



Klimaatimpact luchtopnames en hoogtedata



Inhoud

Samenvatting

- 1 Introductie
- 2 Nulmeting klimaatimpact
- 3 Mitigatieopties
- 4 Mogelijke sturingsinstrumenten in uitvraaginwinning
- 5 Referenties

Bijlagen

- A Overzicht Europese regelgeving
- B Verslag interviews met marktpartijen inwinning



Samenvatting

Aanleiding en aanpak van de studie

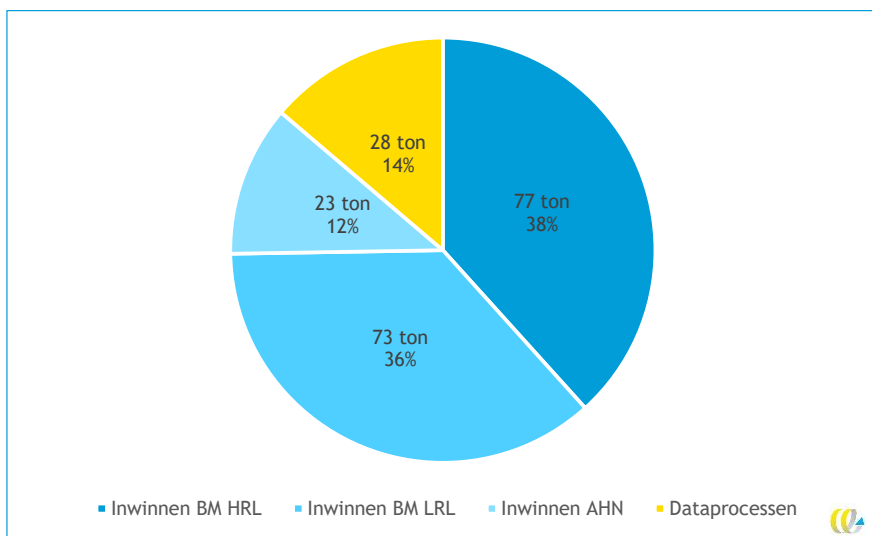
- Rijkswaterstaat heeft CE Delft, in samenwerking met Radboud Universiteit Nijmegen, gevraagd om de klimaatimpact te bepalen voor de producten Beeldmateriaal (BM) en het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN). Het BM zijn hogeresolutieluchtfoto's van heel Nederland en het AHN is een gedetailleerde hoogtemeting van heel Nederland, die allebei gebruikt worden voor veel verschillende toepassingen zoals infrastructuurplanning en vegetatiemonitoring.
- De doelen van het onderzoek zijn het bepalen van de huidige klimaatimpact, het in kaart brengen van de mogelijke mitigatieopties en het aanbevelen van sturingsopties die Rijkswaterstaat heeft om de klimaatimpact hiervan te verminderen.
- De klimaatimpact van deze producten bestaat uit twee componenten:
 - inwinnen van beelden en hoogtedata per vliegtuig en;
 - dataprocessen als verwerking, opslag en distributie.
- Naast het gebruik van openbare bronnen zijn interviews gevoerd met verschillende betrokken partijen om ook gedetailleerde informatie van het proces mee te nemen.

Huidige klimaatimpact

- De klimaatimpact van de producten BM en AHN was 202 ton CO₂ in 2023. Veruit het grootste deel van de klimaatimpact komt van de vliegtuigen tijdens inwinning (86%), de andere 14% komt van de dataprocessen. Figuur 1 toont de verdeling tussen deze componenten.
- Binnen de inwinning komt met 87% veruit het grootste gedeelte van Beeldmateriaal. Het inwinnen van lageresolutie(LRL)beelden had in 2023 ongeveer dezelfde impact als het inwinnen van hogeresolutie(HRL)beelden, omdat hierbij minder zuinige vliegtuigen zijn gebruikt.
- Van de emissies van dataprocessen bestaat het grootste deel uit de primaire centrale opslag met 86%. De rest is verdeeld over secundaire centrale opslag, uitlevering aan afnemers en verwerking van ruwe beelden.
- In deze bepaling van de klimaatimpact is alleen het energieverbruik meegenomen (emissies van productie en verbranding van vliegtuigbrandstoffen en elektriciteitsproductie voor de dataprocessen). De emissies die vrijkomen bij de productie van de computersystemen en vliegtuigen is buiten beschouwing gelaten.



Figuur 1 - Totale klimaatimpact van producten BM (lage resolutie (LRL) en hoge resolutie (HRL) en AHN in 2023 (ton CO₂)



Mitigatieopties

Voor het inwinnen per vliegtuig zijn verschillende opties gevonden om de klimaatimpact te reduceren. Hiervan zijn vier realistisch en effectief op de korte termijn:

- **Zuinigere vliegtuigen:** Van de onderzochte vliegtuigen stoot het minst zuinige vliegtuigtype tot wel negentien keer meer CO₂ uit dan het zuinigste vliegtuigtype.
- **Bundeling van opdrachten:** Er worden op dit moment veel gebieden meervoudig ingewonnen omdat gemeenten afzonderlijk beeldmateriaal laten inwinnen met andere specificaties. Voor bundeling van deze opdrachten is aan

de opdrachtgeverskant gezamenlijke coördinatie en afstemming van specificaties nodig. Een mogelijke optie kan zijn om het BM en het AHN met hogere resolutie/ punt dichtheid in te winnen. Hierdoor neemt de klimaatimpact voor het inwinnen van deze producten beperkt toe, maar wordt het inwinnen door andere partijen niet meer nodig en leidt dit op systeemniveau tot een grote besparing.

- **Gecombineerd inwinnen van AHN en BM:** Is technisch mogelijk bij meerdere partijen en kan tot wel 50% klimaatimpact reduceren.
- **Minder (strengere) operationele eisen bij de uitvraag:** Eisen die worden gesteld aan de vliegrichting, hoge overlappingspercentages of een korte maximaallengte per lijn kunnen leiden tot onnodig hoge klimaatimpact.

Voor de dataprocessen zit het grootste deel van de klimaatimpact bij de dataopslag. Om de klimaatimpact te reduceren zijn de vier meest effectieve opties:

- **Extra digitale kopieën vermijden** kan 4,9 ton CO₂ per kopie besparen. Ontvangende partijen slaan ook vaak zelf de data nog op en hanteren archieven. Het aanbieden van een platform met *compute instances* of *serverless functions* die direct op de data op de server werken, kan dit voorkomen. Bij deze optie is er nog steeds sprake van centrale opslag in Azure (en daarmee maar deels tegelijk toe te passen met de volgende opties).

- Het archief voor Beeldmateriaal staat meerdere keren opgeslagen, zowel in Azure als offlinekopieën. Bij het uitsluitend **offline opslaan van het archief** kan 14 ton CO₂ gereduceerd worden.
- **Distributie van de data geheel offline** doen door fysieke harde schijven te versturen zou een reductie van 10 ton CO₂ kunnen opleveren.
- Het **tijdelijk aanbieden van data** uit Azure voor één à twee maanden en daarna de data direct door te schakelen naar het archief verminderd energieverbruik.
- **Praktisch uitvoerbaar** zijn. Door weersomstandigheden kan het zijn dat er meer vliegkilometers moeten worden afgelegd. Hiervoor kan ook een inschatting worden meegegeven.
- Bij een te grote afwijkingen van het ingeschatte brandstofverbruik wat niet het gevolg is van onvoorziene omstandigheden dient **gehandhaafd** te worden.
- **Beperkte administratieve lasten** hebben. Brandstofverbruik is al een grote kostenpost bij inwinning dus partijen zouden hier al goed zicht op moeten hebben.

Mogelijke sturingsinstrumenten in uitvraag

De luchtopnames en hoogtedata worden ingewonnen door marktpartijen die hier opdracht voor krijgen. We hebben onderzocht welke criteria in de uitvraag opgenomen kunnen worden, zodat de klimaatimpact gereduceerd gaat worden. Voor het inwinnen van de data met vliegtuigen is *verwacht brandstofverbruik* het meest geschikte beoordelingscriterium voor de klimaatimpact. Hiervoor moet het wel:

- **Transparant** zijn hoe zwaar het duurzaamheidscriterium wordt meegenomen in de beoordeling.
- **Controleerbaar** zijn dat het opgegeven brandstofverbruik klopt. Daarom zou de opdrachtnemer minimaal de volgende gegevens moeten aanleveren: type vliegtuig met brandstofverbruik per uur vliegen, vliegplan, totale verwachte vliegkilometers, reisafstand vanaf thuisbasis en onderhoudslocatie en frequentie.
- **Type vliegtuig:** Vooral het formaat van het vliegtuig blijkt erg bepalend voor het brandstofverbruik en daarmee de klimaatimpact. Een optie zou zijn om eisen te stellen aan het brandstofverbruik en de minst zuinige vliegtuigen uit te sluiten.
- **Ferry- en transittijden:** Partijen die van ver moeten komen hebben een langere aanvliegroute en hierdoor extra emissies. De afstand van de thuisbasis zou meegenomen kunnen worden als criterium.
- **Onderhoudslocatie en frequentie:** Een verdere onderhoudslocatie geeft meer vliegafstand en meer emissies.

Indien het niet mogelijk zou blijken om brandstofverbruik als beoordelingscriterium te implementeren, worden hier een aantal alternatieve criteria genoemd:



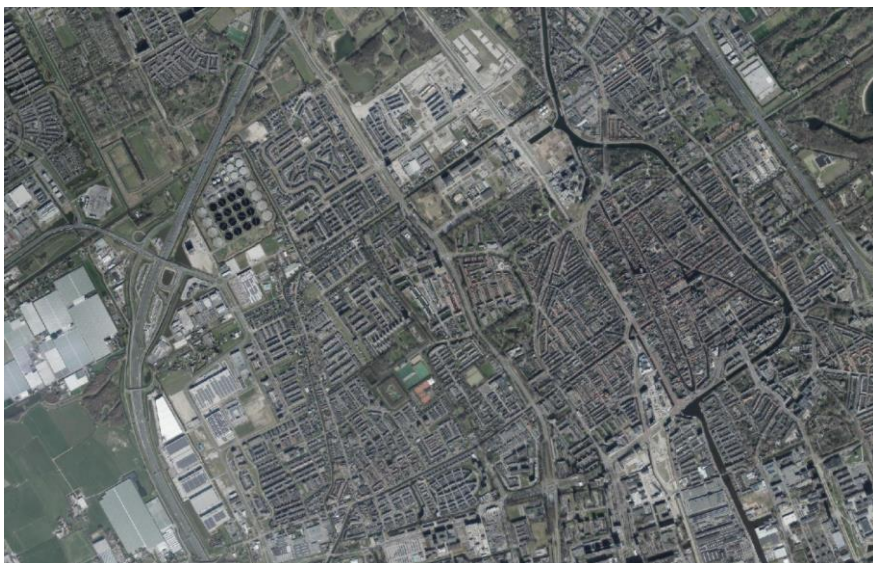
Verder kan het aanbieden van langjarige contracten partijen helpen bij een investering in een zuiniger vliegtuig. Voor het opbouwen van een investeringsplan biedt een vier- of vijfjaarcontract meer zekerheid dan één- of tweejarig contract.



1 Introductie

Rijkswaterstaat (RWS) streeft ernaar in 2030 klimaatneutraal te zijn. De directie Inwinning en Gegevensanalyse (IGA) koopt en produceert voor RWS veel data. Om in de toekomst klimaatneutraal te kunnen gaan werken heeft IGA inzicht nodig in de huidige impact (nulmeting) en inzicht hoe deze impact in de toekomst te verminderen. CE Delft en Radboud Universiteit Nijmegen hebben hier samen onderzoek naar gedaan en de bevindingen in dit rapport beschreven.

Figuur 2 - Luchtfoto van Delft uit het BM (www.beeldmateriaal.nl/)

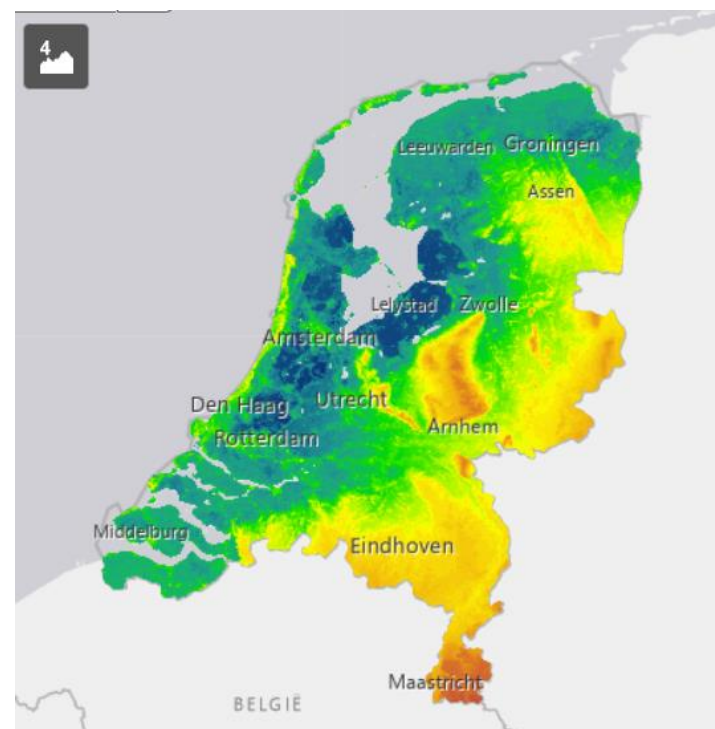


In dit onderzoek is de klimaatimpact in kaart gebracht voor twee producten, namelijk het:

1. Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN).
2. Beeldmateriaal (BM).

Deze producten laat het Waterschaphuis inwinnen voor de samenwerking AHN en BM.

Figuur 3 - AHN-overzichtskaart (www.ahn.nl)

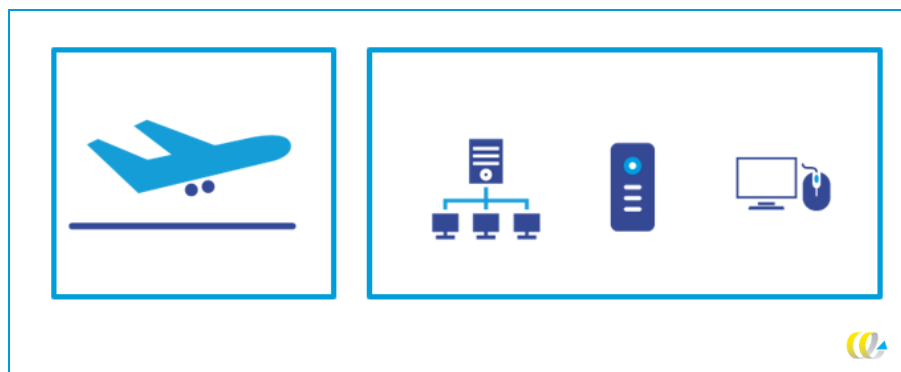


Het materiaal voor beide producten wordt ingewonnen met vliegtuigen en heeft hierdoor een hoge klimaatimpact. Daarnaast gaat het bij deze producten om grote data-bestanden die juist weer een generiek voorbeeld kunnen zijn voor de omgang met data en producten van IGA. Deze studie geeft inzicht in de klimaatbelasting van de producten BM en AHN. De klimaatimpact van de producten is weergegeven in Figuur 5 en bestaat uit:

1. Inwinning van de data met vliegtuigen.
2. Dataprocessen (verwerking, opslag en ontsluiting).

Rijkswaterstaat en het Waterschapshuis zijn van plan de inzichten uit deze studie te gebruiken bij de inkoop, opslag en distributie van deze en ander producten.

Figuur 4 - Schematische overzicht van de hoofdcomponenten die de klimaatimpact bepalen, namelijk de inwinning per vliegtuig en de datagerelateerde processen (verwerking, opslag en ontsluiting)



Omdat niet alle benodigde gegevens om de impact te bepalen in openbare bronnen beschikbaar zijn, zijn interviews met inwinnende partijen, RWS-CIV-IGA, het Waterschapshuis, het Kadaster en gebruikers gevoerd. Bovendien zijn detailgegevens van de individuele stappen in het proces opgevraagd en geanalyseerd. Indien informatie niet beschikbaar is, hebben wij aannames gemaakt en de daarmee verbonden onzekerheden transparant gedocumenteerd.

Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt de totale klimaatimpact van het AHN en het BM voor het jaar 2023 berekend. Voor zowel de inwinning als alle dataprocessen lichten we toe hoe deze bepaald zijn en welke aannames wij gemaakt hebben. Vervolgens geeft Hoofdstuk 3 een overzicht van maatregelen hoe de klimaatimpact verminderd kan worden. In Hoofdstuk 4 presenteren we concrete aanbevelingen hoe de klimaatimpact van de inwinning in de beoordeling van offertes meegenomen kan worden.

Als achtergrondinformatie bevat Bijlage A een overzicht van de meest belangrijke voorstellen van het Europese Fit for 55-pakket voor de verduurzaming van de luchtvaart en Bijlage B een verslag van de interviews met de inwinnende marktpartijen.

2 Nulmeting klimaatimpact

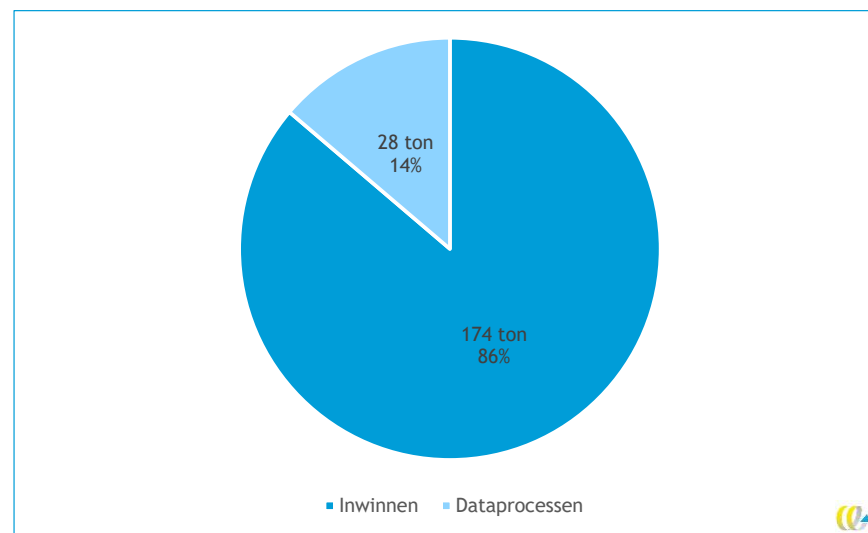
2.1 Totale klimaatimpact

In 2023 was de totale klimaatimpact van de producten Beeldmateriaal (BM) en Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) 202 ton CO₂¹. Deze klimaatimpact bestaat uit zowel het inwinnen per vliegtuig als de data gerelateerde processen. Figuur 4 toont de klimaatimpact van deze twee componenten. Veruit het grootste deel (86%) van de CO₂-uitstoot van deze producten komt van de vliegtuigen tijdens de inwinning van de data en beelden. De andere 14% van de klimaatimpact komt vrij als gevolg van de dataprocessen. Voor zowel de inwinning als bij de dataprocessen is alleen het energieverbruik meegenomen, dat zijn de emissies van de productie en verbranding van vliegtuigbrandstoffen en van de elektriciteitsproductie die nodig is voor de dataverwerking en distributie. De energie die benodigd wordt voor de productie van de computersystemen en vliegtuigen is buiten

¹ Dat is vergelijkbaar met de gemiddelde uitstoot van 13 inwoners van Nederland. Het CBS rapporteert voor 2021 een gemiddelde uitstoot van 16 ton per inwoner waarbij rekening wordt gehouden met de handelsbalans.

beschouwing gelaten. Voor veel ICT toepassingen is deze juist groter dan de emissies tijdens het gebruik (CE Delft, 2019).

Figuur 5 - Totale klimaatimpact van producten BM en AHN in 2023 (ton CO₂)



2.2 Inwinning AHN en BM

Het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en het Beeldmateriaal (BM) worden ingewonnen met vliegtuigen.



Deze hebben scanners/camera's aan boord die de data verzamelen en opslaan. Als energiebron voor de voortstuwing van de toestellen en voor de operatie van de scanners wordt vliegtuigbrandstof gebruikt. Omdat alle aanbieders dezelfde brandstof gebruiken en ook in de komende jaren geen alternatieven bestaan kunnen de CO₂-emissies worden bepaald door het brandstofverbruik tijdens de inwinning te vermenigvuldigen met de bijhorende emissiefactor. De CO₂-emissies die uit het brandstofverbruik resulteren, vormen de klimaatimpact van de inwinning. Deze worden op twee manieren berekend, namelijk zonder de emissies die vrijkomen bij de brandstofproductie (Scope 1) en inclusief emissies van de gekochte energie (Scope 2). Scope 3-emissies vallen buiten de scope van dit onderzoek. Dat zijn bijvoorbeeld de emissies die zijn vrijgekomen bij de productie van de ingezette vliegtuigen en scanners.

Door deze afbakening is het brandstofverbruik de centrale eenheid om de klimaatimpact te bepalen. Met non-CO₂-emissies (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) hoeft door de lage vlieghoogte geen rekening gehouden te worden.

Om het brandstofverbruik van het inwinnen in kaart te brengen, zijn verschillende informatiebronnen geraadpleegd en geanalyseerd. De belangrijkste zijn:

- specificaties van vliegtuigtypes die worden ingezet bij de inwinning door marktpartijen;
- vliegplannen van een recente inwinning;

– interviews met marktpartijen.

Bij de inschatting is rekening gehouden met de standaard operationele randvoorwaarden zoals het aanvliegen van de vliegtuigen van hun thuisbasis en het tussendoor landen om bij te tanken, maar niet met onvoorziene aspecten zoals het afbreken van vluchten bij slechte weersomstandigheden of het opnieuw inwinnen bij mislukte opnames.

Tabel 1 toont een overzicht van de marktpartijen en de vliegtuigen welke zij voor de inwinning van hoogteopnames voor RWS en het Waterschapshuis inzetten.

Tabel 1 - Overzicht van marktpartijen die in het recente verleden betrokken waren bij de inwinning van AHN en BM en vliegtuigtypes die deze partijen inzetten (bron: websites marktpartijen en informatie Rijkswaterstaat/het Waterschapshuis)

| Marktpartij | Vliegtuigen |
|------------------------|---|
| Kavel10 | Technam P2006T |
| Miramap Aerial Surveys | Vulcanair P68C Partenavia P68C-TC |
| BSF Swissphoto | Cessna C206 Cessna C208 Cessna C208 Grand Caravan |
| Zeusch | Beechcraft King Air B200 Beechcraft King Air C90A |
| Slagboom & Peeters | Cessna Citation-II Piper Cheyenne-IXL Piper Chieftain 350 |
| Eurosense | Cessna 404 Titan |
| SFS | Pilatus PC12/45 |



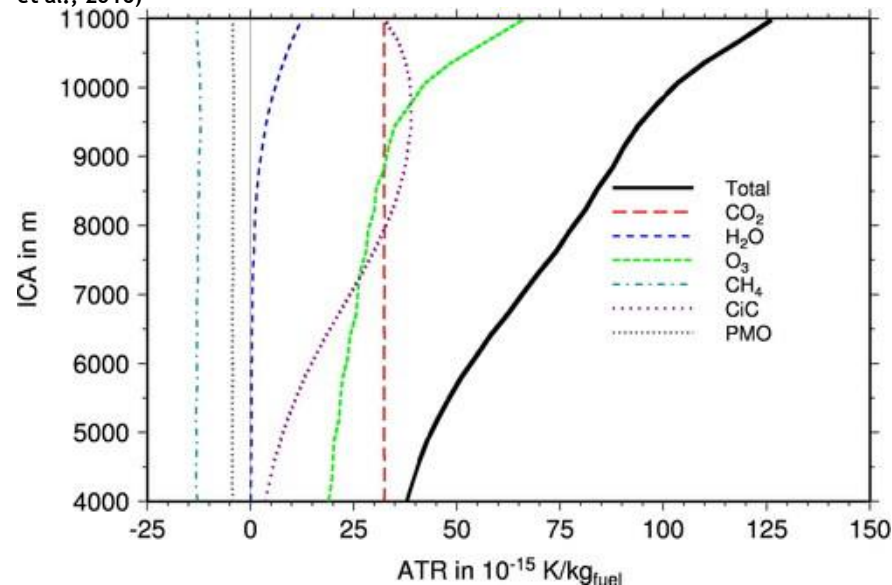
De klimaatimpact is hier bepaald als de CO₂-emissies voor het in kaart brengen van heel Nederland voor vliegtuigen van marktpartijen waar Rijkswaterstaat vaak mee samenwerkt. De inwinning gebeurt door heel Nederland in stroken te scannen. De vliegtuigen volgen vlieglijnen die van tevoren worden vastgelegd in een vliegplan voor de inwinning. Om tot de klimaatimpact te komen zijn vier stappen doorlopen, namelijk:

1. Lijnafstand bepalen in vliegplan.
2. Totale vliegafstand bepalen.
3. Brandstofverbruik bepalen.
4. CO₂-emissies bepalen.

Tekstkader 1 - Non-CO₂

In de commerciële luchtvaart is CO₂ verantwoordelijk voor ongeveer 1/3 van de klimaatimpact. De andere 2/3 worden veroorzaakt door non-CO₂-effecten (Lee et al., 2021). De belangrijkste zijn vliegtuigstrepen en stikstofemissies op hoogte die voor een verhoogde ozonconcentratie in de atmosfeer zorgen (EASA et al., 2020). In tegenstelling tot CO₂ waarvan het klimateffect onafhankelijk is van de plek van emissie, zijn non-CO₂-effecten sterk afhankelijk van de vlieghoogte. Tot een vlieghoogte van 4.000 meter zijn de effecten verwaarloosbaar klein en nemen dan toe met de vlieghoogte (zie Figuur 6). Omdat de inwinning van het AHN en het BM vooral plaatsvindt op hoogtes onder 4.000 meter, zijn non-CO₂-klimateffecten verwaarloosbaar klein en zijn deze niet kwantitatief in kaart gebracht.

Figuur 6 - Hoogteafhankelijkheid van de verschillende componenten van de klimaat-impact per kg brandstof voor een voorbeeldvlucht van Detroit naar Frankfurt (Dahlmann et al., 2016)

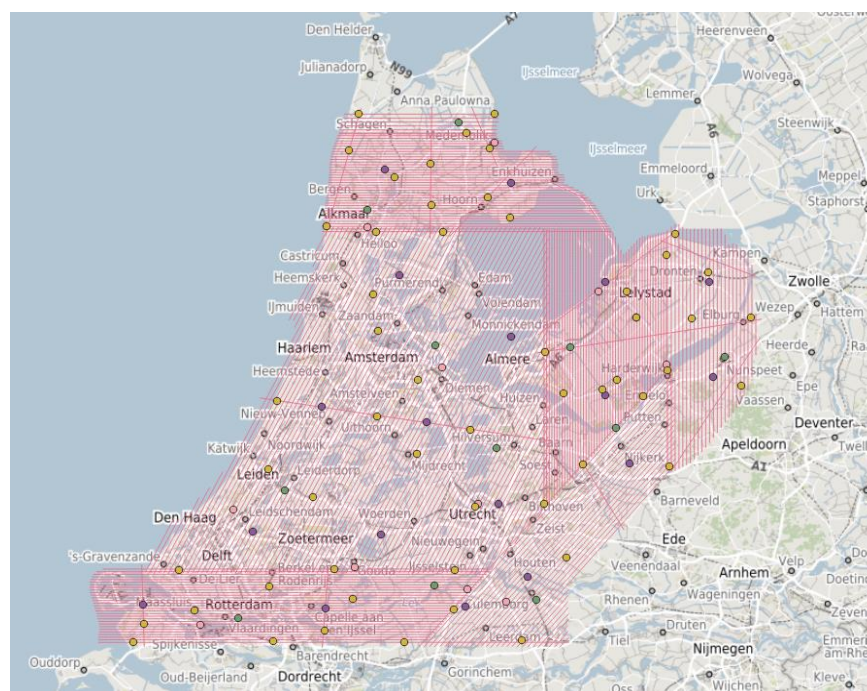


Lijnafstand bepalen in vliegplan

Als eerste stap is een recent vliegplan geanalyseerd. De lijnen geven een goed overzicht van het minimale aantal kilometers voor de inwinning nog zonder afstanden die nodig zijn om van de ene lijn naar de andere te komen en het aanvliegen en terugkeren naar een luchthaven. Om een beeld te krijgen van hoeveel lijnafstand er gevlogen moeten worden om een bepaald oppervlak in beeld te brengen is een voorbeeld-vliegplan geanalyseerd. Hiervoor is door Rijkswaterstaat het

vliegplan 'Vliegplan_AHN5_P1_2023' aangeleverd, weergegeven in Figuur 7. Met een QGIS-analyse is gevonden dat hier een lijnafstand van 13.384 km nodig is om een oppervlak van 8.062 km² in kaart te brengen. Let op: deze lijnafstand hangt af van hoe ver de vlieglijnen uit elkaar liggen, dit hangt weer af van de resolutie voor het BM of de punt dichtheid van het AHN, waarmee het product ingewonnen moet worden. In dit voorbeeldvliegplan lagen de lijnen 1 km uit elkaar, dit is een gebruikelijke afstand voor veel opdrachten met een resolutie van 7,5 cm. Door dit te schalen naar het oppervlak van heel Nederland (42.000 km²) (CBS, 2020) vinden we dat hiervoor een lijnafstand van ongeveer 70.000 km nodig is.

Figuur 7 - Voorbeeldvliegplan 'Vliegplan_AHN5_P1_2023'



Totale vliegafstand bepalen

De lijnafstand staat niet gelijk aan de afstand die het vliegtuig echt vliegt. Het vliegtuig moet immers eerst van de basis naar de start van het vliegplan komen en ook aan het einde weer terug naar de basis vliegen. Ook moeten er na elke lijn bochten gemaakt worden die niet in het vliegplan zijn meegenomen. Daarom bepalen we in deze stap een omreisfactor.

Op basis van de interviews en openbare informatie is de omreisfactor per vliegtuig bepaald. Hier een voorbeeld-berekening van een vliegtuig dat een actieradius van 6 uur heeft. Er is 15 minuten nodig voor zowel de heen- en terugvlucht, samen 30 minuten, en nog eens 30 minuten speling. Dit leidt tot 5 uur object time. Over elke lijn wordt gemiddeld 10 minuten gevlogen, waarna elke bocht 2,5 minuten kost. Dit zorgt ervoor dat effectief 4 van de 5 uur over de lijnen wordt gevlogen. Oftewel voor 4 uur effectief vliegen is 5,5 uur vliegtijd nodig, dat is 38% extra tijd. Als we aannemen dat het vliegtuig aldoor met dezelfde snelheid vliegt betekent dit 38% meer vliegafstand dan lijnafstand, wat leidt tot ongeveer 100.000 km vliegafstand voor heel Nederland.

Brandstofverbruik bepalen

Op basis van openbare informatie aangevuld met de interviews is het standaardbrandstofverbruik in liter/uur en de standaardsnelheid in km/uur bepaald voor elk vliegtuig. De gebruikte waarden zijn weergegeven in Tabel 2. Door deze twee te vermenigvuldigen, en de dichtheid van de brandstof mee te nemen, is het brandstofverbruik per kilometer te verkrijgen. Aangenomen is dat alle vliegtuigen op Avgas (aviation gasoline) vliegen met een dichtheid van 0,768 kg/L.

² We hebben begrepen uit de interviews dat het brandstofverbruik in de operatie inclusief gebruik van de scanner ongeveer gelijk is aan het brandstofverbruik dat de producent opgeeft. Echter, bij kleine lichte vliegtuigen is bekend dat het gewicht voor bemanning

Tabel 2 - Bepaling brandstofverbruik per kilometer

| Vliegtuig | Brandstofverbruik (l/u) ² | Snelheid (km/u) | Brandstofverbruik (kg/km) |
|---------------------------|--------------------------------------|-----------------|---------------------------|
| Technam P2006T | 34 | 269 | 0,10 |
| Vulcanair P68C | 60 | 270 | 0,17 |
| Partenavia P68C-TC | 78 | 300 | 0,20 |
| Cessna C206 | 57 | 278 | 0,16 |
| Cessna C208 | 180 | 278 | 0,50 |
| Cessna C208 Grand Caravan | 227 | 278 | 0,63 |
| Beechcraft King Air B200 | 511 | 278 | 0,75 |
| Beechcraft King Air C90A | 379 | 278 | 0,67 |
| Cessna Citation-II | 727 | 278 | 2,01 |
| Piper Cheyenne-II XL | 337 | 278 | 0,93 |
| Piper Chieftain 350 | 151 | 278 | 0,42 |
| Cessna 404 Titan | 170 | 278 | 0,47 |
| Pilatus PC12/45 | 235 | 278 | 0,65 |

Bronnen: Tecnam, Vulcanair, Aviation Consumer, GuardianJet, JetAdvisors, AVweb, PlanePHD.

CO₂-emissies bepalen

Door het brandstofverbruik te vermenigvuldigen met de emissiefactor van Avgas kan de CO₂ per kilometer bepaald worden. Hiervoor is een ‘Tank-to-Wing’-emissiefactor van 3,07 kgCO₂/kg van Avgas gebruikt (U.S. EPA, 2023). Dit zijn de emissies die vrijkomen bij het verbranden van de Avgas. Ook is gekeken naar de emissies die vrijkomen bij het produceren

en materiaal van relatief grotere invloed is op het brandstofverbruik. Wij beschikken niet over de data om dit verder te kwantificeren. En houden in de analyse het brandstofverbruik van de producenten aan.

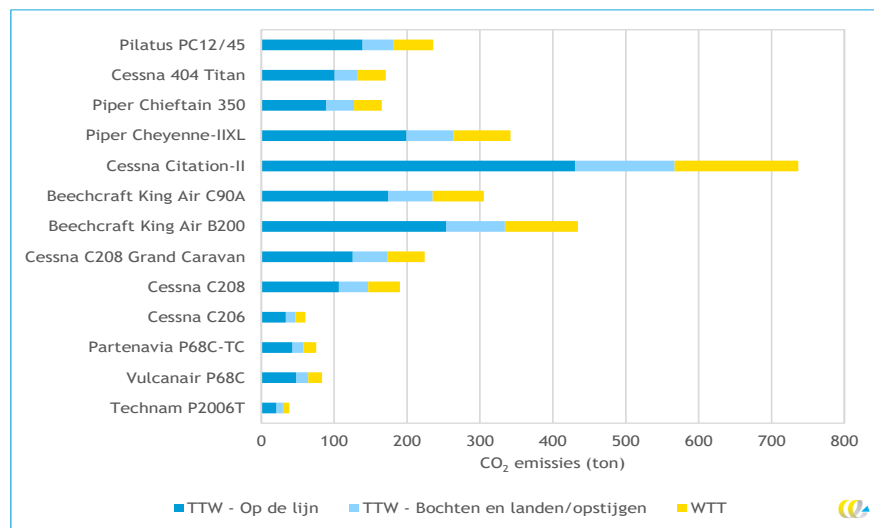


van de brandstof, de ‘Well-to-Tank’-emissies, door aan te nemen dat de WTT/TTW verhouding hetzelfde is als bij kerosine (er is bij ons geen WTT-emissiefactor voor Avgas bekend). De totale CO₂-emissies voor het in kaart brengen van heel Nederland worden nu bepaald door de CO₂ per kilometer te vermenigvuldigen met de gevonden vliegafstand.

Resultaten per vliegtuig

Figuur 8 geeft een overzicht van de klimaatimpact per vliegtuig in CO₂-uitstoot voor het in kaart brengen van heel Nederland.

Figuur 8 - Klimaatimpact per vliegtuig voor in kaart brengen Nederland



De CO₂-emissies zijn opgedeeld in verbrandingsemissies (TTW) van het vliegen op de vlieglijnen - dit zijn de netto-emissies van het vliegplan, TTW-emissies van het maken van bochten en landen/opstijgen - dit samen zijn de bruto-emissies van het vliegplan, en de emissies die vrijkomen bij productie van de benodigde brandstof (WTT).

Hieruit volgt dat de Technam P2006T de laagste klimaat-impact heeft met 30 ton CO₂ TTW en 9 ton WTT. Dit komt met name doordat dit het lichtste en kleinste vliegtuig van deze selectie is met 860 kg leeggewicht. Een lichter en kleiner vliegtuig zorgt voor een significant lager brandstofverbruik. Opvallend aan de andere kant is dat de Technam de kortste actieradius heeft. Dit vliegtuig kan vier uur in de lucht blijven ten opzichte van vijf tot twaalf uur voor de andere vliegtuigen. Aangezien veel opdrachten langer zijn dan deze duur betekent dit dat met een Technam vaker zal moeten worden geland en opgestegen om te tanken (wat vaak in de regio gebeurt). Uit onze analyse volgt dat een actieradius van vier uur vergeleken met twaalf uur ongeveer 9% extra emissies geeft in totaal. Dit is dus een kleine factor ten opzichte van de emissieverschillen door brandstofverbruik tussen de vliegtuigen.

Daarna volgen de Cessna C206 en de Vulcanair/Partenavia P68C met iets meer emissies. De andere vliegtuigen stoten een factor vier tot negentien keer zoveel CO₂-emissies uit als de Technam.



Dit komt met name doordat dit veel grotere en zwaardere vliegtuigen zijn.

Naast de emissies voor het uitvoeren van het vliegplan moet ook elke zoveel uur onderhoud gepleegd worden. Als een partij in het buitenland gestationeerd is, betekent dit dat deze partij voor het onderhoud een flink aantal extra kilometers moet vliegen, indien het niet mogelijk is dit in Nederland uit te laten voeren. Stel dat een partij elke 50 uur een afstand van 500 km moet terugvliegen voor onderhoud. Om heel Nederland in kaart te brengen zou deze partij zeven keer onderhoud moeten plegen. Dit zal ongeveer 7% aan extra CO₂-emissies geven, waarmee dit ook een kleine factor is ten opzichte van de verschillen in brandstofverbruik.

Nulmeting voor 2023

Om een nulmeting te maken van de klimaatimpact van het inwinningsproces berekenen we de CO₂-uitstoot voor alle producten die ingewonnen zijn in één jaar.

Tabel 3 geeft een overzicht van de ingewonnen producten in 2023.

Tabel 3 - Ingewonnen producten in 2023

| Product | Scope | Resolutie | Strookbreedte | Vliegtuigen |
|---------|---|-----------------------|-------------------------|---|
| BM HRL | TMA Schiphol (P1, 7.574 km ²) | 7½ cm | 1,7 km | Cessna 404 Titan |
| | Zuid Oost (P2, 7.163 km ²) | 7½ cm | 1,4 km | Cessna 208 Caravan Cessna 208B Grand Caravan |
| | Noord (P3, 9.239 km ²) | 7½ cm | 1,5 km Wadden: 850 m | Tecnam P2006T Tecnam P2006T SMP Vulcanair P68 TC Observer |
| | Zuid West (P4, 5.763 km ²) | 7½ cm | 1,5 km | Cessna 404 Titan Pilatus PC12/45 |
| | Oost (P5, 9.182 km ²) | 7½ cm | 1,4 km | Cessna 402B |
| BM LRL | Heel Nederland (38.921 km ²) | 25 cm | 4,9 km | Cessna 550 Citation-II Piper Cheyenne-II XL King-Air B200 |
| AHN | West en Noord (16.831 km ²), 1/3 van Nederland | 15 pnt/m ² | 1 km | Partenavia P68 |

Door per product het oppervlak te delen door de strookbreedte en een algemene inefficiëntiefactor op basis van het voorbeeldvliegplan³ toe te passen kan de lijnafstand bepaald worden. Op basis van informatie per gebruikt vliegtuig zijn hiermee de vliegafstand en de CO₂-emissies berekend.

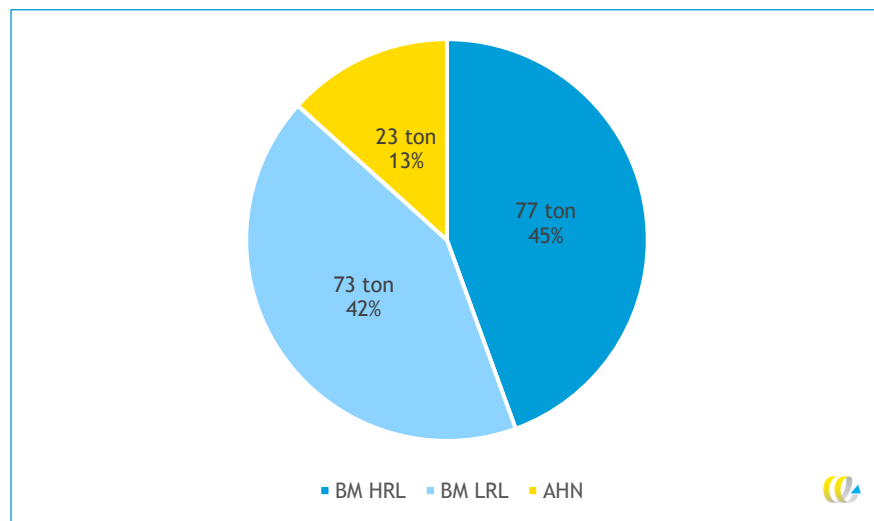
³ In het voorbeeldvliegplan AHN P1 is voor een oppervlak van 8.062 km² een lijnafstand van 13.384 km nodig bij een strookbreedte van 1 km. Er is voor alle producten een

dwarsoverlap van 15% aangenomen, gelijk aan die van AHN P1 en P1, waardoor de afstand tussen de lijnen 15% kleiner is. Hieruit resulteert een inefficiëntiefactor van 1,41.



Voor de ingewonnen producten in het jaar 2023 resulteert dit in een totale CO₂-uitstoot van 174 ton. Figuur 9 laat zien hoe dit verdeeld is over de producten.

Figuur 9 - Klimaatimpact ingewonnen producten in 2023 (ton CO₂)



Opvallend is dat de BM-hoge resolutie (HRL) ongeveer dezelfde klimaatimpact heeft als de BM-lage resolutie (LRL). Dit terwijl bij de lagere resolutie een veel grotere strookbreedte gebruikt kan worden, wat ertoe leidt dat de vliegafstand meer dan drie keer kleiner is. De verklaring hiervoor is dat voor de BM LRL-vliegtuigen zijn gebruikt die veel meer brandstofverbruik hebben. De gebruikte Cessna

Citation-II, Cheyenne-IIXL en King-Air B200 zijn de drie meest verbruikende vliegtuigen uit de onderzochte lijst.

Het AHN van heel Nederland wordt iedere drie jaar ingewonnen. Per jaar wordt ongeveer 1/3 van het gebied gescand. In 2023, is de data voor Noord- en West-Nederland ingewonnen. Het inwinnen van het AHN voor heel Nederland heeft met ongeveer 70 ton CO₂ een vergelijkbare klimaatimpact als het eenmalige inwinnen van het BM van heel Nederland.

2.3 Dataprocessen

Als we de data volgen zijn er vier stappen te onderscheiden waarin de data van luchtfotografie ontsloten wordt: (1) verwerking van de ruwe beelden, (2) primaire centrale opslag, (3) secundaire centrale opslag, en (4) de uitlevering aan afnemers. Dit zijn de aparte onderdelen die we nader zullen beschouwen.

Energieverbruik binnen ICT-systemen kan in een aantal categorieën uitgesplitst worden. Deze zijn:

- opslag van data;
- transport van data;
- bewerken/berekenen van data.

In dit rapport focussen we ons op opslag en transport van data in relatie tot de vier eerdergenoemde stappen.

Datacenters claimen vaak dat ze groen of CO₂-neutraal zijn. In de praktijk realiseren ze dit door het kopen van groene certificaten (zogenaamde GvO's). Echter, bij de afname van energie kan geen onderscheid gemaakt worden tussen groene en grijze gebruikers, oftewel de CO₂-uitstoot per energie-eenheid is voor beide groepen gebruikers gelijk. Voor onze berekeningen hoeven we de energiecontracten van de verschillende datacenters dus niet mee te nemen en kunnen we de algemene richtgetallen uit openbare bronnen als uitgangspunt nemen.

Voor de dataprocessen gaan we uit van de cijfers van de Europese Unie uit 2023 voor de impact van digitale diensten en gebruiken deze om digitale processen om te rekenen tot kWh. Om vervolgens deze kWh om te zetten in CO₂-uitstoot gebruiken we de gegevens van de klimaatmonitor van Rijkswaterstaat. Volgens deze klimaatmonitor bedroeg de CO₂-uitstoot per kWh in Nederland in 2022 0,27 kg. In 2012 was de uitstoot nog 0,47 kg CO₂ per kWh en deze nam in de loop der jaren geleidelijk af, wel met een uitschieter naar 0,53 kg CO₂ per kWh in 2015. In dit rapport gaan we uit van het gemiddelde van de afgelopen drie jaar (2020, 2021, 2022), namelijk 0,29 kg CO₂ per kWh (Rijkswaterstaat, lopend).

Verwerking ruwe beelden

Per jaar komen er 300 TB aan nieuwe luchtfoto's beschikbaar, gemaakt door verschillende leveranciers. Deze worden lokaal

verwerkt door de leverancier, met uiteenlopende processen. Daarna worden ze naar de primaire centrale opslag geüpload. Gebaseerd op de getallen van de Europese Unie kost het uploaden van 1 GB 0,004 kWh. Voor 300 TB aan data, kost de upload van nieuwe luchtfoto's per jaar 1.200 kWh, oftewel 350 kg CO₂.

Primaire centrale opslag

Dit is het eerste punt waar data van de verschillende leveranciers van luchtfotografie bij elkaar komen. De verschillende leveranciers uploaden de data naar deze centrale opslag. Het Kadaster is verantwoordelijk voor deze opslag. Het inwinnen van beeldmateriaal wordt per gebied aanbesteed en het Kadaster draagt zorg voor de aanhechting tussen deze gebieden. Dit gebeurt deels automatisch door het inhuren van de *spot instances* op Azure. Dit is wellicht financieel aantrekkelijk, maar de opzet middels deze *spot instances* maakt het wel lastig om een goede inschatting van de CO₂-emissies te maken ten gevolge van de dataverwerking. Deze primaire centrale opslag wordt gehost in een Azure-cloudomgeving. Deze opslag bevat 2.600 TB aan data, waarbij 600 TB livedata is die in drievoud (in drie verschillende datacentra) staat opgeslagen. De rest is archiefdata, met luchtfoto's vanaf 2012, die ook drievoudig staat opgeslagen. Per jaar komt er ruwweg 300 TB aan nieuw beeldmateriaal bij.



Uit verbruiksgegevens over de dataopslag aan de Radboud Universiteit weten we dat grote dataopslag (van meerdere PB) 1.8 W per TB kost. Dit is gemeten in het rack bij de opslagservers (mei 2023), gebruikmakend van het CEPH-opslagsysteem, zonder redundantie. Om hieruit de werkelijke kosten te kunnen bepalen moeten dit cijfer worden vermenigvuldigd met de PUE-factor (*Power Usage Efficiency factor*) van het datacentrum waar de servers zich bevinden. Beeldmateriaal wordt opgeslagen in een Microsoft-datacentrum, en de PUE-factor is volgens Microsoft 1,185 voor Europese datacentra (Microsoft, 2022). Ter vergelijking: deze ligt net onder de 1,205 voor datacentra van het rijk, zoals gerapporteerd door Binnenlandse Zaken (Ministerie van BZK, 2023). Daarmee komen de energiekosten voor dataopslag in een groot datacentrum neer op 2,13W per TB. Aangezien de data in drie verschillende datacentra (drievoudig) wordt opgeslagen, zijn de kosten 6,4W per TB, of 56 kWh per TB per jaar. Voor 600 TB komt dat neer op 33.600 kWh aan energiekosten per jaar, met een equivalent aan 9,7 ton CO₂ per jaar.

Daarbovenop komen de energiekosten van de archiefdata. Wederom gebaseerd op de gegevens van datasystemen aan de Radboud Universiteit schatten we in dat een archief, met hogere toegangstijden, vergelijkbare energiekosten heeft als de CEPH-opslag met drie redundante datablokken per acht datablokken (gecodeerd met *Erasure Coding*) wat resulteert in een gebruik van 2,4W per TB. Gecombineerd met dezelfde PUE wordt dat 2,84W per TB, oftewel 25 kWh per TB per jaar.

Voor 2.000 TB archief betekent dat een energiekosten van 49.800 kWh, oftewel 14,3 ton CO₂ per jaar.

De ontwikkeling op dit vlak zijn hard gegaan. Cloudopslag gebruikte 0,147 kWh per GB per jaar volgens een rapport van de EU uit 2023 maar wel gebaseerd op cijfers van Google uit 2011 (DG Energy et al., 2023). Bij deze cijfers is al uitgegaan van de overhead van datacentra en dat deze data redundant wordt opgeslagen. Voor deze primaire centrale opslag zou dan voor 2.600 TB ongeveer 382.200 kWh worden gebruikt. Dit zou neerkomen op 110 ton CO₂-uitstoot per jaar voor de opslag. We denken echter dat de gegevens van de opslagsystemen van de Radboud Universiteit een realistischere afschatting van het energieverbruik opleveren dan berekeningen hiervan gebaseerd op de richtgetallen van de EU.

Secondaire centrale opslag beeldmateriaal

De luchtfotografie geldt als een open databron, en via het bedrijf Fundaments wordt de lage resolutie openbaar aangeboden. De hoge resolutie versie kan per keer betaald en gedownload worden.

Fundaments slaat 210 TB op voor het ontsluiten van luchtfoto's. Deze staat gehost in het PDC2-datacentra in Hengelo, met een PUE-factor van 1,36. Bij 2,4W per TB verbruik (met enige redundantie tegen verlies van data), en komt met inbegrip van de PUE-factor neer op 6.000 kWh per jaar, en 1.730 kg CO₂.



Uitgeleverd aan afnemers

Vanuit de primaire centrale opslag wordt alle nieuwe data (van 300 TB) circa vijf keer uitgeleverd aan, onder andere, defensie, politie, waterschappen, provincie en Rijkswaterstaat zelf, wat neerkomt op een totale uitlevering van ongeveer 1.500 TB aan data per jaar.

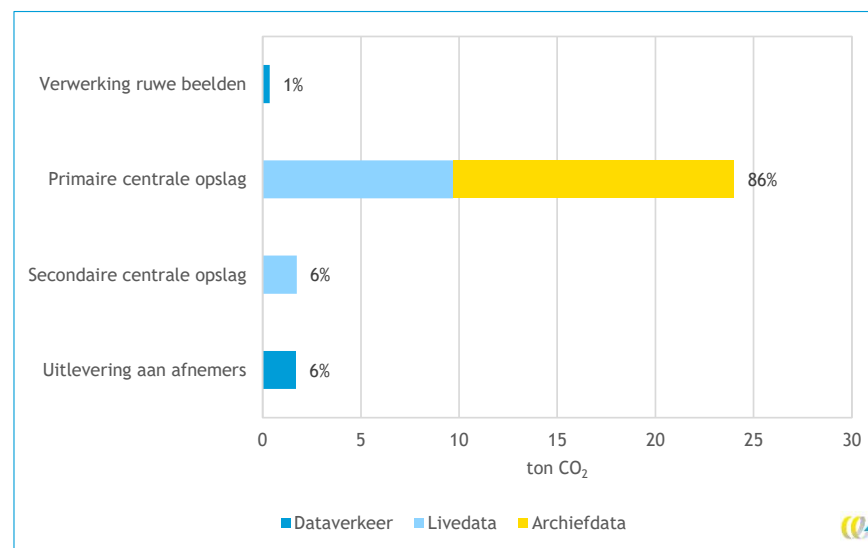
Deze uitlevering vindt uit kostenoverweging deels plaats via fysieke schijven die per koerier worden verstuurd. Mocht het geheel via internet uitgeleverd worden, dan kost dat 6.000 kWh, oftewel 1.700 kg CO₂.

Totaal dataprocesen

Het totaal van de upload, primaire en secundaire centrale opslag, en de uitlevering is 28 ton CO₂ per jaar. Hierbij is de communicatie tussen de verschillende opslaglocaties van de primaire centrale opslag, en tussen de primaire en secundaire centrale opslag niet meegenomen, bij gebrek aan realistische getallen.

Livedata is kostbaarder wat betreft CO₂-uitstoot: 600 TB aan livedata kost evenveel als 1.000 TB archiefdata. De uitstoot van de verschillende stappen in ontsluiting zijn in Figuur 10 weergegeven.

Figuur 10 - Klimaatimpact dataprocesen in 2023 (ton CO₂)



3 Mitigatieopties

In dit hoofdstuk inventariseren we welke opties er zijn om de klimaatimpact van luchttopnames en hoogtedata te reduceren. Hiervoor is een opsplitsing in mitigatieopties voor de vluchtfase en voor de ICT-fase.

3.1 Vluchtfase

Opties om de klimaatimpact van de vluchtfase te reduceren kunnen worden opgedeeld in:

- technische opties;
- operationele opties.

Technische opties

De volgende technische mitigatieopties zijn onderzocht:

- **Bijmengen duurzame luchtvaartbrandstoffen:** In de commerciële luchtvaart is een veelbesproken mitigatieoptie het bijmengen met SAFs (Sustainable Aviation Fuels). Dat zijn biologische of synthetische brandstoffen die kunnen worden bijgemengd bij fossiele kerosine in de standaardstraalmotoren van vliegtuigen, waardoor dit een technisch makkelijke oplossing is. Omdat bij de productie van SAF via biologische groei of technische processen CO₂ uit de atmosfeer wordt onttrokken, die bij de verbranding weer vrijkomt, hebben deze brandstoffen een significant

lagere klimaatimpact. Echter, deze brandstoffen zijn (nog) niet beschikbaar voor de meest gebruikte vliegtuigen in de surveywereld.

De vliegtuigen waar het hier om gaat zijn propeller-gedreven en vliegen op Avgas (aviation gasoline). Dit vraagt dan ook een ander soort duurzame luchtvaart-brandstof. Door de kleine afzetmarkt en de grote uitdagingen om SAF als vervanging van JetA/A-1 kerosine te produceren en te certificeren, lijkt het onwaarschijnlijk dat minder CO₂ intensieve vervangers voor Avgas in de komende jaren beschikbaar komen. Er zijn echter wel enkele vliegtuigmodellen in de markt die op JetA vliegen (Cessna Grandcaravan en modellen van Piper of Beechcraft). Voor deze modellen zou bijmengen met SAF wel een optie kunnen zijn, die bijdraagt aan een emissiereductie. Echter, deze modellen zijn relatief groot en hebben daarom een hoger brandstofverbruik dan de kleinere toestellen (zie Tabel 2), waardoor hun klimaatimpact ook door het bijmengen van SAF hoog blijft.

- **Elektrisch vliegen:** Een oplossing voor de kleinere luchtvaart zou dan wel elektrische vliegtuigen kunnen zijn. Voor de kleinere luchtvaart zijn al eerste elektrische opties op de markt en nog meer in ontwikkeling. Echter, hebben deze vaak nog maar een beperkte actieradius van rond de één tot twee uur vliegtijd. Dat maakt deze met name interessant als businessjets, voor toeristische doelen en als lesvliegtuigen. De huidige vliegtuigen voor de



inwinning van beeldmateriaal kunnen vier uur of meer vliegen op een tank. Daarvan is vaak 30 minuten of meer nodig voor het vliegen naar de startpositie en terugvliegen naar de basis. Dit zou dan al een groot deel tot de volledige acculading kosten bij een elektrisch vliegtuigen, waardoor dit praktisch gezien niet mogelijk is. Op korte termijn zijn elektrische toestellen nog geen haalbare optie voor de inwinning van AHN en BM. Bij verdere innovatie op het vlak van de batterijen, de energie-efficiënte van vliegtuigen en het vliegtuigontwerp is het mogelijk dat deze optie in de toekomst wel tot de mogelijkheden gaat behoren. Hierdoor zal de klimaatimpact van het inwinnen drastisch gereduceerd worden. **Drones:** Een optie zou kunnen zijn om in de toekomst drones in te zetten voor het inwinnen van luchtfoto's en hoogtedata. Hierbij hoeft er geen bemanning aanwezig te zijn wat weer gewicht en volume scheelt, waardoor misschien kleinere en daarmee zuinigere toestellen kunnen worden ingezet. Omdat deze toepassingen voor de grootschalige inwinning voor commerciële doelen momenteel nog niet beschikbaar zijn, is deze optie in dit rapport niet verder onderzocht.

- **Zuinigere vliegtuigen:** De enige mogelijke technische mitigatieoptie is op het moment vliegen met een zuinig vliegtuig. Het gaat hierbij om het aanschaffen van een vliegtuig met een lager brandstofverbruik. Dit kan een moderner vliegtuig zijn met efficiëntere techniek. Maar uit onze analyse van de klimaatimpact blijkt vooral

dat het formaat van het vliegtuig sterk bepalend is voor de uitstoot. Een klein en licht vliegtuig zoals de Technam P2006T heeft vaak een veel lager verbruik en stoot tot wel negentien keer minder CO₂ uit dan het meest verbruikende vliegtuig uit deze studie. Hier kan dus sterk mee worden bespaard. Zie Paragraaf 2.2 voor meer informatie over de klimaatimpact van verschillende vliegtuigen.

Operationele opties

Naast technische opties zijn er ook operationele mitigatie-opties:

- **Bundelen van opdrachten:** Op dit moment is het zo dat er voor veel gemeenten losse opdrachten zijn voor beeldopnames en daarnaast ook opdrachten voor grotere gebieden van Nederland zoals het AHN en BM. De reden is dat de verschillende partijen andere specificaties hebben. De belangrijkste zijn de resolutie en het moment in het jaar voor de inwinning (met of zonder bladeren aan de bomen). Hierdoor is er veel overlap in het beeldmateriaal dat gemaakt wordt. Een oplossing hier zou kunnen zijn om de opdrachten vanuit de opdrachtgeverskant te bundelen. Hiervoor is het nodig dat de specificaties worden afgestemd. Per gebied moet dan de hoogste aangegeven resolutie ingewonnen worden en voor andere gebruikers kan de data met behulp van downsampling aangepast worden op de gewenste resolutie. Voor de ingehuurd partijen is het in het algemeen niet mogelijk om



opdrachten te bundelen en hierdoor de klimaatimpact te reduceren. Dat komt zowel door het eigendomsrecht van de ingewonnen data als door de verschillen in specificaties. Zo willen veel opdrachtgevers net een andere resolutie of dat het beeldmateriaal op een ander moment opgenomen wordt. Door afstemming tussen in het algemeen allemaal publiekelijke opdrachtgevers, kan de klimaatimpact van de inwinning sterk gereduceerd worden. Als bijkomend voordeel leidt gezamenlijke inwinning tot een kostenreductie voor de overheid. Noodzakelijk is dat de eisen voor de inwinning worden afgestemd en de uitvraag gezamenlijk wordt gecoördineerd en uitgezet in de markt. We gaan ervan uit dat het nodig is dat partijen bereid zijn bepaalde concessies te doen en mogelijk gebruik wordt gemaakt van databewerkingsmethodes zoals downsampling indien partijen lagere resolutie nodig hebben. Een mogelijke optie kan zijn om het BM en het AHN met hogere resolutie/punt dichtheid in te winnen. Hierdoor neemt de klimaatimpact voor het inwinnen van deze producten beperkt toe, maar wordt het inwinnen door andere partijen niet meer nodig en leidt dit op systeemniveau tot een grote besparing.

- **Gecombineerd inwinnen van AHN en BM:** Op nationaal niveau worden de producten AHN en BM momenteel apart ingewonnen. Er zijn inmiddels scanners beschikbaar die beide gegevens gecombineerd kunnen inwinnen en vliegtuigen die twee gaten in de romp hebben waarin

twee apparaten geplaatst kunnen worden. Technisch is een gezamenlijke inwinning van AHN en BM dus mogelijk. Noodzakelijk om dit in de praktijk uit te voeren is het afstemmen van de specificaties. De belangrijkste lijken het moment van de inwinning en de resolutie/punt dichtheid. Door een gecombineerde inwinning kan tot 50% van de klimaatimpact gereduceerd worden.

- **Lagere resolutie:** Een lagere resolutie voor luchtopnames, of een lagere punt dichtheid bij hoogtedata, zorgt voor een lagere klimaatimpact. De resolutie is namelijk bepalend voor op welke hoogte gevlogen kan worden. Bij een lagere resolutie kan op een hogere hoogte gevlogen worden waar:

1. Minder luchtweerstand is en dus het brandstofverbruik lager ligt.
2. De afstand tussen de vlieglijnen groter kan zijn waardoor er minder afstand in totaal gevlogen hoeft te worden om het hetzelfde gebied in beeld te krijgen.

Over het algemeen geldt: een twee keer zo lage resolutie geeft een twee keer zo lage klimaatimpact voor het vliegen. Een punt van aandacht hierbij is dat in het gebied rond Schiphol (wat in de praktijk ongeveer heel Noord- en Zuid-Holland is) een hoogterestructie geldt van 1.500 voet, waardoor hier deze voordelen van een lagere resolutie niet opgaan. Een ander punt van aandacht is dat deze mitigatieoptie botst met de mitigatieoptie *bundelen van opdrachten*. Hierbij is gezamenlijk afstemming van de



resolutie nodig, gemeenten willen vaak juist een hogere resolutie dan waarmee Rijkswaterstaat inwint.

- **Minder eisen bij uitvraag:** Veel eisen vanuit de opdrachtgever kunnen het moeilijker maken voor de marktpartijen om efficiënt te vliegen. Eisen als vliegrichting, hoge overlappingspercentages of een maximale duur per lijn, maken de klimaatimpact groter.

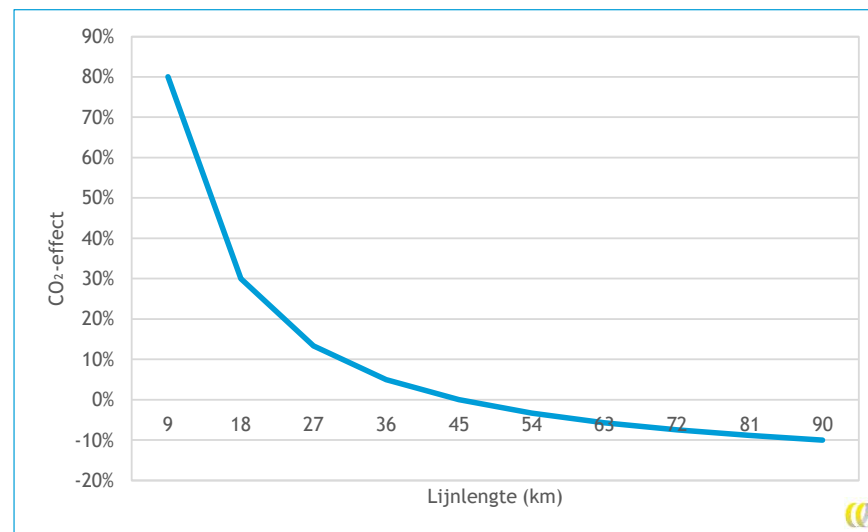
Voor een zo laag mogelijk brandstofverbruik is het goed zo lang mogelijke vlieglijnen te maken, in de bochten wordt namelijk geen data verzameld. In Figuur 11 is dit gekwantificeerd. Uitgaande van een basis lijnlengte van 45 km is gevonden dat bij een verdubbeling van de lijnlengte tot 90 km dit een reductie van 10% in CO₂-emissies geeft. Aan andere kant zou een verkorting van de lijnlengte veel extra emissies kunnen geven. Een verkorting naar bijvoorbeeld 9km zal 80% meer emissies geven. Een eis van een maximale duur per lijn kan dus extra emissies geven. Aan de andere kant moet worden meegenomen dat bij een bocht een kalibratie van de scanner plaatsvindt. Als dit te weinig gebeurt kan het dat het product niet goed ingewonnen wordt.

Ook het meegeven van een (onhandige) vliegrichting kan ervoor zorgen dat er een heleboel korte lijnen moeten worden gemaakt, wat veel extra emissies geeft.

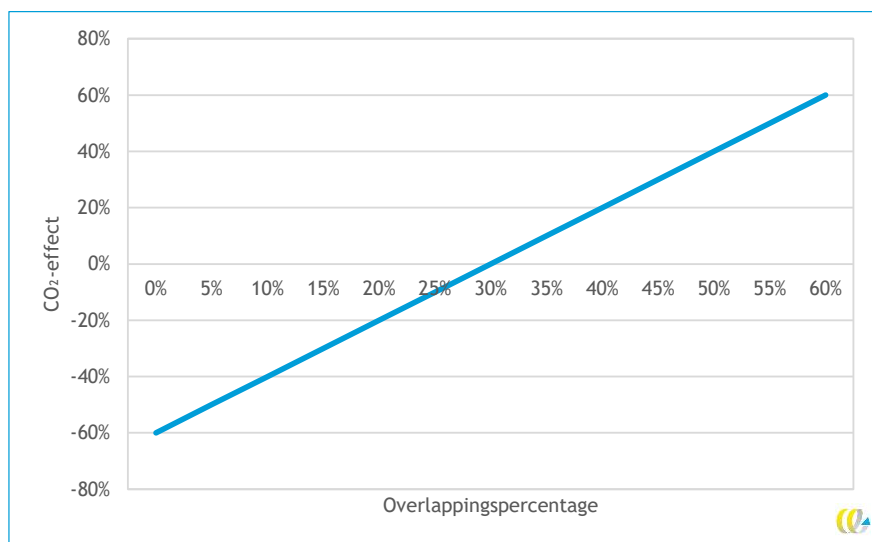
Hoge overlappingspercentages als 55% (standaard is rond de 30%) kunnen ervoor zorgen dat er veel meer moet worden gevlogen. Het overlappingspercentage in de vliegrichting bepaalt de snelheid waarmee kan worden gevlogen.

Maar in de dwarsrichting bepaalt het overlappingspercentage de afstand tussen de vlieglijnen, wat een grote impact kan hebben. In Figuur 12 is dit voor dwarsoverlap gekwantificeerd. Het verhogen van het overlappingspercentage van 30 naar 55% levert in totaal 50% extra emissies op. De andere kant op zou een verlaging van het overlappingspercentage naar 10% een reductie van 40% in emissies kunnen opleveren.

Figuur 11 - Afhankelijkheid klimaateffect van de lijnlengte



Figuur 12 - Afhankelijkheid klimaateffect van het overlappingspercentage



- **Vliegen met één persoon in plaats van twee:** Met bepaalde set-ups kan er met één persoon gevlogen worden in plaats van twee. Doordat dit minder gewicht geeft in het vliegtuig maakt dit het vliegtuig zuiniger. Echter bespaart dit in de praktijk maar vrij weinig. Ook geeft dit een risico op juist meer emissies als een opname fout gaat en er daardoor een nieuwe vlucht moet worden gemaakt.
- **Carbon offsets:** Sommige partijen kopen carbon offsets om hun restemissies van het vliegen te compenseren. Er zijn echter grote vraagtekens te zetten bij welke daadwerkelijke CO₂-compensatie dit geeft, sterker nog het gebruik van deze offset-programma's kan echte CO₂-

reductie ontmoedigen. Echte CO₂-compensatie moet voldoen aan Carbon Dioxide Removal (CDR). Hiervoor moet CO₂ fysiek uit de lucht worden onttrokken en permanent worden opgeslagen waarbij ook de emissies betrokken bij dit proces van onttrekken en opslaan moeten worden meegenomen (Tanzer & Ramirez, 2019). Bij carbon offset-programma's gaat het vaak over tijdelijke opslag (bijvoorbeeld in bomen), nemen ze niet de betrokken emissies hiervan mee en claimen ze emissies te vermijden of te reduceren, wat niet voldoet als CDR. Emissievermijding of -reductie is niet hetzelfde als fysieke verwijdering van CO₂ uit de atmosfeer, en is bovendien vaak niet additioneel (het zou ook gebeuren zonder dat deze offsets verkocht worden). Ook blijkt dat emissiereducties van vermeden ontbossingsprojecten significant lager zijn dan wordt geclaimd (West et al., 2023). Offsetting-programma's geven daarnaast de onjuiste indruk dat er voor de klimaatimpact van vliegen is gecompenseerd, terwijl dit niet het geval is. Dit schaadt bewustwording van zowel de maatschappij als de luchtvaartsector dat er meer gedaan moet worden om luchtvaartemissies te reduceren. Ook worden nu financiële middelen besteed aan offset-programma's die beter besteed hadden kunnen worden aan de ontwikkeling van directe verduurzaming van de luchtvaart of echte CDR-projecten.

3.2 Dataprocessen

In algemene zin heeft het nut om de dataopslag te verminderen zowel in aantal, tijd, en grootte alsmede de afstand die data over internet aflegt. Gezien de situatie bij luchtfotografie zit het grootste aandeel CO₂-uitstoot in de dataopslag, en liggen daar ook de kansen.

Voor beeldmateriaal worden er vele kopieën opgeslagen: de primaire centrale opslag werkt als distributie en archief punt. De ontvangende partijen slaan de data ook nog op, en hanteren soms ook zelf nog archieven. Het aanbieden van een platform waar *compute instances of serverless functions* die direct op het beeldmateriaal werken, kan er voor zorgen dat extra kopieën vermeden worden. Dit voorkomt ook dat data eerst op fysieke schijven naar een afnemer gestuurd worden, om vervolgens weer naar een verwerkingsomgeving gestuurd te worden, en daarmee effectief dubbel opgeslagen te worden. Een jaar aan luchtfotografie voor heel Nederland kost 4,9 ton CO₂ voor de dataopslag van één kopie als actieve dataset (zie berekening eerder). Per kopie minder opgeslagen kan deze uitstoot vermeden worden.

Het archief voor beeldmateriaal van 2.000 TB staat al meerdere keren opgeslagen, zowel in Azure als een offline kopie. Het archief kan wellicht uitsluitend offline opgeslagen worden, en niet online. Dit zal meteen de grootste reductie

opleveren van ongeveer 14 ton CO₂. De consumptie van elektriciteit van het archief is 49.800 kWh. Een modaal huishouden verbruikt 2479 kWh per jaar. Daarmee verbruikt het archief evenveel als 20 huishoudens.

Aangezien data nu al vanuit Azure uitgeleverd wordt door middel van harde schijven te versturen, zou het te overwegen zijn om ook de distributie van data ook geheel offline te doen vanuit het bestaande archief buiten Azure. Hierdoor zal er geen noodzaak meer zijn om de data live in Azure op te slaan. Dit zal een reductie opleveren van ongeveer 10 ton CO₂. Een andere optie is het tijdelijk aanbieden vanuit Azure, om te voorkomen dat de data een heel jaar opgeslagen staat. Door alleen één à twee maanden na het maken van luchtfoto's via Azure het aan te bieden, en daarna deze data direct door te schakelen naar het archief, kan de tijd dat de data op snellere datadragers met hogere energiekosten staat verkort worden.

In plaats van Azure kan ook naar andere datacentra gekeken worden, en andere opslagmanieren: minder redundantie, slechts opgeslagen in één datacentrum.

Het verkleinen van data door middel van compressie-technieken kan verkend worden. Dit is erg afhankelijk van gebruik, bijvoorbeeld of hoogte nodig is (wat ontbreekt in het ECW-formaat met goede compressieratio's).



De resolutie is de afgelopen jaren gestegen (naar 7,5 cm), en zal de komende jaren ook nog verder stijgen (naar 5 cm). Dit zal ook extra 2,25 keer zoveel datapunten opleveren, en afhankelijk van de het beeldformaat ook een vergelijkbare stijging in data. Om minder data te genereren en op te slaan zou het bevorderlijk zijn om niet op hogere resolutie te vliegen.

Precieze ontsluiting van specifieke gebieden (zoals gemeentegrenzen) van data om dataverkeer te besparen lijkt niet tot een hele grote reductie te leiden, omdat de balans doorslaat naar dataopslag. Dit zou wel kunnen helpen in het minder opslaan van data bij afnemers van de luchtfoto's, en daarmee een reductie te realiseren. Het zal wel tot extra complexiteit leiden bij het hercoderen van de data.

Het afspraken maken over de bewaartermijnen van data in het archief kan helpen om de impact van dataopslag te minimaliseren op termijn. Hierbij kan ook gedacht worden om oude beelden te downsampelen naar een aantal jaren, en na nog een extra aantal jaren helemaal te verwijderen. Ook kan ervoor gekozen worden om maar eens per bijvoorbeeld drie jaar de beelden voor langere termijn op te slaan.

Het opslaan van het archief op tape kan een grote reductie opleveren. Verschillende tapefabrikanten claimen 85-95% reductie in CO₂-uitstoot. De echte reductie is afhankelijk van de gekozen oplossing. Merk hierbij op dat alhoewel sommige datacentra een *cold storage* of *glacier* opslag aanbieden, deze niet altijd daadwerkelijk op tape opgeslagen zullen worden om bedrijfseconomische redenen.

We merken op dat, alhoewel een inventarisatie van gebruik bij afnemers buiten de scope van de opdracht was, het ons in het proces duidelijk is geworden dat ook bij de afnemers het interne gebruik diffuus kan zijn. Er kunnen veel interne gebruikers zijn, waaraan de data ook weer ontsloten moet worden. Bijvoorbeeld bij de gemeente Rotterdam worden een deel van de verkregen satellietbeelden opgestuurd naar Azure voor *machine learning* toepassingen. Mocht de Azure-uitleveromgeving behouden worden, dan kan het wat betreft CO₂-reductie de moeite zijn om een Azure-omgeving te maken waarop *machine learning* algoritmen direct op de satellietbeelden kunnen werken. Dit voorkomt dat data eerst op fysieke schijven naar een afnemer gestuurd worden, om vervolgens weer naar eenzelfde cloudomgeving gestuurd te worden, en daar effectief dubbel opgeslagen te worden.



4 Mogelijke sturings-instrumenten in uitvraagwinning

Voor het inwinnen van de data met vliegtuigen is het brandstofverbruik de meest geschikte variabele om de klimaatimpact te bepalen. Via de emissiefactor van 3,07 kg CO₂/kg Avgas kunnen de 'Tank-to-Wing'-CO₂-emissies eenvoudig uit het brandstofverbruik berekend worden. Op brandstofverbruik beoordelen geeft bovendien een extra prikkel om brandstof te besparen. Dat kan eventueel zorgen voor efficiëntere vliegplannen, overige operationele verbeteringen of de inzet van duurzamere toestellen. Het is daarom voor de hand liggend om bij de beoordelingscriteria in de uitvraag het verwachte brandstofverbruik op te nemen.

Hiervoor is een methodiek nodig, die aan de volgende eisen voldoet:

- transparant;
- controleerbaar;
- praktisch uitvoerbaar;
- handhaafbaar;
- beperkte extra administratieve lasten.

We gaan op de verschillende aspecten kort in:

- **Transparant:** In de uitvraag moet duidelijk beschreven staan hoe zwaar een nieuw duurzaamheids criterium in de beoordeling wordt meegenomen. Deze keuze is aan RWS en het Waterschapshuis. Het is wel belangrijk dat de kwaliteit van de producten gewaarborgd blijft, omdat anders het risico bestaat dat delen van de data opnieuw ingewonnen moeten worden met het gevolg van extra emissies. Bovendien zou het logisch zijn bij de eerstvolgende inwinning dit aspect minder sterk te wegen dan in volgende rondes. Op deze manier kunnen zowel opdrachtgever en opdrachtnemer aan het nieuwe criterium wennen en bestaat de mogelijkheid het nog te verbeteren voordat het full-scope wordt ingezet.
- **Controleerbaarheid:** Het is een lastige opgave voor de opdrachtgever om het daadwerkelijke brandstofverbruik tijdens de inwinning te controleren. Het is daarom van belang dat de opdrachtnemer in de offerte het verwachte brandstofverbruik transparant onderbouwt, zodat het bij de beoordeling van de offerte getoetst kan worden. Hiervoor zou de opdrachtnemer minimaal de volgende gegevens moeten aanleveren:
 - Type vliegtuig dat wordt ingezet en brandstofverbruik per uur vliegen. Welk alternatief vliegtuigtype wordt ingezet bij uitval of andere reden voor een operationele aanpassing?
 - Vliegplan (aantal vliegkilometers dat nodig is voor de inwinning).



- Totale verwachte vliegkilometers voor de inwinning (inclusief bochten, tussenstops voor tanken, aanvliegen naar eerste lijn en terugkeren naar luchthaven).
- Reisafstand van de thuisbasis naar het startpunt.
- Locatie voor onderhoud en verwachte hoeveelheid onderhoudsbeurten tijdens de opdracht.

Bij het berekenen van de brandstofverbruik is het te overwegen om het brandstofverbruik van de totale verwachte vliegkilometers voor de inwinning sterker te wegen dan het brandstofverbruik voor de laatste twee punten. Immers is het mogelijk dat partijen opdrachten combineren en niet gaan herpositioneren naar hun thuisbasis.

- **Praktisch uitvoerbaar:** Omdat de inwinning afhankelijk is van externe factoren zoals het weer, dient hier bij het vergelijken van het opgegeven en daadwerkelijke brandstofverbruik rekening mee gehouden te worden. Indien de inwinnende partij door slechte weeromstandigheden gedwongen is vluchten af te breken of korter te vliegen, leidt dit in het algemeen tot een hoger brandstofverbruik omdat het aandeel van de vliegtijd om in te winnen afneemt van de totale vliegtijd. We stellen voor dat de opdrachtnemers in de offerte zowel een optimaal als een realistisch brandstofverbruik opgeven. Het tweede houdt juist rekening met slecht weer en andere externe factoren. Bij de beoordeling kan het beste

uit worden gegaan van de optimale omstandigheden omdat dit eenduidiger vergelijkbaar is tussen aanbieders.

- **Handhaafbaarheid:** Door rekening te houden met zowel de aanbevelingen bij de controlebaarheid als de praktische uitvoerbaarheid kan veilig gesteld worden dat de daadwerkelijke emissies niet te veel afwijken van de emissies die resulteren uit het opgegeven brandstofverbruik in de offertefase. Indien de opdrachtnemer hiervan te veel afwijkt en dat niet het gevolg is van onvoorziene omstandigheden, hebben de opdrachtgevers de mogelijkheid stappen te zetten die ook van toepassing zijn van het niet nakomen van andere afspraken in de overeenkomst.
- **Administratieve lasten:** Het voorstel zou niet leiden tot grote aanvullende administratieve lasten. Immers is het brandstofverbruik een belangrijk kostenpost bij de inwinning en zouden de inwinnende partijen hier toch al goed zicht op hebben tijdens het uitbrengen van hun offerte.

Er zijn verschillende mogelijkheden denkbaar hoe het brandstofverbruik meegenomen kan worden in de uitvraag. De twee meest voor de hand liggende lichten we hier toe:

- **Maximaal brandstofverbruik:** Door een maximaal brandstofverbruik voor de inwinning van een product in de uitvraag op te nemen worden aanbieders uitgesloten die er niet aan voldoen. Door dit vroegtijdig voor toekomstjaren te publiceren worden aanbieders mogelijk



gestimuleerd hun vloot te verduurzamen. Bovendien garandeert deze aanpak dat de CO₂-uitstoot onder de vastgelegde grens blijft.

- **Kwaliteitscriterium:** Door het brandstofverbruik als kwaliteitscriterium op te nemen wordt de klimaatimpact meegenomen in de algehele keuze van de inwinnende partij. De meest zuinig partij ontvangt 100% van de score en de meer uitstotende partijen een lager aantal punten. Hoe effectief deze aanpak is hangt af van het gewicht van het duurzaamheids criterium in de algehele beoordeling.

Indien het niet mogelijk zou blijken om de brandstofverbruik als beoordelingscriterium te implementeren, worden hier nog enkele andere criteria benoemd. Door één van deze of een combinatie van meerdere criteria te gebruiken, kan de klimaatimpact van de inwinning ook worden meegenomen tijdens het gunningstraject:

- **Type vliegtuig:** Op basis van de klimaatimpact is gebleken dat vooral het formaat van het vliegtuig doorslaggevend is voor de klimaatimpact. Er kan een criterium worden gesteld over het type vliegtuig dat gebruikt gaat worden voor de inwinning. Deze kan dan naast een lijst worden gelegd met het brandstofverbruik per vliegtuig.
- **Maximale tijd in de lucht:** Sommige vliegtuigen kunnen langer achtereenvolgend in de lucht blijven dan andere. Door minder te hoeven landen en opstijgen wordt brandstof bespaard.

- **Ferry- en transittijden:** Als partijen van verder weg moeten komen, wordt er al brandstof verbruikt voor het aanvliegen naar het inwinningsgebied.
- **Onderhoudslocatie en frequentie:** Buitenlandse partijen moeten vaak hun onderhoud in het buitenland laten plaatsvinden. Afhankelijk van waar dit is en hoe vaak dit moet, kan dit extra CO₂-emissies geven.
- **Compensatie:** Het is mogelijk mee te laten wegen of een partij zijn emissies compenseert. Echter door de onzekerheid in de daadwerkelijke CO₂-reductie hiervan bevelen wij dit criterium niet aan.

Verder kan het aanbieden van langjarige contracten partijen helpen bij een investering in een zuiniger vliegtuig. Voor het opbouwen van een investeringsplan biedt een vier- of vijfjaarcontract meer zekerheid dan één- of tweejarig contract.



5 Referenties

- CBS. (2020). Hoe wordt de Nederlandse bodem gebruikt? . In: CE Delft. (2019). *Footprint duurzame bedrijfsvoering Rijk*.
Dahlmann, K., Koch, A., Linke, F., Luhrs, B., Grewe, V., Otten, T., Seider, D., Gollnick, V., & Schumann, U. (2016). Climate-compatible air transport system - Climate impact mitigation potential for actual and future aircraft. *Aerospace*, 3(4), 38.
- DG Energy, Ramboll, & Resilio. (2023). *Assessment of the energy footprint of digital actions and services*.
- EASA, David S. Lee, Manchester Metropolitan University, & CE Delft. (2020). *Updated analysis of the non-CO2 climate impacts of aviation and potential policy measures pursuant to the EU Emissions Trading System Directive Article 30(4), Final report*.
https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/201119_report_com_ep_council_updated_analysis_non_co2_climate_impacts_aviation.pdf
- Lee, D. S., Fahey, D. W., Skowron, A., Allen, M. R., Burkhardt, U., Chen, Q., Doherty, S. J., Freeman, S., Forster, P. M., Fuglestvedt, J., Gettelman, A., De León, R. R., Lim, L. L., Lund, M. T., Millar, R. J., Owen, B., Penner, J. E., Pitari, G., Prather, M. J., . . . Wilcox, L. J. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>
- Microsoft. (2022). *How Microsoft measures datacenter water and energy use to improve Azure Cloud sustainability*.
<https://azure.microsoft.com/en-us/blog/how-microsoft-measures-datacenter-water-and-energy-use-to-improve-azure-cloud-sustainability/>
- Ministerie van BZK. (2023). *Jaarrapportage Bedrijfsvoering Rijk 2022*. <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-b46def6afb3da457fe5330739244a42c8126a324/pdf>
- Rijkswaterstaat. (lopend, 06). *Klimaatmonitor databank*.
<https://klimaatmonitor.databank.nl/dashboard/>
- Tanzer, S. E., & Ramirez, A. (2019). When are negative emissions negative emissions? *Energy & Environmental Science*, 12, 1210-1218.
<https://doi.org/10.1039/c8ee03338b>
- U.S. EPA. (2023). *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2021*.
- West, T. A. P., Wunder, S., Sills, E. O., Börner, J., Rifrai, S. W., Frey, G. P., & Kontoleon, A. (2023). Action needed to make carbon offsets from forest conservation work for climate change mitigation. *Science*, 381-6660, 873-877.





Bijlagen



A Overzicht Europese regelgeving

Tabel 4 geeft een overzicht van relevante Europese regelgeving voor luchtvaart en de toepassing hiervan op vliegtuigen die voor luchtopnames/hogtedata-inwinning gebruikt worden. Conclusie is dat dit type kleine luchtvaart een uitzonderingspositie heeft voor het relevante Europese beleid.

Tabel 4 - Overzicht van relevante luchtvaartregelgeving en de toepassing voor luchtopname vliegtuigen

| Wetgeving | Toelichting | Toepassing | Conclusie |
|-------------------|---|--|---|
| EU ETS | Het EU ETS (Emissions Trading System) is het emissiehandels-systeem van de EU. Voor de commerciële luchtvaart vallen alle vluchten tussen luchthavens in de EEA onder dit systeem. Dit betekent dat luchtvaartmaatschappijen voor deze vluchten voor elke ton CO ₂ die ze uitstoten een EU ETS-recht moeten inleveren. | Alleen van toepassing op operators die jaarlijks meer dan 10.000 ton CO ₂ uitstoten met vliegtuigen met een take-off-gewicht groter dan 5.700 kg. | Partijen hebben vaak jaarlijks een aantal honderden tonnen CO ₂ -uitstoot en een lager take-off-gewicht dus worden uitgezonderd. |
| ReFuelEU Aviation | De ReFuelEU Aviation Regulation bevat een bijmengmandaat voor duurzame luchtvaartbrandstoffen (SAFs) voor alle vertrekkende vluchten uit de EEA. | Alleen van toepassing op commerciële luchtvervoervluchten, niet voor kleine luchtvaart. | Partijen vallen niet onder wetgeving. |
| RED III | De hernieuwde Renewable Energy Directive (RED III) bevat doelen voor hernieuwbare energie en duurzame brandstoffen voor de transportsector, inclusief luchtvaart. | Toepassing nog onduidelijk, moet nog in nationale wetgeving ingevuld worden. Waarschijnlijk wordt niet-commerciële luchtvaart uitgezonderd. | Waarschijnlijk uitgezonderd. |



B Verslag interviews met marktpartijen inwinning

Hier volgt een algemeen verslag van de interviews die zijn gehouden met de marktpartijen over het inwinnen. Er zijn geen verwijzingen naar individuele partijen gemaakt om de eventuele vertrouwelijkheid van de informatie te waarborgen.

Inwinningsproducten

De geïnterviewde partijen bieden zowel beeldopnames als hoogtedata (Lidar) aan. Sommigen bieden ook aanvullende producten als warmtebeelden aan. De partijen kunnen zowel hoogte- als beeldopnames tegelijk inwinnen. Soms zijn hier twee gaten in het vliegtuig voor nodig, maar voor bepaalde apparatuur kan dit ook met één gat.

Op dit moment is het zo dat heel Nederland vier tot vijf keer per jaar wordt bevlogen. In opdracht van overheden (AHN, BM, en (consortia van) gemeenten) maar door sommige bedrijven ook op eigen initiatief ten behoeve van commerciële landsdekkende portalen. Daarom zou er veel klimaatimpact bespaard kunnen worden met het combineren van opdrachten. Echter is dit voor de marktpartijen meestal niet mogelijk. Dit komt aan de ene kant door het eigendoms-

recht van de data dat volgens contracten vastgelegd is bij de klant. Dezelfde data mag een marktpartij niet nog een keer aan een andere klant verkopen. Ook zijn vaak specificaties van de inwinning net anders, bijvoorbeeld omdat opdrachten niet voor (precies) hetzelfde gebied zijn, net een andere resolutie vragen of dat de ene klant wel blad aan de bomen wil en de andere niet. Er zou vanuit de opdrachtgeverskant meer samenwerking kunnen zijn, ook gemeenten zouden hierin kunnen samenwerken.

Het komt nog wel eens voor dat aangrenzende gebieden gecombineerd worden voor verschillende klanten. Ook is het technisch gezien mogelijk om in hoge resolutie beelden op te nemen en deze te downsamplen. Partijen hebben echter het gevoel dat de klant dat niet prettig vindt.

Resolutie

Voor beeldopnames gaat het over resolutie (bijvoorbeeld 3 cm, 5 cm of 7,5 cm), bij hoogtedata gaat het over punt dichtheid (bijvoorbeeld 10 of 20 punten per vierkante meter). De uitdaging is om de goede resolutie in te winnen met zo weinig mogelijk vliegen en het liefst zo hoog mogelijk te vliegen. Op hoogte is er minder luchtweerstand en daardoor een lager brandstofverbruik. Aan de andere kant zijn er weer betere weerscondities voor nodig. Een partij geeft aan minimaal op 1.000 voet (300 meter) en maximaal op 24.000 voet (7.200 meter) te kunnen vliegen. Hoe hoog daadwerkelijk gevlogen wordt, is sterk afhankelijk van de



gevraagde resolutie. Voor 5 cm vliegen ze op ongeveer 5.000 voet, voor 3 cm op 3.000 voet en 7,5 cm op ongeveer 8.000 voet.

Een restrictie hierin bestaat in de Schiphol-regio. Hier mag alleen onder 1.500 voet of boven 14.000 voet gevlogen worden om het commerciële vliegverkeer niet te verstoren. Dat gebied is groot en omvat ongeveer heel de provincies Noord- en Zuid-Holland.

Een vliegplan met vlieglijnen bevat ook informatie over de grondsnelheid. Resolutie is daar niet van afhankelijk. Soms wordt er een bepaalde overlap gevraagd door de opdrachtgever. Bijvoorbeeld een langsoverlap (in de vliegrichting) van 60% of een dwarsoverlap (tussen aanliggende stroken) van 30%. Afhankelijk van de gebruikte camera heeft de langsoverlap invloed op de vliegsnelheid, mag een maximale snelheid niet overschreden worden. Indien te hard wordt gevlogen kan ook bij de Lidar de punt dichtheid in het geding komen. Daarnaast is bij sneller vliegen het brandstofverbruik hoger. Partijen geven aan meestal met een snelheid tussen de 135 en 150 kts te vliegen.

Een partij geeft aan dat een vliegplan tussen de 500 m tot 3 km aan afstand tussen de lijnen kan hebben, dit hangt af van hoe hoog gevlogen kan worden. Een afstand tussen de lijnen van 1 km is typisch.

Vluchteigenschappen

De partijen gebruiken verschillende modellen vliegtuigen voor het inwinnen. Partijen zijn gestationeerd op verschillende luchthavens in Nederland, een buitenlandse partij geeft aan dat ze voor Nederlandse projecten vrijwel altijd vanuit Lelystad Airport vliegen. De transittijden (het heen-en-weer vliegen vanaf de airport naar het startpunt van het vliegplan) verschillen van ongeveer vijftien minuten tot een uur afhankelijk van de inwinningslocatie.

De vliegtuigen van partijen hebben verschil in hoe lang ze in de lucht kunnen zijn, dit verschilt ongeveer van vier tot elf uur. De meeste opdrachten zijn langer dan dit en vragen dus meerdere vluchten. Soms lukt het om twee vluchten op een dag te doen, soms overnachten ze in het gebied. Ook wordt zoveel mogelijk getankt in het gebied. Op deze manier wordt het brandstofverbruik geminimaliseerd.

Voor beeldopnames vragen opdrachtgevers vaak opnames zonder blad aan de bomen. Dit kan alleen medio februari tot april opgenomen worden bij een bepaalde minimale zonnestand in verband met belichting en schaduwen. Deze specificaties maken het lastig om een lange vlucht te maken. Voor hoogtedata geldt dit minder, hierbij maakt zonnestand niet uit.



Afhankelijk van de apparatuur kan met één of twee personen aan boord van het vliegtuig de data ingewonnen worden. Door dit met één persoon te doen kan bespaard worden op brandstof, echter zal dit niet heel veel zijn door het geringe gewicht van een persoon ten opzichte van het vliegtuig. Inwinnen met één persoon kan volgens één van de geïnterviewde partijen ook een risico vormen voor slechte opnames, waardoor stukken opnieuw moeten worden gevlogen. Het aantal personen aan boord is ook aan regelgeving gebonden, daar kan je als opdrachtgever niet op sturen.

Brandstofverbruik

Het daadwerkelijke brandstofverbruik wordt berekend op aantal vliegreuzen (in liter/uur). Het opgegeven brandstofverbruik van een partij komt overeen met het gevonden brandstofverbruik van de producenteninformatie.

Factoren die brandstofverbruik kunnen verminderen zijn:

- Hoger vliegen: geeft een lager brandstofverbruik door de lagere luchtweerstand daar, maar vooral ook doordat dan de vliegreuzen verder uit elkaar kunnen liggen waardoor er minder afstand in totaal gevlogen hoeft te worden. Dit hangt echter af van welke resolutie uitgevraagd wordt.
- Vluchtduur (endurance): sommige vliegtuigen kunnen langer achtereen vliegen waardoor er minder hoeft worden gestegen en geland.

- Transittijd: opdrachten die dichtbij thuisbasis liggen vragen minder transittijd.
- Ferrytijd: bij opdrachten die dichtbij thuisbasis liggen zijn geen lange mobilisatievluchten (ferry) vanuit het buitenland nodig.
- Onderhoud: dit moet bijvoorbeeld elke 50 uur plaatsvinden. Vaak vindt onderhoud plaats bij een onderhoudsbedrijf op een ander vliegveld en moet hiervoor een extra vlucht gemaakt worden.
- Beeld en hoogte tegelijk inwinnen in plaats van door twee aparte vluchten.
- Lange vliegreuzen: lange lijnen zorgen voor minder bochten wat los vliegen is. Soms is er vanuit de opdrachtgever een eis voor hoe lang maximaal op een lijn mag worden gevlogen.
- Minder eisen van opdrachtgevers: zoals vliegreuzing wat een heleboel korte lijnen kan opleveren en niet efficiënt is. Soms wordt er ook 55% dwarsoverlap gevraagd, hierdoor moet veel dubbel bevlogen worden.

Ten opzichte van het vliegreuzen moet er extra gevlogen worden van de airport naar het startpunt, en aan het einde weer terug. En er moeten bochten gemaakt worden om de vliegreuzen aan elkaar te vliegen. Een bocht duurt ongeveer 2,5 minuut en een partij geeft aan standaard ongeveer 10 minuten per lijn te vliegen.



Mitigatieopties

Er bestaan geen duurzame alternatieven zoals Sustainable Aviation Fuel (SAF) voor de gebruikte brandstoffen. Dat kan nu nog niet. Het toestel zou bovendien dan gecertificeerd moeten worden om andere brandstoffen te gebruiken, dit is een lang proces. Hierbij zitten er ook weer restricties aan vlieghoogte en buitentemperatuur. Zowel Avgas (aviation gasoline) als Mogas (motor gasoline) worden nu gebruikt. Een alternatieve brandstof die ontwikkeld wordt is 100 ul Avgas, dit is Avgas met een octaangetal van 100 en ongelood. Dit blijft echter een fossiele brandstof.

Elektrische vliegtuigen lijken ook geen realistische optie. De modellen die tegenwoordig bestaan en in ontwikkeling zijn, hebben vaak nog een korte maximale vliegduur van één tot twee uur. Dit zou veel te weinig zijn gezien het heen- en terugvliegen naar het startpunt dan al een groot deel van deze vliegduur inneemt.

Partijen noemen een moderne vloot als hun visie op duurzaamheid. Oudere vliegtuigen zouden meer brandstof verbruiken. De top 3-zuinige toestellen zouden zijn:

1. Tecnam 2006: heel zuinig maar kan maar kort achtereen in de lucht blijven. De maximale take-off weight is relatief laag, waardoor extra gewicht van een extra sensor of persoon effect heeft op het verbruik. Deze heeft ook een relatief lage kruissnelheid.

2. Diamond 62: zuinig en kan lang in de lucht blijven, heeft een hoge kruissnelheid. Echter zijn deze vliegtuigen heel duur, waardoor het een te grote investering is.
3. Vulcanair P68: ook relatief zuinig en kan lang in de lucht blijven, maar een stuk betaalbaarder.

Partijen hebben niet te maken met Europees beleid als het EU ETS of andere regelgeving uit het Fit for 55-pakket. Het kan wel eens voorkomen dat op luchthavens hogere airport fees worden gevraagd voor grotere vliegtuigen.

Rijkswaterstaat kan partijen op de volgende manieren stimuleren om duurzamer in te winnen:

- Bij aanbesteding:
 - Meer punten geven voor een zuiniger vliegtuig.
 - Mee laten wegen maximale tijd in de lucht (endurance).
 - Ferry- en transittijden mee laten wegen.
 - Een optie is om partijen te laten aangeven hoeveel liter brandstof ze denken nodig te hebben voor een bepaald project, hiermee kan de CO₂-uitstoot eenvoudig berekend worden. Dit lijkt echter lastig te controleren. Op basis van openbare data kan wel het aantal gevlogen uren gecontroleerd worden. Een uitdaging bestaat er mogelijk in om deze vliegreizen toe te wijzen aan individuele opdrachten.
 - Laten meewegen waar onderhoud wordt uitgevoerd.



- CO₂-compensatie kan, maar een partij geeft aan dat een duurzamere vloot meer waardevol is. Het is beter om echte emissies te reduceren dan om ervoor te betalen.
- Wat helpt bij een investering in een zuiniger vliegtuig, zijn langjarige contracten. Nu is het vaak een jaarcontract of tweejaarcontract. Het is lastig daar een investeringsplan op te bouwen. Marktpartijen zouden voorkeur hebben voor vier- of vijfjarige contracten.
- Minder eisen stellen bij uitvragen als vliegrichting, overlapperpercentages, blad of niet of maximale vliegduur per lijn.
- Opdrachten combineren zodat er minder gevlogen hoeft te worden
- Meer tijd geven om de opdracht uit te voeren, zodat partijen een efficiëntere planning kunnen maken.

Als een grote opdrachtgever als Rijkswaterstaat/het Waterschapshuis duurzaamheidscriteria mee laat wegen, kan dit zeker effect hebben op marktpartijen. Een aantal opdrachtgevers vragen ook al criteria hierop, zoals: aanvliegtijd, locatie thuisbasis, endurance, inschatting CO₂-uitstoot voor opdracht, CO₂-compensatie.

De grootste winst op klimaatimpact valt te behalen in het combineren van opdrachten. Dit zodat niet elke (groep) gemeente(n) een losse opdracht uitgeeft voor hetzelfde gebied als BM en AHN.

Een inschatting is dat daadwerkelijke gezamenlijke inkoop en inwinning BM door alle overheden de uitstoot van de aerial survey sector in Nederland direct gaat halveren.



Colofon

Delft, CE Delft, januari 2024

Deze publicatie is geschreven door:

Stefan Grebe, Christiaan Meijer (CE Delft)

Bernard van Gastel, Sjaak Smetsers (Radboud Universiteit Nijmegen)

Publicatienummer: 24.230210.007

Oprichtgever: Rijkswaterstaat

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via <http://www.cedelft.nl/>

© copyright, CE Delft, Delft



CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toon-aangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.