

Energie Voetafdruk voor Applicaties

Handleiding



In dit document wordt beschreven wat een energie-voetafdruk van een applicatie of service is en hoe deze kan worden bepaald. Deze methode is relevant voor eigenaren van IT systemen, die willen sturen op energiezuinigheid en softwareontwikkelaars, die energiezuinigheid willen inbouwen.

De handleiding is opgesplitst in twee delen:

Deel 1 is bedoeld voor alle geïnteresseerden. In dit deel wordt kort uitgelegd wat de energie voetafdruk is en in vogelvlucht beschreven hoe de energie-voetafdruk wordt bepaald. Het geeft een algemeen overzicht van de gebruikte methode en de daarbij behorende indicatoren.

Deel 2 richt zich op de lezers die de daadwerkelijke energie-voetafdruk gaan bepalen. Dit deel biedt gedetailleerde informatie, instructies en richtlijnen voor veel voorkomende situaties tijdens het bepalen van de energie-voetafdruk. Het doel van deel 2 is de lezer in staat te stellen om zelfstandig en op een reproduceerbare manier de energie-voetafdruk te bepalen.

Verantwoording

Denken over vergroening in de IT gaat vaak over energiezuinigere apparatuur, slimmer koelen van data-centers en het terugdringen van stand-by verbruik. Maar de gebruikte software, welke impact heeft die eigenlijk?

Deze handleiding energie voetafdruk voor applicaties is tot stand gekomen samen met het kennisnetwerk groene software (#KNGS). Het KNGS is een netwerk voor geïnteresseerden in duurzame IT en het creëren van groene software. RVO is de initiator van dit kennisnetwerk vanuit het MJA-3 programma en heeft de Software Improvement Group (SIG) gevraagd voorzitter te zijn van dit netwerk. Binnen dit netwerk zijn zowel de leveranciers als de gebruikers vertegenwoordigd. Doel van het netwerk is het verzamelen en verspreiden van kennis en het creëren van aandacht. De deelnemende organisaties werken binnen dit netwerk aan:

- Het in kaart brengen van het energieverbruik dat in (grote) systemen wordt veroorzaakt door de inzet van software en het zoeken naar mogelijkheden om het energieverbruik dat software veroorzaakt terug te brengen.
- Het ontwikkelen van tools waarmee gebruikers van grote systemen kunnen sturen op een (energie)kostenmodel.

Kngs.wiki.com

Doel van de handleiding

Een van de meetinstrumenten door KNGS ontwikkeld is een energie voetafdruk methode, waarmee applicatie-eigenaren inzicht kunnen krijgen in het gebruik en verbruik van hun applicatie. Een energie voetafdruk is een lichtgewicht methode waarin het verbruik van de apparatuur in kaart wordt gebracht en gerelateerd aan de functies, die er mee worden uitgevoerd.

Deze methode is publiekelijk beschikbaar, aangeboden aan de rijks-CTO op 5 februari 2015, en kan door iedereen worden gebruikt om inzicht in het verbruik van applicaties te krijgen. Gevalideerde voetafdrukken worden gepubliceerd op de KNGS wiki.

www.sefindex.org

Contact

Voor vragen neem contact op via onderstaande URL:

www.sig.eu/nl/themas/greenit

Versie	2.1
Datum publicatie	1 mei 2015
Auteurs	N. van der Zwan (SIG), K. Grosskop (SIG)

Inhoudsopgave

1	Wat is een applicatie energie-voetafdruk?	4
1.1	Energie-voetafdruk indicatoren	4
1.1.1	Totaal jaarverbruik (Annual Energy Consumption, AE)	5
1.1.2	Verbruik per transactie (Energy Consumption per Transaction, ET)	5
1.1.3	Afstemming van Elasticiteit en Belastingpatroon (Relative Efficiency, RE)	5
1.1.4	Utilisatie (Utilization, UT)	5
1.2	Hoe wordt de energie-voetafdruk bepaald?	5
1.2.1	Energieverbruik afzetten tegen (nuttig) werk	5
1.2.2	Hoe verloopt de energie-voetafdruk bepaling?	6
1.3	Overeenkomsten en verschillen met andere methodes	8
1.3.1	Levenscyclusanalyse (LCA)	8
1.3.2	Data Center energy Productivity (DCeP)	8
2	Guidance voor producers	10
2.1	Richtlijnen	10
2.1.1	De Hoofdtransactie(s)	10
2.1.2	De Scope	10
2.1.3	De Deployment View	12
2.1.4	De Meetperiode	12
2.1.5	Het Energiemodel	12
2.1.6	Annual Energy Consumption (AE)	12
2.1.7	Energy Consumption per Transaction (ET)	13
2.1.8	Relative Efficiency (RE)	13
2.1.9	Utilisatie (UT)	15
2.1.10	Metten van de systeembelasting	16
2.1.11	Verbruiksdata	16
2.2	Referentiewaardes	17
2.3	Typische situaties	18
2.3.1	SAN's	18
2.3.2	Virtualisatie	18
2.3.3	Internet verkeer	18
2.3.4	Externe services	18
2.4	Sanity Checks	18
3	Appendix	20
3.1	Verantwoording voor uitsluiting van de clientside	20
3.2	Referenties	20
3.3	Met dank aan	21

1 Wat is een applicatie energie-voetafdruk?

Ondanks de grote verbetering in de energie efficiëntie van datacenters en hardware blijft het energieverbruik van de IT gestaag groeien [8]. De IT systemen verbruiken inmiddels een aanzienlijk deel van onze elektriciteit. Zo wordt het aandeel van datacenters aan het totale elektriciteitsverbruik geschat op 1-2% en De uitstoot van CO2 door ICT op 2%. [1][2][3].

Hardware verbruikt energie omdat er software op draait. Maar de meeste software wordt gemaakt zonder rekening te houden met het daarmee gemoeide energieverbruik. Gebruikers klikken, versturen en surfen in applicaties zonder stil te staan bij het energieverbruik en uiteindelijk de impact op ons milieu. Eigenaren van IT systemen sturen vanuit de requirements niet aan op energiezuinigheid. Een belangrijke oorzaak hiervan is, dat dit verbruik simpelweg niet inzichtelijk is voor de betrokkenen.

De energie-voetafdruk voor software applicaties is een manier om het verbruik van een IT-infrastructuur vanuit een **functioneel** perspectief inzichtelijk te maken. De voetafdruk geeft weer hoeveel verbruik kan worden toegeschreven aan een bepaalde applicatie. De reden voor het bestaan van IT-infrastructuur is dat wij als gebruikers een bepaalde dienst afnemen/gebruiken. Een logische vraag is dan ook hoe groot het energie verbruik is voor het leveren van deze dienst. Hoeveel energie kost het bijvoorbeeld om een facebook pagina te bewerken, een voetbalwedstrijd op internet te bekijken of een aanvraag bij de belastingdienst in te dienen? En hoe verhoudt dit energieverbruik zich tot vergelijkbare diensten en of er sprake is van grote (energie)inefficiëntie bij de levering van de dienst.

1.1 Energie-voetafdruk indicatoren

De Energie-voetafdruk wordt gemeten aan de hand van vier indicatoren die in het vervolg van dit document nader worden toegelicht.

- **Annual Energy Consumption (AE)**
- **Energy Consumption per Transaction (ET)**
- **Relative Efficiency (RE)**
- **Utilization (UT)**

Bij de keuze van de indicatoren is er rekening mee gehouden dat de bepaling van de indicatoren vanuit praktisch oogpunt haalbaar moet zijn en dat de bijhorende data te verzamelen is. De indicatoren zijn niet afhankelijk van technologie of applicatietype en het is mogelijk de indicatoren over de tijd te volgen. De indicatoren zijn robuust ten opzichte van veranderingen in workload en systeem implementatie.

De AE & ET indicatoren zijn niet zonder meer vergelijkbaar tussen applicaties omdat deze indicatoren sterk afhankelijk van de geleverde functionaliteit en de gestelde niet-functionele eisen. Een computerspel en een autorisatiedienst zijn bijvoorbeeld moeilijk te vergelijken. De RE & UT indicatoren kunnen in principe worden vergeleken, zelfs tussen functioneel verschillende applicaties.

De indicatoren kunnen bij gewenste efficiëntieverbetering worden gebruikt als input voor optimalisatie inspanningen binnen een groter applicatie portfolio. Zo kunnen middels het AE meteen de grootverbruikers binnen een portfolio worden aangewezen. De ET kan gebruikt worden om een gevoel te krijgen wat een transactie kost en ook om een applicatie vergelijken met functio-

neel gelijkaardige andere applicaties. RE en UT wijzen direct op mogelijke verspilling van resources.

1.1.1 Totaal jaarverbruik (Annual Energy Consumption, AE)

De AE indicator brengt het totale verbruik van de dienst in kWh/jaar in kaart. Deze indicator is onafhankelijk van het gebruik van de dienst (al zal in veel gevallen het verbruik stijgen bij een hoger gebruik). Om de invloed van de fluctuatie in de workload te verminderen wordt het verbruik over een periode van een jaar gerapporteerd. Op basis van gemeten AE kan worden bepaald of de dienst een kandidaat is voor optimalisatie binnen een breder applicatie/diensten portfolio.

1.1.2 Verbruik per transactie (Energy Consumption per Transaction, ET)

Deze indicator bepaalt het gemiddelde energieverbruik per business transactie in het systeem. Dit is interessant omdat het energieverbruik van het systeem voor een afgebakend stuk functionaliteit (*the unit of work*) wordt gekwantificeerd. Hierdoor kan het systeem worden vergeleken met andere systemen die een soortgelijke functionaliteit aanbieden. Voor de bepaling van de ET indicator wordt in principe het jaarlijkse totaalverbruik (AE) gedeeld door het totaal aantal verwerkte transacties binnen dat jaar.

1.1.3 Afstemming van Elasticiteit en Belastingspatroon (Relative Efficiency, RE)

Als een systeem veel energie verbruikt zonder dat er veel business transacties verwerkt worden, dan is er vaak sprake van verspilling. Om verspilling te voorkomen is het belangrijk dat systemen bij lage belasting het resource-gebruik kunnen verminderen. De RE indicator beschrijft in hoeverre het systeem en het verbruik kunnen schalen met het daadwerkelijke gebruikspatroon van de dienst. Systemen met een constant hoge belasting hoeven in principe minder elastisch te zijn dan systemen die veel pieken en dalen in gebruik kennen.

De RE indicator wordt bepaald door het gemiddelde verbruik per transactie te vergelijken met het verbruik op het meest efficiënte moment (vandaar 'relatief').

1.1.4 Utilisatie (Utilization, UT)

Een lage utilisatie van IT-componenten duidt vaak op verspilling. Computersystemen draaien vaak minder efficiënt bij lage belastingen. Bovendien worden de overheadkosten voor datacenter infrastructuur op systeem niveau bepaald. Deze kosten zijn onafhankelijk van het gebruik.

De UT indicator geeft aan hoeveel van de voor het systeem gereserveerde reken capaciteit, die dus niet voor andere doeleinden inzetbaar is, daadwerkelijk door het systeem gebruikt wordt. Verspilling kan worden voorkomen 'op de tijd-as', bijvoorbeeld een systeem dat in het weekend nog wel aan staat, maar niet wordt gebruikt, maar ook 'op de intensiteit-as', bijvoorbeeld een dedicated server die te groot is voor de applicatie en maar 5% CPU belasting heeft.

1.2 Hoe wordt de energie-voetafdruk bepaald?

Deze paragraaf beschrijft in hoofdlijnen de stappen, die moeten worden genomen om tot een energie-voetafdruk te komen.

1.2.1 Energieverbruik afzetten tegen (nuttig) werk

Het basisidee achter de energievoetafdruk is het leggen van een relatie tussen de functionele dienst (die de applicatie levert) en de energie die daarvoor nodig is.

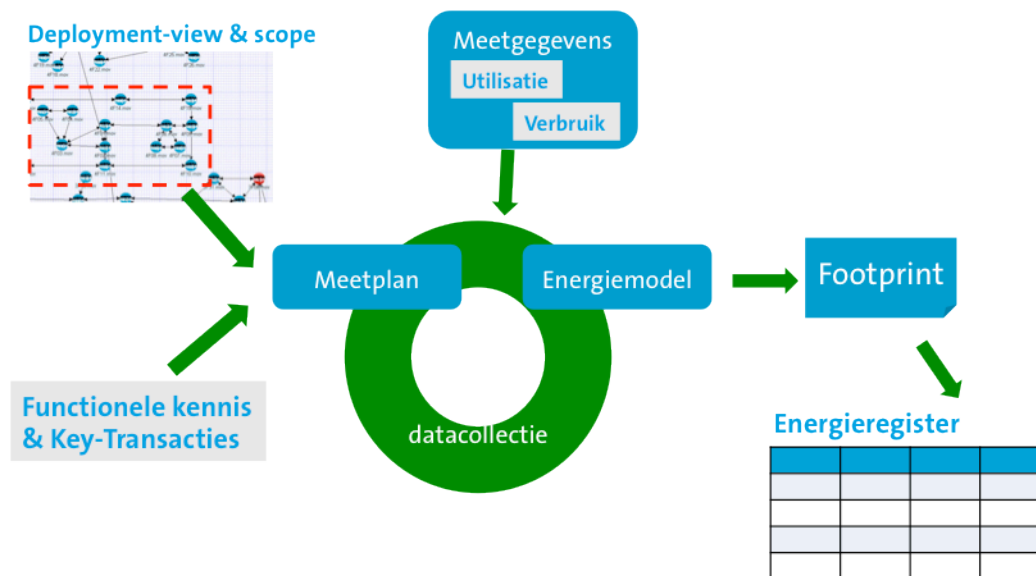
Tijdens de energievoetafdruk meting worden twee soorten gegevens verzameld: de **gebruiksdata**, bijvoorbeeld het aantal business transacties dat een systeem heeft verwerkt, en de **verbruiksdata** van de daarvoor benodigde infrastructuur.

Voor de gebruiksdata is het nodig om (op een hoog niveau) de business transacties waaraan de applicatie zijn bestaansrecht ontleent te identificeren: de is de hoofdtransactie. Dit kan bijvoorbeeld het *streamen* van een video of het verwerken van een aanvraagformulier zijn.

De energie voor de dienst wordt uiteindelijk verbruikt door hardware componenten. Voor het bepalen van het energieverbruik moeten de hardware componenten, die nodig zijn om de dienst te leveren, in kaart worden gebracht en het elektriciteitsverbruik van de componenten worden gemeten. Hiervoor is naast een inventarisatie, ook een scoping proces nodig: de afbakening welke deel van de resources wel of niet kan worden toegerekend aan de dienst. Zo kan er bijvoorbeeld worden besloten dat de servers van de testomgeving niet mee worden gerekend, maar de servers van de uitwijk-locatie wel.

1.2.2 Hoe verloopt de energie-voetafdruk bepaling?

Het energie-voetafdruk proces is op hoofdlijnen weergegeven in de volgende afbeelding.



De bepaling van een energie-voetafdruk bestaat uit de volgende activiteiten:

- Het bepalen van een hoofdtransactie
- Het bepalen van de juiste scope
- Het maken van een meetplan
- Het maken van een energiemodel
- Het uitvoeren van het meetplan en het verzamelen van de data
- Het definitief vaststellen van de resultaten

De doorlooptijd van het traject ligt typisch tussen de 6 tot 8 weken, maar is in grote mate afhankelijk van hoe makkelijk de metingen van de productiesystemen kunnen worden verkregen. Bij de uitvoering van de stappen zijn vaak verschillende rollen binnen een organisatie betrokken. Zo is er voor het vaststellen van de hoofdtransacties vaak kennis van de systeemarchitectuur nodig. Voor een begrip van de onderliggende infrastructuur en voor het verzamelen van de energie verbruiksgegevens zal er samengewerkt moeten worden met systeembeheer.

In het vervolg van dit document worden de activiteiten kort toegelicht.

Het bepalen van een hoofd transactie.

Bij het bepalen van de hoofdtransactie is het belangrijk dat er een goed begrip is van de werking van de applicatie. Het is gewenst om alle activiteiten binnen de applicatie te relateren aan de gekozen hoofdtransactie, zodat het gebruik eenvoudig inzichtelijk kan worden gemaakt. Vaak zijn de hoofdtransacties al geïdentificeerd en wordt er al op transactie-niveau gerapporteerd naar de eigenaren van de applicatie. Soms kan het noodzakelijk zijn onderscheid te maken tussen verschillende soorten transacties omdat het systeem verschillende diensten levert. Voor de koppeling met de energieverbruiksdata is het noodzakelijk dat de verwerkte transactie-aantallen met voldoende granulariteit over tijd beschikbaar zijn.

Het bepalen van de juiste scope.

Voor goede, herhaalbare resultaten van de energie-voetafdruk is het belangrijk om een duidelijke scope te bepalen. Het basis-idee achter de energie-voetafdruk is dat elke computing resource die nodig is voor het draaien van de applicatie (lees: leveren van de dienst) moet worden meegerekend. De output van de scope bepaling is een lijst met resources. Dit zijn normaal gesproken servers, maar ook stukken van het netwerk of bijvoorbeeld een beeldscherm of SAN.

Het maken van een meetplan.

Het meetplan is in principe een lijst van gegevens die moet worden verzameld voor een succesvolle energie-voetafdruk bepaling. Hierin staat wat er waar, wanneer en door wie gemeten moet worden om het energiemodel voor de applicatie te kunnen invullen. Er moet voor elke hardware resource in de scope een plan bestaan hoe de verbruiksgegevens gemeten of ingeschat kunnen worden.

Op het meetplan staan:

- Het type meting (utilisatie-, verbruik- of attributie-data).
- Voor welke resources de metingen zijn (bijv. welke machines).
- Wie de data moet verzamelen en wanneer deze beschikbaar is.
- Over welke periode en met welke fijnmazigheid de data wordt verzameld.

Het maken van een energiemodel.

Het energiemodel is het rekenmodel waarmee middels de metingen de energie-voetafdruk wordt uitgerekend. Het basisidee van het model is, dat het totale energieverbruik van de applicatie wordt opgebouwd uit het energieverbruik van alle componenten ervan. Dit kan al met behulp van een eenvoudige spreadsheet. De vier indicatoren worden verkregen door het combineren en aggregeren van de onderliggende meetgegevens. De verbruiksgegevens over tijd worden vergeleken met de transactieaantallen.

Het uitvoeren van het meetplan en het verzamelen van data.

De data collectie fase is in principe het uitvoeren van het meetplan. Dit is een iteratief proces. Het is belangrijk te beseffen, dat het tijdens een metingen nodig kan zijn zowel het meetplan als ook het energiemodel aan te passen naar aanleiding van problemen of nieuwe inzichten tijdens de data collectie. Pas bij een tweede of derde hermeting kunnen het meetplan, het energiemodel en de beschikbare data goed op elkaar aansluiten. Over het algemeen moet de datacollectie pragmatisch worden uitgevoerd. Als gegevens niet of alleen met grote inspanning te meten zijn kan worden overgegaan op schattingen of het gebruik van default waardes. Bij het gebruik van

default waarden en schattingen geldt de regel dat schattingen ‘pessimistisch’ moeten zijn. Het uitgangspunt dat het systeem **niet** energie-efficiënt is ingericht.

Het definitief vaststellen van de resultaten.

Aan het einde van het traject wordt het energiemodel met de daarin voorkomende berekeningen en resultaten definitief gemaakt. Er wordt gekeken of de richtlijnen zijn gevolgd en de data volledig is. Hiervoor wordt er een 'verantwoording' geschreven die de genomen keuzes en de aannames expliciet maakt. Door middel van deze verantwoording moet het mogelijk zijn de resultaten aan de hand van de beschikbare meet-data te reproduceren. Na de definitieve vaststelling kan de energie-voetafdruk bijgeschreven worden in het register, de Software Energy Footprint Index (SEFindex)[10].

1.3 Overeenkomsten en verschillen met andere methodes

Er zijn andere methodes bekend, waarmee energieverbruik of milieubelasting kan worden gemeten. In deze paragraaf wordt beschreven hoe de energie-voetafdruk zich verhoudt tot andere methodes om de energie-efficiëntie of de milieubelasting van systemen te meten.

1.3.1 Levenscyclusanalyse (LCA)

Levenscyclusanalyse (LCA) (ook wel Wieg tot graf analyse genoemd) is een methode om de totale milieubelasting te bepalen van een product gedurende de gehele levenscyclus. Dit wil zeggen: de winning van de benodigde grondstoffen, de productie, het transport, het gebruik en afvalverwerking (definitie van Wikipedia). De LCA is geformaliseerd in de ISO 14040-serie standaarden. De doelstelling van de energie-voetafdruk is in grote lijnen vergelijkbaar met LCA, namelijk het resourceverbruik voor een product/dienst integraal in kaart te brengen op een reproduceerbare manier.

De grootste verschillen zijn:

- De energie-voetafdruk richt zich alleen op het energieverbruik van een draaiend systeem. Niet op de milieubelasting bij de ontwikkeling van de software of de productie van de hardware. De voetafdruk methode kan wel fungeren als een methode om de gebruiksfase binnen een groter LCA traject in kaart te brengen.
- Omdat elektriciteit de dominante energiebron bij gebruik van software, is richt de energie-voetafdruk zich alleen op energieverbruik. Er bestaan andere metrieken, zoals de CUE en WUE [3] waarmee bijvoorbeeld het waterverbruik binnen een datacenter kan worden beoordeeld.
- De energie-voetafdruk is ontworpen als een *light-weight* methode, reproduceerbaar en gestructureerd, maar met zo weinig mogelijk procedurele overhead.

1.3.2 Data Center energy Productivity (DCeP)

De DCeP [4] is een metriek van The GreenGrid die de hoeveelheid nuttig werk die binnen een datacenter wordt verricht ('productivity') relateert aan de verbruikte energie. The GreenGrid heeft het initiatief voor deze metriek genomen omdat de succesvolle PUE metriek een belangrijk deel van de IT stack (namelijk de servers zelf) buiten beschouwing laat en niet zegt of er met de bestede energie wel nuttig werk wordt verricht. De doelstelling van de DCeP metriek heeft veel overeenkomsten met de energie-voetafdruk. Hoewel The GreenGrid als sinds 2009 probeert de metriek te formuleren en operationeel te maken is de invulling echter nog geheel vrijblijvend. Bij bepaling van de DCeP wordt voorgesteld om per applicatie een 'unit of work' vast te stellen, te

meten en deze op datacenter niveau te aggregeren. De voornaamste verschillen met de energievoetafdruk zijn:

- De DCeP is gericht op bepaling van efficiëntie op data-center niveau. Energieverbruik in andere datacenters en tussen datacenters (op internet) die nodig zijn om bepaalde functionaliteit aan te bieden blijven daardoor onderbelicht.
- Er zijn geen richtlijnen om energieverbruik van gedeelde hardware of infrastructuur toe te schrijven aan de verschillende applicaties. Beoordeling van efficiëntie op applicatie-niveau (het niveau waar software ontwikkelaars en -eigenaren invloed op hebben) is daardoor niet mogelijk.
- De geaggregeerde berekening per datacenter maakt het niet mogelijk om datacenters als geheel of applicaties onderling te vergelijken.

2 Guidance voor producers

2.1 Richtlijnen

2.1.1 De Hoofdtransactie(s)

Een systeem wordt gebouwd om functionele taken te verrichten, de zogenaamde transacties. Voor een goed begrip van een systeem is het belangrijk om de kern van de functionaliteit te bepalen in de vorm van de hoofdtransactie (de **'unit of useful work'**). De gekozen hoofdtransactie wordt gebruikt als eenheid voor de hoeveelheid door het systeem verrichte werk. Bijvoorbeeld bij een core banking systeem is de hoofdtransactie het verwerken van een overboeking en voor een e-mailserver het versturen van een bericht. De overige transacties en functionaliteit, zoals rapportages, staan over het algemeen in dienst van de hoofdtransactie.

Het is belangrijk dat er een hoofdtransactie wordt gekozen die goed kan worden gemeten, dat de duur van een transactie beperkt is en dat tijdens de looptijd van de transactie het systeem continu 'actief' is. Het doel van de metingen is immers het aantal verwerkte transacties te relateren aan het energieverbruik. Bij transacties die uren of dagen duren ontbreekt deze relatie vaak. Voor de bepaling van de RE is het soms nuttig zijn om een andere, **technische** transactie te gebruiken als de 'unit of work' van de applicatie in plaats van de echte business transactie. Bij een hypotheekstelsysteem kan men bijvoorbeeld kiezen voor 'hypotheek aanvraag indienen' als business transactie voor AE en ET, terwijl voor het bepalen van de RE een specifiek web-request wordt genomen.

De volgende richtlijnen kunnen worden gebruikt bij het vaststellen van de hoofdtransactie:

- Het systeem ontleent zijn bestaansrecht aan de hoofdtransactie. Reduceer waar mogelijk het aantal hoofdtransacties tot één.
- De transactie moet begrijpelijk zijn voor de business. Het is **functionaliteit** die wordt aangeboden en is in het algemeen geen low-level technische transactie.
- De transactie is representatief voor de andere transacties.
- De transactie is niet te groot.
- De hoeveelheid transacties die het systeem verwerkt per tijdseenheid moet meetbaar zijn.

2.1.2 De Scope

Het basisidee achter de energie-voetafdruk is dat elke computing resource die nodig is voor het draaien van de applicatie moet worden meegerekend. Het weglaten van delen van de infrastructuur heeft invloed op de metingen en de resultaten.

Het vaststellen van de scope gebeurt op twee manieren:

- Inclusie: het in kaart brengen en meetellen van alle relevante resources.
- Exclusie: het buiten scope plaatsen van specifieke resources, zoals bijvoorbeeld een testserver.

De energie-voetafdruk beperkt zich op dit moment alleen tot het server gedeelte van een applicatie. De reden hiervoor is nader toegelicht in de Appendix. Dit betekent, dat de energie bepaald wordt vanaf de 'binnenkomst' van een 'verzoek' in het datacenter totdat een mogelijke response

het datacenter weer verlaat. Desktop computers, mobile devices, printers en monitoren **aan de kant van de aanvrager** vallen daardoor uit scope.

De volgende vragen kunnen helpen bij het bepalen van de scope:

- Is een resource vast geclaimd of kan de resource naar behoefte bij- en uitgeschakeld worden?
- Worden de resources gedeeld met andere applicaties?
- Worden diensten afgenomen van andere systemen?
- Welke essentiële secundaire processen zoals fail-over, monitoring en backup zijn er ingericht?
- Welke randapparatuur zoals monitors of specifieke hardware worden gebruikt?
- Welke algemene infrastructuur componenten zoals network en storage worden gebruikt?

De scope heeft een grote invloed op het resultaat van de voetafdruk bepaling. Afhankelijk van de doelen van de energie voetafdruk kunnen de keuzes hieromtrent afwijken.

Voor het maken van een herhaalbare meting en een betere vergelijkbaarheid van het resultaat is het belangrijk de volgende regels in acht te nemen:

Buiten scope

- Neem alleen de productieomgeving in beschouwing. Ontwikkel- test- en acceptatie-omgevingen en leeromgevingen voor gebruikers vallen buiten scope.
- Periferie hardware, zoals printers, vallen buiten scope.
- Client installaties vallen buiten scope. Dit omvat ook beeldschermen van desktop PC's.
- Het netwerk verkeer vanaf de client/afnemer tot aan de entry-point van de service vallen buiten scope.
- De energiebepaling gaat tot het publieke elektriciteitsnetwerk ('het stopcontact'), verlies in het publieke elektriciteitsnetwerk valt buiten scope.

(zie de Appendix voor de motivatie om de client en het netwerk tot de ingangspunt van de service buiten de scope te laten.)

Binnen scope

- Eventuele uitwijk-omgevingen behoren tot de productieomgeving.
- Netwerken, zowel intern als ook extern netwerk. Ook verkeer over internet, inclusief firewalls en eindpunten voor bijvoorbeeld encryptie. Het netwerk tussen de afnemer en de entry point valst buiten scope.
- Onderdelen van de applicatie die niet direct deelnemen aan de hoofdtransactie.
- Infrastructuur voor het maken van back-ups.
- Management en monitoring infrastructuur. Bijvoorbeeld de hypervisor voor virtuele omgevingen.
- Inefficiënties in het datacenter vallen binnen scope, net als het verbruik door overige datacenter-infrastructuur (HVAC etc.). Dit verbruik kan worden meegerekend via multiplicatie van het energieverbruik met de PUE factor.

2.1.3 De Deployment View

De deployment view kan worden gebruikt bij het bepalen van de scope en het vaststellen van het executie-pad van de hoofdtransactie door de applicatie. Het executie-pad kan worden gebruikt om te begrijpen hoeveel verkeer er tussen componenten over de netwerken gaat.

2.1.4 De Meetperiode

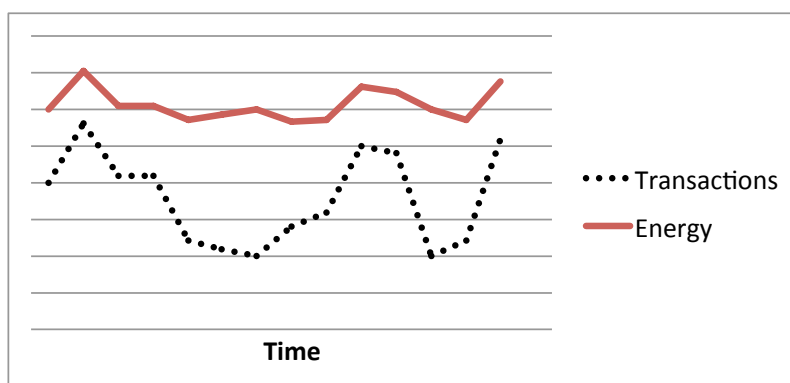
Om een representatieve energie-voetafdruk van een systeem te bepalen is het belangrijk dat de metingen **representatief** zijn voor de gehele werkingstijd van een systeem. Hoe lang de meetperiode daarvoor moet zijn hangt af van de karakteristieken van het systeem. Sommige systemen hebben een wekelijks terugkerend patroon en vertonen nauwelijks schommelingen gedurende het jaar. In dat geval is het voldoende om de energie-voetafdruk te bepalen op basis van een meetperiode van een week. Soms is er een piek in een bepaalde maand van het jaar. In dat geval zal de meetperiode de bewuste maand moeten bevatten. De maximale meetperiode van de energie-voetafdruk is één jaar.

Bij keuze voor kortere meetperiodes moet kunnen worden onderbouwd dat het verbruik en gebruik over de rest van het jaar voorspelbaar is op basis van de gemeten periode.

2.1.5 Het Energiemodel

Het energiemodel is het rekenmodel waarmee op basis van de meetdata de energie-voetafdruk wordt uitgerekend. Als voorbeeld is een energiemodel beschikbaar in de vorm van een spreadsheet.

Het basisidee van het energiemodel is, dat het totale energieverbruik van de applicatie wordt opgebouwd uit het energieverbruik van alle componenten. Dit moet gebeuren met voldoende granulariteit, zodat niet alleen het gemiddelde over de hele meetperiode bekend is, maar ook de fluctuaties zichtbaar zijn. Parallel aan de verbruiksdata wordt ook data over de belasting verzameld. Hieronder wordt verstaan hoeveel gebruik op een gegeven moment van het systeem wordt gemaakt. Door correlatie van deze twee soorten data kan een grafiek zoals hieronder worden verkregen



Figuur 1: Energieverbruik tegenover gebruik over tijd

2.1.6 Annual Energy Consumption (AE)

Theorie:

De AE (Annual Energy consumption) is het totale energieverbruik van alle hardware componenten die voor de applicatie nodig zijn (voor zover deze binnen de scope vallen). In principe moet het energieverbruik van de betrokken hardware (bij gedeelte hardware, na attributie van het aan

de applicatie toe te schrijven gedeelte) gedurende een jaar worden uitgelezen en bij elkaar worden opgeteld. Technisch is dit de integraal van hoogfrequente powermetingen gedurende het hele jaar.

Praktijk:

In de praktijk ontbreekt echter vaak de bemetering van de systemen en moet er een pragmatische oplossing worden gevonden voor het doen van energiemetingen. Dat kan op verschillende manieren:

- Doorvoeren van energiemetingen over een kortere periode en extrapolatie naar het hele jaar (zie sectie over de meetperiode)
- Gebruik van een lagere frequentie bij het doen van powermetingen (bijv. eens per uur) en het lineair interpoleren van de resultaten.
- Gebruik van een proxy om het energieverbruik in te schatten. Vaak is dat een energiewaarde van het typeplaatje of een referentiemeting in combinatie met de CPU verbruiksstatistieken.
- Gebruik van default referentiewaardes, zoals het gemiddelde verbruik van een server.

Gebruik van deze oplossingen komt de precisie meestal niet ten goede, in de verantwoording moet worden aangegeven welke meetstrategie is gevolgd.

2.1.7 Energy Consumption per Transaction (ET)

Theorie:

Het totale energieverbruik van het systeem in een jaar (= AE) gedeeld door het totale aantal (business-)transacties in dat jaar.

Praktijk:

Zie secties over de AE en het meten van de systeembelasting over pragmatische aspecten die een rol spelen.

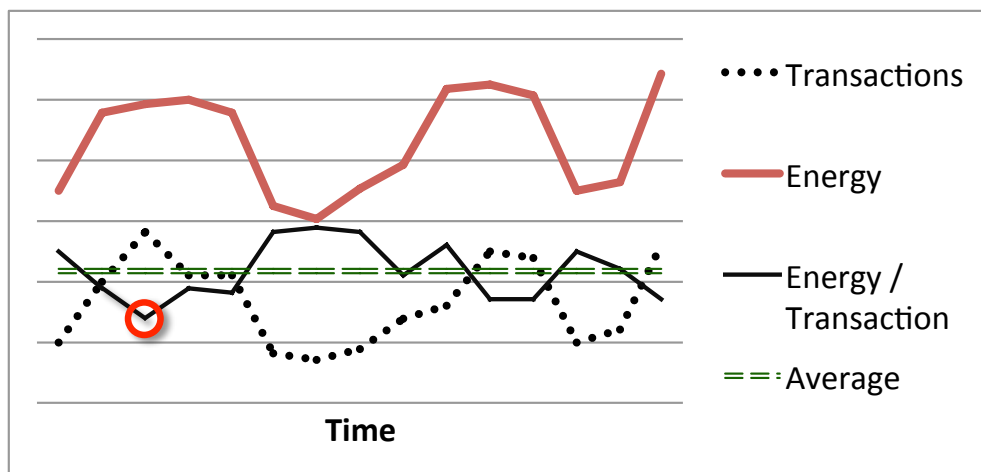
2.1.8 Relative Efficiency (RE)

Theorie:

Het energieverbruik per transactie in de meest efficiënte periode (E_{opt}) gedeeld door de gemiddelde energie per transactie (ET). De waarde wordt uitgedrukt als percentage:

$$0 \% \leq RE \leq 100 \%$$

De transactiedate en de bijhorende verbruiksdata over tijd worden naast elkaar gezet. Voor elk meetpunt wordt de energie per uitgevoerde transactie bepaald. De laagste energie per transactie is E_{opt} . Het aantal beschikbare meetpunten hangt af van de minimale gemeenschappelijke granulariteit van transactielog en energiedata.



Figuur 2: De RE is de verhouding van het optimum (E_{opt}) en het gemiddelde (Average).

Praktijk:

- Indien de verkregen energiedata te volatiel is, moet de granulariteit van de metingen verhoogd worden om een betere correlatie met de transactiebelasting te verkrijgen.
- Soms is de energieverbruiksdata over de hele meetperiode niet te relateren aan transactiebelasting-data. Een mogelijke conclusie is dan, dat de schommelingen in energieverbruik door andere processen worden gedomineerd en de eigenlijke transactieverwerking er niet toe doet. In dat geval kan ervan uitgegaan worden dat het energieverbruik per transactie constant is (namelijk het gemiddelde: de ET).

Zelfs bij een constant energieverbruik (werkelijk gemeten of aangenomen) is er vaak wel een schommeling in het aantal transacties te meten. De E_{opt} wordt dan bereikt op het moment dat het hoogste aantal transacties wordt gemeten.

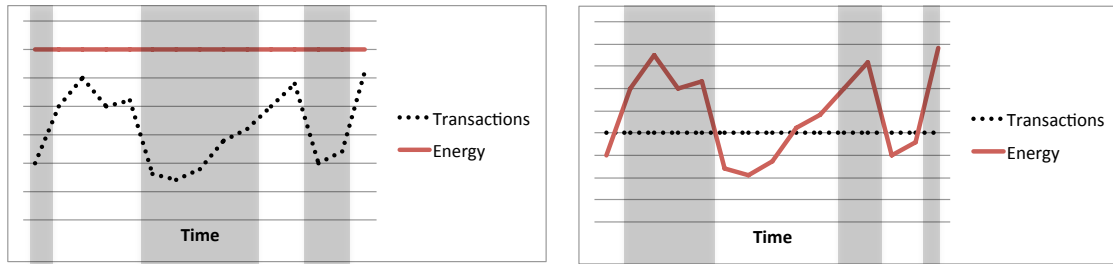
Een belangrijke beperking van de RE indicator:

De RE indicator gaat ervan uit dat schommelingen in belasting ook daadwerkelijk kunnen worden gemeten in de productieomgeving. Soms kan er een vertekend beeld ontstaan als tijdens de metingen geen grote variatie in belasting van het systeem optreedt.

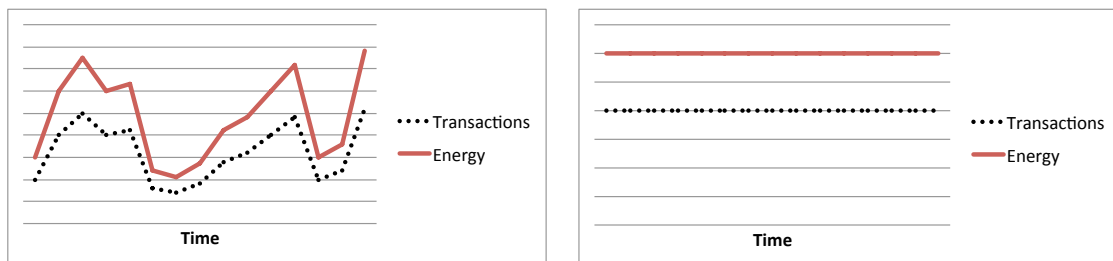
Als gevolg hiervan liggen gemiddeld en optimaal verbruik per transactie vaak dicht bij elkaar en krijgt het betreffende systeem een hoge RE. Dit komt doordat de RE op het productiesysteem wordt bepaald, waar het niet mogelijk is een kunstmatige variatie van de belasting (bijvoorbeeld door middel van een load-test) te simuleren.

Het is dus belangrijk om bij de RE waarde ook altijd de gemiddelde en de maximale transactiebelasting en de gebruikte meet-granulariteit aan te geven in de verantwoording.

In dit verband is ook de UT metriek interessant, omdat systemen met een constante belasting vaak met een constant lage (en meestal inefficiënte) utilisatie vertonen.



Figuur 3: Inefficiënte systemen. links: onelastisch energieverbruik bij veranderende belasting. Rechts: veranderend energieverbruik bij constante belasting. De grijze gebieden geven aan wanneer het systeem (relatief) inefficiënt draait.



Figuur 4: Systemen zonder evidente inefficiëntie. Links: het energieverbruik verandert met de belasting. Rechts: energieverbruik en belasting zijn constant. De energie efficiëntie zal dan in sterke mate bepaald worden door de utilisatie.

2.1.9 Utilisatie (UT)

Theorie:

Utilisatie van het systeem is in principe een aggregatie van percentages van resource utilisatie gewogen naar het energieverbruik. Alle resources die gereserveerd zijn voor de applicatie in kwestie, worden meegeteld. De utilisatie wordt per hardware component gemeten (bijvoorbeeld voor memory, network, cpu, disk, powerunit). Vervolgens wordt de utilisatie over de componenten per server en over alle servers heen geaggregeerd.

Voorbeeld: twee servers A en B waarvan de utilisatie van Memory, Disk en CPU wordt bepaald (we gaan er van uit dat er geen andere componenten zijn die energie verbruiken). De meetperiode is een dag.

Server A:

Memory: Gemiddelde utilisatie 20%, energieverbruik 400 Wh

Disk: Gemiddelde utilisatie 20% (gemeten in gebruikte disk capaciteit), energieverbruik 200 Wh

CPU: Gemiddelde utilisatie: 5%, energieverbruik 1400 Wh

Server B:

Memory: Gemiddelde utilisatie 50%, energieverbruik 500 Wh

Disk: Gemiddelde utilisatie 30% (gemeten in gebruikte disk capaciteit), energieverbruik 100 Wh

CPU: Gemiddelde utilisatie: 40%, energieverbruik 1900 Wh

Berekening Utilisatie:

Server A totaal energieverbruik: $400+200+1400 = 2000$ Wh

Wegingsfactoren Componenten: Memory= $400/2000=20\%$, Disk= $200/2000=10\%$,

CPU= $1400/2000=70\%$

Utilisatie server A = som van (utilisatie component * wegingsfactor) = $(20\% * 20\%) + (20\% * 10\%) + (5\% * 70\%) = 9,5\%$

Server B totaal energieverbruik: $500+100+1900 = 2500$ Wh

Wegingsfactoren Componenten: Memory= $500/2500=20\%$, Disk= $100/2500=4\%$,

CPU= $1900/2500=76\%$

Utilisatie server B = som van (utilisatie component * wegingsfactor) = $(50\% * 20\%) + (30\% * 4\%) + (40\% * 76\%) = 41,6\%$

Utilisatie totaal = (utilisatie A * wegingsfactor A) + (utilisatie B * wegingsfactor B) = $(9,5\% * 2000/4500) + (41,6\% * 2500/4500) = 27,3\%$

Praktijk:

Voor de bepaling van de UT is het noodzakelijk de utilisatiegraad van de hardware en software resources te verzamelen. Bij het merendeel van de systemen is CPU de grootste verbruiker van energie. Voor een initiële meting is het dus te verantwoorden, om te beginnen met het bepalen van de utilisatie op basis van alleen de CPU. Vaak worden deze gegevens al gemeten en gerapporteerd.

2.1.10 Meten van de systeembelasting

De belasting (of load) van een systeem wordt gemeten in termen van het aantal hoofdtransacties (of units of work). Deze data is te verkrijgen door middel van analyse van logdata van het hele systeem zoals een server log of een functionele log.

Bijzondere gevallen:

Soms is het moeilijk het nuttige werk van het systeem terug te brengen naar één transactiesoort. Zie sectie over het vaststellen van de hoofdtransactie voor richtlijnen. Als er gebruik wordt gemaakt van meerdere soorten business transacties voor een systeem, dan moeten deze business transacties relatief ten opzichte van elkaar gewogen worden.

Soms is de transactiedata niet beschikbaar over het hele jaar. Dan moet worden geëxtrapoléerd vanuit de beschikbare periode, deze extrapolatie moet worden verantwoord. Sommige systemen kennen bijvoorbeeld een piekbelasting in een bepaalde periode van het jaar.

Soms valt een transactie begin of einde buiten de periode van de energie-voetafdruk of buiten de meetperiode. In dat geval kan men een van de onderstaande scenario's volgen (mits goed onderbouwd).

De transacties gedeeltelijk meetellen (proportioneel tot opzichte van de mate van verwerking).

- Alleen gestarte transacties tellen.
- Alleen afgeronde transacties tellen.

2.1.11 Verbruiksdata

Onder verbruiksdata wordt verstaan de elektriciteitsconsumptie van de hardware componenten van het systeem. Naast het feit dat het gebruik van energiemeters nog geen standaard onderdeel is bij het systeembeheer zijn er twee uitdagingen:

Gedeelde resources: Hardware wordt gedeeld door meerdere applicaties, bijvoorbeeld een database server die wordt gedeeld tussen meerdere applicaties.

Niet bereikbare resources: Hardware is niet toegankelijk voor metingen, bijvoorbeeld als gebruik wordt gemaakt van een remote service of een netwerk infrastructuur van een andere organisatie.

De strategie bij de eerste uitdaging is het toepassen van attributie. Hierbij wordt een verdeel-sleutel bepaald om de energieconsumptie te kunnen toewijzen aan de verschillende applicaties.

Bij de tweede uitdaging kan vaak gebruik gemaakt worden van default waardes of schattingen. Een voorbeeld hiervan is het berekenen van het internet energieverbruik door middel van een parameter voor de internetverkeer energie-intensiteit. In paragraaf 2.2 staat een lijst van referentiewaarden voor verschillende defaults en schattingen.

2.2 Referentiewaardes

In de onderstaande tabel vindt u default waardes en andere parameters die in het energiemodel van een applicatie gebruikt kunnen worden.

Parameter	Waarde	Opmerking
Internet traffic energie intensiteit	0,5 kWh/GB	Gebaseerd op research van Koomey et al. [6] en een jaarlijkse correctiefactor
Default mobile lader verlies factor	2	De factor waarmee de capaciteit van de batterij vermenigvuldigd kan worden voor een indicatie van het energieverbruik.
Gemiddeld PUE voor een Europees data center	2,5	Gebaseerd op research van DigitalReality [7]
Active power consumptie van een laptop	20 W	Gebaseerd op [9], p39; Portable computer
Gemiddelde power consumptie van een volume server	200 W	Gebaseerd op EINS report [8], p 27
Gemiddelde power consumptie van een mid-range server	600 W	Gebaseerd op EINS report [8]. P 27
Active power consumptie van een desktop PC	60 W	Gebaseerd op [9]. P31; PC in active state
Active power consumptie van een LCD monitor	30 W	Gebaseerd op [9], p61; LCD monitor in active state
Default energie voor een externe service call	10 Wh	Gebaseerd op gemiddelde van het SEFindex register [10] (jan 2014)

2.3 Typische situaties

In deze sectie worden een aantal strategieën besproken voor het oplossen van veel voorkomende situaties tijdens het bepalen van een energie-voetafdruk.

2.3.1 SAN's

SAN's worden vaak door meerdere applicaties gedeeld. De totale elektriciteitsconsumptie van het SAN moet dus worden opgedeeld onder de gebruikers van het SAN. Hierbij zijn er meerdere indicatoren die als verdeelsleutel kunnen dienen. Afhankelijk van de situatie kan één (of meerdere) van de volgende indicatoren gebruikt worden.

- De gebruikte opslagcapaciteit per applicatie
- De exclusief gereserveerde opslagcapaciteit per applicatie
- Het aantal IOP's

Het totale energieverbruik van het SAN moet worden verdeeld. Het is dus ongeldig om alleen het gebruikte deel van het SAN aan te rekenen. Het ongebruikte gedeelte moet ook naar ratio worden toegekend aan de gebruikers.

2.3.2 Virtualisatie

Voor virtualisatie wordt een fysieke server gedeeld door één of meerdere virtuele machines, die niet voor dezelfde applicatie in gebruik hoeven te zijn. Directe energiebepaling op VM level is niet altijd mogelijk. De volgende leidraad kan worden gebruikt om een goede schatting te maken:

- Als alle virtuele machines op een fysieke server worden gebruikt door dezelfde applicatie, dan kan de fysieke machine in principe behandeld worden als een niet-gevirtualiseerde machine. Alle verbruikte energie is toe te rekenen aan de applicatie.
- Als de fysieke resources van de server vast toegekend zijn (bijv. een CPU per VM of een vaste hoeveelheid geheugen) dan kan het verbruik op fysiek niveau op basis van deze ratio worden opgedeeld.
- Als de resource consumptie variabel is, dan kan het gebruik van de meest energie-intensieve resource als verdeelsleutel worden genomen. Default is dat de CPU. Er moet dus worden bepaald hoeveel CPU cycles zijn gebruikt door de applicatie t.o.v. het totaal aantal gebruikte CPU cycles.

2.3.3 Internet verkeer

Voor verkeer via internet wordt een factor gehanteerd per hoeveelheid getransporteerde data. Deze factor gaat jaarlijks omlaag met $\pm 30\%$. We hanteren op dit moment een waarde van 0,05 kWh/GB. Het is belangrijk om een schatting te maken van het verkeer voor de applicatie dat via internet gaat. Hieronder valt bijvoorbeeld ook het data-verkeer ten gevolge van data-replicatie naar een uitwijk locatie.

2.3.4 Externe services

Voor een externe service-call hanteren we een default waarde voor het geval het energieverbruik van de service niet bekend zijn. De default is het gemiddelde uit het Energieregister voor vergelijkbare services.

2.4 Sanity Checks

Volgende vuistregels kunnen worden gebruikt om te toetsen of de verkregen data en de berekeningen van de aggregatie kloppen.

- Het verbruik van CPU is het algemeen hoger dan het verbruik van andere componenten.
- Het verbruik van een SAN is vaak klein gemeten in vergelijking met *compute nodes*.
- Virtuele servers zouden duidelijk minder verbruik moeten hebben dan fysieke machines met dezelfde capaciteit (\pm een factor 10). Dit is een effect van gemiddelde onder-utilisatie en het delen van gemeenschappelijke hardware. De overhead (bijv. power unit) wordt door meerdere VM's gedeeld.
- Hoge pieken in de resource utilisatie en energieverbruik moeten herleidbaar zijn naar gebeurtenissen. Dat kan een transactiepiek zijn of het gevolg zijn van andere processen, zoals bijv. backup.
- Gemiddelde utilisatie voor CPU hoger dan 50% is een uitzondering. Het is niet ongebruikelijk dat deze waarde rond de 5% ligt.
- Bij hardware die ouder is (> 3 jaar) is het niet ongebruikelijk dat het energieverbruik constant is.

3 Appendix

3.1 Verantwoording voor uitsluiting van de clientside

Waarom wordt alleen de serverside verbruik meegeteld in een energie-voetafdruk meting?

In principe is het model van de energie-voetafdruk ook toepasbaar op standalone apparaten of een opstelling met clients en servers. Uit praktische overwegingen en de vergelijkbaarheid van de resultaten is er voor gekozen om in de huidige versie van de energie-voetafdruk alleen het verbruik van de service backend (de servers) te meten. Redenen hiervoor zijn:

- **Client platformen kennen een grote diversiteit:** Een grote diversiteit aan client devices van waaruit de service wordt benadert en de snelle verandering in de client populatie (beweging naar mobile clients) maken het verkrijgen van referentiegetallen moeilijk. Zelden zijn clients daadwerkelijk beschikbaar voor metingen.
- **Attributie in een client omgeving is moeilijk te bepalen:** Clients zijn vaak in hoge mate gedeeld; terwijl in een applicatie service via de browser wordt gebruikt, draait vaak muziek in een player en de texteditor of de mailclient staat open etc.. Er zijn geen goede attributie strategieën om de toegeschreven energie aan de applicatie te bepalen. Attributievraagstukken bestaan ook bij randapparatuur zoals printers en monitoren.
- **Data beschikbaarheid is klein:** Het is vaak moeilijk om detailgegevens over requests en responses van de transacties te verkrijgen. Wie heeft met welke client wanneer en vanuit welke locatie de service gebruikt?

Dit betekent niet, dat het verbruik aan de client kant en in het netwerk, te verwaarlozen is. Met name bij toepassingen met veel data (multimedia) of veel client-side activiteit (games, location services) kan het geaggregeerde verbruik van de clients groot zijn in vergelijking tot het verbruik van de server infrastructuur. Dat geldt ook voor randapparatuur die altijd aan staat en dus continu energie verbruikt.

Een latere versie van de energie-voetafdruk zal wellicht richtlijnen aangeven hoe dit gedeelte van het verbruik van een applicatie in kaart moet worden gebracht.

3.2 Referenties

[1] Datacenter energy use in 2012 is about 1-2 % of electricity use & Internet uses about 10% of national electricity in the USA: Google summit 2013 'How green is the internet?'
Koomey: <https://www.youtube.com/watch?v=O8-LDLyKaBM&feature=youtu.be>

[2] Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency , August 2, 2007:
http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/EPA_Datacenter_Report_Congress_Final1.pdf?5635-3727

[3] Gartner estimates ICT causes 2% of global CO2 emissions; 26 april 2007:
<http://www.gartner.com/newsroom/id/503867>

- [4] Carbon Usage Effectiveness (CUE) and Water Usage Effectiveness (WUE)
<http://www.thegreengrid.org/Global/Content/TechnicalForumPresentation/2011TechForumCUEandWUE>
- [5] DCeP metric of The GreenGrid in: *Harmonizing Global Metrics for Data Center Energy Efficiency - Global Task force Reaches Agreement Regarding Data Center Productivity March 13, 2014*:
[http://www.thegreengrid.org/~media/Regulatory/HarmonizingGlobalMetricsforDataCenterEnergyEfficiency.pdf?lang=en, Outcome\(1\) en Appendix G – Data Center Energy Productivity \(DCeP\)](http://www.thegreengrid.org/~media/Regulatory/HarmonizingGlobalMetricsforDataCenterEnergyEfficiency.pdf?lang=en,Outcome(1)enAppendixG-DataCenterEnergyProductivity(DCeP))
- [6] Weber, C. L., Koomey, J. G. and Matthews, H. S. (. "The energy and climate change implications of different music delivery methods." *Journal of Industrial Ecology* 14.5 (2010): 754-769.
- [7] Europe Campus Survey Result: 'what is driving the EU datacenter market' Jan 2013 Digital reality..
<http://content.digitalrealty.com/sfc/servlet.shepherd/version/download/0688000000k70F>
- [8] Report from Network of Excellence in Internet Science, Bart Lannoo et al: *D 8.1. Overview of ICT energy consumption*. 5 feb 2013
http://www.internet-science.eu/sites/internet-science.eu/files/biblio/EINS_D8%201_final.pdf
- [9] B. Urban, V. Tiefenbeck , and K. Roth, —Energy consumption of consumer electronics in U.S. homes in 2010. | Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems (2011)
<http://www.ce.org/CorporateSite/media/Government-Media/Green/Energy-Consumption-of-CE-in-U-S-Homes-in-2010.pdf>
- [10] Software Energy Footprint Index (SEFindex). Currently hosted at:
<http://www.sefindex.org/>

3.3 Met dank aan

Deze energie-voetafdrukmethode en dit document is mede tot stand gekomen dankzij gesprekken met en input van Joris Gresnigt, Steven Luitjens, Dirk Harryvan, Wim Sijstermans, Frank Hartkamp en alle deelnemers van de gebruikersgroep.