

Brassersplein 2
2612 CT Delft
Postbus 5050
2600 GB Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 70 00
F +31 88 866 70 57
infodesk@tno.nl

TNO-rapport 35649

Cloud computing: Grijs of Groen?

over energie-efficiëntie en duurzaamheid van
Infrastructure as a Service

DEFINITIEF

Datum	23 maart 2012
Auteur(s)	Bram Spitzer, Daniël Worm, Freek Bomhof, Mark Bastiaans
Review	Pieter Meulenhoff
Aantal pagina's	34
Aantal bijlagen	2
Opdrachtgever	AgentschapNL
Stuurgroep	Frank Hartkamp (Agentschap NL), Dirk Harryvan (MAN Systems), Gerard van Westrienen (SURF), Jan-Willem Tellegen (Green IT Consortium Amsterdam), Paul Dekkers (SURF)
Projectnaam	Green Clouds
Projectnummer	055.01464

De Creative Commons licentie "Naamsvermelding – Niet Commercieel – Geen afgeleiden werken" (CC BY-NC-ND 3.0) is van toepassing.

Samenvatting

Cloud computing is het op afroep, dynamisch ontsluiten van een verzameling ICT-middelen (zoals netwerken, opslag, verwerking, applicaties en diensten) over een netwerk. In dit rapport is uitgegaan van “Infrastructure as a Service”-clouds: opslag- en verwerkingscapaciteit wordt als dienst ter beschikking gesteld, hetzij als een publieke cloud (op één of meer centrale locaties, ten behoeve van diverse afnemers), als een private cloud (de afnemer richt een eigen cloud ten behoeve van zijn eigen eindgebruikers in), of een federatieve cloud (verschillende afnemers delen hun cloud faciliteiten met elkaar en fungeren daardoor ook als aanbieders voor elkaar). Een federatieve cloud die binnen een gesloten groep (bijvoorbeeld allemaal deelnemers uit één sector) wordt gebruikt, wordt ook wel “community cloud” genoemd.

Cloud computing kent voordelen: het kan kosten- én energie-efficiënt zijn ten opzichte van ICT die traditioneel in eigen beheer is. In deze rapportage wordt ingegaan op de vraag “wanneer is een cloud groen?” In deze studie vertalen we “groen” vooral naar energieverbruik, maar ook naar de hieraan verwante CO₂-uitstoot door vertaald: hoe duurzaam is de verbruikte energie opgewekt?

Energieverbruik van een cloud is hoofdzakelijk afhankelijk van de *efficiëntie*: worden de ICT-middelen ook daadwerkelijk allemaal volledig uitgenut? Een niet-gebruikte server kan wellicht beter uitgezet of uitgefaseerd worden. Cloud computing biedt de mogelijkheid om dynamisch ICT-middelen af te nemen (aan- en uitzetten wanneer nodig) én om optimaal gebruik te maken van de aanwezige ICT-middelen. Alleen al het gebruik van cloud computing betekent vaak een efficiëntieslag. Daarnaast is de *effectiviteit* van de verbruikte energie van belang: welk deel van de energie gaat naar de ICT, en welk deel is nodig voor koeling en andere ondersteunende apparatuur? Een andere factor om rekening mee te houden is de *uitstoot* door het energieverbruik.

Specifiek voor cloud computing telt nog mee dat de *plaats* meespeelt. Het kenmerk van een cloud is namelijk dat opslag en verwerking op enige afstand van de eindgebruiker plaatsvindt. De energie die netwerken gebruiken om de informatie te vervoeren moet daarom meegeteld worden. Ook biedt cloud de mogelijkheid om opslag en verwerking plaats te laten vinden daar waar (lokaal opgewekte) energie het goedkoopst – inclusief transportkosten – en het groenst is.

Een organisatie die van “groene clouds” gebruik gaat maken zal cloud-aanbieders beoordelen middels raamwerken als de CO₂-prestatieladder. Voor cloud-aanbieders zal vooral het stimuleren van efficiënt gebruik en het implementeren van goed capaciteitsmanagement een belangrijk aandachtspunt zijn. Voor cloud-afnemers kan energie-efficiëntie, -effectiviteit en uitstoot door afgenomen diensten vertaald worden in interne (TCO)-doorverrekeningen.

De ICT-architect van een cloud-aanbieder die een “groene cloud” wil inrichten zal aan verschillende zaken aandacht moeten geven. Aandachtspunten zijn o.a. het maximaliseren van de uitnutting door virtualisatie, efficiënte scheduling en provisioningmethodes, keuze van de locatie (b.v. een locatie dichtbij de eindgebruiker of dichtbij de energiecentrale), gebruik van energie-efficiënte ICT en

aanverwante middelen, gebruik van duurzame energie en duurzaam gebouwde datacenters.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Achtergrond: opkomst cloud computing, groene ICT	5
1.2	Probleemstelling: groen, wanneer en hoe?	5
1.3	Scope: IaaS-clouds; milieueffect energieverbruik, CO ₂	6
2	Wanneer is een cloud groen?	7
2.1	Wat is een groene cloud?	7
2.1.1	Cloud: dynamische ICT, op afroep, betalen naar gebruik	7
2.1.2	Groen: minimaliseren van carbon footprint per business-eenheid	8
2.2	Welke factoren zijn van belang voor het sturen op groenheid?	8
2.2.1	Efficiëntie en effectiviteit: minimaliseren energieverbruik	9
2.2.2	Groenheidsfactor: uitstoot energieverbruik; embedded carbon	10
2.2.3	Cloud-specifiek: netwerk tussen aanbieder en afnemer is overig verbruik; transportkosten energie meerekenen	12
3	Hoe kan een cloud groen worden gemaakt?	14
3.1	Welke veranderingen zijn er binnen organisaties nodig voor een groene cloud? ...	14
3.1.1	Zorg voor groen beleid; van strategie tot ICT-architectuur tot inkoop	14
3.1.2	Maak groenheid transparant	16
3.2	Welke service- en business modellen dragen bij aan een groene cloud?	16
3.2.1	Neem efficiëntie en effectiviteit als ICT-architectuur-uitgangspunt	17
3.2.2	Maak het voor de (interne) eindklant aantrekkelijk om groene diensten af te nemen	17
3.3	Hoe kan inrichting en operationalisering van ICT groen worden ingericht?	17
3.3.1	Maak ICT-middelen efficiënter: virtualisatie, efficiënte scheduling- en provisioningmethodes	19
3.3.2	Maak ICT-middelen effectiever: optimaliseer afstand, gebruik energie-efficiënte hardware, overige middelen	19
3.3.3	Verminder de carbon footprint	23
4	Welke concrete stappen moeten er gezet worden?	25
4.1	Communiceer over groen	25
4.1.1	Maak de carbon footprint inzichtelijk	25
4.1.2	Neem de hele cloud-keten mee	26
4.1.3	Bepaal welke carbon-footprint-metriek relevant is	26
4.2	Stuur op efficiëntie, effectiviteit en carbon footprint	27
4.3	Benut de cloud efficiënt	27

1 Inleiding

1.1 Achtergrond: opkomst cloud computing, groene ICT

Het onderwerp “cloud computing” krijgt in de ICT-wereld steeds meer aandacht. Ten opzichte van traditionele ICT wordt cloud computing gezien als een methode om efficiënter en effectiever met beschikbare bronnen, zoals hardware en energie, om te gaan. Een Forrester-rapport noemt Cloud Computing een hulpmiddel om zogenaamde “groene ICT” te versnellen en noemt daarbij de aspecten energie-efficiëntie en efficiëntie in ICT-middelen¹.

In Nederland zijn Agentschap NL en SURF in samenwerking met aantal partijen actief om voor een aantal doelgroepen, zoals hoger onderwijs en onderzoek, na te gaan – met efficiëntie en effectiviteit in het achterhoofd – op welke manier een “community cloud” kan worden ingericht. En onder de noemer “groene ICT” is er zowel nationaal als internationaal veel werk verzet om de energie-efficiëntie van met name individuele datacenters te verbeteren. Dit heeft geresulteerd in indicatoren, prestatiematen, technologie, best practices en praktijkrichtlijnen. AgentschapNL heeft TNO gevraagd om de huidige stand van zaken rondom “cloud” in relatie met “groen” in kaart te brengen en een rapport op te stellen wat kan helpen bij het kiezen voor en inrichten van een “groene cloud”.

1.2 Probleemstelling: groen, wanneer en hoe?

Agentschap NL is actief bij het stimuleren van de diverse sectoren in Nederland, waaronder de ICT-sector, om energie-efficiënt te werk te gaan. Dit heeft bijvoorbeeld in diverse Meerjaren Afspraken (MJA's) met branches geresulteerd. Met de opkomst van Cloud Computing wil Agentschap NL graag verkennen op welke manier deze vorm van ICT dienstverlening zo energie-efficiënt mogelijk ingevuld kan worden.

Dit rapport beantwoordt de volgende vragen:

1. Wanneer is een cloud-oplossing groen?
 - a. Wat is een groene cloud?
 - b. Welke factoren zijn van belang bij het sturen op groenheid?
2. Hoe kan een cloud groen worden gemaakt?
 - a. Welke veranderingen zijn er binnen organisaties nodig voor een groene cloud?
 - b. Welke service- en business modellen dragen bij aan een groene cloud?
 - c. Hoe kan inrichting en operationalisering van ICT groen worden ingericht?

Tot slot wordt er ingegaan op de vraag met welke concrete stappen een cloud groener gemaakt kan worden, dwz. hoe een groene cloud praktisch te realiseren is.

¹ Cloud Computing Helps Accelerate Green ICT
Doug Washburn and Lauren E. Nelson (Forrester) - 30 juni 2011

1.3 Scope: IaaS-clouds; milieueffect energieverbruik, CO₂

Dit rapport adresseert specifiek Infrastructure-as-a-Service-clouds (IaaS), en in dit rapport zal de term “cloud” verwijzen naar IaaS. Dit rapport neemt echter zowel infrastructuur- als applicatieaspecten mee in de beredenering: een IaaS-dienst is vaak geen dienst die door eindgebruikers wordt afgenomen, maar door een IT-organisatie. Deze organisatie zal bovenop een IaaS-dienst eindgebruikers-gerichte applicaties en diensten bouwen. Deze applicaties en diensten zijn vaak een bepalende factor in het gebruik van de IaaS-cloud.

Dit rapport neemt energieverbruik en daarmee de CO₂-uitstoot (als CO₂-equivalenten) als maatgevend voor het effect op het milieu (“groenheid”). Aan de milieueffecten van de CO₂ emissie wordt in dit rapport geen waardeoordeel gegeven².

Naast de milieueffecten van de CO₂-emissies zijn er nog meer milieueffecten die een (significante) rol kunnen spelen. Een voorbeeld: bij veel schaarse aardmetalen die gebruikt worden in elektronica veroorzaken bij de winning en opwerking milieueffecten op toxisch gebied. Daarnaast worden vaak grote gebieden aangetast door de ontginning. Ook wordt er bij bepaalde energieopwekking radioactief afval opgewekt. In dit rapport wordt niet ingegaan op deze milieueffecten, maar dit houdt niet in dat ze niet belangrijk zijn.

² Indirect is er een gevolg gekoppeld aan de broeikasgas-uitstoot; er wordt een weging (IPPC 2007 100a) aan gekoppeld. Deze weging houdt in dat elk broeikasgas een waarde ten opzichte van CO₂ krijgt. Zo heeft bv. N₂O een waarde van 298 kg CO₂-eq/kg.

2 Wanneer is een cloud groen?

Dit onderdeel van het rapport gaat in op de vraag wanneer een cloud groen is. Deze vraag is uit te splitsen in de volgende onderdelen:

- a. *Wat is een groene cloud?* Hiervoor zal er een definitie worden opgesteld.
- b. *Welke factoren zijn van belang bij het bepalen van groenheid?* Hiervoor zal per factor worden aangegeven hoe deze kan worden uitgedrukt.

2.1 Wat is een groene cloud?

Om een groene cloud te definiëren zal er op twee begrippen moeten worden ingegaan, nl. “groen” en “cloud”.

2.1.1 *Cloud: dynamische ICT, op afroep, betalen naar gebruik*

De meest geciteerde definitie voor “cloud” is die van het Amerikaanse NIST³:

“a model for enabling ubiquitous, convenient, on-demand network access to a shared pool of configurable computing resources (e.g., networks, servers, storage, applications, and services) that can be rapidly provisioned and released with minimal management effort or service provider interaction.”

In het Nederlands is de definitie vertaald en samengevat “het op afroep, dynamisch ontsluiten van een verzameling ICT-middelen (b.v. netwerken, opslag, verwerking, applicaties en diensten) over een netwerk.” Deze studie zal inzetten op één specifiek dienstenmodel: Infrastructure-as-a-Service, het als dienst aanbieden van de basis onder elke ICT-dienst: opslag en verwerking.



Een analogie op cloud computing is de beschikking hebben over een taxi-poule. Deze taxi's kunnen op huurbasis tijdelijk en op afroep (ad-hoc) worden ingezet door afnemers: men betaalt alleen voor het gebruik van de taxi; het beheer en onderhoud wordt door het taxibedrijf verzorgd. Dit is in tegenstelling tot in-house ICT; dit kan het beste vergeleken worden met het hebben van een eigen wagenpark. De taxi-analogie wordt in dit rapport gebruikt om een aantal aspecten van (groene) clouds te illustreren.

Bij een cloud zijn er twee soorten belanghebbenden: aanbieders en afnemers. De aanbieder levert de clouddienst (opslag- of verwerkingscapaciteit); de afnemer neemt dit af. Hierbij geldt dat een organisatie in een cloud-keten zowel de aanbieders- of afnemersrol op zich kan nemen. Ook is bij een cloud – anders dan in-house ICT – de bandbreedte en kwaliteit van de netwerkverbinding tussen aanbieder en afnemer essentieel, want een cloud-aanbieder kan geografisch ver verwijderd zijn van de afnemers.

³ NIST-definitie van cloud computing

http://csrc.nist.gov/publications/drafts/800-145/Draft-SP-800-145_cloud-definition.pdf

Naast dat door het op verschillende plaatsen beleggen van vraag en aanbod de technische aandacht nóg veel meer op het tussenliggende netwerk legt dan in in-house-IT-scenario's roept deze dikwijls organisatorische en juridische vraagstukken op. Deze vraagstukken zullen niet in dit rapport worden behandeld omdat deze losstaan van de probleemstelling.

2.1.2 *Groen: minimaliseren van carbon footprint per business-eenheid*

In een IaaS-cloud wordt de fysieke locatie, eigendom en beheer van de ICT-middelen opslag en verwerking verschoven richting aanbieder. De aanbieder kan zo niet alleen ICT-middelen “poolen” om zo een effectiever en efficiënter gebruik van ICT-middelen na te streven, maar kan ook beter door schaalgrootte richting leveranciers optreden. Hierdoor zullen er in totaal niet alleen minder ICT-middelen benodigd zijn om aan de totale gebundelde vraag van afnemers te voldoen, maar er ook totaal minder energie verbruikt worden om deze middelen operationeel te houden; de afnemers hoeven inmiddels zelf minder of geen (over)capaciteit operationeel te houden.



In dit rapport wordt “groen” in de praktijk doorvertaald in het minimaliseren van de carbon footprint per business-eenheid. In de taxi-analogie: “groen” is het minimaliseren van de CO₂ die vrijkomt bij gebruik (het verbranden van brandstof) als de CO₂ die is gaan zitten in de fabricage en afdanking van de taxi, en dat gerekend per passagier. Het gebruiksdeel van de carbon footprint is afhankelijk van het energieverbruik van de taxi's in de poule als deze rijden, en het fabricage- en afdankdeel is afhankelijk van het materiaalgebruik bij fabricage van de taxi.

Voor ICT zijn deze begrippen als volgt te definiëren:

Carbon footprint: de koolstofdioxide-impact in:

- De **gebruiksfase**. Dit zit in de **uitstoot** door het **energieverbruik** die gerelateerd is aan het gebruik van ICT-middelen. Dit deel is variabel, afhankelijk van de inzet van het middel.
- De **fabricage- en afdankingsfases**. Dit zit in de middelen zelf, en dus o.a. in het materiaalgebruik (**embedded carbon**) en energieverbruik bij het maken en afdanken van ICT-middelen. Dit deel is niet variabel, en kan alleen beïnvloed worden tijdens de keuze voor een specifiek type.

2.2 Welke factoren zijn van belang voor het sturen op groenheid?

Voor ICT in het algemeen zijn er een drietal factoren belangrijk bij het sturen op groenheid in de gebruiksfase, d.w.z. het minimaliseren van de carbon footprint:

- **Efficiëntie** en **effectiviteit** van het energieverbruik, en
- De **groenheidsfactor**, afhankelijk van uitstoot door het energieverbruik.

Dit rapport gaat ervan uit dat deze drie factoren tijdens de fabricage- en afdankingsfases veel minder van belang zijn dan in de gebruiksfase. In 2.2.1 staat uitgelegd waarom dit het geval is.

Specifiek voor cloud computing is er een aantal aspecten waarmee rekening gehouden moet worden bij het berekenen van deze factoren. De factoren en de cloud-specifieke aspecten van deze factoren zullen hieronder worden toegelicht. In Annex A staat beschreven hoe de verschillende factoren gecombineerd kunnen worden tot één “groenheidsgetal”.

2.2.1 *Efficiëntie en effectiviteit: minimaliseren energieverbruik*

Zoals gezegd is de carbon footprint, en dus de groenheid, uit te splitsen in een gebruiksdeel en een fabricage- en afdankingsdeel; de verhouding tussen deze twee onderdelen is van groot belang. Een rapport van de EU merkt op dat voor kantoorcomputers de verhouding in carbon footprint tijdens de gebruiksfase enerzijds en tijdens fabricage en afdanking anderzijds in een afschrijvingsperiode van vijf jaar ongeveer 66 : 33 is⁴. Schattingen voor servers, die in verhouding tot kantoorcomputers langer aanstaan en beter uitgenut worden, geven een verhouding van 90 : 10³⁴.

De bovenstaande schattingen geven aan dat de grootste winst te behalen is in het minimaliseren van energieverbruik per business-eenheid. In het geval van de taxi geldt dat het energieverbruik voor het vervoeren van één passagier geminimaliseerd moet worden. Deze minimalisatie is te behalen door energie **zo nuttig mogelijk** te gebruiken, d.w.z. op zowel **efficiëntie** als **effectiviteit** in energieverbruik te sturen. In taxi-terminologie vallen deze twee begrippen als volgt uit te leggen:



Efficiëntie: de uitnutting van de taxi-poule, d.w.z. de verhouding tussen:

- Hoeveel mensen er in rijdende taxi's vervoerd worden, en
- Hoeveel mensen er in de gehele poule passen.

In de praktijk zal gelden dat een taxibedrijf met de in de poule aanwezige taxi's zo veel mogelijk mensen zal proberen te vervoeren. Hierdoor zal de uitnutting per taxi én de grootte van de poule worden geoptimaliseerd.



Effectiviteit: de verhouding tussen:

- Het energieverbruik van de taxi-poule, d.w.z. de energie die wordt gebruikt om passagiers te vervoeren, en
- De totale energie die nodig is om passagiers te vervoeren, dus inclusief de energie die o.a. nodig is voor het stallen en onderhouden van de taxi.

In de praktijk zal gelden dat een taxibedrijf zuinige en onderhoudsvrije taxi's zal kopen en een mix zal inzetten van grotere (effectievere) en kleine taxi's. Hierdoor zal het

⁴ European Commission DG TREN Preparatory studies for Eco-design Requirements of EUPs
Lot 3: Personal Computers (desktops and laptops) and Computer Monitors
Final Report (Task 1-8)

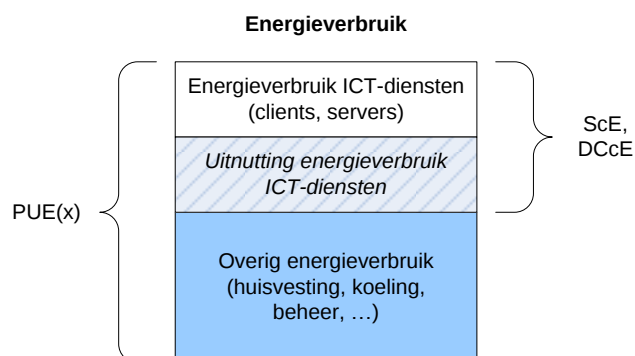
energieverbruik van onderhoud omlaag gaan, maar ook de embedded carbon in benodigde stallingsruimte.

Deze twee factoren kunnen voor *ICT in zijn algemeenheid* als volgt door worden vertaald:

- **Effectiviteit:** de verhouding **ICT-dienst-gerelateerd** versus **overig energieverbruik**, waarbij:
 - **ICT-dienst-gerelateerde energie** daadwerkelijk verbruikt wordt bij opslag en verwerking van informatie (servers, storage en interne netwerkverbindingen), en
 - **Overig energieverbruik** voor al het andere geldt (o.a. beheer, huisvesting en koeling, externe netwerkverbindingen, transportkosten energie).
- **Efficiëntie:** de uitnutting van ICT-gerelateerde middelen; d.w.z. in welke mate de ICT-middelen daadwerkelijk belast worden.

2.2.1.1 Metrieken: Compute Efficiency en Power Usage Effectiveness

In de Green ICT-wereld is men al jaren bezig met metrieken voor efficiëntie (*Compute Efficiency; cE*) en effectiviteit (*Power Usage Effectiveness; PUE*). In Figuur 1 is de verhouding tussen de verschillende soorten energieverbruik rondom ICT-middelen en veelgebruikte metrieken voor effectiviteit en efficiëntie van ICT weergegeven. Deze metrieken staan beschreven in Annex A.



Figuur 1 - Energieverbruik van een ketenspeler

Efficiëntie en effectiviteit kunnen **niet** los worden gezien; een aanbieder kan een datacenter “groenwassen” door deze in zijn geheel effectiever te maken door het bijplaatsen van effectieve middelen, maar als deze middelen niet worden uitgenut, dan gaat het energieverbruik per business-eenheid misschien wel omhoog.

2.2.2 Groenheidsfactor: uitstoot energieverbruik; embedded carbon

Het minimaliseren van het energieverbruik leidt niet automatisch tot een groenere cloud. Om écht groen te kunnen spreken moeten efficiëntie en effectiviteit gecombineerd worden met de volgende factoren:

- **Uitstoot** energieverbruik, d.w.z. de “groenheid” van het gebruik, en
- **Embedded carbon**, d.w.z. de “groenheid” van fabricage en afdanking.

Deze twee factoren zullen hieronder worden toegelicht. Zoals eerder genoemd is embedded carbon van minder belang dan uitstoot.

2.2.2.1 *Uitstoot energieverbruik: CO₂-uitstoot per kWh*

Energieverbruik kan verminderd worden door effectiviteit en efficiëntie. Groenheid is echter méér dan deze twee criteria: ook de uitstoot door de soort energie die verbruikt wordt is hierbij van belang. Ook hier geldt weer dat deze factor **niet** los kan worden gezien om “groenwassen” te voorkomen: een efficiënte en effectieve aanbieder die grijze stroom gebruikt kan minder groen zijn dan een aanbieder die minder efficiënt en effectief is, maar wel groene stroom gebruikt.

In de taxi-analogie:



Uitstoot: de koolstofdioxide die vrijkomt bij verbranding van brandstof (b.v. diesel, benzine, elektriciteit) die de taxi gebruikt.

In de praktijk is een groene taxi pas echt groen als deze zo weinig mogelijk uitstoot. Van verschillende brandstoffen en energie-opwekmethodes – van benzine tot gas, van kolen tot wind – is de CO₂-uitstoot per kWh bekend.

2.2.2.2 *Embedded carbon: energie- en materiaalgebruik; uitstoot bij afdanking*

Bij de embedded carbon van ICT-middelen wordt rekening gehouden met de fabricage en afdanking van de ICT-middelen. Bij de fabricage is het van belang welke materialen er gebruikt worden. Verschillende materialen hebben verschillende winning- en verwerkingsmethodes, waardoor de benodigde energie om het product te maken verschilt. Bij de fabricage wordt alle CO₂ uitstoot meegenomen van winnen van de grondstof tot het daadwerkelijke product.

Bij de afdanking van ICT-middelen wordt het gebruikte materiaal belangrijk. Sommige materialen (voornamelijk metalen in een zuivere vorm) kunnen goed gerecycled worden, wat tot een CO₂-reductie leidt, omdat geen nieuwe grondstoffen gewonnen hoeven te worden. Plastics worden veelal verbrand, waardoor (naast een kleine hoeveelheid energie) een CO₂-uitstoot ontstaat. In Tabel 1 staat een indicatie van de embedded carbon in cliënt-hardware (desktop-PCs, laptops).

Tabel 1 - Embedded carbon in elektronica cliënt-hardware. Gebaseerd op IPCC 2007 GWP 100a V1.02, data uit > 2005 (bron: TNO)

Apparaat	Embedded kg CO ₂
Desktop-PC (zonder randapparatuur)	271
Laptop	610
CRT-beeldscherm	253
LCD-beeldscherm	6392
Toetsenbord	26
Muis	5

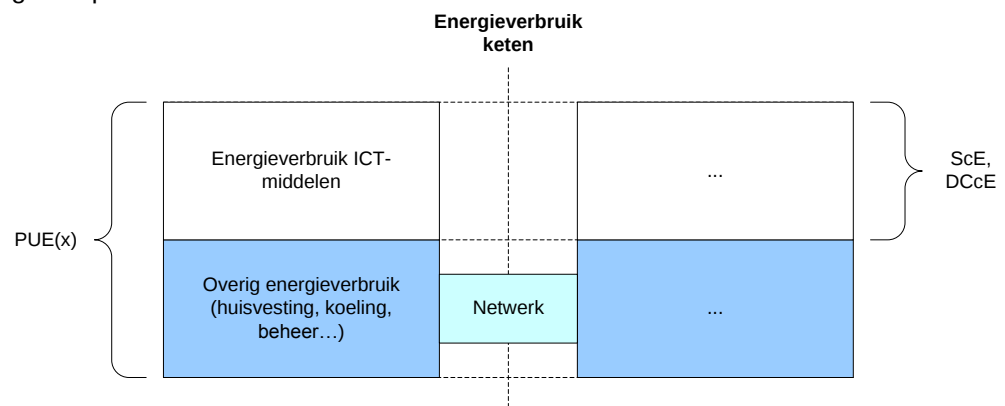
2.2.2.3 *Metriecken: uitstootfactor energie*

Van veel verschillende energiesoorten en –mixen (bij energie uit gemengde bron, bijvoorbeeld kolen én waterkracht) is de uitstoot per kWh bekend. Voor de soort energie die gebruikt wordt kan er dus een uitstootfactor bepaald worden die de

efficiëntie- en effectiviteitsmetrieken complementeert. In Annex A staat beschreven hoe deze uitstoot mee te nemen in het sturen op groenheid.

2.2.3 *Cloud-specifiek: netwerk tussen aanbieder en afnemer is overig verbruik; transportkosten energie meerekenen*

In een cloudketen worden aanbieders en afnemers verbonden door een netwerk (Figuur 2). Netwerkverbindingen verbruiken energie; schattingen uit een rapport van de IEEE stellen dat naar mate de opslag en verwerking helemaal richting de cloud schuift, het aandeel energie dat uitgegeven wordt aan transport zo'n 10% (private cloud) tot 25% (public cloud) van het geheel zal vormen⁵. Een cloud kan echter qua efficiëntie en effectiviteit zoveel energie besparen dat het kan lonen om deze "extra" energiekosten te maken; deze kunnen immers ruimschoots worden gecompenseerd.



Figuur 2 - Energieverbruik van een keten

Hierdoor moet het totale energieverbruik worden beschouwd als een integraal ketenprobleem waarbij ook het energieverbruik van het netwerk geminimaliseerd moet worden. Aangezien het netwerk tussen aanbieder en afnemer een essentieel onderdeel van een cloudketen is, maar géén primaire dienst (bij IaaS zijn dat opslag en verwerking) dient **het energieverbruik van het netwerk tussen aanbieder en afnemer** meegerekend te worden met het **overige energieverbruik**.

Zowel het sturen van informatie over een koper- of glasnetwerk als het transporteren van elektriciteit over hoog-, midden- en laagspanningskabels kost energie. Het transporteren van elektriciteit binnen Groot-Brittannië "kost" bijvoorbeeld 2% transportverlies⁶.

Een cloud biedt de mogelijkheid om opslag en verwerking te consolideren – binnen en buiten de deur. Opslag en verwerking capaciteit kan wellicht beter gepositioneerd worden naar de locatie waar energie het goedkoopst / schoonst is dan dat die goedkope / schone energie naar de locatie worden gebracht. Letterlijk: energie naar de aanbieder / afnemer brengen, of andersom. **Transportkosten**

⁵ Green Cloud Computing: Balancing Energy in Processing, Storage, and Transport Jayant Baliga, Robert W. A. Ayre, Kerry Hinton, Rodney S. Tucker (IEEE Fellow) <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=05559320>

⁶ Investigation Into Transmission Losses on UK Electricity Transmission System – juni 2008 <http://www.nationalgrid.com/NR/rdonlyres/4D65944B-DE42-4FF4-88DF-BC6A81EFA09B/26920/ElectricityTransmissionLossesReport1.pdf>

voor energie moeten dus meegenomen worden in het bepalen van het energieverbruik.

3 Hoe kan een cloud groen worden gemaakt?

Dit onderdeel van een rapport gaat in op de vraag hoe een cloud groen kan worden gemaakt. Deze vraag is uit te splitsen in de volgende onderdelen:

- a. *Welke veranderingen zijn er binnen organisaties nodig voor een groene cloud?* Hiervoor zal er algemeen worden ingegaan op groenheid binnen organisaties; cloud-specifieke aspecten zullen hier niet aan de orde komen.
- b. *Welke service- en business modellen dragen bij aan een groene cloud?* Hiervoor zal er in worden gegaan op gebruiks- en dienstverleningsaspecten van groene clouds.
- c. *Hoe kan inrichting en operationalisering van ICT groen worden ingericht?* Hiervoor zal in worden gegaan op de ICT-infrastructuur-elementen onder clouds.

Een samenvatting van criteria en maatregelen is te vinden in Annex B.

3.1 Welke veranderingen zijn er binnen organisaties nodig voor een groene cloud?

Hieronder zal worden ingegaan op organisatieaspecten die te maken hebben met ICT-gerelateerde groenheid in binnen een organisatie.

Groenheidscriteria en –maatregelen zijn:

Wie?	Criterium	Maatregel(en)	Factor
Afnemer	Zorg voor groen beleid; van strategie tot ICT-architectuur tot inkoop	Beoordeel organisaties met behulp van de CO ₂ -prestatieladder of soortgelijke raamwerk(en); maak een keuze welke	-
Aanbieder, afnemer	Maak groenheid transparant	Implementeer een groenheids-performance-managementsysteem voor intern én extern gebruik	-

3.1.1 *Zorg voor groen beleid; van strategie tot ICT-architectuur tot inkoop*

Op dit moment worden de meeste organisaties gedreven door effectiviteit en efficiëntie. Om écht groen te zijn zijn concrete doelstellingen op het gebied van uitstoot (b.v. in reductie van tonnen CO₂) van belang.

Organisaties zullen deze criteria opnemen als MVO-doelstelling in hun strategie. Maar met strategie alleen is een organisatie er nog niet. De meeste bedrijfsprocessen zullen gericht zijn op het zo financieel efficiënt en effectief mogelijk vervullen van de doelstellingen. Hierbij wordt echter de uitstoot vaak buiten beschouwing gelaten en “groen” vertaald als “zo goedkoop mogelijk” (efficiënt en effectief energieverbruik). Bepaalde organisaties (o.a. fabrikanten met een bepaalde productiecapaciteit en energieleveranciers met een bepaalde opwekcapaciteit) gebonden aan het kopen van emissierechten, en is het gebruikelijk om deze emissierechten simpelweg “af te kopen”. Onderzoek toont aan

dat de kosten hiervoor zullen worden doorberekend aan de klanten van organisaties, zonder daarbij een beoogd groenheids-effect te bereiken⁷. Daarom zal er op individueel procesniveau op groenheid gestuurd moeten worden, te beginnen bij het ICT-architectuurproces.

Het ICT-architectuurproces vertaalt de organisatiestrategie door in ICT-strategie en -inrichting (en andersom) en speelt daarbij een sleutelrol in het minimaliseren van de carbon footprint van ICT. Door maatregelen op het gebied van consolidatie en standaardisatie (o.a. applicatie-rationalisatie, verdiensting, virtualisatie) te nemen op dienst- en infrastructuurniveau worden ICT-middelen uniformer, kunnen deze gepooled worden en worden cloud-principes toepasbaar. Door deze principes alleen al kan er hogere effectiviteit, betere efficiëntie en / of minder uitstoot bereikt worden. Een aantal van deze maatregelen staan omschreven in de volgende onderdelen van het rapport. Andere bedrijfsprocessen zullen deze maatregelen moeten ondersteunen.

Een bedrijfsproces wat deze ondersteuning zal moeten bieden zich laat voeden door bij uitstek financieel laat besturen is het ICT-inkoopproces. Om groenheid hierin terug te laten komen zou bij het inkoopproces uitstoot ook een belangrijke factor moeten zijn. De oorspronkelijk bij ProRail afkomstige CO₂-prestatieladder is een instrument om bedrijven die deelnemen aan aanbestedingen te stimuleren tot CO₂-bewust handelen in de eigen bedrijfsvoering en bij de uitvoering van projecten. Het gaat daarbij met name om energiebesparing, het efficiënt gebruik maken van materialen en het gebruik van duurzame energie⁸. Deze ladder (Tabel 2) kan als maturiteitsmodel gezien worden voor groen-bewuste organisaties en geeft voor verschillende aspecten verschillende niveaus van volwassenheid aan.

Tabel 2 - CO₂-prestatieladder (skao.nl)

Niveau	Omschrijving
5	Het bedrijf beschikt over een CO ₂ -emissie-inventaris van haar belangrijkste leveranciers. Het bedrijf toont aan dat de geformuleerde doelstellingen zoals geformuleerd op niveau 3 en 4 worden gerealiseerd. Het bedrijf committeert zich publiekelijk aan een CO ₂ -reductieprogramma van - of met - overheid of maatschappelijke organisatie en kan aantonen dat het een relevante bijdrage levert aan een innovatief CO ₂ -reductieproject.
4	Het bedrijf heeft haar ketenemissies op hoofdlijnen in kaart gebracht en voor twee relevante ketens zijn ketenanalyses uitgevoerd. Het bedrijf beschikt over kwantitatieve doelstellingen voor haar ketenemissies. Het bedrijf onderhoudt een dialoog met belanghebbenden (overheden en maatschappelijke organisaties) en kan aantonen dat zij initiatiefnemer is van een sector- en keteninitiatief op het gebied van CO ₂ -reductie.
3	Het bedrijf beschikt over een officiële CO ₂ -emissie-inventaris die volgens de ISO (of GHG) standaard is opgesteld en door een onafhankelijke instelling is geverifieerd. Het bedrijf beschikt over kwantitatieve doelstellingen voor haar eigen (scope 1 en 2) CO ₂ -uitstoot. Het communiceert structureel intern en extern over haar CO ₂ -footprint en neemt actief deel aan tenminste één sector- en keteninitiatief op het gebied van CO ₂ -reductie.
2	Het bedrijf heeft haar energiestromen kwantitatief in kaart gebracht en heeft een kwalitatieve doelstelling geformuleerd voor energiebesparing en duurzame energie. Het bedrijf communiceert intern structureel over haar energiebeleid en neemt passief deel aan tenminste één sector- en keteninitiatief op het gebied van CO ₂ -reductie.
1	Het bedrijf heeft haar energiestromen kwalitatief in kaart gebracht en beschikt over een lijst potentiële opties voor energiebesparing en duurzame energie. Het bedrijf communiceert intern op ad hoc basis over haar beleid m.b.t.

⁷ Direct and Market Effects of Enforcing Emissions Trading Programs: An Experimental Analysis
James J. Murphy and John K. Stranlund - University of Massachusetts Amherst - Department of Resource Economics - Working Paper No. 2004-5

⁸ De CO₂-prestatieladder

<http://www.skao.nl/>

energiebesparing en duurzame energie en is op de hoogte van sector- en keteninitiatieven op het gebied van CO2-reductie.
--

3.1.2 *Maak groenheid transparant*

Naast dat groenheid moet worden opgenomen in hoe een organisatie werkt zal groenheid ook gemeten en gerapporteerd moeten worden in alle lagen van de organisaties. Performance management – het meten of processen werken zoals ze zouden moeten werken – op effectiviteit, efficiëntie en uitstoot zal in alle lagen van de organisatie beschikbaar moeten zijn; van real-time ICT-monitoringtools tot management dashboards. Deze zichtbaarheid geldt niet alleen intern – voor managers en medewerkers, maar ook extern: het rapporteren op groenheid zal niet alleen ten goede moeten komen aan de uiterlijke vervulling MVO-doelstellingen van organisaties, maar ook in de daadwerkelijke impact hiervan op de organisatie vóór een “vergroening”.

Een voorbeeld van een organisatie die groenheid transparant probeert te maken door de gehele organisatie heen is Google⁹. Het in dit rapport al eerder genoemde GreenCloud geeft bij het afnemen van hun clouddiensten de groenheid aan in begrijpbare termen, o.a. gebruikte vaten olie of gereden kilometers in een auto. Zo zullen er in verschillende lagen van de organisaties verschillende metrieken gehanteerd moeten worden; PUE zegt weinig in bedrijfsdoelstellingen-taal; de carbon footprint per gebruiker, burger, student of transactie echter wél. Om op deze metriek te sturen kan er op lagere niveaus worden teruggegrepen op de in het vorige hoofdstuk beschreven gedetailleerde metrieken.

3.2 Welke service- en business modellen dragen bij aan een groene cloud?

Hieronder zal worden ingegaan op vraag- en aanbodsmaatregelen om een cloud groener te maken. Hierbij is het spel tussen de afnemers van IaaS-diensten en diegene die het aanbiedt – binnen ICT-organisaties dikwijls de service manager – van belang.

Groenheidscriteria en –maatregelen zijn:

Wie?	Criterium	Maatregel(en)	Factor
Aanbieder	Neem efficiëntie en effectiviteit als ICT-architectuur-uitgangspunt	- Stimuleer efficiënt gebruik: niet-interactieve diensten; spot instances - Consolideer ICT-middelen en implementeer capaciteitsmanagement	Efficiëntie, effectiviteit
Afnemer	Maak het voor de (interne) eindklant aantrekkelijk om groene diensten af te nemen	Neem groenheid mee in de (interne) prijsstelling (TCO) om de vraag naar groenheid te sturen	-

⁹ Google Green
<http://www.google.com/green>

3.2.1 *Neem efficiëntie en effectiviteit als ICT-architectuur-uitgangspunt*

Onderzoek van de IEEE⁵ heeft uitgewezen dat – naast dat het energieverbruik van netwerken in de cloud-keten tot zo'n 25% van het totale verbruik kan stijgen – het netwerk het zwaarst belast wordt – en dus het meeste gebruikt wordt – als er gebruik wordt gemaakt van interactieve diensten. Bij het intensief interactief gebruik van virtuele machines en harde schijfruimte over het netwerk, bijvoorbeeld bij het aanbieden van remote desktop of thin-cliënt-omgevingen, zal het energieverbruik het grootst zijn; bij minder interactief gebruik, bijvoorbeeld bij grote rekenklussen die – als ze eenmaal gestart zijn – weinig interactie nodig hebben – zal er minder verbruik zijn. Het is dus zaak voor de service manager om het soort gebruik te optimaliseren, bijvoorbeeld door interactieve dienstverlening op een cloud dicht bij huis plaats te laten vinden (kortere verbinding), of helemaal niet op een IaaS cloud.

Ten tweede kan het efficiënt gebruik van de cloud gestimuleerd worden met beprijzen. Maatregelen die al genomen moeten worden om een cloud in te richten – o.a. consolidatie van ICT-middelen en capaciteitsmanagement (op soort en aantal middelen) – betekenen vaak een hogere effectiviteit, maar nog niet een hogere efficiëntie. Om efficiëntie te verhogen – dus om de uitnutting van een cloud te maximaliseren – is het zaak om zoveel mogelijk opslag en verwerking (virtuele machines en “storage buckets”) op de cloud te draaien op elk willekeurig moment van de dag (“load balancing”). De service manager kan invloed uitoefenen op het gedrag van eindgebruikers van een IaaS-cloud – bijvoorbeeld het tijdstip waarop ze de cloud gebruiken. Amazon – de grootste IaaS-aanbieder – biedt zogenaamde “spot instances” aan, waarbij virtuele machines per tik op verschillende tijdstippen verschillende prijzen hebben. Amazon doet dit om op elk moment van de dag een hoeveelheid virtuele machines te laten draaien die de verwerkingscapaciteit van hun cloud zo optimaal mogelijk belasten.

3.2.2 *Maak het voor de (interne) eindklant aantrekkelijk om groene diensten af te nemen*

De Total Cost of Ownership (TCO) van ICT is een belangrijke prijsstellings-metrick die gebruikt wordt om de ICT-kosten (efficiëntie) per ICT-dienst of -middel aan te geven, en om business cases in ICT-organisaties door te rekenen. Op dit moment is deze kostenmetrick financieel van aard en worden alle kosten die gemaakt wordt voor aanschaf, sloop, gebruik en beheer van ICT op één hoop gegooid. Hierin is groenheid meestal niet opgenomen.

Om terug te komen op het eerdere aangedragen punt om groenheid transparant te maken is het zaak om de groenheidscomponenten van TCO expliciet te vermelden in de rapportage, bijvoorbeeld uitstoot. Aangezien uitstoot van ICT om te rekenen is in emissierechten kan dit (de gangbare prijs van emissierechten is 13-15 euro per ton CO₂ op het moment van schrijven). bij de TCO worden opgeteld om zo tot een “groen” TCO-getal te komen. Een ander waarschijnlijk belangrijker stimulans is het opnemen van het totale energieverbruik (van de gehele cloud-keten) in de TCO; energie is immers duurder dan de bijbehorende emissies.

3.3 **Hoe kan inrichting en operationalisering van ICT groen worden ingericht?**

Hieronder worden maatregelen besproken die de inrichting en operationalisering van ICT – en dus clouds – groener kunnen maken. Dit is niet alleen van belang voor een cloud-aanbieder; ook een afnemer kan zijn voordeel doen met groenere (cliënt-)ICT.

De onderstaande maatregelen zijn opgesteld aan de hand van onderzoek en aanbevelingen uit verschillende bronnen. Een model wat veel van dergelijke maatregelen heeft opgenomen in één samenhangend datacenter-specifiek model is het OpenDCME-model¹⁰. Dit model kijkt naar verschillende aspecten rondom een datacenter en kan zowel gebruikt worden om volwassenheid op deze aspecten te bepalen én om deze aspecten te verbeteren. Daarnaast heeft de EU een Code of Conduct for Datacenters opgesteld die veel van deze maatregelen voorschrijft¹¹.

Groenheidscriteria en –maatregelen zijn:

Wie?	Criterium	Maatregel(en)	Factor
Aanbieder	Maak gebruik van virtualisatie	Stel de mate van virtualisatie vast	Efficiëntie
Aanbieder	Maak gebruik van efficiënte scheduling- en provisioningmethodes	Controleer of er gebruik gemaakt wordt van efficiënte scheduling- en provisioningmethodes	Efficiëntie
Aanbieder, afnemer	Optimaliseer de afstand tussen afnemer en aanbieder om netwerk- en transportverbruik te balanceren	Weeg verschillende energieverbruiks-scenario's (locatie aanbieder en afnemer variërend) af op ICT-middelen, netwerk en energietransport en kies daartussen	Effectiviteit
Aanbieder, afnemer	• Gebruik energie-efficiënte server-hardware • Gebruik energie-efficiënte cliënt-hardware • Gebruik energie-efficiënte overige middelen	Beoordeel met OpenDCME, EU Code of Conduct voor Datacenters, Energy Star of soortgelijke standaarden en normen; maak een keuze welke	Effectiviteit
Aanbieder	Gebruik duurzame energie	Gebruik het stroometiket bij het kiezen van een energieleverancier; neem deze mee in het optimaliseren van de afstand	Carbon footprint
Aanbieder	Bouw duurzame datacenters	Beoordeel met BREEAM, LEED of soortgelijke standaarden / keurmerken; maak een keuze welke	Carbon footprint

¹⁰ OpenDCME

<http://www.opendcme.org>

¹¹ EU Code of Conduct for Datacenters

http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/html/standby_initiative_data_centers.htm

3.3.1 *Maak ICT-middelen efficiënter: virtualisatie, efficiënte scheduling- en provisioningmethodes*

Het verbeteren van de energie-efficiëntie van de ICT-middelen door middel van o.a. virtualisatie zal over het algemeen leiden tot een betere uitnutting van ICT-bronnen.

3.3.1.1 *Maak gebruik van virtualisatie*

Niet alleen CPU's, maar ook andere componenten als schijven, geheugen en netwerkapparaten verbruiken energie, zodat een server die 'idle' lijkt te zijn, nog steeds tot 60% van het maximale vermogen kan verbruiken. Een aanpak om energie-efficiëntie van datacenters te vergroten is virtualisatie van servers, waarbij de server wordt opgedeeld in VMs (virtuele machines). Het gebruik van meerdere VMs op een server heet *server consolidation*, en zorgt ervoor dat er minder fysieke servers nodig zijn, en dus minder energie wordt verbruikt¹². De meeste – zo niet alle – cloud-aanbieders maken al gebruik van deze techniek: een clouddienst zonder virtualisatie is vrijwel niet denkbaar.

3.3.1.2 *Maak gebruik van efficiënte scheduling- en provisioningmethodes*

Methoden of algoritmen (*dynamic provisioning algorithms*) die een kleine verzameling van actieve servers selecteren, zodat de andere servers in een *low power toestand* kunnen worden gebracht, brengen het energieverbruik omlaag. Er bestaan allerlei heuristieken en algoritmes voor het energie-efficiënt *schedulen* van meerdere taken. Vaak wordt hierbij uitgegaan van dynamische power management technieken zoals DVFS. Zie bijvoorbeeld ^{13 14}. Deze maatregel is alleen effectief wanneer het qua energieverbruik loont om een servers op een lagere uitnuttingsgraad te hebben draaien; in normale situaties moet er omwille van de efficiëntie van uit worden gegaan dat alle servers maximaal belast zullen moeten worden.

3.3.2 *Maak ICT-middelen effectiever: optimaliseer afstand, gebruik energie-efficiënte hardware, overige middelen*

De effectiviteit is te beïnvloeden door het energie-efficiënter maken van zowel de ICT-middelen als overige middelen als koeling, huisvesting, externe netwerken en energietransport. Door energie-efficiënte ICT-middelen zal het energieverbruik de ICT-middelen als totaal afnemen, waardoor het een invloed heeft op het energieverbruik van overige ondersteunende middelen als koeling: als er minder warmte wordt opgewekt door minder energieverbruik van de ICT-middelen, zal er in het algemeen ook minder koeling nodig zijn.

De effectiviteit is echter sterk afhankelijk van de plaatsing en efficiëntie van de koelsystemen, waardoor de effectiviteitsverbetering die vermindering wel eens minder zijn dan verwacht, en zo bestaan er ook situaties dat verbeteren van energie-efficiëntie van ICT-middelen zelfs kan leiden tot een hoger PUE dan voorheen.¹⁵ Om dit tegen te gaan, moet er ook goed naar de effectiviteit van de koelsystemen ten opzichte van de ICT-middelen worden gekeken (zie verderop).

¹² Energy-Efficient Cloud Computing, A. Berl et al., The Computer Journal, 2010.

¹³ Power-Aware Scheduling of Virtual Machines in DVFS-enabled Clusters, G. von Laszewski et al., Cluster Computing and Workshops, 2009.

¹⁴ Energy Aware Consolidation for Cloud Computing, S. Srikantiah et al., Microsoft Research, 2008.

¹⁵ Micro PUE. The Key to Data Center Energy Savings. A White Paper, R. Hunter and C. Sandberg, Trendpoint Systems

3.3.2.1 *Optimaliseer de afstand tussen afnemer en aanbieder om netwerk- en transportverbruik te balanceren*

Het effectief gebruik van een cloud kan verbeterd worden door het verbeteren van de verhouding tussen het nuttige en niet-nuttige energieverbruik. Concreet houdt dit in dat de energie die niet wordt ingezet voor ICT-middelen moet worden geminimaliseerd.

Zowel het energiegebruik van het netwerk tussen aanbieder en afnemer wordt als niet-nuttig gezien. Dit houdt in dat opslag en verwerking moet plaatsvinden op een locatie die het minste energie kost. Hiervoor moet zowel de afstand tussen als de omvang van ICT-middelen op specifieke locaties geoptimaliseerd worden om onder andere de netwerk-energiekosten en transportkosten voor energie te beheersen.

Het energiegebruik van het netwerk is echter – naast van de afstand – sterk afhankelijk van de manier waarop het netwerk gebruikt wordt (zie 3.2.1); dit gebruik is weer afhankelijk van de uiteindelijke applicatie of dienst die op basis een IaaS-dienst wordt gebouwd. Hierdoor is alleen de afnemer van de IaaS-dienst in staat om te beoordelen of geografische afstand een zwaarwegende factor is bij het bepalen van het energiegebruik.

3.3.2.2 *Gebruik energie-efficiënte server-hardware*

Het gebruik van energie-efficiënte server-hardware heeft direct invloed op de effectiviteit, maar ook op de verhouding tussen de uitstoot die gaat zitten tussen fabricage en afdanking enerzijds en gebruik anderzijds. Een zuinigere server zal de verhouding meer naar fabricage en afdanking schuiven. De afschrijvingsduur van servers zal – naast economische overwegingen – moeten afhangen van het moment waarop de totale carbon footprint die nodig is om huidige en toekomstige uitnutting te faciliteren kleiner wordt met nieuwere, snellere en zuinigere modellen.

Voor ICT-hardware bestaan verschillende labels die energie-efficiëntie en (lage) impact op het milieu tot op zekere hoogte garanderen, zoals de European TCO Certification¹⁶ en Energy Star¹⁷. In 2009 verscheen van de Environmental Protection Agency (EPA) uit de VS, versie 1.0 van Energy Star specificaties voor servers. Testen wezen uit dat vervanging van oudere servers met nieuwe Energy Star-gelabelde servers kan leiden tot 30-50% vermindering van energieverbruik¹⁸.

Een beperking van de specificatie versie 1.0 is dat het de eisen voor kleine servers met maximaal vier processorsockets beschrijft. Energy Star verwacht in 2012 een specificatie uit te brengen voor grotere servers. Bijvoorbeeld: Maatregelen of eigenschappen die zorgen voor energie-efficiëntere servers bestaan onder andere uit:

- Inbouwen van geavanceerde power management technieken, zoals *low power toestand* of *idle toestand* als de server niet of nauwelijks in gebruik is en *dynamic voltage and frequency scaling* (DVFS), waarbij de voltage, en daarmee ook het energieverbruik en snelheid, kan worden aangepast. Deze technieken in combinatie met goede schedulingmethoden (zie verderop) zorgen voor verlaging van energieverbruik en dus een betere energie-efficiëntie.

¹⁶ <http://www.tcodevelopment.com/>

¹⁷ <http://www.energystar.gov/>

¹⁸ http://www.energystar.gov/ia/products/downloads/ES_server_case_study.pdf

- Gebruik maken van *blade servers*¹⁹, en omhullende *blade chassis*, met bepaalde specificaties, die minder ruimte innemen en meer potentie hebben voor verminderen van energieverbruik dan reguliere rackservers, o.a. door het delen van de voeding.

Ook is er een specificatie van Energy Star voor opslagsystemen op komst.

Het gebruiken van efficiëntere servers leidt tevens tot minder benodigde koeling. Een besparing van 1 Watt in het energieverbruik van een server kan leiden tot besparing van 1-2 Watt in het energieverbruik van een koelsysteem.

3.3.2.3 *Gebruik energie-efficiënte cliënt-hardware*

Ook de energie-efficiëntie van de hardware van afnemers kan verbeterd worden. Dit is niet zozeer een maatregel die betrekking heeft op een IaaS-cloud, maar wel op diensten die bovenop een dergelijke cloud gebouwd worden. Gezien het energieverbruik van servers tegenover clients nemen clients – en daarmee gerelateerde gedistribueerde hardware als beeldschermen, printers, lokale kantoornetwerken – een aanzienlijk deel in beslag nemen van totale energieverbruik. Ook een afnemer van cloud computing zal dus duurzame maatregelen moeten nemen om energieverbruik terug te brengen. Het vervangen van standaard desktops door energiezuinige *thin clients* kan het energieverbruik tot zo'n 30% terugbrengen.²⁰ Er bestaan Energy Star-specificaties voor energiezuinige *thin clients*²¹.

3.3.2.4 *Gebruik energie-efficiënte overige middelen*

De volgende maatregelen hebben betrekking op overige middelen (in een datacenter) en zijn slechts een greep uit de maatregelen die op dit gebied te nemen zijn. Deze maatregelen zijn alleen van toepassing als een cloud-aanbieder zich in de positie bevindt om een eigen datacenter te gaan bouwen en dus invloed kan uitoefenen op de inrichting van dit datacenter.

3.3.2.4.1 *Gebruik duurzame koelsystemen*

Het energieverbruik van koelsystemen is een niet onaanzienlijk deel van het totale energieverbruik van een datacenter (kan oplopen tot ruim 50%²²). Het minimaliseren van het energiegebruik van de koeling draagt bij aan verbetering van PUE-achtige metriecken.

Een traditioneel koelsysteem in een datacenter maakt gebruik van CRAC-units (Computer Room Air Conditioner), die de temperatuur, luchtdruk en luchtvochtigheid reguleren, door warme en koude luchtstromen via ventilatoren. Er bestaan hier meerdere varianten van die variëren in energie-efficiëntie. Het gebruiken van een gecentraliseerd systeem i.p.v. verschillende onafhankelijk opererende CRAC-units kan de energie-efficiëntie van het koelsysteem sterk doen toenemen²⁴. Een aanverwant koelsysteem bestaat uit CRAH units (Computer Room Air Handler), die veelal gebruik maken van gekoeld water. Chillers zijn

¹⁹ http://www.computable.nl/artikel/ict_topics/infrastructuur/2250799/2379248/blade-servers-waarheen-waarvoor.html

²⁰ Energy Efficiency in Thin Client Solutions, W. Vereecken et al., in: Networks for Grid Applications, 2010.

²¹ http://www.eu-energystar.org/nl/database/?cmd=selectform;table=ce_thinclient

²² Best Practices Guide for Energy-Efficient Data Center Design, National Renewable Energy Laboratory, 2011.

waterkoelsystemen, die voor het gekoeld water zorgen dat door de ventilatie-units wordt gebruikt.

Er zijn meerdere metrieken om efficiëntie van verschillende koelingssystemen te meten, die direct in elkaar zijn om te schrijven^{23 24}. Ze beschrijven allemaal de verhouding tussen verbruikte energie en verwijderde hitte. Deze zijn:

- De coëfficiënt of performance (COP): de verhouding tussen hitte verwijderd (kW) tot elektrische energie verbruikt (kW)
- kW/ton for chillers: aantal kW nodig voor het verwijderen van een ton hitte.
- Energy-efficiëntie ratio (EER) (voor koelsystemen in het dak).

Over het algemeen wordt aangenomen dat 0.6 kW/ton of minder een goede tot zeer goede energie-efficiëntie van koelsystemen voor datacenters.

Deze metrieken geven echter niet de volledige informatie over energie-efficiëntie, omdat hun gepubliceerde waarden worden berekend tijdens één punt in de tijd; de daadwerkelijke efficiëntie zal afwijken door variërende buitentemperaturen. Locatie van de datacenter speelt ook een rol in het energieverbruik van koelsystemen: een datacenter op een plek met gemiddeld lagere temperaturen heeft minder koeling nodig.

Verder is de plaatsing van de koelsystemen *binnen* een datacenter van groot belang om energieverbruik verder omlaag te brengen. Koelsystemen vlakbij servers zullen efficiënter zijn dan koelsystemen die de gehele ruimte(s) van de datacenter koelen, zoals de traditionele koelsystemen hierboven genoemd. Dus de boven gegeven metriek geeft niet alle informatie voor het bepalen van de efficiëntie: belangrijk is ook hoeveel warmte er verwijderd moet worden voor het op temperatuur houden van de servers, waarbij dit aantal omlaag zal gaan als de koelsystemen dichterbij de servers koelen. Dit kan al worden gedaan door nieuwe duurzamere koelsystemen, zoals liquid cooling, nano fluid-cooling systems, in-server, in-rack en in-row cooling.²⁵

3.3.2.4.2 Gebruik gecertificeerde energievoorzieningen

De energie-efficiëntie maat van elektrische energievoorziening wordt vaak gegeven in een percentage, die aangeeft welk gedeelte van de energie die binnenkomt niet verloren is gegaan, bijvoorbeeld door converteren van AC naar DC via voedingen. Energie-efficiëntie van voedingen hangt af van de load, aantal circuits en andere condities. Voedingen die gelabeld zijn met 80% efficiëntie hoeven niet bij alle loads even efficiënt te zijn: vooral lage loads zijn meestal het inefficiëntst. Door gebruik te maken van voedingen met een Energy Star certificatie, wordt er ten minste 80% efficiëntie gegarandeerd onder iedere load²⁶.

Eén van de grootste bronnen voor energieverliezen in de elektrische energievoorziening is de *uninterruptible power supply* (UPS); het is daarom erg

²³ Electrical efficiency measurement for data centers, N. Rasmussen, 2007.

²⁴ http://www.trs-sesco.com/converting_kw.pdf

²⁵ Green Cloud Computing and Environmental Sustainability, S. Garg and R. Buyya, <http://www.buyya.com/Cloud-EnvSustainability2011.pdf>, 2011.

²⁶ Green Cloud computing and Environmental Sustainability, S. Garg and R. Buyya, 2010.

belangrijk dat deze energie-efficiënt is. Hiervoor bestaan certificaties van Energy Star²⁷.

3.3.2.4.3 *Bespaar op verlichting*

Verlichting van datacenters kost niet alleen zelf energie, maar levert ook warmte op, dat weer zorgt voor een hoger energieverbruik voor de koelsystemen. Energie-efficiënte verlichting zal de PUE verlagen. De energie-efficiëntie kan worden gerealiseerd met behulp van timers of bewegingssensoren, en het gebruik van energie-efficiënte lampen. Het voordeel van energie-efficiënte verlichting is groter op slechts gedeeltelijk gevulde datacenters²⁸.

3.3.3 *Verminder de carbon footprint*

De grootste winsten op carbon-footprint-gebied zijn te behalen door het inzetten van duurzame energie en duurzame middelen. Met duurzame middelen wordt specifiek bedoeld op datacenters als gebouw: naar verwachting zal er op embedded carbon in ICT-middelen al een grote totale reductie bereikt worden door efficiëntieslagen.

3.3.3.1 *Gebruik duurzame energie*

Het is een open deur, maar de uitstoot door een kWh duurzame energie is minder dan de uitstoot door een kWh fossiele brandstof. Dat betekent dat de soort stroom die gebruikt wordt, meegenomen moet worden. Elke energieaanbieder in Nederland is verplicht bekend te maken hoeveel uitstoot een kWh veroorzaakt, middels zijn stroometiket²⁹. In Nederland was in 2010 42% van de stroom “duurzaam” en waren slechts enkele (6 van 25) leveranciers die volledig duurzame energie aanbieden; de keuze van leverancier en de energiemix die deze inzet bepaalt de uiteindelijke uitstoot.

3.3.3.2 *Bouw duurzame datacenters*

De huisvesting van een datacenter heeft een grote potentiële impact op het milieu, zowel bij de bouw (b.v. gebruik van duurzame materialen) van zo'n huisvesting als bij de ingebruikname hiervan (b.v. goede isolatie). Deze maatregel is alleen van toepassing als een cloud-aanbieder zich in de positie bevindt om een eigen datacenter te gaan bouwen.

Er zijn verschillende standaarden (onder constructie) die gebruikt kunnen worden om duurzame huisvesting te toetsen. De BREEAM-standaard is ontwikkeld in Groot-Brittannië als een duurzaamheidskeurmerk voor nieuwe gebouwen, uitbreiding of renovatie van bestaande gebouwen, voor verschillende typen gebouwen. Er bestaat een specifiek keurmerk voor datacenters³⁰, waarin o.a. wordt gekeken naar materialen die in de bouw gebruikt worden, benodigde onderhoud van het gebouw. Het gebruiken van duurzamere materialen zal de fabricage- en afdankfactor van groenheid omlaag brengen.

Ook wordt er in dit keurmerk gekeken naar direct energieverbruik, waarbij de PUE-metriek ook wordt meegenomen. Dit keurmerk is specifiek ontwikkeld voor de Britse

²⁷ http://www.energystar.gov/index.cfm?c=new_specs.uninterruptible_power_supplies

²⁸ Guidelines for Energy-Efficient Datacenters, The Green Grid (<http://www.thegreengrid.org>)

²⁹ Zie <http://www.groenestroomjagraag.nl/stroometiket> voor een overzicht

³⁰ <http://www.breeam.org>

markt, maar de Dutch Green Building Council (DGBC)³¹ is in de zomer van 2011 gestart met de ontwikkeling van een aparte BREEAM-NL richtlijn voor datacenters (deze is inmiddels afgerond). Hierbij worden aan metriekeken als PUE punten toegekend die meetellen in de beoordeling van datacenters. Meerdere kern- en werkgroepen zijn aan de slag geweest om tot deze betaversie te komen. DGBC wil nu met ondersteuning van Agentschap NL en in samenwerking met marktpartijen pilotprojecten inbrengen die de betaversie voor datacenters verder ontwikkelen.

Een vergelijkbare standaard voor duurzaam bouwen is ontwikkeld in de VS voor commerciële kantoorgebouwen: LEED³². Een aantal datacenters heeft zich al laten certificeren met een LEED-keurmerk, maar deze is nog niet specifiek op datacenters ingericht. Een aantal partijen heeft een draft-versie uitgebracht van een uitbreiding van LEED voor datacenters³³.

Bij het bouwen van nieuwe datacenters, of het herinrichten van bestaande datacenters, raden wij aan om voor de BREEAM- of LEED-standaarden te gaan, en het gebouw te laten keuren.

³¹ <http://www.dgbc.nl>

³² <http://www.usgbc.org/leed>

³³ <http://www.datacenterknowledge.com/archives/2009/02/03/leed-for-data-centers-draft-released/>

4 Welke concrete stappen moeten er gezet worden?

De vorige hoofdstukken gingen in op wat een groene cloud is en hoe een cloud groen gemaakt kan worden. De factoren en maatregelen zijn losstaand; de vraag is hoe deze toegepast moeten worden. De aanbevelingen in dit hoofdstuk zijn gedaan vanuit het gezichtspunt van ICT-gerelateerde rollen bij de afnemer van cloud-diensten. Hierbij is er van uitgegaan dat de afnemer al voorbereid is op of al gebruik maakt van een cloud-dienst; de keuze tussen in-house-ICT en cloud is dus al gemaakt. Ook is ervan uitgegaan dat door de in dit hoofdstuk genoemde stappen de aanbieder van de clouddienst gestuurd kan worden op een groenere inrichting van ICT.

4.1 Communiceer over groen

Naast de algemene maatregelen die een organisatie – zowel aanbieders als afnemers – zal moeten nemen op groenheid, groenheidsbewustzijn en transparantie is het belangrijk om te sturen en rapporteren op carbon footprint. Hierbij zijn er twee punten van belang:

1. Breng de carbon footprint in kaart, en
2. Bepaal welke carbon-footprint-metrick van belang is.

4.1.1 Maak de carbon footprint inzichtelijk

Uit dit rapport blijkt dat voor ICT-middelen geldt dat de verhouding tussen operationele carbon footprint enerzijds en fabricage- en afdankfootprint anderzijds vaak in het “voordeel” van de operationele footprint beslecht wordt. Hierdoor zijn de grootste winsten te behalen in het minimaliseren van het operationele deel, d.w.z. door een hogere effectiviteit en efficiëntie en een lagere uitstoot.

Om te kunnen sturen op waar efficiëntie-, effectiviteits en uitstootwinsten zijn te behalen moet er een overzicht gemaakt worden van de bij zowel de aanbieder als de afnemer aanwezige ICT-middelen en hun carbon footprint. Voor de Greater London Authority heeft ComputaCenter een algemene “Groene ICT”-audit uitgevoerd en biedt deze als case study aan³⁴. In deze case study is een meting / schatting gemaakt van zowel het embedded- als het verbruiksdeel van de carbon footprint per soort ICT-middel. De cijfers zijn in tabelvorm weergegeven om een goed overzicht te verkrijgen (Tabel 3). Er wordt onderscheid gemaakt in kantoor-ICT-middelen en server-ICT-middelen.

Tabel 3 - Carbon footprint van de GLA

Carbon footprint vóór virtualisatie (kg CO ₂ / jaar)					% / jaar		
Middel	Em-bedded	Gebruik	Overig	Totaal	Em-bedded	Gebruik	Overig
Desktops	37907	62248	100155	100155	38	62	0
Beeld-schermen	17505	19661	37166	37166	47	53	0
Laptops	4298	2031	6,329	6329	68	32	0
Printers	530	5389	5,920	5920	9	91	0

³⁴ Fact File: Carbon Reduction Measures - GLA
<http://www.computacenter.com>

Carbon footprint vóór virtualisatie (kg CO ₂ / jaar)					% / jaar		
Middel	Em-bedded	Gebruik	Overig	Totaal	Em-bedded	Gebruik	Overig
MFDs	49	924	973	973	5	95	0
Datacenter	0	0	135725	135725	0	0	100
Servers	6682	135725	142408	142408	5	95	0
Totaal	66973	225978	135725	428677	16	53	32

De conclusie van de studie was dat virtualisatie de meeste winst opleverde; de onderstaande tabel (Tabel 4) geeft het besparingspotentieel per maatregel aan.

Tabel 4 - Besparingen bij de GLA

Uitstoot (kg CO ₂) in 2015/16						
Maatregel	Nu	Straks	CO ₂ -besparing (%)	Besparing (%)	Kosten (£)	Besparing (£ / kg CO ₂)
Thin clients	100155	33907	66,247	-66	55,440	0.84
MFD	6893	4649	2,245	-33	9,437	4.2
Video-conferencing	83658	62406	21,212	-25	14,980	0.7
Virtualisatie	142408	52222	90,186	-63	37,563	0.42
Hosting	135725	135725	-	-	-	-
Totaal	468839	288909	179,930	-38		

Bovenstaande studie is ter illustratie en geeft vanuit een commercieel oogpunt cijfers die als basis kunnen dienen voor de keuze voor een cloud. Bij het bepalen van groenheid van een cloud-keten tussen aanbieder en afnemer moet ook de carbon footprint worden opgesteld, maar dan voor aanbieder, afnemer, netwerk én energietransport.

4.1.2 *Neem de hele cloud-keten mee*

Zoals gezegd zal er voor een cloud-keten de carbon footprint opgesteld moeten worden voor zowel de aanbieder als afnemer. Hierbij moet de hele keten in kaart worden gebracht, van aanbieder tot afnemer, van energiebron (inclusief transportkosten) tot netwerk. Er moet – waar mogelijk – expliciet gekeken worden naar de carbon footprint van het netwerk wat deze twee verbindt; dit is een middel wat essentieel is voor een cloud, volgens de factoren in dit rapport niet meetelt als nuttig ICT-middel én een aanzienlijk deel van het energieverbruik voor zijn rekening neemt. Het is in de praktijk echter zo dat zowel de afnemer als de aanbieder van clouddiensten de netwerkverbinding tegen vaste tarieven afnemen; energieverbruik is hierdoor niet inzichtelijk.

4.1.3 *Bepaal welke carbon-footprint-metrick relevant is*

Metriecken als PUE en DCcE zeggen weinig als deze in een organisatiecontext gebruikt worden. Begrippen als TCO spreken hier meer tot de verbeelding. Afhankelijk van het soort organisatie zal er bij de afnemer van een cloud-dienst dus een metrick gekozen moeten worden die concreet om te rekenen is in (financiële) organisatiedoelstellingen én in termen van efficiëntie, effectiviteit en / of uitstoot en embedded carbon. Voorbeelden:

- Een ICT-dienstverlener gebruikt carbon footprint per **gebruiker**
- Een bank gebruikt carbon footprint per **transactie**
- Een overheidsinstantie gebruikt carbon footprint per **burger**

- Een onderwijsinstelling gebruikt carbon footprint per **student**

De aanbieder van een IaaS-cloud kan – realistisch gezien – alleen rapporteren over de metrieke die voor zijn diensten – opslag en verwerking – relevant zijn (b.v. carbon footprint per MB opslagruimte en per CPU-kloktik). De afnemer heeft de nodige domeinspecifieke kennis over diensten en gebruikers en zal de taak op zich moeten nemen om deze metrieke om te zetten naar voor hem relevante metrieke.

De groenheidsfactoren in dit rapport kunnen over het algemeen gebruikt worden om de situatie *binnen één cloudketen* vóór en ná het nemen van maatregelen te bepalen. Zoals eerder gezegd zijn metrieke die hierin gebruikt worden (o.a. PUE en DCcE) **niet** geschikt om *verschillende* cloudketens met elkaar te vergelijken. (Dit zou alleen mogelijk zijn als van deze cloudketens dezelfde gebruiksprofielen zouden hebben.)

4.2 Stuur op efficiëntie, effectiviteit en carbon footprint

Bij het sturen op groenheid moet er op efficiëntie, effectiviteit en carbon footprint gelet worden. Bij het beoordelen van cloud-leverancier geldt het volgende:

- **Efficiëntie én effectiviteit:** Een cloud-aanbieder zal uit zichzelf uit kostenoverwegingen altijd op efficiëntie en effectiviteit sturen. Door middel van de in het tweede hoofdstuk genoemde metrieke voor effectiviteit en efficiëntie (PUE, DCcE) en het in het vorige hoofdstuk genoemde OpenDCME-model, de BREEAM-standaard en de EU Code of Conduct for Datacenters kan de volwassenheid van een cloud-aanbieder op efficiëntie- en effectiviteitsgebied beoordeeld worden. Hierbij geldt dat efficiëntie weliswaar het belangrijkste beoordelingskenmerk is, maar dat efficiëntie én effectiviteit beiden beoordeeld moeten worden om een mate “greenwashing” te voorkomen.
- **Carbon footprint:** Door middel van de in het vorige hoofdstuk genoemde metrieke voor uitstoot en normen en modellen als de CO₂-prestatieladder en het LEED-keurmerk kan een aanbieder beoordeeld worden op carbon-footprint-gebied, zowel in de gebruiks-, fabricage en afdankfases.

Een samenvatting van criteria en maatregelen is te vinden in Annex B.

4.3 Benut de cloud efficiënt

Naast dat de aanbieder verantwoordelijkheden heeft op het gebied van efficiëntie heeft de afnemer dit ook. Een aanbieder kan tot op zekere hoogte ervoor zorgen dat zijn ICT-middelen optimaal worden uitgenut; een groot deel van die uitnutting zit echter in het gebruikspatroon van afnemers. De aanbieder kan – zoals gezegd – hierop sturen (kosten naar gebruik / tijdstip), maar de afnemer kan hier ook een grote steen aan bijdragen door het beïnvloeden van type gebruik (interactief versus niet-interactief).

A Factoren, Metrieken en Formules

A.1 Groenheid: effectiviteit, efficiëntie, groenheidsfactor

Zoals gezegd is de carbon footprint, en dus de groenheid, uit te splitsen in een gebruiks- en een fabricage- en afdankingsdeel; bovendien is de verhouding tussen deze twee onderdelen van belang. In theorie zouden deze twee groenheden gewogen meegenomen kunnen worden in een totale groenheidsfactor; doordat de verhouding in het voordeel van de gebruiksfase zal uitvallen legt dit rapport de focus de gebruiksfase bij het sturen op groenheid en zal de groenheid worden uitgesplitst in twee onderdelen.

De groenheid is als volgt uit te drukken:

$$G_{\text{gebruik}} \approx E_{\text{nuttig}} * g = (E_{\text{effectief}} * \frac{1}{e}) * g = (\frac{E_{\text{totaal}}}{E_{\text{ICT}}} * \frac{1}{e}) * g = \frac{E_{\text{totaal}} * g}{E_{\text{ICT}} * e}$$

en

$$G_{\{\text{fabricage, afdanking}\}} \approx C_{\text{nuttig}} = C_{\text{effectief}} = \frac{C_{\text{totaal}}}{C_{\text{ICT}}}$$

Waarbij:

- G staat voor de groenheids ($G > 1$), waarbij geldt dat een getal dichter bij de 1 “groener” is,
- E staat voor energieverbruik (in kWh),
- C staat voor embedded carbon (in kg CO₂),
- **Effectief** slaat op het energieverbruik voor ICT-middelen die betrokken zijn bij opslag en verwerking van informatie,
- e staat voor **efficiëntie**: het uitnuttingspercentage ($0 < e \leq 1$) van de ICT-middelen, d.w.z. hoeveel van de ICT-middelen daadwerkelijk belast worden, en
- g staat voor de **groenheidsfactor** ($g > 1$) van de energiebron(nen) die in gebruik zijn. Dit getal moet gezien worden als wegingsfactor bovenop de factoren die voor het energieverbruik (efficiëntie en effectiviteit) gelden.

Hieronder zullen de onderdelen van de groenheidsfactoren worden toegelicht.

A.1.1 Effectiviteit: Power Usage Effectiveness

In de Green ICT-wereld is men al jaren bezig met metrieken die de verhouding tussen het totale energieverbruik en het energieverbruik voor ICT-middelen uit te drukken. De meest gangbare metriek voor het uitdrukken van de verhouding van het energieverbruik voor ICT-middelen zelf en het energieverbruik voor het ondersteunen van de ICT-middelen is Power Usage Effectiveness (PUE) van het The Green Grid-consortium³⁵. Deze wordt als volgt gedefinieerd:

$$PUE = \frac{E_{\text{totaal}}}{E_{\text{ICT}}}$$

³⁵ The Green Grid
<http://www.thegreengrid.org/>

Deze algemene metriek is oorspronkelijk opgesteld voor datacenters, maar zou hergebruikt kunnen worden bij elke ketenspeler. Het bevat voor datacenters de volgende componenten:

- E_{ICT} : het energieverbruik van apparatuur welke direct met ICT te maken heeft: rekenapparatuur, netwerk, opslag, maar ook switches, beeldschermen en ICT apparatuur dat gebruikt wordt voor het monitoren en aansturen van de datacenter.
- E_{totaal} : al het energieverbruik van de gehele datacenter, dus behalve energieverbruik van ICT-middelen wordt ook het energieverbruik van ondersteunende apparatuur meegenomen als: huisvesting, koeling, electriciteitsverwerking/opslag (zoals accu's), verlichting, beheer, enz.

Idealiter benadert de PUE van een datacenter 1.0, maar dit is in de praktijk niet haalbaar. Moderne datacenters die veel investeren in datacenter-efficiëntie (bijvoorbeeld Evoswitch, UMCU) claimen een gemiddelde PUE van tussen de 1.2 en 1.1 te kunnen halen.

In de datacenter-wereld is de PUE als metriek aan discussie onderhevig en worden er nieuwe metrieken bedacht om gaten in PUE te kunnen vullen. Het Green Grid-consortium is daarom bezig met een revisie op PUE (PUE_x) die er onder andere voor zorgt dat PUE niet gebruikt wordt om niet-groene datacenters toch groen te laten lijken³⁶: op dit moment wordt een “lage” PUE vaak misbruikt om groenheid aan te geven (het zgn. “greenwashing”). Hierbij worden efficiëntie en uitstoot vergeten: een datacenter met een dergelijke PUE kan niet goed uitgenut worden en / of draaien op “vieze” energie, wat de groenheidswinst door effectiviteit teniet kan doen. Ook wordt PUE dikwijls gebruikt om datacenters van verschillende aanbieders met elkaar te vergelijken; door verschillen in interpretatie van o.a. meetmethodes is deze vergelijking niet zonder meer te maken. Wel kan PUE dienen als stuurmiddel om één enkel datacenter efficiënter te maken. PUE_x zou deze twee tekortkomingen moeten verhelpen.

A.1.2 *Efficiëntie: Server en Datacenter Compute Efficiency*

De Power Usage Effectiveness en aanverwante metrieken zeggen niks over de efficiëntie van het energieverbruik van de ICT-middelen zelf. Hiervoor moet goed gekeken worden naar de uitnutting van de ICT-middelen. Dit vertaalt zich dit onder andere door in de mate van belasting van de verwerkings- en opslagcapaciteit; in taxitermen is dit het aantal personen (en hun bagage) wat een taxi vervoert als deze een ritje maakt. Deze belasting wordt veroorzaakt door de gebruikspatronen van de afnemers en het aantal en soort middelen wat de aanbieder hiervoor inzet. Het The Green Grid-consortium heeft – specifiek voor datacenters – hiervoor twee metrieken neergezet: de Server Compute Efficiency (ScE) en de Datacenter Compute Efficiency (DCcE)³⁷. Deze metrieken gaan niet uit van de absolute bezetting van ICT-middelen, maar nemen de uitnutting van de ICT-middelen voor aangeboden diensten als rekengetal.

³⁶ PUE_x

<http://www.serverproblemsolved.com/itprimers/pue-power-usage-effectiveness-metrics-data-center-energy-efficiency-green-grid/>

³⁷ Datacenter Compute Efficiency en Server Compute Efficiency

http://www.thegreengrid.org/~media/WhitePapers/DCcE_White_Paper_Final.pdf?lang=en

Voor het definiëren van deze metrieke wordt een onderscheid gemaakt tussen *primaire services* en *overige services*. *Primaire services* zijn services waar een server (fysiek of virtueel) specifiek voor is ingezet. In het geval van een IaaS-cloud is dat het bieden van opslag en verwerkingsservices. *Overige services* dienen als ondersteuning voor de *primaire services*, bv. back-up, antivirus, monitoring en control. Als de server op een bepaald moment niet meer gebruikt wordt voor de *primaire services*, kunnen de *overige services* nog steeds worden uitgevoerd door de server, ook al zijn ze mogelijk overbodig.

De Server Compute Efficiency in een bepaalde tijdsperiode kan als volgt gedefinieerd worden:

$$ScE = \frac{p}{n} \times 100\%$$

Waarbij:

- n staat voor totaal aantal tijdsintervallen in de tijdsperiode, en
- p staat voor aantal tijdsintervallen in de tijdsperiode waarop de server actief met *primaire services* bezig is.

De criteria voor p kunnen ontzettend breed zijn, zoals:

- Het totale CPU-gebruik min CPU-gebruik overige services (in percentage) is boven een bepaalde grens (zoals 10%), of
- Er is een bepaalde mate van interactie met de *primaire services* (een virtual machine is in gebruik, de storage is voor een bepaald percentage bezet).

Voor een gegeven datacenter met m servers, wordt de Datacenter Compute Efficiency over een bepaalde tijdsperiode berekend door de ScE-waarden te middelen:

$$DCcE = \frac{\sum_{j=1}^m ScE_j}{m}$$

Het Green Grid-consortium waarschuwt dat – analoog aan PUE – de DCcE geen goede metriek is om verschillende datacenters met elkaar te vergelijken (omdat overige services zullen verschillen), maar wel kan helpen om verbetering te meten in één datacenter.

A.1.3 Groenheidsfactor: uitstootfactor energiegebruik

De IJslandse cloud-aanbieder GreenQloud heeft om PUE-achtige metrieke te combineren met het uitstootcijfer de GPUE-metriek bedacht³⁸. Daarnaast is het Green Grid-consortium met de CUE-metriek (Carbon Usage Effectiveness)³⁹ gekomen, waarbij PUE wordt gecombineerd met een uitstootfactor voor het energieverbruik. In Tabel 5 staat voor verschillende energiemixes een uitstootfactor.

³⁸ GreenQloud GPUE

<http://blog.greenqloud.com/2010/10/07/green-power-usage-effectiveness-for-truly-green-comparison/>

³⁹ The Green Grid CUE

http://www.thegreengrid.org/~media/WhitePapers/Carbon%20Usage%20Effectiveness%20White%20Paper_v3.pdf?lang=en

Tabel 5 - Uitstootfactoren voor energiemixes bestaande datacenters (GreenQloud)

Energiemix	kg CO ₂ / kWh	Uitstootfactor
50,5% kolen, 38,7% kern	0,76	1,630
34% kolen, 3,3% kern	0,59	1,490
70% water, 30% geothermisch	0,02	1,021
72,8% kolen, 22,3% kern	1,00	1,819
37,1% kolen	1,12	1,936
21,0% kolen, 27,0% kern	0,58	1,497
73,5% kolen, 14,6% kern	1,25	1,834

Met de uitstootfactor voorkomen dat voor groenheid alleen naar energieverbruik wordt gekeken. Dit is de reden dat voor de berekening van groenheid ook in dit rapport de gebruikte metriecken worden “vermenigvuldigd” met de CO₂-uitstoot per kWh⁴⁰.

Voor energiesoorten staan de waarden in Tabel 6.

Tabel 6 - Uitstoot per energiesoort (Sovacool 2007)

Energiesoort	kg CO ₂ / kWh
Kolen	0,960
Diesel / olie	0,778
Aardgas	0,443
Kern	0,066
Geothermisch	0,038
Zon	0,013 – 0,032
Biomassa	0,014
Water	0,010 - 0,013
Wind	0,009 - 0,010

Voor Nederland zijn per energieleverancier deze waarden bekend²⁹ (Tabel 7).

Tabel 7 - Uitstoottabel energieleveranciers Nederland (groenestroomjagraag.nl)

Bedrijf	Kolen	Gas	Kern	Overig	Wind	Zon	Water	Bio	CO ₂ / kWh	Rad.Afv / kWh
Anode	38.6%	43.9%	-	5.7%	4.7%	-	-	7.1%	382.2g	-
Atoomstro	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	3000µg
Centrica	15.8%	72.3%	3.4%	1.7%	-	-	-	6.8%	416.0g	300µg
Delta	21.2%	50.2%	15.9%	2.7%	5.0%	-	-	5.0%	381.5g	480µg
DGB Energie	27.7%	60.0%	7.5%	2.0%	2.2%	-	-	0.6%	462.9g	214µg
Dong	13.9%	40.6%	1.2%	2.3%	1.8%	-	39.1%	1.0%	294.0g	40µg
E.ON AG	28.0%	35.0%	26.0%	-	3.0%	-	6.0%	1.0%	420.0g	700µg
E.ON Benelux	19.5%	57.2%	4.3%	3.3%	1.1%	-	13.7%	0.9%	376.9g	130µg

⁴⁰ Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey
Benjamin K. Sovacool (2008)
http://www.nirs.org/climate/background/sovacool_nuclear_ghg.pdf

Bedrijf	Kolen	Gas	Kern	Overig	Wind	Zon	Water	Bio	CO ₂ / kWh	Rad.Afv / kWh
Electrabel	14.1%	65.0%	2.0%	3.5%	0.7%	-	13.6%	1.1%	388.0g	61µg
Eneco	9.2%	61.4%	2.0%	1.7%	4.6%	-	14.3%	0.9%	302.0g	100µg
Energie direct	22.4%	57.8%	5.9%	3.1%	5.0%	-	4.1%	1.7%	402.5g	176µg
Essent	15.2%	39.2%	4.0%	2.1%	7.0%	0.004%	22.7%	9.8%	273.2g	119µg
GDF Suez	12.0%	45.6%	16.2%	3.0%	1.0%	-	20.0%	2.2%	312.0g	487µg
Greenchoice	-	-	-	-	24.0%	0.300%	39.9%	35.8%	-	-
MainEnergie	-	-	-	-	-	-	100%	-	-	-
NLEnergie	-	-	-	-	-	-	100%	-	-	-
NUON	20.7%	58.1%	4.1%	5.4%	11.2%	0.020%	0.5%	-	397.7g	120µg
Orro Energie	-	-	-	-	-	-	100%	-	-	-
Oxxio	3.3%	9.6%	0.7%	0.5%	-	-	85.9%	-	63.2g	22µg
RWE Groen	15.2%	39.2%	4.0%	2.1%	7.0%	-	22.7%	9.8%	273.2g	119µg
RWE Nederland	11.2%	28.9%	2.9%	1.5%	29.3%	0.001%	25.6%	0.6%	201.0g	88µg
United Consumers	-	-	-	-	10.0%	-	70.0%	20.0%	-	-
Vattenfall	40.4%	-	24.8%	-	-	-	34.8%	-	304.0g	1020µg
Westland Energie	25.0%	64.0%	6.0%	3.0%	-	-	-	2.0%	443.0g	194µg
Windunie	-	-	-	-	100%	-	-	-	-	-

Hierbij wordt de volgende formule gehanteerd voor de groenheidsfactor:

$$g = \sum (\% \text{ bron} * (1 + w_{\text{bron}}))$$

Waarbij:

- g staat voor de groenheids / uitstootfactor ($g > 1$) van de energiebron(nen) die in gebruik zijn, waarbij g een sommatie is van de factoren van de energiebronnen in de gebruikte energiemix,
- Het percentage van de energiebron slaat op het aandeel van een bepaalde energiesoort in de gebruikte energiemix, en
- w staat voor het genormaliseerde groene gewicht van de energiebron, die gekoppeld is aan het aantal g CO₂-uitstoot per kWh van de energiebron.

B Criteria- en maatregelentabellen

B.1 Organisatie

Wie?	Criterium	Maatregel(en)	Factor
Afnemer	Zorg voor groen beleid; van strategie tot ICT-architectuur tot inkoop	Beoordeel organisaties met behulp van de CO ₂ -prestatieladder of soortgelijke raamwerk(en); maak een keuze welke	-
Aanbieder, afnemer	Maak groenheid transparant	Implementeer een groenheids-performance-managementsysteem voor intern én extern gebruik	-

B.2 Service- en businessmodellen

Wie?	Criterium	Maatregel(en)	Factor
Aanbieder	Neem efficiëntie en effectiviteit als ICT-architectuur-uitgangspunt	- Stimuleer efficiënt gebruik: niet-interactieve diensten; spot instances - Consolideer ICT-middelen en implementeer capaciteitsmanagement	Efficiëntie, effectiviteit
Afnemer	Maak het voor de (interne) eindklant aantrekkelijk om groene diensten af te nemen	Neem groenheid mee in de (interne) prijsstelling (TCO) om de vraag naar groenheid te sturen	-

B.3 Operationalisering en inrichting

Wie?	Criterium	Maatregel(en)	Factor
Aanbieder	Maak gebruik van virtualisatie	Stel de mate van virtualisatie vast	Efficiëntie
Aanbieder	Maak gebruik van efficiënte scheduling- en provisioningmethodes	Controleer of er gebruik gemaakt wordt van efficiënte scheduling- en provisioningmethodes	Efficiëntie
Aanbieder, afnemer	Optimaliseer de afstand tussen afnemer en aanbieder om netwerk- en transportverbruik te balanceren	Weeg verschillende energieverbruiks-scenario's (locatie aanbieder en afnemer variërend) af op ICT-middelen, netwerk en energietransport en kies daartussen	Effectiviteit

Wie?	Criterium	Maatregel(en)	Factor
Aanbieder, afnemer	• Gebruik energie-efficiënte server-hardware • Gebruik energie-efficiënte cliënt-hardware • Gebruik energie-efficiënte overige middelen	Beoordeel met OpenDCME, EU Code of Conduct voor Datacenters, Energy Star of soortgelijke standaarden en normen; maak een keuze welke	Effectiviteit
Aanbieder	Gebruik duurzame energie	Gebruik het stroometiket bij het kiezen van een energieleverancier; neem deze mee in het optimaliseren van de afstand	Carbon footprint
Aanbieder	Bouw duurzame datacenters	Beoordeel met BREEAM, LEED of soortgelijke standaarden / keurmerken; maak een keuze welke	Carbon footprint