



Npuls

npuls.nl



AI en duurzaamheid.

Verkenning van de milieu-impact van AI

Verkenning

Voorwoord

AI is alom aanwezig in het onderwijs. Zichtbaar én onzichtbaar. Steeds vaker rijst de vraag wat de impact van deze technologie is op de ecologische duurzaamheid. Want, AI vraagt om veel stroom, materiaal en water. Npuls is actief bezig met verkenningen op het gebied van AI & Data in het onderwijs. Daar hoort dit vraagstuk bij. Er is een behoefte om hierop meer grip te krijgen.

Met dit document zetten we een stap naar een gedeeld uitgangspunt op AI en ecologische duurzaamheid. We hebben in kaart gebracht wat op dit onderwerp al gebeurt en welke inzichten zijn opgedaan. Ook is gekeken naar waar de kansen liggen voor ontwikkeling. Deze verkenning is geen eindpunt, maar een begin om op voort te bouwen. Het nodigt uit om het gesprek aan te gaan en vervolgstappen te zetten. Door het hele document staan kaders met een oproep om ervaringen en inzichten te delen. Alleen gezamenlijk kunnen we de beste resultaten behalen.

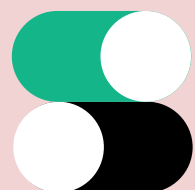
Veel dank aan iedereen die heeft meegewerkt aan dit document. In het bijzonder bedanken we Jos van Peperstraten, Dirk Harryvan en Johannes Schleiss voor hun inhoudelijke bijdragen. We bedanken ook alle professionals die hebben bijgedragen om deze verkenning vorm te geven. Samen zetten we ons in om de milieu-impact van AI inzichtelijk te maken. Dat is het begin van duurzame ontwikkeling.

AI en duurzaamheid.

Verkenning van de milieu-impact van AI



Op deze uitgave is de Creative Commons Naamsvermelding-GelijkDelen 4.0 Internationaal van toepassing. Maak bij gebruik van dit werk vermelding van de volgende referentie: AI en duurzaamheid: Verkenning van de milieu-impact van AI. (2026). Utrecht: Npuls.



1. Introductie

Generatieve AI kan digitaal en licht voelen, maar het vraagt veel energie, water en materialen. Grote datacenters draaien dag en nacht op elektriciteit, hebben koeling nodig en de krachtige chips worden regelmatig vervangen door nog krachtigere. Door meer gebruik en adoptie van AI in het onderwijs groeit onze impact op het milieu. Om de milieu impact zoveel mogelijk te beperken vraagt om duurzame ontwikkeling.

In bredere zin wordt duurzame ontwikkeling vaak omschreven als *“een ontwikkeling die aansluit op de behoeften van het heden zonder de mogelijkheden van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen”* (Brundtland, 1987). Dit omvat meerdere aspecten die in 2015 in de doelen voor duurzame ontwikkeling (SDG's) zijn geoperationaliseerd (UN, 2015).

Verantwoord en duurzaam gebruik van AI en data kent vele vraagstukken. Deze verkenning focust op de milieu-impact, ecologische duurzaamheid en de daarmee gepaard gaande beleidsvraagstukken. Centraal staat de vraag hoe onderwijsinstellingen in Nederland generatieve AI op een duurzame manier kunnen inzetten, zodanig dat de milieu-impact beperkt blijft en de voordelen voor het onderwijs behouden.

De verkenning legt uit waardoor die impact ontstaat, hoe groot die ongeveer is, wat dit betekent voor het Nederlandse vervolgonderwijs en wat mogelijke duurzaamheidsmaatregelen en toekomstscenario's zijn.

Leeswijzer

Deze verkenning verkent de milieu-impact van AI en wat dit betekent voor het vervolgonderwijs. AI biedt veel kansen voor onderwijs en onderzoek, maar vraagt ook om energie, water, grondstoffen en infrastructuur. Daarmee ontstaat een nieuw duurzaamheidsvraagstuk dat vraagt om bewustwording, afwegingen en samenwerking.

In **hoofdstuk 2** onderzoeken we welke factoren de milieu-impact van AI bepalen. We kijken naar de verschillende lagen in infrastructuur en het gebruik, en laten zien waarom de impact van AI soms zichtbaar maar vaak ook verborgen is.

Bladzijde 9.

Hoofdstuk 3 beschrijft waar we nu staan. Welke ontwikkelingen zien we in beleid, governance, bewustwording, AI-geletterdheid, datacenters en monitoring? Ook verkennen we hoe onderwijsinstellingen en andere organisaties omgaan met duurzaamheid in relatie tot AI.

Bladzijde 13.

In **hoofdstuk 4** gaan we in op handelingsperspectieven. Welke keuzes kunnen onderwijsinstellingen maken als het gaat om beleid, governance, technologie, inkoop en bewust gebruik? Voor wie concreet aan de slag wil omtrent AI en duurzaamheid is dit hoofdstuk met name interessant.

Bladzijde 21.

Hoofdstuk 5 kijkt vooruit aan de hand van een aantal scenario's. Welke ontwikkelingen zijn zichtbaar aan de horizon? Welke dilemma's en keuzes komen op ons af? En hoe kunnen we als sector gezamenlijk werken aan een duurzame inzet van AI?

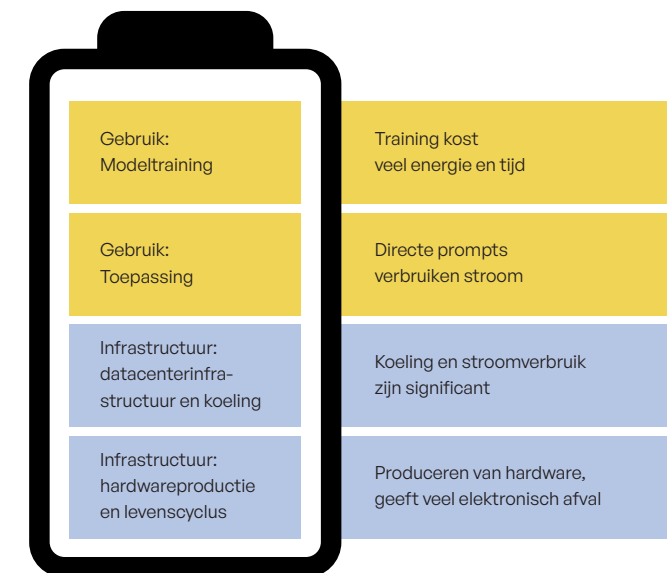
Bladzijde 27.

Deze verkenning is een stap naar een gedeeld uitgangspunt op AI en ecologische duurzaamheid. Juist omdat AI zich snel ontwikkelt en kennis over de milieu-impact nog volop in beweging is, zien we dit document als een startpunt voor verdere verdieping, dialoog en samenwerking. We hopen dat het helpt om het gesprek over AI en duurzaamheid binnen en tussen onderwijsinstellingen verder te brengen.

Heb je na het lezen aanvullende inzichten, praktijkvoorbeelden of vragen? Deel ze met de community. Alleen door kennis en ervaringen te bundelen, kunnen we gezamenlijk werken aan een duurzame toekomst voor AI in het onderwijs.

2. Factoren die milieu-impact bepalen

De milieu-impact van AI komt uit meerdere lagen: wat er ‘onder de motorkap’ gebeurt (infrastructuur) en wat er in het onderwijs en in de praktijk gebeurt (gebruik). Binnen deze lagen onderscheiden we vier factoren. In paragraaf 3.3 volgt een gedetailleerd overzicht van de factoren binnen infrastructuur.



2.1 Infrastructuur: datacenterinfrastructuur en koeling

De training en het gebruik van AI gebeurt in datacenters die continu koeling en stroom nodig hebben. Hoe vaker AI wordt gebruikt, hoe meer rekenkracht nodig is en hoe groter de vraag naar stroom en koeling.

Voor 2023 is de schatting voor het energieverbruik van AI in Nederland tussen 41 GWh en 107 GWh per jaar. Dat is 1 tot 2% van het totale energieverbruik van datacentra in Nederland (Urselmann et al., 2025). Om het in perspectief te zetten: 41–107 GWh is ruwweg gelijk aan het jaarlijkse stroomverbruik van een kleine Nederlandse stad, zoals Zeist of Middelburg. Dat klinkt enorm, maar valt mee vergeleken met andere grote verbruikers in Nederland. Schiphol alleen al verbruikt drie keer zoveel.

De verwachting is dat dit verbruik de komende jaren flink stijgt naarmate meer AI-diensten in gebruik worden genomen. Als AI-gebruik verder groeit, is de schatting voor 2030 dat het energieverbruik uitkomt op 2,9 TWh tot 4,7 TWh (Urselmann et al., 2025). Dat is een toename van 4.300 tot 7.000%.

Wereldwijd wordt een stijging in het stroomverbruik van datacenters door meer AI geschat op een toename van 105%, van ongeveer 460 TWh in 2022 naar rond 945 TWh in 2030 (International Energy Agency (IEA), 2025).

Behalve stroom hebben datacentra ook water voor koeling nodig. In droge regio's en met toenemende waterschaarste door klimaatverandering en bevolkingsgroei, kan dit extra spanning geven. Om een idee te krijgen: voor de training van GPT3 is een bandbreedte genoemd van 210.000–700.000 liter schoon koelwater (afhankelijk van plaats en techniek) (Li et al., 2025). Een chatsessie van 30 prompts vraagt naar schatting $\approx 0,5$ liter water aan koeling (Li et al., 2025). Op wereldschaal van miljarden prompts per dag wordt dit aanzienlijk.

2.2 Infrastructuur: hardwareproductie en levenscyclus

De kern van AI-training en -inferentie zijn Graphics Processing Unit's (GPU's). Het produceren van deze GPU's en andere hardware vraagt veel grondstoffen (zoals zeldzame aardmetalen) en energie in de productie (Gröger et al., 2025; Hess, 2024).

Door snelle vernieuwing ontstaat meer elektronisch afval. Een eerste schatting noemt een extra 1,2 - 5 miljoen ton e-waste voor generatieve AI tussen 2020-2030 (Wang et al., 2024) but the electronic-waste (e-waste). Dit is geen exact getal, maar wel een signaal dat de materiële kant van AI groot is. De volledige levenscyclus telt: van mijnbouw en fabriek, via transport en gebruik, tot afdanken en recycling.

2.3 Gebruik: modeltraining

Voordat je AI-modellen kunt gebruiken, moeten deze eerst worden getraind. Hoeveel tijd en energie dat kost hangt af van hoe groot het model is (afhankelijk van de architectuur en parameters). De exacte gegevens zijn vaak niet helemaal duidelijk, maar een rapport schatte dat het trainen van een model zoals GPT-3 van OpenAI op de Nederlandse supercomputer Snellius ongeveer 575 MWh zou kosten. Dat is ongeveer gelijk aan het jaarlijkse energieverbruik van 283 Nederlandse huishoudens (Urselmann et al., 2025). Hetzelfde geldt voor het trainen van het GPT-NL-model dat ongeveer 110-120 MWh aan elektriciteit verbruikt. Dit staat gelijk aan het jaarlijkse verbruik van 20 tot 25 Nederlandse huishoudens. Daar komt bij dat de modellen de afgelopen jaren groter zijn geworden.

2.4 Gebruik: toepassing

Elke prompt of vraag aan een AI-model (vaak 'inference' genoemd) kost stroom. Schattingen verschillen bij een tekstprompt vanaf 0,3 Wh, wat heel weinig is, maar kan oplopen tot 5 Wh, vergelijkbaar met een laptop 5% opladen (You, 2025). Voor beeld of video ligt het hoger, rond 100 Wh voor een korte video (You, 2025), dat staat ongeveer gelijk aan acht keer een telefoon volledig opladen.

Naast het directe gebruik via chatbots zien we ook meer directe integratie in applicaties, zoals in tekstverwerking, educatieve platforms, e-commerce platforms of programmeer-omgevingen. Ook nieuwere redeneermodellen of AI-agents verbruiken meer rekenkracht tijdens de inferentie, en dus meer energie per prompt of taak. Werkelijke waarden van energie hangen af van modelkeuze (grote en kleinere modellen), datacenter, hardware en instellingen. De omvang en wijze van gebruik zijn bepalend voor de uiteindelijke impact. Met miljoenen gebruikers en dagelijks miljarden prompts, loopt deze impact snel op. Dit maakt ook duidelijk dat de totale milieubelasting stevig meegroeit, zelfs als per prompt verbeteringen worden geboekt.

2.5 Complexiteit van impact

De milieu-impact van AI is enerzijds direct en meetbaar. Anderzijds is het ook complex, gespreid en vaak indirect. Ook die bewustwording is belangrijk.

Impact buiten zicht

Veel AI-diensten draaien buiten de instelling, bijvoorbeeld in de publieke cloud. Maar extern gehost betekent niet externe verantwoordelijkheid. Als AI-diensten in de cloud draaien, blijft de vraag en dus de voetafdruk mede van de instelling. De locatie, energiemix, koeling en efficiëntie bepalen de echte impact. Meestal geeft de leverancierstransparantie alleen beperkt zicht op de effectiviteit van datacenters zoals energie/water per transactie of hardwarevervangingscycli. Daardoor blijft de werkelijke voetafdruk diffuus en is het voor instellingen lastig om te sturen op duurzaamheid of leveranciers hierop aan te spreken.

Een ander punt is dat studenten en medewerkers vaak gratis AI-tools buiten de officiële kanalen gebruiken. Wij spreken dan van *shadow IT*. Dat telt wél mee in de echte voetafdruk, ook al is het niet in de eigen systemen terug te zien. Dit maakt duidelijk dat de impact van AI vaak gespreid is over meerdere plekken en partijen. Dat maakt meten lastig, maar niet minder relevant.

Indirecte effecten

Het gebruik van AI leidt tot gedrags- en structurele veranderingen die andere processen en levensstijlen kunnen beïnvloeden (zie Gröger et al., 2025; Luccioni et al., 2025 voor een meer diepgaande analyse). Deze veranderingen hebben invloed op het gebruik van AI. In deze context spreken we van indirecte of tweede-orde-effecten.

Een voorbeeld is het reboundeffect (Luccioni et al., 2025). Als Almodellen efficiënter worden en bijvoorbeeld minder energie per taak verbruiken of goedkoper worden, gaat het gebruik omhoog. Immers, het wordt makkelijker, waardoor mensen AI juist vaker en voor meer dingen gaan inzetten. De totale vraag en het totale gebruik nemen dan zo sterk toe, dat de oorspronkelijke duurzaamheidswinst door hogere efficiëntie voor een groot deel of zelfs helemaal verdwijnt.

Wanneer technologische efficiëntiewinsten niet leiden tot een afname van het totale verbruik maar juist tot een toename, spreken we ook wel van Jevons' paradox. Deze paradox laat zien dat efficiëntiewinsten op zichzelf geen garantie zijn voor een kleinere milieuoetafdruk, maar in sommige gevallen zelfs extra vraag en daarmee extra impact aanjagen. Een ander voorbeeld is de groeiende vraag naar digitale diensten, waarbij AI-toepassingen geheel nieuwe consumptiepatronen creëren, zoals de toename van AI-gegenereerde content die leidt tot exponentiële groei in opslagbehoeften en netwerkverkeer. Deze indirecte effecten kunnen zelfs schadelijker zijn voor ecologische duurzaamheid dan de directe effecten.

Positieve effecten

AI kan ook positieve effecten hebben (Urselmann et al., 2025). Aan de ene kant op verduurzaming, bijvoorbeeld door betere klimaatmodellen of optimalisering van vervoersbewegingen door AI. Aan de andere kant kunnen AI-toepassingen ook maatschappelijk-economische waarde opleveren, bijvoorbeeld door efficiëntere zorgverlening, preventie van fraude of het verhogen van arbeidsproductiviteit. De spanning tussen kansen, resultaat en impact is altijd aanwezig en vraagt om zorgvuldige afwegingen.

3. Waar staan we nu?

Na een blik op welke factoren invloed hebben, gaat dit hoofdstuk dieper in op wat er al gebeurt rond duurzaamheidsplannen, beleid en governance, bewustzijnsvorming, datacenters en monitoring.

3.1 Duurzaamheidsplannen en beleid

De Europese klimaatwet had het doel van klimaatneutraliteit in 2050 en het tussendoel de netto-uitstoot van broeikasgassen tegen 2030 met ten minste 55% (ten opzichte van 1990) te verminderen (Ministerie van Algemene Zaken, 2025). Voor een gezamenlijke aanpak voor duurzame digitalisering is er eind 2022 een nieuwe¹ als een publiek/private samenwerking toestand gekomen. In dit moment wordt er vanuit de *Actieplan Duurzame Digitalisering* gewerkt.

In veel bestaand beleid is AI een 'blinde vlek'. Dit staat in het *Actieplan Duurzame Digitalisering* (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2024) met het advies om AI expliciet mee te nemen in CO₂-monitoring en -reductiestrategieën. GenAI heeft een fors hogere energie- en watervoetafdruk dan traditionele ICT wat vraagt om een andere wegging dan 'gewone' digitalisering (Urselmann et al., 2025).

Duurzaamheid in de vervolgonderwijssector

Duurzaamheid is een belangrijk thema voor de vervolgonderwijssector. De Vereniging Hogescholen en de MBO Raad hebben het Sustainable Development Goals (SDG) Charter ondertekend (MBO Raad, 2020; Vereniging Hogescholen, 2021) en de Universiteiten van Nederland hebben een klimaatakkoord vastgesteld (Leenders & Stam, 2019; Universiteiten van Nederland, 2025).

Veel instellingen hebben hun duurzaamheidsambities gebouwd op dit sectorcommitment. In plannen ligt focus op gebouwen, mobiliteit, catering/afval en 'algemene ICT' zoals groene stroom of serverconsolidatie. Zo wil de Universiteit Utrecht in 2030 een CO₂-neutrale energievoorziening realiseren (Utrecht Universiteit, 2025), De Haagse Hogeschool streeft naar een Zero Waste onderwijsinstelling (De Haagse Hogeschool, 2023). En Breda University of Applied Sciences werkt aan de ambitie om klimaatpositief te worden (Breda University of Applied Sciences, n.d.). Veel meer instellingen hebben duurzaamheid als strategische pijler voor 2030

¹ coalitieduurzamedigitalisering.nl [Laatst gecontroleerd op: 09.02.2026]

vastgesteld, zie ook voorbeelden van Han, Saxion, Yuverta, en Summa (Han, 2022; Saxion, 2025; Summa, n.d.; Yuverta, 2025).

Maar duurzaamheidsplannen verschillen sterk in ambities, opzet en monitoring, waardoor onderlinge vergelijking onmogelijk is (De Jonge Akademie, 2025). In het rapport van De Jonge Akademie staan vijf aanbevelingen: ambitieuzere CO₂-doelstellingen, gestandaardiseerde rapportage, transparante verantwoording, continuïteit in de inzet van gespecialiseerde medewerkers en meer samenwerking tussen instellingen.

Duurzaamheid en AI in beleid

Duurzaamheid is geen bijzaak bij de inzet van AI, maar een kernwaarde. Toch wordt duurzaamheid in beleidskaders van onderwijsinstellingen vaak nog behandeld als een ethische overweging en een van de vele overwegingen, in plaats van als een volwaardig criterium bij besluiten rondom gebruik van AI.

Dat duurzaamheid steeds vaker expliciet wordt benoemd, is een positieve ontwikkeling. Ter illustratie, de Universiteit Maastricht rekent duurzaamheid tot een van haar kernwaarden en benoemt dit expliciet in haar beleid: *“Terwijl de UM GenAI toepassingen graag wil inzetten ter verrijking en ondersteuning van de community, wordt er tevens rekening gehouden met de kernwaarden van de UM: diversiteit en inclusie, duurzaamheid, wederzijds respect, integriteit, democratische principes en transparantie.”* (Universiteit Maastricht, 2024). De Universiteit van Amsterdam heeft vastgelegd dat het instellingsbestuur verantwoordelijk is voor het beschikbaar stellen van goedgekeurde ICT-tools, waarbij duurzaamheid en digitale soevereiniteit meewegen (Universiteit van Amsterdam, 2025). De Hogeschool van Arnhem en Nijmegen verbindt duurzaamheid aan haar koers met de ambitie bij te dragen aan een slimme, schone en sociale wereld.

Maar bewustzijn is nog geen beleid. In de praktijk ontbreekt het aan concrete kaders die duurzaamheid operationaliseren of als voorwaarde stellen bij besluitvorming rond inzet en gebruik van AI. Daardoor worden beslissen vaak ad hoc genomen. In gezamenlijkheid sturen als onderwijssectoren op het bevorderen van duurzaamheid is zo moeizaam te bereiken. Om die stap te maken, is meer nodig dan goede intenties: gedeelde sectorafspraken en een structurele plek voor duurzaamheid in besluitvormingsprocessen rond AI.

Initiatieven voor expertise en samenwerking

Duurzame AI vraagt om expertise op het snijvlak van ICT, duurzaamheid en onderwijs. Niet elke instelling heeft deze kennis in huis, wat leidt tot afhankelijkheid van externe partijen of tot suboptimale keuzes. Samenwerking en kennisdeling binnen de sector zijn daarom essentieel. Als het om samenwerken gaat, zijn er een aantal initiatieven en werkgroepen, bijvoorbeeld Duurzaam MBO (*Duurzaam MBO*, n.d.) en de werkgroep Energie & Duurzaamheid van de

Nederlandse AI Coalitie (Nederlandse AI Coalitie, n.d.). Ook SURF had tot 2020 een aparte Groene ICT & duurzaamheidwerkgroep, die is nu geborgd in andere activiteiten (SURF, 2020).

Integrale aanpak ontbreekt veelal

Binnen instellingen is eigenaarschap van AI-beslissingen versnipperd. Duurzaamheidsaspecten van AI vallen tussen verschillende domeinen: ICT-afdelingen focussen op technische implementatie, onderwijsafdelingen op didactische toepassing en duurzaamheidscoördinatoren op klimaatdoelen. Deze fragmentatie bemoeilijkt een integrale aanpak waarbij duurzaamheid vanaf het begin wordt meegewogen in AI-beslissingen. Concrete uitwerkingen van duurzaamheidscriteria in AI-governance zijn nog nauwelijks zichtbaar. De uitdaging is om van intenties in beleidskaders te komen tot meetbare eisen en werkbare procedures.

3.2 Bewustzijnsvorming en AI-geletterdheid

“In het kader van duurzaamheid is het belangrijk om te beseffen dat er veel energie voor nodig is om grote taalmodellen te trainen en draaiende te houden. Deze ethische overwegingen hebben een plek in de academische vaardigheid AI literacy.” (Vrije Universiteit Amsterdam, 2025).

Ondertussen kan bewustzijnsvorming op meerdere niveaus plaatsvinden: als onderdeel van opleidingen of trainingen; en met directe zichtbaarheid van de impact tijdens gebruik.

Uit het veldonderzoek binnen het AI-GO raamwerk voor AI-geletterdheid (Renkema et al., 2025) blijkt dat kennis over duurzaamheid bij het gebruik van AI een belangrijke factor is in de praktijk, maar (nog) geen plek in de bestaande literatuur heeft gekregen. Verschillende instellingen beginnen duurzaamheidsaspecten van AI te integreren in hun curricula.

Heb jij een voorbeeld van AI en duurzaamheid bij jouw instelling?
Mail deze naar aiendata@npuls.nl.

Browser-extensies zoals GPT Footprint (Graves et al., 2025) of Carbon-AI (Caravaca et al., 2025), tonen het verbruik per Alantwoord en maken het milieucomponeent zichtbaar in de dagelijkse praktijk.

3.3 Datacenters en modellen

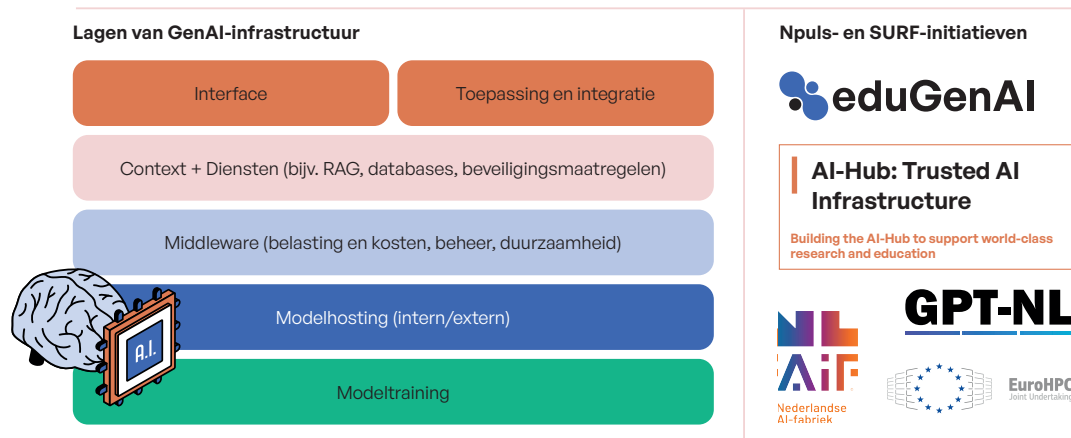
In de omgang met datacenters en hardware is beweging zichtbaar. Twee belangrijke kaders voor duurzaamheid zijn hierin ISO 14001 (milieumanagementsysteem) (Yedidya, 2025) en het Climate Neutral Data Centre Pact (CNDTCP) (*Climate Neutral Data Centre Pact*, n.d.). ISO 14001 is een internationale standaard die een brede aanpak biedt voor het verbeteren van

milieuprestaties. Het CNDCP is een branche-initiatief om datacenters in Europa tegen 2030 klimaatneutraal te maken. De focus ligt op energie-efficiëntie, gebruik van hernieuwbare energie en compenseren van resterende uitstoot.

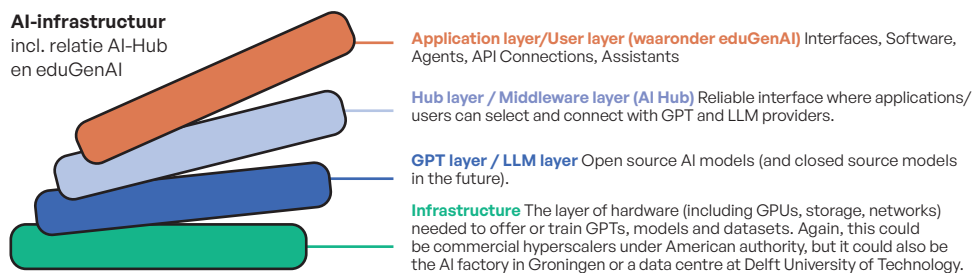
Datacenters zijn al langer een discussie in Nederland. Naar aanleiding van de controversiële plannen van Meta voor een hyperscale datacenter in Zeewolde in 2021, analyseerde het Rathenau Instituut de maatschappelijke betekenis van datacentra in Nederland en de besluitvorming rond hun vestiging (Rathenau Institute, 2022). Er is gekeken naar duurzaamheid (energie-, water- en ruimtegebruik), financieel-economische aspecten (baten versus kosten) en veiligheid (geopolitiek en digitale soevereiniteit). De conclusie is dat de huidige multi-level governance tekortschiet omdat niet alle relevante belangen systematisch worden meegewogen.

De stack van applicatie tot infrastructuur

Om te begrijpen waar duurzaamheidsmaatregelen het meest effectief zijn, is het nuttig om de GenAI-infrastructuur te zien als een gelaagde stack met vijf niveaus. Elk niveau biedt verschillende aangrijpingspunten voor verduurzaming.



AI-infrastructuur incl. relatie AI-Hub en eduGenAI



Afbeelding: stack van applicatie tot infrastructuur

Bovenaan de stack staan de *interface- en applicatielagen*, waar eindgebruikers daadwerkelijk met AI-systemen interacteren. Hier kunnen bewustwordingsmaatregelen worden toegepast, zoals het zichtbaar maken van het energieverbruik per query. Verder kan op deze laag keuzevrijheid over het model aan gebruikers worden gegeven, of kan standaard een model met een lager energieverbruik worden aangeboden. Ook een energiebudget per gebruiker is denkbaar. *eduGenAI*², maar ook veel instellingen ontwikkelen eigen systemen.

De *context + services-laag* voegt functionaliteiten toe zoals RAG (Retrieval-Augmented Generation), databases en guardrails die de AI-toepassingen verrijken en veiliger maken. Hier kunnen efficiëntiewinsten worden geboekt door slimme caching en het vermijden van onnodige model-aanroepen. Dit kan in applicaties of in de middleware laag geïmplementeerd worden.

De *middleware-laag* vormt de schakel die zich bezighoudt met workload-verdeling, kosten, administratie en duurzaamheidsaspecten. SURF en Npuls ontwikkelen op dit moment de *AI-hub*³ als schakel tussen applicaties en model hosting. Deze kan op lange termijn ook mogelijkheden voor monitoring en sturing van energieverbruik integreren.

Model hosting kan intern in de SURF-datacenters en op de supercomputer Snellius gebeuren, of extern bij hyperscalers of via EuroHPC bij andere high-performance computing (HPC) infrastructuren. Op deze laag wordt gewerkt aan energie-optimalisering (SURF, n.d.) en het verantwoord gebruik van HPC bij AI-toepassingen te faciliteren (Zulić, 2025). De kern: denk vooraf kritisch na of zware rekenkracht écht nodig is voor je use-case. Belangrijkste adviezen: (1) weeg ecologische impact (energie, CO₂, materiaal) mee, (2) kies voor energiezuinige modellen en geoptimaliseerde code, (3) monitor en rapporteer verbruik transparant, en (4) pas deze principes toe in zowel onderzoek als dagelijks AI-gebruik in onderwijs (Zulić, 2025).

Vooral de grootte van een model en waar het draait doet ertoe. Prof. dr. Patricia Lago, hoogleraar Software Engineering (met specialisatie in Software en Sustainability) aan de Vrije Universiteit Amsterdam benadrukt dat instellingen af moeten van het idee dat alleen de grootste, krachtigste AI-modellen voldoen. Door te kiezen voor kleine, domeinspecifieke modellen en deze lokaal te draaien beperk je niet alleen de milieu-impact, maar houd je ook grip op data, kosten en privacy.

² npuls.nl/edugenai [Laatst gecontroleerd op: 09.02.2026]

³ surf.nl/themas/artificial-intelligence/projecten-en-samenwerkingen/ai-hub [Laatst gecontroleerd op: 09.02.2026]

Onderaan de stack bevindt zich model training, waar AI-modellen worden ontwikkeld en getraind. Hier werken TNO, SURF en NFI momenteel samen aan het trainen van GPT-NL⁴ als verantwoord alternatief op bestaande taalmodellen.

Praktijkervaringen gezocht:
Welke interventies gebruiken jullie voor de duurzaamheid in de stack?

3.4 Monitoring

AI-systemen kunnen het energieverbruik van instellingen fors verhogen, zeker bij grootschalige adoptie. Zonder monitoring en sturing kan de CO₂-uitstoot bij een instelling snel uit de hand lopen, waardoor hun klimaatdoelen in gevaar komen.

Momenteel bestaat er een aanzienlijk gat in de monitoring. AI-gebruik komt zelden in CO₂-rapportages voor en er is geen uniforme standaard voor wat minimaal wordt gemeten (kWh/CO₂/water per model/call/workload). Bovendien vindt substantieel AI-gebruik plaats buiten de regie van instellingen door gratis tools en gebruik via eigen accounts (shadow IT). Hierdoor is het werkelijke AI-gebruik en de bijbehorende impact moeilijk te monitoren of te beïnvloeden.

Monitoring

Wat moet minimaal in beeld?

1. Energie (kWh), CO₂ en water per model/call/workload, met onderscheid infrastructuur (training; datacenters/koeling; hardware/LCA) vs. gebruik (inference; gebruikspatronen).
2. Scope3 expliciet meenemen: cloudregio's, koeling en hardwareketen (productie, vervanging/ewaste).

Waar moet je meten?

1. Binnen de instelling (eigen ict/rekencentra).
2. Buitenschil in sectorvoorzieningen (SURF-HPC, SURF AI-hub en gezamenlijke platformen zoals eduGenAI)voorzieningen

⁴ gpt-nl.nl [Laatst gecontroleerd op: 09.02.2026]

Praktijkvoorbeelden gezocht:
Uitdagingen en praktijkvoorbeelden voor monitoring

3.5 Uitdagingen en kansen

De onderwijssector is in transitie, met groeiende ambities en structurele knelpunten rond AI en duurzaamheid. De onderstaande tabel bevat de belangrijkste uitdagingen en kansen.

Uitdagingen	Kansen
Gebrek aan monitoring en data: AI-gebruik ontbreekt in CO ₂ -rapportages, geen uniforme meetstandaard voor energie/water/CO ₂ per workload, gebruik via gratis tools en eigen accounts maakt impact onzichtbaar	Kostenbesparing op termijn: efficiënte modellen en bewuste keuzes verlagen energie- en cloudkosten
Versnipperd eigenaarschap en ontbrekende expertise: duurzaamheid verdeeld over ict, onderwijs en duurzaamheidscoördinatoren. Kennis op dit snijvlak is schaars, leidt tot afhankelijkheid of suboptimale modelkeuzes	Soevereine infrastructuur als hefboom: AI-hub en eduGenAI, en GPT-NL bieden aanknopingspunten voor monitoring, sturing én soevereiniteit
Gebrek aan transparantie: leveranciers geven zelden inzicht in daadwerkelijk energie- en materiaalgebruik rond clouddiensten	Sectorbrede samenwerking: via SURF/Npuls gezamenlijk eisen stellen aan leveranciers, kennis delen en sneller leren
Van intentie naar actie: duurzaamheid wordt genoemd in beleidskaders, maar meetbare eisen en werkbare procedures rondom AI-gebruik ontbreken	Bewustzijnsvorming: structureel opnemen van duurzaamheid in AI-onderwijs en -beleid
	Voorbeeldrol internationaal: vooroplopen in duurzame AI kan reputatie en samenwerkingen versterken

De uitdagingen zijn vooral systemisch: het ontbreekt aan gestandaardiseerde metingen, heldere verantwoordelijkheden en sectorbrede afspraken. Individuele instellingen krijgen hierdoor moeilijk grip, zelfs bij goede intenties. Tegelijkertijd bieden de kansen een uitweg: door collectief te handelen (samenwerking, gedeelde infrastructuur, uniforme eisen aan leveranciers) kunnen knelpunten worden omgezet in vooruitgang. De vraag is niet of duurzame AI nodig is, maar hoe we van losse initiatieven naar systematische, meetbare verandering komen.

4. Handelingsperspectieven: Wat kunnen we nu doen?

Het vorige hoofdstuk schetst een sector in transitie: met groeiende duurzaamheidsambities, maar ook structurele knelpunten zoals versnipperd beleid, ontbrekende monitoring, beperkte expertise en wildgroei van shadow IT. Tegelijkertijd liggen er kansen in sectorbrede samenwerking, infrastructuurontwikkeling en bewustwording.

Dit hoofdstuk vertaalt de analyse naar concrete handelingsperspectieven. Zeven voorgestelde acties zijn gegroepeerd, van strategisch (beleid en inkoop) via tactisch (bewustwording en monitoring) naar operationeel (technische optimalisatie). Samen vormen de acties een route van intentie naar meetbare impact. Niet alle acties hoeven tegelijk; beginnen met wat past bij de huidige fase van de instelling is al heel helpend, en vervolgens successen opschalen.

1. Ontwikkel expliciete principes voor keuzes rondom AI en neem deze op in het AI- en ict-beleid

Duurzaamheid moet niet alleen een ethische overweging zijn, maar een harde randvoorwaarde. Dit begint met het verankeren van expliciete principes in het AI- en ict-beleid van de instelling. Deze principes geven richting aan alle AI-gerelateerde beslissingen en maken toetsing mogelijk.

Voorbeeldprincipes:

- Passendheid boven kracht: waar mogelijk kiezen we voor de meest energie-efficiënte AI-oplossing die een taak adequaat uitvoert, niet automatisch voor het grootste of krachtigste model.
- Waarde-afweging: we wegen de educatieve meerwaarde van een AI-toepassing expliciet af tegen de ecologische footprint.
- Transparantie als norm: inzicht in AI-impact (energie, water, materiaal) is de standaard, tenzij privacy of veiligheid dit aantoonbaar belemmeren.
- Soevereiniteit en duurzaamheid: bij inkoop van AI-diensten wegen digitale soevereiniteit en duurzaamheid mee als gelijkwaardige criteria naast functionaliteit en kosten.

Deze principes worden opgenomen in bestaande kaders, zoals het AI-beleid, ict-inkoopbeleid en duurzaamheidsplannen. Belangrijk is dat de principes op papier staan én bij besluitvorming actief worden gebruikt.

2. Stel een toetsingsstrategie op voor AI-initiatieven

Principes hebben alleen waarde als ze worden toegepast. Een concrete toetsingsstrategie zorgt ervoor dat elk groot AI-initiatief (zoals de invoering van een nieuw platform, een pilot met GenAI of grootschalige modeltraining) aan de principes wordt getoetst vóór de start.

Drie voorbeeldkernvragen per AI-initiatief:

- Past het binnen onze principes? Is de gekozen oplossing de meest passende en energie-efficiënte voor de beoogde taak?
- Hoe meten en rapporteren we? Welke gegevens (kWh, CO₂, water) worden gemonitord, hoe vaak en aan wie wordt gerapporteerd?
- Wat is de exitstrategie? Wat doen we als de ecologische footprint te groot blijkt of als energiezuinigere alternatieven beschikbaar komen?

Deze vragen kunnen onderdeel worden van bestaande toetsingsprocedures of worden geïntegreerd in projectmanagementtemplates. Dit dwingt tot vooraf nadenken in plaats van achteraf corrigeren.

3. Maak duurzaamheidsafspraken met leveranciers

Een van de grootste uitdagingen is het gebrek aan transparantie bij cloudleveranciers en AI-diensten. Instellingen hebben een beperkte invloed via individuele onderhandelingen, maar via sectorbrede samenwerking kunnen zij gezamenlijk eisen stellen.

Concrete contractuele eisen:

- Energie-efficiëntie: vraag naar PUE- (Power Usage Effectiveness) en WUE- (Water Usage Effectiveness) waarden voor datacenters. Eis inzicht in CO₂-uitstoot per transactie of per 1.000 API-calls.
- Hernieuwbare energie: stel als eis dat hosting plaatsvindt op 100% hernieuwbare energie, met traceerbare herkomst (geen generieke compensatiecertificaten).
- Certificering: eis certificering volgens ISO 14001 (milieumanagement) en deelname aan het Climate Neutral Data Centre Pact of gelijkwaardige normen.
- Hardware-verantwoording: vraag transparantie over e-wastebeheer, circulaire hardware-ketens en levensduurverlenging van apparatuur.
- Reductiedoelen: zet gezamenlijk targets voor emissiereductie (bijv. <20% CO₂ per call binnen drie jaar) en leg rapportageverplichtingen vast.

Sectoraal opschalen: werk samen aan collectieve opschaling. Bijvoorbeeld in raamcontracten of gezamenlijke aanbestedingen. Dit vergroot de onderhandelingspositie en maakt benchmarking tussen leveranciers mogelijk.

4. Werk aan bewustzijn en AI-geletterdheid

Zonder bewustzijn geen gedragsverandering: AI-geletterdheid moet worden uitgebreid met inzicht in de ecologische voetafdruk van AI-gebruik. Dit geldt voor zowel studenten als medewerkers.

Concrete maatregelen:

- Integratie in AI-geletterdheid: voeg modules toe aan bestaande AI-trainingen waarin gebruikers leren over energieverbruik van verschillende modellen, het verschil tussen kleine en grote modellen, en bewuste promptkeuzes (bijvoorbeeld korte prompts waar mogelijk).
- Zichtbaar maken van de voetafdruk: gebruik tools als GPT Footprint of Carbon-AI om studenten en medewerkers direct inzicht te geven in het verbruik per AI-interactie.
- Workshops en experimenten: organiseer hands-on workshops waarin deelnemers testen wat het verschil is tussen een groot model (GPT-4) en een klein model (GPT-3.5 of domeinspecifiek model) voor dezelfde taak. Maak het energieverbruik zichtbaar.
- Communicatiecampagnes: lanceer campagnes rond ‘bewust AI-gebruik’ met concrete tips, vergelijkbaar met campagnes rond papierverbruik of afvalscheiding.

5. Breng gebruik in kaart en monitor continu

Zonder meten geen sturen. Monitoring moet op twee niveaus: een nulmeting om de uitgangssituatie vast te stellen en continue monitoring om trends te volgen en bij te sturen.

Concrete maatregelen:

- Start met een nulmeting: welke AI-toepassingen draaien waar, op welke data en met welk verbruik.
- Zet continue monitoring op met cloud-/telemetriedashboards en, waar mogelijk, AI-metering. Gebruik dashboards voor bestuur en community: trends in kWh, CO₂ en water; topworkloads; verbeteracties en effecten.
- Rapporteer per kwartaal verbruik, topverbetersaars/-vervuilers en genomen maatregelen. Vergelijk (benchmark) met sectorcijfers zodra deze beschikbaar zijn. Vier successen om draagvlak te vergroten, bijv. “<30% kosten en voetafdruk per 1.000 calls”.
- Neem een aparte paragraaf “Digitale duurzaamheid & AI” op in het jaarverslag.

6. Ontwikkel en experimenteer met alternatieven en verduurzaming voor model en infrastructuur

De technische stack (zie 3.4) biedt op elk niveau kansen voor verduurzaming. Dit vereist een experimentele mindset van testen, leren, opschalen.

Concrete maatregelen:

- Kies een kleiner, passend (open-source) model waar mogelijk.
- Gebruik een task-router die simpele vragen naar kleine modellen stuurt en alleen complexe vragen naar grote modellen. Overweeg om een klein NL-taalmodel toe te passen voor 80% van de taken (schrijven, rubriceren, veel gestelde vragen) om alternatieven te bieden.
- Daag ontwikkelteams uit met *challenges*: “Ontwerp een AI-studiehulp met 50% minder energie per taak.”
- Voer een shadow-IT-interventie uit: bied geborgde alternatieven met een beter energielabel en voer een ‘kies bewust’-communicatiecampagne.
- AI-energiebudget: geef projecten een energiebudget (bijvoorbeeld met een maximale hoeveelheid kWh per maand). Dit dwingt tot bewuste afwegingen en maakt afwegingen tussen functionaliteit en duurzaamheid expliciet.
- Publiceer lessons learned via netwerken als SURF (special interest groups), Npuls communities, HO-Link conferentie; herhaal wat werkt, stop wat niet werkt.

7. Optimaliseer uitvoering van infrastructuur, code en model

Naast strategische keuzes voor modellen zijn er talloze micro-optimalisaties die samen substantiële besparingen opleveren. Deze maatregelen richten zich op hoe AI-workloads worden uitgevoerd: van GPU-gebruik tot code-efficiëntie. Het zijn vaak technische ingrepen, maar ze maken het verschil tussen een energielurpende en een geoptimaliseerde AI-infrastructuur.

Infrastructuuroptimalisatie

- **GPU-efficiëntie**: benut GPU’s volledig en zet ongebruikte resources uit of ‘in slaap’. Kies nieuwere GPU-generaties met aantoonbaar energie-efficiëntere winst (bijvoorbeeld NVIDIA H100 vs. V100).
- **Slimme planning**: plan zware training op momenten met een overschot van groene energie (nacht, hoge windproductie). Plan niet kritische taken om piekmomenten heen.
- **Cloudregio’s**: draai niet-urgente workloads alleen in cloudregio’s, ofwel op plekken op de wereld waar meerdere datacenters bij elkaar staan, met hernieuwbare energie. Meet het CO₂-verschil tussen deze regio’s.
- **Edge vs. cloud**: overweeg lokaal draaien voor kleinere modellen om netwerk- en energie-overhead te verminderen.

Code en modeloptimalisatie:

- **Token-limieten**: optimaliseer prompts om onnodige tokens te vermijden. Micro-optimalisaties leveren vaak 15-20% duurzaamheidswinst.
- **Batching en caching**: verwerk vergelijkbare queries in batches; cache veelvoorkomende antwoorden.
- **Pruning, distillation, quantization**: pas deze technieken standaard toe om modellen kleiner en sneller te maken zonder significante kwaliteitsverlies.
- **Check alternatieven**: vraag altijd of een simpele beslissboom, logistisch model of regelgebaseerd systeem voldoet. Deep learning is niet altijd nodig, eenvoudigere oplossingen zijn vaak duurzamer én sneller.

Van inzicht naar actie

De zeven voorgestelde acties vormen samen een route naar duurzame AI, maar niet alle instellingen hoeven bij hetzelfde punt te beginnen. Een instelling met eigen infrastructuur kan direct aan de slag met optimalisatie terwijl een kleinere instelling meer baat heeft bij bewustwording en contractuele eisen aan leveranciers.

Wat het verschil maakt: concreet beginnen met een of twee acties waar je morgen mee kunt starten, meetbaar maken door vanaf het begin te monitoren en successen te vieren, en samen optrekken via SURF, Npuls en sectorinitiatieven. De grootste impact ontstaat niet door perfecte plannen, maar door te starten: kies wat past bij de context, zorg voor helder eigenaarschap (ict, onderwijs én duurzaamheid samen) en deel wat werkt. Van intentie naar impact gaat niet vanzelf; het begint met de beslissing om te beginnen, bij jouw instelling, met deze acties, vandaag.

5. De discussie op gang brengen: toekomstscenario's in 2030

Stel je voor: het is 2030. De Nederlandse onderwijssector kijkt terug op een turbulente en leerzame periode. In de afgelopen vijf jaar zijn generatieve AI en duurzaamheid onlosmakelijk met elkaar verweven geraakt in het mbo, hbo en wo. Bestuurders, docenten en studenten hebben keuzes moeten maken die het onderwijs en de ecologische voetafdruk van de sector blijvend hebben veranderd.

Deze toekomstbeelden zijn geen verre fictie. Het is het resultaat van keuzes die nú worden gemaakt. Dit hoofdstuk beschrijft drie mogelijke toekomsten. We beleven hoe het onderwijs zich ontwikkelt als duurzaamheid centraal staat, als AI ongeremd groeit of als voorzichtigheid de boventoon voert. Elk scenario is een doorleefd verhaal, opgebouwd uit signalen, trends en dilemma's die vandaag al zichtbaar zijn.

Deze scenario's zijn verkenningen en laten zien hoe keuzes van vandaag doorwerken tot 2030. In de praktijk zal de toekomst uit elementen van meerdere scenario's bestaan. Door deze scenario's te verkennen, krijgen we grip op de stuurknoppen van morgen. Welke signalen moeten we in de gaten houden? Waar liggen de kansen én de risico's? En vooral: hoe zorgen we dat generatieve AI een bondgenoot wordt in de verduurzaming van het onderwijs, in plaats van een rem op onze klimaatambities?

5.1 Scenario 1

Duurzame doorbraak: AI als groene innovator

Het is 2030. Nederlandse onderwijsinstellingen hebben generatieve AI volledig geïntegreerd met duurzaamheid als harde randvoorwaarde. In de afgelopen jaren is er een sectorbrede omslag geweest: bij elke AI-implementatie werd expliciet gekeken naar energieverbruik, CO₂-voetafdruk en levensduur van hardware. Instellingen kozen massaal voor energie-efficiënte modellen en cloudoplossingen op hernieuwbare energie. Benchmarking is de norm geworden: iedere instelling rapporteert transparant over de CO₂-uitstoot per AI-gebruiksuur. Deze transparantie heeft geleid tot een wedloop in vergroening: instellingen willen niet alleen de slimste, maar ook de groenste zijn.

In de praktijk zien we dat AI-systemen zijn afgeslankt tot wat echt nodig is (no nonsense AI). Kleine, op maat gemaakte taalmodellen voor het Nederlandse onderwijs zijn de standaard,

waardoor de afhankelijkheid van grote internationale modellen is afgenomen. Dankzij sectorbrede afspraken, gefaciliteerd door SURF en Npuls, worden datacenters structureel groen beheerd en is e-waste geminimaliseerd door levensduurverlenging en recycling van hardware. Elke AI-toepassing wordt periodiek doorgelicht op nut versus energieverbruik.

Studenten en medewerkers zijn zich in 2030 net zo bewust van hun AI-verbruik als ze dat tien jaar eerder waren van papierverbruik. AI is breed ingezet in instructie, begeleiding en administratie, maar het aandeel in het totale energieverbruik van instellingen is beperkt gebleven dankzij compenserende maatregelen. Het onderwijs is een voorbeeldsector geworden van 'groene AI': technologische vooruitgang en klimaatambities zijn hand in hand gegaan. De sector levert zo een aantoonbare bijdrage aan de nationale klimaatdoelen én aan digitale innovatie.

5.2 Scenario 2

Voorzichtig en beperkt: geremde adoptie onder kritische blik

Na het initiële enthousiasme rond 2023/2024 volgt een realiteitscheck. In 2025 klinkt de roep om een 'AI-pauze' steeds luider, gevoed door zorgen over milieu-impact en ethiek. Onderwijsinstellingen kiezen voor een uiterst voorzichtige koers: generatieve AI wordt slechts mondjesmaat toegestaan, pilots zijn kleinschalig en grootschalige implementatie blijft uit. De meerderheid van de studenten gebruikt AI vooral buiten de officiële kanalen, via eigen devices en accounts.

Instellingsbreed zijn er slechts enkele toegestane tools, streng geselecteerd op duurzaamheid. Het energieverbruik door AI blijft laag; de planeet profiteert en instellingen behouden hun groene profiel. Maar er zijn ook nadelen: het Nederlandse onderwijs dreigt een inhaalslag te missen. Studenten lopen mogelijk vaardigheden en efficiëntie mis die elders standaard zijn. Er is bovendien een risico dat docenten en studenten toch intensief AI gebruiken, maar dan ongecontroleerd, wat zowel de energiebesparing als andere waarden (privacy, academische integriteit) ondermijnt.

In 2030 is generatieve AI in het onderwijs nog steeds geen vanzelfsprekendheid. Alleen als overtuigend wordt aangetoond dat AI duurzaam en verantwoord kan, krijgt het meer ruimte. De sector zet het behoud van de planeet voorop, maar mogelijk ten koste van innovatiekracht.

5.3 Scenario 3

Ongeremde AI-groei: AI boven alles, planeet uit het oog

Tussen 2025 en 2030 is de adoptie van generatieve AI in het onderwijs ongekend snel gegaan. Instellingen hebben elk nieuw AI-hulpmiddel omarmd dat de onderwijskwaliteit of efficiëntie kon verhogen. Er ontstond een ware AI-wapenwedloop: wie heeft de slimste campus, de meest geavanceerde AI-assistent? In 2027 is generatieve AI overal: virtuele tutors voor elke student, AI-gegenereerde content in elke les, geautomatiseerde feedback op iedere opdracht.

De voordelen zijn evident: betere leerresultaten, lagere werkdruk. Maar de keerzijde wordt snel zichtbaar. De energierekening van instellingen stijgt explosief; jaarverslagen laten zien dat de duurzaamheidsdoelen voor CO₂-reductie niet worden gehaald. In 2028 ontstaan zelfs capaciteitsproblemen: landelijke digitale tentamens met AI-ondersteuning leggen het regionale stroomnet plat. Gartner's voorspelling komt uit: datacenters van grote AI-providers kampen met tekorten, wat leidt tot prijsstijgingen en serviceonderbrekingen.

Pas richting 2030 grijpt de overheid in met harde richtlijnen om het energieverbruik van onderwijstechnologie te beperken. Instellingen moeten halsoverkop herstelmaatregelen nemen: noodinvesteringen in groene stroom, schrappen van de meest verspillende AI-toepassingen. De sector leert een harde les: een laissez-faire aanpak levert snelle voordelen op, maar leidt tot desastreuze milieugevolgen en bedreigt zelfs de continuïteit van het onderwijs.

5.4 Wat de scenario's ons leren over onderliggende spanningsvelden

Na het lezen van deze drie toekomstbeelden blijft één vraag hangen: welk scenario gaat zich ontfouwen? Het eerlijke antwoord: waarschijnlijk geen van drieën in pure vorm. De werkelijkheid is rommeliger, grilliger, vol tegenstrijdigheden.

Maar er is iets dat alle drie scenario's gemeen hebben, iets dat zich nu al manifesteert in beleidsdiscussies, teamoverleggen en studentendebatten: onderliggende spanningen die niet verdwijnen, welke weg we ook kiezen.

In scenario 1 zagen we hoe de spanning tussen academische vrijheid en duurzaamheidsnormen werd gemanaged, maar niet opgelost. In scenario 2 dreigde het streven naar duurzaamheid te verzanden in greenwashing en schaduwgebruik. In scenario 3 liep de clash tussen hype en realiteit uit op een crisis.

Spanningsveld	Wat botst hier?	Herkenningsvragen
Hype vs. hinderpaal	Enerzijds: de zorgen over de milieu-impact van AI zijn overdreven; we moeten niet innovatie remmen door paniekzaaijerij Anderzijds: dit is een tikkende tijdbom die we nu moeten adresseren, voordat het te laat is	<ul style="list-style-type: none"> Hoe reageert jouw instelling op nieuwe data over het energie-verbruik van AI? Welke stem krijgt meer gewicht in het beleid: de innovators of de critici?
Kwaliteit vs. efficiëntie	Enerzijds: studenten moet het beste worden geboden, dat betekent de krachtigste AI-tools Anderzijds: een lichter model dat 80% kan voor 20% van de energie is verantwoord, ook al is het niet optimaal	<ul style="list-style-type: none"> Wanneer is 'goed genoeg' acceptabel in jouw vakgebied? Hoe weeg je onderwijskwaliteit tegen milieu-impact?
Groene claims vs. echte verandering	Enerzijds: instellingen communiceren actief over duurzaamheid ("Wij draaien op groene cloud!"). Anderzijds: zonder transparantie en meetbaarheid dreigt dit loze PR te worden, terwijl het werkelijke gebruik onverminderd doorgaat	<ul style="list-style-type: none"> Hoe transparant ben je over de daadwerkelijke CO₂-voetafdruk van jullie AI-gebruik? Kun je jullie duurzaamheids-claims hard maken met data?
Versnipperde verantwoordelijkheid	'De leverancier moet groenere modellen leveren' vs. 'De instelling moet bewuste keuzes maken' vs. 'Individuele gebruikers moeten zuiniger omgaan met AI.' Het resultaat: iedereen wijst naar een ander, niemand neemt de lead	<ul style="list-style-type: none"> Wie is bij jullie verantwoordelijk voor de AI-voetafdruk? Is er een heldere governance-structuur? Welke rol speelt de individuele gebruiker?
Innovatieruimte vs. duurzaamheidskaders	Enerzijds: duurzaamheidsmaatregelen beperken onze academische vrijheid en experimenteeruimte Anderzijds: zonder kaders escaleert het energieverbruik. Verantwoordelijkheid vraagt om grenzen	<ul style="list-style-type: none"> Ervaren docenten en onderzoekers duurzaamheidsbeleid als bevrijdend of beperkend? Hoeveel ruimte is er voor experimenteren binnen groene grenzen?

Deze spanningsvelden zijn geen toekomstige problemen. Ze spelen zich nu af. Elke keer als een instelling kiest voor een AI-tool, elke keer als een docent afweegt of studenten een bepaalde technologie mogen gebruiken, elke keer als een bestuurder moet beslissen over investeringen, daar liggen deze dilemma's op de loer. Door ze expliciet te benoemen, kunnen we voorkomen dat ze leiden tot verlamming of polarisatie. We kunnen ze erkennen als legitieme spanningen waar verschillende perspectieven op mogelijk zijn. En we kunnen leren hoe we ermee om kunnen gaan, zonder te vervallen in simplistische oplossingen.

Bijlage

Interview partners

Patricia Lago, Professor software and sustainability, VU
eduGenAI team, Meerdere rollen, Npuls/SURF

Carlos Santos, AI Professor, BUAS

Frans Melissen, Professor sustainability transitions, BUAS

Ruud Knijn, Duurzaamheidscoördinator ICT, Uva

Reviewers en betrokkenen

Saskia van den Berg, Project leader sustainability, Rijksuniversiteit Groningen

Sonja van Oers, Docent | Ambassadeur iXperium Health, HAN

Naomi van der Haar, Programmamanager Artificial Intelligence, ROC Flevoland

Han Savelkoel, Adviseur duurzaamheid, Rijn IJssel

Erwin de Beer, Onderwijskundig adviseur, Hanze Hogeschool

Sander Claassen, Meerdere rollen, Hogeschool van Amsterdam

Duuk Baten, Adviseur Verantwoordgebruik AI, Npuls & SURF

Laura de Kievit, MVO officer, SURF

Jos van Peperstraten, Onderzoeker/mede-auteur, Npuls

Dirk Harryvan, Onderzoeker/mede-auteur, Npuls

Johannes Schleiss, Adviseur Inzicht & Strategie AI & Data, Npuls

Philip Stein, Adviseur AI & Data, Npuls

Maureen van Althuis, Eindredacteur, Npuls

Janine Koppert, Projectleider AI & Data, Npuls

Begrippenlijst

PUE/WUE-waarden Power Usage Effectiveness (PUE), Carbon Usage Effectiveness (CUE) and Water Usage Effectiveness (WUE)

ISO 14001 (milieumanagementsysteem) = internationale standaard voor milieuprestaties

Climate Neutral Data Centre Pact (CNDCP) een branche-initiatief voor duurzame datacenters

Referenties

- Breda University of Applied Sciences. (n.d.). *Op weg naar klimaatpositief*. Retrieved February 9, 2026, from haskoning.nl/nl-nl/projecten/op-weg-naar-klimaatpositief-bij-breda-university-of-applied-sciences
- Brundtland, G. H. (1987). *Our common future world commission on environment and development*. United Nations.
- Caravaca, F., Cuevas, Á., & Cuevas, R. (2025). *From Prompts to Power: Measuring the Energy Footprint of LLM Inference* (arXiv:2511.05597). arXiv. doi.org/10.48550/arXiv.2511.05597
- Climate Neutral Data Centre Pact. (n.d.). Retrieved February 3, 2026, from climateneutraldatacentre.net/
- De Haagse Hogeschool. (2023). *Afvalscheiding binnen De Haagse*. dehaagsehogeschool.nl/over-de-haagse/nieuws/afvalscheiding-binnen-de-haagse
- De Jonge Akademie. (2025). *Dertien tinten groen. De klimaatambities van Nederlandse universiteiten*. Royal Netherlands Academy of Arts & Sciences (KNAW). doi.org/10.57881/8279C317-4474-4490-98E2-619FE73F33BB
- Duurzaam MBO. (n.d.). Retrieved February 9, 2026, from duurzaammbonl/
- Experimenteer met eduGenAI | Npuls. (n.d.). Retrieved February 9, 2026, from npuls.nl/edugenai
- Graves, N., Larrieu, V., Zhang, Y. T., Peng, J., Nagaraj Rao, V., Liu, Y., & Monroy-Hernández, A. (2025). GPTFootprint: Increasing Consumer Awareness of the Environmental Impacts of LLMs. *Proceedings of the Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '25*, 1–16. doi.org/10.1145/3706599.3719708
- Gröger, J., Behrens, F., Gailhofer, P., & Hilbert, I. (2025). *Environmental Impacts of Artificial Intelligence*. Greenpeace.
- Hess, J. C. (2024). *Chip Production's Ecological Footprint: Mapping Climate and Environmental Impact*. Interface. interface-eu.org/publications/chip-productions-ecological-footprint
- International Energy Agency (IEA). (2025). *Energy and AI*. iea.org/reports/energy-and-ai/energy-demand-from-ai
- Leenders, M., & Stam, G. (2019). *Klimaatakkoord—Routekaart* (SBF.09.071). Vereniging van Universiteiten. universiteitenvannederland.nl/files/publications/SBF.09.071%20Klimaatakkoord%20-%20Routekaart.pdf
- Li, P., Yang, J., Islam, M. A., & Ren, S. (2025). Making AI Less “Thirsty.” *Commun. ACM*, 68(7), 54–61. doi.org/10.1145/3724499
- Luccioni, A. S., Strubell, E., & Crawford, K. (2025). From Efficiency Gains to Rebound Effects: The Problem of Jevons' Paradox in AI's Polarized Environmental Debate. *Proceedings of the 2025 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency, FAccT '25*, 76–88. doi.org/10.1145/3715275.3732007
- MBO Raad. (2020). *Sustainable Development Goals*. mboraad.nl/themas/sustainable-development-goals
- Ministerie van Algemene Zaken. (2025, June 20). *Klimaatverandering beperken—Klimaatverandering*. Ministerie van Algemene Zaken. rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatverandering-beperken
- Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. (2024). *Actieplan duurzame digitalisering*. Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
- Ministerie van Klimaat en Groene Groei. (2025). *Klimaat- en Energienota 2025—Rapport—Rijksoverheid.nl*. Ministerie van Algemene Zaken. rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2025/09/16/klimaat-en-energienota-2025
- Nederlandse AI Coalitie. (n.d.). *Energie en Duurzaamheid*. Retrieved February 9, 2026, from nlaic.com/toepassingsgebied/energie-en-duurzaamheid/
- Npuls. (2025). *Referentiekader 2.0—Verantwoord gebruik van studiedata en AI*.
- Rathenau Institute. (2022). *Beter beslissen over datacentra*. Rathenau Instituut (auteurs: E. Masson, G. van Rooijen en R. van Est).
- Renkema, M., van den Boom-Muilenburg, E., Friso-van den Bos, I., Theelen, H., Wopereis, I., & Schildkamp, K. (2025). *AI-GO! Een Raamwerk voor AI-Geletterdheid in het Onderwijs (AI-GO Raamwerk)*. vereniginghogescholen.nl/actueel/actualiteiten/europees-netwerk-van-hogescholen-verbindt-zich-aan-sdg-s
- Rohde, F., Wagner, J., Meyer, A., Reinhard, P., Voss, M., Petschow, U., & Mollen, A. (2024). Broadening the perspective for sustainable artificial intelligence: Sustainability criteria and indicators for Artificial Intelligence systems. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 66, 101411. doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101411
- Saxion. (2025). *Duurzame bedrijfsvoering 2025-2030*. saxion.nl/binaries/content/assets/over-saxion/visie/duurzaamheid/definitief-s20250032_digitaal_dmc-duurzame-bedrijfsvoering-2025-2030-ambitiedocument.pdf
- Summa. (n.d.). *Summa 2030: Onze ambities*. Retrieved February 9, 2026, from summa-onderwijs.nl/summa-2030/
- SURF. (n.d.). *Energy smart computing: Slim omgaan met energie*. Retrieved February 9, 2026, from surf.nl/energy-smart-computing-slim-omgaan-met-energie
- SURF. (2020, June 10). *SIG Groene ICT en Duurzaamheid Afsluiting*. communities.surf.nl/groene-ict-en-duurzaamheid/artikel/sig-groene-ict-en-duurzaamheid-afsluiting
- UN, G. A. (2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. *Division for Sustainable Development Goals. New York: World Health Organization*.
- Universiteit Maastricht. (2024). *Beleidskader Generative Artificial Intelligence*.
- Universiteit van Amsterdam. (2025). *Beleidskader en richtlijnen GenAI in het onderwijs*. uva.nl/over-de-uva/beleid-en-regelingen/onderwijs/beleidskader-en-richtlijnen-genai-in-het-onderwijs.html
- Universiteiten van Nederland. (2025). *Klimaatakkoord*. universiteitenvannederland.nl/klimaatakkoord
- Urselmann, E., Vorst, T. van der, de Moor, G., van Wijk, F., Driesse, M., Brouwers, L., & Vermeulen, P. (2025). *De impact van AI op duurzaamheid en het monitoren daarvan*. Dialogic, In opdracht van het Ministerie van Economische Zaken. dialogic.nl/wp-content/uploads/2025/07/de-impact-van-ai-en-het-monitoren-daarvan.pdf
- Utrecht Universiteit. (2025). *Duurzaamheidsplan Bedrijfsvoering 2025*. Utrecht Universiteit.
- Vereniging Hogescholen. (2021). *Europees netwerk van hogescholen verbindt zich aan SDG's*. vereniginghogescholen.nl/actueel/actualiteiten/europees-netwerk-van-hogescholen-verbindt-zich-aan-sdg-s
- Vrije Universiteit Amsterdam. (2025). *Kader voor generatieve AI in het onderwijs*. Vrije Universiteit Amsterdam.
- Wang, P., Zhang, L.-Y., Tzachor, A., & Chen, W.-Q. (2024). E-waste challenges of generative artificial intelligence. *Nature Computational Science*, 4(11), 818–823. doi.org/10.1038/s43588-024-00712-6
- Yedidya, T. (2025, June 23). Wat is ISO 14001? Dit is wat je moet weten! *CertificeringsAdvies Nederland*. certificeringsadvies.nl/wat-is-iso-14001/
- You, J. (2025, February 7). *How much energy does ChatGPT use?* Epoch AI. epoch.ai/gradient-updates/how-much-energy-does-chatgpt-use
- Yuverta. (2025). *Delen, durven, doen: Koers 2030*. yuverta.nl/globalassets/corporate/beleidsdocumenten/jaarverslagen-en-algemene-documenten/koers-2030.pdf
- Zulić, A. (with Baten, D.). (2025). *Framework for Sustainable High-Performance Computing in Research and Artificial Intelligence: Justifying the use of HPC in the Era of Climate Change*. SURF. doi.org/10.5281/ZENODO.15592292



**Onderwijs
bewegen.**