



De CO₂-impact van opslag en gebruik van digitaal erfgoed

Met platform Delpher als casus

31 december 2021



netwerk
digitaal
erfgoed



COLOFON

Onderzoek en tekst: PHI Factory

Procesbegeleiding: netwerkgroep Green IT, met inhoudelijke medewerking van experts bij de Koninklijke Bibliotheek.

Dit is een uitgave van het Netwerk Digitaal Erfgoed, december 2021.

Meer informatie is te vinden op: netwerkdigitaalerfgoed.nl

Reacties zijn welkom via: info@netwerkdigitaalerfgoed.nl



**netwerk
digitaal
erfgoed**

SAMENVATTING

Instellingen op het gebied van cultuur, erfgoed, onderwijs en onderzoek vormen met elkaar het Netwerk Digitaal Erfgoed. Binnen dit netwerk en de daarin opgezette werkgroep Green IT is de wens ontstaan om te weten wat de milieu-impact is van de opslag en het gebruik van collecties van deze organisaties. Door hun digitale databeheer dragen de organisaties namelijk bij aan de energiebelasting op de aarde. Wat is de ecologische voetafdruk en hoe kan die zo klein mogelijk worden gemaakt?

Dit is onderzocht met een casus: het platform Delpher, beheerd door de Koninklijke Bibliotheek (KB). In Delpher zijn miljoenen gedigitaliseerde teksten uit Nederlandse kranten, boeken en tijdschriften te doorzoeken. De casestudy van Delpher is met name gericht op het gebruik van de servers waarop het platform draait. Ook is gekeken naar het gebruik van dit platform, om indirecte broeikasgasemissies van het verzenden van data in kaart te brengen. Hiervoor zijn de richtlijnen uit [‘The Green House Gas Protocol’](#) gehanteerd.

De totale CO₂-voetafdruk van Delpher in 2021 was 53 ton CO₂-equivalenten. Dit staat gelijk aan:



de opname van CO₂ van 2.650 bomen gedurende 1 jaar;



371 keer vliegen van Amsterdam naar Parijs;



de uitstoot van ruim 5 huishoudens (inclusief alle indirecte uitstoot van bijvoorbeeld gekochte spullen).

En ziet eruit als:



53 luchtballonnen van 200 m² gevuld met CO₂.

Servers verzorgen de rekenkracht en opslag die nodig is om een digitale collectie te huisvesten en beschikbaar te stellen. Deze servers zijn de kern van de CO₂-uitstoot. Dit komt zowel door het elektriciteitsverbruik, als door de indirecte CO₂-emissies van de productie van de servers. Door het inkopen van groene elektriciteit is de impact van Delpher beperkt.

De standplaats van de servers heeft een grote invloed op het totale elektriciteitsverbruik. Wordt data lokaal opgeslagen, dan is de kans groot dat het faciliteren van de servers (o.a. het koelen ervan) evenveel of zelfs meer energie verbruikt dan de servers zelf.

Er is gekozen om de digitale collectie van Delpher te verplaatsen van de KB naar een datacentrum bij het Overheids Data Center Belastingdienst Centrum Infrastructuur en Exploitatie (ODC B/CIE). Deze verhuizing zal naar verwachting per jaar het volgende besparen:

- 196.000 kWh (evenveel als 79 gemiddelde Nederlandse huishoudens in een jaar);
- 109 ton CO₂ (op basis van Nederlandse grijze elektriciteit).

Dit is net zoveel als wat 5500 bomen in een jaar uit de lucht halen. Waarom hier met grijze stroom wordt gerekend wordt in het rapport verder uitgewerkt.

Door de data van Delpher te verhuizen naar het colocatie datacentrum van het ODC B/CIE waar verschillende bedrijven hun servers huisvesten, is deze energiebesparing gerealiseerd. Dit komt door te kiezen voor efficiëntere hardware en door de energie-efficiëntie die een groot datacentrum levert op het gebied van faciliteiten.

Naast elektriciteitsverbruik kent de **hardware** van de servers een verborgen CO₂-impact. Deze impact is verdeeld in drie groepen hardware: de servers die de rekenkracht leveren voor Delpher, de modules met opslag waar de gegevens voor deze rekenkracht op staan, en de hardware waar de digitale collectie is opgeslagen.

Een situatie waarbij in één keer heel veel data verzonden wordt, is bij de **migratie** van digitaal erfgoed. Erfgoedinstellingen die hun data op een andere plek willen opslaan moeten rekening houden met dit extra energieverbruik. Bij Delpher zorgde dit voor zo'n 31 ton CO₂-uitstoot.

Naast de berekeningen van de uitstoot van de servers, hardware en datamigraties is in dit project ook gekeken naar het **gebruik** van Delpher zelf. Er is onderzocht wat het verbruik is als iemand een zoekactie uitvoert op het Delpher-platform of een bestand opent of downloadt.

Het datagebruik bij het openen van kranten en het bekijken van (instructie)video's vraagt het meeste dataverkeer. Daarbij valt het op dat van alle media de objectpagina's (waar een afbeelding van bijvoorbeeld een krantenpagina in detail bekeken kan worden) het grootste deel van het dataverbruik veroorzaken. Om het datagebruik terug te dringen kan de KB de objectpagina's o.a. op het platform in lagere resolutie aanbieden of de gebruiker meer opties geven om brede zoekacties ('doorzoek alles') te vervangen door meer gerichte zoekacties.

Andere maatregelen die niet binnen de scope van de casus zijn onderzocht, maar wellicht bij kunnen dragen aan het inperken van de CO₂-voetafdruk zijn:

- Voorkomen en verwijderen van duplicaten: het kan gebeuren dat delen van een collectie dubbel opgeslagen zijn. Door deze duplicatie eruit te halen, wordt voorkomen dat de digitale collectie onnodig groot wordt.
- Afspraken maken tussen erfgoedinstellingen om duplicatie te voorkomen.

De bevindingen rond deze casus laten zien, dat de uiteindelijke CO₂-impact afhankelijk is van veel verschillende factoren. Vooral de gekozen opslag van digitaal erfgoed (servers, de hardware en de omgeving van de opslag) bepaalt de grootte van de CO₂-uitstoot. Er zijn daarbij verschillende maatregelen mogelijk om als erfgoedinstelling deze impact te verkleinen.

Inhoud

SAMENVATTING	3
1. INTRODUCTIE.....	6
1.1 <i>De opdracht.....</i>	6
1.2 <i>Afbakening</i>	6
1.3 <i>Over Delpher</i>	7
1.4 <i>Terminologie en context.....</i>	7
2. REKENMETHODE.....	8
2.1 <i>Directe en indirecte uitstoot.....</i>	9
2.2 <i>Rekeneenheid.....</i>	9
3. RESULTATEN CASESTUDY DELPHER	10
3.1 <i>Overzicht CO₂-voetafdruk.....</i>	10
3.2 <i>Energieverbruik servers.....</i>	12
3.3 <i>Hardware</i>	16
3.4 <i>Datatransmissie</i>	17
3.5 <i>Gebruik Delpher</i>	18
4. AANBEVELINGEN	21
4.1 <i>Servers.....</i>	21
4.2 <i>Omgeving servers.....</i>	21
4.3 <i>Collectie en gebruik.....</i>	21
BRONNEN EN EINDNOTEN	23

1. INTRODUCTIE

Organisaties stoten met hun bedrijfsvoering een grote hoeveelheid CO₂ uit. Denk alleen al aan het energieverbruik van het gebouw en het transport van het personeel en alle goederen. Dat is echter nog lang niet alles. Organisaties hebben nog veel meer invloed op de mondiale CO₂-uitstoot dan ze denken, namelijk bij alle materialen die ze inzetten bij de bedrijfsvoering. Deze impact wordt ook wel de 'verborgen impact' genoemd. Dit is de CO₂-uitstoot die veroorzaakt wordt in de gehele levenscyclus van een product (van de winning van grondstoffen, fabricage en transport, tot gebruik en verwerking na gebruik).

Om inzicht te geven in de verborgen impact heeft [PHI Factory](#) de PHI Impact Calculator ontwikkeld. Deze tool berekent met zorgvuldig gekozen normen en kengetallen (gebaseerd op wetenschappelijke data- en life cycle analyses van materialen) de verborgen impact die de bedrijfsvoering van een organisatie heeft. Om het duurzaam potentieel van digitaal erfgoed in kaart te brengen, is het van belang om te weten wat de CO₂-impact is van opslag en gebruik van digitaal erfgoed, en met welke maatregelen deze impact kan worden beperkt.

1.1 De opdracht

Organisaties op het gebied van cultuur, erfgoed, onderwijs en onderzoek vormen met elkaar het Netwerk Digitaal Erfgoed. Binnen dit netwerk en de werkgroep Green IT is de wens ontstaan om meer te weten over het meten van de CO₂-impact van de opslag en het gebruik van collecties van deze organisaties. Door hun digitale databeheer dragen ze namelijk bij aan de energiebelasting op de aarde. Wat is de ecologische voetafdruk en hoe kunnen ze deze zo klein mogelijk maken? Dit is onderzocht met een casus: het platform Delpher, beheerd door de Koninklijke Bibliotheek (KB). In Delpher zijn miljoenen gedigitaliseerde teksten uit Nederlandse kranten, boeken en tijdschriften te doorzoeken. De casus kan dienen als een best practice voor het erfgoedveld als het gaat om bewustwording, gedrag en cijfermatige onderbouwing van de CO₂-impact.

Deze cijfers leggen het fundament voor mogelijke vervolgstappen of maatregelen.

De doelstellingen van het project:

- bewustwording kweken rondom duurzame doelen en opslag bij erfgoed instellingen binnen het netwerk;
- cijfermatige onderbouwing waarmee je de voetafdruk van een erfgoedorganisatie in kaart kunt brengen aan de hand van een concrete casus.

1.2 Afbakening

Voor deze casestudy is het platform Delpher als uitgangspunt genomen. Hierbij is gekeken naar:

- elektriciteitsverbruik servers;
- elektriciteitsverbruik infrastructuur (zoals koeling);
- verborgen impact hardware;
- datatransmissie;
- gebruik van Delpher.

De servers waarop Delpher draait hebben lang bij de KB gestaan, maar worden nu verhuisd naar het Overheids Data Center Belastingdienst Centrum Infrastructuur en Exploitatie (ODC B/CIE). Ook is een kopie van de collectie bij het Nederlands Instituut voor Beeld en Geluid (NIBG) opgeslagen als back-up. De verhuizing naar het ODC B/CIE geeft veel inzicht in de verschillende factoren die een rol spelen bij de CO₂-voetafdruk en wordt daarom uitgebreid belicht.

In de meeste gevallen wordt een CO₂-voetafdruk bepaald voor één organisatie. Omdat Delpher de digitale collectie voor meerdere organisaties vormt, is de CO₂-voetafdruk verspreid over deze organisaties. Helaas was het niet mogelijk om op basis van gebruikersdata het aandeel per erfgoedorganisatie te bepalen. Dit betekent dat de resultaten in deze rapportage altijd op Delpher-niveau zijn weergegeven. Omdat de KB Delpher heeft ontwikkeld en het platform beheert, kunnen de resultaten als een onderdeel van haar voetafdruk worden geïnterpreteerd.

Voor het berekenen van de voetafdruk is zoveel mogelijk gekeken naar gegevens uit 2021. Waar nodig en mogelijk zijn deze geëxtrapoleerd naar een heel jaar, om de verschillende getallen in perspectief weer te geven.

1.3 Over Delpher

Delpher is een digitaal platform dat toegang biedt tot gedigitaliseerde teksten uit 2 miljoen kranten, 12 miljoen tijdschriftpagina's en meer dan 900.000 boeken. Deze documenten zijn zo gedigitaliseerd dat het mogelijk is om met zoektermen te zoeken, waarna Delpher de meest relevante teksten toont. In totaal gaat het om 120 miljoen gedigitaliseerde pagina's, samen goed voor 1,1 petabyte aan data (1,1 miljoen gigabyte).

Delpher is een initiatief van verschillende kennisorganisaties: Universiteit Groningen, Universiteit Leiden, Universiteit Utrecht, Universiteit van Amsterdam en de KB. De KB is jarenlang, samen met het NIBG in Hilversum, de plek geweest waar een kopie van de digitale collectie van Delpher stond opgeslagen op tape. Tot en met 2021 werd het platform Delpher gehost op de servers van de KB. Bovendien heeft hier een deel van de collectie (400 terabyte) bij de KB op harddisk gestaan, waardoor dit deel sneller beschikbaar was voor gebruikers dan via tape.

Ten tijde van het schrijven van dit rapport is de KB bezig de data van Delpher over te brengen naar een groot datacentrum van de overheid: het ODC B/CIE. Deze verhuizing heeft een groot effect op het elektriciteitsverbruik van de servers en geeft zodoende goede inzichten in de invloed van opslag en gebruik van het duurzaam beschikbaar stellen van een digitale collectie.

Delpher is te bereiken via www.delpher.nl.

1.4 Terminologie en context

In dit rapport worden diverse termen gebruikt die te maken hebben met CO₂-impact en elektriciteitsverbruik. Om deze termen goed te kunnen interpreteren worden de belangrijkste hieronder uitgelegd.

1.4.1 Elektriciteitsverbruik

Elektriciteitsverbruik wordt gemeten in kWh (kiloWattuur). Dit is de hoeveelheid elektriciteit die een apparaat met een vermogen van 1 kiloWatt verbruikt in 1 uur. Een vermogen van 1 kiloWatt staat gelijk aan 1.000 Watt. Ter vergelijking: een klassieke gloeilamp heeft een vermogen van 40 tot 60 kiloWatt, een stofzuiger 900, een waterkoker rond de 2 kiloWatt. Een waterkoker verbruikt dus in een half uur 1 kWh aan elektriciteit. 1000 kWh staat gelijk aan 1 MWh (MegaWattuur).

De servers van de KB verbruiken jaarlijks 242 MWh (of: 242.000 kWh), wat gelijkstaat aan het elektriciteitsverbruik van 98 gemiddelde Nederlandse huishoudens in een jaar¹.

1.4.2 CO₂-uitstoot

Verschillende broeikasgassen zorgen voor opwarming van de aarde. Om een vergelijking mogelijk te maken worden deze broeikasgassen omgerekend naar CO₂, het belangrijkste broeikasgas. De CO₂-voetafdruk van organisaties wordt uitgedrukt in kg CO₂.

Een kg CO₂ komt vrij bij:

- een autorit van ongeveer 5 km;
- het verbruik van ongeveer 2 kWh grijze elektriciteit;
- het produceren van 50 gram gehakt.

Een ton CO₂ (=1000 kg):

- wordt per passagier uitgestoten bij een vliegtuigvlucht van 8 uur;
- komt vrij bij het verbranden van 320 liter diesel;
- is de hoeveelheid CO₂ die jaarlijks wordt opgenomen door 50 bomen;

De gemiddelde Nederlander is verantwoordelijk voor ongeveer 10 ton CO₂ per jaarⁱⁱ. De totale uitstoot van Nederland bedroeg in 2020 165 megaton (165 miljoen ton) CO₂.

In dit rapport worden voor de leesbaarheid de termen CO₂-uitstoot, CO₂-voetafdruk en CO₂-impact gebruikt als synoniemen.

2. REKENMETHODE

Om de CO₂-voetafdruk van een organisatie te berekenen, is inzicht nodig in alle activiteiten die (indirect) broeikasgasemissies veroorzaken. Hierbij wordt niet alleen gekeken naar de emissies tijdens de activiteit van de organisatie zelf, maar ook naar de emissies die indirect het gevolg zijn van die acties. Dit is met name terug te leiden naar de aanschaf en het gebruik van producten. Hierbij wordt de gehele levenscyclus van deze producten in ogenschouw genomen.

Met levenscyclusanalyses (LCA's) wordt de milieu-impact van producten in kaart gebracht in de hele keten: van het winnen van grondstoffen, fabricage, transport en gebruik tot einde gebruik. In elke fase kunnen broeikasgassen worden uitgestoten, en het verschilt per product welke fase een grote bijdrage levert. Zo is de uitstoot van benzine het grootst tijdens het gebruik omdat op dat moment de broeikasgassen in de lucht komen. Bij een kilo rundvlees zijn er juist veel emissies eerder in de keten: bij het herkauwen stoot een koe methaan uit, wat een sterk broeikasgas is.

Voor ICT-middelen verschilt de milieu-impact sterk per product. Bij producten als batterijen en printplaten ontstaan er veel emissies bij het winnen van de grondstoffen, terwijl andere juist relatief veel emissies hebben in de gebruiksfase door een hoog elektriciteitsverbruik.

PHI Factory bepaalt de CO₂-voetafdruk van bedrijven door emissiekengetallen te koppelen aan de producten die gebruikt en ingekocht worden door organisaties. Figuur 1 geeft een uitwerking hiervan weer.

De emissiefactoren worden bepaald aan de hand van wetenschappelijke data in relatie tot de eenheid, volgens de 'Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions' van het 'Green House Gas Protocol'. Als wetenschappelijke bronnen worden onder meer het International Environmental Product Declaration Systemⁱⁱⁱ en het instrument Idemat^{iv} van de Technische Universiteit Delft^v gebruikt.

Elke organisatie kan zelf bepalen welke productgroepen, verantwoordelijk voor indirecte CO₂-emissies, zij meeneemt in de berekening. Een vergelijking tussen verschillende organisaties kan hierdoor een vertekend beeld opleveren. PHI Factory verzamelt steeds meer data van andere organisaties in de database om vergelijkingen steeds beter te kunnen maken.

De casestudy van Delpher is met name gericht op het gebruik van de servers waar het platform op draait. Ook is gekeken naar het gebruik van Delpher, om indirecte broeikasgasemissies van het verzenden van data in kaart te brengen.



Figuur 1: Rekenmethode CO₂-equivalenten voor de producten en diensten in het facilitaire domein (PHI Factory, 2019)

2.1 Directe en indirecte uitstoot

PHI Factory hanteert voor het meten van de CO₂-voetafdruk de richtlijnen uit 'The Green House Gas Protocol'. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen drie verschillende scopes:


- **Scope 1:** Directe CO₂-uitstoot. Deze wordt veroorzaakt door eigen bronnen die in het bezit zijn en onder beheer vallen van de eigen organisatie. Denk hierbij aan het verbruik van gas en koelmiddelen tijdens het gebruik van het gebouw.
- **Scope 2:** Indirecte CO₂-uitstoot. Energie en warmte die worden ingekocht. Deze emissies vinden buiten de organisatie plaats, maar kunnen wel direct aan haar worden toegewezen.
- **Scope 3:** Indirecte CO₂-uitstoot. Uitstoot die wordt veroorzaakt door ketenpartners ten behoeve van de bedrijfsvoering, zoals bij het winnen, produceren en transporteren van ingekochte producten.


De volledige CO₂-voetafdruk die in deze case-study in kaart is gebracht valt onder scope 2 en 3 (vanuit het perspectief van de KB).

Onder scope 2 valt de elektriciteit die de KB gebruikt. De rest van de emissies, zoals de verborgen impact van de hardware, het elektriciteitsverbruik bij het ODC B/CIE en het NIBG en het gebruik van Delpher, zijn allemaal scope 3-emissies. Om het overzichtelijk te houden zal in de verdere bespreking van de resultaten geen onderscheid gemaakt worden tussen de verschillende scopes.


2.2 Rekeneenheid

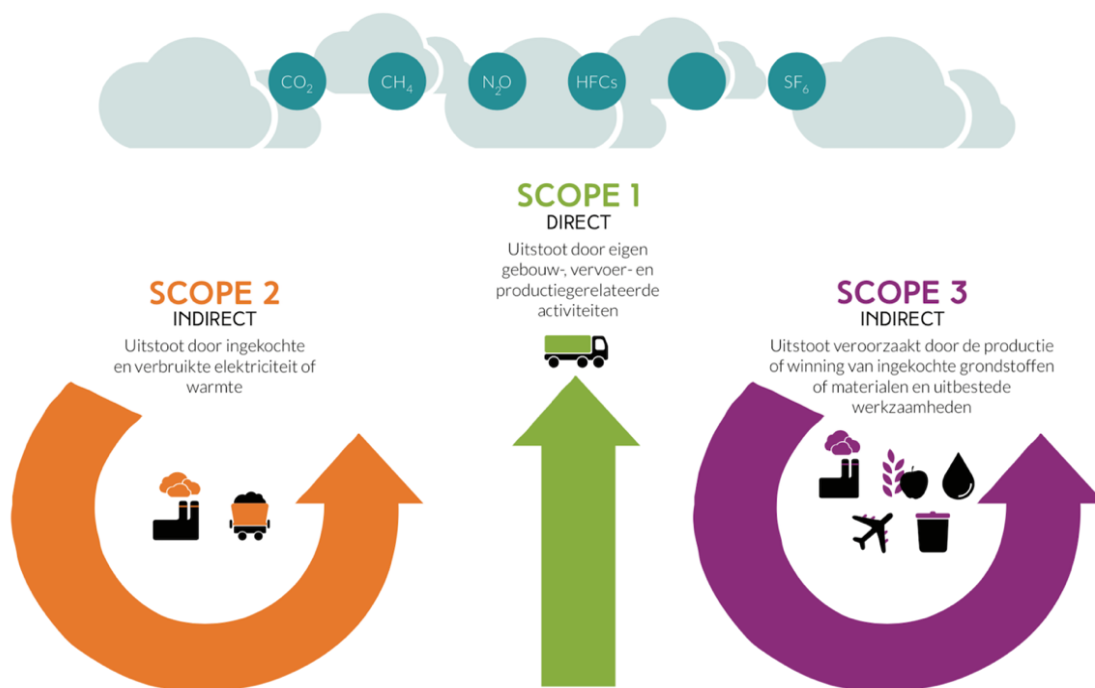
Als rekeneenheid worden CO₂-equivalenten (CO₂) gehanteerd in kg of tonnen. Eén ton is 1.000 kg CO₂ en staat gelijk aan:

 de opname van CO₂ van 50 bomen gedurende 1 jaar, of

 zeven vliegtuigvluchten van Amsterdam naar Parijs.

Eén ton CO₂ ziet eruit als:

 een luchtballon van 200 m² gevuld met CO₂. Dit is een ballon ter grootte van een voetbalveld.



Figuur 2: The Greenhouse Gas Protocol

3. RESULTATEN

CASESTUDY DELPHER

De totale CO₂-voetafdruk van Delpher in 2021 bedroeg 53 ton CO₂-equivalenten. Omdat in dat jaar de verhuizing van de servers is opgestart, is hierbij uitgegaan van de servers zoals die ingericht zijn in de nieuwe situatie, namelijk bij het ODC B/CIE. Deze 53 ton CO₂ staat gelijk aan:



de opname van CO₂ van 2.650 bomen gedurende 1 jaar;



371 keer vliegen van Amsterdam naar Parijs;



de uitstoot van ruim 5 huishoudens (inclusief alle indirecte uitstoot van bijvoorbeeld gekochte spullen).

En ziet eruit als:



53 luchtballonnen van 200 m² (ter grootte van een voetbalveld) gevuld met CO₂.



Figuur 3: Omvang 1 ton CO₂

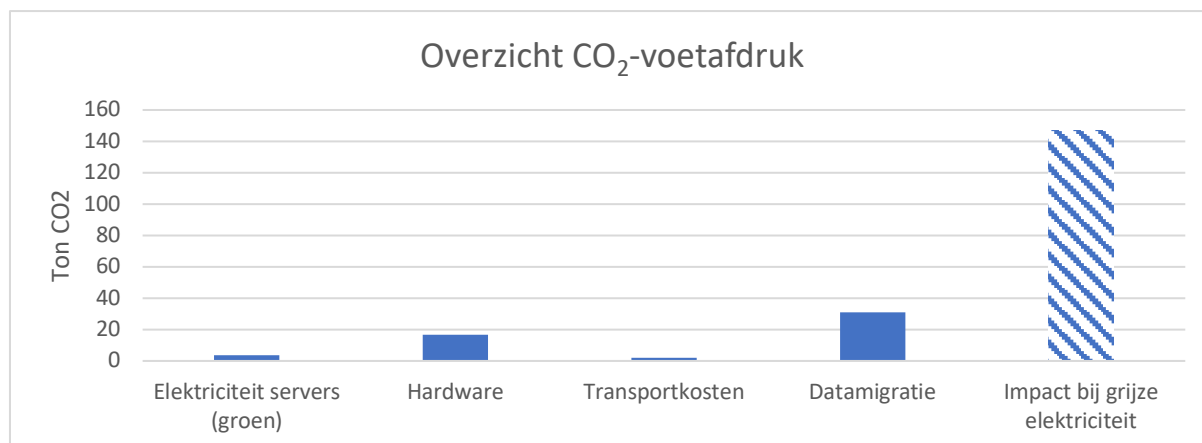
3.1 Overzicht CO₂-voetafdruk

De CO₂-voetafdruk van ICT-middelen ontstaat voornamelijk door twee factoren: de productie van de apparaten zelf en de elektriciteit die zij gebruiken. Welke van de twee de meest invloedrijke factor is, hangt af van de hardware die in het product zit. Het elektriciteitsverbruik van de servers van Delpher heeft de grootste (indirecte) impact en de KB heeft hier de meeste invloed op. Daarom zal hier de meeste aandacht aan worden besteed in dit rapport.

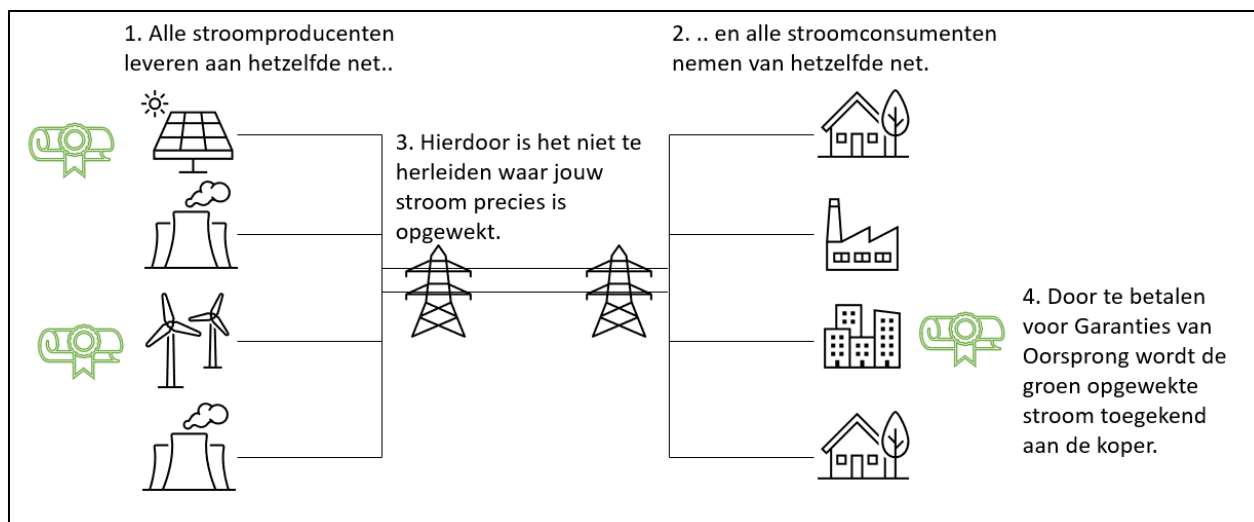
Figuur 4 bevat een overzicht van de CO₂-voetafdruk van Delpher. Het totaal van 53 ton CO₂-equivalenten is gebaseerd op de emissies van groene elektriciteit, waardoor de voetafdruk van het elektriciteitsverbruik relatief laag is. Ondanks het inkopen van groene elektriciteit, is energiebesparing nog steeds de beste manier om de indirecte CO₂-emissies te verminderen. In het overzicht is daarom ook de impact weergegeven die zou zijn gemaakt bij het inkopen van grijze elektriciteit. Waarom dit is, wordt hierna uitgelegd.

3.1.1 Energieverbruik en CO₂-impact

Het grootste deel van de broeikasgassen die de mens veroorzaakt komt door energieverbruik, zowel direct door het verbranden van fossiele brandstoffen (bijvoorbeeld in een auto) als in de vorm van elektriciteit. De energietransitie heeft als doel om energie duurzaam op te wekken en zo de uitstoot van broeikasgassen te beperken.



Figuur 4: Overzicht jaarlijkse CO₂-voetafdruk Delpher. De balk grijze elektriciteit draagt niet bij aan de totale voetafdruk van Delpher. Dit is ter indicatie wat de voetafdruk zou zijn als er grijze elektriciteit zou zijn ingekocht en wat de potentie is.



Figuur 5: Het inkopen van groene elektriciteit

Voor deze casestudy is met name elektriciteit belangrijk omdat de servers van Delpher veel stroom gebruiken. Indirect zorgt het elektriciteitsgebruik voor CO₂-uitstoot. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen grijze en groene elektriciteit.

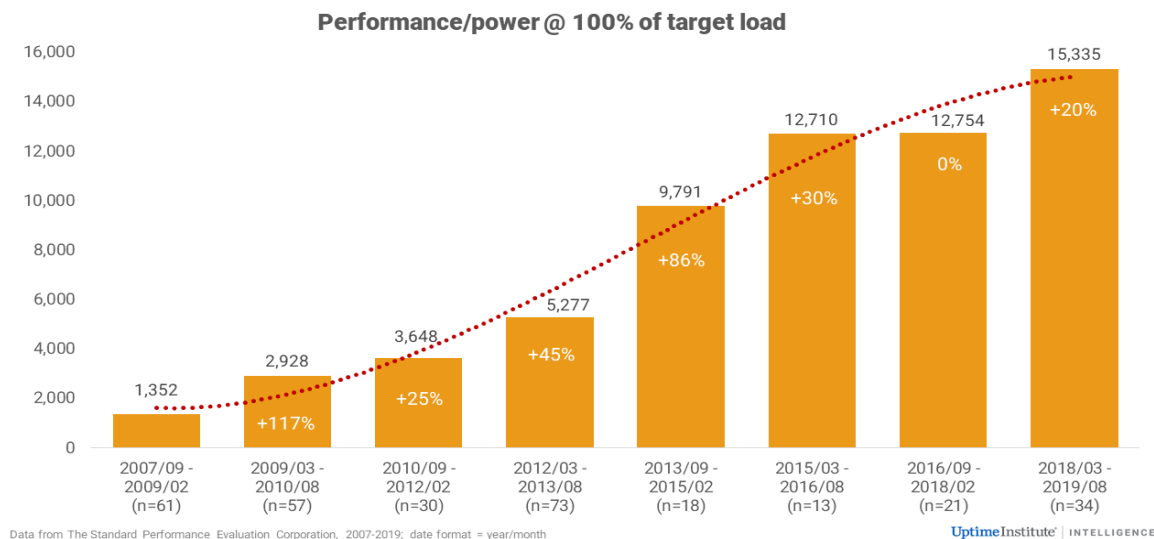
Grijze elektriciteit staat voor elektriciteit die wordt opgewekt uit fossiele bronnen, zoals kolen of gas. Eén kWh grijze elektriciteit veroorzaakt gemiddeld 0,476 kg CO₂-uitstoot bij de energiecentrale en nog eens 0,080 kg indirecte CO₂-uitstoot voor het winnen en transporteren van de fossiele brandstoffen. Groene elektriciteit wordt opgewekt uit een duurzame bron, waardoor de CO₂-uitstoot een heel stuk lager is. Slechts een klein deel indirecte CO₂-uitstoot kan hieraan worden toegewezen. Deze uitstoot ontstaat bij de bouw van windmolens (0,014 kg CO₂ per kWh) en zonnepanelen (0,093 kg CO₂ per kWh) en wordt toegerekend aan de opgewekte elektriciteit.

Voor de servers waarop Delpher draait wordt groene elektriciteit ingekocht met Garanties van Oorsprong. Deze koppelen de opwekking van groene elektriciteit door zonnepanelen en windturbines aan een eindgebruiker (zie figuur 5). Daarom wordt er voor de totale CO₂-impact van Delpher gerekend en gerapporteerd met de waarde voor groene elektriciteit. Echter, dit ligt in werkelijkheid iets ingewikkelder, omdat de elektriciteitsmarkt complex is.

Omdat alle elektriciteit in Nederland over hetzelfde net getransporteerd wordt, is er geen verschil tussen de elektriciteit die bij afnemers van groene of grijze elektriciteit uit het stopcontact komt. Alle opgewekte elektriciteit wordt als het ware op een hoop gegooid, waar afnemers vervolgens uit putten.

Totdat 100% van de Nederlandse elektriciteit duurzaam wordt opgewekt, zal al het extra elektriciteitsgebruik uit grijze elektriciteit komen. Dit betekent ook dat als het elektriciteitsverbruik van de servers van Delpher daalt, iemand anders meer groene elektriciteit zal kunnen gebruiken. Er hoeven voor het gebruik van Delpher minder Garanties van Oorsprong ingekocht te worden en die zijn daardoor beschikbaar voor andere afnemers. Op hun beurt hebben zij minder grijze elektriciteit nodig. Zo zorgt de (groene) energiebesparing van Delpher ervoor dat de totale hoeveelheid gebruikte grijze elektriciteit in Nederland daalt. Daarom wordt er in scenario's voor energiebesparing vaak gerekend met de CO₂-uitstoot van grijze elektriciteit in plaats van groene elektriciteit. Dit is ook gedaan in dit rapport.

Betekent dit dan dat groene elektriciteit inkopen zinloos is? Nee, want door groene elektriciteit af te nemen stimuleer je de aanleg van nieuwe duurzame energiebronnen, waardoor de maatschappij sneller volledig op groene elektriciteit kan draaien.



Figuur 6: Toename in efficiëntie van servers. Bron: Uptime Institute

3.2 Energieverbruik servers

Omdat het energieverbruik voor elke ICT-afdeling of datacentrum een grote kostenpost kan zijn, heeft het terugdringen van het elektriciteitsverbruik vaak een grote prioriteit. Door deze financiële prikkel vinden er vaak efficiënte innovaties plaats. Met als resultaat dat de hardware door de jaren heen steeds energiezuiniger is geworden. Figuur 6 (op basis van data van het Uptime Institute^{vi}) laat zien hoe de prestatie van servers (=performance) is toegenomen per hoeveelheid elektriciteitsverbruik (=power). Tussen 2007 en 2019 is die prestatie meer dan een factor 10 gegroeid.

Wat het energieverbruik voor de servers van Delpher is, zal hierna aan bod komen. Maar eerst wordt ingegaan op de verschillende bronnen van elektriciteitsverbruik van servers.

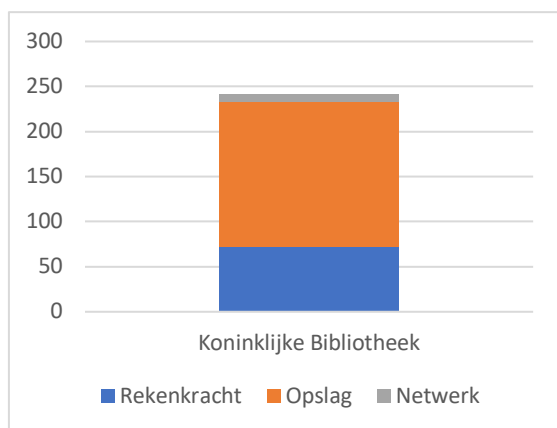
3.2.1 Rekenkracht en opslag

Servers worden voor twee functies gebruikt. Het eerste is het opslaan van data om op een later moment weer opgevraagd te worden. Dit kan bijvoorbeeld een klein tekstbestand zijn, een video in hoge resolutie of een digitale foto. Opslag gebeurt op tape of disks.

De software die wordt gebruikt voor het opvragen, wordt aangestuurd door de tweede functie van servers: de rekenkracht. Eigenlijk zijn veel computers heel grote rekenmachines.

Je geeft ze input om een bepaalde som uit te rekenen en vervolgens krijg je het resultaat te zien op het scherm. Computers zijn steeds geavanceerder geworden in de dingen die ze kunnen berekenen en de (hoeveelheid) input die ze daarvoor kunnen gebruiken. Hierdoor beschikken servers over veel rekenkracht. Om deze rekenkracht zo goed mogelijk in te zetten, wordt gebruikgemaakt van *virtual machines*. Door middel van software worden als het ware meerdere computers binnen één server gecreëerd, zodat de capaciteit beter benut kan worden. De *virtual machines* maken aanspraak op de rekenkracht van de servers. Bij Delpher worden alle acties die gebruikers kunnen uitvoeren, zoals een zoekactie of het aanmaken van een account, uitgevoerd door deze *virtual machines*.

Zoals een rekenmachine een batterij gebruikt, benutten servers elektriciteit om berekeningen uit te kunnen voeren en data beschikbaar te houden. Figuur 7 toont het elektriciteitsverbruik van de rekenkracht, de opslag en de netwerkapparatuur van Delpher op de servers van de KB. Hierin is ook de netwerkinfrastructuur meegenomen die nodig is om de servers, disks en tapes te kunnen gebruiken. Het totaal draagt 242 MWh (of: 242.000 kWh) per jaar, wat gelijkstaat aan het jaarlijks elektriciteitsverbruik van 98 gemiddelde Nederlandse huishoudens^{vii}.



Figuur 7: Verdeling stroomverbruik servers

De hoeveelheid elektriciteit die voor en door servers gebruikt wordt hangt af van veel factoren. De belangrijkste worden uitgelicht aan de hand van de verhuizing van de servers van Delpher.

Bij deze migratie zijn drie factoren gewijzigd die invloed hebben op het elektriciteitsverbruik van de servers: er is gekozen voor een ander type opslag, er is efficiëntere hardware ingezet en de omgeving waarin deze hardware staat is veranderd.

3.2.2 Type opslag en hardware-efficiëntie

Er zijn verschillende manieren om data op te slaan. Tape-opslag is de meest gebruikte methode voor langetermijnopslag die niet vaak gebruikt hoeft te worden (*cold storage*). Hierbij wordt de informatie op magneetband opgeslagen, die afgespoeld en afgelezen kan worden^{viii}. Verschillende van deze tapes kunnen gecombineerd worden in een taperobot om meer data op te slaan, zoals bij Delpher het geval is. Als de tape niet wordt afgelezen, verbruikt het systeem ook geen energie. Dit is anders dan bij een *Hard Disk Drive* (HDD).

HDD of harde schijf is een vorm van opslag waarbij via magnetische polarisatie data opgeslagen wordt op een ronddraaiende schijf^x. Het grote voordeel van HDD ten opzichte van tape is dat data veel sneller beschikbaar is. Hoeveel elektriciteit een HDD verbruikt is erg afhankelijk van het type HDD en de hoeveelheid data die opgeslagen kan worden.

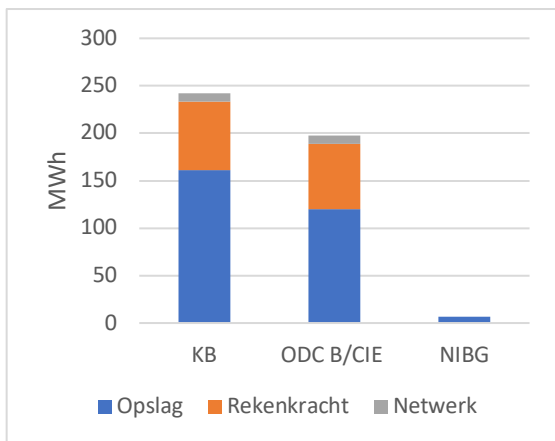
Hoe meer data er op een HDD past, hoe efficiënter deze is qua energieverbruik.

Solid Stage Disk (SSD) is de laatste vorm van dataverwerking die belangrijk is voor Delpher. Het heeft als voordeel dat de data op chips wordt opgeslagen, waardoor er, in tegenstelling tot HDD en tape^x, geen bewegende onderdelen aan zitten. Dit laatste vermindert het energieverbruik en verbetert de snelheid van het verwerken en opslaan van de data. Het energieverbruik verschilt dus sterk per systeem.

Bij de verhuizing van Delpher was het primaire doel om de gehele collectie direct beschikbaar te maken. Slechts een deel van de collectie (400 Terabyte) was direct beschikbaar op HDD bij de KB in de oude situatie. Zowel bij de KB als het NIBG stond de volledige collectie op tape en was daardoor niet direct beschikbaar. In de nieuwe situatie bij het ODC B/CIE is de gehele collectie dubbel uitgevoerd op HDD.

Het elektriciteitsverbruik zou waarschijnlijk enorm zijn toegenomen als dezelfde soort hardware zou zijn gebruikt als bij de KB. Dit is echter niet het geval. Sterker nog: het totale elektriciteitsverbruik is gedaald, onder andere door te kiezen voor grotere HDD's (10 Terabyte per schijf in plaats van 1 Terabyte) en een efficiënter aansturingssysteem.

Het verschil in energieverbruik van de diverse typen opslag is goed te zien als de situaties bij de KB, het NIBC en het ODC B/CIE met elkaar vergeleken worden. De data van Delpher is altijd op drie plekken opgeslagen. In de oude situatie maakte Delpher gebruik van een kopie op HDD en twee op tape, waarvan er een is ondergebracht bij het NIBG. Voor de verhuizing naar het ODC B/CIE is ervoor gekozen om de hele digitale collectie twee keer op HDD te zetten, met nog een back-up op tape bij het NIBG. Het tijdelijk opslaan van de data (*caching*) gebeurt in de nieuwe situatie op SSD, wat veel elektriciteitsverbruik scheelt ten opzichte van de situatie bij de KB.



Figuur 8: Jaarlijks elektriciteitsverbruik per locatie. Bij de KB staat de gehele selectie op tape en 400 Terabyte op HDD, bij het ODC B/CIE staat de gehele selectie 2x op HDD en bij het NIBG 1x op tape.

Om het elektriciteitsverbruik te illustreren, zijn de verschillende locaties in figuur 8 weergegeven. Goed te zien is dat de back-up op tape bij het NIBG nauwelijks elektriciteit verbruikt vergeleken met de twee locaties waar de data gebruikt wordt. Dit komt door het inactief zijn van deze opslag. Verder kan geconcludeerd worden dat er in de nieuwe situatie bij het ODC B/CIE is gekozen voor veel efficiëntere apparatuur ten opzichte van bij de KB.

Er wordt namelijk minder elektriciteit verbruikt voor opslag dan bij de KB, ondanks dat er geen gebruik meer wordt gemaakt van tape. Dit heeft met name te maken met de grotere opslag per HDD (10 terabyte) ten opzichte van de oude HDD's (1 terabyte). Hierdoor is minder apparatuur nodig. Zie hiervoor hoofdstuk 3.3.

Jaarlijks zal dit de servers van Delpher 45 MWh aan elektriciteit besparen, wat goed is voor het gebruik van ruim 18 gemiddelde huishoudens. Uitgaande van grijze elektriciteit voorkomt dit de uitstoot van 25 ton CO₂^{xi}.

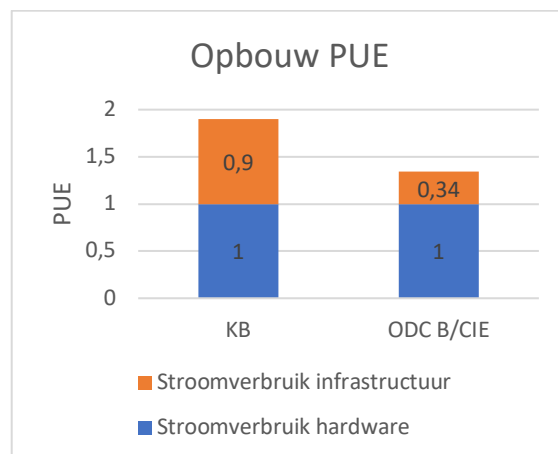
3.2.3 Locatie van opslag

Naast de servers zelf is de omgeving waarin deze servers staan essentieel voor het totale elektriciteitsverbruik. Het gebouw gebruikt zelf ook elektriciteit om een veilige omgeving te bieden voor de servers. Het koelingsproces van de servers verbruikt met name veel energie, doordat de servers door hun activiteit veel warmte produceren.

Om te meten hoe efficiënt het energieverbruik is buiten de servers, wordt gebruikgemaakt van de meeteenheid *Power Usage Effectiveness* (PUE). De PUE geeft een indicatie van het energieverbruik van de facilitaire systemen ten opzichte van de IT-apparatuur. Is de PUE 2, dan verbruiken de facilitaire systemen (zoals koelsystemen en noodstroomvoorziening) net zoveel energie als de IT-apparatuur. Hoe dichterbij 1, hoe kleiner het totale elektriciteitsverbruik is. Als organisaties servers op hun eigen locatie hebben staan, ligt de PUE vaak tussen de 2 en 2,5^{xii}. Het datacenter van de KB in Den Haag heeft een PUE van 1,9.

Samen met het elektriciteitsverbruik van de infrastructuur verbruiken de servers waar Delpher op draait bij de KB 460 MWh in een jaar.

Een colocation datacenter, zoals dat van het ODC B/CIE, huist de servers van verschillende organisaties. Door deze schaalvergroting is het koelen van de servers een stuk efficiënter te organiseren, wat zorgt voor een lagere PUE (1,34 bij ODC B/CIE). Figuur 9 toont het verschil in PUE tussen de locatie van de KB en het ODC B/CIE.



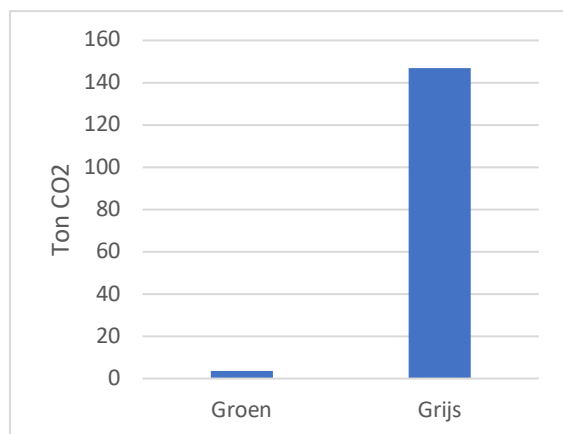
Figuur 9: Opbouw PUE

Deze efficiënte infrastructuur vergroot de besparing die is behaald op het gebied van energieverbruik in de nieuwe situatie. Door het lagere energieverbruik van de servers en de lagere PUE ligt het energieverbruik van de faciliterende infrastructuur voor Delpher jaarlijks 151 MWh lager dan in de oude situatie bij de KB.

Samen met de besparing van de hardware zelf komt dit uit op 196 MWh per jaar, het gebruik van 79 Nederlandse gemiddelde huishoudens. Dit staat gelijk aan een besparing van 109 ton CO₂ op basis van grijze elektriciteit. Echter, bij zowel de KB als het ODC B/CIE wordt groene elektriciteit ingekocht. Is de CO₂-besparing dan wel zo groot?

3.2.4 Groene elektriciteit

Het inkopen van groene elektriciteit is een van de snelste manieren om als organisatie de eigen CO₂-voetafdruk te verkleinen. Zo koopt de overheid 100% groene elektriciteit in voor haar datacentra. Figuur 10 illustreert het verschil in jaarlijkse CO₂-emissies bij groene of grijze elektriciteit in de nieuwe situatie van Delpher (inclusief infrastructuur).



Figuur 10: CO₂-voetafdruk groen versus grijs van het elektriciteitsverbruik van de servers bij het ODC B/CIE

Omdat er bij de opwekking van groene elektriciteit uit Nederlandse windenergie geen fossiele brandstoffen aan te pas komen, zijn de CO₂-emissies vele malen lager. Het enige wat overblijft zijn indirecte emissies voor het bouwen van windturbines.

Omdat er groene elektriciteit wordt ingekocht, is de jaarlijkse CO₂-voetafdruk van de servers van Delpher dus erg laag: minder dan 4 ton CO₂ per jaar bij het ODC B/CIE. De snelle conclusie is dat de energiebesparing van de verhuizing slechts een relatief beperkt effect heeft gehad op de CO₂-voetafdruk: een besparing van 2,7 ton CO₂ per jaar. Maar kijk je naar het grotere geheel, dan heeft deze energiebesparing een veel groter effect.

Dit wordt uitgebreid toegelicht in hoofdstuk 3.1.1.

3.2.5 Cloudopslag

Door de data van Delpher op te slaan in het colocation datacentrum van het ODC B/CIE is een energiebesparing gerealiseerd, met name door de verbeterde PUE en efficiëntere hardware. Bovendien is door slim gebruik van *virtual machines* de capaciteit van de servers goed benut. Veel andere organisaties maken gebruik van cloudopslag, om dezelfde doelen te bereiken. Bedrijven als Microsoft en Amazon bieden deze dienst aan vanuit gigantische datacentra, die de laatste tijd ook vaak in het nieuws zijn vanwege hun grote elektriciteitsverbruik. Wat hier vaak niet bij vermeld staat, is dat deze datacentra juist erg efficiënt zijn in wat ze doen.

Het belangrijkste verschil met een colocation datacentrum is dat een organisatie niet over eigen servers beschikt bij cloudopslag. De berekeningen en dataopslag van verschillende organisaties worden op dezelfde servers uitgevoerd. Dit heeft als voordeel dat de servers veel effectiever gebruikt worden dan bij de meeste organisaties, omdat eigen servers voor een belangrijk deel van de tijd niet ingezet worden, maar wel elektriciteit verbruiken.

Bovendien is de PUE bij datacentra van cloudaanbieders nog lager dan de meeste colocation datacentra. Dit komt mede door de manier waarop zij hun servers huisvesten. Dit gebeurt in een zo klein mogelijke ruimte zodat de koeling en het onderhoud zo effectief mogelijk zijn. Dit wordt *containerizen* genoemd.

Voor erfgoedinstellingen die zelf niet in staat zijn hun servers op de meest optimale wijze te benutten, kan cloudopslag een snelle en effectieve manier zijn om de CO₂-voetafdruk te verkleinen.

Het verplaatsen naar 'de cloud' heeft wel een groot nadeel: je weet niet meer waar je data fysiek is opgeslagen. Omdat de clouddiensten aangeboden worden door grote internationale bedrijven, kan data ook op buitenlandse servers staan.

Omdat het bij Delpher om Nederlands cultureel erfgoed gaat, is ervoor gekozen de data op te slaan op Nederlands grondgebied bij een vertrouwde partner.

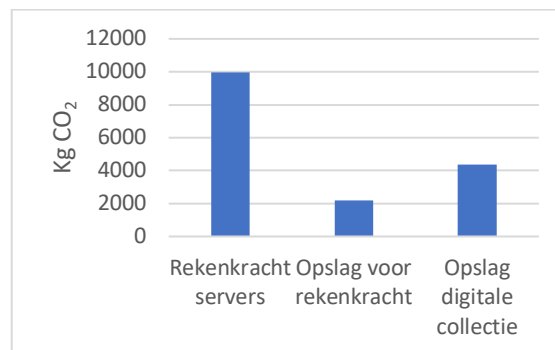
3.3 Hardware

Naast elektriciteitsverbruik heeft de hardware van de servers ook een verborgen CO₂-impact. Het productieproces van servers (en alle andere producten die een organisatie inkoop) veroorzaken namelijk ook CO₂-emissies. Deze ontstaan tijdens de verschillende stappen van het productieproces, zoals het winnen van grondstoffen, de verwerking hiervan en het transport. Gezamenlijk levert dit een hoeveelheid aan CO₂ die al is uitgestoten voordat de server in gebruik wordt genomen. Hoe minder producten een organisatie inkoop, of hoe duurzamer de producten, hoe lager die CO₂-emissies zijn. Daarom is het belangrijk om niet alleen te kijken naar het elektriciteitsverbruik van de servers, maar ook naar de hardware van de servers zelf.

Een server bestaat uit vele verschillende onderdelen en elk ervan kan van verschillende materialen gemaakt zijn of door een ander merk zijn gefabriceerd. Al deze factoren hebben invloed op de CO₂-voetafdruk van de server. De grootste vervuilers zijn de chips die veelvuldig in servers aanwezig zijn; bij het productieproces ervan komt veel CO₂ vrij. Omdat lang niet elk bedrijf tot in detail de voetafdruk van zijn producten in kaart heeft gebracht, wordt er voor de CO₂-voetafdruk van producten vaak uitgegaan van standaarden. Voor dit project is gekeken naar de hardware die aanwezig is bij het ODC B/CIE en is verdeeld over de verschillende onderdelen van de servers. Hierin is niet elk specifiek onderdeel en merk meegenomen vanwege de gevoeligheid van deze informatie.

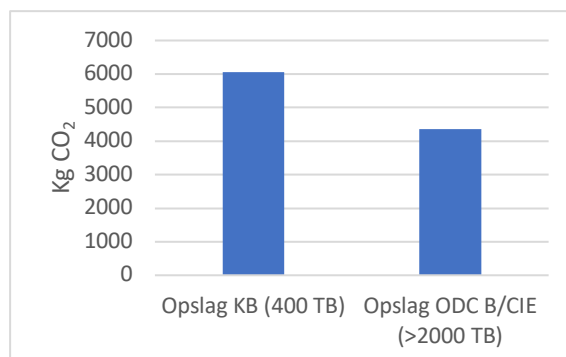
Om de voetafdruk van de verborgen impact van de servers goed te kunnen vergelijken met andere bronnen die impact hebben, is de totale CO₂-uitstoot verdeeld over de verwachte levensduur (vier jaar). In totaal gaat het bij het ODC B/CIE om 16.522 kg CO₂ per jaar.

De impact is verdeeld over drie grote groepen hardware: de servers die de rekenkracht leveren voor Delpher, de modules met opslag waar de gegevens voor deze rekenkracht op staan, en de hardware waar de digitale collectie is opgeslagen. De verdeling hiervan is in figuur 11 weergegeven.



Figuur 11: Indirecte CO₂-impact van de servers zelf

In de nieuwe situatie zorgt de hardware bij de opslag van de digitale collectie voor een relatief kleinere voetafdruk. Dit komt doordat de data in de nieuwe situatie op HDD's van 10 Terabyte in plaats van 1 Terabyte staat. Ook al werd er in de oude situatie slechts 400 Terabyte aan data op HDD's opgeslagen en in de nieuwe meer dan 2.000, in de nieuwe situatie zijn alsnog minder HDD's nodig. Tegelijkertijd blijft de grootte (en daarmee de hoeveelheid materiaal en de CO₂-voetafdruk) van de HDD's grofweg hetzelfde. Ook is er daardoor minder nodig van alle apparatuur rondom de HDD's. Samen resulteert dit in een lagere voetafdruk die ontstaat door het produceren van de hardware. Dit is geïllustreerd in figuur 12.



Figuur 12: Verschil in CO₂-impact van servers bij de KB en het ODC B/CIE door HDD's met meer opslag

3.4 Datatransmissie

Niet alleen de servers en de gebouwen waarin ze staan gebruiken elektriciteit, ook het verzenden van data van de ene naar de andere plek kost stroom. Bij Delpher lopen de data van de servers via verschillende kabels en tussenstations (lees: het internet) en bereiken via de wifi-router uiteindelijk de laptop van de gebruiker. Hoeveel elektriciteit hiervoor nodig is, hangt af van verschillende factoren, zoals:

- hoeveelheid data;
- afstand die afgelegd moet worden;
- aantal tussenstations;
- soort transmissie, bijvoorbeeld via kabel of wifi;
- efficiëntie van alle apparaten.

Het is vrijwel onmogelijk om al deze factoren exact te achterhalen. Niet alleen zitten er veel verschillende partijen tussen, ook zijn er verschillen per gebruiker en aanbieder van data. Zo kan het zijn dat eindgebruikers een andere internetaanbieder hebben, of ergens anders wonen, waardoor het verzenden van dezelfde hoeveelheid data een ander elektriciteitsverbruik heeft. Het is daardoor niet mogelijk om het elektriciteitsverbruik nauwkeurig te bepalen per verzonden GB aan data voor één bepaalde dienst. Dit kan dus ook voor Delpher niet precies worden berekend.

Een extra complicerende factor is dat apparaten zoals een wifi-router ook elektriciteit verbruiken als ze geen data verzenden. Dit elektriciteitsverbruik neemt toe door het verwerken van data, maar hoeveel dit is, hangt af van het apparaat en de hoeveelheid verstuurd data^{xiii}.

Doordat het lastig is een precies getal op datagebruik te zetten, lopen inschattingen hiervan erg uiteen. Zo zijn er media die bericht hebben dat bijvoorbeeld een uur video streamen dezelfde CO₂-uitstoot veroorzaakt als 16 kilometer autorijden (3,2 kg CO₂)^{xiv}. Bij nader onderzoek is gebleken dat dit door verschillende oorzaken, waaronder nieuwe inzichten, veel hoger was ingeschat dan daadwerkelijk het geval is^{xv}. Op basis van verschillende bronnen is voor dit project gerekend met een elektriciteitsverbruik van 0,056 kWh per GB aan

data^{xvi}. Voor het streamen van video's in Nederland betekent dit een verbruik van ongeveer 50 gram CO₂ per uur.

Dit zijn een stuk minder emissies dan sommige bronnen ons doen geloven, wat goed nieuws is voor een platform als Delpher. Maar ondertussen neemt ons datagebruik, onder andere door hogere kwaliteit foto's en video's, wel exponentieel toe. Hoe hoger de resolutie van bestanden, hoe meer data verstuurd moet worden. Het is daardoor waarschijnlijk dat de impact van de datatransmissie de komende jaren alleen maar zal toenemen.

3.4.1 Datamigratie

Een situatie waarbij in één keer heel veel data verzonden wordt, is de migratie van een digitaal bestand. In het geval van Delpher bijvoorbeeld de migratie van de server in de KB naar de servers bij het ODC B/CIE.

Omdat het hier om één Petabyte aan data gaat, oftewel duizend Terabyte of een miljoen Gigabyte, levert de datamigratie een significante CO₂-voetafdruk op.

Met de hierboven genoemde inschattingen van het elektriciteitsverbruik voor datatransmissie kom je uit op:

- ruim 55.000 kWh, wat gelijkstaat aan het jaarverbruik van ongeveer 23 gemiddelde Nederlandse huishoudens;
- bij Nederlandse grijze elektriciteit veroorzaakt dit een CO₂-voetafdruk van 31 ton CO₂-equivalenten.

Voor het migreren van de data is er nog een significant verschil of dit gebeurt vanaf tape-opslag of vanaf HDD. Dit komt doordat bij HDD de draaiende onderdelen meer elektriciteit verbruiken dan tape. Hierdoor vergt HDD-opslag gedurende de migratie van 1 Petabyte aan data ongeveer 20x zoveel elektriciteit als tape-opslag^{xvii}.

Erfgoedinstellingen die hun data op een andere plek willen opslaan vanwege betere hardware en infrastructuur, moeten hier dus rekening mee houden.

Maar levert de overstap structurele efficiëntie op, dan zal dit extra verbruik vanzelf ingelopen worden. Omdat er bij het ODC B/CIE zo'n 195.000 kWh per jaar minder elektriciteit verbruikt wordt als bij de KB, werd er na vier maanden al meer energie bespaard.

Naast het migreren van data door de erfgoedinstellingen wordt er natuurlijk ook data verzonden bij een zoekactie van een gebruiker. Hierna wordt ingezoomd op hoe het gebruik van Delpher bijdraagt aan de CO₂-voetafdruk van het digitaal erfgoed.

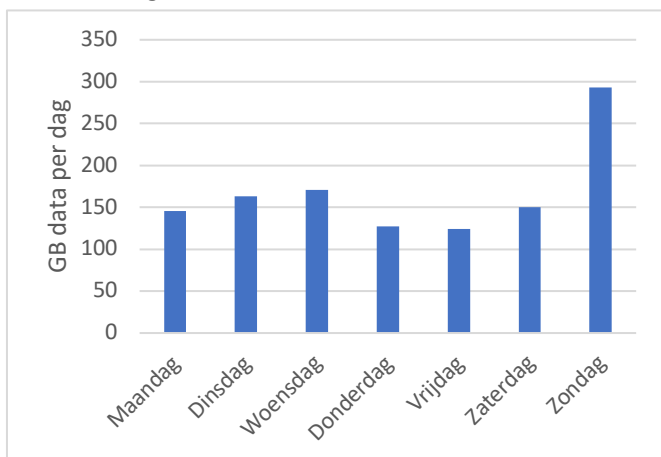
3.5 Gebruik Delpher

Naast het gebruik van de servers is in dit project ook gekeken naar het gebruik van Delpher zelf. Indirect draagt het gebruik bij aan de CO₂-voetafdruk doordat de ICT-middelen elektriciteit nodig hebben om de acties uit te voeren. Denk daarbij aan:

- acties waarbij de Delpher-servers rekenkracht inzetten;
- het laden van webpagina's;
- het downloaden van bestanden.

Om dit te onderzoeken is de gebruikersdata van 2021 geanalyseerd. Omdat niet van alle dagen de data beschikbaar was is er een selectie gemaakt van 132 dagen, gelijk verdeeld over de weekdays. Hierbij is data in kaart gebracht van onder andere het laden van een webpagina, het downloaden van bestanden of het bekijken van een video.

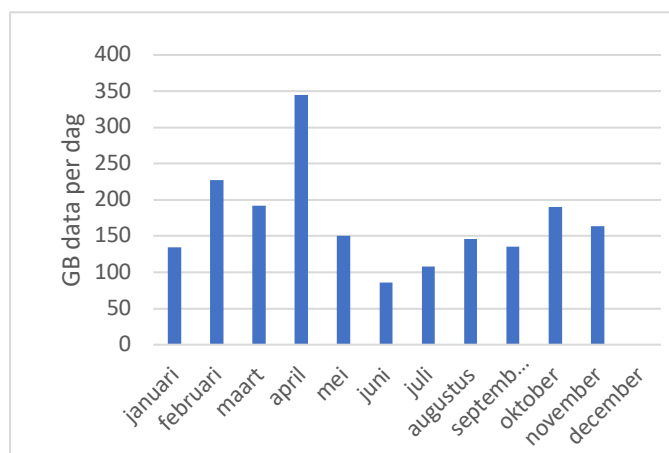
Figuur 13 geeft op basis van het dataverbruik de activiteit op Delpher weer op verschillende weekdays.



Figuur 13: Datagebruik per weekday (2021)

Duidelijk te zien is dat er op zondagen bijna twee keer zoveel activiteit is op het platform Delpher als op andere dagen. Voor het elektriciteitsverbruik van de servers is dit gunstig omdat ze ook voor andere software van de KB ingezet worden, en die draait juist overdag en door de week. Hierdoor wordt het verbruik verdeeld, en is er een laag piekverbruik. Dit heeft als grootste voordeel dat er met een beperkt aantal servers kan worden volstaan.

Ook is gekeken naar het maandelijkse gebruik in de periode januari-november 2021. In figuur 14 laten de maanden onderling sterke verschillen zien.



Figuur 14: Datagebruik per maand (2021)

Opvallend is dat de seizoenen een trend lijken aan te geven: in de winter meer en in de zomer minder gebruik van Delpher^{xviii}. Een andere mogelijke verklaring zijn de coronamaatregelen: in de maanden van de avondklok en de lockdown in de derde golf is het gebruik het hoogst.

3.5.1 (Zoek)acties uitvoeren

Op het platform van Delpher kan je als gebruiker vele acties uitvoeren, zoals je aanmelden, inschrijven voor de nieuwsbrief of iets downloaden. Een van de belangrijkste acties is het zoeken naar gegevens in de database van Delpher. Op basis van de input van de gebruiker gaan de servers aan de slag om een match te vinden. Deze en andere acties worden uitgevoerd door zogenaamde *virtual machines*, zoals eerder besproken in het hoofdstuk 3.2.1.

Het elektriciteitsverbruik (van de rekenkracht) van de servers is alleen in zijn geheel te meten of te berekenen.

Omdat er voor Delpher 200-250 *virtual machines* draaien, waarvan een groot deel tegelijkertijd, is het niet mogelijk om een toename in elektriciteitsverbruik te berekenen per genomen actie. Wel is het aannemelijk dat de zoekacties de meeste rekenkracht vergen, omdat hierbij alle data van Delpher doorzocht moet worden.

Door zoekacties in te perken zou het elektriciteitsverbruik van de servers kunnen worden teruggebracht. Op dit moment wordt dit al mogelijk gemaakt door gebruikers de optie te bieden om slechts één soort medium te doorzoeken. Manieren om dit te bevorderen zouden kunnen zijn:

- extra opties voor selectie toevoegen, zoals jaargangen of soorten kranten of tijdschriften;
- 'doorzoek alles' niet als standaardoptie aanbieden, maar gebruikers bijvoorbeeld laten aangeven welke media doorzocht moeten worden;
- een verzoek op de webpagina toevoegen om de reikwijdte van de zoekopdracht te beperken. Hierdoor zullen gebruikers vaker geneigd zijn van deze functie gebruik te maken.

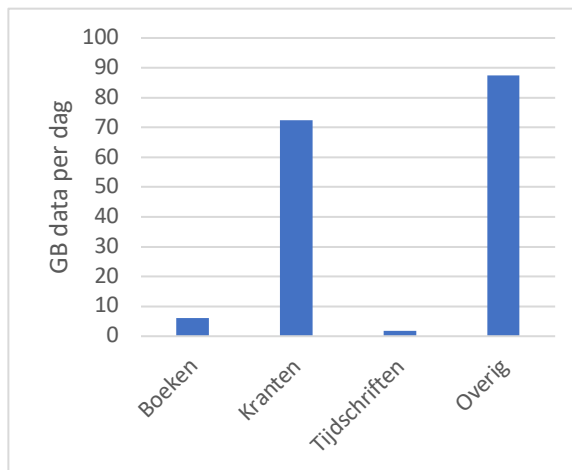
3.5.2 Het openen en downloaden van bestanden

Nadat een zoekactie is uitgevoerd, moeten de resultaten geladen worden op de computer van de gebruiker. Hierbij wordt data verzonden die weergegeven moet worden, zoals kleine afbeeldingen van de gevonden resultaten. Als de gebruiker een van de zoekresultaten aanklikt, wordt de objectpagina geladen. Hierop wordt het gevonden medium weergegeven, vaak de pagina uit een krant, boek of tijdschrift.

Als de gebruiker dit bestand zelf wil bewaren, kan hij of zij dit downloaden op de eigen computer. Verder zijn er op Delpher nog vele andere acties uit te voeren, zoals het bekijken van video's. Deze vier acties (zoekpagina, de objectpagina, downloaden en overige acties) zijn onderzocht op dataverbruik.

Figuur 15 toont aan dat zowel kranten als overige acties veel van het datagebruik van Delpher-gebruikers bepalen.

Bij kranten komt dit onder andere doordat er twee tot zes keer zoveel kranten worden gedownload als tijdschriften en boeken. Bovendien zijn de objectpagina's van kranten over het algemeen groter in het datagebruik dan die van tijdschrift- en boekpagina's.



Figuur 15: Datagebruik per medium

Verder valt op dat bij alle drie de media de objectpagina's het grootste deel van het dataverbruik veroorzaken. Slechts voor een klein deel komt dit doordat deze pagina's vaker (1,4 keer voor boeken en kranten en 2,7 keer voor tijdschriften) geopend worden dan zoekpagina's. Het bestand op de objectpagina is van hoge kwaliteit, zodat de gebruiker het bestand goed kan bekijken. Hierdoor is de hoeveelheid data die verzonden wordt om deze pagina's te openen een factor 100 keer groter dan van een zoekpagina.

Opvallend is het kleine aandeel dat gedownload materiaal heeft in het datagebruik. Minder dan 1% van de geopende objectpagina's resulteert in een gedownload document. Waarschijnlijk willen de gebruikers alleen de objectpagina inzien. Een andere verklaring is dat gebruikers meerdere objectpagina's bekijken tot zij de gewenste informatie gevonden hebben (of niet).

Om het datagebruik van de objectpagina's terug te dringen kan Delpher objectpagina's in lagere kwaliteit aanbieden. Wil een gebruiker de pagina vervolgens in meer detail bestuderen of bewaren, dan kan hij of zij het bestand downloaden in hogere kwaliteit.

Een alternatief zou zijn om de pagina via een knop op de objectpagina beschikbaar te maken.

Veruit het meeste dataverkeer (98%) van de overige acties komt door het bekijken van (instructie)video's. Deze video's (die geen deel uitmaken van de digitale collectie maar uitleg geven over het gebruik van Delpher) staan op YouTube, maar zijn te zien via het Delpher-platform. Dit betekent dat de video's zijn opgeslagen op de servers van YouTube, en vanaf daar naar de gebruiker worden verzonden. Hierdoor dragen deze video's wel bij aan de hoeveelheid verzonden data, maar zal dit niet terug te zien zijn aan het elektriciteitsverbruik van de servers van Delpher. Omdat video's bewegende beelden zijn, kost het kijken ervan veel meer data dan een afbeelding. Het is opvallend dat deze categorie zo groot is, aangezien Delpher primair gericht is op het zoeken en bekijken van documenten.

Mogelijke maatregelen om het dataverbruik te verminderen zouden kunnen zijn:

- video's op het platform in lagere kwaliteit aanbieden;
- informatie in een vorm aanbieden die minder data verbruikt.

4. AANBEVELINGEN

Het opslaan en beschikbaar stellen van digitaal materiaal zorgt voor CO₂-emissies. Het is daarom belangrijk dat erfgoedinstellingen, die steeds meer materiaal digitaal beschikbaar stellen, dit zo klimaatbewust mogelijk doen. Dit rapport geeft inzicht in de manier waarop dit kan, op basis van een casestudy van het platform Delpher. Hieronder volgt een aantal aanbevelingen voor andere erfgoedinstellingen die hun CO₂-voetafdruk willen verkleinen.

4.1 Servers

Servers verzorgen de rekenkracht en opslag die nodig is om een digitale collectie te huisvesten en beschikbaar te stellen. Deze servers zijn de kern van de CO₂-uitstoot. Dit komt door zowel het elektriciteitsverbruik, als de indirecte CO₂-emissies van de productie van de servers.

- Over het algemeen vraagt tape- of SSD-opslag minder energie dan opslag op HDD. Dit is echter sterk afhankelijk van het type en merk van de apparatuur. Bovendien is ook de snelle of trage beschikbaarheid van het medium een factor om rekening mee te houden.
- Hoe meer opslag er per disk kan plaatsvinden (bijvoorbeeld 10 Terabyte in plaats van 1), hoe energiezuiniger de opslag is. Niet alleen de opslag zelf, maar ook de aansturing ervan behoeft minder elektriciteit.
- Het maken van digitale compartimenten in de servers zorgt ervoor dat de capaciteit van de servers efficiënter gebruikt kan worden. Dit kan door middel van *virtual machines*. Hiermee wordt de capaciteit beter benut, waardoor er in totaal minder servers nodig zijn.

4.2 Omgeving servers

De plek waar de servers staan is van grote invloed op het totale elektriciteitsverbruik. Wordt data lokaal opgeslagen, dan is de kans groot dat het faciliteren van de servers (zoals het koelen ervan) evenveel of zelfs meer energie verbruikt dan de servers zelf.

Maatregelen die daarvoor genomen kunnen worden zijn:

- Het delen van servers met meerdere partijen om deze zo effectief mogelijk te gebruiken. Delpher is hier een goed voorbeeld van.
- Door de servers in een (extern) colocation datacentrum te huisvesten kan er flink op de elektriciteitskosten bespaard worden. Doordat hier veel servers staan, kunnen de facilitaire systemen zoals koeling veel effectiever hun werk doen.
- Door de digitale collectie beschikbaar te stellen via een cloudomgeving wordt de controle over de servers uit handen gegeven aan grote datacentra van bijvoorbeeld Microsoft of Amazon. Het voordeel van opslag in een cloudomgeving is dat dit type aanbieders vooraan staat in de ontwikkelingen van facilitaire systemen en het zo efficiënt mogelijk gebruiken van de capaciteit van hun servers.

4.3 Collectie en gebruik

Het opvragen van bestanden uit een digitale collectie zorgt voor CO₂-uitstoot. Verschillende maatregelen kunnen deze impact verkleinen, zoals het beperken van zoekopdrachten, zodat minder bestanden doorzocht worden:

- extra opties voor selectie toevoegen, zoals jaargangen of soorten kranten of tijdschriften;
- 'doorzoek alles' niet als standaardoptie aanbieden, maar gebruikers bijvoorbeeld laten aangeven welke media doorzocht moeten worden;
- een verzoek op de webpagina toevoegen om de reikwijdte van de zoekopdracht te beperken. Hierdoor zullen gebruikers vaker geneigd zijn van deze functie gebruik te maken.

Verder kan er gekeken worden hoe de impact van gedownloadte objecten verkleind kan worden. Dit zou onder andere kunnen door:

- Bestanden in lagere resolutie beschikbaar stellen in de objectpagina.
- Een optie geven voor hoge of lagere resolutie, zodat gebruikers zelf kunnen kiezen. Daarbij zou een tekstje op de website geplaatst kunnen worden dat kiezen voor een lagere resolutie CO₂ bespaart.

Dit onderzoek was gericht op opslag en gebruik van digitale selecties van het platform Delpher. Een factor die we niet in deze casus hebben meegenomen, is de impact van een strengere selectie en bewaring van digitaal erfgoed op de totale CO₂-uitstoot van een erfgoedinstelling. Wat die impact precies is en welke maatregelen effectief zouden zijn, zou nog nader onderzocht kunnen worden. Natuurlijk wil een erfgoedorganisatie zo compleet mogelijk zijn in het materiaal dat zij haar gebruikers aanbiedt. Echter, door de digitale collectie mogelijkerwijs te beperken, kan logischerwijs op verschillende manieren CO₂-uitstoot worden vermeden. Zo is er waarschijnlijk minder opslagcapaciteit nodig, waardoor er minder servers hoeven worden aangeschaft. Bovendien zal het elektriciteitsverbruik afnemen. Verder wordt er bij zoekacties een kleinere hoeveelheid data doorzocht, wat ook verminderd elektriciteitsgebruik tot gevolg heeft. Voorbeelden van maatregelen om te onderzoeken zijn:

- Het voorkomen en verwijderen van duplicaten: het kan gebeuren dat delen van een collectie dubbel opgeslagen zijn. Door deze duplicatie eruit te halen, wordt voorkomen dat de digitale collectie onnodig groot wordt.
- Afspraken maken tussen erfgoedinstellingen om duplicatie te voorkomen. Als iets al ergens anders digitaal beschikbaar is, is het dan nodig om het nogmaals te digitaliseren en te bewaren?

Met de bevindingen uit het rapport en de genoemde aanbevelingen kunnen erfgoedinstellingen aan de slag om de CO₂-voetafdruk van hun digitale collectie onder de loep te nemen en keuzes maken voor een klimaat-bestendige toekomst.

BRONNEN EN EINDNOTEN

- ⁱ <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/inzicht-in-je-energierekening/gemiddeld-energie-verbruik/>
- ⁱⁱ <https://www.trouw.nl/duurzaamheid-natuur/wij-consumerende-nederlanders-zijn-de-echte-vervui-lers~bbdb1b6c/?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>
- ⁱⁱⁱ <https://www.environdec.com/home>
- ^{iv} <http://idematapp.com/>
- ^v Voor een uitgebreide verantwoording van het gebruik van emissiefactoren en databases kan contact worden opgenomen met PHI Factory.
- ^{vi} <https://www.datacenterdynamics.com/en/opinions/optimizing-server-refresh-cycles-with-aging-moores-law/>
- ^{vii} <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/inzicht-in-je-energierekening/gemiddeld-energie-verbruik/>
- ^{viii} <https://nl.wikipedia.org/wiki/Tapedrive>
- ^{ix} https://nl.wikipedia.org/wiki/Harde_schijf
- ^x https://nl.wikipedia.org/wiki/Solid_state_drive
- ^{xi} Hierbij is zowel de directe als indirecte CO₂-uitstoot van het opwekken van grijze elektriciteit meegerekend. <https://www.co2emissiefactoren.nl/lijst-emissiefactoren/>
- ^{xii} https://eta-publications.lbl.gov/sites/default/files/lbnl-1005775_v2.pdf. Pagina 24
- ^{xiii} Het is afhankelijk van de hoeveelheid dataverkeer hoeveel het elektriciteitsverbruik van apparaten toeneemt t.o.v. geen dataverkeer. Bij een router is de toename van het elektriciteitsverbruik (t.o.v. geen dataverkeer) bijvoorbeeld ongeveer 1,7% bij het streamen van Netflix en 11% (6,5 keer meer) bij zwaar gebruik zoals gamen, terwijl het 9 keer meer data verbruikt.
- Jens Malmodin, Ericsson Research. https://www.youtube.com/watch?v=Xo0PB5i_b4Y&t=2504s
- ^{xiv} <https://nypost.com/2019/10/28/why-climate-change-activists-are-coming-for-your-binge-watch/>
- ^{xv} <https://www.carbonbrief.org/factcheck-what-is-the-carbon-footprint-of-streaming-video-on-netflix>
- ^{xvi} - Joshua Aslan et al, 2017. Electricity Intensity of Internet Data Transmission: Untangling the Estimates. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jiec.12630>
- Jens Malmodin, Ericsson Research. https://www.youtube.com/watch?v=Xo0PB5i_b4Y&t=2504s
- Malmodin, J. and D. Lundén. 2016. The energy and carbon footprint of the ICT and E&M sector in Sweden 1990–2015 and beyond. Paper presented at (and in the proceedings of) ICT4S, 29–31 August, Amsterdam.
- Pihkola et al, 2018. Evaluating the Energy Consumption of Mobile Data Transfer—From Technology Development to Consumer Behaviour and Life Cycle Thinking. <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/7/2494>
- <https://www.carbonbrief.org/factcheck-what-is-the-carbon-footprint-of-streaming-video-on-netflix>
- ^{xvii} <https://www.cmd-ltd.com/advice-centre/usb-chargers-and-power-modules/usb-and-power-module-product-help/data-transfer-rate/>
- http://www.tape-storage.net/en/storage_comparison/article_01/
- ^{xviii} Een kanttekening hierbij is dat van januari en april slechts respectievelijk vijf en negen dagen aan data beschikbaar was. Bij de rest van de maanden was dit elf of meer, waardoor de extrapolatie van die data betrouwbaarder is. In april waren twee van de negen dagen zondagen, die, zoals eerder bleek, een hoger verbruik vertonen. Hierdoor kan deze maand gemiddeld hoger zijn uitgevallen. In januari was er juist van geen enkele zondag data beschikbaar.