

Infinite AI, Finite Earth

Voor bedrijven die AI willen gebruiken binnen planetaire grenzen

Dit artikel komt voort uit onderzoek van Tiwánee van der Horst en is tot stand gekomen in samenwerking met de lectoraten AI & Society (Maaike Harbers) en Cybersocial Design (Anja Overdiek) van Hogeschool Rotterdam, Kenniscentrum Creating 010. Het onderzoek is gedaan in het kader van het Responsible Applied Artificial Intelligence programma (RAAIT).

Terwijl kunstmatige intelligentie (Artificial Intelligence, in het vervolg te noemen: AI) steeds meer ingebed is in ons werk- en privéleven, neemt de ecologische belasting en druk op de planeet toe. Sommige AI-theoretici en stemmen uit de AI-praktijk juichen AI toe als dé oplossing, “we hebben AI nodig om klimaatverandering tegen te gaan”, terwijl anderen waarschuwen dat AI ons nu al “kan manipuleren” of “onze banen overneemt”. Deze verhalen negeren echter de tastbare, materiële impact van AI. Ze gaan niet in op ecologische gevolgen, zoals bijvoorbeeld:

- Een gesprek met Chat-GPT kost even veel water als een fles van 500 ml¹
- In januari 2025 werd een nieuw datacenter geopend ter grootte van 32 voetbalvelden². Dieren, bomen en planten verliezen hiermee hun leefomgeving.
- In 2050 zal de totale hoeveelheid hardware afval op de planeet groter zijn dan één miljoen zeecontainers³.

Gezien deze voortdurende groei van ecologische impact in de reeds bestaande klimaatcrisis, is voor bedrijven die AI verantwoord willen toepassen een urgente vraag: **Hoe pakken we de ecologische impact van AI aan?**

Beleid rondom de ecologische impact van AI

Om te beginnen kunnen AI-ontwerpers, ontwikkelaars en werkgevers zich richten tot beleid om handvatten voor dit vraagstuk te vinden. In 2024 voerde de Europese Unie de Artificial Intelligence Act in, deze verordening beschrijft regulering voor bedrijven voor de omgang met AI-systemen op basis van risiconiveau's. Deze risico's zijn gekoppeld aan ethische waarden zoals transparantie, privacy en andere mensenrechten. Echter, gedetailleerde regelgeving op het gebied van milieuduurzaamheid ontbreekt grotendeels en wordt gepresenteerd als “vrijwillig toepasbaar”^{4*}.

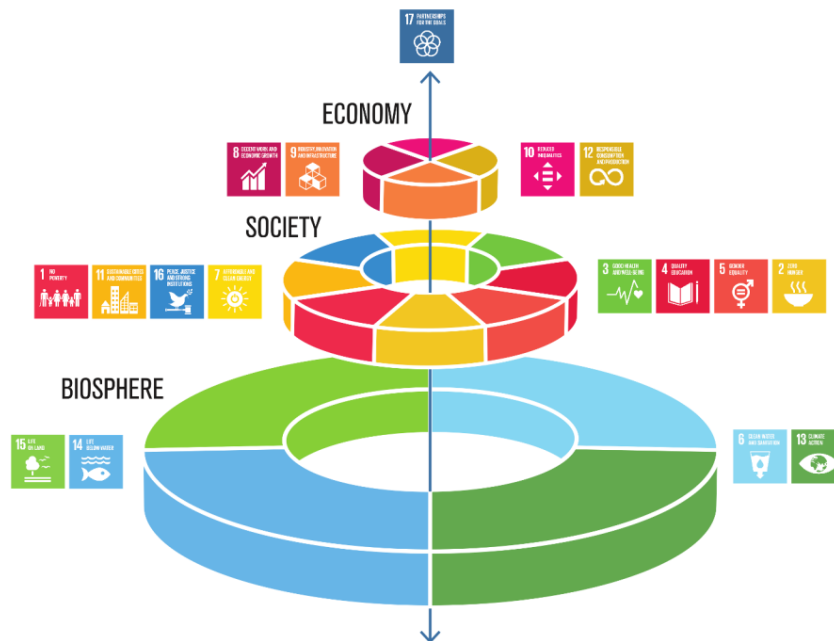
* Aanbieders (...), exploitanten van alle AI-systemen, al dan niet met een hoog risico, en AI-modellen dienen ook te worden aangemoedigd om op vrijwillige basis aanvullende eisen te stellen met betrekking tot (...), milieuduurzaamheid, (...), indien van toepassing, van relevante belanghebbenden (...). Artikel 165

In artikel 95 wordt dit als volgt gespecificeerd: (b) het beoordelen en minimaliseren van de impact van AI-systemen op milieuduurzaamheid, met inbegrip van energie-efficiënte programmering en technieken voor het efficiënte ontwerp, de opleiding en het gebruik van AI;

En tot slot staat in artikel 11: Uiterlijk op 2 augustus 2028 en vervolgens om de drie jaar evalueert de Commissie de impact en doeltreffendheid van vrijwillige gedragscodes ter bevordering van de toepassing van de eisen (...) voor andere AI-systemen dan systemen met een hoog risico.



Daarnaast kunnen bedrijven zich laten inspireren door de *Sustainable Development Goals* (SDG's) van de Verenigde Naties. De 17 doelen worden, door het Stockholm Resilience Centre, verdeeld over 3 categorieën: economie, samenleving en biosfeer.



Figuur 1: Herverdeling van de SDG's in 3 categorieën volgens het Stockholm Resilience Centre

Deze indeling benadrukt het belang van een gezonde biosfeer als fundament voor een gezonde economie en samenleving⁵. Dezelfde groep introduceerde de negen planetaire grenzen om beleidsmakers aan te zetten tot regulering die gericht is op behoud, herstel en regeneratie van de biosfeer. Dergelijke regelgeving zal veranderingen teweegbrengen in de manier waarop bedrijven AI kunnen ontwerpen en toepassen. Voor bedrijven die daarop willen anticiperen, is het van belang om nu al inzicht te verkrijgen in afwegingen die kunnen worden gemaakt binnen verschillende AI-ontwerpgebieden⁶.

Zeven AI-ontwerpgebieden om ecologische impact te beperken

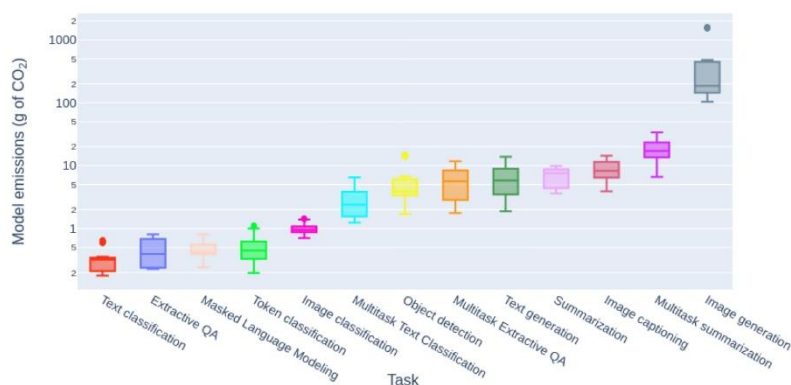
Voor het onderzoek, *Infinite AI, Finite Earth*, richt ik mij op hoe bedrijven, die AI inzetten, andere ontwerpkeuzes kunnen maken om de ecologische impact van AI te verkleinen. Hieronder ga ik dieper in op zeven AI-ontwerpgebieden die uit het onderzoek zijn voortgekomen:

1. Modelontwerp
2. Training
3. Interfaceontwerp
4. Toepassing
5. Hardware afval
6. Data afval
7. Rapportage

Deze zeven ontwerpgebieden beïnvloeden zes onderliggende impactgebieden: waterverbruik, CO₂-uitstoot, energieverbruik, ontginning van fossiele grondstoffen, milieuvervuiling en verlies van biodiversiteit. Samen vormen ze het raamwerk waarmee bedrijven hun ecologische AI-impact kunnen analyseren en beperken. Doordachte keuzes hierin kunnen leiden tot minder ecologische impact. Per AI-ontwerpgebied geef ik één concreet voorbeeld. Er zijn echter nog vele andere voorbeelden te benoemen.

1. Modelontwerp

Aan het begin kunnen bedrijven de keuze maken: een bestaand AI-model gebruiken of zelf een model ontwerpen. Modellen kunnen variëren in het doen van eenvoudige tekstclassificatietaken tot complexe beeld- en videogeneratie. Naarmate de modelcomplexiteit toeneemt, stijgt ook de **CO₂-uitstoot**. De grafiek van Alexandra Luccioni en haar collega's illustreert deze toename⁷. Met deze kennis kunnen bedrijven de kritische afweging maken: welk model is echt nodig voor jouw AI-toepassing? Kies het meest zuinige model dat past bij jouw toepassing. Zie ook 4 (Toepassing).



Figuur 2: CO₂-uitstoot per 1000 verzoeken aan het model⁷

2. Training

AI-modellen worden continu bijgewerkt met nieuwe data. Deze groeiende datasets worden opgeslagen in datacentra. Meta opende bijvoorbeeld in januari 2025 een nieuw datacenter in Arizona van 232.300 m²—vergelijkbaar met 32 voetbalvelden. Voor de bouw werden 20.000 ton staal en 286.708 m³ beton gebruikt².



Figuur 3: Datacenter van Meta geopend in Arizona, VS, in januari 2025.

Lokaal zijn de gevolgen groot: 23 hectaren grond is niet meer beschikbaar voor dieren of planten om te leven, en er ontstaat een groter gebruik van grond- en drinkwater voor koeling in het hete en droge gebied. Naast het gebruik van grote hoeveelheden grondstoffen heeft training van modellen dus ook invloed op **biodiversiteitsverlies, watergebruik, CO₂-emissie en energieverbruik**. Om dit tegen te gaan kunnen bedrijven:

- Lokale of gedecentraliseerde datacenters gebruiken^{8,9}
- Datacentra ontwerpen die biodiversiteit waarborgen
- Kritisch afwegen of het hertrainen van modellen echt nodig is¹⁰
- Implementeren van een dataselectie strategie om datasets te beperken tot wat strikt noodzakelijk is¹⁰

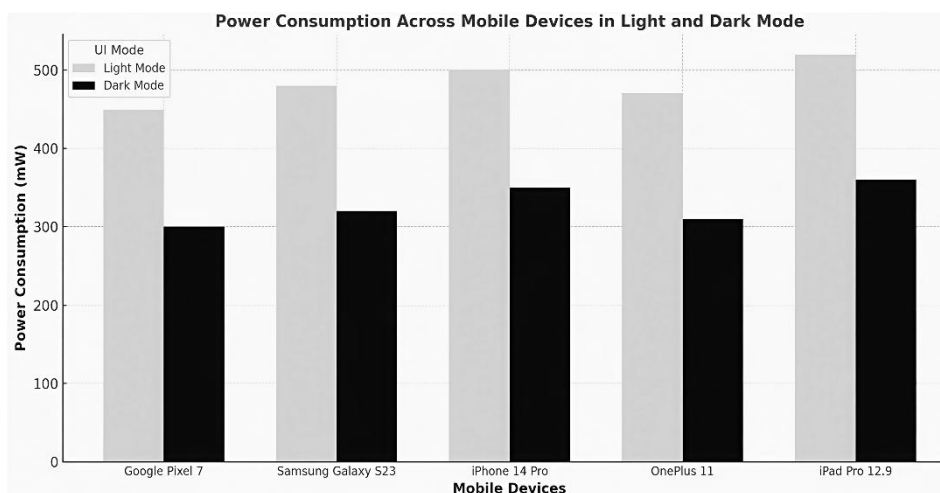
3. Interfaceontwerp

AI-systemen kunnen ecologische impact inperken door bewuste keuze in interface ontwerp. Onderzoek van Vacanti en collega's laat bijvoorbeeld zien dat UI/UX-keuzes in beeldgeneratietools, zoals Craiyon, Stable Diffusion, Adobe Firefly en DALL·E sterk variëren¹¹. Denk aan: donkere versus lichte interface kleuren. Onderzoek toont aan dat donkere interfaces wel 40% energie besparen, hardware keuze is hier ook van invloed (zie grafiek in figuur 4)¹². Daarbovenop kunnen nog veel

meer keuzes worden gemaakt. Een overzicht van waar interfaceontwerp van belang is voor energiebesparing van beeldgeneratie tools:

- Resolutie en output kwaliteit bij generatieve AI
- Type abonnementen - gratis versus betaald
- Hoeveelheid gegenereerde afbeeldingen per tijdseenheid
- Detailniveau en realisme van gegenereerde afbeeldingen
- Interface kleuren

Bedrijven die beelden willen genereren kunnen op hun beurt kiezen voor de generatieve AI-tool die het beste past bij het doel. Welke outputkwaliteit is écht nodig? Hoe snel heb je de afbeeldingen nodig?



Figuur 4: Vergelijking energieverbruik van donker en licht modus voor verschillende apparaten

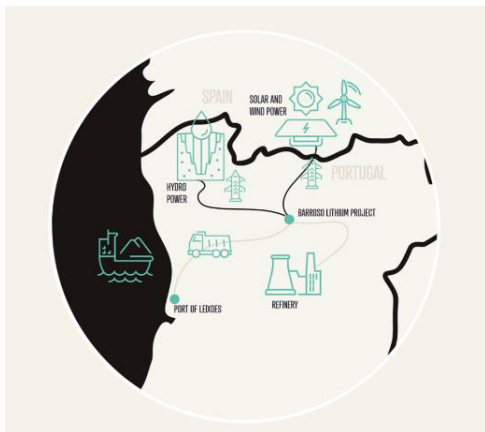
4. Toepassing

AI wordt ingezet voor uiteenlopende doeleinden: van klimaatmonitoring, medische diagnose en empathische chatbots, tot militaire doeleinden, gepersonaliseerde advertenties en creatieve automatisering. De uitdaging is om kritisch te bepalen waar AI ecologisch gezien écht meerwaarde biedt. Om te beginnen is het nodig om in besluitvormingsprocessen de vraag te stellen; 'gebruiken we voor dit doel wel of geen AI?' Met in achtneming van welke mensen, dieren én planten, kunnen profiteren of worden benadeeld. De groeiende ecologische impact van steeds complexer wordende AI-systemen, laat zien dat elke toepassing die geen maatregelen neemt om de ecologie te herstellen of te regenereren, een schadelijk effect heeft op de planeet. Voor ecologisch herstel is tijd nodig. Door toepassing van AI te beperken en/of verlangsamen, kan die tijd worden gecreëerd. Het is hiervoor noodzaak dat bedrijven zich bewust zijn van de grenzen van de planeet. Maar ook, dat data over de ecologische impact van AI inzichtelijk is, zie 7. Rapportage.



5. Hardware afval

Van chipproductie tot GPU's in datacenters, laptops en telefoons: de hardware keten van AI-systemen is lang¹³. Rijke landen zoals Noorwegen, het VK, Zwitserland en Denemarken hebben het meeste hardware afval per hoofd van de bevolking, en de VS leiden in absolute hoeveelheid hardware afval. Voorspeld wordt dat in 2050 de totale hardware afval berg net zo groot is als 1 miljoen gevulde zeecontainers³. Het onveilig lozen van hardware die niet wordt gerecycled kan leiden tot het **vrijkomen van giftige stoffen** in de bodem en het water. **Fossiele grondstoffen** zoals lithium, cobalt en colton komen van over de hele wereld voor het maken van deze hardware. Het mijnen ervan tast fragiele ecosystemen aan in landen als Bolivia en Congo en dwingen zowel mensen als dieren zicht te verplaatsen^{14,15}. Ook een dorp in Portugal zet zich schrap voor de komst van een lithiummijn die de EU wil om meer onafhankelijk te zijn in het produceren van batterijen voor groene energie. Deze energie is nu nog harder nodig door de hoge energievraag van AI^{16,17}. Het laat zien hoe diep verweven AI-systemen zijn met geo-politiek en de planetaire klimaatcrisis. Om hardware afval tegen te gaan kunnen bedrijven: hardware recyclen en veilig afvoeren, onderdelen demonteerbaar ontwerpen (zoals bij Fairphone) of GPU's dimensioneren naar werkelijke behoefte¹⁰.



Figuur 5: Plattegrond van infrastructuur rondom de lithiummijn van Savannah Resources



Paulo Pires loopt met zijn schapen in de heuvels bij het dorp Covas do Barroso. Hij leeft al zijn leven lang van het land en strijdt met andere inwoners al jaren tegen de mijn. Gonçalo Fonseca voor de Volkskrant

Figuur 6: Beeld Covas do Barosso van de Volkskrant

6. Data afval

Wanneer alle dataproductie bij elkaar opgeteld wordt, is het duidelijk dat er een exponentiële groei plaats vindt: in 2003 telde de totale dataproductie nog 1 exabyte, sinds 2016 wordt er 1 zettabyte per maand geproduceerd en dit loopt nog steeds op¹⁸. Data afval ontstaat wanneer data worden opgeslagen, maar onbenut of onbereikbaar blijven. Onderzoek van De Chirico en Vacanti illustreert dit voor MidJourney v6, een tekst-naar-beeldapplicatie¹⁹. In deze applicatie kan één

enkele tekstprompt in vier stappen met vier variaties leiden tot zestien afbeeldingen, waarvan vaak maar één wordt gebruikt. De rest blijft opgeslagen op een dataserver zonder dat de gebruiker verwijderopties krijgt of de data toegankelijk is. Dat is zonde en zeer schadelijk als we bedenken dat dataservers **energie verbruiken** en **ruimte innemen van levende mensen, dieren, en planten** (zie ook 2. Training). Interfaceontwerp, dataselectiestrategie en AI-modelkeuze kunnen helpen in het verminderen van data-afval. Denk aan ontwerp vragen als:

- Wie beslist welke data opgeslagen wordt?
- Welke data is echt nodig?
- En: wanneer is generatieve AI nodig?
- Zijn er andere opties?

7. Rapportage

Transparantie is cruciaal om ecologische impact van AI zichtbaar, meetbaar en beheersbaar te maken. Tools zoals CodeCarbon (een Python-plugin) meten per stuk code de **CO₂-uitstoot en energieverbruik**, en maken visuele vergelijkingen met huishoudelijk verbruik, autorijden of tv-kijken. Dit soort vergelijkingen zijn behulpzaam bij het contextualiseren en communiceren van de ecologische impact van AI.

Richting *ecological AI literacy*

In dit artikel besprak ik zeven AI-ontwerpgebieden met concrete voorbeelden die handvatten geven aan diegenen die de ecologische druk op de planeet willen beperken bij de inzet van AI. Hoewel elk gebied positieve gevolgen kan hebben voor de planeet en haar bewoners, kunnen ecologisch verantwoorde ontwerpkeuzes in sommige gevallen indirect ook leiden tot meer verbruik. Bijvoorbeeld: als AI-modellen energiezuiger worden kunnen gebruikers het meer gaan toepassen. De ontwikkeling van ecologisch verantwoorde AI vraagt daarom om een holistische benadering waar op meerdere lagen van onderwijs tot overheid wordt samengewerkt ²⁰. Het begrijpen van de wisselwerking tussen ecologie, maatschappij en AI, en het kunnen handelen vanuit dit begrip noemen we *ecological AI literacy*.

Bij Hogeschool Rotterdam werken we aan *ecological AI literacy*, waarbij we erkennen dat AI blijft en dat het urgent is om de volgende generatie AI-ontwerpers te onderwijzen in ecologische gevolgen, de grenzen van de planeet en alternatieve AI-toekomst te verbeelden. We nodigen bedrijven uit om hetzelfde te doen door na te gaan welke andere keuzes kunnen worden gemaakt per AI-ontwerpgebied.



Key take-aways

AI heeft een reële ecologische voetafdruk, terwijl de planeet regeneratie hard nodig heeft.

Beleid en regelgeving is nog beperkt en grotendeels vrijwillig

Werk actief aan het verkleinen van de ecologische impact van AI: Zeven AI-ontwerpgebieden bieden handvatten voor bedrijven

Holistische benadering en *'ecological AI literacy'* zijn nodig voor beleid, bedrijven, onderwijs en interdisciplinaire samenwerking.

Welke punten in dit artikel ben jij al mee in aanraking gekomen in de praktijk?

Wil je meer weten over dit onderwerp? Of wil je deelnemen aan *ecological AI literacy* workshops?

Mail dan naar: t.s.van.der.horst@hr.nl



Bronnen

1. Li P, Yang J, Islam M, Ren S. Making AI Less 'Thirsty': Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models. In 2023.
2. Moss S. Meta's Mesa, Arizona, data center comes online [Internet]. 2025 [geciteerd 20 augustus 2025]. Beschikbaar op: <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/metas-mesa-arizona-data-center-comes-online/>
3. ewastemonitor.info. E-waste will double by 2050 [Internet]. 2023 [geciteerd 4 juni 2024]. Beschikbaar op: <https://ewastemonitor.info/e-waste-will-double-by-2050/>
4. European Union. EU AI Act Explorer [Internet]. 2024 jun. Beschikbaar op: <https://artificialintelligenceact.eu/ai-act-explorer/>
5. Rockström J, Sukhdev P. The SDGs wedding cake [Internet]. 2016. Beschikbaar op: <https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2016-06-14-the-sdgs-wedding-cake.html>
6. Richardson K, Steffen W, Lucht W, Rockström J. Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Sci Adv.* september 2023;9(37).
7. Luccioni AS, Strubell E. Power Hungry Processing: Watts Driving the Cost of AI Deployment? *FAccT* 24. 6 maart 2024;
8. Boehnert J, Alistair A. The Ecological in AI Fictions and Futures [Internet]. Symposium gepresenteerd bij; 2024 mei. Beschikbaar op: <https://afteraisymposium.com/symposium-program>
9. Lumerin Protocol. The Hidden Risks of Centralized AI Data Centers and the Case for Decentralization [Internet]. 2024. Beschikbaar op: <https://medium.com/lumerin-blog/the-hidden-risks-of-centralized-ai-data-centers-and-the-case-for-decentralization-3ef593df87ef>
10. Cruz L. Sustainable artificial intelligence: from ChatGPT to green AI [Internet]. 2024 [geciteerd 28 augustus 2024]. Beschikbaar op: <https://www.tudelft.nl/en/stories/articles/sustainable-artificial-intelligence-from-chatgpt-to-green-ai>
11. Vacanti A, Menichinelli M, Burlando F. Challenges and Responsibilities in the UX Design of Text-to-Image AI Models: A Discussion Through a Comparative Heuristics Evaluation. *Temes Disseny.* november 2024;
12. Kurale S, Gupta K, Gaitonde C, Pancholi A, Patil R. The Impact of Color Schemes on Device Energy Consumption: Study on Optimization Strategies for Energy-Efficient UI Design. *IJEMH* [Internet]. mei 2025;6(3). Beschikbaar op: www.ijemh.com
13. Crawford K. *Atlas of AI.* New Haven and London: Yale University Press; 2021.



14. Swift B. 'The Dubai of South America': how the promise of riches from lithium mining turned to dust in Bolivia. The Guardian [Internet]. 9 maart 2025 [geciteerd 9 mei 2025]; Beschikbaar op: <https://www.theguardian.com/global-development/2025/sep/03/lithium-mining-bolivia-salt-flats-indigenous-environment-ecosystem>
15. The Congolese Fight for Their Own Wealth. 25-06-2024. <https://thetricontinental.org/dossier-77-the-congolese-fight-for-their-own-wealth/>;
16. Giesen P. Een lithiummijn in de Portugese natuur: de prijs van Europa's wens om minder afhankelijk te worden. De Volkskrant [Internet]. 13 maart 2023 [geciteerd 5 september 2025]; Beschikbaar op: <https://www.volkskrant.nl/nieuws-achtergrond/een-lithiummijn-in-de-portugese-natuur-de-prijs-van-europa-s-wens-om-minder-afhankelijk-te-worden~bf5df166/>
17. Savannah Resources. Barroso Lithium Project, Portugal [Internet]. [geciteerd 5 september 2025]. Beschikbaar op: <https://savannahresources-wwsavannahresourcescom.azurewebsites.net/project/barroso-lithium-project-portugal/>
18. De klimaatimpact van AI [Internet]. 2025. Beschikbaar op: <https://www.youtube.com/watch?v=c61E93AjLqU>
19. De Chirico M, Vacanti A. AI Waste: The Invisible Hyper-linear model of Generative AI. Relat Syst Think Des RSD13. oktober 2024;
20. Luccioni AS, Strubell E, Crawford K. From Efficiency Gains to Rebound Effects: The Problem of Jevons' Paradox in AI's Polarized Environmental Debate. In Athens, Greece; 2025.

