INVENTARISATIE VAN DUURZAAMHEIDSEFFECTEN BIJ DE OVERSTAP VAN ON-PREMISE ICT NAAR ICT IN EEN GEDEELDE E-INFRASTRUCTUUR

DUURZAAM IN DE E-INFRASTRUCTUUR

Colofon

Duurzaam in de e-infrastructuur

Inventarisatie van duurzaamheidseffecten bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in een gedeelde e-infrastructuur

SURF
Postbus 19035
NL-3501 DA Utrecht
T +31 88 787 30 00

info@surf.nl
www.surf.nl

Auteur
Kees Groeneveld

Voor meer informatie kunt u contact opnemen met:
Gerard van Westrienen, projectmanager Groene ICT en Duurzaamheid SURF
tel: 020-800 1300 of gerard.vanwestrienen@surfsara.nl

maart 2017

Deze publicatie verschijnt onder de licentie Creative Commons Naamsvermelding 3.0 Nederland
www.creativecommons.org/licenses/by/3.0/nl

SURF is de ICT-samenwerkingsorganisatie van het Nederlandse onderwijs en onderzoek.

Deze publicatie is digitaal beschikbaar via de website van SURF: www.surf.nl/kennisbank

Inhoud

Inleiding en samenvatting **4**
1 Bronnen van energieverbruikreductie **13**
1.1 Beleid 13
1.2 Housing 18
1.3 Infrastructuur 21
1.4 Platform 25
1.5 Software 27
1.6 Businessprocessen 28
1.7 Neveneffecten 30
2 Onderbouwing en kwantificering **32**
2.1 Inleiding 32
2.2 Toelichting 33
2.3 Beleid 34
2.4 Housing 36
2.5 Infrastructuur 39
2.6 Platform 42
2.7 Software 43
2.8 Businessproces 45
2.9 Neveneffecten 46
3 Aanbevelingen en timing **48**
3.1 Change management 49
3.2 CO_2-efficiëntie verbeteren 49
3.3 Energieverbruik verminderen 50
3.4 Bedrijfsprocessen verduurzamen 55
3.5 Actieplan 56
3.6 Quick wins 60
Bijlage A - Use cases **59**
Bijlage B - Duurzaamheidseffecten **67**
Bijlage C - Uitgangspunten bij kwantificering **73**
Bijlage D - Referenties **78**

INLEIDING EN SAMENVATTING

ACHTERGROND

SURF zet met het 'Programma Duurzaamheid'[1] in op het vergroenen van ICT:

> *"ICT kan een belangrijke ondersteunende bijdrage leveren aan de duurzaamheidsambities van de hoger onderwijs (ho)-sector. Niet alleen door het vergroenen van ICT zelf, maar ook door het vergroenen mét ICT; ICT als 'enabler' om binnen de primaire processen van onderwijs en onderzoek, en binnen de bedrijfsvoering de duurzaamheid te vergroten.*
>
> *Niet alleen de (hoger) onderwijsinstellingen maar ook SURF zelf wil daarin vooroplopen met duurzame diensten. De doelstellingen voor het* Meerjarenprogramma 2015-2018 *zijn bevorderen van duurzaamheid in de ho-sector met behulp van ICT, vergroenen van de e-infrastructuur en diensten van de SURF-werkmaatschappijen, en versterking van de informatie- en kennisontwikkeling en –overdracht."*

Concreet geeft deze verkenning invulling aan een van de vijf activiteiten in 2016 voor *WP2.1* Verduurzaming Dienstverlening, zoals genoemd in het 'Controlling Document 2016' van het Programma Duurzaamheid:

> *"Smart Sharing van ICT en de e-infrastructuur (in samenwerking met de SURF-cloudactiviteiten): rapport van de duurzaamheidsaspecten van het gezamenlijk delen van e-infrastructuur – zowel in algemene zin als de uitwerking van een concrete use case."*

DOEL VAN DEZE VERKENNING

Dit document heeft tot doel:

> Identificeren en waar mogelijk onderbouwen of zelfs kwantificeren van de duurzaamheidseffecten van het overbrengen van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur, in het bijzonder in de federatieve (of collaborative) cloud, alsmede het aangeven van zogenaamde quick wins.

UITGANGSPUNTEN

Bij het uitwerken van deze verkenning zijn de volgende definities gehanteerd voor in het geformuleerde doel gebruikte termen.

Duurzaamheidseffecten

De World Commission on Environment and Development van de Verenigde Naties formuleert duurzaamheid in het rapport 'Our Common Future' als volgt:

[1] Alle in deze tekst genoemde en voor dit document geraadpleegde bronnen zijn in de tekst met een stippellijn onderstreept en zijn terug te vinden in Bijlage E – Referenties.

Duurzame ontwikkeling is de ontwikkeling die aansluit op de behoeften van het heden zonder het vermogen van de toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen.

Kortom, 'duurzaam' kijkt naar de behoeften die wij hebben en hoe daaraan in de toekomst tegemoet gekomen kan worden zonder dat mensen, milieu of economie daardoor in gevaar komen.

Onder duurzaamheidseffecten in brede zin wordt in dit document verstaan: alles wat te maken heeft met maatschappelijk verantwoord leven en werken, milieu, ecologie en een leefbare toekomst. Ofwel: people, planet en profit.

Onder duurzaamheidseffecten in enge zin wordt verstaan: de uit de benoemde acties resulterende reductie van CO_2-uitstoot. Andere uitstoot zoals NO_2 en andere voor mens of natuur nadelige uitstoot wordt hier niet meegenomen, maar werkt op een vergelijkbare manier.

Duurzaamheid in enge zin (DE) is het product van de twee onafhankelijke factoren CO_2-efficiëntie (CEF) en energieverbruikreductie (ΔE):

- **CO_2-efficiëntie (CEF)** – Dit is de mate waarin de gebruikte energie daadwerkelijk duurzaam is. Dat wil zeggen een lage – of liefst geen of negatieve – CO_2-uitstoot veroorzaakt. Hiervoor wordt het begrip Carbon Efficiency Factor, CEF gebruikt.
    - CO_2-efficiëntie (CEF) wordt bepaald door de gebruikte energiebron(nen): steenkool, gas, zon, wind en dergelijke. Simpel gezegd, je zou een 'energievretend' datacenter kunnen hebben dat uiteindelijk toch weinig of geen CO_2-uitstoot veroorzaakt, zolang je maar groene stroom gebruikt.
    - De factor CO_2-efficientie wordt vooral bepaald door het energie-inkoopbeleid van de betreffende instellingen, al dan niet collectief.
    - CO_2-efficiëntie (CEF) wordt uitgedrukt in aantallen kilogram uitstoot CO_2-equivalent ($kgCO_2eq$).
- **Energieverbruikreductie (ΔE)** – Dit is het verschil in totaal energiegebruik (in kWh) door betrokken instellingen in de situaties (i) on-premise: zonder dat e-infrastructuur wordt gedeeld, elke instelling afzonderlijk en (ii) shared: wanneer wel e-infrastructuur wordt gedeeld.
    - Voor energiereductie worden in dit document drie begrippen gebruikt:
        - De absolute energiereductie ΔE (uitgedrukt in kilowattuur, kWh) is het verschil in energieverbruik tussen de oude on-premise situatie en de nieuwe shared situatie in de e-infrastructuur, bijvoorbeeld '100 kWh minder verbruik per jaar'.
        - Het relatieve begrip energiereductie-efficiëntie η (in %) is de relatieve energiereductie in de e-infrastructuur ten opzichte van het energieverbruik in de (oude) on-premise situatie, bijvoorbeeld '70% minder verbruik'.
        - Daarnaast is het niet ongebruikelijk de relatieve energiereductie uit te drukken als energiebesparingsfactor, EBF (in 'aantal keer'), bijvoorbeeld 'zes keer zo weinig'.

  NB. Om een maximaal duurzaamheidseffect te bereiken, zijn er dus twee soorten separaat te ondernemen acties: de CO_2-efficiëntie verbeteren en het energieverbruik verminderen.

  Men zou kunnen denken dat voor een e-infrastructuuroperatie met een CO_2-efficiëntie van 100% (en dus nul kg CO_2-uitstoot) er geen duurzame reden is om het energieverbruik verder te verminderen. Immers, veel of weinig energieverbruik, de CO_2-uitstoot blijft nul. Maar dit is

een misvatting. Immers, tenminste de komende twintig jaar zal er in Nederland niet voldoende groene energie zijn om heel Nederland mee te voorzien. Het feit dat één enkele cloud- of e-infrastructuurleverancier 100% groene stroom afneemt zorgt weliswaar voor eigen 'schone handen', maar verschuift het probleem. Voor andere organisaties en particulieren blijft namelijk minder groene stroom over, zodat zij nog steeds niet-duurzame energiebronnen moeten gebruiken.

De maatschappelijke verantwoordelijkheid ligt dus breder. Zelfs bij afname van 100% groene stroom blijft de duurzame noodzaak – tenminste de komende twintig jaar – om ook het feitelijke eigen energieverbruik zoveel mogelijk terug te dringen.

Deze verkenning richt zich vooral op duurzaamheid in enge zin, maar zal hier en daar ook andere significante duurzaamheidseffecten van de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur benoemen (people, profit).

Voor het kwantificeren van het totale duurzaamheidseffect (DE) – in enge zin – voor N instellingen, DE_N (het verschil in kg CO_2-emissie equivalent tussen de on-premise situatie en de e-infrastructuur situatie) maken we gebruik van de volgende formule (op=on-premise, sh=shared e-infra):

$$DE_N = \sum_{n=1}^{N} CEF_{op_n} \cdot E_{op_n} - CEF_{sh} \cdot E_{sh}$$

Delen van e-infrastructuur
Onder e-infrastructuur wordt verstaan: alle aan ICT gerelateerde en voor andere partijen dan de instelling zelf digitaal toegankelijk gemaakte infrastructuur, al dan niet geleverd en beheerd door instelling(en) zelf dan wel door derde partijen, zoals commerciële marktpartijen.

Onder het 'delen van e-infrastructuur' wordt verstaan: het door twee of meer instellingen gezamenlijke gebruik van een betreffende e-infrastructuur. Denk bijvoorbeeld aan het gezamenlijke gebruik van een datacenter (HAAS). Of het delen van compute-capaciteit of dataopslag (IAAS). Of bijvoorbeeld een gedeeld platform voor Research Data Management (PAAS). Of een gezamenlijke e-mailomgeving bij een commerciële leverancier (PAAS). Ook een voorbeeld is een gedeelde applicatie voor bijvoorbeeld studentenadministratie (SAAS).

Federatieve cloud
Federatieve – of federatief – cloud is een bijzonder geval van e-infrastructuur. Te weten die e-infrastructuur die tussen instellingen in onderwijs en onderzoek onderling geleverd en afgenomen wordt. Een bijzonder geval van federatief cloud is collaborative cloud. Daarbij wordt de regiefunctie (de 'cloud-brokerrol') volledig ingevuld door (medewerkers van) de betreffende instellingen zelf, zonder onafhankelijke derde partij.

AFBAKENING

Onderwerp

Zoals gezegd richt deze verkenning zich vooral op energieverbruikreductie. Een verdere beperking heeft te maken met de keten van levensduur van ICT-faciliteiten. Die bestaat uit de drie fasen inkoop, gebruik en end-of-life. Deze verkenning richt zich vooral op de gebruiksfase. Om twee redenen:

- SURF is separaat al bezig met het uitwerken van beleid en praktijk op het gebied van maatschappelijk verantwoord inkopen van ICT-gerelateerde producten en diensten.
- Voor de end-of-life fase is SURF bezig om het e-waste beleid verder uit te werken met als stip op de horizon: circulaire ICT.

Diepgang

Verder dient uitdrukkelijk vermeld te worden dat de bevindingen in deze verkenning het resultaat zijn van een in tijd beperkte inventarisatie. En niet het resultaat van een uitgebreide en diepgaande (wetenschappelijke) studie. Het document beoogt niet een compleet en gedetailleerd uitgewerkt antwoord te geven op het onderzochte onderwerp, maar een opsomming van de belangrijkste aandachtspunten en een eerste aanzet tot kwantificering. Deze kunnen de lezer op weg helpen om zijn eigen overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur vanuit oogpunt van duurzaamheid vorm te geven en met argumenten en cijfers te onderbouwen.

Beantwoorde vragen

Concreet beoogt deze verkenning de volgende vragen te beantwoorden:

- Welke acties in de stap van on-premise ICT naar ICT shared in de e-infrastructuur lijken de grootste duurzaamheidseffecten te hebben?
    - Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen aanpassingen in beleid, housing (huisvesting, vastgoed, HAAS), infrastructuur (IAAS), platform (PAAS), software (SAAS), businessprocessen (BPAAS) en onbedoelde negatieve effecten.
    - Is er een significant verschil in duurzaamheidseffecten tussen federatief cloud (collaborative cloud) en public cloudoplossingen van commerciële aanbieders?
    - Welke onbedoelde neveneffecten bestaan er?
- Welke acties in de stap van on-premise ICT naar ICT shared in de e-infrastructuur lijken voor de instellingen het eenvoudigst, goedkoopst of minst risicovol te realiseren?
    - Op welke gebieden is het ‘laaghangend fruit’ vooral te vinden?
    - Wat zijn concrete ‘quick wins’ die instellingen kunnen ondernemen?

AANPAK

Gestelde vragen worden in deze verkenning op de volgende manier beantwoord:

1. De gezochte duurzaamheidseffecten worden gesplitst in CO_2-efficiëntie en energieverbruikreductie:
    - CO_2-efficiëntie (CEF) valt grotendeels buiten de scope van dit onderzoek. Dit is namelijk veel meer een vraag over inkoopbeleid (de inkoopfase).
    - Energieverbruikreductie (ΔE) bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur is het belangrijkste onderwerp van dit onderzoek.
2. Mogelijke bronnen van energieverbruikreductie worden systematisch nagegaan aan de hand van de 24 aspecten van groene ICT in het *SURF Groene ICT Maturity Model,* aan de hand

van de vier aandachtsgebieden ICT-beleid, vergroening van ICT, bedrijfsvoering en primaire processen.[2]

3. De gevonden bronnen van energiereductie worden waar mogelijk ondergebracht in de – in de cloud-wereld gebruikelijke – onderverdeling (de 'cloud stack'):
    - HAAS (Housing-As-A-Service) voor in de e-infrastructuur onderbrengen van housing (vastgoedbeheer en facilitymanagement).
    - IAAS (Infrastructure-As-A-Service) voor HAAS plus in de e-infrastructuur onderbrengen van infrastructuur (met name hardware: servers, dataopslag, transmissie).
    - PAAS (Platform-As-A-Service) voor IAAS plus in de e-infrastructuur onderbrengen van platform (technisch, dus met name middleware, runtime).
    - SAAS (Software-As-A-Service) voor PAAS plus in de e-infrastructuur onderbrengen van software (functioneel, dus met name applicaties van instellingen).
    - BPAAS (Business Process-As-A-Service) voor SAAS plus in de e-infrastructuur onderbrengen van bedrijfsprocessen (met name operatie en bemensing).
    - Aangevuld met een onderdeel 'beleid' en een onderdeel mogelijke onbedoelde 'neveneffecten'.
4. Voor elk van beleid, housing, infrastructuur, platform, software, businessprocessen en neveneffecten worden de mogelijke bronnen van energiereductie in kaart gebracht en waar mogelijk onderbouwd of zelfs gekwantificeerd.
5. De mogelijke bronnen van energieverbruikreductie worden – waar mogelijk gegroepeerd in beleid, housing, infrastructuur, platform, businessprocessen en neveneffecten – voorzien van te ondernemen acties om de energiereductie te realiseren, gesplitst in korte en lange termijn.

BEVINDINGEN

De belangrijkste bevindingen in deze verkenning zijn de volgende:

i. *Duurzaamheid is niet alleen energieverbruikreductie* – De eerste, principiële bevinding is dat er qua activiteiten een groot verschil is tussen het behalen van duurzaamheidseffecten en het realiseren van energieverbruikreductie. Duurzaamheid in de zin van het terugbrengen van de CO_2-uitstoot kan door instellingen in grote mate bereikt worden door groene stroom in te kopen. De reductie van energieverbruik vraagt daarentegen van (ICT-afdelingen van) instellingen veel uiteenlopende activiteiten, zoals in dit document benoemd.

    NB. Belangrijke kanttekening hierbij is, dat 100% groene stroom nog niet 100% duurzaam betekent. Ook zonnecellen en windmolens moeten geproduceerd, onderhouden en uiteindelijk afgevoerd worden, waarvoor veelal niet-duurzame energiebronnen en materialen worden ingezet. Bovendien is de ene groene stroom (bijvoorbeeld uit zonnecellen) duurzamer dan de andere (bijvoorbeeld uit biomassa).

ii. *Duurzame ICT met groene stroom is niet genoeg* – Direct gevolg van de eerste bevinding is dat bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur eenvoudig een groot duurzaamheidseffect kan worden bereikt. Dit kan door 100% groene stroomafname te eisen

[2] Zie Bijlage B - Duurzaamheidseffecten

van de leverancier van de e-infrastructuur. Maar, je kunt dan natuurlijk ook gewoon je ICT on-premise houden en zelf als instelling volledig op 100% groene stroom overstappen.

iii. *Energieverbruikreductie is net zo belangrijk* –Tenminste de komende twintig jaar zal niet alle afgenomen energie in Nederland groene energie zijn. Op dit moment is ongeveer 10% van alle afgenomen energie in Nederland groene energie. Als instelling (of als cloud-leverancier) 100% groene energie afnemen, geeft dus nog geen 'schone handen'. Zowel om de hierboven genoemde redenen als om de simpele reden dat andere partijen in Nederland dan meer niet-groene energie moeten afnemen ('zero sum'). Dus is het ook voor individuele instellingen nodig om het verbruik van energie te reduceren.

iv. *Er is een grote reductie van energieverbruik mogelijk bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur* – Hiervoor zijn twee redenen: schaalgrootte en investeringen. Maatregelen om energieverbruik te verlagen, zoals virtualisatie, load balancing en dynamic provisioning, worden effectiever bij meer schaalgrootte. Voor instellingen in onderwijs en onderzoek is ICT een ondersteunende functie, voor leveranciers van e-infrastructuur is het 'core business'. Dat geeft meer mogelijkheden voor investeringen (zoals de aanschaf van de nieuwste energiezuinige middelen tegen bulkkorting en het aantrekken van de beste professionals) en meer focus op kosten en dus energieverbruikreductie.[3]

v. *Er zijn zeven aandachtsgebieden voor energiereductie* – Het grootste deel van dit document gaat over mogelijkheden voor energieverbruikreductie bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur. Dit zijn achtereenvolgens: (ICT-)beleid, huisvesting van ICT (housing'), infrastructuur, platform, software, businessprocesbedrijfsprocessen en onbedoelde neveneffecten.

vi. *Er is verschil tussen federatief cloud en public cloud* – De belangrijkste argumenten bij de keuze tussen federatief of public cloud vanuit duurzaamheid zijn de volgende.
    a. *CO_2-efficiëntie* – De grote public cloudleveranciers spannen zich openlijk in optimaal groene energie te gebruiken voor hun data- en rekencenters (80%). De overstap naar federatief cloud kent alleen een duurzaamheidseffect als de deelnemende instellingen de betreffende e-infrastructuur tenminste voor een aanzienlijk deel voeden met groene stroom.
    b. *Schaalgrootte* – Public cloud zal doorgaans een grotere schaal hebben dan federatief cloud. Een in deze verkenning niet beantwoorde vraag is wat de minimum schaalgrootte is om maximaal van de schaaleffecten te profiteren. Een eerste inschatting is wel gegeven: 1.000 m^2 vloeroppervlak. Dit getal behoeft echter nader onderzoek.
    c. *Energie-efficiëntie* – Federatief cloud is in de praktijk vaak het digitaal ontsluiten van bestaande on-premise ICT tussen verschillende instellingen onderling. Wanneer daarbij met oude, niet optimaal energiezuinige ICT-apparatuur wordt gewerkt in

[3] Afname van clouddiensten door instellingen wordt als opex geboekt, niet als capex. Er is boekhoudkundig sprake van *off balance* financiering en er gaan voor instellingen geen of weinig investeringen mee gepaard.

plaats van te investeren in de nieuwste apparatuur, en wanneer niet alle in dit document genoemde instrumenten worden ingezet (zoals virtualisatie binnen de gehele federatieve cloud), dan zijn er weinig duurzaamheidseffecten te verwachten van de overstap naar federatief cloud.

De **hoofdbevinding** van deze verkenning is de volgende:

De potentiële energieverbruikreductie van de overstap van on-premise ICT naar ICT in e-infrastructuur is enorm. Een nauwkeurige berekening is lastig, omdat grootheden onderling en circulair afhankelijk zijn en omdat specifieke waarden voor energieverbruik moeilijk te meten zijn. Maar een ordegrootte schatting op grond van redelijke aannamen, geeft aan dat reductie van energieverbruik met tientallen procenten realistisch is. Sommige schattingen op basis van steekproeven duiden op besparingen tot wel 90%.

Mits de juiste maatregelen worden getroffen, zijn de duurzaamheidseffecten en de mate van energieverbruikreductie bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in e-infrastructuur enorm groot. Tientallen procenten.

NB. De te nemen maatregelen, zoals virtualisatie, zijn vrijwel allemaal pas echt effectief wanneer ze op grote schaal worden toegepast. In een on-premise situatie is lang niet alle ICT-apparatuur met elkaar verbonden. In e-infrastructuur is dat doorgaans wel zo. De (relatieve) reductie van energieverbruik door de overstap van on-premise naar e-infrastructuur komt door de grotere schaal van onderling verbonden ICT-apparatuur. Met schaalgrootte kan de benutting (utilization) van ICT-apparatuur veel beter geoptimaliseerd worden, waardoor minder ICT-apparatuur nodig is en dus minder energie wordt verbruikt. Daarnaast is e-infrastructuur doorgaans jonger en gebruikt men modernere, energiezuinigere ICT-apparatuur en ICT-infrastructuur.

AANBEVELINGEN

Op basis van de analyse in dit document worden de volgende aanbevelingen gedaan voor het bereiken van duurzaamheidseffecten en energieverbruikreductie.

I. *Eis maximale CO_2-efficiëntie van de e-infrastructuurleverancier* – Stap over naar de leverancier van e-infrastructuur die de meeste groene energie afneemt. Liefst 100%. Bij kleiner of gelijk energieverbruik in de e-infrastructuur, in vergelijking met de on-premise situatie, treedt een duurzaamheidseffect op wanneer de CO_2-efficiëntie in de e-infrastructuur beter is dan die in de bestaande on-premise situatie.

II. *Streef naar maximale schaalgrootte in de e-infrastructuur* **–** Er zijn verschillende wegen die leiden tot schaalvergroting. Onderstaande drie stappen, die ook achtereenvolgens zouden kunnen worden genomen, liggen voor de hand. De drie stappen kunnen ook worden toegepast op verschillende onderdelen van de eigen on-premise ICT.

a. *Eigen instelling* – Handhaven van de eigen data- en rekencapaciteit in een grote eigen e-infrastructuur. Mits goed ingericht, brengt het bijeenbrengen van bestaande on-premise ICT vanuit verschillende locaties en organisatieonderdelen al een aanzienlijke schaalvergroting die virtualisatie, workload balancing en dynamic provisioning effectief kan maken. Dit blijft uiteraard op single-tenant schaal.
b. *Federatief verband* – Handhaven van data- en rekencapaciteit in een *federatief verband* (federatief cloud of federatief datacenter) met meerdere instellingen. Dit levert logischerwijs al een veel grotere schaal op voor maatregelen die leiden tot een hogere bezettingsgraad van de gebruikte ICT-apparatuur (met als gevolg daarvan: inzet van minder apparatuur).
c. *Public cloud* – Hoewel (in dit document genoemde, los van duurzaamheid staande) obstakels dit wellicht de lastigste stap maken, kan de overstap naar een nog grootschaliger public cloud voorlopig vooral voor commodity-applicaties zoals e-mail een optimale schaalgrootte creëren.

III. *Ga in zee met de e-infrastructuurleverancier met de hoogste energie-efficiëntie* – Kosten- en energie-optimalisatie van ICT is 'core business' voor professionele leveranciers van e-infrastructuur. Van de leveranciers mag een hoge energie-efficiëntie verwacht worden. Afhankelijk van wat voor soort clouddienst wordt afgenomen, zijn hierbij verschillende aandachtspunten:
    a. *Bij afname van een HAAS-dienst* - Vraag de leveranciers van de e-infrastructuur naar de Power Usage Effectiveness (PUE) waarde van hun data- en rekencenter. Vergelijk deze met de gemiddelde PUE van de eigen on-premise data- en rekencenters. Is de PUE van de e-infrastructuur kleiner dan de eigen PUE, dan is er sprake van relatieve energieverbruikreductie.
        - Voor een maximaal duurzaamheidseffect zal uiteraard de instelling zelf moeten zorgdragen voor de in dit document genoemde maatregelen bij de aspecten beleid, infrastructuur, platform, software en businessprocessen.
    b. *Bij afname van een IAAS-dienst* – Doe zoals bij afname van een HAAS-dienst, plus: controleer of er netto een reductie van energieverbruik plaatsvindt bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in e-infrastructuur met behulp van multi-tenancy, PSUs, server utilization, processoren, hot en cold data zones, disk utilization, netwerkarchitectuur en netwerkcomponenten.
        - Voor een maximaal duurzaamheidseffect zal uiteraard de instelling zelf moeten zorgdragen voor de in dit document genoemde maatregelen bij de aspecten beleid, platform, software en businessprocessen.
    c. *Bij afname van een PAAS-dienst* – Doe zoals bij afname van een IAAS-dienst, plus: ga na in welke mate de leverancier van e-infrastructuur virtualisatie en load balancing toepast.
        - Voor een maximaal duurzaamheidseffect zal uiteraard de instelling zelf moeten zorgdragen voor de in dit document genoemde maatregelen bij de aspecten beleid, software en businessprocessen.
    d. *Bij afname van een SAAS-dienst* – Doe zoals bij afname van een PAAS-dienst plus: ga bij de leverancier van e-infrastructuur na of de als dienst beschikbaar gestelde software ontworpen is met dynamic provisioning, applicatievirtualisatie en applicatiesharing in het achterhoofd. En of dat ook daadwerkelijk wordt toegepast.

- Voor een maximaal duurzaamheidseffect zal uiteraard de instelling zelf moeten zorgdragen voor de in dit document genoemde maatregelen bij de aspecten beleid en businessprocessen.

IV. *Richt je eigen bedrijfsprocessen duurzaam in* – Op basis van de ICT in e-infrastructuur kunnen vervolgens de eigen bedrijfsvoering en bedrijfsprocessen zodanig aangepast worden, dat maximale duurzaamheidseffecten en energieverbruikreductie ontstaan.

1 BRONNEN VAN ENERGIEVERBRUIKREDUCTIE

Op basis van een voorafgegane inventarisatie van aspecten van duurzaamheid bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur (zie bijlage B) worden in dit hoofdstuk de belangrijkste bronnen van energieverbruikreductie bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur in kaart gebracht aan de hand van de volgende onderverdeling:

- *Beleid* – Beleid voor de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur.
- *Housing* – De overstap van on-premise housing naar HAAS (alleen gebouw, koeling, brandbeveiliging, enzovoort).
- *Infrastructuur* – De overstap van on-premise infrastructuur naar IAAS (HAAS plus fysieke ICT, zoals computers, dataopslag, hypervisors en switches, bekabeling).
- *Platform* – De overstap van on-premise platform naar PAAS (IAAS plus technische software: operating systems, runtime, middleware, bijvoorbeeld virtualisatie, e-mailserver, dataverwerking, bijvoorbeeld MapReduce, netwerksoftware, firewalls, enzovoort).
- *Software* – De overstap van on-premise software naar SAAS (PAAS plus functionele software, vooral eindgebruikerapplicaties en -data zoals Enterprise Resource Planning (ERP) of Research Data Management en single/multi-tenancy).
- *Businessprocessen* – De overstap van on-premise gebaseerde businessprocessen naar BPAAS (SAAS plus bedrijfsprocessen).
- *Neveneffecten* – Onbedoelde negatieve neveneffecten op duurzaamheid en energieverbruik.

In hoofdstuk 2 volgt, waar mogelijk, een aanzet tot kwantificering van de genoemde besparingseffecten.

1.1 BELEID

De hier behandelde vraag is:

> Wat zijn de duurzaamheidseffecten – en in het bijzonder welke energieverbruiksreductie is mogelijk, wanneer instellingen de overstap van eigen ICT-middelen naar ICT in de e-infrastructuur opnemen in hun (ICT-)beleid?

Sleutelwoorden: strategie, samenwerking, inkoop, end-of-life, architectuur, servicelevels, people, profit, gedrag

1.1.1 Strategie

Iedere gerichte actie begint bij bewustzijn en een beetje aanmoediging helpt enorm. Dat geldt zeker voor duurzaamheid. De meeste mensen dragen graag bij aan duurzaamheid, omdat we ons bewust zijn van het belang ervan. – Bij instellingen in onderwijs en onderzoek geldt dit misschien nog wel wat meer dan gemiddeld. Maar dan moeten er geen obstakels zijn.

Duurzaamheidsdoelen opnemen in het beleid van de organisatie als geheel en in het bijzonder in het ICT-beleid is een belangrijke aanmoediging en kan obstakels wegnemen bij het nastreven van duurzaamheid. Naast andere – financiële en bedrijfsmatige – redenen voor instellingen om van on-premise ICT over te stappen naar ICT in de e-infrastructuur, levert het expliciet opnemen van deze

stap in het ICT-beleid een belangrijke bijdrage aan het realiseren van energieverbruikreductie en duurzaamheidseffecten.

> NB. Zeker wanneer de e-infrastructuur wordt beheerd door een zelfstandige organisatie of (al dan niet commerciële) derde partij, kan de energiebesparing groot zijn. Immers, voor de betreffende cloudleverancier is ICT doorgaans de 'core business' of zelfs enige business. De ICT-kosten zijn een veel groter deel van hun totale kosten dan voor een instelling in hoger onderwijs en onderzoek. De betreffende cloudleveranciers zullen daardoor nog veel meer gericht zijn op het reduceren van energieverbruik (lees: kosten) dan individuele instellingen, die ook nog andere – soms tegenstrijdige – doelstellingen nastreven.
>
> Punt van aandacht in het ICT-beleid is wel dat de cloudleverancier daadwerkelijk groene energie inkoopt en niet alleen maar kostenverlaging door reductie van energieverbruik nastreeft.

1.1.2 Samenwerking

Uit literatuurstudie en praktijkervaringen blijkt telkens weer dat in de gebruiksfase schaalvoordelen bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur de belangrijkste onderliggende factor zijn bij energieverbruikreductie en duurzaamheidseffecten. Die uiten zich bijvoorbeeld in multi-tenancy, virtualisatie, workload balancing en dynamic provisioning. Een tweede belangrijke onderliggende factor is de actievere en grootschaligere inzet van moderne, energiezuinige ICT-apparatuur.

Hoewel samenwerking op ICT-gebied zeker plaatsvindt tussen instellingen onderling en tussen instellingen en andere partijen, is er op dit gebied nog veel ruimte voor verbetering. Er wordt bijvoorbeeld tussen instellingen samengewerkt op federatieve basis: het onderling ter beschikking stellen van elkaars ICT-middelen. Toch betreft dit vaak nog geïsoleerde initiatieven.

Door samenwerking in het algemeen – en federatief (of collaboratief) werken in het bijzonder – expliciet op te nemen in het beleid van de instelling en in het ICT-beleid, krijgt de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur een belangrijke stimulans. Daarnaast wordt gezamenlijke of federatieve inkoop van moderne, energiezuinige ICT-infrastructuur hierdoor gestimuleerd.

> NB. De logica gebiedt dat er uiteindelijk een effect van afnemende meeropbrengsten is bij het verder vergroten van de schaal. Anders gezegd, bij het vergroten van de schaal wordt op enig moment de relatieve energiereductie (per geleverde dienst) kleiner en theoretisch zelfs nul, simpelweg omdat de bezettingsgraad (bijvoorbeeld het servergebruik) van de ingezette ICT-apparatuur tegen zijn maximum aanloopt. Er is dus een minimale grootte van e-infrastructuur (bijvoorbeeld in het aantal onderling verbonden servers, vaak uitgedrukt in vierkante meters vloeroppervlak of aantal server racks) voor optimale energieverbruikreductie.
>
> *Public of private cloud?*
>
> Een relevante vraag in dit verband is of een private cloud in de vorm van een (bijvoorbeeld in federatief verband) door instellingen in onderwijs en onderzoek in Nederland gedeelde e-infrastructuur voldoende schaalgrootte levert om dit minimum te bereiken. Of dat nog verdere schaalgrootte in bijvoorbeeld een public cloud – geleverd door wereldwijd opererende commerciële aanbieders – nog verdere verbetering van de bezettingsgraad kan leveren.
>
> We durven wel een gokje te wagen. In het theoretische geval dat de ICT van alle instellingen in onderwijs en onderzoek in Nederland in één gezamenlijke e-infrastructuur zou worden ondergebracht, lijkt die extra winst relatief klein. Een vraag die rest in later onderzoek (niet in

deze verkenning) is om uit te vinden wat een minimale schaalgrootte van die e-infrastructuur precies is om dat verschil verwaarloosbaar te houden.

1.1.3 Inkoop

Zoals gezegd, richt dit onderzoek zich vooral op de gebruiksfase en minder op de Inkoopfase en de end-of-life fase. Hiervoor verwijzen we graag naar ander onderzoek van SURF voor maatschappelijk verantwoord inkopen van ICT-gerelateerde producten en diensten, e-waste beleid en circulaire ICT.

Veel van deze aspecten komen in de gebruiksfase tot uiting en worden hieronder uitgebreid behandeld. Toch willen we hier een aantal belangrijke overwegingen bij Inkoop noemen:

- *Carbon footprint* – De energiezuinigheid tijdens gebruik van apparatuur (en in toenemende mate programmatuur) is uiteraard een eerste belangrijk criterium bij aanschaf of gebruiksovereenkomsten. Het is niet ongebruikelijk dat leveranciers hiervan opgave doen bij offertes. Dit kan als selectiecriterium worden gebruikt. Een speciaal aandachtspunt daarbij is het volgende: Alle hardware heeft een embodied carbon footprint. Dit is de energie die nodig is voor de productie, distributie en inbedrijfname van de apparatuur. Een grove schatting is dat deze ordegrootte 10% van de totale footprint van de hardware is. Dit hangt overigens sterk af van de gebruiksintensiteit en het type hardware. Voor servers is dit bijvoorbeeld anders dan voor harddisks of routers. Goede hardwareleveranciers kunnen een opgave doen van de embodied carbon footprint. Hiermee kan bij de inkoop rekening worden gehouden.
- *CO_2-efficiëntie* – Het gebruik van groene stroom speelt op zichzelf geen rol bij de energiezuinigheid van de inzet van ICT-middelen, maar voor de uiteindelijke duurzaamheid is het een heel belangrijke factor. Als bijvoorbeeld in de on-premise situatie puur groene stroom wordt gebruikt en in de e-infrastructuur alleen kolengestookte stroom, dan kan het energiegebruik lager uitvallen, maar de veroorzaakte CO_2-uitstoot toch hoger zijn. Het paard achter de wagen! Een studie van Greenpeace plaatst de kanttekening dat in Nederland slechts ongeveer 10% van alle energie groen is ('renewable energy'). Dit bevestigt het idee dat alleen maar groene stroom inkopen en niet op energieverbruik besparen – tenminste de komende twintig jaar – het probleem alleen maar verlegt naar andere organisaties en particulieren in Nederland, omdat uiteindelijk ergens minder groene stroom beschikbaar zal zijn. Tegelijk spreek Greenpeace de in dit verband geruststellende verwachting uit dat grote (vooral commerciële) cloud- en e-infrastructuur leveranciers erg gefocust zijn op kostenbesparing en dus ook op reductie van energieverbruik (zijnde een enorme kostenpost).

  Hoe duurzaam is groen? Niet alle 'groene energie' heeft een CO_2-efficiëntie van 100% ofwel een CO_2-uitstoot van nul, zoals blijkt uit onderstaande tabel. De ene groene stroom (bv. uit zonnecellen) is dus duurzamer dan de andere (bv. uit biomassa):[4]

Energiebron	**CO_2-uitstoot** (in kgCO2/kWh)
Grijze stroom	0,526
Biomassa	0,189
Windkracht	0,000
Waterkracht	0,000
Zonne-energie	0,000

  Bovendien moet niet vergeten worden dat ook windmolens, waterkrachtcentrales en zonnecellen geproduceerd, onderhouden en uiteindelijk afgevoerd of afgebroken moeten

[4] Bron: http://co2emissiefactoren.nl/lijst-emissiefactoren/

worden. Waarvoor veelal niet-duurzame energiebronnen, arbeid en materialen worden ingezet.

Een evident bijkomend duurzaamheidseffect van het uiteindelijk inzetten en inkopen van minder ICT-apparatuur (per geleverde dienst), is het lagere verbruik van grondstoffen zoals zeldzame metalen die gedolven moeten worden.

1.1.4 End-of-life

Ook de end-of-life fase is geen aandachtpunt van dit onderzoek. Hiervoor verwijzen we graag naar eerdergenoemd onderzoek van SURF voor *e-waste beleid en circulaire ICT*.

1.1.5 Architectuur

Als gevolg van digitalisering is het architectuurvak – zowel het brede Enterprise Architecture als het smallere ICT-architectuur – sterk aan verandering onderhevig. We zitten midden in de overgang van de meer statische, gecentraliseerde, productgeoriënteerde, 'single-tenant', ERP-gebaseerde architectuur van on-premise ICT op basis van het traditionele OSI-model naar een meer dynamische, decentrale, service-georiënteerde, 'multi-tenant', cloudarchitectuur van e-infrastructuur op basis van een 'cloud stack' met IAAS, PAAS en SAAS.

Met het inrichten – of inkopen, afnemen – van deze nieuwe architectuur valt op het gebied van duurzaamheid veel te winnen. Instellingen kunnen een duurzame architectuur expliciet opnemen in hun ICT-beleid. Hierin kunnen beleidsmatig veel van de hieronder genoemde aspecten terugkomen.

1.1.6 Servicelevels

Traditioneel werd ICT aangestuurd vanuit het principe 'hoge servicelevels, maakt niet uit wat het kost'. Een voorbeeld is de eis in veel service-level agreements (SLAs) dat de temperatuur van in een datacenter maximaal 21˚C mag zijn. Dit is een historisch bepaalde eis, die vaak veiligheidshalve kritiekloos wordt overgenomen. Veel moderne ICT-apparatuur werkt echter ook prima bij 28˚C. Een simpele aanpassing van deze eis in een SLA kan al een enorme besparing van energieverbruik opleveren.

Tegenwoordig zijn de budgetten veel strakker en is het mantra veranderd in een geplande en voorspelbare benadering op basis van de vraag: Wat zijn de waarde en de kosten van elke geleverde service?

Duurzaamheid en hoge servicelevels staan met elkaar op gespannen voet. Hoe hoger de uptime van datacenter, hardware en software moet zijn en hoe korter de hersteltijd bij downtime, des te meer redundantie zullen ICT-managers inbouwen in hun operatie. Dat betekent het dubbel uitvoeren en stand-by laten draaien van apparatuur, ruime back-up faciliteiten inrichten, 'risicoloos' programmeren en het ruim bemensen van serviceafdelingen. Dit alles betekent extra verbruik van energie 'voor het geval dat ...'. Niet duurzaam dus (vanuit het planet-perspectief).

Te overwegen valt in het instellingsbeleid en ICT-beleid, om waar mogelijk en billijk minder strakke eisen te stellen ten gunste van de duurzaamheid. De overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur zou hiervoor een natuurlijk moment kunnen zijn.

1.1.7 Overige beleidsfactoren: planet, people, profit

Verder is er nog een aantal beleidsfactoren die een kleinere rol spelen of moeilijk te beïnvloeden of te meten zijn. Maar soms kunnen deze factoren weldegelijk expliciet benoemd worden.

Te denken valt aan veelal indirecte materiële factoren zoals:

- Het energiegebruik gedurende de ontwikkeling van software.
- Energiegebruik door tertiaire leveranciers – leveranciers van leveranciers – en energiegebruik voor grondstoffen en componenten (een soort 'embedded embedded carbon footprint').
- CO_2-emissie in indirecte onderdelen van de ICT-gebruiksketen, zoals medewerkers die veel met de auto moeten reizen als gevolg van lokaal beperkte beschikbaarheid of toegankelijkheid van ICT-middelen.
- Energieverbruik van kapitaalgoederen, transportmiddelen en gebouwen die indirect zijn gerelateerd aan servers, dataopslag en andere apparatuur.
- Onderhoudskosten van kapitaalgoederen, bijvoorbeeld de behuizing van een datacenter.

Daarnaast zijn alle aanvullende factoren van belang, wanneer we niet duurzaamheid in enge zin maar in brede zin beschouwen. Dan gaat het om factoren op het gebied van people en profit.

Op het gebied van people gaat het om zaken als de invloed die de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur heeft op het welzijn van individuele mensen, medewerkers, studenten en alle andere betrokkenen. Het tijdig starten van omscholingsprogramma's op basis van de veranderende vraag naar vaardigheden, zodat mensen van werk naar werk kunnen worden begeleid, is daarbij cruciaal.

Op het gebied van profit gaat het om het financieel sluitend krijgen en houden van de overstap naar ICT in e-infrastructuur. Dit laatste is uiteraard een van de leidende thema's in ieder ICT-beleid.

1.1.8 Gedrag

Tenslotte is er nog de factor gedrag. ICT-ers hebben – als dan niet 'wijs' geworden in de praktijk – vaak een reflex van risicoaversie. 'Better safe than sorry.' Begrijpelijk, maar helaas brengt dit veel onnodig energieverbruik met zich mee.

In de praktijk wil het geheel van ICT-middelen nog weleens een historisch gegroeide lappendeken zijn waar niemand volledig overzicht over heeft. Bekend zijn de 'zombie-servers' die in veel organisaties bestaan. Niemand weet wat ze doen, misschien doen ze niks, maar niemand durft de stekker eruit te trekken.

Iets meer verantwoordelijk en een klein beetje minder risicoavers gedrag kan vaak al veel onnodig energieverbruik voorkomen. Natuurlijk is dit niet een-op-een met een beleidsnotitie aan te sturen, maar management kan hierin een belangrijke voortrekkersrol spelen met voorbeeldgedrag.

Vanwege de kostenstructuur en -focus van ICT in e-infrastructuur in vergelijking met on-premise ICT, zoals elders in dit document toegelicht, is het niet onwaarschijnlijk dat hier in de e-infrastructuur strakker op gestuurd wordt. En met een grootschalige toepassing van instrumenten zoals virtualisatie zijn zombie-servers sowieso onwaarschijnlijk in de toekomst.

1.1.9 Bewustwording

Last but not least is het bijzonder belangrijk in het duurzaamheidsbeleid kwantitatief en liefst ook kwalitatief duidelijk te maken, te visualiseren, wat de beoogde en bereikte duurzaamheidseffecten zijn van de voorgenomen en uitgevoerde beleidsmaatregelen.

Dit kan bijvoorbeeld door in de hal van een kantoor een duurzaamheidsmonitor (dashboard) op te hangen. Een groot en duidelijk zichtbaar beeldscherm waarop in real time de geproduceerde CO_2-uitstoot en het actuele energieverbruik tegen een in het duurzaamheidsbeleid beoogde doelwaarde worden afgebeeld.

1.2 HOUSING

De hier behandelde vraag is:

> Wat zijn de duurzaamheidseffecten en in het bijzonder welke energieverbruiksreductie is mogelijk, wanneer instellingen overstappen van hun eigen fysieke huisvesting voor ICT-middelen naar een gedeelde huisvesting voor – nog steeds hun eigen – ICT-middelen?

Sleutelwoorden: PUE, DCiE, stroomvoorziening, klimaatbeheersing, koeling, BMS, DCiM

Duurzaamheidseffecten en energieverbruikreductie met het oog op housing komen in principe vanuit twee bronnen: schaalvoordelen ten opzichte van on-premise housing (meestal voor één of weinig instellingen) en energieverbruik voor alles wat niet ICT is.

- De schaalvoordelen liggen voor de hand. Een klein gebouw of een ruimte in een bestaand kantoorgebouw met bv. 10 servers heeft relatief gesproken – bijvoorbeeld per server – meer 'gebouwoverhead' (alles behalve de ICT) nodig dan een gebouw met 100 of 1000 servers. Er is dan – waarschijnlijk – nog steeds maar één hoofdingang, één ruimte voor operators, et cetera. Daarnaast kun je die gebouwoverhead ook nog eens efficiënt of minder efficiënt inrichten, bijvoorbeeld door het licht uit te doen.
- Het energieverbruik voor alles wat geen ICT is, gaat bijvoorbeeld over het warmte- of koudeverlies door de muren van het gebouw als gevolg van slechte isolatie of grote oppervlakken. Maar ook valt te denken aan energieverlies in de stroomtoevoer.

De energie-efficiëntie van een data- en rekencentergebouw wordt uitgedrukt in Power Usage Efficiency (PUE) of Data Center Infrastructure Efficiency (DCiE).

$$PUE = \frac{Energieverbuik\ van\ het\ totale\ gebouw\ inclusief\ ICT - middelen}{Energieverbuik\ van\ alleen\ de\ ICT - middelen\ in\ het\ gebouw}$$

. PUE is de verhouding tussen de door het totale gebouw verbruikte energie en de energie die verbruikt wordt door de ICT-middelen in het gebouw. Dit is dus een maat voor de 'energie-overhead' door het gebouw.

Tot een jaar of vijf geleden was een PUE van 2,0 à 2,5 niet ongebruikelijk. Wereldwijd lijkt 2,0 ongeveer gemiddeld. De laatste jaren wordt hier veel aandacht aan besteed door (met name public) cloudleveranciers, omdat dit een directe kostenbesparing en netto margeverbetering inhoudt. Pure winst, dus. Nieuwe datacenters hebben bijna altijd een veel lagere PUE dan oudere datacenters. In de praktijk is een PUE van 1,1 à 1,2 voor moderne (anno 2016) datacenters zeker haalbaar. Hiermee wordt dus 10 à 20% van de energie die de ICT-middelen verbruiken, gebruikt voor de rest van het gebouw.

Een theoretisch ideaal is een PUE van 1. Dan wordt er voor de rest van het gebouw – netto – geen energie verbruikt. Hier en daar wordt zelfs gesproken over een PUE lager dan 1. Dan wordt door het gebouw netto dus energie gewonnen, bijvoorbeeld met behulp van aardwarmte (of juist koeling), zonnecellen aan de buitenmuur, windmolens op het dak en dergelijke.

$$DCiE = \frac{1}{PUE}$$

DCiE meet precies hetzelfde als PUE, maar drukt het op een andere manier uit. DCiE is gelijk aan 1 gedeeld door PUE. Dus hoe hoger, hoe beter.

PUE heeft een grote impact op het totale energieverbruik van e-infrastructuur. Immers, voor een datacenter dat in totaal 1,2 MWh verbruikt, betekent een PUE-verbetering van 1,2 naar 1,1 een energiereductie van 100 kWh. Overigens is PUE een dynamisch begrip, omdat ook aan het energieverbruik van de ICT-middelen voortdurend wordt gesleuteld. Bij gelijkblijvende gebouwoverhead wordt de PUE dus vanzelf weer groter wanneer het totale energieverbruik door verbeterde ICT-middelen afneemt.

> NB. Zoals eerder gezegd, is energieverbruikreductie nog geen duurzaamheid. De door het gebouw afgenomen energievorm moet natuurlijk wel duurzaam zijn. CO_2-efficiëntie is hier een sterk bepalende factor voor de duurzaamheid van het gebouw. Dit is een belangrijk criterium bij de overstap van on-premise naar e-infrastructuur. Geografische ligging van een datacenter bijvoorbeeld kan toegang tot groene energie makkelijker of moeilijker maken. (Zie ook het eerdergenoemde rapport van Greenpeace.)

PUE kan aanzienlijk verlaagd worden met moderne technieken. Dit is een wetenschap op zich en hier zijn boeken over vol geschreven. De belangrijkste overwegingen die relevant zijn bij de overstap van on-premise naar e-infrastructuur zijn de volgende.

1.2.1 Bouw

Bij de bouw van een datacenter spelen vier belangrijke factoren een rol: de omvang, de locatie, de constructie en de inrichting van het gebouw.

- *Omvang* – De belangrijkste onderliggende factor bij duurzaamheid van datacenters is de omvang die schaalvoordelen mogelijk maakt. ‘Big is sustainable’ in het geval van data- en rekencenters. Pas bij een minimale omvang kan immers optimaal gebruik worden gemaakt van technieken zoals multi-tenancy, virtualisatie, workload balancing en dynamic provisioning. Doorgaans zijn data- en rekencenters in de e-infrastructuur dan ook veel groter dan individuele on-premise data- en rekencenters.
- *Locatie* – Een slimme locatie kan zorgen voor eenvoudige toegang tot groene energie. Zo’n 80% van alle bedrijven die Nederlandse datacenters exploiteren zeggen uitsluitend (100%) groene energie te gebruiken. Ook het klimaat van de plek waar het gebouw staat, bepaalt of er bijvoorbeeld juist veel of weinig gekoeld moet worden. In Nederland wordt redelijk snel aan deze eisen voldaan. Niet voor niets is Nederland een favoriete locatie voor grote partijen zoals Google. Verder is de nabijheid van snelle internetverbindingen rondom met name Schiphol en Amsterdam een factor, die bijdraagt aan lager energieverbruik bij transmissie van data.
- *Constructie* – De duurzaamheid van de constructie van een gebouw in het algemeen bestaat uit een veelheid aan factoren, zoals isolatie. Hiervoor zijn vele richtlijnen beschikbaar. Voor een datacenter in het bijzonder geldt daarnaast het belang van mogelijkheden in de constructie van het gebouw om slim en flexibel met stroomtoevoer en klimaatbeheersing om te gaan. Ook kunnen creatieve manieren om energie te sparen of zelfs duurzaam op te wekken, worden toegepast. Zoals een aardwarmte-installatie onder de vloer, zonnepanelen aan de muur of windmolens op het dak.
- *Inrichting* – Een slimme architectuur – zowel van het gebouw zelf als de inrichting – kan bijdragen aan een lager energieverbruik.

- Hoe dichter met kabels aan elkaar gekoppelde servers bij elkaar staan, hoe minder meters kabel er nodig zijn. Dit draagt bij aan lagere kosten, lager materiaalgebruik en lagere dissipatie in de kabels in de vorm van warmteproductie.
- Ook dient bij de inrichting van het gebouw rekening te worden gehouden met hoe koellucht optimaal kan stromen. Een voorbeeld is het inrichten van een hot aisle/cold aisle-architectuur (warme gang, koude gang tussen de server racks). Door server racks zo op te stellen dat de door servers afgegeven warme lucht het ene gangpad ingaat om afgevoerd te worden en in het andere gangpad koude lucht wordt aangevoerd, ontstaat een gunstige luchtcirculatie die per saldo minder koeling vraagt.
- En bij een gunstige architectuur kan per vierkante meter gebouw een optimale hoeveelheid ICT-apparatuur geplaatst worden.

1.2.2 Stroomvoorziening

De stroomvoorziening in een datacenter is een belangrijke factor voor de duurzaamheid ervan. Dit is een voortdurend optimalisatievraagstuk. De kunst is om precies genoeg stroom af te nemen om het datacenter conform de afgesproken servicelevels te opereren, zonder het risico te nemen van uitval van het datacenter. De hele stroomketen (power chain) bestaat uit een groot aantal componenten. We noemen twee belangrijke:

- *Power Distribution Units (PDUs)* – Dit zijn apparaten die de inkomende stroombundel splitsen en verdelen over de apparatuur in het datacenter. Zeg maar de meterkast van het datacenter, maar dan uitgebreider. Net zoals bij de vertakkingen in een boom heb je grote (veel ampère) en kleine (weinig ampère) PDUs, die de stroom via de etages en ruimten van het gebouw uiteindelijk onder de vloeren en in de racks verdelen naar de individuele stroomgebruikende apparaten. Bij elke splitsing kan energieverlies optreden, vooral in de vorm van warmtedissipatie.
- *Uninterruptible Power Supply (UPS) en noodstroom* – Een datacenter moet 24x7 beschikbaar zijn. Continuïteit van de stroomvoorziening is daarom van levensbelang. Vooral het stand-by draaien van dergelijke back-up systemen is een onderwerp dat vraagt om optimalisatie van het stroomgebruik daarvoor.

1.2.3 Koeling en klimaatregeling

ICT-apparatuur in het algemeen en in het bijzonder veel componenten, zoals integrated circuits (ICs), functioneren alleen volgens specificatie binnen een bepaald temperatuurbereik: niet te koud, maar vooral niet te warm. De meeste componenten geven bij (intensief) gebruik echter (veel) warmte af. Er moet dus gekoeld worden. Bovendien moet de luchtvochtigheid in het datacenter geregeld worden, om bijvoorbeeld corrosie van componenten en lekstromen te voorkomen.

Het koelsysteem van het datacenter kan wel een kwart van het totale energieverbruik voor zijn rekening nemen. Optimalisatie hiervan is dus belangrijk voor de duurzaamheid van het datacenter. Het is bijvoorbeeld belangrijk dat zoveel mogelijk de apparatuur direct wordt gekoeld en liefst niet de volledige ruimte.

Er zijn diverse manieren om de ICT-apparatuur te koelen, meestal op basis van luchtkoeling of waterkoeling. Net zoals bij de stroomvoorziening kan hiervoor een vertakt system worden gebouwd ‘tot in de haarvaten’ van het datacenter, met technieken zoals In-Server, In-Rack, In-Row Cooling en zelfs Nano-Fluid Cooling Systems.

1.2.4 Building Management System

Er bestaan uitgebreide systemen voor het optimaliseren van inrichting, stroomgebruik, temperatuur en klimaat van een gebouw. Zo´n systeem heet een Building Management System (BMS) of Building

Automation System (BAS). Dit vakgebied valt binnen de discipline facilitymanagement en kent zijn eigen normeringssystemen, benchmarks en best practices. Er zijn diverse systemen op de markt van verschillende leveranciers. Optimale integratie van het BMS met Data Center Infrastructure Management (DCiM) leidt uiteraard tot nog beter resultaten.

Voor wat betreft duurzaamheid zijn dit onmisbare gereedschappen om tot optimale reductie van energieverbruik te kunnen komen.

1.3 INFRASTRUCTUUR

De hier behandelde vraag is:

> Wat zijn de duurzaamheidseffecten en in het bijzonder welke energieverbruiksreductie is mogelijk, wanneer instellingen – bovenop HAAS – van hun eigen ICT-infrastructuur (hardware, zoals servers, dataopslag, routers, kabels) overstappen naar een gedeelde e-infrastructuur?

Sleutelwoorden: multi-tenancy, PSU, server utilization, processoren, hot and cold data zones, disk utilization, netwerkarchitectuur, netwerkcomponenten, IMS

ALGEMEEN

1.3.1 Multi-tenancy

Een belangrijk principe voor duurzaamheid bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur is 'multi-tenancy'. Dit zorgt voor schaalgrootte.

'Multi-tenancy' of 'multi-tenant cloud computing' betekent dat meerdere instellingen (organisaties, bedrijven) gebruik maken van dezelfde onderdelen van de e-infrastructuur: servers en dataopslag worden gedeeld. Dit leidt tot een betere benutting ('utilization') van de infrastructuur en dus een lager energieverbruik.

- Hoe werkt dit? Net zoals N gezinnen in één flatgebouw per gezin minder energie gebruiken dan N gezinnen in N vrijstaande huizen, zo gebruiken afnemers in de e-infrastructuur elk minder energie dan wanneer ze allemaal hun eigen on-premise ICT zouden hebben.
- Afnamepatronen van verschillende afnemers bij elkaar opgeteld, hebben de neiging pieken af te vlakken en fluctuaties voorspelbaarder te maken. De verhouding pieken vs. gemiddelde belasting wordt kleiner. Daardoor is minder overcapaciteit nodig. Schaal telt!
- Ook kan bespaard worden op overhead: er zijn minder mensen en besturing nodig om de infrastructuur te managen.
- Het bedienen van meerdere instellingen zorgt (op PAAS- en SAAS-niveau) ervoor dat maar één kopie van de software hoeft te worden geïnstalleerd in plaats van één voor elke instelling. Bovendien zorgt het bedienen van meerdere instellingen op één server voor het afvlakken van pieken (middeling van het gebruik), waardoor de fluctuaties kleiner worden en de afname beter voorspelbaar.

1.3.2 Power Supply Units (PSUs)

Veel ICT-apparaten hebben een eigen Power Supply met een AC/DC Converter die de 220V of 380V wisselstroom (AC) omzet in gelijkstroom (DC). Bij elke omzetting treedt energieverlies op, vooral in de vorm van warmtedissipatie.

PSUs zijn vaak de minst energie-efficiënte componenten in een datacenter, sommige hebben maar 60 tot 70% efficiency. Het is vooral zaak het warmteverlies te minimaliseren. Hiervoor bestaat een normeringssysteem met certificering. Inefficiënte PSUs kunnen bijvoorbeeld worden vervangen door PSUs met het EnergyStar certificaat. Die hebben een efficiëntie van tenminste 80%.

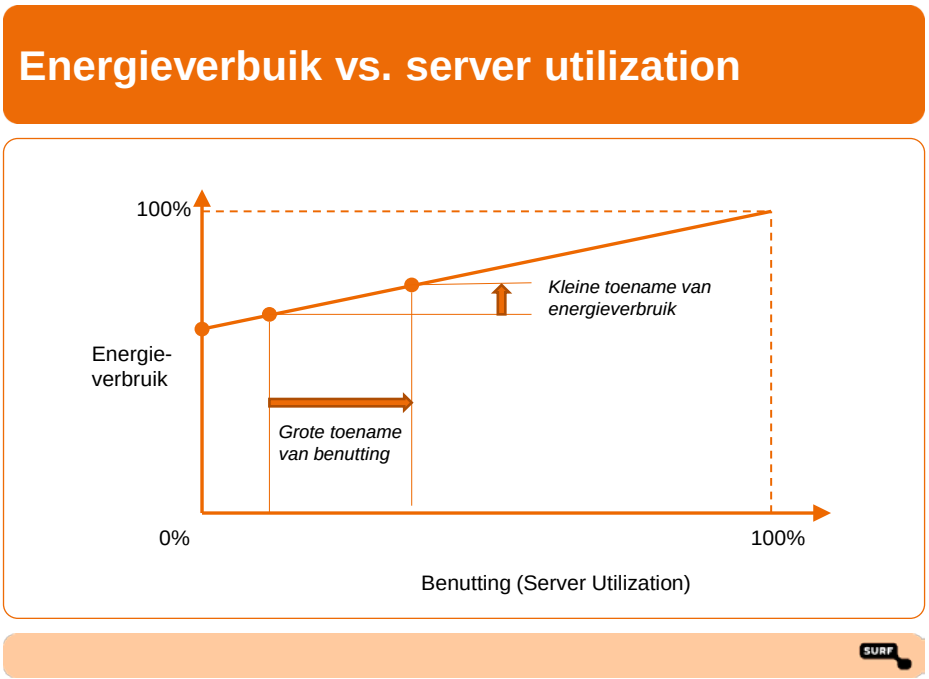
SERVERS

1.3.3 Server utilization

Hoewel individuele verschillen groot kunnen zijn, draaien in on-premise situaties servers vaak op veel lagere bezettingsgraden (server utilization) dan in de e-infrastructuur, omdat relatief weinig server virtualisatie wordt toegepast.

Met behulp van server virtualisatie kan het totale energieverbruik voor servers in de e-infrastructuur worden verlaagd door voor platforms en/of software de servers 'uit te vullen' tot maximale benutting en daardoor in totaal met minder servers toe te kunnen of ongebruikte servers (tijdelijk) uit te zetten.

Dit effect is het gevolg van het verband tussen energieverbruik en benutting van een server, zoals weergegeven in onderstaande illustratie.



Zelfs een server die niet benut wordt, gebruikt een hoeveelheid energie die aanzienlijk groter dan nul is. Bij toenemende benutting neemt het energieverbruik weliswaar toe, maar niet in gelijke mate. Vaak is het energiegebruik in idle-situatie al in de orde van 50%. Maximale benutting verbruikt 100% van de

energie. Het energiegebruik per server is dus weliswaar hoger bij een hogere benutting, maar relatief gunstig per gebruiker (of welke afname-eenheid ook gebruikt wordt).

> NB. Een kanttekening hierbij is dat een fysieke machine doorgaans een wat betere prestatie-efficiency heeft dan een virtuele machine. En de warmteproductie van een server die op volle belasting draait, is groter dan van een server op halve kracht, wat per server weer extra koeling vraagt. Per saldo echter, is het effect van server virtualisatie ruim positief. (Zie ook paragraaf Onbedoelde Neveneffecten.)

Hiernaast is er een scala aan technische mogelijkheden die door leveranciers van servers worden geleverd om energie te besparen. Een mogelijkheid is bijvoorbeeld 'Dynamic Voltage Scaling' waarbij het energieverbruik van een CPU verlaagd wordt, afhankelijk van de belasting van het systeem. Een vergelijkbare oplossing is 'Dynamic Frequency Scaling'. Dit is het verlagen van de kloksnelheid van een CPU, wanneer deze niet of weinig wordt belast.

1.3.4 Processoren

Daarnaast kunnen Power Efficient servers en processoren worden ingezet. Deze leveren een grotere rekenprestatie per verbruikte hoeveelheid energie. Dergelijke Low Energy Processors kunnen het energieverbruik aanzienlijk verlagen. Leveranciers van dergelijk processoren, zoals Intel en AMD, spannen zich actief in hieraan tegemoet te komen.

Ook zijn er tal van vergelijkbare technische ingrepen mogelijk, zoals het verlagen van de CPU-kloksnelheid of het uitzetten van delen van de chips als ze niet gebruikt worden. Ook het gebruik van Multicore Processors kan leiden tot vermindering van energieverbruik. Daarvoor is wel software nodig die op Multi-CPU omgevingen kan draaien. Applicatie-virtualisatie speelt dan een rol.

DATAOPSLAG

1.3.5 Hot en cold data zones, SANs

Sommige data worden veel gebruikt (hot data) en andere weinig (cold data). Los van of de data veel of weinig worden gebruikt, gebruiken veel soorten systemen voor dataopslag 24x7 elektrische stroom. Er zijn ook systemen die weinig of geen energie verbruiken voor de opslag van data, bijvoorbeeld data die op tape zijn weggeschreven of die opgeslagen zijn op systemen die bij geen gebruik uitgeschakeld worden. Zoals het geval is bij tape, hebben deze systemen vaak het nadeel dat de data niet direct toegankelijk zijn. In het geval van een tape met data moet – door een mens of een taperobot – eerst de tape in de leesapparatuur worden geplaatst.

Van veel data is eenvoudig te achterhalen met beheersystemen of die veel of weinig worden gebruikt. Afhankelijk daarvan kan voor veelgebruikte data worden gekozen voor een systeem dat de data permanent toegankelijk houdt tegen de prijs van een hoog energieverbruik; de hot data zone. Weinig gebruikte data kan dan worden opgeslagen op lastiger toegankelijke media met een laag of geen energieverbruik: de cold data zone. Dit wordt ook wel storage tiering genoemd.

Hierop aansluitend kunnen opslagsystemen worden geconsolideerd in Storage Area Networks (SANs) voor dynamische belasting van storage disks. Een bekende methode is Redundant Array of Independent Disks (RAID). Dit is eigenlijk een soort 'disk-virtualisatie': het combineren van meerdere diskdrives tot een logische eenheid. Dit kan de opslagcapaciteit verdubbelen.

Zoals bij alles in de e-infrastructuur geldt ook bij het inrichten van data zones en SANs, dat schaalvoordelen grote besparingen in energieverbruik met zich mee kunnen brengen.

1.3.6 Disk utilization

Heel veel middelen voor gegevensopslag komen niet aan hun maximale bezetting. Een veelgebruikte vuistregel is 30% gemiddelde bezetting. Het is niet ongebruikelijk dat sommige data in organisaties wel 20 keer wordt opgeslagen. Ook met datacompressie valt veel winst te behalen. De eerste grote winst zit dus in effectievere bezetting van disks en het ontdubbelen en comprimeren van data.

Maar ook in het technische ontwerp en de aansturing van individuele geheugendisks kan veel energie worden bespaard. Leveranciers van geheugendisks spannen zich in om het gebruik ervan zo energiezuinig te maken. Voorbeelden hiervan zijn:

- Systemen voor het consolideren van de cumulatieve workload, evenredig aan de I/O-workload intensiteit (SRCMAP is zo'n systeem).
- Binnen één disk kunnen parallelle structuren worden ingevoerd om de bandbreedte van een disk te verhogen zonder extra energieverbruik. Disks met een gelaagde opslagstructuur (tiered storage: Solid State, SATA, SAS) zijn energie-efficiënter.

We noemen drie bekende methoden voor Data Storage Resource Management:

- *Automated Storage Provisioning* – Opslagefficiëntie verhogen door ongebruikte opslag op te sporen en te heralloceren.
- *Deduplication Software* – Het opsporen en weghalen van redundante (= dubbel opgeslagen) data. Redundante data verbruiken in organisaties vaak meer dan de helft van alle dataopslag.
- *Thin Provisioning* – Het 'just enough, just in time' alloceren van data-opslagcapaciteit door dit centraal aan te sturen.

NETWERK

1.3.7 Netwerkarchitectuur

Traditioneel ligt de nadruk bij de netwerkcomponent van cloud- en e-infrastructuur op het duurzaam maken van individuele componenten. Er is relatief weinig focus op verduurzaming vanuit het oogpunt van de totale netwerkarchitectuur, zoals optimalisatie van de topologie.

Er lijkt een natuurlijke reflex te bestaan bij netwerkspecialisten om goed werkende netwerkinfrastructuur niet extra of dynamisch te belasten. Bijvoorbeeld uit vrees voor overbelasting bij pieken en in plaats daarvan 'maar extra apparatuur te plaatsen'. Goede netwerkspecialisten kunnen daar met de juiste netwerkmanagementsystemen veel overbodig energieverbruik voorkomen.

Daarnaast is er een scala aan technische mogelijkheden om energie te besparen, zoals:

- De capaciteit van een netwerkcomponent continu aanpassen aan de belasting van de verbinding op dat moment, zodat er niet steeds maximaal energieverbruik is (*adaptive link rate*).
- De mogelijkheid om apparaten in het netwerk een periode idle of uit te zetten, transparant voor alle andere onderdelen van het netwerk (Selective Connectedness).
- Resource-consolidatie door het hergroeperen van ondergebruikte apparaten om het totale energieverbruik te reduceren. De apparaten blijven dan wel aangeschakeld, maar het totale aantal actieve apparaten wordt minder en daardoor ook het energieverbruik.

1.3.8 Netwerkcomponenten

Net zoals bij servers en dataopslag, spannen ook de leveranciers van netwerkapparatuur zich in om het energieverbruik van de individuele apparaten zo laag mogelijk te houden. Dat begint vaak al bij de

servers en dataopslag zelf in de vorm van de aansluiting op het netwerk (de Network Interface Card). Doorgaans wordt hierbij onderscheid gemaakt in:

- *Passieve netwerkcomponenten*, zoals netwerkkabels, connectoren en verdeelpanelen. Deze verbruiken doorgaans geen of weinig stroom. Wel kan er sprake zijn van energieverlies in de vorm van warmtedissipatie.
- *Niet-intelligente actieve netwerkcomponenten*, zoals hubs en repeaters. Deze kunnen doorgaans een signaal versterken waarvoor weer extra energie nodig is.
- *Intelligente actieve netwerkcomponenten*, zoals switches, bridges, routers en gateways. Het zijn vooral deze componenten die een actieve rol kunnen spelen in het aansturen van netwerkverkeer en dus ook de daarvoor benodigde energie.

INFRASTRUCTUUR MANAGEMENT

1.3.9 Infrastructuur managementsysteem

Zoals bij elk van de hier genoemde cloudlagen, is ook management van de infrastructuurlaag van e-infrastructuur een wetenschap op zich. Hiervoor zijn specifieke managementsystemen beschikbaar. Dit gaat dan bijvoorbeeld over 'scheduling' en 'resource management', om het aantal actieve server-, dataopslag- en netwerkcomponenten in de infrastructuur te verminderen.

Sleutelwoorden zijn onder andere load balancing, demand projection, heat management, Temperature-Aware Allocation en consolidatie van inactieve componenten.

De managementprocessen voor accounting, monitoring en allocatie van resources in de infrastructuur vragen uiteraard CPU-kracht en dus energie. Deze vallen echter in het niet in vergelijking met de mogelijke winst in energiebesparing bij de inzet van deze systemen.

1.4 PLATFORM

De hier behandelde vraag is:

> Wat zijn de duurzaamheidseffecten, en in het bijzonder welke energieverbruiksreductie is mogelijk, wanneer instellingen – bovenop IAAS – overstappen van een platform (technische software: operating system, runtime, middleware, netwerksoftware, firewalls) in eigen beheer naar een platformlaag in een gedeelde e-infrastructuur?

KEYWORDS: virtualisatie, load balancing

1.4.1 Virtualisatie

Oorspronkelijk wordt onder virtualisatie de mogelijkheid verstaan om meerdere besturingssystemen op een en dezelfde computer (server) te draaien. Dit was niet vanzelfsprekend, omdat computers oorspronkelijk ontworpen zijn om één besturingssysteem te draaien. Het tweede besturingssysteem heeft dan bijvoorbeeld geen toegang tot de data.

> NB. Voor de traditionele 'one workload, one box'-benadering (voor elke softwareapplicatie een aparte server) bestaan schattingen van de server utilization tussen 6 en 12%. Een andere studie geeft aan dat in die tijd 90% van alle x86-servers niet meer dan 10% bezetting draaide met een gemiddelde bezetting van 5%. (Zie onder andere NREL, 'Chapter 20: Data Center IT Efficiency Measures'.)

Pas toen speciale processoren op de markt kwamen (sinds 2004) werd het goed mogelijk zonder dit soort complicaties en zonder prestatieverlies meerdere besturingssystemen tegelijk te draaien op een server.

Tegenwoordig wordt het concept van virtualisatie – in de generieke betekenis van het loskoppelen van hardware en software – op alle lagen van de cloud stack toegepast, bijvoorbeeld in de vorm van netwerkvirtualisatie, servervirtualisatie, applicatievirtualisatie en desktopvirtualisatie. Een modernere definitie is dan ook (door het bedrijf VMware):

> *"Virtualization is the process of creating a 'Software Defined' ('virtual') representation of something rather than a physical one. Virtualization can apply to applications, servers, storage and networks, and is the single most effective way to reduce IT expenses while boosting efficiency and agility for all size businesses."*

In deze zin is virtualisatie onderdeel van de bredere SDx-ontwikkeling (Software Defined Anything, 'Software eats the world'). De belangrijkste kenmerken van virtualisatie zijn:

- *Hardware Independence* – Elke virtuele machine (VM) kan gemigreerd worden naar elke willekeurige (geschikte) fysieke machine.
- *Partitioning* – Op één fysieke machine kunnen meerdere virtuele machines draaien. Systeembronnen kunnen worden verdeeld onder virtuele machines.
- *Isolation* – Fout- en beveiligingsisolatie kan plaatsvinden op hardwareniveau. Prestaties kunnen hoog gehouden worden met geavanceerde controlesystemen.
- *Encapsulation* – De gehele staat van een virtuele machine kan als file opgeslagen worden. Virtuele machines kunnen net zo gemakkelijk worden gekopieerd als files.

Vanuit het oogpunt van duurzaamheid is het voordeel van virtualisatie evident: je hoeft niet voor elke softwarematige toepassing passende hardware aan te schaffen, die vervolgens mogelijk maar deels benut wordt. Door virtualisatie kun je met minder machines, ruimte en besturing toe. Met grote en kleine effecten, bijvoorbeeld:

- Hogere server utilization wordt mogelijk door meer(dere) applicaties op een server te draaien.
- Consolidatie van machines (in de afweging met prestaties), de mogelijkheid van live migratie bij piekbelasting en 'performance isolation'.
- Bij virtualisatie kan ook nog rekening worden gehouden met de temperatuur van de fysieke servers, zodat er minder gekoeld hoeft te worden.
- Development en Operations kunnen fysieke machines gezamenlijk gebruiken (in het licht van het steeds sterker opkomende DevOps).
- Slimme managementsystemen zorgen ook nog eens voor lagere overheadkosten bij het inregelen van de virtuele machines.

Virtualisatie betekent een enorme besparing van apparatuur en dus energieverbruik. Virtualisatie wordt door velen zelfs gezien als *de* belangrijkste driver van duurzaamheid in de e-infrastructuur.

Virtualisatie is mogelijk – en vindt ook plaats – in de on-premise omgeving van instellingen. De winst voor wat betreft energiereductie en dus duurzaamheid in de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur zit hem in de veel grotere schaal, waardoor veel meer mogelijkheden tot virtualisatie ontstaan.

1.4.2 Load balancing

Het idee van load balancing is eenvoudig. Met behulp van bijvoorbeeld virtualisatie kan door actief de belasting van alle servers in de e-infrastructuur te monitoren, met een uitgekiend load management

system processing van een overbelaste server worden overgedragen naar een of meer servers die minder belast zijn. Hierdoor kan het ongewenste uitvallen van servers worden voorkomen.

Hiermee kan eenvoudiger (lees: met minder resources en dus met minder energieverbruik) worden voldaan aan beschikbaarheidseisen in een SLA. Door de grote schaal zijn hier in de e-infrastructuur meer mogelijkheden voor dan in een on-premise situatie. Met goede load balancing worden de pieken in belasting kleiner, waardoor netto minder overcapaciteit hoeft te worden aangehouden en dus per saldo minder ICT-apparatuur.

1.5 SOFTWARE

De hier behandelde vraag is:

> Wat zijn de duurzaamheidseffecten, en in het bijzonder welke energieverbruiksreductie is mogelijk, wanneer instellingen – bovenop PAAS – overstappen van software (functionele software, applicaties, data) in eigen beheer naar software in een gedeelde e-infrastructuur?

KEYWORDS: dynamic provisioning, code-optimalisatie, -virtualisatie, -sharing, Green Cloud Broker

1.5.1 Dynamic provisioning

In het algemeen zetten IT-managers om begrijpelijke redenen graag meer capaciteit in dan strikt noodzakelijk (overcapaciteit). Immers, de behoefte aan capaciteit fluctueert (soms onvoorspelbaar), vooral de piekbelasting. Dat heet dynamic provisioning: je wil als IT-manager aan de vraag van je organisatie kunnen voldoen en geen prestatieproblemen veroorzaken. Bovendien is de groei in behoefte aan capaciteit vaak moeilijk te voorspellen. En budgetregels zetten er in bepaalde gevallen toe aan al het budget op te maken, omdat anders volgend boekjaar het budget gekort wordt.

Cloudleveranciers – in tegenstelling tot IT-managers – zullen veel behoudender zijn met de inzet van infrastructuur, omdat zij een veel sterkere focus op de kosten van hun operatie hebben. Immers, voor de leverancier van e-infrastructuur is dit de core business (de bulk van de kosten), voor een instelling is het een ondersteunende discipline (een veel kleiner deel van de totale kosten).

- Leveranciers van e-infrastructuur hebben speciaal personeel om vraag en capaciteit continu te monitoren. Deze mensen hebben daar vaak ook meer ervaring mee en betere tools voor.
- Leveranciers van e-infrastructuur bedienen grotere aantallen, dus zullen fluctuaties over het algemeen meer afvlakken. De vraag naar capaciteit zal voor hen vlakker zijn, beter voorspelbaar.
- Virtuele machines kunnen live gemigreerd worden naar andere hardware wanneer meer capaciteit nodig is. De leverancier van e-infrastructuur kan belastingpieken voorspellen en daarop handelen. Of bij verwachte lage belasting meerdere virtuele machines naar één server verplaatsen.

Door de veel grotere schaal waarop leveranciers van multi-tenant e-infrastructuur opereren, kunnen zij voor individuele afnemers prima voldoen aan de eisen van dynamic provisioning. En dit zonder een enorme overcapaciteit op te hoeven bouwen om pieken in de belasting en de groei aan gevraagde capaciteit op te kunnen vangen.

In de toekomst zullen er zeker voorspellende managementsystemen zijn voor dynamic provisioning die op basis van data-analyse met artificial intelligence de afname van diensten

(softwarefunctionaliteit) veel beter kunnen voorspellen dan huidige systemen. Daarmee zal de provisioning efficiency veel hoger worden.

1.5.2 Code-optimalisatie

Bij het ontwikkelen van (traditionele) ERP-systemen of softwareapplicaties voor de pc is energie-efficiëntie nooit een belangrijke overweging geweest. Het speelde simpelweg geen rol, dus meestal werd dit verwaarloosd. En dit lijkt nog steeds door te gaan, zo betoogt de Wet van Wirth:

> *"Software is getting slower more rapidly than hardware becomes faster."*
>
> *-- Niklaus Wirth, "A Plea for Lean Software", Computer 28, 1995*

Bij het ontwikkelen van mobiele apps daarentegen is energieverbruik van begin af aan een hele belangrijke factor geweest, omdat anders de app een batterijvreter werd en al snel van het mobieltje werd verwijderd. Dit zien we heden ten dage nog volop terug. Muziek luisteren op je mobiel vreet bijvoorbeeld veel minder energie dan op de pc.

Er valt dus nog veel te verbeteren in de manier waarop softwareapplicaties zijn ontworpen en geïmplementeerd. Ontwikkelaars van bedrijfssoftware kunnen wat dat betreft veel leren van ontwikkelaars van mobiele apps. Betere softwarecode, specifieke configuraties en het vermijden van suboptimale algoritmen kunnen zorgen voor energiebesparing. Bijvoorbeeld door efficiënter gebruik van processing power van de CPU en efficiënter gebruik van geheugen en data.

1.5.3 Applicatievirtualisatie en -sharing

Veel bestaande softwareapplicaties zijn niet geschikt of niet ideaal om gedraaid te worden op virtuele machines. In de softwarearchitectuur moeten hiervoor zaken worden aangepast, soms moet code herschreven worden. Dit is applicatievirtualisatie. Een bijzonder geval is desktopvirtualisatie.

In de overstap van on-premise ICT naar ICT in de multi-tenant e-infrastructuur loont dit vooral wanneer applicaties niet alleen geschikt worden gemaakt voor virtualisatie, maar ook worden gedeeld tussen verschillende instellingen: applicatiesharing.

1.5.4 Green Cloud Broker

De ideale eindsituatie is een idee dat bekend staat als Green Cloud Broker. Dat werkt als volgt. De eindgebruiker neemt een service af van de e-infrastructuur. Dat serviceverzoek komt binnen bij de Green Cloud Broker. Die bepaalt – binnen de functionele eisen en de prestatie-eisen van een vooraf overeengekomen SLA met de betreffende instelling – welke leverancier van e-infrastructuur de gevraagde service mag leveren op basis van het grootste duurzaamheidseffect, zoals voortdurend gemonitord en vastgelegd in een vrij toegankelijke carbon emission directory.

Zover is het nog niet, maar de gedachte kan wel een leidraad vormen bij het verder invullen van de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur.

1.6 BUSINESSPROCESSEN

De hier behandelde vraag is:

> Wat zijn de duurzaamheidseffecten, en in het bijzonder welke energieverbruiksreductie is mogelijk, wanneer instellingen – bovenop SAAS – businessprocessen overbrengen van eigen beheer naar een gedeelde e-infrastructuur?

KEYWORDS: digitalisering en cloud, virtuele werkplek, duurzaam bedrijfsmodel

1.6.1 Digitalisering en cloud

De onderliggende drijvende kracht van de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur is de voortgaande digitalisering. Met virtualisatie en de opkomst van mobiel en de 'app-economie' neemt digitalisering (of SDx, Sofware Defined Anything) een grote vlucht. Alles (lees: ieder bedrijfsproces) wat digitaal in de vorm van software kan worden uitgevoerd, zal dat ook worden. Aan de leverende kant betekent dit dat veel bedrijfsprocessen 'uit de cloud' komen. Aan de afnemende kant betekent dit dat gebruikers 'any time, any place, any device' onderdeel willen zijn van die in softwarevorm – vaak mobiele apps – uitgevoerde bedrijfsprocessen.

Te beginnen met standaardelementen van deze bedrijfsprocessen – denk aan commodity's zoals e-mail en Microsoft Office, of het modernere Slack – zal deze functionaliteit al snel 'uit de public cloud' geleverd worden. Er is onderzoek gedaan dat voor deze commodity's de overgang van on-premise naar e-infrastructuur energiebesparingen oplevert van 30% voor heel grote organisaties met grote on-premise operaties, tot wel 90% voor kleine MKB-bedrijven met suboptimale on-premise operaties.

Voor specifiekere elementen van de bedrijfsprocessen – denk bijvoorbeeld aan Research Data Management – zal een overgang naar 'private cloud' in de vorm van een federatief cloud zoals het European Open Science Cloud meer voor de hand liggen. Ook hier kan de besparing in energieverbruik enorm zijn.

In beide gevallen (public en private cloud) geldt ook dat er minder dataopslag nodig zal zijn, omdat veel data door meerdere mensen hergebruikt kunnen worden. Er zal dus minder redundantie van data zijn. En minder dataopslag betekent minder energieverbruik.

Groot voordeel van deze beweging is ook dat samenwerken (in onderwijs en onderzoek, maar ook in de bedrijfsvoering) tussen verschillende instellingen onderling gemakkelijk en voor de hand liggend wordt.

1.6.2 Virtuele werkplek

Een specifiek element van digitalisering en cloud is het eerdergenoemde 'any time, any place, any device'. De concrete invulling hiervan is de virtuele werkplek en een variant, de virtual desktop. Hiermee hebben medewerkers op iedere mogelijk plek – op het werk, thuis, in het buitenland, op pc, tablet, smartphone – toegang tot hun volledige werkplek: data en applicaties. Met de ontwikkeling van 'Het Nieuwe Werken' is deze trend niet meer te stuiten. Zoals steeds, geldt ook hier het schaalvoordeel van de e-infrastructuur als belangrijkste argument voor duurzaamheid en energiebesparing.

1.6.3 Duurzaam Bedrijfsmodel

Uiteindelijk zullen instellingen hun bedrijfsmodellen aanpassen als gevolg van de ontwikkeling van allesomvattende digitalisering – Digital Transformation. De eerste tekenen in het hoger onderwijs zijn er al in de vorm van MOOCs: Massive Open Online Courses. In onderzoek wordt volop geëxperimenteerd met het delen van research data. Instellingen passen hun waardeketen in onderwijs en onderzoek aan de nieuwe tijd aan. Een belangrijk onderdeel in de nieuwe bedrijfsmodellen, waarbij traditionele verdienmodellen onder druk staan, is om de eigen

aantrekkelijkheid voor de doelgroep te vergroten door een duurzame bedrijfsvoering te voeren. De overgang naar e-infrastructuur is hiervoor een onmisbaar element.

1.7 NEVENEFFECTEN

De hier behandelde vraag is:

> Wat zijn mogelijke onbedoelde negatieve duurzaamheidseffecten wanneer instellingen ICT overbrengen van eigen beheer naar een gedeelde e-infrastructuur?

KEYWORDS: transmissie, servicelevels, hoge utilization

"*Elk voordeel heb zijn nadeel*,"
zei een groot wijsgeer ooit.

1.7.1 Transmissie

Grootschalige overstap naar e-infrastructuur brengt extra internetverkeer (transmissie) met zich mee. Data gaan van de pc van de eindgebruiker naar een ethernet-switch van de eigen internetprovider. Dan via BNG-routers (Broadband Network Gateways) naar andere internetrouters en vice versa. Al deze switches en routers verbruiken energie, afhankelijk van het dataverkeer.

Energie-efficiënte switches en routers worden dus steeds belangrijker. Energiegebruik voor transmissie kan bij gemiddeld of hoog gebruik een aanzienlijk deel zijn van het totale energiegebruik bij dataopslag in e-infrastructuur. Gemiddeld netwerkgebruik bij public cloud kan wel drie tot vier zo hoog zijn als bij on-premise ICT.

Energieverbruik in een netwerk hangt vooral af van het vaste (niet draadloze) deel. Dat kan daarom worden geoptimaliseerd met netwerkapparatuur, netwerkontwerp (topologie) en ontwerp van protocollen. De meeste verloren energie komt doordat apparatuur ontworpen is om pieken op te kunnen vangen. Energieverbruik is bij geen belasting (idle) niet aanzienlijk lager dan bij piekbelasting. Bij lage belasting zouden bijvoorbeeld switches uitgezet moeten kunnen worden en de data ge-reroute tot een drempelbelasting zich aanbiedt.

Er vindt ook energieverlies plaats in de gebruikte transmissiekabels. Hoewel het energieverlies in de passieve kabels (zoals coax of glasvezel)minimaal is in vergelijking met het verlies in de actieve schakelapparatuur in het netwerk.

1.7.2 Servicelevels

Hoge servicelevels en strakke SLAs zorgen ervoor dat de leverancier van e-infrastructuur meer faciliteiten mobiliseert dan strikt nodig om de service te leveren. Dit gebeurt om aan verplichte responsetijden, uptimes en failure rates te komen. Dat doen ze bijvoorbeeld door faciliteiten dubbel uit te voeren en schaduw te draaien. Of door data redundant op verschillende plaatsen in de wereld neer te zetten voor betere responsetijden naar eindgebruikers.

Een voorbeeld zijn de eisen voor beschikbaarheid van een data- en rekencenter. Deze wordt uitgedrukt in een 'tier'-schaal:

- *tier 1* – beschikbaarheid: 99,67%, 28,8 uur downtime/jaar, geen redundantie;
- *tier 2* – beschikbaarheid: 99,75%, 22 uur downtime/jaar, gedeeltelijke redundantie;
- *tier 3* – beschikbaarheid: 99,982%, 1,6 uur downtime/jaar, redundantie N+1;
- *tier 4* – beschikbaarheid: 99,995%, 0,8 uur downtime/jaar, redundantie 2N+1.

NB. N+1 redundantie betekent dat voor elke N componenten er één extra beschikbaar is. Redundantie van 2N+1 betekent dat elke component dubbel is uitgevoerd plus dat er ook nog een extra is.

Afhankelijk van hoe bedrijfskritisch men is ten opzichte van de toepassingen die gehost worden, zal soms een extreem hoge beschikbaarheid (bijvoorbeeld voor een langlopend wetenschappelijk experiment dat per se niet onderbroken mag worden) en soms een minder hoge beschikbaarheid nodig zijn.

Duurzame genuanceerde afspraken maken over deze servicelevels kan aanzienlijk bijdragen tot energiereductie.

1.7.3 Hoge utilization

Een onbedoeld neveneffect van hoge bezettingsgraden van ICT-apparatuur is, dat de apparaten individueel meer warmte afgeven waarvoor extra koeling nodig is.

Het is een redelijke aanname dat de reductie van het aantal apparaten die mogelijk wordt gemaakt doordat de apparaten een hoge bezetting draaien, een sterker energiebesparend effect heeft dan de toename van energieverbruik voor de extra koeling.

Zoals eerder gezegd, speelt bij virtualisatie eenzelfde effect. De effectiviteit van een virtuele server is lager dan van een fysieke server. Dit wordt echter ruimschoots goedgemaakt doordat meerdere virtuele machines op een fysieke server draaien.

2 ONDERBOUWING EN KWANTIFICERING

2.1 INLEIDING

Zoals hieronder toegelicht, is het om uiteenlopende redenen niet zo eenvoudig om duurzaamheids-effecten en energieverbruikreductie bij de overgang van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur exact te kwantificeren.

In de literatuur worden echter indrukwekkende schattingen gegeven. De schaarse praktijkvoorbeelden zijn eveneens indrukwekkend.

- Het GeSI-rapport 'The Enabling Technologies Of A Low-Carbon Economy: A Focus On Cloud Computing' berekende dat bij de overstap van on-premise naar e-infrastructuur voor e-mail, CRM en Groupware de energie-efficiëntie voor die toepassingen met een factor 20 verbeterd kan worden (dat is dus 95% reductie van energieverbruik). Ook komt GeSI tot de conclusie dat de duurzaamheidseffecten in het algemeen groter zijn voor on-premise kleinschalige organisaties.
- Een vergelijkbare conclusie trekt het rapport 'Cloud Computing and Sustainability: The Environmental Benefits of Moving to the Cloud' van Accenture en WSP. Gemiddeld over verschillende toepassingen is typisch een CO_2-reductie mogelijk van:
    - Meer dan 90% voor organisaties tot 100 gebruikers.
    - 60 tot 90% voor organisaties tussen 100 en 1000 gebruikers.
    - 30 tot 60% voor organisatie met meer dan 1000 gebruikers.
- Het Dutch Datacenter Association rapport '2016 State of the Dutch Data Centers' zegt: "Data centers bring huge efficiency benefits. By concentrating IT equipment in one place and by operating data center facilities more professionally, huge amounts of energy are being saved compared to on-premise situations. Without data centers our society would use more than double the amount of energy to what is used now."

Los van de exacte getallen zijn praktisch alle bestaande rapporten en ervaringen het over één ding eens: **schaalgrootte – vooral via multi-tenancy – maakt grote duurzaamheidseffecten mogelijk, doordat technieken zoals virtualisatie, workload balancing en dynamic provisioning dan pas echt grote voordelen opleveren in energieverbruik.**

Dit komt vooral, omdat (i) voor dezelfde hoeveelheid diensten minder ICT-apparatuur hoeft te worden ingezet (met een veel hogere bezettingsgraad per apparaat) en (ii) de grootschalige beheerders over het algemeen (nog) veel professioneler omgaan met kostenbesparing (lees: energieverbruikreductie).

> De winst in duurzaamheid en energieverbruikreductie bij de overstap van on-premise naar e-infrastructuur hangt dus vooral af van op welke schaal ICT-middelen bij instellingen in de on-premise situatie gebruikmaken van deze technieken in verhouding tot de e-infrastructuur situatie.

2.2 TOELICHTING

NB. In ‘Bijlage C – Uitgangspunten bij kwantificering zijn de overwegingen, beperkingen en definities’ weergegeven voor de kwantificering van de duurzaamheidseffecten van de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur.

Hieronder wordt geprobeerd voor elk van de onderdelen uit het voorgaande hoofdstuk een numerieke onderbouwing of zelfs kwantificering te geven. Dat laatste is binnen het bestek van dit rapport meestal niet mogelijk vanwege (i) de complexiteit van de berekening als je echt in de details duikt – bijvoorbeeld omdat er veel wederzijds en circulair afhankelijke factoren zijn – maar vooral (ii) vanwege het ontbreken van nauwkeurige praktijkgegevens op dit gebied.

> NB. In het eerdergenoemde vrij te downloaden document ‘NREL (National Renewable Energy Laboratory), “Chapter 20: Data Center IT Efficiency Measures”’ wordt een serieuze aanzet gegeven tot een wiskundig onderbouwde kwantificering van het energieverbruik voor alle componenten van de cloud stack, met name op gebied van infrastructuur (servers en dataopslag). De lezer die zelf een uitgebreide kwantitatieve onderbouwing wil opstellen, verwijzen we graag naar dit document als uitstekend startpunt.

Om bovenstaande redenen beperkt dit hoofdstuk zich tot het geven van een inschatting van de impact op energieverbruik en duurzaamheid met een eenvoudige indeling tussen Groot, Middel, Klein en Neutraal. Daarnaast gebruiken we Negatief voor onbedoelde negatieve neveneffecten:

- groot = in de ordegrootte van 20% van het effect;
- middel = in de ordegrootte van 10% van het effect;
- klein = in de ordegrootte van tot 5% van het effect;
- neutraal = kleiner dan 1% van het effect;
- negatief = een negatieve bijdrage aan het effect.

NB. De impact van de deelonderwerpen is de **relatieve** impact binnen het onderwerp. Bijvoorbeeld de impact van het onderdeel strategie is groot binnen het onderdeel Beleid, dat op zijn beurt weer een grote impact heeft op het geheel.

Op deze manier kan bij de beslissing om van on-premise ICT over te stappen naar ICT in de e-infrastructuur tenminste een ordegrootte ingeschat worden van de impact op duurzaamheid. Voor wie daadwerkelijk een nauwkeurige berekening wil maken, kan dit hoofdstuk een eerste aanzet zijn en een checklist geven welke factoren daarbij een rol spelen.

> NB. Deze verkenning richt zich vooral op factoren met een grote invloed op duurzaamheid en energieverbruikreductie. Sommige factoren die hier genoemd worden, hebben een middelgrote, kleine, neutrale of negatieve impact. De redenen waarom deze factoren toch zijn opgenomen, zijn divers. Sommige factoren zijn operationeel eenvoudig door te voeren maatregelen, andere zijn operationeel juist heel prominent aanwezig, weer andere hebben feitelijk een kleine impact, maar kunnen potentieel een grote impact hebben als ze (goed) worden uitgevoerd.

Het basisprincipe van de onderbouwing is steeds het volgende.

- Het duurzaamheidseffect is het verschil tussen het equivalent CO_2-uitstoot in de on-premise situatie en de situatie in de e-infrastructuur (zie ook Bijlage C):

$$DE = \sum_{n=1}^{N} CEF_{op_n} \cdot E_{op_n} - CEF_{sh} \cdot E_{sh}$$

- De impact van een verschil in CO_2-efficiëntie op de CO_2-uitstoot is enorm, omdat het als hefboom werkt op het energieverbruik. De feitelijke realisatie ligt echter niet bij de leverancier van de e-infrastructuur, maar bij diens energieleverancier. Het is dus een inkoopkwestie. In dit hoofdstuk gaan we er daarom vanuit dat de CO_2-efficiëntie in de on-premise situatie gelijk is aan die in de e-infrastructuur. Daardoor hoeven we ons alleen te richten op de energieverbruikreductie:

$$\Delta E = \sum_{n=1}^{N} E_{op_n} - E_{sh} = E_{op} - E_{sh}$$

Bovenstaande formule geldt voor elk van de zeven onderdelen uit het vorige hoofdstuk: beleid, housing, infrastructuur, platform, software, businessprocessen en neveneffecten.

$$\Delta E = \Delta E^{Beleid} + \Delta E^{Hous} + \Delta E^{Infra} + \Delta E^{Platf} + \Delta E^{Softw} + \Delta E^{BusPro} + \Delta E^{Neven}$$

Gecombineerd geven de bovenstaande twee formules:

$$\Delta E = \sum_{i=1}^{7} \Delta E^{i} = \sum_{i=1}^{7} \left(\sum_{n=1}^{N} {E^{i}}_{op_n} - E^{i}_{sh} \right), met\ i = elk\ van\ de\ 7\ onderdelen$$

Dit is in principe wat we willen berekenen, wanneer we op basis van de gekozen indeling de energiereductie uit de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur willen kwantificeren. Het zal duidelijk zijn dat veel van deze factoren niet of moeilijk te meten zijn. Dat is de reden waarom we ons hier tot ordegrootte schattingen beperken.

2.3 BELEID

Voor beleidsfactoren geldt dat deze in het algemeen een hefboomwerking hebben op duurzaamheidseffecten (DE) en energieverbruikreductie (ΔE).

Kwantificering van dit onderdeel kan worden uitgedrukt in twee factoren:

- **Duurzaamheidsdoel**

- Dit is de in het geformuleerde beleid beoogde mate waarin met de overgang van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur daadwerkelijk duurzamer gewerkt wordt.
- Het duurzaamheidsdoel wordt uitgedrukt in (gereduceerde hoeveelheid) kg CO_2-equivalent. Met andere woorden: hoeveel kg CO_2-equivalent wordt bespaard door over te gaan naar de e-infrastructuur.

❖ **Energiebesparingsdoel**

- Dit werkt op dezelfde manier. Hier gaat het om de beoogde mate waarin met de overgang van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur daadwerkelijk reductie van energieverbruik plaatsvindt.
- Het energiebesparingsdoel wordt uitgedrukt in (gereduceerde hoeveelheid) kWh per jaar. Met andere woorden: hoeveel kWh elektrische stroom wordt in een jaar bespaard met de overstap naar de e-infrastructuur.

De ordegrootte van de impact van dit onderdeel op de totale energieverbruikreductie is:

$\Delta E^{Beleid} = Groot$

Althans, de impact van dit onderdeel kan heel groot zijn, mits de beleidsdoelen op het gebied van duurzaamheid en energieverbruik ook daadwerkelijk worden gerealiseerd. Zoals hieronder wordt uitgewerkt, zijn besparingen van tientallen procenten mogelijk.

De genoemde factor energiebesparing wordt vooral bepaald door onderstaande deelonderwerpen.

2.3.1 Strategie

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Beleid is:

Groot

Deze impact is logischerwijs groot. Het gaat hier om de uitvoering van alles dat genoemd is bij dit onderdeel. Mooie beleidsplannen vallen en staan bij goede executie.

2.3.2 Samenwerking

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Beleid is:

Groot

Samenwerking binnen, maar vooral buiten, de eigen organisatie (zoals in federatief verband) is de basis voor schaalvergroting, dat weer een fundament is van de duurzaamheidseffecten.

2.3.3 Inkoop

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Beleid is:

Groot

Vooral het effect van de inkoop van groene stroom is groot, maar ook de keuze voor de leverancier van de e-infrastructuur heeft een groot effect op energieverbruikreductie.

2.3.4 End-of-life

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Beleid is:

Klein

Aansturing op end-of-life van ICT-apparatuur is een zaak die bij inkooponderhandelingen plaats kan vinden. Het effect op duurzaamheid bij de overstap van on-premise naar e-infrastructuur lijkt beperkt, omdat in de on-premise situatie vaak ook al goed wordt omgegaan met zaken als recycling.

2.3.5 Architectuur

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Beleid is:

Middel

Potentieel heeft dit onderdeel veel impact. In de praktijk echter is dit een onderwerp dat nauwelijks leeft binnen de gemeenschap van enterprise programmeurs. Ook binnen ICT-beleid heeft dit geen aandacht.

2.3.6 Servicelevels

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Beleid is:

Groot

Potentieel is deze impact erg groot. Immers, 28˚C in plaats van 21˚C of Tier 2 in plaats van Tier 3 maakt enorm veel uit in energieverbruik. De vraag is echter of ICT-managers dit aandurven wegens de elders in dit document genoemde argumenten.

2.3.7 Overige beleidsfactoren

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Beleid is:

Groot

People – Duurzaam beleid heeft grote impact op medewerkers. De overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur betekent dat sommige banen zullen verhuizen of vervallen. Daarnaast dat werkinhoud voor een aantal medewerkers zal veranderen, maar ook dat er andere banen voor in de plaats komen waar nieuwe vaardigheden voor nodig zijn.

Profit – Mits goed uitgevoerd kan de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur een structurele verlaging van kosten in de Gebruiksfase met zich meebrengen. Inclusief de eenmalige extra kosten voor het transitietraject zal dit netto doorgaans positief uitvallen.

2.3.8 Gedrag

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Beleid is:

Groot

Wanneer alle medewerkers hun gedrag aanpassen om maximale duurzaamheidseffecten te bereiken, dan is de impact hiervan enorm groot. Veel onnodig energieverbruik – van onnodige verlichting en koeling tot zombieservers – vindt nog steeds plaats als gevolg van onwetendheid, gemakzucht of risicomijding. De impact valt en staat bij hoe gedragsverandering wordt aangestuurd (beleid) en of mensen het ook echt doen.

2.4 HOUSING

Het gebouw waarin de ICT-apparatuur is ondergebracht, bepaalt de ‘gebouwoverhead’. Bij een PUE van 1,2 is dit zo’n 17% van het totale energieverbruik. Bij de overgang van bijvoorbeeld on-premise

PUE = 1,8 naar e-infrastructuur PUE = 1,2 (dus ΔPUE = 0,6) bepaalt housing al snel (ordegrootte) 25% van de volledige ΔE.

Kwantificering van dit onderdeel wordt vooral uitgedrukt in de factor:

- **ΔPUE, het verschil in Power Usage Efficiency**
  - Dit is de verhouding van het totale energieverbruik van het data- en rekencenter (in kWh) gedeeld door het energieverbruik van de gehoste ICT-apparatuur in het data- en rekencenter. Het gaat hier dus om het verschil in PUE in de on-premise situatie en in de e-infrastructuur (ΔPUE).
  - Let op. PUE is afhankelijk van het energieverbruik van de gehoste ICT-apparatuur. In de loop der tijd kan de PUE lager worden, als leveranciers nieuwe generaties efficiëntere ICT-apparatuur leveren. Dat betekent dat leveranciers van e-infrastructuur zich dan actief moeten inspannen om hun PUE laag te houden, laat staan nog te verbeteren.

NB. Er bestaat de neiging binnen de datacenterwereld om te focussen op PUE, maar dit is slechts een deel van het verhaal. Immers, een relatief hoog energieverbruik van de ICT-apparatuur geeft automatisch een lagere PUE. Alleen een lage PUE is dus niet voldoende als maat voor duurzaamheid (CO_2-efficiëntie en energieverbruik). Het gaat ook om groene stroom (CO_2-efficiëntie) en om zoiets als 'stroomverbruik van de ICT-apparatuur per eenheid van geleverde clouddiensten' (relatief energieverbruik).

De ordegrootte van de impact van dit onderdeel op de totale energieverbruikreductie is:

$$\Delta E^{Hous} = Groot$$

Deze ordegrootte is eenvoudig te meten. Immers, bij een PUE van bijvoorbeeld 1,2 is de housing verantwoordelijk voor 20% van het energieverbruik door de ICT-apparatuur. De impact is dan het gewogen verschil hierin tussen de on-premise situatie en de e-infrastructuur.

Schattingen verschillen per land, maar datacenters verbruiken ordegrootte 2% van het totale energieverbruik in een land. Nederland heeft relatief veel datacenters. De volgende cijfers geven een indruk van de omvang van alle multi-tenant datacenters in Nederland (2015/2016):

- Aantal multi-tenant datacenters 206 (2016)
- Oppervlakte (bruto/netto) 496.000 m^2 / 271.000 m^2 (2016)
- Energiecapaciteit / per m^2 363 MW / 1,4 kW (2015)
- Bezettingsgraad 57% (2015)
- Server racks (totaal/gevuld) 115.000 / 56.000 (2015)

De praktijk wijst uit, dat de bezettingsgraad van grote datacenters rond 80% ligt. Voor kleine organisaties ligt het echter tussen 25 en 50%. De verwachting is overigens, dat de groei naar clouddiensten ervoor zorgt dat deze cloud-bezettingsgraden nog hoger gaan worden.

Hetzelfde onderzoek geeft aan dat de gemiddelde PUE van deze multi-tenant datacenters op 1,3 ligt. In het algemeen zijn PUE-waarden tussen 2,0 en 2,5 niet ongebruikelijk voor on-premise datacenters. Laten we uitgaan van 2,0. Dan is dus alleen al door over te stappen van on-premise naar deze e-infrastructuur een winst in PUE-waarde te behalen van tenminste 0,7.

Dit betekent, dat door de overstap van een on-premise datacenter naar een groot multi-tenant data- en rekencenter in de e-infrastructuur gemiddeld een winst is te behalen van 70% van het energieverbruik van de totale ICT-apparatuur.

> Als we de eerste-ordegrootte schatting maken dat er in Nederland evenveel m^2 on-premise ICT is als de genoemde multi-tenant datacenters, dan zou dit voor heel Nederland alleen al een energieverbruikreductie geven van ≈ 200 MW [((2,0/1,3) – 1) * 363 MW]. Dit is enorm!

Kijken we naar het duurzaamheidseffect, dan moeten we ook kijken naar CO_2-efficiëntie (CEF, Carbon Efficiency Factor). Van de onderzochte multi-tenant datacenters in Nederland gebruikt (naar eigen zeggen) 80% volledig groene energie. Het lijkt een redelijke aanname dat niet meer dan 80% van de on-premise datacenters groene energie gebruikt. De CO_2-efficiëntie bij overstap van on-premise naar e-infrastructuur geeft dan minstens een niet-negatief effect. Dus ook voor de duurzaamheid is het effect enorm.

De factor Housing wordt vooral bepaald door onderstaande deelonderwerpen.

2.4.1 Bouw

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Housing is:

> Groot

Omvang – Een 'groot' datacenter heeft (vuistregel) ordegrootte 1.000 m^2 aan netto vloeroppervlak (een kleine 2.000 m^2 bruto). Omdat schaalgrootte de belangrijkste factor is voor energieverbruikreductie bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur, is de impact van de factor omvang enorm groot.

Locatie – In de wereldwijde literatuur wordt locatie van een datacenter vaak genoemd als bepalende factor voor toegang tot groene energie. Binnen Nederland speelt dit argument veel minder, omdat er binnen Nederland geografisch weinig verschillen zijn. Eerder speelt hier het argument dicht bij Amsterdam te zitten en ook dicht bij de afnemers, zodat transmissiekabels zo kort mogelijk kunnen blijven.

Constructie – Er lijkt consensus te zijn binnen dit vakgebied over de hoofdzaken. De keuze tussen de ene of de andere leverancier van e-infrastructuur zal dus weinig verschil maken. Het verschil zit veel meer in hoe modern het gebouw is. Doorgaans geldt: hoe jonger des te moderner. On-premise gebouwen zullen over het algemeen ouder zijn dan e-infrastructuur gebouwen.

Inrichting – Hier geldt hetzelfde. Er lijkt consensus te zijn binnen dit vakgebied over de hoofdzaken. De keuze tussen de ene of de andere leverancier van e-infrastructuur zal dus niet veel verschil maken. Het verschil zit weer veel meer in hoe modern het gebouw is. Doorgaans geldt: hoe jonger des te moderner. Veel moderne inzichten over inrichting zijn – waar mogelijk – vermoedelijk ook al in de on-premise gebouwen verwerkt.

2.4.2 Stroomvoorziening

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Housing is:

> Groot

Een heel groot deel van het energieverbruik in een data- en rekencenter is in de vorm van elektriciteit. Een meer of minder efficiënte stroomvoorziening heeft dus een grote impact op het energieverbruik.

PDUs (Power Distribution Units) – De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Housing is groot. PDUs zijn binnen de gehele stroomketen de grootste bron van energieverlies, vooral in de vorm van warmtedissipatie.

UPS (Uninterruptible Power Supply) en noodstroom – De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Housing is klein. De garantie van onafgebroken stroomvoorziening is in e-infrastructuur net zo nodig als on-premise. Daar zit in de overstap geen verschil, behalve het schaalvoordeel. Zolang de noodstroomvoorziening in stand-by stand weinig of geen stroom verbruikt is ook die impact klein.

2.4.3 Koeling en klimaatregeling

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Housing is:

Groot

Koeling en klimaatregeling nemen het grootste deel van de gebouwoverhead voor hun rekening. Deze zijn sterk bepalend voor de PUE. De impact is dus groot.

2.4.4 Building Management System (BMS)

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Housing is:

Groot

Een BMS is in de praktijk het gereedschap waarmee alle bovenstaande besparingen aangestuurd kunnen worden. Deze systemen zijn tegenwoordig zo intelligent (en de omgeving zo complex), dat inzet van een BMS een enorme impact heeft op het energieverbruik.

2.5 INFRASTRUCTUUR

De infrastructuurlaag bevat de stroomverbruikende ICT-apparatuur (de hardware). Kwantificering van ΔE tussen on-premise en e-infrastructuur gaat hier over (i) hoeveel minder ICT-apparaten ingezet worden om dezelfde diensten te kunnen voortbrengen (= Δ#App) en (ii) hoeveel minder energie de apparaten gemiddeld verbruiken (=avg ΔE_{App}).

$$\Delta E^{Infra} = \Delta \#App * avg\ \Delta E_{App}$$

Het aantal gebruikte apparaten is omgekeerd evenredig met de gemiddelde bezettingsgraad van de apparaten. Dus bijvoorbeeld 30 apparaten met 33% bezetting on-premise (=op) leveren dezelfde output aan diensten als 10 apparaten met 100% bezetting in e-infrastructuur (=sh, shared); dat scheelt 20 apparaten.

$$\#App_{op} * avg\ Util_{op} = \#App_{sh} * avg\ Util_{sh}$$

ΔE is dan 20 maal het gemiddelde stroomverbruik, gecorrigeerd voor het feit dat een vol bezet apparaat wat meer energie verbruikt dan een niet vol bezet apparaat. Als vuistregel geldt: 50% energieverbruik bij nul bezetting en een lineair verband. De uiteindelijke berekening van ΔE is dus wat complexer. Daarom wordt hier volstaan met het volgende.

Kwantificering van dit onderdeel kan worden uitgedrukt in de factoren:

- **Equipment Utilization, apparatuurbezetting**
  - Dit is de mate waarin de capaciteit van ICT-apparatuur, zoals servers en dataopslag, benut wordt, uitgedrukt in %. Voorbeelden zijn server utilization en disk utilization.
  - Bij elke mate van benutting bestaat een (door de leverancier van de apparatuur opgegeven) niveau van energieverbruik.
- **Equipment Efficiency, apparatuur-efficiëntie**
  - Dit is het relatieve energiegebruik van ICT-apparatuur bij maximale prestatie (in eenheid van output). Voor verschillende soorten ICT-apparaten bestaan er verschillende eenheden van prestatie-output.
  - Bijvoorbeeld voor servers kan het aantal berekeningen worden genomen per kWh energie en voor dataopslag kan worden gerekend met het opgeslagen aantal bytes per kWh energie.
    - Gebruikelijke eenheden voor aantallen cycles of berekeningen per tijdseenheid bij servers zijn Million Instructions Per Second (MIPS) of Floating Point Operations Per Second (FLOPS). Equipment Efficiency wordt dan gemeten in bijvoorbeeld FLOPS/Watt of Watt/GFLOPS of GCycles/kWh.
    - Voor dataopslag kan op een vergelijkbare manier gerekend worden met MB/kWh – of gebruikelijker Watt/TB.

Het product van deze twee factoren levert dan een maat voor het energieverbruik per geleverde prestatie (aantal diensten) van de betreffende ICT-apparatuur. Dit zou 'prestatie-energieverbruik' genoemd kunnen worden (verschillend per apparaat-type).

De ordegrootte van de impact van dit onderdeel op de totale energieverbruikreductie is:

$\Delta E^{Infra} = Groot$

De twee genoemde factoren worden vooral bepaald door onderstaande deelonderwerpen.

2.5.1 Multi-tenancy

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Infrastructuur is:

Groot

Schaalgrootte is de meest bepalende factor voor energieverbruikreductie. Multi-tenancy is de sterkst bepalende factor voor schaalgrootte. Immers, het maakt voor de schaalgrootte alles uit of de ICT van een, twee of tien (of nog meer) instellingen in een e-infrastructuur bijeengebracht wordt.

2.5.2 PSUs

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Infrastructuur is:

Groot

Alle ICT-apparaten (actieve componenten) hebben een PSU (Power Supply Unit, stroomvoeding). PSUs zijn in essentie transformatoren, dus stroomspoelen. Vanuit hun aard kennen PSUs een groot energieverlies in de vorm van warmtedissipatie. (Voel maar eens aan de voeding van je pc.) Hier valt dus veel te winnen.

2.5.3 (Server) Utilization

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Infrastructuur is:

Groot

Als vuistregel mag gebruikt worden, dat bij nul bezetting (utilization) ongeveer 50% van de energie wordt verbruikt van de 100% bij volle bezetting. Als we uitgaan van een lineair verband, dan betekent dit dat een bezettingsverbetering van 33% naar 100% slechts 50% meer energieverbruik geeft. Dus 200% meer output voor 50% meer energieverbruik (300% output voor 150% van de energie). Omgekeerd: dezelfde hoeveelheid output kost maar de helft aan energie. Dat is een reductie van 50% op de totale energiekosten van alle ICT-apparatuur.

2.5.4 Processoren

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Infrastructuur is:

Middel

De belangrijkste bronnen van energieverbruik in een microchip zijn Dynamic Power Consumption (energieverbruik in de transistors bij het normale gebruik), Short-Circuit Power Consumption (kortsluiting tussen gelijktijdig geleidende transistoren binnen de microchip) en Transistor Leakage Currents (lekstromen binnen de chip).

Leveranciers publiceren doorgaans twee getallen voor energieverbruik: Typical Thermal Power (TTP) en Maximum Thermal Power (MTP). Bij hoge bezetting verbruikt een microchip meer energie dan bij lage bezetting. Bijvoorbeeld de Intel Pentium IV 2,8 GHz heeft een TTP van ongeveer 70W en een MTP van ongeveer 85W. Zo´n 15W – ofwel 20% – extra energieverbruik dus. Plus de extra benodigde koelingscapaciteit.

2.5.5 Hot en cold data zones, SANs

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Infrastructuur is:

Groot

Naarmate data ouder worden, worden ze over het algemeen minder gebruikt. Niet vaak wordt actief werk gemaakt van het verplaatsen van weinig geraadpleegde data naar minder high-performance diskdrives of slechts op verzoek beschikbaar zijnde gegevensopslag. Praktijkervaringen met storage tiering (het inrichten van hot en cold data zones) hebben besparingen opgeleverd tussen 10 en 20%.

Alle grote datacenters kennen een vorm van storage tiering.

2.5.6 Disk utilization

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Infrastructuur is:

Groot

Een veelgebruikte vuistregel voor de gemiddelde disk utilization (wereldwijd) is 30%. Verhoging van de disk utilization naar 90% zou leiden tot een reductie van het dataopslag-park tot een derde van wat nu in gebruik is. Zelfs als het gemiddelde de helft hoger is (45%) dan zou dit nog een halvering betekenen. Dit is een enorme energiebesparing en besparing op aankoop van apparatuur.

Daarnaast wordt veel data in organisaties meerdere keren opgeslagen, nog los van back-ups. Een factor twintig is zeker geen uitzondering. Al zouden alle data gemiddeld maar twee keer opgeslagen worden, dat zou dit al tot een halvering van gebruikte opslagcapaciteit kunnen leiden. Ook dat betekent een enorme energiebesparing en besparing op aankoop van apparatuur.

Het is een redelijke aanname dat leveranciers van e-infrastructuur zich veel meer dan beheerders van on-premise ICT inspannen om disk utilization te optimaliseren.

2.5.7 Netwerkarchitectuur

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Infrastructuur is:

Middel

Hoewel alleen al de consolidatie van apparatuur op basis van de schaalgrootte van de e-infrastructuur leidt tot inzet van relatief minder netwerkcomponenten, is dit vooral een onderwerp dat aan de orde is bij de nieuwbouw of verhuizing van een data- of rekencenter. In de praktijk wordt de topologie van een operationeel center zelden drastisch aangepast, zeker niet enkel vanwege duurzaamheid. Hier geldt dus vooral het argument van schaalgrootte.

2.5.8 Netwerkcomponenten

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Infrastructuur is:

Groot

Op dezelfde wijze als voor servers en dataopslag, spannen ook leveranciers van netwerk-componenten zich actief in om het energieverbruik ervan zoveel mogelijk te verlagen. Kostenverlaging in de gebruiksfase is immers een belangrijk inkoopargument. Tegelijkertijd dient dit het doel van duurzaamheid.

2.5.9 Infrastructuur Management Systeem

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Infrastructuur is:

Groot

Het gaat hier over de overall aansturing van equipment efficiency en equipment utilization. Dus dit effect is, mits goed uitgevoerd, evident groot. Hoe groter het data- en rekencenter, des te meer mogelijkheden de beheerder hiertoe heeft.

2.6 PLATFORM

De echte winst in energieverbruik zit in de reductie van het aantal stroomverbruikende ICT-apparaten als gevolg van platformvirtualisatie.

Kwantificering van dit onderdeel kan worden uitgedrukt in de factoren:

- **Virtualization Efficiency**
  - Een voorbeeld van een maat voor de efficiëntie van virtualisatie is VM Density, de dichtheid aan virtual machines (VMs) per fysieke machine. Deze en andere grootheden en eenheden om de effecten van virtualisatie te meten zijn niet recht-toe-recht-aan. Er zit ergens een optimum en dat optimum is dynamisch. In theorie kun je zoveel VMs installeren op een machine als de opslagruimte van die machine toelaat, maar de vraag is of er voldoende machine resources (CPU, Memory, IO, etc.) overblijven voor elke VM om voldoende te presteren. Gelukkig bestaan er geavanceerde systemen om dit optimalisatieprobleem dynamisch op te lossen. Nadeel is dat het lastig is een benchmark te geven, omdat dit per configuratie verschilt.
  - Een eenvoudigere maat, waar het in het licht van duurzaamheid ook eigenlijk om gaat, is server utilization (zie infrastructuurlaag). Die is eenvoudig per server te

meten. En een benchmark is ook eenvoudig: hoe hoger, hoe beter, bij gegarandeerde performance van de server.

- **Load balancing efficiency**
  - Een eenheid voor de efficiëntie van het load balancing mechanisme is eenvoudig te geven. Dit is de per type ICT-apparaat opgetelde afwijking (in %) van de gemiddelde belasting van alle individuele apparaten van dat type: de Peak-to-Average Ratio. Vergelijk het met de formule voor standaarddeviatie.
  - Het theoretische optimum is nul. Hoe kleiner, hoe beter. Het zal nooit nul zijn, alleen al omdat er een traagheid in de corrigerende reactie van het systeem zit. Met behulp van intelligente systemen kan dit goed geoptimaliseerd worden.

De ordegrootte van de impact van dit onderdeel op de totale energieverbruikreductie is:

$\Delta E^{Platf} = Groot$

Deze factoren worden vooral bepaald door onderstaande deelonderwerpen.

2.6.1 Virtualisatie

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Platform is:

Groot

Dit onderdeel is de andere kant van de medaille van server utilization. De impact is evident groot in de ordegrootte van tientallen procenten.

2.6.2 Load balancing

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Platform is:

Groot

Uitgaande van dat ICT-managers hun ICT-park inrichten op de maximale piek en wetende dat een piek gemakkelijk 30% of meer van de gemiddelde belasting kan zijn, is het duidelijk dat de impact van dit onderdeel groot is wanneer de verhouding piek-gemiddelde teruggebracht kan worden naar bijvoorbeeld 10%.

2.7 SOFTWARE

Kwantificering van dit onderdeel kan worden uitgedrukt in de factoren:

- **Provisioning Efficiency**
  - Dit is eigenlijk ‘de andere kant’ van load balancing efficiency. Het is een van de lastigere factoren om operationeel goed grip op te krijgen. Het probleem is simpel: hoe kunnen we met minimaal energieverbruik de gewenste clouddiensten (softwarefunctionaliteit) leveren op het moment dat die gewenst is, zodat ICT-capaciteit die op dat moment niet nodig is in een stand-bystand of zelfs uitgezet kan worden. Anders gezegd, hoe kunnen we ongebruikte capaciteit minimaliseren en toch altijd aan de gewenste en aanstaande vraag voldoen.
  - De maat waarin dit gemeten kan worden is ook duidelijk. Dat is het actuele energieverbruik per geleverde diensten. Hier begint de definitiekwestie, want wat is de eenheid van hoeveelheid geleverde diensten?

- Door de complexiteit en risico's in termen van business-continuïteit staat dit in de praktijk nog in de kinderschoenen. Pas wanneer voorspellende technieken op basis van articificial intelligence massaal hun intrede doen zal dit probleem adequaat opgelost gaan worden.

❖ **Application efficiency**

- Dit is het energieverbruik dat nodig is voor het draaien van een softwareapplicatie als gevolg van de manier waarop de softwarecode geschreven is. Hier spelen twee complicaties.
  - Ten eerste is dit moeilijk te isoleren van tal van andere factoren die dit beïnvloeden, zoals wat voor hardware wordt gebruikt. Daarom is het moeilijk te meten in real live situaties. Eigenlijk kan dit alleen worden gemeten in geïsoleerde benchmark testsituaties.
  - Ten tweede komt application efficiency tot stand door de manier van programmeren door de persoon die de software schrijft. Het is dus niet een factor die door de beheerder van e-infrastructuur beïnvloed wordt. Het is meer een kwestie van bewustwording, aansturing en gedragsverandering van de programmeurs.
- Daarnaast is het ook lastig om een eenheid te definiëren voor application efficiency. In theorie zou dat zijn: energieverbruik bij bepaalde inzet van de applicatie. Die zou dan moeten worden gebenchmarkt met andere softwarecode die dezelfde functionaliteit levert. Al met al een lastige kwestie.

De ordegrootte van de impact van dit onderdeel als geheel is:

$\Delta E^{Softw} = Middel$

Deze factoren worden vooral bepaald door onderstaande deelonderwerpen.

2.7.1 Dynamic provisioning

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Software is:

Groot

Dit is feitelijk de uitvoering die moet leiden tot een hogere provision efficiency. De mate waarin dit goed of niet goed wordt uitgevoerd, heeft daar dus direct effect op. Dynamic provisioning is eigenlijk de andere kant van de medaille van load balancing. De impact is dus groot.

2.7.2 Code-optimalisatie

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Software is:

Groot

Het ontwikkelen van energiezuinige software is feitelijk de concrete praktijk die moet leiden tot application efficiency. Deze praktijk kan enorme besparingen met zich meebrengen, maar staat bij veel instellingen nog in de kinderschoenen. Dit komt omdat het goed werkend krijgen van software vaak al complex genoeg is en de programmeurs deze extra complexiteit niet actief zullen opzoeken, hoe nobel het doel ook zijn moge. Dit vraagt dus om aandacht en actieve stimulering door het management.

2.7.3 Applicatie-virtualisatie en -sharing

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Software is:

Groot

De praktijk van applicatie-virtualisatie is eenvoudiger, en dus haalbaarder, dan het ontwerpen van energiezuinige softwarecode. Bovendien is steeds meer standaardsoftware van commerciële leveranciers geschikt voor virtualisatie. Dat stimuleert ook weer andere programmeurs. Het delen van applicaties tussen instellingen gebeurt weliswaar mondjesmaat, maar steeds vaker wordt er tussen instellingen federatief gewerkt, gestimuleerd door de mogelijkheden van de e-infrastructuur.

2.7.4 Green Cloud Broker

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Software is:

Neutraal

De Green Cloud Broker wordt zeer beperkt of niet toegepast in de praktijk, omdat de inrichting ervan op zichzelf al complex is. Maar vooral omdat het vraagt om verschillende partijen die hierover op basis van duurzaamheidseffecten afspraken maken met verschillende leveranciers van e-infrastructuur.

2.8 BUSINESSPROCESSEN

Kwantificering van dit onderdeel kan worden uitgedrukt in de factoren:

- **Duurzaamheidseffecten**
  - Het duurzaamheidseffect als gevolg van het herinrichten van businessprocessen op basis van de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur bestaat uit de niet direct aan ICT gerelateerde vermindering van CO_2-uitstoot. Dus exclusief de hierboven genoemde effecten uit beleid, housing, infrastructuur, platform en software.
  - Dit is het product van het gebruik van groene energie bij de volledige bedrijfsvoering en het verminderen van energieverbruik. Het eerste punt is al genoemd bij het onderdeel Beleid (Inkoop). Het tweede wordt hieronder uitgewerkt.
- **Energieverbruikreductie**
  - De reductie van energieverbruik als gevolg van het herinrichten van businessprocessen op basis van de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur, is de totale energieverbruikreductie exclusief de hierboven genoemde reductie uit beleid, housing, infrastructuur, platform en software.
  - Dit is bijvoorbeeld het resultaat van in de totale bedrijfsvoering door ICT in de e-infrastructuur mogelijk gemaakte:
    - minder energieverbruik voor gebouwen (klimaatregeling, verlichting, etc.), minder gebouwen;
    - minder brandstofverbruik voor vervoer van mensen (meer thuiswerken, telewerken, online colleges);
    - minder inkoop en afvalproductie van niet-duurzame producten en diensten;
    - meer of snellere ontwikkeling van wetenschappelijke vindingen die leiden tot duurzame producten en diensten (bijvoorbeeld doordat makkelijker kan worden samengewerkt met andere instellingen).

De ordegrootte van de impact van dit onderdeel op de totale energieverbruikreductie is:

$\Delta E^{BusPro} = Middel$

Deze factoren worden vooral bepaald door onderstaande deelonderwerpen.

2.8.1 Digitalisering en Cloud

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Businessprocessen is:

> ***Groot***

Dit is de algemene onderliggende enabler. Het deeleffect is dus groot.

2.8.2 Virtuele Werkplek

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Businessprocessen is:

> ***Middel***

De virtuele werkplek maakt reductie van energieverbruik mogelijk in bijvoorbeeld vervoer van personen en voor gebouwen.

2.8.3 Duurzaam bedrijfsmodel

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Businessprocessen is:

> ***Groot***

Dit is de opstap naar een totaal vernieuwde bedrijfsvoering, waarbij duurzaamheid een dominante rol speelt. Potentieel is dit effect dus heel groot.

2.9 NEVENEFFECTEN

Kwantificering van dit onderdeel kan worden uitgedrukt in de factor:

- Energieverbruiktoename
  - Dit is de onbedoelde toename van het energieverbruik als bijkomend effect bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur.

De ordegrootte van de impact van dit onderdeel op de totale energieverbruikreductie is:

> $\Delta E^{Neven} = Negatief$

Deze factoren worden vooral bepaald door onderstaande deelonderwerpen.

2.9.1 Transmissie

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Neveneffecten is:

> ***Neutraal***

Echte kwantificering van deze toename van energieverbruik is lastig, maar er valt qua ordegrootte wel wat over te zeggen. Ja, er zullen meer switches, bridges, routers en gateways nodig zijn voor het dataverkeer tussen de fysieke locatie(s) van de e-infrastructuur en de fysieke locaties van de instellingen. Maar men mag er redelijkerwijs vanuit gaan dat er minder van deze netwerkapparaten zullen zijn op locatie van de instellingen, waar in de on-premise situatie ook allerlei netwerkverbindingen lagen naar de verschillende on-premise locaties.

Bovendien worden de nieuwe netwerkapparaten in de e-infrastructuur door meerdere instellingen tegelijk gebruikt. Die zullen dus een hogere bezettingsgraad hebben. Per instelling zou het zelfs zo kunnen zijn dat er per saldo minder netwerkapparatuur in gebruik is.

Vergeleken met de schakelapparatuur is het energieverlies in de bekabeling minimaal, zeker bij glasvezel.

Al met al is het niet onwaarschijnlijk dat de extra energie door de extra transmissie in verhouding met andere factoren klein is.

2.9.2 Servicelevels

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Neveneffecten is:

Negatief

De grootte van deze factor kan in principe aanzienlijk zijn, maar hangt helemaal af van wat er in de betreffende SLA is opgenomen. Het gaat hier echter niet om de absolute effecten in vergelijking met wat in theorie mogelijk zou zijn. Het gaat hier om de vergelijking tussen de on-premise en de e-infrastructuur situatie.

Het ligt voor de hand dat instellingen veelal dezelfde serviceniveaus verwachten als die ze in de on-premise situatie al hadden. In dat geval is het effect in theorie nul. Het is raadzaam de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur aan te grijpen om de servicelevels kritisch te beschouwen en na te gaan of al die hoge servicelevels wel echt nodig zijn.

De praktijk is vermoedelijk weerbarstig. Om het gevoel dat men zaken uit handen geeft te compenseren, zouden weleens hogere servicelevels kunnen worden afgesproken met de leverancier van de e-infrastructuur dan wat men in-house ontving. Vermoedelijk zal dit effect dus significant zijn.

2.9.3 Hoge utilization

De ordegrootte van de impact van dit deelonderwerp binnen het onderdeel Neveneffecten is:

Negatief

Het negatieve effect van meer warmteproductie bij hogere bezettingsgraden van apparatuur bestaat. Dit wordt echter gecompenseerd door het feit dat er minder apparatuur in gebruik is. Opgaven door leveranciers van energieverbruik versus bezetting hebben dit effect verdisconteerd en leveren netto een positief effect.

Toch mag de impact van dit effect niet onderschat worden. In het voorbeeld van de Pentium IV 2,8GHz (genoemd in paragraaf Processoren) was het energieverbruik bij piekbelasting zo'n 20% hoger dan bij gemiddelde belasting.

3 AANBEVELINGEN EN TIMING

Zoals gesteld in de inleiding heeft deze verkenning tot doel:

> Identificeren en waar mogelijk onderbouwen of zelfs kwantificeren van de duurzaamheidseffecten van het overbrengen van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur, in het bijzonder in de federatieve (of collaborative) cloud, alsmede het aangeven van zogenaamde quick wins.

Hieronder volgt een lijst van aanbevelingen om bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur een maximaal duurzaamheidseffect te bereiken. Hierbij speelt een belangrijke tweedeling. Duurzaamheid in enge zin, zoals besproken in dit document, is het product van twee volledig los van elkaar staande factoren:

1. *CO2-efficiëntie verbeteren* – De hoeveelheid CO_2-uitstoot die gepaard gaat met het verbruik van een hoeveelheid energie (elektriciteit).
2. *Energieverbruik verminderen* – De hoeveelheid energie (elektriciteit) die verbruikt wordt voor de dagelijkse e-infrastructuur operatie.

Om een maximaal duurzaamheidseffect in enge zin te bereiken, zijn er dus twee soorten separaat te ondernemen acties: de CO_2-efficiëntie verbeteren en het energieverbruik verminderen.

Zoals in dit document gesteld, blijft zelfs bij afname van 100% groene stroom de duurzame noodzaak – tenminste de komende twintig jaar – om ook het feitelijke eigen energieverbruik zoveel mogelijk terug te dringen. Alleen eigen ´schone handen´ is natuurlijk al lovenswaardig, maar in het licht van echte duurzaamheid niet genoeg.

Daarnaast biedt de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur de mogelijkheid tot verregaande herziening van de operationele bedrijfsvoering:

3. *Bedrijfsprocessen verduurzamen* – Duurzaamheidseffecten bereiken in termen van people, planet en profit, door bedrijfsprocessen en het bedrijfsmodel van de instelling aan te passen aan de mogelijkheden die ICT in de e-infrastructuur biedt.

3.1 CHANGE MANAGEMENT

Maar alvorens op de inhoudelijk te nemen maatregelen in te gaan, eerst enkele opmerking overhoe je duurzaamheidseffecten bereikt bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur.

In de praktijk blijkt namelijk dat dit nog niet zo eenvoudig is. Het vraagt bewustwording, een verandering van mindset, prioritering en gedragsverandering: daadwerkelijk tot actie komen en nieuwe gewoonten. Er wordt gemakkelijk lipservice verleend aan duurzaamheid, maar het ook echt doen is vaak nog een tweede. Kortom, het is een echt verandermanagement-probleem.

Geavanceerde verandermanagement-theorieën geven aan dat mensen hun gedrag niet zozeer veranderen op basis van rationele argumenten, maar veel meer op basis van irrationele stimuli, zoals

‘instant gratification’ (voelt goed), ‘peer pressure’ (groepsdruk) en ‘nudges’ (onbewuste triggers, duwtjes) uit de fysieke omgeving.

Hieronder noemen we – ter inspiratie – aan de hand van deze drie soorten stimuli, drie voorbeelden van ingrepen, die nuttig zijn om het veranderproces in gang te zetten.

3.1.1 Persoonlijke beloning

Mensen hebben helemaal geen moeite om hun gedrag te veranderen, zolang ze er direct persoonlijk voordeel van hebben. Dit geldt zeker wanneer het om een in principe goede zaak gaat zoals duurzaamheid. Het ligt dus voor de hand beleidsmaatregelen door te voeren waarbij dit zo is.

Dit kan bijvoorbeeld in de formele vorm van een goede beoordeling, maar ook in de vorm van een publiekelijke schouderklop. Hiervoor zijn heel veel specifieke maatregelen te verzinnen, afhankelijk van wat in de betreffende organisatie het meest resoneert.

3.1.2 Gideonsbende

De mens is evolutionair georiënteerd op een sociale pikorde. Het maakt uit wat mensen doen die in de groep een positie van autoriteit hebben (hetzij in het informele netwerk, hetzij in de formele hiërarchie).

Het loont daarom een kleine groep te mobiliseren van mensen met autoriteit en die het goede voorbeeld te laten zien. Zo’n groep heet ‘een leading coalition’ (naar verandermanagement-expert John Kotter) of in het Nederlands ‘een gideonsbende’.

Selectie van de gideonsbende is een precair klusje. De geselecteerde mensen moeten voldoende autoriteit hebben in de organisatie, maar ook voldoende lef om hun nek uit te steken. Dat is vaak een schaarse combinatie. Dit lukt doorgaans alleen, wanneer de betreffende mensen persoonlijk de overtuiging hebben dat zij zich inzetten voor een goede of zelfs noodzakelijke zaak. De believers geloven er echt in dat de zijzelf, hun organisatie en de wereld er beter van worden.

3.1.3 Duurzaamheidsmonitor

Een relatief eenvoudige manier om zo’n nudge toe te passen is door het duurzaamheidsbeleid kwantitatief en liefst ook kwalitatief zichtbaar te maken. Te visualiseren wat de beoogde en bereikte duurzaamheidseffecten zijn van de voorgenomen en uitgevoerde beleidsmaatregelen. Mensen zijn erg gevoelig voor visuele stimuli.

Dit kan bijvoorbeeld door in de hal van het kantoor een duurzaamheidsmonitor (dashboard) op te nemen. Een groot en duidelijk zichtbaar beeldscherm waarop in real time de geproduceerde CO_2-uitstoot en het actuele energieverbruik tegen een in het duurzaamheidsbeleid beoogde doelwaarde worden afgebeeld.

3.2 CO_2-EFFICIËNTIE VERBETEREN

Stap 1 – Eis maximale CO_2-efficiëntie van de e-infrastructuurleverancier

CO_2-efficiëntie is de CO_2-uitstoot (in kilogram CO_2-equivalent) die nodig is voor de productie van de energie (in kWh) om de operatie draaiende te houden. Nul is het streefgetal; hoe hoger, des te slechter. Negatief hoort in de toekomst tot de mogelijkheden. CO_2-efficiëntie wordt volledig bepaald door de keuze van de gebruikte energiebron (groen of niet groen). Bij leveranciers van e-

infrastructuur is dit een actueel thema. Een redelijk betrouwbare schatting geeft aan dat 80% van de grote multi-tenant datacenters in Nederland in 2015 al voor 100% groene energie afnamen.

Actie: Stap over naar een leverancier van e-infrastructuur die het meeste – en de meest duurzame vorm (zonnecellen, waterkracht, windmolens, biomassa) van – groene energie afneemt. Liefst 100%. Bij kleiner of gelijk energieverbruik in e-infrastructuur in vergelijking met de on-premise situatie, treedt een duurzaamheidseffect op wanneer de CO_2-efficiëntie in de e-infrastructuur beter is dan die in de bestaande on-premise situatie.

Kwantificering: De in de praktijk gebruikelijke maat voor CO_2-efficiëntie is het percentage groene stroom. De benchmark is de genoemde 100%. Belangrijk hierbij is na te vragen hoe groen de afgenomen groene stroom werkelijk is. Er is immers een verschil tussen energie van zonnecellen, waterkracht, windmolens en biomassa.

$$\min(100\% - CEF(in\ \%))$$

Een nauwkeuriger maat is de feitelijke reductie van CO_2-uitstoot (in kilogram CO_2-equivalent). Van leveranciers van e-infrastructuur mag verwacht worden dat zij dit nauwkeurig kunnen aangeven.

$$\min(CEF(in\ kg\ CO_2 - equivalent))$$

Kwantificering van het duurzaamheidseffect door verbetering van CO_2-efficiëntie is dan eenvoudig. Bij overstap van 100% niet-groene naar 100% groene stroom is het effect 100% van de CO_2-uitstoot die de oude on-premise situatie voortbracht. Dit is het maximaal haalbare duurzaamheidseffect.

3.3 ENERGIEVERBRUIK VERMINDEREN

NB. Omdat het niet realistisch is dat alle e-infrastructuur binnenkort op groene stroom draait, heeft het zin te streven naar reductie van energieverbruik. Minder energieverbruik leidt tot minder verbruik van niet-groene stroom (elders) en dus tot een duurzaamheidseffect. Maar het zij gezegd, dat naarmate de totale CO_2-efficiëntie in de maatschappij beter wordt, het duurzaamheidseffect van energieverbruikreductie kleiner wordt.

Het duurzaamheidseffect van onderstaande maatregelen zal dus in de loop der komende jaren mogelijk steeds kleiner worden. Anders gezegd, als je met zijn allen toch 100% groene stroom gebruikt, maakt het puur voor de duurzaamheid in enge zin zoals hier gedefinieerd (energieverbruik) niet meer uit.

Maatregelen die leiden tot energieverbruikreductie zijn in te delen in drie categorieën:

- Maatregelen die leiden tot minimaal energieverbruik voor alles behalve de ICT-apparatuur.
- Maatregelen die leiden tot een hogere bezettingsgraad van de gebruikte ICT-apparatuur (en als gevolg daarvan inzet van minder apparatuur).

- Maatregelen die leiden tot lager energieverbruik van de ICT-apparatuur (dan wel inzet van ICT-apparatuur met lager energieverbruik) bij maximale bezettingsgraad.

De eerste twee van deze drie categorieën vallen of staan bij schaalgrootte. De laatste heeft te maken met de inzet van moderne apparatuur die (doorgaans) een lager energieverbruik heeft dan oudere apparatuur.

Stap 2 – Streef naar maximale schaalgrootte in de e-infrastructuur

Veel van de in dit document genoemde maatregelen, zoals multi-tenancy, virtualisatie, workload balancing en dynamic provisioning hebben een groter effect op energieverbruikreductie wanneer ze toegepast worden op grotere schaal.

In veel organisaties bestaan vooral beleidsmatige en gevoelsmatige obstakels om de overstap te maken van 'eigen' on-premise ICT naar ICT in een e-infrastructuur. Beleidsmatig liggen die vooral op het gebied van privacy, security, afhankelijkheid van derde partijen en specifieke juridische aspecten. Gevoelsmatig gaat het vooral over het omgaan met onzekerheid: het deels uit handen geven van directe sturing en invloed en de nieuwe invulling van arbeid door een deel van het eigen personeel.

Daartegenover staat dat ICT vanuit de e-infrastructuur (cloud) de weg opent naar nieuwe bedrijfsmodellen op basis van een duurzaam 'data-driven' organisatiemodel.

Actie: Er zijn verschillende wegen die leiden tot schaalvergroting. Onderstaande drie mogelijkheden (consolidatie binnen de eigen instelling, overstap naar federatief cloud, overstap naar public cloud), die ook los van elkaar zouden kunnen worden toegepast, liggen voor de hand. De drie mogelijkheden kunnen ook worden toegepast op verschillende onderdelen van de eigen on-premise ICT.

- *Eigen instelling* – Consolidatie van de eigen data- en rekencapaciteit in een grote eigen e-infrastructuur. Mits goed ingericht, brengt het bijeenbrengen van bestaande on-premise ICT vanuit verschillende locaties en organisatieonderdelen al een aanzienlijke schaalvergroting die virtualisatie, workload balancing en dynamic provisioning effectief kan maken. Dit blijft uiteraard op single-tenant schaal.
- *Federatief verband* – Consolidatie van data- en rekencapaciteit in een federatief verband (federatief cloud of federatief datacenter) met meerdere instellingen, levert logischerwijs al een veel grotere schaal op voor maatregelen die leiden tot een hogere bezettingsgraad van de gebruikte ICT-apparatuur (en als gevolg daarvan inzet van minder apparatuur).
- *Public cloud* – Gezien de genoemde obstakels wellicht de lastigste stap, is de overstap naar een nog grootschaliger public cloud, waar vooral commodity-applicaties zoals e-mail een optimale schaalgrootte vinden.

  NB. Bovenstaande opsomming naar schaalgrootte impliceert geenszins, dat public cloud 'beter' zou zijn dan federatief cloud. Dit is niet automatisch een drietrapsraket van on-premise, naar federatief cloud naar public cloud. Het zij hier nadrukkelijk gesteld, dat public cloud niet automatisch een beoogd eindstation is. Er zijn zeer valide en vaak doorslaggevende redenen om federatief cloud te prefereren boven public cloud.

  - Ten eerste is er een minimale grootte van datacenter waarbij schaalvoordelen optimaal bereikt worden. Deze schaalgrootte kan zeker ook met federatief cloud bereikt worden. Het is dus niet automatisch zo dat public cloud duurzamer is dan

federatief cloud – op basis van het schaalgrootte-argument, maar ook op basis van andere argumenten, zoals CO_2-efficiëntie en energieverbruik.
- Ten tweede kan de beoogde schaalgrootte in een federatief samenwerkingsverband ook bereikt worden in een hybrid cloud van een federatief cloud waaraan on-premise ICT binnen de federatief cloudarchitectuur is toegevoegd.
- Ten derde zijn er andere dan duurzaamheidsoverwegingen om federatief cloud te prefereren boven public cloud, zoals dataprotectie en het binnen boord houden van cruciale ICT-vaardigheden.

Kwantificering: Serieuze schaalvoordelen kunnen al beginnen bij een ordegrootte van enkele tientallen servers, mits op juiste wijze geconfigureerd zodat virtualisatie, workload balancing en dynamic provisioning mogelijk zijn. In het algemeen zijn de schaalvoordelen groter bij grotere schaal.

Bij het vergroten van de schaal bestaat een verzadigingseffect: vanaf een bepaalde schaalgrootte neemt het effect van relatieve energieverbruikreductie af. Het is niet eenvoudig aan te wijzen waar dit verzadigingspunt precies ligt, omdat dit per configuratie kan verschillen. Wij geven de volgende ordegrootte van schaal aan als vuistregel.

> NB. Er zijn indicaties dat bij data- en rekencenters van ordegrootte netto 1.000 m^2 (effectief gebruik) of ordegrootte 500 server racks de relatieve schaalvoordelen afvlakken. Dit zou betekenen dat schaalvergroting – vanuit het perspectief van duurzaamheid – van data- en rekencenter tot 1.000 m^2 zinvol is. En dat verdere schaalvergroting vanaf 1.000 m^2 geen extra winst levert in termen van duurzaamheid.
>
> Anders gezegd, voor twee centers van 500 m^2 heeft het zin schaalvergroting te zoeken tot een center van 1.000 m^2. Voor twee centers van elk 1.000 m^2 zou schaalvergroting tot 2.000 m^2 vanuit duurzaamheidsperspectief niet nodig zijn.
>
> *Bovenstaande behoeft nader onderzoek. De schatting van 1.000 m^2 is conservatief. In werkelijkheid zal deze grens vermoedelijk een stuk lager liggen.*

Public of private cloud?

De vraag of private cloud (federatief cloud of collaborative cloud) dan wel public cloud (bijvoorbeeld bij een van de grote commerciële aanbieders) voor wat betreft duurzaamheid de voorkeur heeft, is nu eenvoudig te beantwoorden:

- Ervan uitgaande dat de commerciële leveranciers van public cloud 100% groene stroom afnemen (of dat binnenkort gaan doen), is de eerste eis aan private cloud dat ook daar 100% groene stroom wordt afgenomen.
- Ook als dat zo is en als dezelfde maatregelen worden genomen voor energieverbruikreductie, zou op basis van het argument van pure schaalgrootte public cloud van commerciële aanbieders de voorkeur hebben. Tenzij private cloud een schaalgrootte bereikt waarbij de verschillen in energie-efficiëntie verwaarloosbaar klein worden. Dat wil zeggen, dat de curve voor relatieve energieverbruikreductie tegen de hierboven genoemde verzadiging aanloopt. Dat verzadigingspunt ligt, zoals gezegd, bij een geschatte ordegrootte van netto 1.000 m^2 of 500 server racks.

NB. In de praktijk is duurzaamheid natuurlijk niet het enige argument in de discussie om over te stappen naar public of private cloud. Er is een veelheid aan argumenten in de cloudstrategie, die ICT-

managers en besturen van instellingen afwegen, zoals datawetgeving (safe haven), security en privacy, financiën (afschrijvingstermijnen, off-balance financiering) en werkgelegenheid.

Stap 3 – Ga in zee met de e-infrastructuur met de hoogste energie-efficiëntie

Uitgaande van 100% groene energie en maximale schaalgrootte, is het volgende selectiecriterium om in zee te gaan met de e-infrastructuur met het minste energieverbruik voor de te leveren diensten.

Actie: Vind uit welke van de beoogde leveranciers van e-infrastructuur de hoogste energie-efficiëntie heeft. Dit is het energieverbruik dat nodig is voor het totale afgenomen dienstenpakket in kWh per jaar. Controleer of de overstap van on-premise naar e-infrastructuur inderdaad reductie van energieverbruik oplevert.

Kwantificering: Idealiter zou aan leveranciers gevraagd worden hoeveel kWh energie zij in een jaar verbruiken voor levering van de gevraagde diensten. Een exacte berekening is logischerwijs niet mogelijk. De leverancier zou wel een inschatting kunnen geven op basis van het actuele energieverbruik en de actueel geleverde diensten. Vervolgens kan een schatting gemaakt worden van de beoogde af te nemen diensten.

De verhouding af te nemen diensten versus totale diensten, vermenigvuldigd met het totale energieverbruik, geeft dan een indicatie van de benodigde energie voor de af te nemen diensten. Natuurlijk moet wel worden gecontroleerd of er netto een reductie van energieverbruik plaatsvindt bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in e-infrastructuur:

$$\Delta E = E_{op} - E_{sh} = E_{op} - \left(\frac{\#\ Af\ te\ nemen\ diensten}{\#\ Totaal\ geleverde\ diensten} * E_{tot}\right) > 0$$

Een gedetailleerdere manier om deze beslissing met een ordegrootte schatting te funderen, is door per laag van de cloud stack te kijken welke elementen de grootste bijdrage hebben aan een hoge energie-efficiëntie. Op basis van hetgeen gesteld in dit document, kan nu eenvoudig onderscheid worden gemaakt tussen het afnemen van een HAAS-, IAAS-, PAAS- of SAAS-dienst.

Stap 3a – Bij afname van een HAAS-dienst

Bij de afname van een HAAS-dienst spelen de volgende factoren een belangrijke rol:

- PUE ofwel DCiE, met als belangrijkste onderdelen:
    - bouw, met als belangrijkste onderdelen:
        - omvang
        - locatie
        - constructie
        - inrichting
    - stroomvoorziening
    - klimaatbeheersing en koeling
    - BMS en DCIM

Actie: Vraag de leveranciers van de e-infrastructuur naar de PUE-waarde van hun data- en rekencenter. Vergelijk deze met de (gemiddelde) PUE van de eigen on-premise data- en rekencenters. Is PUE_{sh} kleiner dan de eigen PUE_{op}, dan is er sprake van relatieve energieverbruikreductie.

Kwantificering: De kleinste van de PUEs in de e-infrastructuur moet kleiner zijn dan de eigen on-premise PUE.

$$\min(PUE_{sh}) < PUE_{op}$$

Dit kan nog aangevuld worden met waarden of een kwalificatie voor de genoemde onderdelen.

Stap 3b – Bij afname van een IAAS-dienst

Bij de afname van een IAAS-dienst spelen, naast de hierboven genoemde factoren, ook de volgende factoren een belangrijke rol: multi-tenancy, PSUs, server utilization, processoren, hot en cold data zones, disk utilization, netwerkarchitectuur en netwerkcomponenten.

Actie: Controleer of er netto een reductie van energieverbruik plaatsvindt bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur, op de manier zoals hierboven aangegeven ($\Delta E = E_{op}$ s E_{sh}).

Kwantificering: Dit zal zelden mogelijk of in ieder geval nauwkeurig zijn. Ga dan over op plan B. Probeer van elk van de hierboven genoemde onderdelen een schatting te krijgen:

- *Multi-tenancy* – Door hoeveel afnemers wordt het data- en rekencenter gedeeld?
- *PSUs* – Worden energiezuinige PSUs gebruikt?
- *Server utilization* – Hoe hoog is de gemiddelde server utilization?
- *Processoren* – Worden energiezuinige processoren gebruikt?
- *Hot en cold data zones* – Wordt gebruik gemaakt van hot en cold zones voor dataopslag?
- *Disk utilization* – Hoe hoog is de gemiddelde disk utilization?
- *Netwerkarchitectuur* – Is de netwerkarchitectuur geoptimaliseerd om het energieverbruik te minimaliseren?
- *Netwerkcomponenten* – Worden energiezuinige netwerkcomponenten gebruikt?

Stap 3c – Bij afname van een PAAS-dienst

Bij de afname van een PAAS-dienst spelen, naast de hierboven genoemde factoren, ook de volgende factoren een belangrijke rol: virtualisatie en load balancing.

Actie: Ga na in welke mate de leverancier van e-infrastructuur virtualisatie en load balancing toepast.

Kwantificering: De meest praktische maat hiervoor zijn uiteindelijk de gemiddelde server utilization en disk utilization. Sommige leveranciers zijn in staat om waarden te geven voor:

- *virtualisatie-efficiëntie* – VM Density

- *load balancing-efficiëntie* – peak-to-average ratio

Het is uiteraard een positieve indicatie van het duurzaamheidsbewustzijn, wanneer een leverancier hier gegevens voor paraat heeft.

Stap 3d – Bij afname van een SAAS-dienst

Bij de afname van een SAAS-dienst spelen, naast de hierboven genoemde factoren, ook de volgende factoren een belangrijke rol: dynamic provisioning, code-optimalisatie, applicatie-virtualisatie en -sharing.

Actie: Ga bij de leverancier van e-infrastructuur na of de als dienst beschikbaar gestelde software ontworpen is met dynamic provisioning, virtualisatie en sharing in het achterhoofd en of dat ook daadwerkelijk wordt toegepast.

Kwantificering: Echt numeriek uitdrukken van deze factoren is lastig. Wel kan een kwalitatieve indruk gekregen worden met de volgende vragen.

- *Dynamic provisioning* – Kan de e-infrastructuur eenvoudig de gevraagde functionaliteit opschalen? Gaat dat ten koste van de utilization in het data- en rekencenter?
- *Code-optimalisatie* – Kan de software draaien op virtuele machines en is de software daarop geoptimaliseerd? Is dat ingebouwd in de kern van de softwarecode?
- *Applicatievirtualisatie en -sharing* – Wordt de software ook daadwerkelijk op virtuele machines gedraaid en gedeeld met meerdere tenants – uiteraard met behoud van security en privacy?

3.4 BEDRIJFSPROCESSEN VERDUURZAMEN

Wanneer (de) ICT van een instelling in de e-infrastructuur is overgebracht, brengt dit een aantal mogelijkheden die er in de on-premise situatie niet waren.

Naast de wat meer financieel-technische argumenten zoals de verschuiving van *opex* naar *capex* en het vrijmaken van werkkapitaal door off-balance financiering (ICT wordt als maandelijks betaalde dienst afgenomen in plaats van dat investeringen nodig zijn voor de aanschaf van ICT-producten die kunnen worden afgeschreven), ontstaan ook mogelijkheden in de bedrijfsvoering en het bedrijfsmodel die er voorheen niet of heel moeizaam waren.

Dit is in essentie allemaal terug te brengen op de transparante toegankelijkheid van data en processen binnen de eigen organisatie (‘any time, any place, any device’) en gedeeld met andere organisaties (mits die ook hun ICT in toegankelijke e-infrastructuur hebben).

We beperken ons hier tot duurzaamheid in enge zin (het planet-aspect: reductie van energieverbruik). Dit gaat dus niet over profit-aspecten (zoals hierboven enkele genoemd) en people-aspecten (werkgelegenheid, gezondheid, et cetera).

Stap 4 – Richt je eigen bedrijfsprocessen duurzaam in

Transparante toegankelijkheid van data kent verschillende soorten betrokkenen:

- onderwijs-‘klanten’ van instellingen (studenten)
- onderzoek-‘klanten’ van instellingen (instellingen, bedrijven, burgers)
- collega-professionals van andere instellingen
- eigen medewerkers onderling

Voor elk van deze vier groepen kunnen met ‘any time, any place, any device’ de bedrijfsprocessen op basis van ICT in e-infrastructuur worden aangepast om duurzaamheidseffecten (in enge zin) te bereiken. De duurzaamheidseffecten hier hebben vooral betrekking op het terugbrengen van reisbewegingen en kosten voor gebouwenbeheer.

Onderwijs-‘klanten’ van instellingen (studenten)

Door (meer) onderwijs online aan te bieden kunnen studenten zelf bepalen wanneer, waar, met wie en via welk medium ze het onderwijs willen volgen. Hierdoor is minder gebouwruimte en -beheer nodig en hoeft er minder gereisd te worden door studenten.

Onderzoek-‘klanten’ van instellingen (instellingen, bedrijven, burgers)

Door onderzoeksgegevens en onderzoeksopstellingen (waar mogelijk en gewenst) transparant toegankelijk te maken, kan samenwerking op grote schaal mogelijk gemaakt worden zonder extra belasting van het milieu.

Collega-professionals van andere instellingen

Met een virtuele werkplek kunnen collega-professionals van verschillende instellingen altijd, overal en via elk medium samenwerken.

Eigen medewerkers onderling

Met een virtuele werkplek kunnen ook collega’s van dezelfde instelling altijd, overal en via elk medium samenwerken.

Actie: Geef studenten, onderzoekers, collega-professionals en collega’s een virtuele werkplek op basis van ICT in e-infrastructuur waarmee men ‘any time, any place, any device’ kan werken.

Kwantificering: Het is niet eenvoudig hier een kwantitatief duurzaamheidseffect of zelfs maar energieverbruiksreductie aan te hangen. Het effect zal traag op gang komen, maar opent uiteindelijk mogelijkheden waar nu nog weinig zicht op is.

3.5 ACTIEPLAN

Bovenstaande aanbevelingen vertalen zich in een eenvoudig actieplan, gesplitst in een aantal uit te voeren acties voor de korte termijn en voor de langere termijn.

3.5.1 Korte termijn

Er zijn drie activiteiten die elke instelling direct kan opstarten. Deze acties kunnen in een tijdsbestek van enkele maanden gerealiseerd worden.

1. *Beleidsplan* – In het beleid van de instelling en in het ICT-beleidsplan (de cloudstrategie) duurzaamheidscriteria en gedragsrichtlijnen opnemen als (extra) motivatie en sturing om de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur te maken.

2. *Ordegrootte* – Een ordegrootte inschatting maken van de mogelijke duurzaamheidseffecten en energieverbruikreductie als gevolg van de overstap van on-premise ICT naar ICT in e-infrastructuur (met deze verkenning als startpunt).
3. *Inkoopcriterium* – Duurzaamheidseffecten en energieverbruikreductie toevoegen aan de lijst van inkoopcriteria voor de overstap van on-premise ICT naar ICT in e-infrastructuur.

3.5.2 Lange termijn

Die drie activiteiten zijn dan de inleiding op de volgende drie stappen. Voor de uitvoering van deze stappen zal in de praktijk al snel drie jaar nodig zijn, wellicht zelfs meer:

1. *Gedragsverandering* – Het gedrag van medewerkers met betrekking tot duurzaamheid en energieverbruikreductie (ter motivatie voor en bijkomend aan de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur) beïnvloeden, door te sturen op naleven van richtlijnen en voorbeeldgedrag te vertonen.
2. *Overstap e-infrastructuur* – De beoogde duurzaamheidseffecten en energieverbruikreductie realiseren door feitelijk over te stappen van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur.
3. *Bedrijfsprocessen* – Op basis van de ICT in e-infrastructuur de eigen bedrijfsvoering en bedrijfsprocessen zodanig aanpassen, dat maximale duurzaamheidseffecten en energieverbruikreductie ontstaan.

3.6 QUICK WINS

De overstap van on-premise ICT naar ICT in e-infrastructuur als geheel is een enorm groot en langdurig project. Toch zijn er – naast de hierboven genoemde acties voor de korte termijn, zoals aanpassingen in het beleid – een aantal activiteiten die gemakkelijk en snel uitgevoerd kunnen worden. Deze vallen uiteen in twee groepen:

- verduurzamen van de eigen on-premise ICT en de eigen bedrijfsprocessen;
- kleine onderdelen van de eigen on-premise ICT alvast overbrengen naar e-infrastructuur.

Verduurzamen van de eigen on-premise ICT en processen

Hieronder valt een veelheid aan acties. Te denken van aan:

- Overstappen op inkoop van groene stroom voor de eigen on-premise ICT.
    - Let op het percentage groene stroom.
    - Let op de gebruikte soort groene stroom (bijvoorbeeld zonnecellen, waterkracht, windmolens, biomassa).
- In delen verlagen van het on-premise energieverbruik, bijvoorbeeld:
    - Servicelevels aanpassen ten gunste van duurzaamheid, denk aan koelingseisen.
    - Medewerkers aansporen op duurzaam gedrag, bijvoorbeeld op het gebied van elektriciteit en dataopslag.
    - Eigen gebouwen aanpassen op duurzaamheid, bijvoorbeeld door beter te isoleren.
    - Indien niet aanwezig, een Building Management System (BMS) in gebruik nemen.
    - Oude Power Supply Units (PSUs) vervangen door energiezuinigere.
    - De server utilization verhogen door zombie-servers weg te halen.
    - Server utilization verhogen door laag bezette servers te consolideren.
    - Bij aankoop van nieuwe apparatuur expliciet sturen op energiezuinige componenten.

- Datagebruik in kaart brengen en op grond daarvan hot en cold data zones vormgeven.
- Laag bezette dataopslag opsporen en consolideren.
- Verouderde netwerkcomponenten vervangen door energiezuinige.
- Indien niet aanwezig, een Infrastructuur Management Systeem (IMS) gaan gebruiken.
- Op bestaande systemen en applicaties die dat toestaan virtualisatie toepassen.
- Met behulp van virtualisatie capaciteit creëren om piekbelasting op te kunnen vangen zonder inzet van extra apparatuur.
- Developers aanleren om duurzaamheid mee te nemen als ontwerpcriterium bij het ontwerpen van applicaties en infrastructuur.
- Virtuele werkplekken inrichten en het gebruik daarvan stimuleren.

Kleine onderdelen alvast overbrengen naar de e-infrastructuur

Ook hieronder vallen diverse activiteiten. Te denken valt aan:

- In federatief verband delen van infrastructuur, platform of software met andere instellingen.
- Infrastructuur, platform of software delen met regionale organisaties in de buurt.
- Commoditysoftware, zoals MS Office, afnemen van bestaande cloudleveranciers.
- Cloudbased kantoor- en andere werkoplossingen afnemen, bijvoorbeeld videoconferenties.
- Dataopslag en rekencapaciteit afnemen van leveranciers van bestaande e-infrastructuur.

BIJLAGE A – USE CASES

Over de hele wereld wordt gewerkt aan duurzame oplossingen voor data- en rekencenters. Toch is het niet eenvoudig om harde cijfers op tafel te krijgen over CO_2-efficiëntie en energieverbruikreductie. Dit is begrijpelijk, omdat het precies kwantificeren ervan nog niet zo eenvoudig is, zoals in dit document is gebleken.

Hieronder geven we een aantal representatieve voorbeelden van public cloud en federatief cloud.

- *CO2-efficiëntie* – Vooral in public cloud wordt veel (80 tot 100%) groene stroom gebruikt; bij federatief cloud is dit in mindere mate een onderwerp van publicatie. Zo wil bijvoorbeeld Google – als een van de RE100 bedrijven – in 2017 wereldwijd voor 100% groene stroom afnemen.
- *Energieverbruikreductie* – In alle gevallen is de bereikte reductie aan energieverbruik indrukwekkend. Bij federatief cloudoplossingen is dit in de orde van 50% en bij public cloudoplossingen ligt dit nog hoger.

GOOGLE, FACEBOOK, MICROSOFT, AMAZON

De grote internetbedrijven zoals Google, Facebook, Amazon en Microsoft zijn de bedrijven die de grootste datacenters ter wereld beheren. Deze public cloud datacenters zijn allemaal multi-tenant. Bovendien zijn de energiekosten voor deze bedrijven aanzienlijk. Er is dus zowel aanleiding als mogelijkheid voor deze bedrijven om het energieverbruik voor deze datacenters te minimaliseren. En dat doen ze ook. Alle in dit document genoemde maatregelen worden in meer of mindere mate in deze datacenters toegepast.

Omdat duurzaamheid een belangrijk aspect is in het publieke imago van bovenstaande commerciële bedrijven, zijn er veel eigen publicaties te vinden waarin enorme duurzaamheidseffecten worden geclaimd. Het is echter in het vooronderzoek voor dit document niet gelukt hier heel concrete berekeningen over terug te vinden. We volstaan daarom met een voorbeeld van een citaat uit een onderzoek van Accenture en WSP over cloudoplossingen van Microsoft voor e-mail, CRM en Groupware:

Is the cloud a greener computing alternative?
Both cloud computing and sustainability are emerging as transformative trends in business and society. Most consumers (whether they are aware of it or not) are already heavy users of cloud-enabled services, including email, social media, online gaming, and many mobile applications. The business community has begun to embrace cloud computing as a viable option to reduce costs and to improve IT and business agility.

At the same time, sustainability continues to gain importance as a performance indicator for organizations and their IT departments. Corporate sustainability officers, regulators and other stakeholders have become increasingly focused on IT's carbon footprint, and organizations are likewise placing more emphasis on developing long-term strategies to reduce their carbon footprint through more sustainable operations and products.

Cloud service providers are making significant investments in data center infrastructure to provide not only raw computing power but also Software-as-a-Service (SaaS) business applications for their

customers. New data centers are being built at ever-larger scales and with increased server density, resulting in greater energy consumption. The Smart 2020 report '*Enabling the Low Carbon Economy In the Information Age'* estimates that the environmental footprint from data centers will more than triple between 2002 and 2020, making them the fastest-growing contributor to the Information and Communication Technology (ICT) sector's carbon footprint. It stands to reason that consolidating corporate IT environments into largescale shared infrastructure operated by specialized cloud providers would reduce the overall environmental impact and unlock new efficiencies. But does this assumption pass the test of a quantitative assessment on a per-user basis?

Considerable research has been dedicated to understanding the environmental impact of data centers and to improving their efficiency. However, the aggregate sustainability impact of choosing a cloud-based application over an on-premise deployment for the same application has not been rigorously analyzed. For example, how might a CRM solution for 1,000 sales agents reduce the overall environmental footprint when it is run in the cloud versus on a company's own servers? Is there a net benefit of moving to the cloud, or are we simply "outsourcing" the environmental impact to a service provider? This Microsoft-sponsored study is targeted at answering these kinds of questions.

Note: While this research focuses on direct carbon reduction benefits of the cloud, it is also important to mention potential indirect benefits of cloud computing beyond the scope of this study. Like broadband and other technologies provided by the ICT sector, cloud computing is emerging as a viable, scalable technology that can help significantly reduce carbon emissions by enabling new solutions for smart grids, smart buildings, optimized logistics and dematerialization.

The *Smart 2020* report estimates the potential impact of ICT-enabled solutions to be as much as 15 percent of total global carbon emissions (or 7.8 billion tons of CO_2 equivalents per year). Broad adoption of cloud computing can stimulate innovation and accelerate the deployment of these enabled solutions. Consequently, cloud computing may have a major impact on global carbon emissions through indirect benefits in addition to the direct savings from replacement of on-premise infrastructure which are analyzed here.

Findings
The results of the analysis for Microsoft clearly show significant decreases in CO2 emissions per user across the board for cloud based versus on-premise delivery of the three applications studied.

The analysis suggests that, on average across the different applications, typical carbon emission reductions by deployment size are:

- **More than 90 percent for small deployments of about 100 users**
- **60 to 90 percent for medium-sized deployments of about 1,000 users**
- **30 to 60 percent for large deployments of about 10,000 users**

As the data shows, the per-user energy use and carbon footprint is heavily dependent on the size of the deployment. The cloud advantage is particularly compelling for small deployments, because a dedicated infrastructure for small user counts—as in a small business running its own servers—typically operates at a very low utilization level and may be idle for a large part of the day. However, even large companies serving thousands of users can derive efficiencies from the cloud beyond those typically found in on-premise IT operations.

Note that, because Microsoft applications and data centers were the basis of the study, the specific carbon reductions from running other applications from other software providers on a cloud model may vary. However, the trends shown here are instructive and may be used as directional indicators

for decision makers in corporate IT and sustainability leadership positions when considering a switch to cloud computing with any provider.

RIJKSCLOUD

NB. Onderstaande tekst over RijksCloud is eerder gepubliceerd in het SURF-magazine.

In het federatief cloud-project RijksCloud gaat het aantal overheidsdatacenters de komende jaren terug van 64 naar 4 [nl. in Den Haag, Amsterdam, Apeldoorn en Groningen]. Dat was een besluit op ministerieel niveau, met kostenbesparing als belangrijkste drijfveer. Door de ICT-infrastructuur van ministeries en rijksdiensten samen te voegen en duurzaam te maken, is de overheid op weg naar een **energiebesparing van bijna 50 procent**.

Dennis Kerssens, programmamanager van RijksCloud: “Door een bijna verdubbelde bezettingsgraad en codeoptimalisatie gaat het aantal hectares met overheids-datacenters terug van 1,9 naar 0,3. Dus **van 19.000 m^2 naar 3.000 m^2**. Het stroomverbruik neemt af **van 235 naar 128 GWh**, door onder meer thermische koeling en hergebruik van warmte. Deze besparing is gelijk aan het energiegebruik van 32.000 huishoudens. Na de laatste migratie zal de **totale energiebesparing 45,4%** zijn.”

“Tot de realisatie van de consolidatie in 2020 sluit er elk jaar een groot aantal datacenters”, vervolgt Kerssens. “Ondertussen vervangen we de hardware door **steeds modernere apparatuur**, waardoor de ruimte- en energiebesparing beter uitpakt dan berekend in de initiële business-case. Daar staat tegenover dat door de toenemende groei van ICT-toepassingen binnen het Rijk wel **meer applicaties** moeten worden geëxploiteerd. De energiewaarden verschillen per overheids-datacenter. Sommige zitten nu al ruim onder de gewenste **1.25 Power Usage Effectiveness (PUE)** waarde. Hoeveel stroom we vandaag de dag besparen ten opzichte van de oorspronkelijke situatie in 2011 is nog niet inzichtelijk. In het najaar is daar meer duidelijkheid over.”

SURFDRIVE

NB. Onderstaande tekst door Diederik de Graaf over SURFdrive is eerder gepubliceerd als blog op surf.nl.

SURFdrive is een federatief cloud-oplossing voor dataopslag voor instellingen in hoger onderwijs en onderzoek.

Instellingen die hun gegevens opslaan in de cloud in plaats van op een eigen server, besparen veel energie. Een rekenvoorbeeld met SURFdrive laat zien dat de aangesloten instellingen in potentie gezamenlijk **60 kW kunnen besparen**. Met andere woorden: een geconsolideerde clouddienst is **13 keer energie-efficiënter** dan hosten op eigen servers.

Het energieverbruik in de ICT-sector blijft ieder jaar stijgen. Grote aantallen servers staan bij zowel grote als kleine bedrijven 365 dagen per jaar, 24 uur per dag te draaien. Wel wordt ICT-apparatuur steeds energiezuiniger. Daarnaast wordt het gebruik ook efficiënter. Een bekende techniek voor efficiënter gebruik van middelen is consolidatie, het bij elkaar zetten van verspreide IT-middelen. De meest gebruikte methode voor consolidatie is servervirtualisatie. Met één fysieke server kan je meerdere kleinere servers virtualiseren, om zo de resources van de server efficiënter te benutten.

Op de website van het Global e-Sustainability Initiative zie je hoe groot de energiebesparing zou zijn als verschillende landen zouden overstappen van hun eigen servers naar een geconsolideerde cloud-omgeving. Helaas zit Nederland hier niet bij. Volgens een rapport van Capgemini uit 2014 loopt Nederland wel voorop als het gaat om de cloud, met een adoptie van 28%. Ter vergelijking: het Europese gemiddelde is 19%. Uiteraard zullen deze cijfers nu wel iets hoger zijn, maar het adoptiepercentage is nog steeds verrassend laag.

13 keer zuiniger
Hoe meer servers je bij elkaar zet, hoe efficiënter je kan omgaan met je middelen. Het verschil in energieverbruik tussen een server die inactief (idle) is en een server die volledig wordt benut, is relatief klein. Want de disks blijven draaien, of ze nu gebruikt worden of niet. Je bent er dus bij gebaat om een server zo efficiënt mogelijk in te zetten.

SURFdrive is de cloudstoragedienst van SURF voor de onderwijs- en wetenschapssector. Tijdens mijn onderzoeksperiode (tot de zomer van 2016) gebruikten 54 instellingen de dienst voor hun werknemers. Wat zou het verschil zijn in energieverbruik, als al deze instellingen hun storage lokaal zouden hosten? Een kleine rekensom laat zien dat gebruik maken van cloudopslag op een centrale plek 13 keer zuiniger is dan als deze instellingen de opslag in eigen huis hadden gehouden!* Verderop zullen we deze rekensom uitgebreid behandelen.

Power Usage Effectiveness (PUE)
Zelfs die 13 keer is nog een bescheiden inschatting van de algehele energiezuinigheid. Neem bijvoorbeeld de *PUE*. Dat is een getal dat de verhouding tussen het totale stroomverbruik van een datacenter en het stroomverbruik van de ICT-apparatuur weergeeft. Het nieuwe datacenter van SURFsara heeft een zuinige PUE van 1,22. De gemiddelde gerapporteerde PUE voor datacenters in Nederland is 1,31, blijkt uit een rapport van de Dutch Datacenter Association uit 2015. Maar de ervaring leert dat hoe kleiner het datacenter is, hoe hoger de PUE zal zijn. Omdat je bij het beheren van een gebouw altijd kosten hebt voor koeling, verlichting et cetera, is een klein datacenter minder energie-efficiënt. Een simpele serverruimte van een onderwijsinstelling zal gemiddeld genomen een veel hogere PUE hebben.

Nederland loopt ook hier voorop, gezien het internationale gemiddelde van 1,8. Dit is wel een theoretische PUE. De daadwerkelijke PUE kan (bijvoorbeeld door temperatuurwisselingen) heel anders uitvallen, zowel hoger als lager. Uit de praktijk blijkt dat de daadwerkelijke PUE vaak hoger is dan de PUE uit het ontwerp. Zelfs een klein verschil in PUE kan een groot verschil maken in hoeveel energiezuiniger een geconsolideerde omgeving is. Dit zal blijken uit de rekensom hieronder.

Power management
ICT-apparatuur wordt dus steeds zuiniger. Dit impliceert dat een kortere aanschafperiode, waarbij een nieuwe generatie ICT-apparatuur in gebruik wordt genomen, ook bijdraagt aan de vermindering van het energieverbruik. De verschillende leveranciers van servers leveren met iedere nieuwe generatie ook nieuwe mogelijkheden om beter zicht en betere controle te hebben op de manier waarop stroom wordt verbruikt. Een van deze mogelijkheden is power management, dat bij SURFdrive ook wordt ingezet.

Power management is een verzameling technieken die het mogelijk maken om energie te besparen op servers. De processor verbruikt een groot deel van de energie. Door middel van Dynamic Frequency Scaling is het met power management mogelijk om de kloksnelheid van de CPU lager te zetten als deze niet volledig benut wordt. Deze techniek heeft bij SURFdrive een besparing van 20% opgeleverd.

Uitgerekend
We gaan uit van redundantie van data bij de instelling in dit rekenvoorbeeld. Dit houdt in dat alle data is opgeslagen op twee verschillende fysieke servers. Dus als een server het begeeft, is er altijd een back-up. Dit is gebruikelijk, maar hoeft niet altijd het geval te zijn. Als er geen sprake is van redundantie, zijn er ook minder servers nodig. We gaan ervan uit dat de aangesloten instelling een eigen *sync-and-share* oplossing heeft met een vergelijkbare redundantie als SURFdrive. Deze redundantie geldt niet alleen voor de storage, maar ook voor de proxy-servers, webservers en database servers.

Dan nu de rekensom. Zoals gezegd maken 54 instellingen gebruik van SURFdrive. 47 van deze instellingen hebben minder dan 1000 gebruikers. Laten we aannemen dat elke instelling een redundante setup van 4 servers gebruikt voor local storage. We gaan ervan uit dat deze servers volledig gebruikt worden voor storage, en er geen vorm van consolidatie wordt toegepast**. Een gemiddelde storage server verbruikt ongeveer 270W. Dat resulteert in:

(4 servers x 47 instellingen) x W = 50.760W

Dan zijn er nog 7 instellingen die meer dan 1000 gebruikers hebben. Deze instellingen gebruiken meer servers voor local storage, en zetten aparte servers in zoals databaseservers en proxyservers. De tweede proxyserver dient als failover server, en verbruikt minder stroom. Dit zou er als volgt uit kunnen zien:

((4 storage x 270W) + (3 database x 200W) + (1 proxy x 200W) + (1 failover x 160W)) x 7 instellingen = 14.280W

In totaal komen we uit op een verbruik van:

50.760W + 14.280 = 65.040W

Bij de huidige SURFdrive omgeving, die 54 instellingen ondersteunt, ziet het er momenteel als volgt uit:

(5 storage x 370W + 4 storage x 270W) + (4 database x 200W) + (6web x 152W = 912W) + (1 proxy x 200W + 1 proxy x 160W) = 5.002W

Ten slotte verhouden we de twee getallen aan elkaar die het totale stroomverbruik meten van SURFdrive en het geval waar alle instellingen local storage gebruiken:

65.040/5.002 = 13,003

Oftewel: je kan stellen dat gebruik maken van SURFdrive in tegenstelling tot local storage 13 keer energie-efficiënter is.

Maar we zouden nog een stap verder kunnen gaan. Eerder hadden we het over PUE. Laten we uitgaan van een gemiddelde PUE van 1,5 voor andere datacenters en serverruimtes. Als we deze getallen vermenigvuldigen met het stroomverbruik, krijgen we:

65.040 x 1,5 = 95.560

5.002 x 1,14 = 5702

95.560/5702 = 16,76

Door het al grote verschil tussen cloud storage en local storage, wordt het verschil alleen nog maar groter.

Groene energie
Tot slot: groene en grijze energie. Groene (ook wel duurzame) energie wordt opgewekt uit duurzame energiebronnen en heeft minder impact op het milieu. Hierdoor heeft groene stroom weinig tot geen CO_2-footprint. Volgens het rapport van de Dutch Data Center Association is gemiddeld 79% van de energie die wordt gebruikt in datacenters groene stroom. De overige 21% komt van fossiele brandstoffen, de zogenaamde grijze energie. SURFdrive wordt gehost op 100% groene energie.

**Deze case gaat over de besparing die behaald zou kunnen worden op basis van de capaciteit die SURFdrive biedt aan de instellingen. Voor dit artikel is niet onderzocht of deze instellingen ook daadwerkelijk geen servers meer in eigen beheer hebben.*

***In deze rekensom zijn servers voor managementdoeleinden weggegelaten. Als managementservers wel zouden worden meegenomen, zou het nog gunstiger uitpakken voor SURFdrive.*

KUBUS
Het project KUBUS is een federatief cloud-samenwerkingsverband van SURF en zes hbo-instellingen en heeft tot doel het ontwikkelen van een geïntegreerd aanbod van IaaS-diensten (Infrastructuur-as-a-Service). Uitgangspunt van SURF is dat op de geboden IaaS-infrastructuur in een volgende fase ook Platform-as-a-Service (PaaS) en Software-as-a-Service (SaaS) wordt aangeboden.

Hoewel deze propositie primair is bestemd voor de KUBUS-deelnemers wordt voorgesteld deze ook voor te leggen aan alle andere SURF-leden. Daarmee hoopt SURF voldoende basis te creëren voor de noodzakelijke investeringen en een zo groot mogelijk volume in de markt te kunnen plaatsen.

KUBUS levert bij een eerste voorzichtige inschatting een mogelijke **energiebesparing van 44%** op.

In het document ‘Propositie SURF KUBUS-project’ is een expliciete paragraaf over duurzaamheid opgenomen:
Zowel SURF als haar leden vinden het wenselijk dat duurzaamheid een integraal onderdeel vormt van de bedrijfsvoering en het zoveel mogelijk wordt bevorderd. Het merendeel van de hoger onderwijsinstellingen heeft bijvoorbeeld een MJA3-overeenkomst (Meerjarenafspraken Energie-efficiency) met de overheid, gericht op het verlagen van het energieverbruik. In de ‘Hoger Onderwijs Referentie Architectuur (HORA)’1 staat: “Er wordt bij de herinrichting van rekencentra onderzocht in hoeverre uitbesteding of gemeenschappelijke rekencentra helpen bij het realiseren van een grotere mate van duurzaamheid in het algemeen en energie-efficiëntie in het bijzonder.”

SURF spant zich in om zo goed mogelijk invulling te geven aan de aspecten die op dit gebied van belang zijn. In de volgende fasen van het KUBUS-project worden kaders gesteld voor energieverbruik in datacenters en wordt bepaald hoe deze in het inkoopproces worden gehanteerd. SURF zal de duurzaamheidsaspecten tevens meenemen in de aanbesteding. Externe leveranciers wordt gevraagd aan te geven in hoeverre zij voldoen aan generieke normen. Naast de reeds in het Programma van Eisen genoemde normen zijn dat ook:

- ISO 50.001 inzake energiemanagement;
- ISO 14.001 inzake milieumanagement;
- ISO 9.001 inzake kwaliteitsmanagement;
- ISO 26.000 of de MVO-prestatieladder inzake Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen;

- De CO2-prestatieladder van de stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden & Ondernemen (SKAO);
- de 'European Code of Conduct for Energy Efficiency in Data Centre'.

Wat betreft specifieke ICT-gerelateerde duurzaamheidsaspecten wordt met betrekking tot het energieverbruik aan leveranciers het volgende gevraagd:

- De leverancier dient aan te geven in hoeverre gebruik wordt gemaakt van groene stroom en wat de CO2-footprint van de gebruikte stroom is – inclusief de Garantie van Oorsprong (GVO).
- De leverancier dient aan te geven wat de Power Usage Effectiveness (PUE) is van het datacenter waar de dienst wordt ondergebracht en, indien deze waarde hoger is dan 1,3, aan te geven of en zo ja welke inspanningen worden gepleegd om deze waarde binnen afzienbare termijn te behalen.
- De leverancier dient zowel het totale energieverbruik voor de dienst te rapporteren als de analyse van het verbruik tot het niveau van de afname-eenheid. In het geval van het KUBUS-project is dat te vatten onder de benoeming van het vermogen in Watt (P) per VM: P/VM.

In de al uitgevoerde nulmeting bij de KUBUS-deelnemers is een minimumwaarde van 61 Watt/VM geconstateerd. Gelet op de uitgangspunten geformuleerd in de HORA is deze waarde de bovengrens voor de leverancier. Daarnaast dient de leverancier aan te geven welke jaarlijkse verbetering van deze P/VM-norm hij zal realiseren, indachtig de empirische wet van Koomey die aangeeft dat de jaarlijkse autonome verbetering van de energie-efficiency van serverapparatuur ongeveer 60% is.

SURF HPC-DATACENTER

Het SURF HPC-datacenter is het nationale high performance computing datacenter voor hoger onderwijs en onderzoek. In 2016 is in partnership tussen SURFsara en TelecityGroup een gloednieuw gebouw geopend op het Amsterdam Science Park. Op twee etages in het gebouw is 800 m^2 vloeroppervlak beschikbaar datacenter faciliteiten.

Een paar feiten over duurzaamheid van het SURF HPC-datacenter:

- Het is een 'datacenter in een datacenter' voor smart sharing van het HPC-datacenter en commerciële toepassingen en heeft een hoge energiedichtheid van 4 à 5 kW per server rack.
- Het HPC-datacenter heeft een **lage PUE van 1,2**. Hierdoor is het duurzaam en levert het een lage kostenbasis: de verlaging van PUE = 1,5 naar PUE = 1,2 levert zo'n 300 kW per jaar besparing, ofwel 250.000 euro per jaar.
- Het HPC-datacenter huist de nationale supercomputer Cartesius (met 40.960 kernen):
    - Dit is een gedeelde resource voor de Nederlandse wetenschappelijke gemeenschap met een hoge bezettingsgraad door on demand groei.
    - De geschatte gemiddelde groei in bezettingsgraad is 15%. Dit staat gelijk aan 50 kW per jaar ofwel 44.000 euro per jaar.
    - Cartesuis maakt gebruik van **warmwaterkoeling**: 30˚C in, 45˚C uit. Dit betekent dat er het grootste deel van het jaar gratis koeling is. Dit betekent een geschat PUE-voordeel van 0,1 (uitgaand van een PUE van 1,2). Dit betekent een besparing van 85 kW per jaar ofwel 75.000 euro per jaar.
    - Heel interessant is de volgende geplande optimalisatie: **workload balancing op basis van energieverbruik** (in ontwikkeling).

NB. Op basis van ervaringen binnen de SURF-gemeenschap is een ordegrootte schatting gedaan van de potentiële energiebesparing die mogelijk is bij toepassing van federatief IAAS voor hoger onderwijs en onderzoek:

- Uitgaand van een gemiddeld energieverbruik van 30-60W per Virtual Machine (VM), en wetende dat er ordegrootte 10.000 VMs zijn, geeft dit een mogelijke **besparing van 300 tot 600 kW**.
- Per 10% optimalisatie van de bezettingsgraad, betekent dit dus **30 tot 60 kW per jaar** voor 10.000 VMs. Dit is een besparing van zo'n 50.000 euro.

BIJLAGE B - DUURZAAMHEIDSEFFECTEN

In deze Bijlage wordt op een rijtje gezet welke bronnen van duurzaamheid er zijn bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur. Hierbij wordt het SURF Groene ICT Maturity Model als uitgangspunt genomen. De resultaten van deze inventarisatie worden gebruikt als uitgangspunt voor dit rapport.

ORDEGROOTTE VAN DUURZAAMHEIDSEFFECTEN

Uit bronnenstudie over duurzaamheidseffecten bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur is een duidelijke rode draad te halen. De grote meerderheid van studies en inschattingen geeft aan dat deze duurzaamheidseffecten groot zijn.

BEPALENDE FACTOREN VOOR DUURZAAMHEID

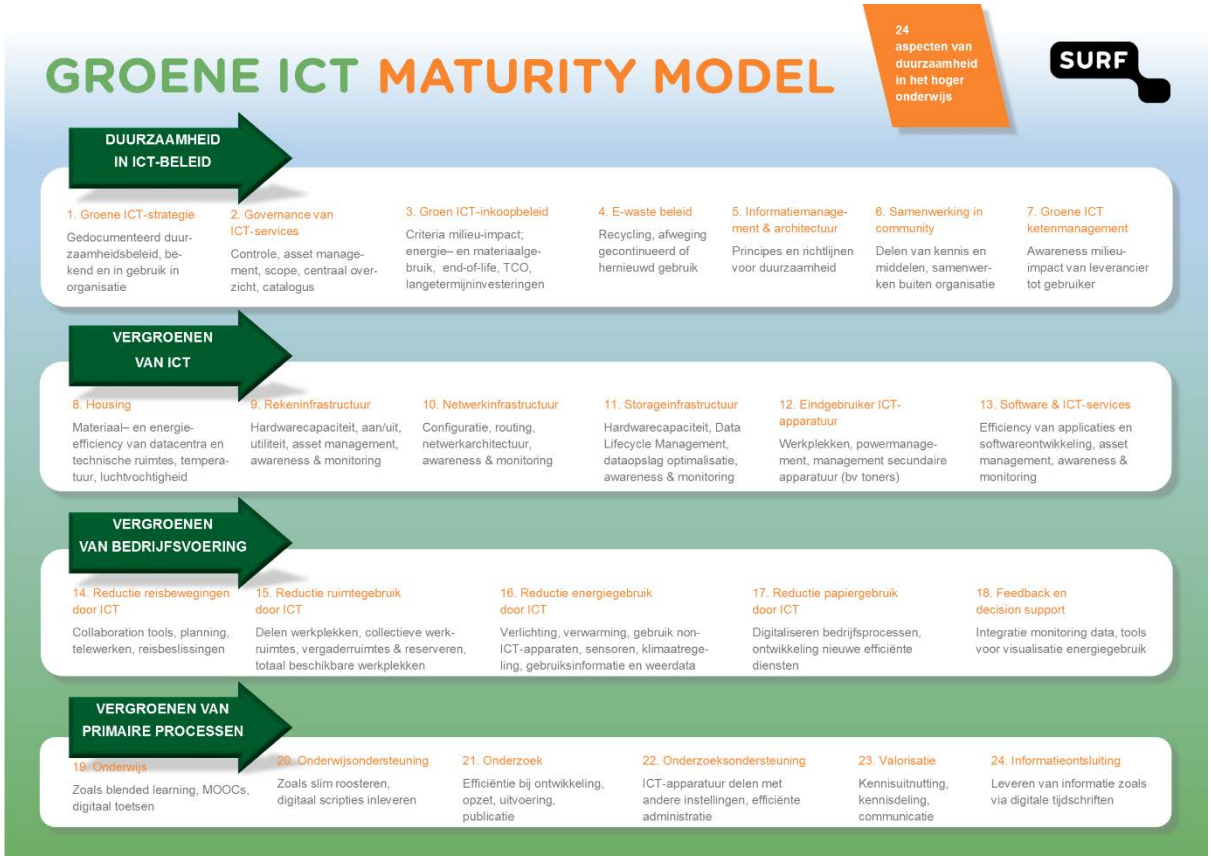
De duurzaamheidseffecten van het delen van e-infrastructuur resulteren uiteindelijk in reductie van CO_2-uitstoot. Dit bestaat uit CO_2-efficiëntie (hoeveel CO_2-uitstoot in kg CO_2-equivalent komt voort uit het gebruik van een kWh energie) en reductie van energieverbruik (hoeveel kWh wordt uiteindelijk gebruikt bij de inzet van ICT-middelen).

Dit onderzoek richt zich vooral op dat laatste: energieverbruikreductie (uitgedrukt in absoluut energieverschil ΔE in kWh en relatieve energie-efficiëntie η in % of energiebesparingsfactor EBF in 'aantal keer').

Om de energiereductie bij de overstap van on-premise naar e-infrastructuur nader te kunnen bepalen, moeten allereerst twee vragen worden beantwoord:

1. Welke bronnen van energieverbruik zijn er bij gebruik van ICT-middelen en welke vormen van energie (kolen, zon, wind) worden toegepast?
2. Welke daarvan zijn relevant (lees: veranderen significant) bij de overstap van on-premise naar e-infrastructuur?

Om de eerste vraag te kunnen beantwoorden gebruiken we als uitgangspunt de 24 aspecten voor duurzaamheid in het hoger onderwijs van het SURF Groene ICT Maturity Model.



Om de tweede vraag te beantwoorden wordt in onderstaande tabellen voor elk van de vier aandachtsgebieden systematisch nagegaan welke van de 24 aspecten voor duurzaamheid in het hoger onderwijs relevant zijn bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur. Waar mogelijk wordt aangegeven in welk onderdeel van de 'cloud stack' – HAAS, IAAS, PAAS, SAAS, BPAAS – dit thuishoort dan wel het beste past.

DUURZAAMHEID IN ICT-BELEID

Het gaat hierbij om de vraag hoe duurzaamheidseffecten – door over te gaan van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur – kunnen worden ingebouwd in de ICT-strategie, het beleid, de architectuur en samenwerkingsvormen.

Aspect	Toelichting	J/N	Toepassing
Groene ICT-strategie	Gedocumenteerd duurzaamheidsbeleid, bekend en in gebruik in de organisatie.	J	In de ICT-strategie kan de beslissing vallen om van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur te gaan.
Governance van ICT-services	Controle, assetmanagement, scope, centraal overzicht, catalogus.	J	Heeft effect op gebruik van ICT.
Groen ICT-inkoopbeleid	Criteria milieu-impact, energie- en materiaalgebruik, end-of-	N	Dit valt grotendeels buiten de scope van dit onderzoek.

	life, TCO, langetermijninvesteringen.		
E-waste beleid	Recycling, afweging gecontinueerd of hernieuwd gebruik.	N	Dit valt grotendeels buiten de scope van dit onderzoek.
Informatiemanagement & architectuur	Principes en richtlijnen voor duurzaamheid.	J	Heeft effect op gebruik van ICT.
Samenwerking in community	Delen van kennis en middelen, samenwerken buiten de organisatie.	J	Heeft effect op gebruik van ICT.
Groene ICT ketenmanagement	Awareness milieu-impact van leverancier tot gebruiker.	N	Dit valt grotendeels buiten de scope van dit onderzoek.

VERGROENEN VAN ICT

Dit richt zich op hoe duurzaamheid – door over te gaan van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur – kan worden ingebouwd in de ICT-middelen: vastgoed, infrastructuur, platformen, software en bedrijfsprocessen.

Aspect	Toelichting	J/N	Toepassing
Housing	Materiaal- en energie-efficiëntie van datacenters en technische ruimtes, temperatuur, luchtvochtigheid.	J	Dit is een van de te onderzoeken componenten van de cloud stack (HAAS).
Rekeninfrastructuur	Hardwarecapaciteit, aan/uit-faciliteit, assetmanagement, awareness & monitoring.	J	Idem (IAAS)
Netwerkinfrastructuur	Configuratie, routing, netwerkarchitectuur, awareness & monitoring.	J	Idem (IAAS)
Storage-infrastructuur	Hardwarecapaciteit, Data Lifecycle Management, dataopslag optimalisatie, awareness & monitoring.	J	Idem (IAAS)
Eindgebruiker ICT-apparatuur	Werkplekken, powermanagement, management secundaire apparatuur (bijvoorbeeld toners).	N	Eindgebruiker ICT-apparatuur kan niet worden overgebracht naar de e-infrastructuur.
Software & ICT-services	Efficiëntie van applicaties en softwareontwikkeling, asset management, awareness & monitoring.	J	Idem (SAAS)

VERGROENEN VAN BEDRIJFSVOERING

Hier gaat het over de duurzaamheidsaspecten bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur in gebruik en toepassing van ICT-middelen.

Aspect	Toelichting	J/N	Toepassing
Reductie reisbewegingen door ICT	Collaboration tools, planning, telewerken, reisbeslissingen.	J	Dit is een van de te onderzoeken componenten van de cloud stack (BPAAS).
Reductie ruimtegebruik door ICT	Delen werkplekken, collectieve werkruimtes, vergaderruimtes & reserveren, totaal beschikbare werkplekken.	N	Dit staat in principe los van de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur.
Reductie energiegebruik door ICT	Verlichting, verwarming, gebruik non-ICT-apparaten, sensoren, klimaatregeling, gebruiksinformatie en weerdata.	J	Dit betreft in principe alle te onderzoeken componenten van de cloud stack.
Reductie papiergebruik door ICT	Digitaliseren bedrijfsprocessen, ontwikkeling van nieuwe efficiënte diensten.	N	Dit staat in principe los van de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur.
Feedback en decision support	Integratie monitoring data, tools voor visualisatie energiegebruik.	J	Dit helpt bij de bewustwording door eindgebruikers en ICT-afdeling.

VERGROENEN VAN PRIMAIRE PROCESSEN

De vraag hier is op welke manieren duurzaamheideffecten – bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur – kunnen worden bereikt door bedrijfsprocessen daartoe aan te passen.

Aspect	Toelichting	J/N	Toepassing
Onderwijs	Zoals blended learning, MOOCs, digitaal toetsen	J	Binnen een instelling maakt on-premise ICT of ICT in e-infrastructuur niet veel verschil, maar wel als tussen instellingen in e-infrastructuur wordt gedeeld.
Onderwijsondersteuning	Zoals slim roosteren, digitaal scripties inleveren	J	Idem
Onderzoek	Efficiëntie bij ontwikkeling, opzet, uitvoering, publicatie	J	Idem
Onderzoeksondersteuning	ICT-apparatuur delen met andere instellingen, efficiënte administratie	J	Idem
Valorisatie	Kennisuitnutting, kennisdeling, communicatie	J	Idem
Informatieontsluiting	Leveren van informatie zoals via digitale tijdschriften	J	Idem

NIET-BEOOGDE NEVENEFFECTEN

Zoals altijd, is er ook aan de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur een keerzijde. De belangrijkste aspecten zijn:

- *Transmissie* – Door de fysieke (grotere) scheiding van eindgebruikers en ICT-afdelingen enerzijds en de locatie van de apparatuur in de e-infrastructuur anderzijds, zal er sprake zijn van meer transmissie van signalen via de landelijke datanetwerken. Transmissie brengt energieverbruik met zich mee.
- *Servicelevels* – Strakke SLAs kunnen ervoor zorgen dat de leverancier van de e-infrastructuur extra armslag inbouwt en dus overcapaciteit installeert. Idealiter zou men een model moeten maken voor optimalisatie van minimaal energieverbruik versus het tegemoetkomen aan SLA-verplichtingen. Dit lijkt echter nog in de kinderschoenen te staan. (Het systeem MUSE van Chase en anderen is een poging.)

SAMENGEVAT

Deze analyse leidt al snel tot een eenduidige conclusie:

- De grootste winst in duurzaamheid bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur zit in het vergroenen van de ICT-middelen zelf, ondersteund door bewust ICT-beleid op dit gebied: het delen van ICT-middelen met meerdere instellingen.
- Vergroenen van de bedrijfsvoering en van de primaire processen kan ook zonder overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur, maar die overstap helpt wel.
- De negatieve duurzaamheidseffecten bij overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur zijn beperkt. Het grootste effect is een toename van transmissie tussen instellingen en de e-infrastructuur en het bijbehorende energieverbruik.

Dit leidt ertoe dat in het vervolg van deze verkenning de focus is gelegd op de volgende factoren:

A. *Beleid* – Beleid voor de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur.

Uitgewerkt in de lagen van de cloud stack:

B. *Housing* – De overstap van on-premise housing naar HAAS (alleen gebouw, koeling, brandbeveiliging, enzovoort).
C. *Infrastructuur* – De overstap van on-premise infrastructuur naar IAAS (HAAS plus fysieke ICT: computers, dataopslag, hypervisors en switches, bekabeling, enzovoort).
D. *Platform* – De overstap van on-premise platform naar PAAS (IAAS plus technische software: operating systems, runtime, middleware, bijvoorbeeld virtualisatie, e-mailserver, dataverwerking, bijvoorbeeld MapReduce, netwerksoftware, firewalls, enzovoort).
E. *Software* – De overstap van on-premise software naar SAAS (PAAS plus functionele software, vooral eindgebruiker-applicaties en data, bijvoorbeeld ERP of Research Data Management, maar ook single/multi-tenancy).
F. *Businessprocessen* – De overstap van on-premise gebaseerde businessprocessen naar BPAAS (SAAS plus bedrijfsprocessen eventueel inclusief personele bezetting).

En daarnaast nog onvoorziene effecten.

G. *Neveneffecten* – Onbedoelde negatieve neveneffecten op duurzaamheid en energieverbruik.

KENMERKEN VAN CLOUD- OF E-INFRASTRUCTUUR VOOR DUURZAAMHEID

De meest in het oog springende kenmerken van cloud- of e-infrastructuur en hun effect op duurzaamheid zijn, kort samengevat:

Schaalvoordelen

- *Delen met meerdere partijen (sharing, shared)* – Meerdere partijen maken gebruik van de e-infrastructuur, waardoor schaalvoordelen ontstaan.
- *Service-oriëntatie (xAAS)* – Alle ICT-componenten worden via internet als online service aangeboden en zijn dus niet meer plaatsgebonden, waardoor schaalvoordelen kunnen worden gecreëerd in gebruik van fysieke infrastructuur, maar ook bijvoorbeeld bij de inzet van personeel en middelen.

Efficiëntie (statisch)

- *Virtualisatie* – Dit is het uitvoeren van meerdere software-omgevingen op één fysiek systeem – en omgekeerd. Daarmee kunnen fysieke systemen efficiënter worden gebruikt.
- *Betalen voor afname (pay-per-use)* – Alleen betalen voor wat je gebruikt. Dit dwingt de leverancier (en afnemer) van de e-infrastructuur om zijn middelen efficiënt in te zetten.

Optimalisatie (dynamisch)

- *Balanceren van belasting (workload balancing)* – Met behulp van virtualisatie en andere allocatietechnieken kan de bezettingsgraad van fysieke systemen worden geoptimaliseerd.
- *Dynamisch leveren (dynamic provisioning)* – De belasting van fysieke ICT-middelen kan bepaald worden onafhankelijk van de uitgevoerde software. Hierdoor is optimalisatie van inzet van fysieke middelen mogelijk. Ook kan eenvoudig worden bij- of afgeschakeld.

In alle drie gevallen leidt de resulterende inzet van minder ICT-apparatuur (of het tijdelijk uitzetten of minder belasten van ICT-apparatuur) tot minder energieverbruik en dus tot een positief duurzaamheidseffect (bij gebruik in de e-infrastructuur van tenminste even groene stroom als on-premise).

Deze en andere bronnen van energiereductie bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur worden in hoofdstuk 1 uitgewerkt aan de hand van bovengenoemde factoren A tot en met G.

BIJLAGE C – UITGANGSPUNTEN BIJ KWANTIFICERING

In deze bijlage wordt toegelicht hoe de berekeningen voor de kwantificering van de onderbouwing van duurzaamheidseffecten en energiereductie tot stand zijn gekomen.

OVERWEGINGEN

Wie duurzaamheidseffecten kwantitatief heel precies wil berekenen, loopt al snel tegen beperkingen aan door de definitie van duurzaamheid. Als we duurzaamheidseffecten (DE) opsplitsen tussen die voor people (DE^{People}), planet (DE^{Planet}) en profit (DE^{Profit}) en als we voor elk van die drie ook nog onderscheid maken tussen (*Px* staat voor *people, planet* of *profit*) de inkoopfase (DE^{Px}_{Inkoop}), gebruiksfase ($DE^{Px}_{Gebruik}$) en end-of-life-fase (DE^{Px}_{EOL}), komen we in principe op de volgende formule voor het totale duurzaamheidseffect DE.

$$DE = \left\{DE^{People}_{Inkoop} + DE^{People}_{Gebruik} + DE^{People}_{EOL}\right\} +$$
$$\left\{DE^{Planet}_{Inkoop} + DE^{Planet}_{Gebruik} + DE^{Planet}_{EOL}\right\} +$$
$$\left\{DE^{Profit}_{Inkoop} + DE^{Profit}_{Gebruik} + DE^{Profit}_{EOL}\right\}$$

Intuïtief lijkt dit een voor de hand liggende opsplitsing in begrijpelijke en te beïnvloeden factoren. Op elk van deze negen factoren kan duidelijk onderscheiden (acties en verantwoordelijken) duurzaamheidsbeleid worden geformuleerd.

Wiskundig gezien heeft het echter geen zin, omdat DE^{People}, DE^{Planet} en DE^{Profit} verschillende eenheden hebben – van 'geluk' (?) tot kg-CO_2-equivalent tot euro (?). Het is dus het optellen van appels en peren. Bovendien zijn de genoemde grootheden verre van orthogonaal (ze zijn niet onafhankelijk van elkaar). Dus we moeten een keuze maken.

DEFINITIES

Voor het kwantitatieve deel van dit onderzoek beperken we ons tot de gebruiksfase en dan ook nog alleen voor de factor Planet en dat ook nog beperkt tot de belangrijkste factoren die CO_2-uitstoot veroorzaken, in het bijzonder energieverbruik. We proberen dus te kwantificeren wat de reductie CO_2-uitstoot en in het bijzonder de reductie in energieverbruik is bij de overstap van on-premise ICT naar ICT in de e-infrastructuur:

$$DE \overset{\text{def}}{=} DE^{Planet}_{Gebruik}$$

Voor het energieverbruik in een bepaalde periode door N verschillende instellingen gebruiken we de volgende definities:

E = energieverbruik, energieverbruikreductie

- $E_{op_n} \stackrel{\text{def}}{=}$ on-premise energieverbruik bij instellingen
- $E_{op} \stackrel{\text{def}}{=}$ totaal on-premise energieverbruik bij N instellingen = $\sum_{n=1}^{N} E_{op_n}$
- $E_{sh} \stackrel{\text{def}}{=}$ het totale energieverbruik in de shared e-infrastructuur
- $\Delta E \stackrel{\text{def}}{=} E_{op} - E_{sh}$ is de totale energieverbruikreductie van de instellingen die in de shared e-infrastructuur zijn gaan werken.
    - Er vindt energieverbruikreductie plaats, dat wil zeggen: er vindt een duurzaamheidseffect plaats, als $\Delta E > 0\ kWh$ (en $CEF_{op} \geq CEF_{sh}$, natuurlijk).

CEF = CO_2-efficiëntie, Carbon Efficiency Factor

- $CEF \stackrel{\text{def}}{=} \frac{CO_2 eq}{E}$ is de CO_2-efficiëntie, waarbij CO_2eq het equivalent CO_2-uitstoot (in kg-CO_2eq, kilogram CO_2-equivalent) is. Dit is een maat voor hoeveel CO_2-uitstoot er veroorzaakt wordt per eenheid (kWh) verbruikte energie.
- Voor CEF wordt ook wel de term CIF, Carbon Intensity Factor gebruikt, CO_2-intensiteit.
- CEF wordt uitgedrukt in kg-CO_2eq per kWh ofwel kg-CO_2eq/kWh. Hierbij geldt het streven: hoe lager, des te beter (nul is het streven, maar in theorie zijn ook negatieve waarden mogelijk wanneer bij de productie van de energie CO_2 ontnomen zou worden aan de atmosfeer).

DE = Duurzaamheid, duurzaamheidseffect

- $DE \stackrel{\text{def}}{=}$ "$\Delta CEF \cdot \Delta E$" is het duurzaamheidseffect – in enge zin (zie uitgebreidere definitie hieronder). Dit is de netto reductie aan equivalent CO_2-uitstoot in kilogram, gemeten in kg-CO_2eq.

Bijvoorbeeld als alle instellingen samen in een bepaalde periode on-premise E_{op} = 10 kWh verbruiken en in de e-infrastructuur in een gelijke periode E_{sh} = 2 kWh, dan is de totale energiereductie ΔE = 10 – 2 = 8 kWh.

> Let op. Om het echte duurzaamheidseffect – de CO_2-uitstoot – uit te kunnen rekenen, zou dit dus nog moeten worden vermenigvuldigd met respectievelijk de CO_2-efficiëntie, CEF, in de on-premise situatie en in de e-infrastructuur.

De energieverbruikreductie ΔE gaat over het absolute energieverbruik. Om toch een (relatieve) mate van efficiëntie van de verandering aan te kunnen geven, maken we ook gebruik van een grootheid η *(%)* voor energiereductie-efficiëntie:

$$\eta \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\Delta E}{E_{op}} = \frac{E_{op} - E_{sh}}{E_{op}} = 1 - \frac{E_{sh}}{E_{op}}$$

De energiereductie-efficiëntie η is de relatieve energiereductie in de e-infrastructuur ten opzichte van het energieverbruik in de (oude) on-premise situatie. In bovengenoemd voorbeeld is η = (10 – 2) ÷ 10 = 80% efficiëntieverbetering. Er vindt energieverbruikreductie en dus een duurzaamheidseffect plaats als η> 0.

Hiernaast is het niet ongebruikelijk de relatieve energiereductie uit te drukken als besparingsfactor, in 'aantal keren'. We noemen deze factor de energiebesparingsfactor, EBF:

$$EBF \stackrel{\text{def}}{=} \frac{E_{op}}{E_{sh}} = \frac{1}{1 - \eta}$$

In het voorbeeld hierboven is de EBF = 10 ÷ 2 = 5 keer: de nieuwe shared oplossing is 5 keer zo zuinig als de oude on-premise situatie. Er vindt energiereductie en dus een duurzaamheidseffect plaats als EBF > 1.

Benchmarking

Om appels met appels te kunnen vergelijken, willen we een absolute maat van duurzaamheidseffect (DE) en energieverbruikreductie (ΔE). Voor deze twee grootheden is dat eenvoudig. Voor DE meten we het verschil in uitgestoten aantal kg CO_2-equivalent. Voor ΔE meten we de reductie in aantallen kWh aan verbruikte stroom.

Om de energie-efficiëntie van een data- en rekencenter te benchmarken, is een maat voor output van dat center nodig. Wat is een goed meetbare maat voor output van een datacenter of een rekencenter?

- *Datacenter* – Een voor de hand liggende maat is de opgeslagen hoeveelheid data in GB per verbruikt kWh aan energie. Maar dan is er ook nog dataverkeer in en uit het datacenter. Dat moet daar bij op worden geteld. Een maat voor energie-efficiëntie van een datacenter kan dus zijn: de gemiddelde hoeveelheid opgeslagen data plus het totale dataverkeer in een bepaalde periode, gedeeld door de in die periode verbruikte energie (in GB/kWh). Probleem hierbij is dat vaak lastig is te isoleren hoeveel energie nu exact gebruikt is voor de dataopslag en het dataverkeer, zeker bij gemengde data- en rekencenters. Ook is niet duidelijk of er weging moet plaatsvinden: verbruikt de opslag van een GB aan data evenveel energie als transport van een GB aan data?
- *Rekencentrum* – Bij een rekencentrum ligt het eenvoudiger. Wat is de eenheid van output van een computer? Dan gaat het al snel over rekencycles, MIPS of FLOPS. Hier kan dus worden gerekend met cycles/kWh, MIPS/kWh of FLOPS/kWh.

GENERIEKE REKENREGELS

Voor ieder onderdeel in de cloud stack gelden de volgende generieke rekenregels.

Duurzaamheidseffect

Het totale duurzaamheidseffect – in enge zin – (DE) voor N instellingen is het verschil in kg CO2-emissie equivalent tussen de on-premise situatie en de e-infrastructuur situatie:

$$DE = \sum_{n=1}^{N} CEF_{op_n} \cdot E_{op_n} - CEF_{sh} \cdot E_{sh}$$

- NB. Wanneer de CO_2-efficiëntie CEF_{op} voor alle instellingen on-premise hetzelfde is, dan is: $DE = CEF_{op} \cdot E_{op} - CEF_{sh} \cdot E_{sh}$. En als $CEF_{op} = CEF_{sh}$ (= CEF), dan is $DE = CEF \cdot \Delta E$.

Energieverbruikreductie

De totale energieverbruikreductie voor N instellingen (ΔE) is het verschil in energieverbruik tussen de on-premise situatie en de e-infrastructuur situatie:

$$\Delta E = \sum_{n=1}^{N} E_{op_n} - E_{sh} = E_{op} - E_{sh}$$

NB. Als $\overline{E_{op}}$ de gemiddelde E_{op}^{n} is over alle N instellingen, dan is $E_{op} = \sum_{n=1}^{N} E_{op_n} = N \cdot \overline{E_{op}}$

NB. Energieverbruikreductie ΔE voldoet aan ‘de wet van de grote aantallen’: hoe meer instellingen overgaan van on-premise naar e-infrastructuur, des te groter wordt het effect. Immers, E_{op} neemt bij benadering lineair toe met N, terwijl E_{sh} ‘gedempt’ (lineair met kleinere hellingshoek plus een startwaarde > 0) toeneemt met N.

Energiereductie-efficiëntie

De totale energiereductie-efficiëntie (η) is:

$$\eta \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\Delta E}{E_{op}} = \frac{E_{op} - E_{sh}}{E_{op}} = 1 - \frac{E_{sh}}{E_{op}} = 1 - \frac{E_{sh}}{\sum_{n=1}^{N} E_{op_n}}$$

Energiebesparingsfactor

De energiebesparingsfactor (EBF) is:

$$EBF \stackrel{\text{def}}{=} \frac{E_{op}}{E_{sh}} = \frac{\sum_{n=1}^{N} E_{op_n}}{E_{sh}} = \frac{E_{op}}{E_{op} - \Delta E} = \frac{1}{1 - \eta}$$

BIJLAGE D – REFERENTIES

Zoeken met Google op ‘sustainability cloud’ of ‘sustainability e-infrastructure’ geeft uiteraard een zee aan informatie over het onderwerp van dit rapport. Om het de lezer gemakkelijk te maken hebben we een kleine voorselectie gemaakt van bijzonder relevante documenten en webpagina’s.

- SURF, SURF-programma Duurzaamheid, *Jaarrapport 2015* – https://www.surf.nl/binaries/content/assets/surf/nl/2016/jaarrapport-2015-duurzaam.pdf
- SURF, SURF-programma Duurzaamheid, *Controlling Document 2016* – https://www.surf.nl/binaries/content/assets/surf/nl/2016/controlling-document-2016-duurzaamheid.pdf
- United Nations, World Commission on Environment and Development, *Our Common Future* – www.un-documents.net/our-common-future.pdf
- SURF, *SURF Checklists voor Collaborative Samenwerken, Collaborative Aanbesteden, Collaborative Cloud* en *Collaborative Datacenter* – te verkrijgen bij SURFsara
- SURF, *SURF Groene ICT Maturity Model* - https://www.surf.nl/kennisbank/2014/surf-groene-ict-maturity-model.html
- SURF, *Innovatieproject Duurzaam Inkopen* – https://www.surf.nl/innovatieprojecten/duurzaamheid/duurzaam-inkopen-van-ict-producten-en--diensten.html
- SURF, *e-Waste Beleid* – https://www.surf.nl/binaries/content/assets/surf/nl/2015/surf-e-wastebeleid.pdf
- Greenpeace, *How Green Is Your Cloud?* – http://www.greenpeace.org/international/en/publications/Campaign-reports/Climate-Reports/How-Clean-is-Your-Cloud/
- The Guardian, *Can you power a business on 100% renewable energy? Ikea wants to try* – https://www.theguardian.com/sustainable-business/2016/apr/08/renewable-energy-ikea-walmart-google-mars-hp-wind-solar-power
- The Guardian, *Google to be powered 100% by renewable energy from 2017* – https://www.theguardian.com/environment/2016/dec/06/google-powered-100-renewable-energy-2017
- RE 100, *83 RE100 companies have made a commitment to go 100% renewable* – http://there100.org/companies
- TNO, *Cloud Computing: Grey or Green? On the energy-efficiency and sustainability of Infrastructure-as-a-Service* – https://www.surf.nl/.../report-cloud-computing-grey-or-green.pdf
- CE Delft, *Trends ICT en Energy 2013-2030* – http://www.cedelft.eu/publicatie/energy_trends_in_ict,_2013-2030/1756
- Vlerick Business School, *From Enterprise Architect To Opportunity Architect, The Changing Role Of Enterprise Architecture In A Digital Transformation Context* – http://www.vlerick.com/.../FinalversionwhitepaperFromEnterpriseArchitecttoOpportunityArchitectpdf.pdf
- Accenture in collaboration with WSP, *Cloud Computing and Sustainability: The Environmental Benefits of Moving to the Cloud* – http://gesi.org/.../AssessmentMethodologyCasteStudy_CloudComputing
- Dutch Datacenter Association, *State of the Dutch Datacenters, 2015 en 2016* – http://www.dutchdatacenters.nl/dutch-data-center-report.html

- Dutch Green Building Council, *Keurmerk voor duurzame vastgoedobjecten: Beoordelingsrichtlijn datacenters*
- Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland, *MJA3, Meerjarenafspraken energie-efficiëntie* – http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/meerjarenafspraken-energie-efficiency
- Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland, *Aan de slag met energiemanagement* – http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/meerjarenafspraken-energie-effici%C3%ABntie/verplichtingen-mja3/mee/energiemanagement/softwaresystemen/aan-de-slag
- Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland, *Resultatenbrochure Convenanten, Meerjarenafspraken energie-efficiëntie*
- GeSI, Global e-Sustainability Initiative, *SMART2020: Enabling the Low-Carbon Economy in the Information Age* – http://gesi.org/article/43
- GeSI, Global e-Sustainability Initiative, *The Enabling Technologies of a Low-Carbon Economy - a Focus on Cloud Computing* – http://gesi.org/portfolio/report/76
- Amsterdam University of Applied Sciences, Center For Applied Research technology, *Greening The Cloud*
- University of Melbourne, Saurabh Kumar Garg and Rajkumar Buyya, *Green Cloud computing and Environmental Sustainability*
- Indiana University, Grgor van Laszewski et. al, *Design of a Dynamic Provisioning System for a Federated Cloud and Bare-metal Environment*
- DellEMC, *The Rise Of The Modern Datacenter* - https://www.emc.com/.../emc-modern-data-center-whitepaper.pdf
- WSP en Salesforce.com, *Salesforce.com and the environment: Reducting Carbon Emissions In The Cloud* - https://www.salesforce.com/.../WP_WSP_Salesforce_Environment
- Association for Information Systems, AIS Electronic Library (AISeL), *Environmentally Sustainable Business Process Management – Developing A Green BPM Readiness Model*
- US Government, EnergyStar – www.energystar.gov
- US Government, NREL, National Renewable Energy Laboratory, *Chapter 20: Data Center IT Efficiency Measures* (te vinden met Google, zoeken op: NREL/SR-7A40-63181)
- John Wiley & Sons, *DCiM For Dummies* – http://www.nlyte.com/dummies/
- McKinsey & Co, *Leaders and laggards in enterprise cloud infrastructure adoption* – http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/leaders-and-laggards-in-enterprise-cloud-infrastructure-adoption
- Texas A&M University, Olga Pierce et. al, *Quantifying the Effectiveness of Load Balancing Algorithms* – https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2304601
- SURF, SURFnet, *Sustainability In Networks* – https://www.surf.nl/binaries/.../nl/.../sustainability-in-networks.pdf
- SURF, *Transporting Bits or Transporting Energy: Does it matter? A comparison of the sustainability of local and remote computing* – https://www.surf.nl/.../Transporting+Bits+or+Transporting+Energy...
- Vrije Universiteit Amsterdam, Martin Warnaar, *Cloud Energy Consumption Measurement and Reduction: an Overview of Methods* – https://ivi.fnwi.uva.nl/sne/wp/wp.../scriptie_Martin_Warnaar.pdf
- Universiteit van Amsterdam, Casper van der Pol, *Resource Usage In Hypervisors* – https://ivi.fnwi.uva.nl/sne/wp/.../scriptie-Casper-van-der-Poll.pdf
- Universiteit van Amsterdam, Yu Ri Tan, *Accents in literature with respect to green clouds* – https://ivi.fnwi.uva.nl/sne/wp/wp.../2016/.../scriptie-Yu-Ri-Tan.pdf