IEA 2022b en Statista Research Department 2022).	4
<b>Fig. 4</b>	Het energieverbruik van datacentra in Europa. (Bron: Dodd et al. 2020).	5
<b>Fig. 5</b>	Emissie van een Dell server, afhankelijk van de elektriciteitsbron, gedurende een levenscyclus van drie jaar.	6
<b>Fig. 6</b>	6 Emissie van een Dell server in Zweden gedurende een levensduur van drie jaar.	7
<b>Fig. 7</b>	De CO <sub>2</sub> -voetafdruk van Facebook en Google. (Bron: Gupta et al. 2021)	7
<b>Fig. 8</b>	Het mondiale gemiddelde waterverbruik in datacentra versus datacentra met een laag waterverbruik.	9
<b>Fig. 9</b>	Jaarlijks energieverbruik van datacentra. (bron: Koot en Wijnhoven 2021).	10
<b>Fig. 10</b>	10 PUE-waarde van datacentra wereldwijd. (Bron: Davis et al. 2022.)	11
<b>Fig. 11</b>	11 Vergelijking van PUE-waarden tussen mondiale, Europese, nieuwe en uiterst efficiënte datacentra.	11
<b>Fig. 12</b>	Gemiddelde dichtheid van serverkasten. (Bron: Ascierio en Lawrence 2020).	12
<b>Fig. 13</b>	Het type datacentra van 2010 tot 2018. (Bron: Masanet et al. 2020).	12
<b>Fig. 14</b>	Vernieuwingsstermijn van servers in datacentra. (Bron: Davis et al. 2022).	14
<b>Fig. 15</b>	Het aantal individuen dat internet gebruikt om actief te zijn op sociale media. Bron: Eurostat 2022b.	17
<b>Fig. 16</b>	Datacentra en nieuwe techbedrijven in Ierland. (Bron: EirGrid en SONI 2022).	22
<b>Fig. 17</b>	Elektriciteitsgebruik van datacentra in Nederland. Bron: CBS 2021, Dutch Data Centre Association 2022).	24
<b>Fig. 18</b>	CO <sub>2</sub> -uitstoot van servers tijdens een levensduur van 3 jaar voor Zweden, Ierland en Nederland.	28
<b>Fig. 19</b>	Potentiële reductie van de CO <sub>2</sub> -uitstoot voor een datacenter van 1 MW.	33

# TABELLEN

**Tabel 1** Minerale samenstelling in grammen voor een serverkast van 4,22 kW

14

# REFERENCES

- Arcadis. 2021. "The Arcadis Data Center Location Index 2021." <https://datacenters.arcadis.com/locationindex/p/1>.
- Ascierto, Rhonda, and Andy Lawrence. 2020. "Uptime Institute Global Data Center Survey 2020."
- atnorth. 2021. "Info Sheet Facility-SWE01: SIF DC." <https://atnorth.com/uploads/atNorth-Info-Sheet-SWE01-Sif-DC.pdf>.
- Bashroush, Rabih. 2018. "A Comprehensive Reasoning Framework for Hardware Refresh in Data Centers." *IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE COMPUTING* 3 (4): 209–20. <https://doi.org/10.1109/TSUSC.2018.2795465>.
- Bol, David, Thibault Pirson, and Remi Dekimpe. 2021. "Moore's Law and ICT Innovation in the Anthropocene." In *Proceedings -Design, Automation and Test in Europe, DATE, 2021-February:19–24*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.23919/DAT51398.2021.9474110>.
- CBS. 2021. "Electricity Supplied to Data Centres, 2017-2019." Cbs.Nl. April 16, 2021. <https://www.cbs.nl/en-gb/custom/2020/51/electricity-supplied-to-data-centres-2017-2019>.
- CBS StatLine. 2022. "Watergebruik Bedrijven En Particuliere Huishoudens; Nationale Rekeningen." March 2022. <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82883NED/table?dl=1A42C>.
- Central Statistics Office. 2022. "Data Centres Metered Electricity Consumption 2021." Cso.Ie. May 3, 2022. <https://www.cso.ie/en/releasesandpublications/ep/p-dcmec/datacentresmeteredelectricityconsumption2021/>.
- Chitakasem, P. 2020. "The Future of Data Centres in the Face of Climate Change." Singapore. <https://www.digitalcentre.technology/wp-content/uploads/2020/11/The-Future-of-Data-Centres-in-the-Face-of-Climate-Change-Report.pdf>.
- CISCO. 2020. "Cisco Annual Internet Report (2018-2023)." <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>.
- Climate Neutral Data Centre Pact. 2022. "Climate Neutral Data Centre Pact." <https://www.Climateneutraldatacentre.Net/>. May 2022. <https://www.climateneutraldatacentre.net/>.
- Cloudscene. 2022. "Market Profile Sweden." <https://Discover.Cloudscene.Com/Market/Data-Centers-in-Sweden/All>. 2022. <https://discover.cloudscene.com/market/data-centers-in-sweden/all>.
- Council of the EU Press release. 2022. "'Fit for 55': Council Agrees on Higher Targets for Renewables and Energy Efficiency." Consilium.Europa. June 27, 2022. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/06/27/fit-for-55-council-agrees-on-higher-targets-for-renewables-and-energy-efficiency/>.
- Dan Swinhoe. 2022. "EirGrid Says No New Applications for Data Centers in Dublin until 2028 - Report." <https://www.Datacenterdynamics.Com/En/News/Eirgrid-Says-No-New-Applications-for-Data-Centers-in-Dublin-till-2028/>. January 2022. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/eirgrid-says-no-new-applications-for-data-centers-in-dublin-till-2028/>.
- Davis, J., D. Bizo, A. Lawrence, O. Rogers, M. Smolaks, L. Simon, and D. Donnellan. 2022. "Uptime Institute Global Data Center Survey 2022." New York, USA.
- Dodd, N, F Alfieri, L Maya-Drysdale, J Viegand, S Flucker, R Tozer, B Whitehead, A Wu, and F Brocklehurst. 2020. "Development of the EU Green Public Procurement (GPP) Criteria for Data Centres, Server Rooms and Cloud Services, Final Technical Report." Luxembourg. <https://doi.org/10.2760/964841>.
- Dutch Data Center Association. 2022. "Statistics." <https://www.Dutchdatacenters.Nl/En/Statistics/>. 2022. <https://www.dutchdatacenters.nl/en/statistics/>.
- EEA. 2021. "Greenhouse Gas Emission Intensity of Electricity Generation in Europe." <https://www.Eea.Europa.Eu/lms/Greenhouse-Gas-Emission-Intensity-of-1>. November 18, 2021. <https://www.eea.europa.eu/lms/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1>.

- EirGrid, and Soni. 2022. "Ireland Capacity Outlook 2022-2031." Dublin. [https://www.eirgridgroup.com/site-files/library/EirGrid/EirGrid\\_SONI\\_Ireland\\_Capacity\\_Outlook\\_2022-2031.pdf](https://www.eirgridgroup.com/site-files/library/EirGrid/EirGrid_SONI_Ireland_Capacity_Outlook_2022-2031.pdf).
- EirGrid, and SONI. 2022. "2022 - 2031 All-Island Generation Capacity Statement Data Workbook." <https://www.eirgridgroup.com/site-files/library/EirGrid/GCS-2022-2031-Data-Workbook.xlsx>.
- Emily Holbrook. 2018. "World's First Carbon-Positive Data Center Launches in Sweden." 2018. <https://www.environmentalleader.com/2018/10/worlds-first-carbon-positive-data-center-launches-in-sweden/>.
- EPA. 2022. "Latest Emissions Data." [https://www.Epa.Ie/Our-Services/Monitoring--Assessment/Climate-Change/Ghg/Latest-Emissions-Data/#:~:Text=In%202020%2C%20Ireland's%20GHG%20emissions,59.84%20Mt%20CO2%20eq\)](https://www.Epa.Ie/Our-Services/Monitoring--Assessment/Climate-Change/Ghg/Latest-Emissions-Data/#:~:Text=In%202020%2C%20Ireland's%20GHG%20emissions,59.84%20Mt%20CO2%20eq).). 2022. <https://www.epa.ie/our-services/monitoring--assessment/climate-change/ghg/latest-emissions-data/#:~:text=In%202020%2C%20Ireland's%20GHG%20emissions,59.84%20Mt%20CO2%20eq>.
- European Commission. 2020a. "COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS A European Strategy for Data." Eur-Lex. February 19, 2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0066&from=EN>.
- . 2020b. "COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Shaping Europe's Digital Future." EUR-Lex. February 19, 2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0067>.
- . 2020c. "COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Powering a Climate-Neutral Economy: An EU Strategy for Energy System Integration." Eur-Lex.Europa.Eu. July 8, 2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1596190051609&uri=CELEX%3A52020DC0299>.
- . 2020d. "Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards Greater Security and Sustainability." Brussels. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0474>.
- . 2022a. "Code of Conduct for Energy Efficiency in Data Centres." Joint-Research-Centre. 2022. [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/energy-efficiency/energy-efficiency-products/code-conduct-ict/code-conduct-energy-efficiency-data-centres\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/energy-efficiency/energy-efficiency-products/code-conduct-ict/code-conduct-energy-efficiency-data-centres_en).
- . 2022b. "Towards a Green, Digital and Resilient Economy: Our European Growth Model." Ec.Europa.Eu. March 2, 2022. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_22\\_1467](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_1467).
- European Council. 2022. "Digital Services Package." <https://www.Consilium.Europa.Eu/>. 2022. <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/digital-services-package/>.
- Eurostat. 2022a. "Waste Statistics - Electrical and Electronic Equipment." Brussels. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics\\_-\\_electrical\\_and\\_electronic\\_equipment#Electronic\\_equipment\\_.28EEE.29\\_put\\_on\\_the\\_market\\_and\\_WEEE\\_collected\\_by\\_country](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics_-_electrical_and_electronic_equipment#Electronic_equipment_.28EEE.29_put_on_the_market_and_WEEE_collected_by_country).
- . 2022b. "Individuals Using the Internet for Participating in Social Networks." <https://Ec.Europa.Eu/Eurostat/Databrowser/View/Tin00127/Default/Line?Lang=en>. March 30, 2022. <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tin00127/default/line?lang=en>.
- Facebook. 2020. "FACEBOOK Sustainability Report 2019." [https://sustainability.fb.com/wp-content/uploads/2020/12/FB\\_Sustainability-Report-2019.pdf#:~:text=In%202019%2C%20we%20achieved%20a,emissions%2C%20compared%20to%202017%20levels.&text=In%202019%2C%20we%20achieved%2086,wind%20and%20solar%20projects%20online](https://sustainability.fb.com/wp-content/uploads/2020/12/FB_Sustainability-Report-2019.pdf#:~:text=In%202019%2C%20we%20achieved%20a,emissions%2C%20compared%20to%202017%20levels.&text=In%202019%2C%20we%20achieved%2086,wind%20and%20solar%20projects%20online).
- Farbiarz-Mas, A. 2022. "Afectaciones Psicosociales y Medioambientales de La Digitalización." September 6, 2022. <https://alexandrafarbiarz.com/afectaciones-psicosociales-y-medioambientales-de-la-digitalizacion/>.
- Fenn, Ali, and Florian Fesch. 2020. "THE FINANCIAL & CASE FOR CIRCULARITY, Maximize the Life of Your IT Hardware and Gain Environmental and TCO Benefits." April 2020. <https://itrenew.com/resources/the-global-circular-data-industry/>.
- Ferreboeuf, H.; Bihouix, P.; Fabre, P.; Kaplan, D.; Lefevre, L.; Monnin, A.; Ridoux, O.; Vajja, S.; Vautier, M.; Verne, X.; Ducass, A.; Efoui-Hess, M.; Kahraman, Z. 2019. "LEAN ICT TOWARDS DIGITAL SOBRIETY." [https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/03/Lean-ICT-Report\\_The-Shift-Project\\_2019.pdf](https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/03/Lean-ICT-Report_The-Shift-Project_2019.pdf).
- Flucker, Sophia, Robert Tozer, and Beth Whitehead. 2018. "Data Centre Sustainability – Beyond Energy Efficiency." Building Services Engineering Research and Technology 39 (2): 173–82. <https://doi.org/10.1177/0143624417753022>.
- Forti, V., C.P Baldé, R. Kuehr, and G. Bel. 2020. "The Global E-Waste Monitor 2020: Quantities, Flows and the Circular Economy Potential." Bonn/Geneva/Rotterdam. [https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Documents/Toolbox/GEM\\_2020\\_def.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Documents/Toolbox/GEM_2020_def.pdf).

- FS community. 2021. "Wiki Del Rack de Servidores Del Centro de Datos: Definición, Tipos y Guía de Compra." <https://Community.Fs.Com/Es/Blog/Different-Types-of-Server-Rack-Used-in-Data-Center.Html>. 2021. <https://community.fs.com/es/blog/different-types-of-server-rack-used-in-data-center.html>.
- Graedel, T. E., Barbara K. Reck, and Alessio Miatto. 2022. "Alloy Information Helps Prioritize Material Criticality Lists." *Nature Communications* 13 (150). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27829-w>.
- Graedel, T.E., J. Allwood, J-P. Birat, B.K. Reck, S.F. Sibley, G. Sonnemann, M. Buchert, and C. Hagelüken. 2011. "Recycling Rates of Metals – A Status Report. A Report of the Working Group on Global Metal Flows to the International Resource Panel." <https://www.resourcepanel.org/reports/recycling-rates-metals>.
- Guillaume, Bourgeois, Duthil Benjamin, and Courboulay Vincent. 2022. "Review of the Impact of IT on the Environment and Solution with a Detailed Assessment of the Associated Gray Literature." *Sustainability (Switzerland)*. MDPI. <https://doi.org/10.3390/su14042457>.
- Gupta, Udit, Young Geun Kim, Sylvia Lee, Jordan Tse, Hsien-Hsin S. Lee, Gu-Yeon Wei, David Brooks, and Carole-Jean Wu. 2021. "Chasing Carbon: The Elusive Environmental Footprint of Computing." In *2021 IEEE International Symposium on High-Performance Computer Architecture (HPCA)*, 854–67. IEEE. <https://doi.org/10.1109/HPCA51647.2021.00076>.
- Hormes, Julia M, Brianna Kearns, and C Alix Timko. 2014. "Craving Facebook? Behavioral Addiction to Online Social Networking and Its Association with Emotion Regulation Deficits." <https://doi.org/10.1111/add.12713>.
- IEA. 2019. "Global Energy & CO2 Status Report 2019." <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019>.
- . 2020. "The Carbon Footprint of Streaming Video: Fact-Checking the Headlines." Paris. <https://www.iea.org/commentaries/the-carbon-footprint-of-streaming-video-fact-checking-the-headlines>.
- . 2022a. "Global Energy Review: CO2 Emissions in 2021." IEA.Org. 2022. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-co2-emissions-in-2021-2>.
- . 2022b. "Data Centres and Data Transmission Networks." Paris. Paris. <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>.
- Jack Coleman. 2021. "7 Mobile Engagement Stats That Show How Push Notifications Boost ROI." <https://www.Airship.Com/Blog/7-Mobile-Engagement-Statistics-That-Show-How-Push-Notifications-Boost-Roi/>. May 22, 2021. <https://www.airship.com/blog/7-mobile-engagement-statistics-that-show-how-push-notifications-boost-roi/>.
- Jones, Nicola. 2018. "How to Stop Data Centres from Gobbling up the World's Electricity." *Nature* 561 (7722): 163–66. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-06610-y>.
- Judge, P. 2022. "Drought-Stricken Holland Discovers Microsoft Data Center Slurped 84m Liters of Drinking Water Last Year." *Datacenterdynamics*. August 16, 2022. Drought-stricken Holland discovers Microsoft data center slurped 84m liters of drinking water last year.
- Ko, Chih Hung, Gin Chung Liu, Sigmund Hsiao, Ju Yu Yen, Ming Jen Yang, Wei Chen Lin, Cheng Fang Yen, and Cheng Sheng Chen. 2009. "Brain Activities Associated with Gaming Urge of Online Gaming Addiction." *Journal of Psychiatric Research* 43 (7): 739–47. <https://doi.org/10.1016/J.JPSYCHIRES.2008.09.012>.
- Koomey, Jonathan G., Stephen Berard, Marla Sanchez, and Henry Wong. 2011. "Implications of Historical Trends in the Electrical Efficiency of Computing." *IEEE Annals of the History of Computing* 33 (3): 46–54. <https://doi.org/10.1109/MAHC.2010.28>.
- Koot, Martijn, and Fons Wijnhoven. 2021. "Usage Impact on Data Center Electricity Needs: A System Dynamic Forecasting Model." *Applied Energy* 291 (June): 116798. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2021.116798>.
- Koronen, Carolina, Max Åhman, and Lars J Nilsson. 2020. "Data Centres in Future European Energy Systems-Energy Efficiency, Integration and Policy." *Energy Efficiency* 13: 129–44. <https://doi.org/10.1007/s12053-019-09833-8>.
- Lawrence, A. 2021. "The Gathering Storm: Climate Change and Data Center Resiliency ." Seattle. [https://uptimeinstitute.com/uptime\\_assets/1d430c1fe0846e5c3ca4ac58a18c10126d6d4b2918d5d1960e794cecc52d230d-the-gathering-storm-climate-change-and-data-center-resiliency.pdf](https://uptimeinstitute.com/uptime_assets/1d430c1fe0846e5c3ca4ac58a18c10126d6d4b2918d5d1960e794cecc52d230d-the-gathering-storm-climate-change-and-data-center-resiliency.pdf).
- Libertson, Frans, Julia Velkova, and Jenny Palm. 2021. "Data-Center Infrastructure and Energy Gentrification: Perspectives from Sweden." *Sustainability: Science, Practice and Policy* 17 (1): 152–61. <https://doi.org/10.1080/15487733.2021.1901428>.
- Masanet, Eric, Arman Shehabi, Nuoa Lei, Sarah Smith, and Jonathan Koomey. 2020. "Recalibrating Global Data Center Energy Use Estimates." *Science* 367 (6481): 984–86. <https://doi.org/10.1126/science.aba3758>.
- Max Schulze. 2022. "Why PPAs Don't Make Data Centers More Sustainable." <https://Blog.Sdialliance.Org/Why-Ppas-Dont-Make-Data-Centers-More-Sustainable>. 2022. <https://blog.sdialliance.org/why-ppas-dont-make-data-centers-more-sustainable>.



- Microsoft. 2022. "Microsoft Datacenters Are Key to Our Sustainability Goals." Local.Microsoft. 2022. <https://local.microsoft.com/wp-content/uploads/2022/06/Microsoft-datacenters-in-Netherlands.pdf>.
- Nicole Cappella. 2022. "Sweden and the Sustainable Data Centre." <https://www.Techerati.Com/Features-Hub/Opinions/Sweden-and-the-Sustainable-Data-Centre/>. January 2022. <https://www.techerati.com/features-hub/opinions/sweden-and-the-sustainable-data-centre/>.
- Nowtricity. 2022. "Real Time Electricity Production Emissions by Country." 2022. <https://www.nowtricity.com/>.
- Open Compute Project. 2022. "<https://www.Opencompute.Org/>." 2022. <https://www.opencompute.org/>.
- PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. 2020. "Netherlands Climate and Energy Outlook 2020 - Summary." <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-netherlands-climate-and-energy-outlook-2020-summary-4299.pdf>.
- Pehlken, Alexandra, Ralph Hintemann, Fernando Penaherrera, Volkan Gizli, Karsten Hurrelmann, Simon Hinterholzer, Kerstin Kuchta, et al. 2020. "Abschlussbericht Verbundprojekt TEMPRO Total Energy Management for Professional Data Center." [https://tempro-energy.de/images/pdfs/Tempro\\_Endbericht\\_final\\_2020\\_05\\_14.pdf](https://tempro-energy.de/images/pdfs/Tempro_Endbericht_final_2020_05_14.pdf).
- pwc. 2019. "Edge Data Centers: Riding the 5G and IoT Wave." Salt Lake City. <https://www.pwc.com/us/en/industries/capital-projects-infrastructure/library/assets/pwc-edge-data-centers.pdf>.
- Ritchie, H., and M. Roser. 2022. "Greenhouse Gas Emissions - Our World in Data." Ourworldindata.Org. 2022. <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>.
- Shah, Amip J., Yuan Chen, and Cullen E. Bash. 2012. "Sources of Variability in Data Center Lifecycle Assessment." In IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology. <https://doi.org/10.1109/ISSST.2012.6227975>.
- Shehabi, Arman, Sarah Smith, Dale Sartor, Richard Brown, Magnus Herrlin, Jonathan Koomey, Eric Masanet, Nathaniel Horner, Inês Azevedo, and William Lintner. 2016. "United States Data Center Energy Usage Report." Berkeley, California. <https://www.osti.gov/servlets/purl/1372902#:~:text=Based%20on%20current%20trend%20estimates,servers%20operating%20in%20data%20centers>.
- Sovacool, Benjamin K., Chukwuka G. Monyei, and Paul Upham. 2022. "Making the Internet Globally Sustainable: Technical and Policy Options for Improved Energy Management, Governance and Community Acceptance of Nordic Datacenters." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 154 (February). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111793>.
- Statista Research Department. 2022. "Amount of Data Created, Consumed, and Stored 2010-2020, with Forecasts to 2025." Statista. September 8, 2022. <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/>.
- Stutz, M., S. O'Connell, and J. Pflueger. 2012. "Carbon Footprint of a Dell Rack Server." <http://content.dell.com/Jus/en/corp/d/corp>.
- Swedish Energy Agency. 2021. "Energy in Sweden 2021 An Overview." Eskilstuna. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=198022>.
- TechUK. 2021. "Sector Readiness for Climate Change Risks: Data Centres." <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewii8eOS4Nz6AhU0g84BHdDcAxIQFnoECAwQAO&url=https%3A%2F%2Fwww.techuk.org%2Fasset%2F98E70633-1060-42EE-A0278548E6E828CB%2F&usg=AOvVaw03OdI2b-xUz1E0VBQO2Xv4>.
- Valero, Alicia, Antonio Valero, Guiomar Calvo, and Abel Ortego. 2018. "Material Bottlenecks in the Future Development of Green Technologies." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 93 (October): 178–200. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2018.05.041>.
- Vermeulen, Peter, and Penny Madsen. 2021. "State of the Dutch Data Centers, the Roadmap to Recovery." [www.dutchdatacenters.nl](http://www.dutchdatacenters.nl).
- Whitehead, Beth, Deborah Andrews, and Amip Shah. 2015. "The Life Cycle Assessment of a UK Data Centre." *International Journal of Life Cycle Assessment* 20 (3): 332–49. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0838-7>.
- Zakarya, Muhammad. 2018. "Energy, Performance and Cost Efficient Datacenters: A Survey." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.005>.
- Zhang, Yelong, Yanqi Zhao, Siyuan Dai, Binjian Nie, Hongkun Ma, Jianming Li, Qi Miao, Yi Jin, Linghua Tan, and Yulong Ding. 2022. "Cooling Technologies for Data Centres and Telecommunication Base Stations – A Comprehensive Review." *Journal of Cleaner Production* 334 (February): 130280. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.130280>.



**The Left in the European Parliament**  
Rue Wiertz 43 B-1047 Brussels  
[www.left.eu](http://www.left.eu)