

# DUURZAMER DOOR DIGITALISERING

BIJDRAGE VAN DIGITALISERING AAN EMISSIEREDUCTIE

RAPPORT

**seo** • economisch onderzoek

---

## AUTEURS

DERCK STÄBLER, NILS VERHEUVEL, DEMI BEERNINK, MICHIEL BIJLSMA

## IN OPDRACHT VAN

MINISERIE VAN ECONOMISCHE ZAKEN EN KLIMAAT

AMSTERDAM, SEPTEMBER 2023

# Samenvatting

Dit rapport beschrijft de complexe relatie tussen digitalisering en duurzaamheid. Het doel van dit onderzoek is om inzicht te verschaffen in de impact van digitalisering op milieuvraagstukken en duurzame ontwikkeling, terwijl tegelijkertijd beleidsmaatregelen worden geïdentificeerd die kunnen bijdragen aan emissiereductie en energiebesparing.

Digitalisering manifesteert zich als een tweesnijdend zwaard in de context van klimaatdoelstellingen. Het belooft efficiëntere processen en draagt potentieel bij aan duurzaamheid, maar brengt ook een stijging van broeikasgasemissies met zich mee, vooral gezien de snelgroeiende digitale sector. In antwoord op de groeiende vraag naar inzicht heeft het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) SEO Economisch Onderzoek en Dialogic gevraagd om de complexe relatie tussen digitalisering en duurzaamheid te onderzoeken. Dit onderzoek is opgedeeld in twee delen: het eerste deel richt zich op de uitstoot van de digitale sector, terwijl het tweede deel zich concentreert op de potentie van digitalisering om bij te dragen aan emissiereductie en de stappen die de overheid kan nemen. Dit rapport richt zich met name op het tweede deel en beantwoordt specifieke onderzoeksvragen met betrekking tot de rol van digitale technologieën in emissiereductie en energiebesparing in sectoren buiten de digitale sector in Nederland. Daarnaast worden prioritaire acties geïdentificeerd die het ministerie van EZK kan ondernemen om deze bijdrage te faciliteren.

De digitale sector, die wordt aangedreven door informatie- en communicatietechnologie (ICT), heeft invloed op alle economische sectoren en draagt bij aan emissiereductie via vier kernmechanismen:

1. Besluitvorming;
2. Meten;
3. Faciliteren; en
4. Het fundament vormen voor technologische ontwikkeling.

Binnen deze mechanismen worden diverse technologieën geïdentificeerd, zoals kunstmatige intelligentie, machine learning, digital twins, het Internet of Things (IoT), drones, automatisering, big data-analyse, cloud computing, 5G, blockchain en augmented/virtual reality. Elk van deze mechanismen heeft het potentieel om op zijn eigen manier bij te dragen aan emissiereductie binnen de Nederlandse sectoren.

Dit rapport richt zich specifiek op de sectoren mobiliteit, elektriciteit en industrie vanwege hun aanzienlijke impact op emissies, het potentieel voor emissiereductie door digitalisering en de strategische prioriteiten van beleidsmakers om duurzaamheid te bevorderen in deze sectoren. Het rapport biedt inzichten en beleidsrichtlijnen om de integratie van digitalisering en duurzaamheid in deze cruciale sectoren te bevorderen.

De beleidsaanbevelingen om Nederland duurzamer door digitalisering te maken, zijn als volgt:

## Mobiliteit

- **Stimuleer mobiliteitsvormen met lage emissies.** Mobiliteitsvormen met lage emissies (deelmobiliteit) nemen waarschijnlijk toe in Nederland, maar kennen een ongelijke behandeling van de overheid vergeleken met bijv. autobezit.
- **Stimuleer ontwerp normen voor uitwisseling data verkeerssystemen.** Verkeerssystemen gebruiken data om het verkeer soepel te laten doorstromen om zo emissies te beperken. Deze data is vaak in bezit van

verschillende partijen (Rijkswaterstaat of individuele autofabrikanten) maar er zijn weinig mogelijkheden om te delen. Beleid om deze data-uitwisseling te faciliteren kan bijdragen aan een efficiënter verkeersmanagement.

#### Elektriciteit

- **Stimuleer digitale optimalisatie van energieopwekking:** Beleid moet gericht zijn op het bevorderen van digitale optimalisatie van energieopwekking. Investeer in kunstmatige intelligentie en slimme asset tracking om de efficiëntie van hernieuwbare energiebronnen zoals zonnepanelen en windmolens te verbeteren. Dit kan worden bereikt door financiële prikkels en subsidieprogramma's voor innovatieve projecten te introduceren
- **Normering van digitale sensoren:** Ontwikkel normen voor het gebruik van digitale sensoren in de duurzame energieopwekking. Deze normen zullen de effectiviteit vergroten en de consistentie in de sector waarborgen. Stimuleer onderzoek en ontwikkeling om geavanceerde sensortechnologieën te bevorderen.
- **Data-gedreven afstemming van energieverbruik:** Faciliteer en normeer data-gedreven afstemming van energieverbruik. Begin met het implementeren van deze technologieën in overheidsgebouwen als een pilotproject. Dit zal niet alleen emissies verminderen, maar ook als een voorbeeld dienen voor de private sector.
- **Flexibel netbeheer:** Investeer in digitalisering van het elektriciteitsnet en promoot flexibel netbeheer. Ontwikkel standaarden voor datadeling en communicatie tussen systemen om een soepele werking van het net te waarborgen. Werk samen met bestaande marktinitiatieven en ondersteun netbeheerders in de implementatie van deze technologieën.

#### Industrie

- **Stimuleer datadeling in de maakindustrie:** Introduceer beleid dat datadeling tussen private partijen in de maakindustrie bevordert. Dit kan onder andere worden bereikt door het vaststellen van normen voor gegevensinteroperabiliteit. De overheid kan een rol spelen als bemiddelaar en aanjager van samenwerking.
- **Stimuleer ontwikkeling van een gemeenschappelijke 'taal' voor systemen:** Ondersteun de ontwikkeling van een gemeenschappelijke 'taal' voor systemen in de maakindustrie. Dit zal helpen bij het verbeteren van de efficiëntie en het bevorderen van automatisering. Werk samen met brancheverenigingen en technologiebedrijven om deze standaarden vast te stellen.
- **Digitalisering in de Industrie:** Breid het Smart Industry-initiatief uit en zorg voor bredere betrokkenheid van bedrijven in de industrie. Ontwikkel trainingsprogramma's om medewerkers op te leiden in digitale technologieën. Dit zal helpen om de digitalisering van de industrie te versnellen en de energie-efficiëntie te verbeteren.

Deze aanbevelingen streven ernaar om duurzaamheid en emissiereductie in Nederland te bevorderen, terwijl digitale technologieën worden benut om de klimaatdoelstellingen te bereiken. Ze bieden een routekaart voor beleidsmakers om de integratie van digitalisering en duurzaamheid effectief aan te pakken.

# Inhoudsopgave

Samenvatting		i
1	Inleiding	1
	1.1	Vraagstelling 1
	1.2	Leeswijzer 2
2	Digitale sector	3
	2.1	Definitie digitale sector 3
	2.2	Onderzoek naar emissiereductie 3
	2.3	Soorten digitale technologieën met verduurzamingspotentieel 5
	2.4	Branche initiatieven om verduurzaming te bevorderen 8
3	Beleidsanalyse	10
	3.1	Beleidsterreinen 10
	3.2	Analysekader 14
4	Analyse per sector	17
	4.1	Mobiliteit 17
	4.2	Elektriciteit 20
	4.3	Industrie 23
	4.4	Gebouwde omgeving en landbouw 25
5	Conclusies	27
Bijlage A	Literatuur	29
Bijlage B	Gesprekspartners	32

# 1 Inleiding

## 1.1 Vraagstelling

Digitalisering heeft grote veranderingen veroorzaakt in onze maatschappij en economie en biedt grote kansen voor het behalen van de door het kabinet geformuleerde klimaatdoelstellingen. Veel processen kunnen efficiënter worden ingericht door het gebruik van digitale technologieën. Zo draagt de digitalisering van onze maatschappij en economie positief bij aan de verduurzamingsopgaven waar we voor staan, en dit is hard nodig. Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) stelde het in het najaar van 2022 als volgt “[...] een snellere uitvoering van de bestaande plannen én formulering van aanvullend beleid zijn nodig om het Nederlandse klimaatdoel in 2030 te halen.”

Tegelijkertijd heeft digitalisering zelf ook een negatieve impact op ons klimaat door de bijdrage aan de emissie van broeikasgassen. Hieraan ligt een snelle groei van de digitale sector ten grondslag, waardoor de emissies hoger zijn geworden. Het maakt dat ook de digitale sector hoe dan ook zelf een stevige verduurzamingsopgave heeft om de onhoudbare impact van menselijk handelen op onze leefomgeving te beperken. De sector erkent dit ook en poogt om in onder meer de Nationale Coalitie Duurzame Digitalisering<sup>1</sup> vorm te geven aan het behalen van deze opgave.

De transitie in verduurzaming en digitalisering zijn sterk met elkaar verbonden. Voor deze transitie zijn er verscheidene vormen van overheidsinterventies. Het ontbreekt nog aan een gezamenlijk plan om beide transitie in goede banen te leiden. Om deze reden is in het Coalitieakkoord van Kabinet-Rutte IV de opdracht geformuleerd om middels een integraal plan hier actief op te handelen. In aanvulling heeft de minister van Economische Zaken en Klimaat (EZK) naar aanleiding van de Motie-Kathmann c.s.<sup>2</sup> toegezegd om de eigenaarschap van dit probleem op te pakken. Zo werkt EZK aan een Actieagenda Duurzame Digitalisering die eind 2023 naar de Kamer gestuurd zal worden.

Tegen deze achtergrond heeft EZK gevraagd aan SEO Economisch Onderzoek en Dialogic om de tweezijdige relatie tussen digitalisering en duurzaamheid te onderzoeken. Het doel is om een feitenbasis te creëren voor de uitwerking van de Actieagenda. Het onderzoek is opgedeeld in twee percelen. Het eerste perceel is gericht op het onderzoeken van de uitstoot van de digitale sector en de ontwikkeling daarvan naar de toekomst toe. Het tweede perceel is gericht op de potentie van digitalisering om een bijdrage te leveren aan emissiereductie en welke acties de overheid hierbij kan nemen. Dit rapport geeft invulling aan het tweede perceel. Tabel 1.1 geeft een overzicht van de onderzoeksvragen.

Tabel 1.1 Onderzoeksvragen

Nr.	Vraag
<b>Hoofdvragen</b>	
1	Welke bijdrage kan de toepassing van digitale technologie leveren aan emissiereductie en energiebesparing in andere sectoren dan de digitale sector in Nederland?
2	Wat zijn, gelet op deze analyse, de prioritaire acties voor EZK om deze bijdrage te faciliteren?
<b>Deelvragen</b>	

<sup>1</sup> Zie: [Nationale Coalitie Duurzame Digitalisering – Nationale Coalitie Duurzame Digitalisering](#)

<sup>2</sup> Zie: [Tweede Kamer der Staten-Generaal](#)

Nr.	Vraag
1	Geef een overzicht van de netto negatieve klimaatimpact waarin digitalisering kan worden ingezet om de klimaatdoelen te bereiken.
2	Welke orde van grootte levert deze inzet van digitale technologie aan het bereiken van de klimaatdoelen?
3	Welke aanvullende opties zijn er (aangaande digitalisering) mogelijk om de Nederlandse klimaatdoelen in 2030 te halen?
4	Welke van deze opties hebben de meeste impact?

Bron: Ministerie van EZK

## 1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een definitie van digitale sector, geeft een literatuuroverzicht van de onderzoeken naar emissiereductie, schetst de mechanismen van emissiereductie en gaat in op de verduurzamingsinitiatieven van de sector. Hoofdstuk 3 gaat in op de beleidsmatige afwegingen rondom de verduurzaming door digitalisering en beschrijft de drie beleidsterreinen die het meest invloed hebben op deze ontwikkeling. Ook biedt het hoofdstuk een analysekader om te identificeren welke ontwikkelingen beleidsmatig relevant zijn. In hoofdstuk 4 passen we dit analysekader toe op de sectoren mobiliteit, elektriciteit en industrie. Bij deze sectoren wordt een ontwikkeling beschreven wanneer uit het analysekader blijkt dat het gevolgen heeft voor publieke belangen en daarmee beleidsmatig relevant is. De sectoren landbouw en gebouwde omgeving worden beknopt beschreven aan het einde van het hoofdstuk. Hoofdstuk 5 weergeeft de conclusies.

## 2 Digitale sector

We beginnen dit hoofdstuk met een definitie van de digitale sector. Daarna geven we een overzicht van de onderzoeken naar de hoeveelheid emissies die de digitale sector in potentie reduceert. Vervolgens schetsen we de vier hoofdmechanismen en onderliggende technologieën waarmee digitalisering leidt tot emissiereductie. Tot slot gaan we in op de initiatieven die de sector zelf heeft ondernomen om te verduurzamen.

### 2.1 Definitie digitale sector

De digitale sector (ook wel: digitale economie) is het aandeel toegevoegde waarde dat gerealiseerd wordt door de toepassing van ICT. De toepassing van ICT is digitalisering. Met deze definitie van de digitale economie sluiten we aan bij de afbakening binnen perceel 1 van dit onderzoek. Tabel 2.1 laat zien dat de beschrijving in grote mate overeenkomt met definitie van internationale instellingen.

Tabel 2.1 Definities digitale sector

Bron	Definitie
Europese Commissie	An economy based on digital technologies.
Economic and Social Research Council	That part of economic output derived solely or primarily from digital technologies with a business model based on digital goods or services.
OESO	The digital economy enables and executes the trade of goods and services through electronic commerce.

Bron: SEO Economisch Onderzoek

ICT is een algemeen toepasbare technologie omdat het voldoet aan de volgende kenmerken:

- De technologie wordt breed gebruikt.
- De technologie kan zich blijven ontwikkelen.
- De technologie zorgt voor innovatie in sectoren waar zij toegepast wordt.

De algemene toepasbaarheid maakt dat ICT in elke sector wordt gebruikt. Zo omvat de digitale sector een beperkt deel van alle sectoren. Op deze manier is de digitale sector breder dan de ICT-sector. Een bedrijf dat behoort tot de ICT-sector heeft de toepassing van ICT als hoofdactiviteit en staat als zodanig geclassificeerd binnen de Standaard Bedrijfsindeling (SBI). De afbakening van de ICT-sector op basis van SBI-codes door het CBS volgt uit de algemeen geaccepteerde methodologie van de OESO. Dit bestaat uit bedrijven afkomstig uit de ICT-industrie (ontwerp en productie van apparatuur), ICT-groothandel (handel in apparatuur) en de ICT-dienstensector (onder meer telecom of adviesdiensten).

### 2.2 Onderzoek naar emissiereductie

De bijdrage van de digitale sector aan *emissies* is in beeld gebracht in perceel 1. Ofwel, welk deel van de totale uitstoot is toe te rekenen aan de digitale sector? Dit onderzoek maakt gebruik van gedetailleerde, Nederlandse data van realisaties om zo tot een nauwkeurige inschatting te komen. Voorbeelden hiervan apparaten, netwerken, de energiemix en een emissiefactor. Bij het inschatten van de bijdrage aan *emissiereductie* is een soortgelijke aanpak niet mogelijk. De volgende paragrafen gaan hier nader op in.

De bijdrage aan emissiereductie is het saldo van de volgende effecten:

- Het eerste-orde-effect is het verhogen van de emissies door het energieverbruik dat direct komt door de toepassing van ICT.
- Het tweede-orde-effect is het verlagen van de emissies door efficiëntieverbetering die de toepassing van ICT sorteert.
- Het derde-orde-effect is het verhogen van de emissies door een vraagtoename die volgt uit de efficiënte verbetering. Dit effect wordt ook wel het reboundeffect of de Jevons-paradox genoemd.

De bijdrage aan emissiereductie is dus positief wanneer het tweede-orde-effect groter is dan de andere effecten. Er zijn op hoofdlijnen drie type onderzoeken te onderscheiden om deze effecten in te schatten:

1. Macro-onderzoeken die - veelal op wereldniveau - met enkele kernaannames de ontwikkeling van emissies in beeld brengen (zie voor een overzicht: perceel 1, tabel 5). Deze onderzoeken zijn gericht op het bieden van een ruwe indicatie van de bandbreedte.
2. Case studies die de effecten voor een enkele casus grondig bestuderen. De meest gebruikte methode is een levenscyclusbenadering, die ook de milieueffecten van de productie meeneemt. Een voorbeeld is het verschil in uitstoot tussen e-books en papieren boeken (Moberg et al. 2011).
3. Onderzoeken die met aannames meerdere case studies samenvoegen om tot een overkoepelde inschatting van de totale emissiereductie te komen.

Het derde type is het meest bruikbaar om de emissiereductie in te schatten, gezien vanuit de hoofdvragen van dit onderzoek. Een case study biedt namelijk geen overkoepelend beeld en een macro-onderzoek brengt de onderliggende mechanismen niet in beeld. Een goed begrip van de mechanismen draagt bij aan het kunnen identificeren van de aangrijpingspunten voor beleid.

Van het derde type onderzoek, zijn er twee stromingen geweest:

- Een analyse uit 2006 in opdracht van de Europese Commissie die scenario's simuleert die zijn samengesteld met expertgroepen. De conclusie is dat het saldo van de drie effecten ongeveer nul is. Het model is opnieuw gekalibreerd met nieuwe data in 2014 en komt tot dezelfde conclusie.
- Een serie publicaties (SMART 2020, SMARTer 2020 en SMARTer 2030) van de *Global e-Sustainability Initiative* (GeSI), een strategisch partnerschap van de ICT-sector. De conclusie van de 2030-studie is een reductie van ongeveer 20 procent van de mondiale emissies in 2030 door ICT-toepassingen. Deze aanpak is vervolgens herhaald door diverse onderzoekers met andere casussen.

Accenture heeft als GeSi-partner bijgedragen aan de SMARTer 2030-studie. Vervolgens heeft Accenture in opdracht van KPN met dezelfde methodologie een landenstudie voor Nederland uitgevoerd. Op basis van 12 case studies zijn ze gekomen tot een cumulatieve besparing van 74 Mton Co<sub>2</sub> in 2030. De grootste bijdrage kwam vanuit ICT-toepassingen in de industrie, logistiek, gebouwde omgeving en energiesector. De case studies zijn geselecteerd uit 9 landen (waar Nederland geen onderdeel van uitmaakt), daarna geclusterd naar best vergelijkbare landen op basis van macrovariabelen van de Wereldbank (hier: VS, Canada en Australië) en tot slot een wegingsfactor toegepast om de effecten te schalen.

De inschatting per casus bestaat uit de volgende stappen:

- Mechanisme identificeren waarmee ICT-toepassing leidt tot minder reductie.
- Een basispad (de hypothetische situatie zonder deze ICT-toepassing) opstellen tot en met 2030.
- Een adoptiegraad van de ICT-toepassing inschatten tot en met 2030.
- Emissiereductie per geval berekenen.



- De reductie corrigeren voor een toename in de vraag.

Deze aanpak (waaronder het veralgemeniseren van de casussen naar landniveau) kent verschillende methodologische uitdagingen. Bieser en Hilty (2018) reproduceren een deel van de analyse en laten zien dat de resultaten erg gevoelig zijn voor de gehanteerde aannames. De uitdagingen hierbij zijn de volgende:

- Lastig om representatieve casussen te selecteren, zeker met een kleine steekproef. Ook zijn toekomstige innovaties niet meegenomen in de raming.
- Een reductiemechanisme bestaat in het overgrote deel van de gevallen uit een combinatie van technologieën. De bijdrage van ICT is niet meetbaar en daarom niet exact te bepalen.
- Er is doorgaans weinig empirische grond om een basispad te selecteren omdat er geen nulalternatief beschikbaar. Denk bijvoorbeeld aan het opstellen van een basispad voor een wereld zonder smartphone.
- Effectinschatting wordt bemoeilijkt door contextafhankelijke factoren.
- Adoptiegraad van technologieën vertoont een zeer heterogeen beeld, waardoor het inschatten en extrapoleren hiervan erg uitdagend is.
- Er is nog vrij weinig bekend over de toename in vraag als gevolg van efficiëntieverbetering. Zie Gossart (2015) voor een overzicht van de literatuur.
- Er zijn interactie-effecten tussen de casussen en deze worden genegeerd binnen deze methodologie.

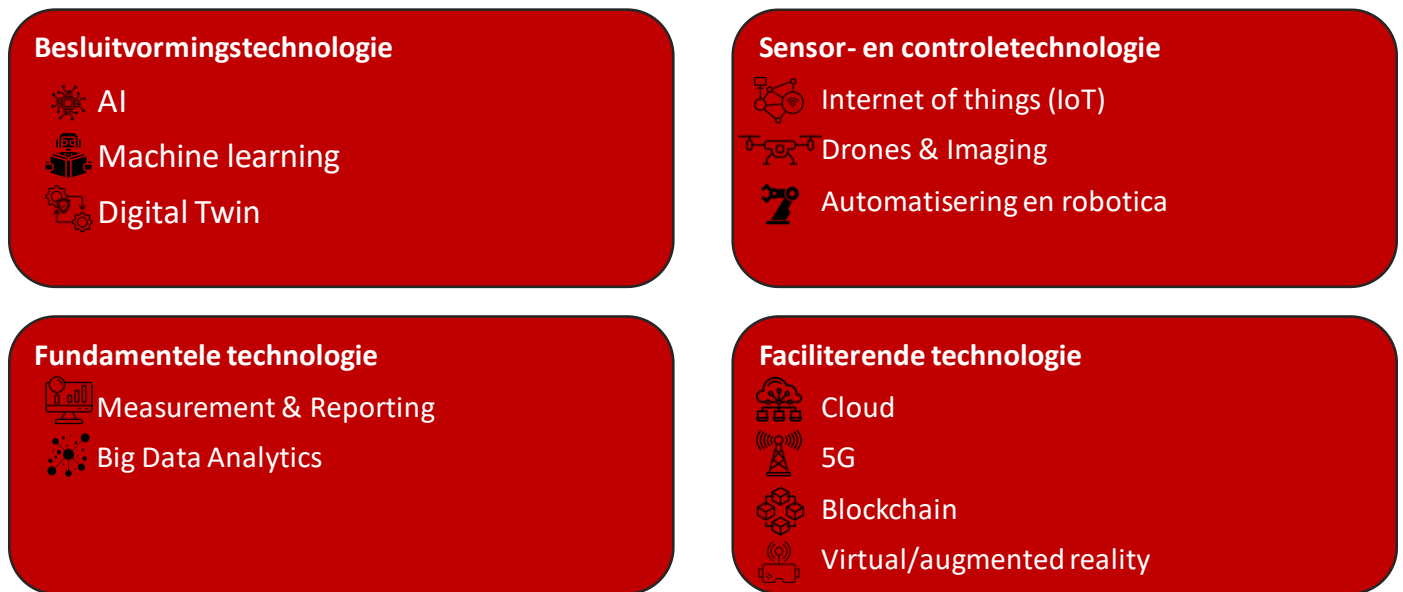
Er is voor Nederland een zeer beperkt aantal casussen beschikbaar om een inschatting mee te maken van het effect op emissiereductie. Dit betekent dat het volgen van deze methodologie noodzaakt om casussen uit het buitenland te gebruiken. Deze casussen zijn informatief voor een goed begrip van de mechanismen. Bij het gebruiken van de casussen voor een algemene inschatting van de effecten op emissiereductie spelen echter diverse methodologische uitdagingen waardoor de resultaten in beperkte mate representatief zijn. Het kwantitatieve effect van digitalisering op emissiereductie is dus in grote mate onbekend.

## 2.3 Soorten digitale technologieën met verduurzamingspotentieel

Een uitzonderlijke eigenschap van ICT is dat het diverse andere algemeen toepasbare technologieën voortbrengt. ICT vertoont deze eigenschap in grotere mate dan eerdere algemeen toepasbare technologieën, zoals de stoommachine (Brynjolfsson en McAfee, 2014). Voorbeelden van technologieën zijn robotica en big-datatechnieken. Dergelijke afgeleide technologieën versterken vervolgens elkaars mogelijkheden. Een robot kan bijvoorbeeld autonoom beter worden in het uitvoeren van taken met behulp van geautomatiseerde data-analyse. Op deze manier kunnen kleine verbeteringen in ICT grote gevolgen hebben voor toepassingen in de gehele economie.

ICT heeft dan ook een zeer groot aantal toepassingen die leiden tot emissiereductie. Om dit grote aantal terug te brengen tot een overzichtelijk beeld, onderscheidt het World Economic Forum (2022a) vier hoofdmechanismen waarmee ICT leidt tot emissiereductie: beslissen, meten, faciliteren en het fundament vormen voor technologische ontwikkeling. De mechanismen bestaan uit clusters technologieën (niet uitputtend), uitgebeeld in Figuur 2.1. Het betreft een zachte scheiding tussen de clusters; er zijn bij categorisering altijd andere keuzes te maken. We volgen deze indeling omdat het een bekend overzicht is en we de typering herkennen uit verschillende bronnen binnen het literatuuronderzoek. De volgende paragrafen gaan in meer detail op de technologieën in. Het doel is om een beeld te schetsen van de technologieën (waar hebben we het eigenlijk over?) en een heldere indeling te bieden om in latere hoofdstukken naar terug te verwijzen.

Figuur 2.1 Clusters digitale technologieën



Bron: SEO Economisch Onderzoek op basis van World Economic Forum (2022a)

## Besluitvormingstechnologie

Het hoofdmechanisme van besluitvormingstechnologie is het ondersteunen van menselijke besluitvorming. Op deze manier kunnen er beter geïnformeerde en weloverwogen keuzes gemaakt worden. Dit verbetert de efficiëntie, verlaagd de kosten en draag bij aan het identificeren van duurzame oplossingen. Voorbeelden van besluitvormingstechnologieën zijn:

- **Kunstmatige intelligentie (AI)** is een tak van computerwetenschappen die zich richt op het ontwikkelen van systemen en algoritmen die taken kunnen uitvoeren die normaal gesproken menselijke intelligentie vereisen. Deze technologie maakt gebruik van geavanceerde algoritmen, machine learning en deep learning om data te analyseren, patronen te herkennen, beslissingen te nemen en problemen op te lossen. AI kan een rol spelen bij het verminderen van de uitstoot door herconfiguratie van productiefactoren, het verschaffen van informatie om traditionele industrieën te stimuleren om te upgraden, het bevorderen van de snelle groei van nieuwe industrieën, het verbeteren van energie-efficiëntie via industriële structuur-upgrades en het verminderen van CO<sub>2</sub>-uitstoot (Zhao, Gao, & Sun, 2023)
- **Machine learning** is een subset van kunstmatige intelligentie (AI) die zich richt op het ontwikkelen van algoritmen en modellen die computers in staat stellen om te leren en taken uit te voeren zonder expliciet geprogrammeerd te worden. In plaats van specifieke instructies te volgen, gebruikt machine learning data en patronen om zichzelf te verbeteren en voorspellingen te doen of beslissingen te nemen. Machine learning heeft een breed scala aan toepassingen en wordt gebruikt in verschillende domeinen, zoals beeldherkenning, natuurlijke taalverwerking, medische diagnoses, zelfrijdende auto's, fraudedetectie, aanbevelingssystemen en meer (Shind & Shah, 2018).
- **Digital Twins** zijn virtuele representaties van fysieke assets die worden gecreëerd met behulp van gegevens van verschillende processen, meestal verzameld via sensoren. Ze maken gebruik van ingebouwde fysische modellen om gegevens te verwerken, simulaties uit te voeren en verbeteringen voor te stellen. Een digitale tweeling wordt gecreëerd door real-time gegevens van een fysiek object te verzamelen en te koppelen aan een virtuele replica ervan. Dit kan bijvoorbeeld een digitale replica zijn van een machine, een gebouw, een industriële installatie, een stad, of zelfs een volledige productieketen. Het idee achter een digitale tweeling is dat het een dynamische en interactieve representatie is van het fysieke object. Door het continu bijwerken van

de digitale tweeling met de verzamelde gegevens, kunnen bedrijven en organisaties een beter inzicht krijgen in het functioneren, de prestaties en het gedrag van het fysieke object. Ze dragen bij aan het creëren van beter verbonden systemen en totaaloplossingen die meerwaarde bieden dan de afzonderlijke componenten (Aruo, 2019; Saddik, 2018).

## Sensor- en Controletechnologie

Het hoofdmechanisme van sensoren- en controletechnologieën is realtime gegevensverzameling, monitoring en controle via sensoren, slimme meters en IoT-applicaties. Dit leidt tot emissiereductie door het optimaliseren van energieverbruik, verbeteren van productieprocessen en verminderen van grondstoffengebruik. Voorbeelden hiervan zijn:

- **Internet of Things (IoT)** is een concept dat verwijst naar het netwerk van fysieke apparaten, voertuigen, huishoudelijke apparaten en andere objecten die zijn voorzien van sensoren, software en connectiviteit, zodat ze gegevens kunnen verzamelen en uitwisselen via het internet. Het idee achter IoT is om alledaagse objecten slim en verbonden te maken, waardoor ze kunnen communiceren met andere apparaten en met mensen, en zo het leven gemakkelijker, efficiënter en geautomatiseerder te maken. IoT wordt toegepast in verschillende sectoren, zoals thuisautomatisering, gezondheidszorg, landbouw, industrie, transport en stedelijke planning. Voorbeelden van IoT-toepassingen zijn slimme thermostaten, slimme landbouwsystemen die irrigatie regelen op basis van weersvoorspellingen, en slimme steden die verkeersstromen optimaliseren (Thaseen et al, 2022) (Albayati, 2017)
- **Drones & Imaging** is een onbemand luchtvaartuig dat geautomatiseerd kan vliegen of aangestuurd wordt door een afstandsbediening. Een drone is net zoals andere IoT-apparaten in staat realtime data te verzamelen. Een drone wordt bijvoorbeeld gebruikt om gewassen te checken, veranderingen in het landschap te documenteren of bomen te planten.
- **Automation & Robotics** is het gebruik van ICT om een proces te ondersteunen en efficiëntie te verhogen. Automatisering en robotica zijn technologieën met een zeer breed aantal toepassingsgebieden.

## Fundamentele technologie

Het hoofdmechanisme van fundamentele technologie is het fungeren als bouwsteen voor de ontwikkeling van andere technologieën. Deze technologieën hebben een volwassen stadium bereikt in veel bedrijven en worden steeds meer verwacht te worden toegepast voor talrijke digitale toepassingen. Voorbeelden van technologieën zijn:

- **Meting en rapportage technologie** omvat het verzamelen, monitoren en analyseren van verschillende datapunten om prestaties te beoordelen, voortgang bij te houden en verbeteringsgebieden te identificeren. Deze technologieën bieden waardevolle inzichten in verschillende aspecten van de bedrijfsvoering, waardoor bedrijven data-gestuurde beslissingen kunnen nemen om efficiëntie te optimaliseren en emissies te verminderen.
- **Big data-analyse** is de verwerking en analyse van enorme hoeveelheden data om patronen, trends en correlaties te ontdekken. Het stelt bedrijven in staat waardevolle informatie te halen uit grote datasets, wat een beter begrip en voorspelling van verschillende processen mogelijk maakt. Dit kan leiden tot meer gerichte strategieën voor emissiereductie.

## Faciliterende technologie

Het hoofdmechanisme van faciliterende (*enabling*) technologie is het snel ontwikkelen van afgeleide technologieën via innovatie. Ze stellen bedrijven onder meer in staat om op schaal gegevens te beheeren, real-time communicatie mogelijk te maken, vertrouwen en transparantie te bieden bij gegevensuitwisseling, en interactieve ervaringen te creëren. Enkele voorbeelden van faciliterende technologieën zijn:

- **Cloud** biedt schaalbare en gedeelde computermiddelen via het internet, waardoor het mogelijk wordt om gegevens op te slaan, te verwerken en toepassingen uit te voeren zonder dat hardware lokaal aanwezig moet zijn.
- **5G** is de volgende generatie draadloze communicatietechnologie die hogere snelheden, lagere latentie en een grotere capaciteit biedt, waardoor real-time communicatie en verbinding met IoT-apparaten mogelijk wordt.
- **Blockchain** Het is een gedistribueerd en onveranderlijk grootboek dat transacties en gegevens op een veilige en transparante manier opslaat. Het biedt vertrouwen en betrouwbaarheid bij gegevensuitwisseling en transacties zonder centrale autoriteit.
- **Augmented/Virtual Reality** creëren interactieve en meeslepende ervaringen door digitale elementen te combineren met de echte wereld (*augmented*) of door volledig virtuele omgevingen te creëren (*virtual*).

## 2.4 Branche initiatieven om verduurzaming te bevorderen

De branchevereniging van de digitale sector is NLdigital, voor 2019 genaamd Nederland ICT. De hoofdactiviteiten van de vereniging op het terrein van emissiereductie zijn:

- Het sluiten van de Meerjarenaafspraken energie-efficiëntie ICT-sector (**MJA3-convenant**) in 2008, wat een convenant is met de Rijksoverheid. Het doel was een jaarlijkse verbetering van de energie-efficiëntie met 2 procent en in 2020 een verbetering van totaal 30 procent ten opzichte van 2005. Deelnemende bedrijven vormden ongeveer 80 procent van al het energieverbruik in de sector. De besparing is in beeld gebracht volgens een vaste methodiek, gedeeltelijk door onafhankelijk onderzoeksbureau Ecorys.
- Het opstellen van de **Routekaart ICT 2030** in 2012, met als doel een verbetering van de energie-efficiëntie in 2030 met 50 procent ten opzichte van 2005.
- Deelname aan het **SER Energie Akkoord** in 2013 tot en met 2020, met als basis de routekaart en het convenant. Op deze manier werd ICT erkent als facilitator van de energietransitie. De branchevereniging werd onderdeel van diverse werkgroepen omtrent het energie- en innovatiebeleid.
- Onderdeel uitmaken van het **Klimaatakkoord** in 2019, waarbij de digitale sector een apart hoofdstuk inneemt van het zesde clusterplan van de industrietafel. De ambitie is aangescherpt tot klimaatneutraal in 2030. Na het afsluiten van het Klimaatakkoord, zijn de verschillende publiek-private afspraken (/convenanten) stopgezet.

Tegen de achtergrond van het Klimaatakkoord, is de Amsterdam Economic Board met NLdigital en andere partners gestart met het **LEAP** (*Lower Energy Acceleration Program*). Dit programma was gericht op het in goede banen leiden van de groei van datagebruik en daarmee de vraag naar elektriciteit. Er zijn doelstellingen opgesteld voor energiebesparing op de korte termijn, waaronder binnen datacenters.

In oktober 2022 is het initiatief LEAP voortgezet als de **Nationale Coalitie Duurzame Digitalisering**. De coalitie heeft een Manifest duurzame digitalisering opgesteld. Duurzame digitalisering omvat alle milieueffecten binnen dit manifest en is daarmee breder dan dit onderzoek gericht op emissiereductie. Het hoofddoel van het manifest is een oproep aan de minister van EZK om met een integrale aanpak voor duurzame digitalisering te komen. Ten behoeve van dit doel, signaleert de coalitie knelpunten en draagt oplossingen aan om deze weg te nemen. Tabel 2.2 weergeeft de belangrijkste knelpunten en aanbevelingen. De bewoording in de tabel komt niet volledig overeen met het (uitgebreidere) origineel.

Tabel 2.2 Knelpunten en aanbevelingen uit het Manifest duurzame digitalisering

Knelpunt	Aanbeveling
1. Er is te veel sprake van versnippering	Stel een routekaart op met heldere governance en een programmatische aanpak
2. Juiste data ontbreken nog	Ga fact-based werken
3. De huidige wet- en regelgeving volstaat niet	Pas wet- en regelgeving aan om verduurzaming te bevorderen
4. Er heerst een ernstig tekort op de arbeidsmarkt	Zorg ervoor dat organisaties de tools, kennis en mensen hebben om te verduurzamen
5. Er is gebrek aan integratie van het energie- en digitale systeem	Innoveer de integratie van het energiesysteem en digitale systeem
6. We zijn internationaal onvoldoende zichtbaar	Neem een koploperrol binnen Europa in

Bron: SEO Economisch Onderzoek op basis van het Manifest duurzame digitalisering

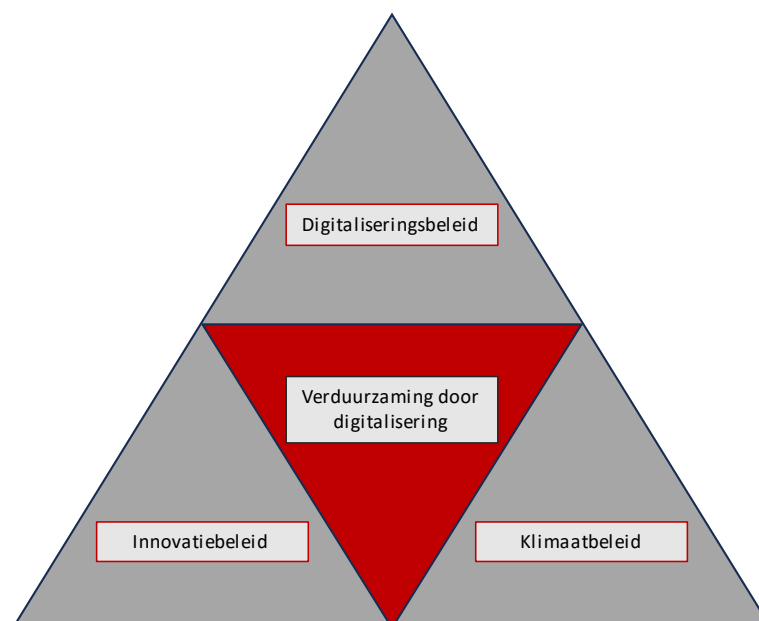
## 3 Beleidsanalyse

In dit hoofdstuk gaan we in op de beleidsmatige afwegingen rondom de verduurzaming door digitalisering. We beschrijven eerst de drie beleidsterreinen die het meest invloed hebben op deze ontwikkeling. Daarna bieden we een analysekader om te identificeren welke ontwikkelingen beleidsmatig relevant zijn. In hoofdstuk 4 passen we dit analysekader toe op verschillende sectoren.

### 3.1 Beleidsterreinen

Verduurzaming door digitalisering raakt sterk aan het digitaliseringsbeleid, het innovatiebeleid en het klimaatbeleid. Figuur 3.1 weergeeft de aanpalende aard van deze beleidsterreinen op dit thema in de vorm van een beleidsdriehoek. Het digitaliseringsbeleid is gericht op de dwarsdoorsnijdende belangen van digitalisering, in lijn met het sectoroverstijgende karakter van de digitale sector. Binnen de instrumentenmix van het klimaatbeleid is het relevante welke bijdrage digitalisering aan verduurzaming kan leveren. De verduurzamingsbijdrage wordt hoofdzakelijk gerealiseerd door innovatie, die in belangrijke mate publiek gefinancierd is binnen het innovatiebeleid. De volgende paragrafen beschrijven deze beleidsterreinen en de samenhang met het thema in meer detail.

Figuur 3.1 Aanpalende beleidsterreinen



Bron: SEO Economisch Onderzoek

#### 3.1.1 Digitaliseringsbeleid

De regie binnen het digitaliseringsbeleid bij de staatssecretaris voor digitalisering, een nieuwe post vanaf kabinet-Rutte IV. De instrumenten binnen het digitaliseringsbeleid zijn reguleren, normeren en standaardiseren, samenwerking orkestreren, investeren, randvoorwaarden scheppen en het goede voorbeeld geven (denk aan duurzame inkoop). Het beleid voor digitalisering bestaat volgens de hoofdlijnenbrief (BZK, 2022) uit vier thema's. Dit zijn het digitale fundament (gericht op randvoorwaarden), de digitale overheid en de digitale samenleving

(gericht op burgers) en de digitale economie (gericht op bedrijven). De strategie voor de digitale economie omvat de relatie met de klimaatopgave (EZK, 2022), onder leiding van de minister van EZK. De inzet is om kansen van digitalisering voor verdere verduurzaming te benutten. Andere aspecten van digitalisering vallen onder de eindverantwoordelijkheid van andere bewindspersonen.

Het digitaliseringsbeleid is voornamelijk integraal vanwege de volgende redenen:

- **Uitdagingen afwegen:** het grote effect van digitalisering op publieke belangen en maken van een samenhangende afweging wanneer de belangen botsen. Een voorbeeld is de afruil tussen privacy en innovatie.
- **Kansen benutten:** de invloed van de overheid op het benutten van sectoroverstijgende kansen bij de bijdrage van digitalisering aan economische welvaart en het oplossen van maatschappelijke uitdagingen. Een voorbeeld is de potentiële bijdrage aan de klimaatopgave.
- **Ontwikkelingen bijbenen:** de snelheid en onvoorspelbaarheid van digitale ontwikkelingen vergroot de kans dat wet- en regelgeving onnodig de kansen voor vernieuwing beperkt of niet geschikt is voor veranderende omstandigheden (verouderde wetgeving). Een voorbeeld is de wijzigingen in regelgeving rondom de opkomst van Airbnb of Uber.

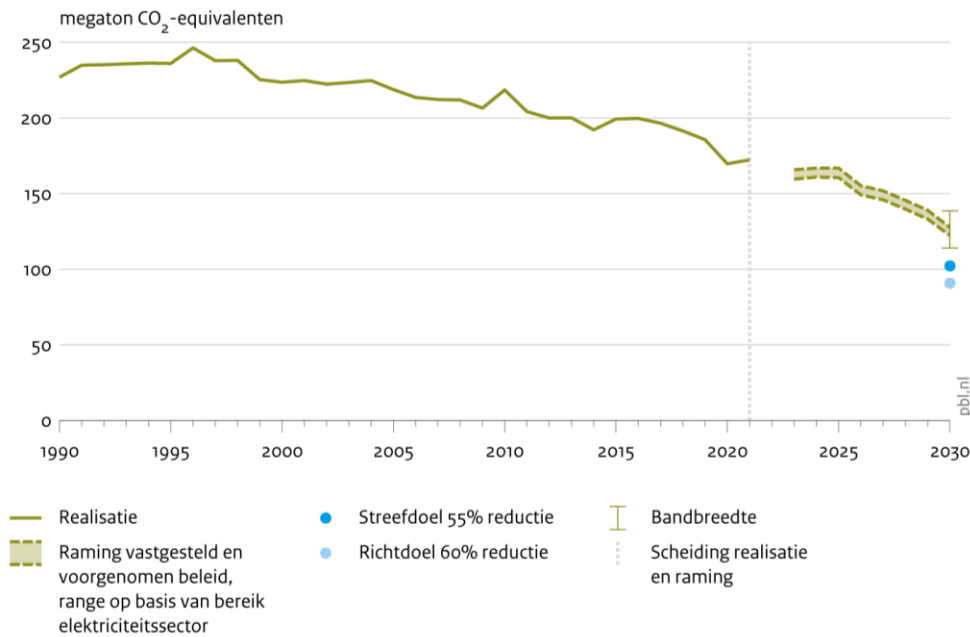
De meeste publieke belangen zijn in mindere mate relevant voor de klimaatopgave. Een voorbeeld is cyberveiligheid. Digitalisering raakt de (voor de klimaatopgave relevante) publieke belangen primair door het effect op de volgende economische processen:

- **Consumptie:** digitalisering verandert consumptiepatronen, waaronder behoeften, verwachtingen en gedragingen. Een voorbeeld is de manier van zoeken bij online winkelen.
- **Productie:** digitalisering verandert de waardeketen en brengt nieuwe economische activiteiten voort. Een voorbeeld is de waardeketen van een onlinesupermarkt, zonder fysieke locatie.
- **Allocatie:** digitalisering leidt tot betere afstemming tussen vraag en aanbod door het verlagen van de informatieasymmetrie en de transactiekosten. Een voorbeeld is een platform zoals Marktplaats.
- **Innovatie:** digitalisering heeft effect op de innovatiedynamiek en daarmee op technologieontwikkeling. Paragraaf 3.1.3 gaat hier verder op in.

### 3.1.2 Klimaatbeleid

Het doel voor 2030 in de Klimaatwet is ten minste 55 procent Co<sub>2</sub>-reductie ten opzichte van 1990. Het klimaatbeleid richt zich op vermindering van de directe uitstoot op Nederlands grondgebied. Het beleid bestaat voor energieverbruik en uitstoot uit een mix van normeren, beprijzen en subsidies. De ontwikkeling van uitstoot van wordt geraamd in de jaarlijkse Klimaat- en Energieverkenning (KEV). Figuur 3.2 laat deze ontwikkeling zien.

Figuur 3.2 KEV-raming emissies broeikasgassen



Bron: Planbureau voor de Leefomgeving

De raming neemt de effecten voor vastgesteld en voorgenomen beleid mee. Het beleid stimuleert de inzet van diverse technologieën voor emissiereductie. Digitale technologie is onderdeel van de technologieën die wordt ingezet. Er wordt geen uitsplitsing gemaakt welk onderdeel volgt uit digitalisering. Dit wordt ook niet gedaan in de IPCC-scenario's. Er is in internationaal verband geen overeengekomen methode om het effect op emissiereductie van digitalisering in beeld te brengen (EC, 2022).

Voor de klimaatdoelstelling maakt het niet uit welk deel van de reductie wordt gerealiseerd door welke technologie. Het klimaatbeleid is daarentegen niet technologie-neutraal. De meeste instrumenten bevorderen op indirecte of directe wijze de ene technologie meer dan de andere technologie. De meest vergaande voorbeelden zijn de bewuste, directe inzet op een technologie zoals de bouw van een kerncentrale. De technologische keuzes raken namelijk aan diverse publieke belangen, zoals de toekomstige energiemix. De noodzaak tot deze keuzes leidt er wel toe dat het risico ontstaat dat digitale innovaties in mindere mate overheidssteun ontvangen dan de maatschappelijke bijdrage zou rechtvaardigen.

Box 3.1 Relatie circulaire-economiebeleid en klimaatbeleid

De overgang naar een circulaire economie behoort tot het thema duurzame digitalisering, onder meer benadrukt in het Manifest duurzame digitalisering en de Strategie Digitale Economie. Dit onderzoek richt zich op emissies, waar circulariteit indirect onderdeel van uitmaakt. Het circulaire-economiebeleid richt zich namelijk op alle vormen van milieu-impact door de gehele productieketen en over de gehele levensduur van een product. Het klimaatbeleid richt zich daarentegen op vermindering van uitstoot bij de bron in Nederland in een specifiek jaar. De klimaatimpact is een beperkt deel van de volledige voetafdruk van digitalisering. Dit volgt met name uit de grote mate van import van digitale goederen. Het circulaire-economiebeleid kan ook binnen Nederland een bijdrage leveren aan de klimaatimpact. De potentiële omvang van deze bijdrage is echter nog niet duidelijk, omdat ramingen die zijn gemaakt zich niet op concrete beleidsmaatregelen baseren (Brink en Prins, 2022). De uitwerking van de samenhang tussen de circulaire economie en duurzame digitalisering behoort tot het opstellen van de grondstoffenstrategie (EZK, 2022).

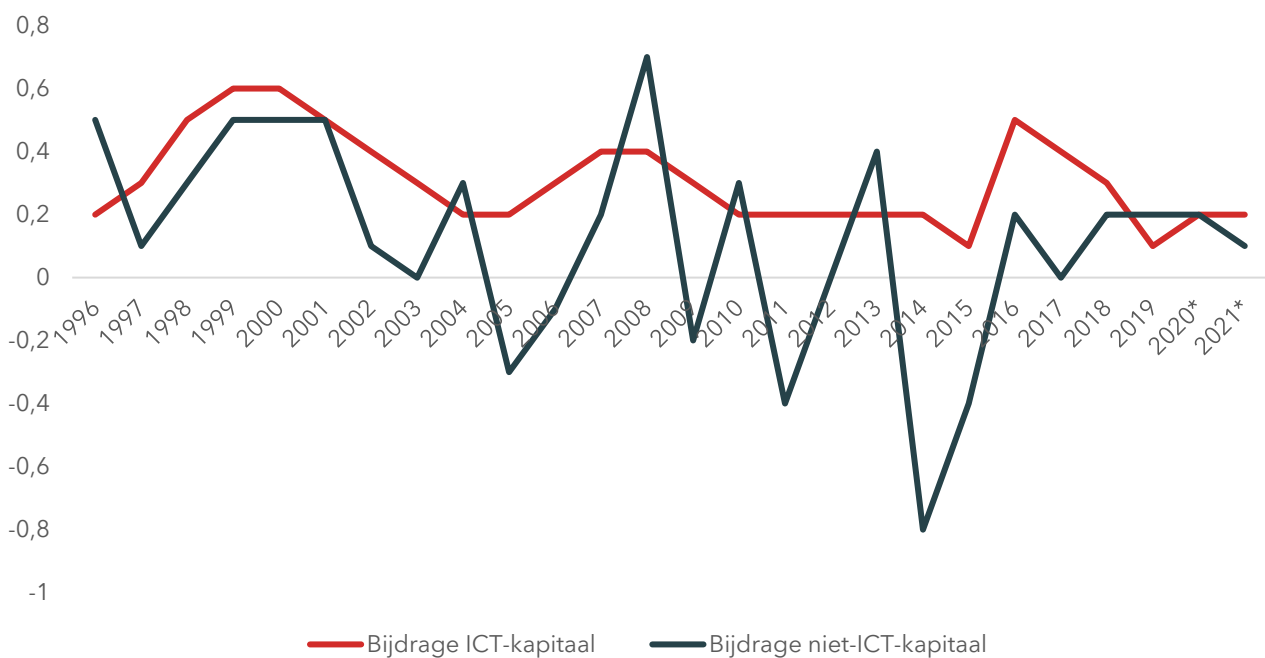
Bron: SEO Economisch Onderzoek



### 3.1.3 Innovatiebeleid

Het verminderen van emissies wordt voor een belangrijk deel gedreven door productiviteitsgroei. Digitalisering vormt een groot onderdeel van deze productiviteitsgroei. Technologie-experts zijn verdeeld over de mate waarin. De twee opinieleiders op dit terrein zijn Robert Gordon en Erik Brynjolfsson. Gordon (2018) ziet een dalende bijdrage van ICT aan productiviteitsgroei en Brynjolfsson (2019) voorspelt juist hoge toekomstige groei doordat het vergroten van het aantal toepassingen tijd kost. Figuur 3.3 laat met de groeirekeningen van het CBS zien dat de bijdrage van ICT-kapitaal aan de groei van de productiviteit historisch positief en significant is.

Figuur 3.3 Jaarlijkse bijdrage kapitaalsdiensten aan de groei van de productiviteit



Bron: SEO Economisch Onderzoek op basis van CBS

Een bemoeilijkende factor in het beoordelen van de bijdrage van ICT is dat niet alle positieve effecten terug te zien zijn in de productiviteitsstatistieken. Dit komt door de volgende uitdagingen:

- Inschatten van kwaliteitsverbeteringen en prijsdalingen.
- Meten van de waarde van immateriële activa, zoals data of algoritmes.
- Volgen van het doorwerkingsmechanisme van digitalisering richting het oplossen van maatschappelijke uitdagingen.

De overheid speelt een belangrijke rol bij het stimuleren van innovatie door digitalisering. Het primaire mechanisme is de stimulering van private R&D-investeringen. Digitalisering maakt ongeveer 20 procent uit van alle uitgevoerde R&D in Nederland (EZK, 2021) en ongeveer de helft van de investeringen in R&D wordt gefinancierd door de overheid. De ratio voor overheidsinvesteringen is terug te voeren op de volgende punten:

- **Kennisspilovers:** de kennis die R&D genereert is breder toepasbaar dan alleen door de ontwikkelaar.
- **Systeemfalen:** omgeving is onvoldoende bevorderlijk voor innovatiemogelijkheden, bijvoorbeeld door gebrek aan (digitale) kennis (Weber en Rohrer, 2012).
- **Transitiefalen:** hoge aanpassingskosten bemoeilijken de overgang naar niet-vervuilende technologieën (Acemoglu et al. 2016)

De bovenstaande factoren leiden ertoe dat het maatschappelijke rendement van R&D-investeringen hoger is dan het private rendement (Lucking, Bloom en Van Reenen, 2018). Het is daarentegen niet duidelijk dat het maatschappelijke rendement van investeringen op het terrein van digitalisering afwijkt van andere investeringen. De literatuur naar spilovers van ICT-investeringen vertoont een gemengd beeld (Draca, Sadun & Van Reenen (2009), Van Reenen et al. (2010) en Marsh et al. (2017)). Daarnaast zijn de effecten heterogeen (SEO, 2021), onder meer vanwege het type investering (fundamenteel of specifieke kennisontwikkeling), de geografische locatie van de investering en de kenmerken van het bedrijf of de sector waar de investering plaatsvindt.

Hoewel de spilovers niet duidelijk groter of kleiner zijn dan bij andere investeringen, heeft digitalisering wel invloed op de innovatiedynamiek. De spilovers vinden namelijk plaats via andere kanalen. Bedrijven kiezen bijvoorbeeld vaker voor een open innovatiemodel door het vrijelijk delen en gebruiken van externe kennis. Dit leidt tot meer beschikbare data, code en publicaties. Verbeteringen komen zo ten gunste van alle gebruikers en stimuleert tevens de kennisontwikkeling van alle betrokkenen.

Technologieneutraal innovatiebeleid past bij een generieke doelstelling om innovatie te bevorderen en maatschappelijke uitdagingen op te lossen wanneer het niet duidelijk is welke technologie het grootste maatschappelijke rendement heeft (Bijlsma en Overvest, 2018). De noodzaak om voorwaarden op te stellen om de aanspraak op innovatieregelingen te bepalen maakt dat ze meestal niet volledig technologieneutraal zijn, mogelijk ten nadele van de digitale sector. Er is echter geen empirisch bewijs dat ontwikkelaars van digitale innovaties beperkingen ondervinden om in aanmerking te komen voor innovatieregelingen.

Een specifiek terrein van technologische sturing binnen het innovatiebeleid zijn de sleuteltechnologieën. Deze technologieën zijn bij verschillende innovatieregelingen een criterium voor deelname (EZK, 2019). Belangrijke eigenschappen van een sleuteltechnologie zijn de potentiële bijdrage aan het oplossen van maatschappelijke uitdagingen (zoals de klimaatopgave), het vernieuwende karakter en de relatieve positie van Nederland in de wereld. De laatste eigenschap raakt aan de kennispositie van Nederland, nationale veiligheid en afhankelijkheid van het buitenland. Dit maakt de onderbouwing voor de sleuteltechnologieënaanpak nadrukkelijk breder dan een generieke doelstelling om maatschappelijke uitdagingen op te lossen.

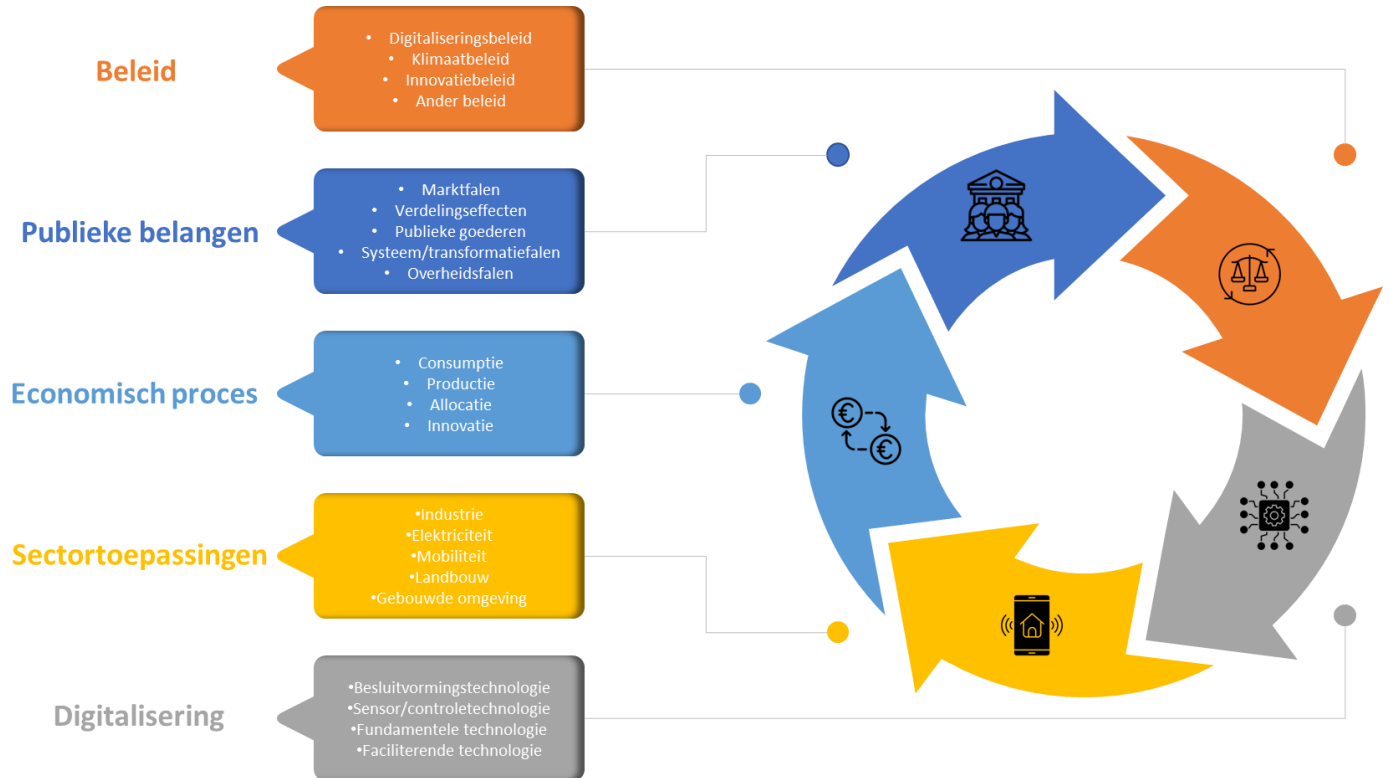
Geopolitieke ontwikkelingen zijn ook de belangrijkste reden voor de EU om de interacties tussen de klimaattransitie en de digitale transitie te onderzoeken. Beide transities raken namelijk aan Europese publieke belangen. Voorbeelden hiervan zijn voorraden van kritieke grondstoffen, strategische autonomie in sectoren zoals energie, groene diplomatie en digitale diplomatie van de EU. Deze analyse is uiteengezet in de *Twin Transition* strategie. *Twinning* betekent het vermogen van beide transities om elkaar te versterken. De strategie onderschrijft ook het belang van digitalisering om een bijdrage te leveren aan de klimaatopgave. De EU neemt net als Nederland geen standpunt in welke technologie (digitaal of niet digitaal) een grotere maatschappelijke bijdrage levert, waaronder aan de klimaatopgave.

## 3.2 Analyse kader

De hoofdvragen zijn gericht op het identificeren van aangrijpingspunten voor beleid voor het ministerie van EZK om de bijdrage van de digitale sector aan emissiereductie te faciliteren. We volgen een analysekader om deze acties op een gestructureerde manier te identificeren. Figuur 3.4 weergeeft dit kader in de vorm van een digitale beleids cyclus op een gestileerde manier. Het doel van de cyclus is het kunnen onderscheiden van de stappen in

het proces waarmee digitalisering leidt tot emissiereductie en welke rol het beleid speelt hierbij. De volgende paragrafen doorlopen de cyclus in meer detail.

Figuur 3.4 Analyse kader



Bron: SEO Economisch Onderzoek

**Digitalisering:** de digitale sector ontwikkeld nieuwe technologieën met potentie tot emissiereductie via vier hoofdmechanismen:

- **Besluitvormingstechnologie:** AI, machine learning en digital twins.
- **Sensor- en controletechnologie:** internet of things, drones, imaging, automatisering en robotica.
- **Fundamentele technologie:** meting, rapportage en big-data.
- **Faciliterende technologie:** cloud, 5G, blockchain en virtual/augmented reality.

**Sectortoepassingen:** de technologieën worden toegepast in verschillende sectoren binnen het klimaatbeleid (zie de KEV of het Klimaatakkoord):

- **Mobiliteit:** binnenlands vervoer, visserij en het energieverbruik van mobiele werktuigen uit andere sectoren.
- **Elektriciteit:** productie, distributie en handel in elektriciteit, aardgas, warmte, stoom en gekoelde lucht.
- **Industrie:** nijverheid, reparatie en installatie van machines, waterbedrijven, afvalbeheer, olie- en gaswinning, cokesfabrieken en raffinaderijen.
- **Landbouw:** de agrarische sector.
- **Gebouwde omgeving:** woningen, dienstverlening en overige afnemers.

**Economisch proces:** de toepassing van de technologieën verandert het economische proces, namelijk de manier van:

- **Consumptie:** hoe verandert het consumptiepatroon?
- **Productie:** hoe veranderen de waardeketen of het aanbod van producten en diensten?

- **Allocatie:** hoe verandert de afstemming tussen vraag en aanbod?
- **Innovatie:** hoe verandert de innovatiedynamiek?

**Publieke belangen:** de verandering in het economisch proces raakt diverse publieke belangen (CPB, 2019). Hierbij stellen we de volgende hulpvragen:

- **Marktfalen:** welke markt-, systeem- en transformatiefalens veranderen, verdwijnen of worden geïntroduceerd door digitalisering?
- **Verdeling:** In hoeverre leidt digitalisering tot verdelingseffecten? We volgen hierbij de ongelijkheidsbronnen van het SCP (2023): economisch kapitaal (inkomen, vermogen en opleidingsniveau), sociaal kapitaal (wie je kent), cultureel kapitaal (waar je bij past) en persoonskapitaal (wie je bent).
- **Publieke goederen:** wat zijn de gevolgen van digitalisering voor publieke goederen? Voorbeelden van publieke goederen<sup>3</sup> zijn zorg, onderwijs, wetenschappelijk onderzoek en infrastructuur.
- **Overheidsfalen:** belemmert een overheidsinterventie het verzilveren van digitaliseringskansen?

**Beleid:** wanneer publieke belangen worden geraakt, vraagt dat mogelijk om een wijziging van beleid. Om te bepalen welk beleidsterrein relevant is, stellen we de volgende hulpvragen:

- **Digitaliseringsbeleid:** is er sprake van botsende publieke belangen, sectoroverstijgende kansen of verouderde wetgeving?
- **Klimaatbeleid:** leidt digitalisering tot een verandering van de uitstoot dat aanleiding biedt om het klimaatbeleid bij te stellen?
- **Innovatiebeleid:** leiden beleidsontwikkelingen ertoe dat innovatieve digitaliseringskansen om emissies te reduceren niet verzilverd worden?
- **Ander beleid:** wanneer deze vragen allemaal met 'nee' beantwoord zijn, dan is een andere beleidsinterventie wenselijk op het terrein van het coördinerende departement.

---

<sup>3</sup> Een publiek goed is een goed waarvan mensen die er niet voor betalen niet kunnen worden uitgesloten, en waarbij consumptie door de een niet ten koste gaat van consumptie door de ander.

## 4 Analyse per sector

In dit hoofdstuk gaan we in op de beleidsrelevante ontwikkelingen per sector. We bestuderen de toepassingen die operationeel zijn (in de praktijk worden gebruikt) en waarvan het aannemelijk is dat ze een besparing opleveren. Bij deze ontwikkelingen passen we het analysekader uit het vorige hoofdstuk toe. We concentreren ons op de sectoren mobiliteit, elektriciteit en industrie. Bij deze sectoren wordt een ontwikkeling beschreven wanneer uit het analysekader blijkt dat het gevolgen heeft voor publieke belangen en daarmee beleidsmatig relevant is. De overige twee sectoren beschrijven we beknopt aan het einde van het hoofdstuk. Dit zijn de gebouwde omgeving en de landbouw.

### 4.1 Mobiliteit

Wegverkeer is verantwoordelijk voor ongeveer 80 procent van de uitstoot binnen de mobiliteitssector. Van deze 80 procent, zijn personenauto's verantwoordelijk voor de meer dan de helft, vrachtwagens voor meer dan een kwart en bestelbusjes voor ongeveer een zesde. De overige 20 procent bestaat uit mobiele werktuigen, scheepvaart en een restpost. De reden dat wegverkeer een dermate groot aandeel uitmaakt, is dat lucht- en zeescheepvaart niet binnen de nationale doelen valt.

Een groot deel van de emissiereductie zal dus moeten plaatsvinden binnen het wegverkeer. De totale uitstoot hiervan is nauwelijks gedaald sinds 1990 vanwege een stijging van het autobezit per huishouden en een groeiende voorkeur voor zwaardere auto's (KiM, 2022). Op de lange termijn zal een groot deel van de verduurzaming plaatsvinden door de elektrificatie van het wagenpark, onder meer door Europese regelgeving.

Op de kortere termijn staan normeren, beprijzen en het stimuleren van gedragsverandering centraal om emissies te reduceren. De inzet van digitale technologie kan hierbij een belangrijke rol spelen. We behandelen in de volgende paragrafen drie beleidsrelevante ontwikkelingen op dit terrein.

Tabel 4.1 Beleidsrelevante ontwikkelingen mobiliteit

Toepassing	Economisch proces	Publiek belang	Beleid	Digitale technologie
Mobility as a service	Consumptie Allocatie	Publieke goederen Verdeling Overheidsfalen	Sectoraal Klimaatbeleid	Besluitvorming
Verkeersmanagement	Consumptie	Publieke goederen Verdeling	Sectoraal Klimaatbeleid Digitalisering	Alle
Thuiswerken	Consumptie Productie	Publieke goederen	Sectoraal	Faciliterend

Bron: SEO Economisch Onderzoek

## Mobility as a service (MaaS)

Mobility as a service (MaaS) draait om het bundelen van data van zoveel mogelijk vervoersaanbod (IenW, 2019). Die data worden getoond in apps die de reiziger informatie bieden over alle vervoersmogelijkheden. Voorbeelden hiervan zijn de deelfiets, -auto, -scooter, of de trein, tram, of taxi. In de app kunnen mensen zoeken, vergelijken, reserveren en betalen voor verschillende mobiliteitsdiensten.

De effecten van MaaS zijn:

- **Economisch proces:**
  - Allocatie: de app verbetert de afstemming tussen vraag en aanbod waardoor mensen efficiënter reizen.
  - Consumptie: het mobiliteitsgedrag verandert vooral door het verhoogde gebruik van deelmobiliteit (KiM, 2021). Autobezit daalt onder autodelers met ongeveer een kwart bij minder frequente gebruikers en meer bij frequente gebruikers. Het reboundeffect is beperkt. Autodelers gebruiken de deelauto aantoonbaar minder vaak dan een eigen auto.
- **Publiek belang:**
  - Publieke goederen: verbetert de kwaliteit van de openbare ruimte door het verlagen van het aantal parkeerplaatsen en verlaagd de druk op het infrastructuurnetwerk.
  - Verdeling: de baten zijn vooral in (hoog)stedelijke gebieden, met voldoende OV-voorzieningen en deelconcepten. De digitale vaardigheden (cultureel kapitaal) zijn niet voor alle beoogde gebruikers voldoende ontwikkeld om mee te kunnen komen met deze ontwikkeling. In theorie vergroot het de bereikbaarheid voor mensen zonder eigen vervoersmiddel (van de Weijer, 2020). De effecten op bereikbaarheid zijn echter nog niet onderzocht.
  - Overheidsfalen: beleid maakt autobezit relatief aantrekkelijk ten opzichte van deelmobiliteit. Een voorbeeld is dat een parkeervergunning voor bewoners ongeveer 15 procent van de marktwaarde van een parkeerplaats is in Amsterdam (Ossokina et al. 2019).
- **Beleid:**
  - Sectoraal: IenW voert het beleid uit. Voorbeelden zijn de City Deal Elektrische Deelmobiliteit, Agenda Fiets en zeven MaaS-pilots in verschillende regio's (IenW, 2022).
  - Klimaatbeleid: het beleid is onderdeel van het KEV-fiche Stimuleren duurzaam reisgedrag, totaal ingeschat op 0,1-0,3 Mton (CE Delft, 2022).
- **Digitale technologie**: gebruikt AI en machine learning voor het optimaliseren van de app. Digital twins worden gebruikt om wijzigingen door te rekenen (TNO, 2023).

## Verkeersmanagement

Een verbetering van het verkeersmanagement leidt tot efficiënter vervoer (minder files, consistentere en nauwkeuriger) en daarmee minder uitstoot. Digitale technieken die het verkeersmanagement verbeteren zijn:

- **Rijtaakondersteuning** is ingebouwd in verschillende auto's, waardoor de auto deels zelfrijdend is. Het aanbod van auto's met verder ontwikkelde functies zal komende jaren toenemen (IenW, 2023).
- **Mobiliteitsgedrag sturen met data** kan onder meer door het middel van beprijzen. Een concrete uitwerking is de maatregel Betalen naar Gebruik (KiM, 2022). De Raad voor de Leefomgeving en infrastructuur (Rli, 2021) signaleert meer kansen op dit terrein.
- **Het verbinden van verkeersobjecten** (genaamd: *Coöperative Intelligent Transportation System - C-ITS*) leidt tot betere doorstroming. Het aantal toepassingen is nog beperkt, een voorbeeld in Nederland is de Groene golf bij stoplichten.

## Box 4.1 Case: Connected Car Solutions Suite

Een voorbeeld van de implementatie van rijtaakondersteuning is de Connected Car Solutions Suite, ontwikkeld door Deutsche Telekom voor autofabrikanten. Deze suite biedt slimme rijoplossingen, zoals Eco-drive voor gedragsoptimalisatie, Car2x voor realtime navigatie, E-Call voor noodcontact en Live Traffic voor verkeersinformatie. Dit vermindert per auto de Co2-uitstoot met 15,9 procent. Het bespaart 237 euro per jaar aan brandstofkosten en 23 uur per jaar aan verkeerstijd.

Bron: SEO Economisch Onderzoek

De effecten van het verbeteren van verkeersmanagement zijn:

- **Economisch proces:** het leidt tot een verandering van het mobiliteitsgedrag, waaronder vervoerswijze-keuze, gebiedskeuze en momentkeuze.
- **Publiek belang:**
  - Publieke goederen: verlaagd de druk op het infrastructuurnetwerk.
  - Verdeling: de bereikbaarheidsmogelijkheden en mobiliteitskosten worden herverdeeld tussen groepen (economisch kapitaal).
- **Beleid:**
  - Sectoraal: IenW voert het beleid uit. Voorbeelden zijn de ontwikkeling van Betalen naar Gebruik en de inzet op C-ITS binnen het programma Beter Benutten.
  - Klimaatbeleid: de beoogde besparing van Betalen naar Gebruik is 2,5 Mton (invoerjaar is 2030), vastgelegd in het coalitieakkoord van kabinet-Rutte IV. Het beleid was echter nog onvoldoende uitgewerkt om door te rekenen in de KEV. Dit geldt ook voor de andere maatregelen.
  - Digitalisering: de digitale technieken genereren grote hoeveelheden data. De inzet van deze data leidt tot botsende publieke belangen, zoals veiligheid, privacy en het waarborgen van voldoende concurrentie.
- **Digitale technologie:** een combinatie van alle soorten technologie wordt ingezet, waaronder big-data-analyse, clouddiensten, automatisering en internet of things.

## Thuiswerken

Thuiswerken is het (gedeeltelijk) uitvoeren van werk of studie vanuit huis, gefaciliteerd door de inzet van ICT. Hoewel de technologie noodzakelijk is om thuis te kunnen werken, is de overgang naar thuiswerken in beperkte mate bepaald door de adoptie van de technologie. De groei van de mogelijkheden om thuis te werken hebben namelijk niet geleid tot een navenante toename van het thuiswerken. Het effect op uitstootreductie is licht positief en voor een deel nog onbekend (PBL, 2021). Het directe effect van minder naar werk reizen wordt namelijk deels opgevuld met substitutiegedrag: mensen reizen verder naar het werk of maken vervangende verplaatsingen voor andere motieven.<sup>4</sup>

De effecten van het thuiswerken zijn:

- **Economisch proces:** het leidt tot een verandering van het mobiliteitsgedrag, vooral door minder in de spits te reizen.
- **Publiek belang:** verlaagd de druk op het infrastructuurnetwerk door het verminderen van congestie tijdens de spits.
- **Beleid:** thuiswerken raakt het mobiliteitsbeleid bij IenW en arbeidsmarktbeleid bij SZW. Thuiswerken wordt niet expliciet gestimuleerd.
- **Digitale technologie:** de voornaamste technologieën zijn faciliterend, waaronder de optie tot beeldbellen en het gebruik van clouddiensten.

<sup>4</sup> Dit volgt uit de veel onderzochte Breyerwet, de wet van behoud van reistijd en verplaatsingen.

## 4.2 Elektriciteit

De elektriciteitssector omvat een breed scala aan activiteiten gerelateerd aan de productie, distributie en handel in elektriciteit, aardgas, warmte, stoom en gekoelde lucht. Deze sector heeft een grote impact op de totale broeikasgasemissies, omdat traditionele methoden van energieopwekking vaak gepaard gaan met de uitstoot van CO<sub>2</sub> en andere broeikasgassen. Grofweg valt de elektriciteit sector onder te verdelen in twee sectoren:

- **Energieopwekking:** het proces waarbij energie wordt geproduceerd uit verschillende bronnen, zoals fossiele brandstoffen, hernieuwbare energiebronnen, en nucleaire energie. Het omvat activiteiten zoals elektriciteitsopwekking in energiecentrales, het olie- en gaswinning en het oogsten van zonne- en windenergie.
- **Netwerkbeheer (energiedistributie):** het proces van het beheren en onderhouden van het elektriciteitsnetwerk dat elektriciteit van energieproducenten naar consumenten transporteert. Het omvat activiteiten zoals reguleren van de stroom op het netwerk, zorgen voor een stabiele levering van elektriciteit naar huizen en bedrijven, en optimaliseren van de efficiëntie van het netwerk. Netwerkbeheerders spelen een cruciale rol in het zorgen voor een betrouwbare en veilige elektriciteitsvoorziening aan consumenten en het faciliteren van de integratie van hernieuwbare energiebronnen in het netwerk.

De totale uitstoot van broeikasgassen bedroeg in 2022 30,5 megaton CO<sub>2</sub>. Daarin had aardgas het hoogste aandeel (15,2 megaton) en droeg steenkool voor 11,2 megaton bij.<sup>5</sup> 6,1 megaton komt op de conto van restgassen, bijvoorbeeld afkomstig van hoogovens.

Bij aardgas is de grootste emissiereductie te behalen. Voor aardgas zijn er alternatieven met een lagere emissie, namelijk windparken op zee, zonnepanelen en geothermie. Het gebruik van deze alternatieven is sinds 2015 sterk toegenomen. De productie van zonnestroom is tussen 2015 en 2022 met factor 15 gestegen, de productie van windstroom is in diezelfde periode met factor 3 gestegen. Het aandeel hernieuwbare energie (ook inclusief biomassa en warmtepompen) is gestegen van ca. 6 procent tot ca. 15 procent.<sup>6</sup> Een emissiereductie bij aardgas zit dus voornamelijk in verminderen van het verbruik dan in het verminderen van de emissies per petajoule aardgas. De bijdrage van steenkool aan emissies van de elektriciteitssector neemt naar verwachting ook af, omdat kolencentrales per 2030 moeten zijn overgestapt op schone brandstoffen als biomassa, biobrandstoffen en waterstof.<sup>7</sup>

De elektriciteitsvoorziening raakt niet alleen de duurzaamheidsopgave van de overheid, maar ook bredere publieke belangen. De kernwaarden voor het elektriciteitssysteem zijn "schoon, veilig, betrouwbaar, betaalbaar en ruimtelijk inpasbaar" (EZK, 2020). Naast duurzaamheid moet de leveringszekerheid en betaalbaarheid dus ook worden geborgd. Het elektriciteitsnet moet dus een toenemende vraag (vanwege elektrificatie) en een variabel aanbod (teruglevering van zonnepanelen/windmolens) in goede banen leiden. De uitdaging is dus breder dan alleen duurzaamheid. Omdat dit aan meerdere publieke belangen raakt, is het van belang dat de overheid hierbij betrokken is. De overheid kan een rol spelen door o.a. meer ruimte voor pilots en data-deling tussen private partijen te geven.

<sup>5</sup> <https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/dossier-broeikasgassen/welke-sectoren-stoten-broeikasgassen-uit>

<sup>6</sup> <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/22/aandeel-hernieuwbare-energie-in-2022-toegenomen-naar-15-procent>

<sup>7</sup> <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/toekomst-fossiele-brandstoffen>



Tabel 4.2 Beleidsrelevante ontwikkelingen elektriciteit

Toepassing	Economisch proces	Publiek belang	Beleid	Digitale technologie
Optimalisering energieopwekking	Productie	Marktfalen	Klimaatbeleid	Besluitvorming Sensor- en controle
Datagedreven afstemming energieverbruik	Allocatie Consumptie	Marktfalen	Digitalisering	
Flexibel netbeheer	Allocatie	Marktfalen Overheidsfalen	Sectoraal	Besluitvorming Sensor- en controle

Bron: SEO Economisch Onderzoek

### Optimalisering energieopwekking

Digitale technologieën kunnen energieopwekking optimaliseren. Bijvoorbeeld AI kan met slimme asset tracking, automatisering en analyses de hoeveelheid energie die we uit hernieuwbare bronnen halen, verhogen. Bijvoorbeeld, zonne-energie werkt het beste als de zon direct op de zonnepanelen schijnt. Maar de zon beweegt in de lucht gedurende de dag en het jaar. Door gebruik te maken van slimme technologieën kunnen zonnepanelen zichzelf automatisch aanpassen aan de stand. (World Economic Forum, 2022b)

De effecten van optimalisatie van energieopwekking zijn:

- **Economisch proces:**
  - Productie: Met digitale sensoren in zonnepanelen kunnen zonnepanelen worden gedraaid met de richting van de zon mee, zodat er optimaal energie kan worden opgewekt. Windmolens kunnen ook zo worden afgesteld dat zij optimaal gebruik maken van de wind.
- **Publiek belang:**
  - Marktfalen: de baten van hogere stroomopbrengst door efficiëntere energieopwekking zijn niet volledig in lijn met de baten van de emissiereductie die dit teweeg brengt. Door de kwaliteit van zonnepanelen en/of windmolens te normeren zodat ze deze digitale sensoren bevatten, kan er nog meer herbruikbare energie worden opgewekt.
- **Beleid:**
  - Klimaatbeleid: het stimuleren van zonnepanelen en windmolens is onderdeel van het overkoepelende klimaatbeleid. Normering over de toepassing van digitale sensoren kan de effectiviteit van deze duurzame energieopwekking vergroten.
- **Digitale technologie:** de toepassing van data om het netbeheer flexibeler in te richten gebruikt met name sensor- en controletechnologie om de data te verzamelen en besluitvormingstechnologie om op basis van de data de juiste stand van de zonnepanelen te bepalen. Hier zijn toepassingen van digital twins, AI en machine learning voor.

### Data-gedreven afstemming energieverbruik

Data-gedreven afstemming van energieverbruik kan een besparing van emissies opleveren. Door apparaten met elkaar te laten communiceren (via IoT) kan het elektriciteitsverbruik worden afgestemd. Voorbeelden hiervan zijn slimme meters in huis, lampen op basis van bewegingssensoren in kantoorruimtes, 'werktijden' voor machines instellen. De essentie zit in het gebruik van data uit een bepaald apparaat om de elektriciteitstoevoer naar andere apparaten te voorspellen. Met digitale technologieën kan verbruik van machines ook worden verplaatst naar momenten waarop het energienet minder overbelast is.

De effecten van data-gedreven afstemming van energieverbruik zijn

- **Economisch proces:**
  - Allocatie: met data-gedreven afstemming wordt de beschikbare elektriciteit efficiënter verdeeld over verschillende apparaten.
- **Publiek belang:**
  - Marktfalen: de private kosten van apparaten onnodig lang op stand-by laten staan zijn laag, maar de maatschappelijke kosten zijn hoger omdat emissies negatieve externaliteiten zijn. Eerder afschakelen van stand-by apparaten leidt tot een efficiënter energieverbruik en minder emissies.
- **Beleid:**
  - Digitalisering: beleid kan bijdragen aan het faciliteren van deze technologieën en het normeren bij kwaliteitseisen. Een eerste stap kan zijn om deze technologieën toe te passen in overheidsgebouwen.
- **Digitale technologie:** De voornaamste digitale technologie bij deze toepassing is Internet of Things (sensor- en controletechnologie).

## Flexibel netbeheer

Flexibel netbeheer stelt het elektriciteitsnet in staat om efficiënt om te gaan met schommelingen in vraag en aanbod om deze goed op elkaar te laten aansluiten. Door de toename van elektrificatie (bij industrie maar ook bij huishoudens) neemt de vraag naar elektriciteit toe, maar niet met een constant niveau. Ook leveren bedrijven en huishoudens meer energie terug door de toename van het aantal zonnepanelen en windmolens. Het aanbod van energie stijgt dus, met name overdag, terwijl de vraag niet altijd overdag is (elektrische auto's worden vaak 's avonds opgeladen). Door data uit apparaten op te halen en systemen met elkaar te laten communiceren, kunnen vraag en aanbod beter op elkaar worden afgesteld, zodat het energienet efficiënter wordt gebruikt en de emissies afnemen. Concreet kan data-uitwisseling tussen netbeheerders en energieleveranciers leiden tot een efficiëntere aansluiting van het aanbod van elektriciteit op de vraag. Door beschikbare elektriciteit beter te verdelen over het net en/of op te slaan in bijv. batterijinstallaties, kan de piekvraag beter worden opgevangen. Hierdoor hoeven (fossiele) noodgeneratoren minder vaak aan, wat emissies bespaart. Hier is effectief overheidsbeleid voor nodig om de datagovernance te regelen (zie aanbevelingen in Rathenau Instituut, 2022).

De effecten van flexibel netbeheer zijn:

- **Economisch proces:**
  - Allocatie: Doordat steeds meer apparaten elektrisch worden, zoals auto's, neemt het gebruik van het elektriciteitsnet toe. Ook industrieën die machines en installaties op elektriciteit laten draaien i.p.v. fossiele brandstoffen, maken meer gebruik van het elektriciteitsnet. Anderzijds wordt er ook meer stroom teruggeleverd door de toename van zonnepanelen en windmolens. Deze vraag naar en aanbod van elektriciteit moet worden afgestemd om te voorkomen dat het elektriciteitsnet overbelast wordt of juist inefficiënt ondergebruikt wordt. Digitalisering kan met het ophalen en delen van data en communicerende systemen beter de efficiëntie van het elektriciteitsnet regelen, waarbij de focus ligt op het zo optimaal inzetten van herbruikbare energiebronnen. Dit verhoogt de efficiëntie van het netbeheer en verlaagt de emissies. Verder hoeft de energieleverancier minder vaak noodgeneratoren aan te zetten om piekbelasting op te vangen, omdat het flexibele elektriciteitsnet dit zelf opvangt, ook dit leidt tot emissiereductie.
- **Publiek belang:**
  - Marktfalen: met datadeling en communicerende systemen worden vraag en aanbod beter op elkaar afgestemd zodat er geen sprake is van suboptimaal overmatig gebruik (tragedie van de meent).
  - Overheidsfalen: de huidige regeling van netbeheer werkt in tegen de ambitie van de overheid om elektrisch rijden, zonnepanelen en algehele elektrificatie te stimuleren. Het huidige elektriciteitsnet kan die ambitie niet aan, daarom moet het flexibeler worden geregeld (Netbeheer Nederland, 2021).

- **Beleid:**
  - Digitalisering: digitaliseringsbeleid moet het gebruik van data en communicatie tussen systemen faciliteren. Hiervoor zijn standaarden nodig (Rli, 2021). De overheid kan aansluiten bij bestaande marktinitiatieven zoals NEN, Forum Standaardisatie en Europese initiatieven.
  - Sectoraal: sectoraal beleid kan inspelen op de versterking van het elektriciteitsnet, de ondersteuning van netbeheerders hierin en het breed beschikbaar maken van een laadinfrastructuur.
- **Digitale technologie:** de toepassing van data om het netbeheer flexibeler in te richten gebruikt met name sensor- en controletechnologie om de data te verzamelen en besluitvormingstechnologie om op basis van de data de juiste inzet van het elektriciteitsnet te bepalen om het zo efficiënt mogelijk te laten werken.

### 4.3 Industrie

De industrie was in 2021 verantwoordelijk voor een uitstoot van 47,4 megaton CO2. De chemische industrie stootte in dat jaar 18,4 megaton uit, de aardolie-industrie 10,5 megaton en de basismetaalindustrie 6,3 megaton CO2. Overige industrieën waren goed voor 12,2 megaton CO2.<sup>8</sup> Naast CO2 is methaan een belangrijk broeikasgas in de industrie.

In de industrie bestaat een grootschalig digitaliseringsinitiatief, Smart Industry, wat met een publiek-private samenwerking digitalisering in productieketens wil bevorderen. Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat is hier al bij betrokken. Op korte termijn kan deze samenwerking versterkt worden om met Smart Industry meer bedrijven te bereiken. Op lange termijn kan de overheid digitalisering in de industrie ondersteunen en faciliteren door regels en normeringen voor het delen van data tussen private partijen te stimuleren. Hier is een infrastructuur met de juiste privacy-waarborgen, technologische standaarden en een gemeenschappelijke taal voor nodig.

Smart industry raakt ook andere publieke belangen dan alleen verduurzaming (Smart Industry, 2022). Daarom is het belangrijk voor de overheid om deze ontwikkelingen scherp in de gaten te houden in relatie tot andere beleidsterreinen. Met meer gebruik van data, en betere data, hebben bedrijven meer inzicht in de slijtage van materialen en kunnen deze materialen beter hergebruikt worden. Dit vermindert de import van grondstoffen uit het buitenland en ook de afhankelijkheid van het buitenland. Dit sluit aan bij de Open Strategische Autonomie die de Europese Commissie nastreeft. Verder vergroot de toepassing van digitalisering de inzicht in de productiekwaliteit, wat leidt tot een consistentere productiekwaliteit en een groei van arbeidsproductiviteit (Smart Industry, 2022). Deze andere publieke belangen vormen een extra motivering om als overheid een faciliterende en/of stimulerende rol aan te nemen.

Tabel 4.3 Beleidsrelevante ontwikkelingen industrie

Toepassing	Economisch proces	Publiek belang	Beleid	Digitale technologie
Optimalisatie materiaalgebruik met data delen	Allocatie Productie	Marktfalen	Digitalisering	Alle
Optimalisatie productieprocessen	Productie	Raakt meerdere publieke belangen	Digitalisering Sector	Alle

Bron: SEO Economisch Onderzoek

<sup>8</sup> <https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/dossier-broeikasgassen/welke-sectoren-stoten-broeikasgassen-uit>

## Optimalisatie materiaalgebruik met data delen

De maakindustrie gebruikt materialen. De productie van deze materialen leidt tot emissies. Het streven is om de materialen zo efficiënt mogelijk te gebruiken zodat ook de uitstoot van de industrie zo laag mogelijk is. Bedrijven weten vaak welke materialen zij op voorraad hebben en welke kenmerken deze materialen hebben, bijvoorbeeld de emissiewaarde van die materialen en informatie of het nieuw of gerecycled is. De industrie heeft digitale systemen ontworpen om met deze data het materiaalgebruik te optimaliseren. Echter, deze systemen van verschillende bedrijven communiceren niet met elkaar. Er is geen gemeenschappelijke 'taal', waardoor materialen niet optimaal worden ingezet (Rli, 2021). Zo is het mogelijk dat een bedrijf aluminium nodig heeft en daarvoor nieuw aluminium wil bestellen, terwijl een andere partij een grote voorraad gerecycled aluminium heeft. Met data deling tussen private partijen kunnen materialen efficiënter worden ingezet, hoeven minder materialen gewonnen te worden en is de emissie van de industrie lager.

De effecten van optimalisatie materiaalgebruik met data delen zijn:

- **Economisch proces:**
  - Allocatie: met elkaar communicerende systemen over voorraden materialen verbeteren de informatie over de beschikbaarheid van materialen, zodat de vraag naar en aanbod van deze materialen beter op elkaar wordt afgestemd. Data over kwaliteit van materialen kan ook onderscheid maken tussen materialen die zo goed als nieuw zijn en materialen die veel van hun oorspronkelijke kenmerken verloren hebben en voor andere toepassingen gebruikt kunnen worden.
  - Productie: productie in de industrie waarin materialen intensief worden gebruikt, wordt efficiënter ingericht met delen van data over materialen. Er kunnen meer gerecyclede materialen worden gebruikt, wat ertoe leidt dat er minder nieuwe materialen gewonnen worden en dat de emissie van de productie daalt. In industrieën waar materialen een grote rol spelen, kan dit een aanzienlijke bijdrage leveren aan emissiereductie. Daarnaast levert dit optimale materiaalgebruik een bijdrage aan de transitie naar een circulaire economie.
- **Publiek belang:**
  - Marktfalen: door asymmetrische informatie over materialen wordt er een suboptimale hoeveelheid materialen geproduceerd, met negatieve externe effecten door de emissies van de materiaalproductie. Data over materialen delen tussen private partijen neemt dit marktfalen weg.
- **Beleid:**
  - Digitalisering: De huidige obstakel om de volledige potentie van data delen te bereiken is dat er geen beleid is dat data delen tussen private partijen stimuleert, waarbij ook een centrale 'taal' van systemen ook een belangrijke rol speelt.
- **Digitale technologie**: de basis voor data delen is het meten en vastleggen van data over materialen (sensoren- en controletechnologie). Deze data kan via de cloud gedeeld worden, of alle gegevens kunnen in de blockchain worden vastgelegd (faciliterende technologie). Big data analyse (fundamentele technologie), machine learning en kunstmatige intelligentie (besluitvormingstechnologie) stellen bedrijven vervolgens in staat om het materiaalgebruik zo efficiënt mogelijk in te richten.

## Optimalisatie productieproces

Digitalisering in het productieproces kan leiden tot hogere efficiëntie in de gehele productieketen (Smart Industry, 2022). Digitalisering vraagt om investeringen, maar verlaagt op de lange termijn kosten, CO<sub>2</sub>-uitstoot en verhoogt de arbeidsproductiviteit. Smart Industry (2022) omschrijft digitalisering in de industrie als het "digitaal ontwerpen van onderdelen en machines, en het digitaliseren van de productiestappen en middelen om deze te kunnen produceren". Door meer data uit machines te halen, kan de status van de energie-efficiëntie beter in kaart worden gebracht en kan het onderhoud daar beter op aansluiten.

De effecten van optimalisatie van productieprocessen zijn:

- **Economisch proces:**
  - Productie: digitale technologieën kunnen productieprocessen optimaliseren als zij gebruik kunnen maken van de data die machines opleveren. Met een *digital twin* van de machine kunnen simulaties worden uitgevoerd om het energiegebruik en ook de productie te optimaliseren. Door deze optimalisatie is het kwaliteitsniveau van de productie hoger, waardoor er minder producten opnieuw gemaakt hoeven te worden (minder snijverlies). Zeker in CO<sub>2</sub>-intensieve sectoren levert dit een emissiereductie op. Onderliggende AI-modellen bij digital twins vereisen veel en gevarieerde data. Een uitdaging is dat de data van machines vaak niet gevarieerd zijn, omdat ze al vrij constant werken. Datadeling is dus essentieel om goedwerkende AI-modellen te ontwikkelen die kunnen bijdragen aan een hogere energie-efficiëntie.
- **Publiek belang:**
  - Marktfalen: digitalisering in de industrie raakt publieke belangen zoals strategische onafhankelijkheid en afname emissies, terwijl deze maatschappelijke baten niet bij de investerende bedrijven terechtkomen. Dit leidt mogelijk tot te weinig investeringen in digitalisering. Door digitalisering te faciliteren en stimuleren kunnen deze andere publieke belangen beter worden nagestreefd.
- **Beleid:**
  - Digitalisering: de huidige obstakel om de volledige potentie van data delen te bereiken is dat er geen beleid is dat data delen tussen private partijen stimuleert, waarbij ook een centrale 'taal' van systemen ook een belangrijke rol speelt.
  - Sectoraal: digitalisering van de industrie staat hoog op de agenda, getuigt ook het Smart Industry initiatief, een publiek-private samenwerking. Het bereik van Smart Industry moet nog vergroot worden en medewerkers moeten ook getraind worden om met digitale technologieën te kunnen werken.
- **Digitale technologie**: In productieprocessen gebruiken bedrijven *digital twins* van machines om simulaties te kunnen uitvoeren, deze kunnen door meerdere stakeholders gebruikt worden, de infrastructuur van de *digital twin* is daar op ingericht. Daarnaast wordt er veel gebruik gemaakt van AI/machine learning om processen te optimaliseren. Datadeling over de gehele waardeketen vindt het beste plaats via blockchain of cloud.

## 4.4 Gebouwde omgeving en landbouw

In overleg met de begeleidingscommissie is ervoor gekozen om de nadruk van dit onderzoek te leggen op de sectoren mobiliteit, elektriciteit en de industrie. Dit betekent dat de sectoren gebouwde omgeving en de landbouw een beperkte plek hebben gekregen. De volgende paragrafen gaan beknopt op deze sectoren in en onderbouwd de gemaakte afbakeningskeuze.

### 4.4.1 Gebouwde omgeving

De huidige doelen voor de gebouwde omgeving zijn reeds ambitieus en het extra reductiepotentieel is beperkt vergeleken andere sectoren (IBO Klimaat, 2023). De aanpak naar 2030 richt zich primair op grootschalig woningisolatie, het uitfasen van de slechtst presterende gebouwen in de utiliteitssector, installeren van warmtepompen en het realiseren van aansluitingen op het warmtenet. Dit is vooral een grote logistieke uitdaging, waar een beperkte rol voor digitalisering is weggelegd. Op de lange termijn (uiterlijk 2050) moet elk gebouw op een emissievrije manier worden verwarmd. Bij deze technologische uitdaging speelt digitalisering waarschijnlijk een grotere rol. Deze tijdschikhorizon valt echter buiten de scope van dit onderzoek.

Op de korte termijn kan digitalisering een bijdrage leveren aan emissiereductie door het optimaliseren van het energiemangement binnen de woning. Een voorbeeld van een technologie is de slimme meter. Dit is een digitale

energiemeter die automatisch de energieverbruiken doorgeeft aan de netbeheerder. Deze overzichten creëren inzicht in verbruik voor huishoudens, wat bewustwording stimuleert en daarmee waarschijnlijk energiebesparing bevordert. Uit consumentenonderzoek in opdracht van EZK blijkt inzicht in verbruik een hoofdreden voor de aanschaf van een slimme meter (Motivaction, 2021).

Het effect op emissiereductie van energiemanagement binnen de woning blijkt ook de internationale literatuur. Het voornaamste mechanisme is het reduceren van sluipverbruik (stand-by-verbruik). Uit Australisch onderzoek (Mallon et al. 2014) en Koreaans onderzoek (ITU, 2012) blijkt dat het reductiepotentieel ongeveer de helft van het sluipverbruik is. Een scenarioanalyse voor Engelse huizen (Jorda et al. 2013) met geëxtrapoleerde verbruiksrealisaties schat het reductiepotentieel in op 25 procent van de totale emissies binnen een woning. Onderzoek in opdracht van de OESO (Berkhout en Hertin, 2001) en de EC (Achachlouci en Hilty, 2015) komen op een besparingspotentieel van 10-15 procent.

#### Box 4.2 Digitalisering en de circulariteit van de bouwsector

De bouwsector is een prioritaire sector binnen het programma Nederland circulair in 2050. Digitalisering kan in potentie een grote rol gaan spelen bij deze transitie (Antikainen et al. 2018). Voorbeelden van toepassingen (RLi, 2021) zijn informatievoorziening, het bij elkaar brengen van vraag naar en aanbod van materialen, het verlengen van de levensduur van materialen en het verbeteren van het productontwerp. Een mogelijke overheidsinterventie is het verplichten van een materialenpaspoort en dit vervolgens gebruiken als grondslag voor beprijzing.

Bron: SEO Economisch Onderzoek

## 4.4.2 Landbouw

Het overgrote deel van de reductieopgave van de landbouw is de veehouderij. De landbouwemissies bestaan namelijk voor ongeveer een kwart uit de glastuinbouwsector, een zeer beperkt deel voor de akkerbouwsector en het overige deel aan de veehouderij. Er is binnen de veehouderij geen eenduidig beeld van de technische reductiemogelijkheden, waar digitalisering onderdeel van uitmaakt. Om dit te verhelderen, loopt er op tijdens het schrijven van dit rapport een onderzoek naar dit thema. Om deze reden is dit thema niet meegenomen binnen dit onderzoek.

Voor de glastuinbouw en de landbouw biedt digitalisering diverse kansen. Het kwantificeren van de exacte besparing is echter ingewikkeld (Bucci et al. 2019). Vanwege deze potentiële kansen en belemmeringen, is de inzet van digitalisering in het landbouw-, voedsel- en natuurdomein recent onderzocht. Deze inzichten hebben een plek gekregen in de digitaliseringstrategie van het ministerie van LNV (2021). Om een herhaling van onderzoekswerkzaamheden te voorkomen, hebben we ons niet geconcentreerd op dit thema. Ter illustratie, benoemen we in de onderstaande opsomming enkel voorbeelden van publieke kansen uit deze strategie:

- Precisielandbouw vermindert de benodigde gewasbeschermingsmiddelen en mest.
- Data-uitwisseling en -analyse verbetert inzicht in de stand van insecten, biodiversiteit, ziekten en plagen in de bosbouw en verspreiding van exoten.
- Robotisering verlicht fysiek arbeid en kan met lichtere werktuigen de bodemstructuur verbeteren.
- Digitalisering verbetert inzicht in de voedselketen
- Inzet van satellietdata draagt bij aan de natuur-, voedsel- en energietransitie op de Noordzee.
- Digitalisering verbetert vroegtijdig inzicht in epidemieën en monitoring van dierenwelzijn.

## 5 Conclusies

De digitale sector is het aandeel toegevoegde waarde dat gerealiseerd wordt door de toepassing van ICT. ICT is een algemeen toepasbare technologie die in elke sector wordt ingezet. Zo omvat de digitale sector een beperkt deel van alle sectoren. ICT leidt tot emissiereductie via vier hoofdmechanismen

1. Beslissen;
2. Meten;
3. Faciliteren; en
4. Het fundament vormen voor technologische ontwikkeling.

De onderliggende technologieën bij deze mechanismen zijn divers. Voorbeelden zijn digital twins, internet of things, big-data-analyse, kunstmatige intelligentie en clouddiensten.

Er is nog weinig bekend over de omvang van de bijdrage van digitalisering aan emissiereductie. Er is in internationaal verband geen overeengekomen methode om de bijdrage te berekenen. Binnen het klimaatbeleid wordt er ook geen uitsplitsing gemaakt welk deel van de besparing volgt uit de inzet van digitale technologie ten opzichte van een andere technologie. Er zijn een beperkt aantal case studies uitgevoerd naar de inzet individuele technologieën die onderling niet goed vergelijkbaar zijn. Het samenvoegen van case studies leidt niet tot representatieve resultaten vanwege diverse methodologische uitdagingen.

Het beleid gericht op het bevorderen van innovatie ten behoeve van emissiereductie is in grote mate technologie-neutraal. De reden hiervoor is dat er geen aanwijzingen zijn in de literatuur dat digitalisering een efficiëntere technologie is om emissies te reduceren dan een andere technologie. Er zijn wel andere publieke belangen om het innovatieproces te sturen. Voorbeelden hiervan zijn strategische autonomie of het gebruik van kritieke grondstoffen. Dit zijn voor de EU hoofdoverwegingen om digitalisering te koppelen aan de klimaatopgave met de *Twin Transition* strategie.

De snelle ontwikkelingen op het terrein van digitalisering leiden tot een groot aantal toepassingen in alle sectoren binnen het klimaatbeleid. De toepassingen veranderen het economisch proces via de innovatiedynamiek, het consumptiepatroon, het aanbod van producten en diensten, de waardeketen in productie en de afstemming tussen vraag en aanbod. Een verandering van het economisch proces is beleidsmatig relevant wanneer het raakt aan publieke belangen. Dit zijn markt-, systeem- en transformatiefalen, verdelingseffecten, publieke goederen en overheidsfalen. De meeste veranderingen zijn efficiëntieverbeteringen in de productie die niet of in zeer beperkte mate effect hebben op publieke belangen. Bij een beperkt aantal ontwikkelingen is dit wel het geval. Bij de volgende toepassingsgebieden zijn er sterke aanwijzingen dat ze leiden tot emissiereductie en raken aan publieke belangen (Tabel 5.1).

Tabel 5.1 Toepassingsgebieden waar digitalisering tot verduurzaming leidt

Mobiliteit	Elektriciteit	Industrie
Mobility as a Service	Optimalisering van de energieopwekking	Optimalisatie van materiaalgebruik met data-deling
Verkeersmanagement	Datagedreven afstemming energieverbruik	Optimalisatie van productieprocessen
Thuiswerken	Flexibel netbeheer	

Gebaseerd op kennis uit literatuuronderzoek, focusgroepen en interviews, presenteren wij een reeks aanbevelingen voor beleidsontwikkeling. Onze aandacht is gericht op de sectoren mobiliteit, elektriciteit en industrie, aangezien deze beleidsmatig het meest relevant zijn en omdat in deze sectoren de uitstoot het hoogste is.

De aanbevelingen voor het beleid in de mobiliteitssector om emissiereductie in Nederland te realiseren:

- **Stimuleer mobiliteitsvormen met lage emissies.** Mobiliteitsvormen met lage emissies (deelmobiliteit) nemen waarschijnlijk toe in Nederland, maar kennen een ongelijke behandeling van de overheid vergeleken met bijv. autobezit.
- **Stimuleer ontwerp normen voor uitwisseling data verkeerssystemen.** Verkeerssystemen gebruiken data om het verkeer soepel te laten doorstromen om zo emissies te beperken. Deze data is vaak in bezit van verschillende partijen (Rijkswaterstaat of individuele autofabrikanten) maar er zijn weinig mogelijkheden om te delen. Beleid om deze data-uitwisseling te faciliteren kan bijdragen aan een efficiënter verkeersmanagement.

De aanbevelingen voor het beleid in de elektriciteitssector om emissiereductie in Nederland te realiseren:

- **Stimuleer digitale optimalisatie van energieopwekking:** Beleid moet gericht zijn op het bevorderen van digitale optimalisatie van energieopwekking. Investeer in kunstmatige intelligentie en slimme asset tracking om de efficiëntie van hernieuwbare energiebronnen zoals zonnepanelen en windmolens te verbeteren. Dit kan worden bereikt door financiële prikkels en subsidieprogramma's voor innovatieve projecten te introduceren
- **Normering van digitale sensoren:** Ontwikkel normen voor het gebruik van digitale sensoren in de duurzame energieopwekking. Deze normen zullen de effectiviteit vergroten en de consistentie in de sector waarborgen. Stimuleer onderzoek en ontwikkeling om geavanceerde sensortechnologieën te bevorderen.
- **Data-gedreven afstemming van energieverbruik:** Faciliteer en normeer data-gedreven afstemming van energieverbruik. Begin met het implementeren van deze technologieën in overheidsgebouwen als een pilotproject. Dit zal niet alleen emissies verminderen, maar ook als een voorbeeld dienen voor de private sector.
- **Flexibel netbeheer:** Investeer in digitalisering van het elektriciteitsnet en promoot flexibel netbeheer. Ontwikkel standaarden voor datadeling en communicatie tussen systemen om een soepele werking van het net te waarborgen. Werk samen met bestaande marktinitiatieven en ondersteun netbeheerders in de implementatie van deze technologieën.

De aanbevelingen voor het beleid in de industriesector om emissiereductie in Nederland te realiseren:

- **Stimuleer datadeling in de maakindustrie:** Introduceer beleid dat datadeling tussen private partijen in de maakindustrie bevordert. Dit kan onder andere worden bereikt door het vaststellen van normen voor gegevensinteroperabiliteit. De overheid kan een rol spelen als bemiddelaar en aanjager van samenwerking.
- **Stimuleer ontwikkeling van een gemeenschappelijke 'taal' voor systemen:** Ondersteun de ontwikkeling van een gemeenschappelijke 'taal' voor systemen in de maakindustrie. Dit zal helpen bij het verbeteren van de efficiëntie en het bevorderen van automatisering. Werk samen met brancheverenigingen en technologiebedrijven om deze standaarden vast te stellen.
- **Digitalisering in de Industrie:** Breid het Smart Industry-initiatief uit en zorg voor bredere betrokkenheid van bedrijven in de industrie. Ontwikkel trainingsprogramma's om medewerkers op te leiden in digitale technologieën. Dit zal helpen om de digitalisering van de industrie te versnellen en de energie-efficiëntie te verbeteren.



# Bijlage A Literatuur

Acemoglu et al. (2016). Transition to clean technology.

Achachlouei & Hilty (2015). Modeling the Effects of ICT on Environmental Sustainability: Revisiting a System

Albayati (2017). What Is The Internet of Things (IoT).

Aruo (2019). Digital twin. Towards a meaningful framework.

Bijlsma & Overvest (2018). Digitalisering R&D.

Dynamics Model Developed for the European Commission.

Berkhout & Hertin (2001). Impacts of information and communication technologies on environmental sustainability: speculations and evidence.

Brink & Prins (2022). Hoe kan circulaire-economiebeleid bijdragen aan de klimaatdoelstelling?

Brynjolfsson & McAfee (2014). The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies.

Brynjolfsson et al. (2019). Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox.

Bucci et al. (2019). When accuracy of measurements matter: economic profitability from precision agriculture.

BZK (2022). Hoofdlijnen beleid voor digitalisering.

Draca et al. (2009). Productivity and ICTs: A review of the evidence.

Europese Commissie (2022). Twin Transition.

EZK (2019). Aanpak sleuteltechnologieën.

EZK (2020). Klimaatplan 2021-2030. Den Haag

EZK (2021). Nederlandse Digitaliseringsstrategie 2021.

EZK (2022). Strategie Digitale Economie.

GeSi (2008). SMART 2020. Enabling the Low Carbon Economy in the Information Age.

GeSi (2012). SMARTer 2020: The Role of ICT in Driving a Sustainable Future.

GeSi (2015). #SMARTer2030. ICT Solutions for 21st Century Challenges.

- Gordon (2018). Why has economic growth slowed when innovation appears to be accelerating?
- Hilty et al. (2006). The relevance of information and communication technologies for environmental sustainability: A prospective simulation study.
- IBO Klimaat (2023). Scherpe doelen, scherpe keuzes.
- IenW (2019). MaaS-pilots - Optimaliseren van het mobiliteitssysteem.
- IenW (2022). Stand van zaken uitvoering klimaatbeleid mobiliteit.
- IenW (2023). Wanneer kan ik een volledig zelfrijdende auto kopen?
- Jorda et al. (2013). Estimating the potential reductions in energy demand through efficiency, control and lifestyle change in a real home.
- Mallon et al. (2014). Connecting with a low carbon future.
- KiM (2021). Deelauto- en deelfietsmobiliteit in Nederland: ontwikkelingen, effecten en potentie.
- KiM (2022). Achtergrondrapport betalen naar gebruik.
- KiM (2022). Het wijdverbreide autobezit in Nederland.
- Lucking, Bloom & Van Reenen (2018). Have R&D Spillovers Changed?
- LNV (2021). Inzet van digitalisering voor een duurzame landbouw- en voedselketen en robuuste natuur.
- Marsh et al. (2017). ), We see ICT spillovers everywhere but in the econometric evidence: a reassessment.
- Moberg et al. (2011). Books from an environmental perspective—Part 2: E-books as an alternative to paper books.
- Motivaction (2021). De vraagmonitor slimme meter.
- Netbeheer Nederland (2021). Het energiesysteem van de toekomst: integrale infrastructuurverkenning 2030-2050.
- Ossokina et al. (2019). Do parking fees support efficient land use in cities?
- PBL (2021). Thuiswerken en de gevolgen voor wonen, werken en mobiliteit.
- PBL (2022). Klimaat- en Energieverkenning 2022.
- Rathenau Instituut (2022). *Stroom van data - Energiedata benutten voor een maatschappelijk verantwoorde energietransitie*. Den Haag. Auteurs: Dekker, R., E. Masson, R. de Jong en R. van Est

Rli (2021). Digitaal duurzaam.

Saddik (2018). Digital Twins: The Convergence of Multimedia Technologies.

Shind & Shah (2018). A Review of Machine Learning and Deep Learning Applications.

Smart industry (2022). Schaalsprong Agenda 2022-2026

Thaseen et al. (2022). An Review on Internet of Things (IOT) in Creating Better World Through Reduction in Emission of Greenhouse Gases - Multiple Regression Analysis.

TNO (2023). Urban strategy: Local digital twins for sustainable mobility and liveable cities.

Van Reenen et al. (2010). The economic impact of ICT.

Weber & Rohrer (2012). Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change: Combining insights from innovation systems and multi-level perspective in a comprehensive 'failures' framework.

World Economic Forum (2022a). Digital for Climate Scenarios.

World Economic Forum. (2022b). [D4C - Solution Explorer \(genial.ly\)](#)

Zhao, Gao, & Sun (2023). The impact of artificial intelligence on pollution emission intensity—evidence from China.

## Bijlage B Gesprekspartners

De volgende experts zijn geïnterviewd bij dit onderzoek. De uitkomsten van deze gesprekken zijn verwerkt in de rapportage. De experts zijn niet gevraagd de uitkomsten van het onderzoek te onderschrijven.

- Bart Swanenvleugel (Rli)
- Daan van Es (Wageningen University & Research)
- Daniël Frijters (ECP)
- Dorus Teeuwen (ComCon)
- Edwin Zondervan (Universiteit Twente)
- Jeroen van der Tang (NL Digital)
- Leo Dijkstra (IBM)
- Matthijs Veenkant (EZK)
- Noël Coenraad (Vattenfal)
- Patricia Lago (VU)
- Rob Aarse (TLN)
- Romy Dekker (Rathenau Instituut)
- Sekhar Lahiri (Metaal Nederland)
- Siebe Kok (Energie-Nederland)
- Thijmen van Bree (TNO)
- Wessel Kouw (BZK)
- Wout van den Heuvel (TLN)



# “De wetenschap dat het goed is.”

SEO Economisch Onderzoek doet onafhankelijk toegepast onderzoek in opdracht van overheid en bedrijfsleven. Ons onderzoek helpt onze opdrachtgevers bij het nemen van beslissingen. SEO Economisch Onderzoek is gelieerd aan de Universiteit van Amsterdam. Dat geeft ons zicht op de nieuwste wetenschappelijke methoden. We hebben geen winstoogmerk en investeren continu in het intellectueel kapitaal van de medewerkers via promotietrajecten, het uitbrengen van wetenschappelijke publicaties, kennisnetwerken en congresbezoek.

**SEO-rapport 2023-93**

**ISBN 978-90-5220-321-8**

## **Informatie & Disclaimer**

SEO Economisch Onderzoek heeft op de verkregen informatie en data geen onderzoek uitgevoerd dat het karakter draagt van een accountantscontrole of due diligence. SEO is niet verantwoordelijk voor fouten of omissies in de verkregen informatie en data.

## **Copyright © 2023 SEO Amsterdam.**

Alle rechten voorbehouden. Het is geoorloofd gegevens uit dit rapport te gebruiken in artikelen, onderzoeken en collegesyllabi, mits daarbij de bron duidelijk en nauwkeurig wordt vermeld. Gegevens uit dit rapport mogen niet voor commerciële doeleinden gebruikt worden zonder voorafgaande toestemming van de auteur(s). Toestemming kan worden verkregen via [secretariaat@seo.nl](mailto:secretariaat@seo.nl).

Roetersstraat 29  
1018 WB, Amsterdam

**+31 20 399 1255**  
[secretariaat@seo.nl](mailto:secretariaat@seo.nl)  
[www.seo.nl](http://www.seo.nl)