

Digitale trendverkenning: vooruitkijken naar de digitale trends voor de stad van morgen

TNO 2025 R12196 – 16 oktober 2025

Digitale trendverkenning: vooruitkijken naar de digitale trends voor de stad van morgen

Auteurs	Annelieke van den Berg, Thijmen van Gend, Shanita Rambharos, Tanja Vonk
Rubricering rapport	TNO Publiek
Titel	TNO Publiek
Rapporttekst	TNO Publiek
Bijlagen	TNO Intern
Aantal pagina's	79 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	2
Opdrachtgever	Gemeente Breda
Projectnaam	Digitale trendverwerking Bredata
Projectnummer	060.64170

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

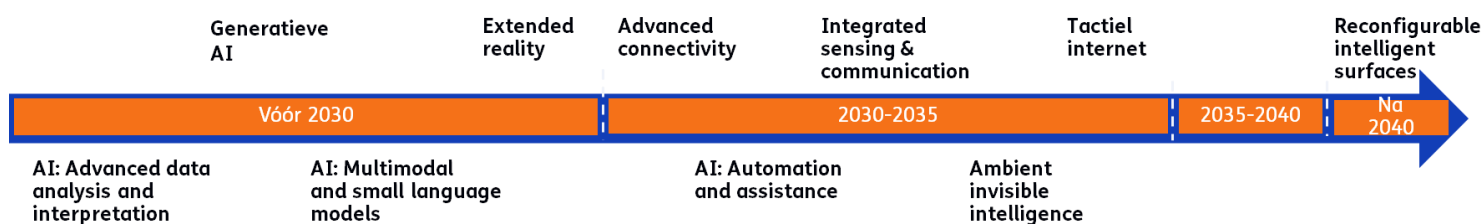
© 2025 TNO

Samenvatting

In 2030 wil de Gemeente Breda dé stad zijn die grenzeloos, gastvrij en groen is en waar de digitalisering bijdraagt aan de kwaliteit van leven in Breda. Deze ambitie is geformuleerd in het Masterplan Digitalisering-Breda. Om de visie te realiseren zijn in de afgelopen jaren verschillende experimenten met digitale innovaties uitgevoerd waarbij diverse nieuwe technologieën zijn getest. Om de komende jaren de juiste experimenten samen met het ecosysteem op te zetten is de vraag van Breda aan TNO wat er in de komende jaren op de stad en regio afkomt, niet alleen aan maatschappelijke trends, maar ook op het gebied van digitalisering en nieuwe technieken en hoe digitalisering en trends in positieve zin kunnen bijdragen aan maatschappelijke trends. Niet alleen morgen, maar ook overmorgen: vanaf 2030.

De Gemeente Breda heeft in 'De Trendverkenning 2024 'Trends Brede Welvaart' tien maatschappelijke trends voor de toekomstige stedelijke ontwikkeling van de stad op een rij gezet. Breda heeft vervolgens aan TNO gevraagd onderzoek te doen naar de digitale trends die op de stad afkomen en hoe zij een bijdrage leveren aan die maatschappelijke trends. Het doel van het onderzoek is enerzijds bewustwording van opkomende technologieën, anderzijds om te inspireren en te verkennen wat hun potentieel is om de kwaliteit van leven in Breda te verbeteren.

Voor dit onderzoek zijn in totaal 50 opkomende digitale technologieën geïdentificeerd, op basis van literatuuronderzoek en expert interviews. Op basis van de toepasbaarheid van de technologie in een stedelijke context en de aansluiting bij maatschappelijke trends is door het team van Breda en TNO een shortlist van tien technologieën samengesteld. De 10 technologieën zijn voor dit onderzoek onderverdeeld in vier categorieën. Het gaat om Connectiviteitstechnologieën, Internet of Things, Immersieve technologieën en Kunstmatige intelligentie (AI) en data. In figuur 1 worden de 10 technologieën weergegeven. Het verwachte zichtjaar van deze technologieën varieert: sommige technologieën worden al breed toegepast, terwijl van anderen de verwachte uitrol verder in de toekomst ligt.



Figuur S.1.1: Overzicht technologieën

De belangrijkste onderzoeksbevindingen zijn:

1. Er is op dit moment geen zicht op geheel nieuwe digitale toepassingen voor stedelijke maatschappelijke trends, zoals eerder het geval was met bijvoorbeeld Digital Twins of drones. Na 2030 ligt digitale innovatie vooral in het *verbeteren* van snelheid, stabiliteit en het *slim combineren* van bestaande technologieën, met uitzondering van AI dat mogelijkheden biedt voor vergaande ondersteuning en automatisering. De verwachte komst van 6G vormt een belangrijk kantelpunt: deze technologie maakt real-time, veilige en betrouwbare toepassingen mogelijk. Denk aan toepassingen zoals verkeersmanagement of crowdmanagement bij evenementen, waarbij directe respons en hoge betrouwbaarheid essentieel zijn.
2. Uit de literatuur en expertinterviews komen veel mogelijke bijdragen van de digitale trends aan de maatschappelijke trends naar voren. Ze kunnen bijvoorbeeld bijdragen aan efficiënter werken, betere besluitvorming en toegankelijke zorg. Tegelijkertijd zijn veel toepassingen nog theoretisch of vooral ontwikkeld binnen domeinen zoals logistiek, waar al meer geëxperimenteerd is. De ervaringen in stedelijke en maatschappelijke contexten zijn nog vaak beperkt. De Proeftuinen van Breda vormen een kansrijke omgeving om deze technologieën verder te verkennen en te toetsen binnen de stedelijke en maatschappelijke context van Breda.
3. De effectiviteit van de technologieën is sterk afhankelijk van een robuuste digitale data-infrastructuur, voldoende digitale geletterdheid en vaardigheden onder inwoners en professionals, en duidelijke kaders voor privacy, transparantie en andere publieke waarden. Deze voorwaarden zijn nodig om zowel het potentieel van de technologieën te benutten, als de risico's ervan in te perken. Hieronder vallen bijvoorbeeld ongewenste afhankelijkheid (zoals vendor lock-in), lange-termijn beschikbaarheid, ondoorzichtige besluitvorming, en het vervagen van publieke en private verantwoordelijkheden. Ook moet niet vergeten worden dat digitale oplossingen extra uitgaven met zich meebrengen, bijvoorbeeld voor aanschaf, testen, beheer en energieverbruik.
4. Het is van belang om oog te hebben voor de manier waarop digitalisering bestaande ongelijkheden kan versterken. Uit de verkenning blijkt dat de digitale technologieën kunnen bijdragen aan een inclusievere samenleving. Zo kunnen virtuele ontmoetingen sociale contacten bevorderen voor mensen die anders geïsoleerd raken, bijvoorbeeld door fysieke beperkingen of geografische afstand. Tegelijkertijd kan digitalisering kansenongelijkheid vergroten. Niet iedereen beschikt bijvoorbeeld over de vaardigheden of (financiële) middelen om technologie effectief te gebruiken. In sommige gevallen vergroten digitale toepassingen juist de kloof in toegang tot informatie, zorg of dienstverlening.

Aanbevelingen en mogelijke experimenten

Voor het opzetten van experimenten wordt aanbevolen om te richten op technologieën die vóór 2035 toepasbaar zijn. Technologieën met een langere termijn zijn vaak nog onvoldoende ontwikkeld, waardoor experimenteren en implementeren lastig zijn. Verder bevelen we aan te kiezen voor technologieën die zichtbaar en herkenbaar zijn voor inwoners en bedrijven. Sommige technologieën die gericht zijn op snellere en stabielere communicatie, zoals advanced connectivity, zijn minder tastbaar maar wel essentieel als ondersteunende infrastructuur.

Op basis van verwachte volwassenheid en zichtbaarheid zou Bredata kunnen kiezen om te experimenteren met de volgende technologieën:

- › *Extended Reality (XR)* benutten in participatieprocessen. Denk aan het door XR-visualisaties kunnen 'ervaren' van toekomstige gebiedsontwikkeling of faciliteren van sociale interactie (inclusie). Dit kan in combinatie met fysieke locaties om de digitaal minder vaardigen te betrekken en draagt bij aan contacten voor sociale cohesie (inclusiviteit). Dit sluit aan bij de maatschappelijke trends 'Groei van de gemeente' en 'Ruimtelijke transformatie'.
- › Het stimuleren van een gezondere en leefbare omgeving met op AI gebaseerde data-analysemodellen (onderdeel van *AI advanced data analysis en interpretation*), om data uit slimme sensoren (zoals luchtkwaliteit, geluid, mobiliteit én IoT-sensoren op gebouwen en infrastructuur) te combineren en analyseren voor inzichten in gerichte investeringen voor woningbouw, infrastructuur, vergroening en onderhoud. Dankzij nieuwe ontwikkelingen kan AI naar verwachting steeds meer maatschappelijke belangen beschouwen, zoals gezondheid en leefbaarheid, wat bijdraagt aan een gezondere en toekomstbestendige leefomgeving. Dit sluit aan bij maatschappelijke trends 'Groei van de gemeente', 'Ruimtelijke transformatie', 'Woningcrisis stagnatie van woningbouw', en 'Gezondheidskloof'.

De volgende toepassingen zijn vernieuwend en veelbelovend voor gebruik in een stedelijke omgeving, maar ook nog in ontwikkeling met een zichtjaar voor commerciële uitrol ver na 2030:

- › *AI-agents* (onderdeel van *AI automation and assistance*) inzetten om patiënten en ouderen thuis te ondersteunen door medische informatie begrijpelijk uit te leggen en gepersonaliseerde leefstijladviezen geven, eventueel verrijkt met data uit gezondheidssensoren en persoonlijke agenda's. Een kleinschalig experiment met dergelijke AI agents in de thuissituatie kan waardevolle inzichten opleveren in gebruiksgemak, betrouwbaarheid, en impact op zelfredzaamheid en gezondheid. Dit sluit aan bij de maatschappelijke trends 'Vergrijzing' en 'Gezondheidskloof'.
- › 'Slimme spiegels' (Reconfigurable Intelligent Surfaces) als experiment. Hoewel wat verder in de toekomst gelegen, zou een RIS in een gebied met slecht bereik ingezet kunnen worden om draadloze signalen zoals wifi of mobiele netwerken actief te sturen en versterken. Denk bijvoorbeeld aan geautomatiseerde communicatie tussen automobilisten, fietsers, en de wegbeheerder; bezoekers van een stedelijk evenement informeren over druktehotspots; en het bereik van communicatiemiddelen van hulpverleners waarborgen bij grote evenementen. Dit sluit aan bij de maatschappelijke trend 'Groei van de gemeente'.

De huidige proeftuinen van Bredata brengen lokale stakeholders samen en vormen een vruchtbare basis voor experimenten met digitale technologie. Door nu te starten met nulmetingen van kennis en ervaring, ontstaat inzicht in de mate van bekendheid met relevante technologieën, waar kansen liggen voor nieuwe experimenten, en welke ondersteuning bedrijven en organisaties daarbij nodig hebben vanuit Bredata.

Tot slot wordt aanbevolen om bij het opzetten van experimenten, aan te sluiten bij bestaande netwerken en initiatieven. Het delen van kennis en capaciteit kan de drempel om te experimenteren verlagen, de doorlooptijd verkorten, en kennisdeling stimuleren. Denk daarbij bijvoorbeeld aan:

- › Het landelijke samenwerkingsverband Appl.AI, waar gemeenten via concrete use cases kunnen bijdragen aan onderzoek en ontwikkeling. Dit vergroot de toegang tot expertise en infrastructuur, en verhoogt de relevantie en impact van lokale toepassingen.

- › De Breda Game Hub, een samenwerking tussen de Provincie Noord-Brabant, Gemeente Breda en Breda University of Applied Sciences.
- › Samenwerking en kennisuitwisseling via platforms zoals de Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG) essentieel voor het ontwikkelen van schaalbare, inclusieve en toekomstbestendige oplossingen.
- › De Citydeal Over AI, een samenwerking tussen overheden, kennisinstellingen, maatschappelijke organisaties en bedrijven om gezamenlijk te leren hoe AI verantwoord en effectief ingezet kan worden voor maatschappelijke opgaven in steden en dorpen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding	8
1.1 Leeswijzer	8
2 Methodologische verantwoording	10
2.1 Selectie digitale trends	10
2.2 Matching digitale en maatschappelijke trends	10
3 Maatschappelijke trends	12
3.1 Krapte op de arbeidsmarkt	12
3.2 Digitalisering	12
3.3 Kansenongelijkheid	13
3.4 Groei van de gemeente	13
3.5 Ruimtelijke transformatie	13
3.6 Woningcrisis en stagnatie van woningbouw	14
3.7 Vergrijzing	14
3.8 Gezondheidskloof	14
3.9 Maatschappelijk klimaat	15
3.10 Verslechterde Rijksfinanciën	15
4 Digitale trends en hun bijdragen aan maatschappelijke trends	17
4.1 Connectiviteitstechnologieën	18
4.2 Internet of Things	25
4.3 Immersieve technologieën	32
4.4 Kunstmatige intelligentie en data	39
4.5 Aandachtspunten voor digitalisering en kansenongelijkheid	61
5 Conclusie en aanbevelingen	66
5.1 Conclusie	66
5.2 Aanbevelingen	67
Referenties	70
Bijlagen	
Bijlage A: Trendrapporten digitalisering	77
Bijlage B: Overzicht geïnterviewde experts en interviewprotocol	79

1 Inleiding

De Gemeente Breda wil de digitalisering van de stad op een verantwoorde en passende manier vormgeven. Om deze ambitie te realiseren, is samen met betrokken partijen een digitale visie ontwikkeld: Bredata – het Masterplan Digitalisering. In deze visie staat centraal dat Breda in 2030 excelleert als een stad waarin digitalisering ten dienste staat van de mens. Technologie draagt bij aan de kwaliteit van leven, met een digitale infrastructuur van topniveau, terwijl er tegelijkertijd ruimte blijft voor rust, fysiek contact en menselijke interactie.

Het team Bredata brengt partners – waaronder bedrijven, overheden, onderwijsinstellingen, maatschappelijke organisaties en gemeentelijke afdelingen – samen in de digitale transitie, als manier om elkaar in de stad te kunnen helpen. De kernwaarden van Bredata zijn hierbij: leren, verbinden en innoveren. In de voorgaande jaren heeft Bredata verschillende digitale innovaties getest, zoals bijvoorbeeld de Digital Twin en drones, en is daarmee geëxperimenteerd binnen de proeftuinen Dagelijks Leven, Hazeldonk en Binnenstad.

De vraag van Bredata is nu wat er in de komende jaren op de stad afkomt op het gebied van digitalisering en nieuwe technieken. Niet morgen, maar overmorgen: vanaf 2030. Eerder heeft de Gemeente Breda de maatschappelijke trends in een trendanalyse op een rij gezet en een top 10 geselecteerd. Bredata, onderdeel van de Gemeente Breda, heeft TNO gevraagd onderzoek te doen naar welke digitale trends een bijdrage kunnen leveren om met deze maatschappelijke ontwikkelingen om te gaan en op welke wijze zij de stad en haar inwoners kunnen ondersteunen. De centrale onderzoeksvraag luidt:

Welke digitale ontwikkelingen komen op de stad en haar inwoners af, hoe sluiten deze aan bij de door Breda geïdentificeerde maatschappelijke trends en welke combinaties bieden mogelijkheden voor partners om digitale innovaties op een positieve manier in te zetten voor de maatschappelijke vraagstukken van de stad?

In dit rapport brengt TNO relevante digitale trends in kaart en ondersteunt de ontwikkeling van kennis om toekomstige maatschappelijke en technologische ontwikkelingen met elkaar te verbinden. De uitkomsten van het onderzoek kunnen partners en partijen binnen het Bredase ecosysteem inspireren om te experimenteren met nieuwe technologieën. Daarnaast draagt het bij aan bewustwording over opkomende digitale mogelijkheden en hun impact op de kwaliteit van leven in Breda.

1.1 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 biedt een beknopte toelichting op de tien maatschappelijke trends die door de Gemeente Breda zijn geïdentificeerd in de Trendverkenning 2024 'Trends Brede Welvaart' (Gemeente Breda, n.d.). In hoofdstuk 3 wordt de methodologische aanpak van het onderzoek uiteengezet. Hoofdstuk 4 presenteert de geselecteerde technologieën en legt de koppeling tussen maatschappelijke en digitale trends. Per technologie wordt beschreven wat deze inhoudt en op welke wijze zij kunnen bijdragen aan het aanpakken van maatschappelijke opgaven. Ook worden in dit hoofdstuk de randvoorwaarden en risico's van digitale technologieën besproken. Het rapport sluit af met hoofdstuk 5, waarin de

belangrijkste bevindingen worden samengevat en aanbevelingen worden gedaan voor het experimenteren met nieuwe digitale technologieën.

2 Methodologische verantwoording

Het onderzoek naar de digitale trends is in twee fases uitgevoerd. In fase 1 werd een proces doorlopen om tot een selectie te komen van de meest relevante digitale trends. In fase 2 vond een matching plaats tussen de digitale en maatschappelijke trends. Hieronder worden de onderzoeksactiviteiten van beide fases in beschreven.

2.1 Selectie digitale trends

In fase 1 van het onderzoek is een selectie gemaakt van digitale trends. Er is een deskresearch uitgevoerd waarbij digitale trendrapporten van adviesbureaus en publieke organisaties zijn geanalyseerd. In bijlage A staat een overzicht van de rapporten. Alle technologieën die in de rapporten worden genoemd, zijn opgenomen in een longlist van mogelijk relevante toepassingen en voorzien van definities. Deze longlist is tijdens een werksessie met team Breda besproken. Op basis van twee criteria is vervolgens gezamenlijk een selectie gemaakt voor een shortlist:

1. de potentie van de technologie om toegepast te worden in een stedelijke context;
2. de relevantie voor de maatschappelijke trends zoals geformuleerd door de Gemeente Breda.

Tot slot is gecontroleerd of zowel de longlist als de shortlist volledig en representatief zijn. Dit is gedaan aan de hand van twee reviews door TNO-experts op het gebied van digitale trendanalyses, tijdens interviews met experts over maatschappelijke trend (zie 2.2) en via een interne workshop. In een aantal gevallen noemden de experts technologieën met betrekking tot specifieke maatschappelijke trends die niet in de shortlist waren opgenomen maar wel in de longlist. Er zijn geen technologieën genoemd die niet op de longlist stonden.

2.2 Matching digitale en maatschappelijke trends

In fase 2 is een koppeling gemaakt tussen de maatschappelijke- en digitale trends, om de kansen te verkennen waarop de digitale technologieën kunnen bijdragen aan de maatschappelijke opgaven van Gemeente Breda. Hiervoor zijn eerst semigestructureerde interviews uitgevoerd met TNO-experts die onderzoek doen op een of meerdere thema's die raken aan de maatschappelijke trends die door de Gemeente Breda zijn geïdentificeerd. In Appendix B is een overzicht van de geïnterviewde experts en het interviewprotocol te vinden. Alle interviews duurden tussen 45 en 60 minuten. Aangezien verschillende maatschappelijke trends onderlinge samenhang hebben, kon vaak één expert ons van informatie voorzien over meerdere maatschappelijke trends. De groei van de gemeente drijft bijvoorbeeld de behoefte naar woningen en ruimtelijke transformaties, en heeft invloed op de sociale cohesie en dus het maatschappelijk klimaat. Er werd geen apart interview gehouden over de trend 'Digitalisering', omdat de impact van digitalisering op maatschappelijke opgaven in dit gehele onderzoek centraal staat en deze trend dus automatisch al bij alle interviews aan

bod kwam. Ook de trend ‘Kansenongelijkheid’ werd meegenomen in vrijwel alle interviews, aangezien dit thema met verschillende maatschappelijke trends verbonden is. Zo hebben bepaalde groepen minder toegang tot de arbeidsmarkt, passende huisvesting en gezondheidszorg.

Vervolgens zijn er twee workshops georganiseerd met circa 35 experts binnen de TNO unit ICT, strategy and policy, als onderdeel van de validatie- en reflectiefase van het onderzoek. Tijdens een brainstorm zijn de maatschappelijke trends op posters toegelicht inclusief de mogelijke technologieën en specifieke toepassingen die genoemd zijn door experts in de interviews en in de literatuur. De experts werd gevraagd om per uitdaging te reflecteren op de bevindingen en de volgende vragen te beantwoorden op post-its:

- › Hoe realistisch is het dat de voorgestelde technologische toepassing in 2030 gereed is?
- › Wat is er nodig om deze toepassing te realiseren?
 - Wat zijn de technische vereisten?
 - Wie zijn de belangrijkste stakeholders?
- › Welke potentieel kansrijke technologieën of toepassingen zijn mogelijk over het hoofd gezien?

De interviews en workshops leverden veel informatie op. Voor dit onderzoek zijn uitsluitend die inzichten geselecteerd die zowel relevant zijn voor de maatschappelijke problematiek als toepasbaar binnen stedelijke omgevingen. De geselecteerde resultaten zijn vervolgens geclusterd per technologie. Met het team Bredata is vervolgens afgestemd hoe de informatie gepresenteerd wordt en is gekozen om in dit rapport te focussen op het volgende:

- › de werking van de technologieën;
- › wanneer de verwachte uitrol van de technologie is (zichtjaar);
- › voorbeelden van bestaande toepassingen in Europa en daarbuiten.

Indien de inzichten verkregen uit de interviews en workshops onvoldoende informatie verschaften over specifieke aspecten van het onderzoek, zijn aanvullende bronnen geraadpleegd ter verdieping en aanvulling van de analyse.

3 Maatschappelijke trends

De Trendverkenning 2024 'Trends Brede Welvaart' (Gemeente Breda, n.d.) identificeert tien maatschappelijke trends die relevant zijn voor de toekomstige stedelijke ontwikkeling van Breda. Hieronder volgt een korte toelichting op elk van deze trends, aangevuld met inzichten uit de expertinterviews, voor zover de experts specifiek op deze trends zijn ingegaan.

3.1 Krapte op de arbeidsmarkt

Om goed te kunnen functioneren, hebben organisaties voldoende personeel nodig, dat specifieke vaardigheden heeft en productief genoeg is. Daarnaast moeten de organisaties aangesloten zijn op een voldoende hoogwaardige (digitale) infrastructuur. We spreken van 'krapte op de arbeidsmarkt' als een groot aantal organisaties worstelt met één of meerdere van deze factoren. In Breda lijkt arbeidskrapte aan te houden, vanwege vergrijzing en een dalend aantal inwoners tussen de 15 en 30 jaar (Gemeente Breda, n.d.). Krapte op de arbeidsmarkt vormt enerzijds een risico voor arbeidsproductiviteit en leidt tot grotere concurrentie om talent, maar kan anderzijds een kans bieden voor inwoners met afstand tot de arbeidsmarkt om toch via bijvoorbeeld bijscholing aan de slag te kunnen gaan. De arbeidsmarktkrapte heeft impact op diverse sectoren binnen zowel de economie als de publieke dienstverlening. Zo kan deze ontwikkeling kan leiden tot vertragingen in cruciale maatschappelijke opgaven, zoals de energietransitie en de bouwambities. Daarnaast zijn de gevolgen van deze trend merkbaar in de samenleving in de zorg en het onderwijs (Gemeente Breda, n.d.).

Uit onze expertinterviews blijkt dat digitale technologieën deze krapte op twee manieren kunnen terugbrengen. In de toekomst kunnen zij de werkdruk verlichten en mogelijkheden creëren voor groei en ontwikkeling. De geselecteerde technologieën kunnen menselijke arbeid vervangen of aanvullen, waardoor de krapte op de arbeidsmarkt wordt verlicht en arbeidskosten dalen. Ook kan men met technologieën beter en anders (her)opgeleid worden. Dat vergroot de inzetbaarheid. Tegelijk zullen nieuwe banen ontstaan of huidige banen veranderen, wat de vraag naar werknemers met bijpassende vaardigheden verhoogt.

3.2 Digitalisering

Digitalisering wordt in bredere zin gebruikt om te verwijzen naar het toenemende gebruik van digitale technologieën in organisaties, sectoren of overheden. Deze trend linkt aan de digitale transformatie, wat verwijst naar de economische en sociale transformatie die wordt veroorzaakt door de massale inzet van digitale technologieën om informatie te genereren, verwerken, delen of verhandelen. Digitalisering biedt verschillende kansen, bijvoorbeeld op het vlak van efficiëntie en toegankelijkheid. Tegelijkertijd kent digitalisering risico's. Zo kunnen privacy, cybersecurity, beschikbaarheid en nauwkeurigheid van producten en diensten onder digitalisering lijden. Ook kan digitalisering kansenongelijkheid vergroten, omdat niet iedereen de benodigde digitale vaardigheden bezit om goed mee te komen in de samenleving, en om ruimtelijke transformaties vragen, bijvoorbeeld vanwege toenemend stroomgebruik.

3.3 Kansenongelijkheid

Sommige individuen hebben vanwege hun achtergrond en situatie meer ‘kansen’ op een hoge brede welvaart dan anderen. Herkomst, thuissituatie, opleidingsniveau, enzovoort blijken bepalend voor prestaties in het onderwijs. Zo zijn er ook ongelijkheden wat betreft gezondheid, woningen, banen, koopkracht, en sociale cohesie. In Breda dreigt de kansenongelijkheid toe te nemen ten gevolge van de energietransitie, vergrijzing, woningnood, en toename van mensen met een migratieachtergrond. Ook de technologische ontwikkelingen die in dit onderzoek worden bestudeerd kunnen kansenongelijkheid vergroten: inwoners die goed met digitale technologie kunnen omgaan, hebben een voorsprong in het dagelijks leven en op de arbeidsmarkt.

3.4 Groei van de gemeente

Het aantal inwoners van Breda groeit. Daarmee groeit de druk op voorzieningen en infrastructuur. Zo zijn meer woningen nodig (verstening) en maken inwoners meer vervoersbewegingen (toename van verkeer, en daarmee overlast van geluid, geur en fijnstof). Als handelingsperspectief noemt de Trendverkenning dat er nog relatief veel ontwikkelgebieden in nabijheid van de binnenstad zijn. Door de schaarste van beschikbare ruimte moeten hier weloverwogen keuzes over worden gemaakt. Het verder verdichten van de stad heeft impact op de leefbaarheid. Wanneer de gemeente groeit is er ook meer ‘groen’ en ‘blauw’ nodig om de recreatiedruk te beperken.

3.5 Ruimtelijke transformatie

De groei van de gemeente (trend 3.4) en de woningcrisis (trend 3.6) vragen om een ‘ruimtelijke transformatie’: een andere manier om met de beschikbare ruimte in Breda om te gaan. De verdichting van de binnenstad, ingegeven door de woningcrisis, zorgt ervoor dat het drukker wordt op straat, in parken, in accommodaties (sport, recreatie, commercie), en instellingen (scholing, zorg, cultuur). De stad streeft naar stedelijke inrichting volgens het ‘nabijheidsprincipe’, waarbij voorzieningen dicht bij huis zijn en inwoners gestimuleerd worden hiernaar te wandelen en fietsen (Gemeente Breda, n.d., p. 37). Daardoor nemen de aantallen lange afstands- en lokale verplaatsingen relatief af en toe (p. 53). Ook worden deze ruimtelijke transformaties ingegeven door de energietransitie, landbouwtransitie, en de wens om biodiversiteit te verstevigen. Vanwege schaarse ruimte past niet alles en moet er creatief worden nagedacht over kansen die kunnen ontstaan bij het herzien van bestaand ruimtegebruik en nieuwe ontwikkelingen. Ook de vergrijzing (trend 3.7) speelt een rol. Door de toename van het aantal mensen met chronische aandoeningen wordt de toegankelijkheid van de openbare ruimte nog belangrijker. Technologieën bieden kansen en dreigingen voor zowel de daadwerkelijke verandering van ruimtegebruik, als de besluitvormingsprocessen daarover. Een concreet voorbeeld is de vraag naar ruimte, elektriciteit en water van de datacenters en clouddiensten die nodig zijn om kunstmatige intelligentie te kunnen draaien.

Binnen deze trend ligt de focus van het onderzoek op (de besluitvorming rondom) ruimtelijke transformaties. De onderliggende ontwikkelingen die deze transformaties noodzakelijk maken zoals groei van de gemeente, woningcrisis en vergrijzing worden behandeld bij de bespreking van de betreffende trends.

3.6 Woningcrisis en stagnatie van woningbouw

De woningcrisis en stagnatie van woningbouw zijn landelijke problemen die ook Breda en omgeving treffen. Er is in Breda al jaren sprake van een onverminderd hoge druk op de onderkant van de woningmarkt, en door de prijsstijgingen van afgelopen jaren hebben ook middengroepen steeds minder keuze in woningen binnen hun prijssegment. Deze dynamiek draagt bij aan kansenongelijkheid in verband met de vermogenskloof. In de economie zal een blijvende vraag zijn naar arbeidsmigranten, waar ook passende woonruimte voor nodig is (Gemeente Breda, n.d.). Ook doordat huishoudens steeds kleiner worden, neemt de vraag naar woningen toe. Er is een nadruk op het realiseren van de woningbehoefte in het bestaande stedelijk gebied, waardoor de binnenstad verdicht. Het splitsen en optoppen van woningen gebeurt hierbij nog relatief weinig, onder andere door gebrek aan lokaal draagvlak.

Buiten de binnenstad ziet de Gemeente Breda kansen voor “gebieden waar voorheen voornamelijk bedrijven waren gevestigd, [die] kunnen worden getransformeerd in efficiënt ingerichte gebieden waar wonen, voorzieningen en werken naast elkaar bestaan.” (Gemeente Breda, n.d. p. 53). Het is steeds vaker lastig om nieuwbouwwijken aan te sluiten op de drinkwater- en elektriciteitsvoorzieningen. Daarnaast verloopt de bouw van nieuwe woningen langzaam en moeizaam, vanwege hoge kosten, tekorten aan materiaal en personeel, en de stijgende rente. Vanwege dit personeelstekort, zijn technologieën die de krapte op de arbeidsmarkt verlichten, ook van waarde voor deze maatschappelijke ontwikkeling.

3.7 Vergrijzing

Vergrijzing is de trend dat het aandeel ouderen in de samenleving groeit. Naar verwachting zal het percentage 65-plussers in Breda stijgen van 18.85 procent van de inwoners tot 24.11 procent van de inwoners in 2050 (Gemeente Breda, n.d.). Door deze groei van het aandeel ouderen neemt ook het aantal mensen met ouderdomsziekten, zoals dementie, artrose, en zintuiglijke stoornissen toe. Hiermee ontstaat er een grotere vraag naar (thuis)zorg en passend vervoer, terwijl er ook door het relatieve slinken van de beroepsbevolking minder werknemers zijn om die diensten te verlenen. Daarmee draagt vergrijzing bij aan krapte op de arbeidsmarkt (trend 1), en zorgt deze krapte dat moeilijk aan de groeiende zorgvraag voldaan kan worden. Voor de groep ouderen die nog actief is op de arbeidsmarkt, is het belangrijk om rekening te houden met verschillen in vaardigheden ten opzichte van jongere collega's. De Gemeente Breda erkent daarnaast dat ouderen op meerdere vlakken specifieke behoeften hebben. Zo wijkt hun woonbehoefte af van die van andere leeftijdsgroepen en zijn er andere behoeften in communicatie, dienstverlening en de inrichting van de openbare ruimte (Gemeente Breda, n.d.) Dit gaat gepaard met vragen als: *Worden ouderen vooral thuis verzorgd, of verhuizen ze naar zorginstellingen? Kunnen ze met allerlei digitale processen omgaan? En hoe kunnen ouderen zich vervoeren door de stad?* Technologieën kunnen in al die gebieden ondersteunen.

3.8 Gezondheidskloof

Het verschil in gezondheid van verschillende groepen in de samenleving heet de gezondheidskloof. Kansengelijkheid is hier een belangrijk onderdeel van: de zorg is niet voor iedereen even toegankelijk en effectief. Zo is het meeste wetenschappelijk gezondheidsonderzoek uitgevoerd op mannen, waardoor behandelplannen de man vaak (impliciet) als uitgangspunt nemen; terwijl vrouwenlichamen significant anders zijn (van der

Wal, 2024). Tegelijk zijn bepaalde groepen vatbaarder voor ziektes of kwalen (zoals ouderen, chronisch zieken of mensen die eenzaamheid ervaren). Vergrijzing is daarom een gerelateerde trend. Ook de toename van migranten in de stad Breda kan het aandeel mensen met een matig tot slechte gezondheidsstatus verhogen. De stijgende druk op de zorg maakt het lastig deze problematiek op te lossen. De Gemeente Breda ziet een kans om meer nadruk te leggen op de preventieve bevordering van gezondheid. Dit is een rol “waarin de gemeente nog aan het groeien is” (Gemeente Breda, n.d., p. 9). Daarnaast blijkt dat technologieën die inspelen op de hierboven beschreven zorgvraag als gevolg van vergrijzing, tevens bijdragen aan het verkleinen van de gezondheidskloof.

3.9 Maatschappelijk klimaat

Het maatschappelijk klimaat verandert continu. Een huidige trend is dat het vertrouwen in zowel de landelijke als gemeentelijke politiek daalt. Volgens de Gemeente Breda (n.d.) is het wantrouwen richting de overheid groter onder jongeren en mensen die meer afhankelijk zijn van de overheid, voor bijvoorbeeld inkomen en zorg. Mensen maken zich zorgen over de koers van Nederland, op uiteenlopende thema's zoals “kansenongelijkheid, de komst van migranten, het tempo en ambitieniveau in de klimaatdoelen, en meer” (p. 63). Ook groeit een gevoel van onveiligheid, soms als resultaat van problematiek op het gebied van zorg, inkomen of kwaliteit van leven. Door individualisering van de samenleving neemt sociaal contact af, en er is gebleken dat buurtcontact met name afneemt in wijken met veel verschillende culturen. Anderzijds draagt de opkomst van burgerinitiatieven en coöperaties juist bij aan het versterken van sociale cohesie. Inwoners voelen zich daardoor meer betrokken bij besluitvorming door overheden.

Digitalisering heeft op verschillende manieren invloed op deze trend. De online leefwereld wordt steeds prominenter en is door ‘handheld devices’ prominent verweven met de fysieke leefwereld. Algoritmes, filter bubbels en online influencers kunnen veel invloed uitoefenen op de beeldvorming over maatschappelijke thema's, en de online wereld speelt een belangrijke rol bij protesten en manifestaties (p. 65). Ook kunnen technologieën besluitvormers beter informeren, bijvoorbeeld met meer of betere data over de leefomgeving, of door analyses en voorspellingen mogelijk te maken.

De invloed van technologische ontwikkelingen op het maatschappelijk klimaat vertoont overeenkomsten met de trend ‘digitalisering’. In aansluiting op de Trendverkenning en de formuleringen van de Gemeente Breda, richt dit onderzoek zich binnen de trend ‘maatschappelijk klimaat’ op de gevolgen voor gevoelens van onveiligheid, wantrouwen en polarisatie.

3.10 Verslechterde Rijksfinanciën

De financiële bijdragen vanuit de Rijksoverheid nemen af. Als deze trend doorzet, dreigen veel gemeenten vanaf 2026 geen sluitende begroting meer te hebben (Gemeente Breda, n.d.). De Gemeente Breda heeft voor 2026 een sluitende begroting weten te realiseren. Toch blijft het risico bestaan dat verdere daling van Rijksmiddelen op termijn druk zet op de kwaliteit en continuïteit van de gemeentelijke dienstverlening.

Digitale technologieën kunnen kansen bieden om de arbeidsproductiviteit van de gemeentelijke organisatie te ondersteunen maken, zoals bij ‘Krapte op de arbeidsmarkt’ benoemd. Technologieën kunnen daarmee helpen om kosten te besparen, maar enkel wanneer de baten opwegen tegen de kosten die de implementatie en het gebruik van technologieën juist meebrengen. Om te voorkomen dat digitalisering sociale ongelijkheid

vergroot, is het belangrijk om vroegtijdig stil te staan bij de effecten ervan op de dienstverlening. Digitalisering moet niet worden gezien als een doel op zich, maar als een middel om processen te verbeteren. Dit kan leiden tot meer efficiëntie en juist ruimte creëren voor persoonlijk contact (Gemeente Breda, n.d.).

4 Digitale trends en hun bijdragen aan maatschappelijke trends

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het onderzoek naar opkomende digitale technologieën gepresenteerd. In dit onderzoek zijn in totaal 50 opkomende digitale technologieën geïdentificeerd. De meeste onderliggende rapporten richten zich op de inzet van technologie voor procesverbetering binnen de bedrijfsvoering, met name in de logistiek en zorgsector. Hierdoor ligt de nadruk van de gevonden toepassingen vooral op deze domeinen en minder op het gebruik van technologie in de stedelijke context. De volledige lijst van 50 technologieën is eerder aan Bredata opgeleverd als naslagwerk voor toekomstig gebruik.

Om de relevantie voor stedelijke vraagstukken te vergroten, is samen met het team Bredata een shortlist van tien technologieën samengesteld. Deze selectie is gebaseerd op de maatschappelijke trends zoals geformuleerd door de Gemeente Breda. De shortlist is onderverdeeld in vier categorieën:

- › connectiviteitstechnologieën: oplossingen die zorgen voor betere en snellere digitale verbindingen;
- › internet of Things (IoT): technologieën die fysieke objecten verbinden met het internet;
- › immersieve technologieën: zoals virtual en augmented reality, die digitale ervaringen verrijken;
- › kunstmatige intelligentie (AI) en data: toepassingen die gebruikmaken van slimme algoritmes en dataverwerking.

In de volgende paragrafen wordt per categorie toegelicht:

- › Wat de categorie inhoudt.
- › Welke technologieën binnen de categorie zijn geselecteerd.
- › Hoe elke technologie werkt of toegepast kan worden, wat deze vernieuwend maakt, en wanneer verwacht wordt dat de technologie in de praktijk zichtbaar wordt.
- › Een inschatting van het verwachte zichtjaar – het moment waarop de technologie naar verwachting zichtbaar wordt in de praktijk. De zichtjaren zijn ingedeeld in vier perioden: vóór 2030, tussen 2030–2035, tussen 2035–2040 en na 2040. Deze tijdsindicaties dienen als oriëntatie en maken het mogelijk om technologieën onderling te vergelijken op basis van hun volwassenheid en praktische toepasbaarheid.

Tot slot wordt per technologie in een tabel weergegeven welke maatschappelijke trends hiermee kunnen worden beïnvloed. Waar mogelijk worden concrete voorbeelden genoemd. Omdat veel technologieën nog in ontwikkeling zijn of nog niet commercieel beschikbaar zijn, zijn veel voorbeelden hypothetisch van aard en gebaseerd op inzichten verkregen via experts en literatuur. Indien een praktijkvoorbeeld of pilot beschikbaar is of genoemd is in de literatuur, wordt dit voorzien van een bronvermelding.

4.1 Connectiviteitstechnologieën



Copyright (c) 2020 metamorworks/Shutterstock.

Connectiviteitstechnologieën maken het mogelijk om apparaten te verbinden met andere apparaten, systemen of het internet. Bekende voorbeelden zijn Wi-Fi, satellietverbindingen en 5G (Odata, 2024). Deze technologieën vormen de ruggengraat van digitale transformatie: ze ondersteunen automatisering, verhogen efficiëntie en maken toepassingen mogelijk die afhankelijk zijn van snelle en betrouwbare verbindingen, zoals cloud computing, Internet of Things (IoT) en immersieve technologieën (McKinsey, 2022).

In dit onderzoek vervullen connectiviteitstechnologieën een faciliterende en soms randvoorwaardelijke rol ten opzichte van andere opkomende technologieën. Omdat connectiviteit per definitie draait om verbinding tussen meerdere systemen of apparaten, is het een essentiële bouwsteen voor de werking en toepassing van veel andere technologieën in dit rapport.

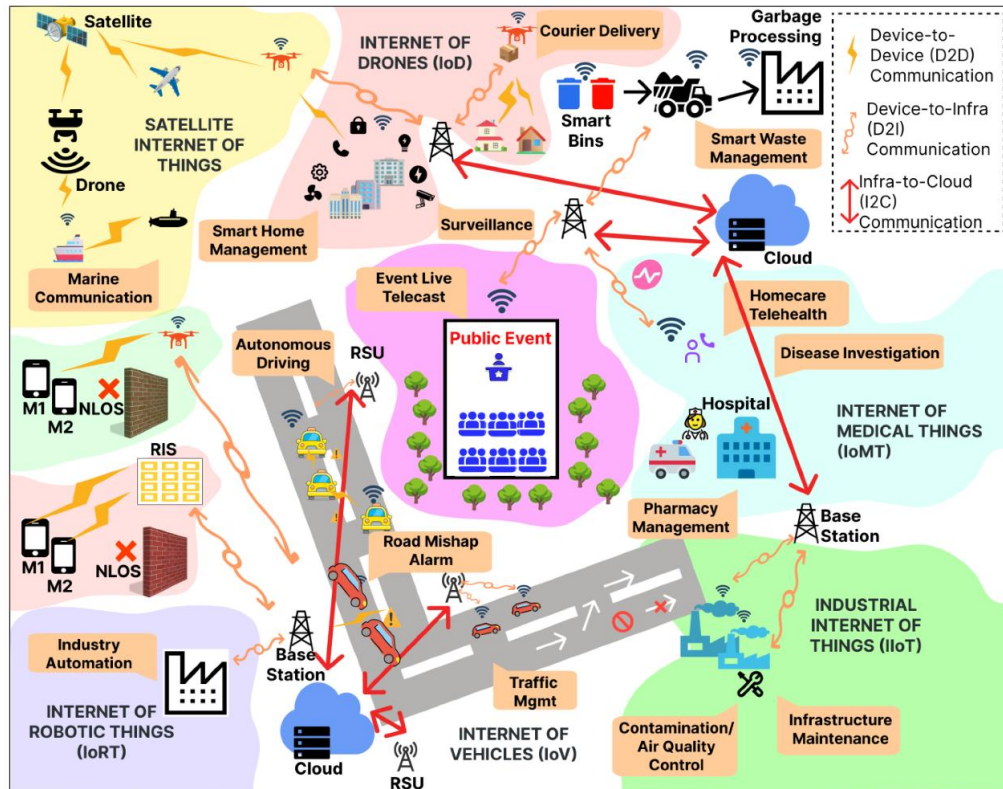
De tabellen in deze sectie zijn bewust beknopter dan in andere secties. Dit komt doordat het vaak lastig is om de bijdrage van connectiviteit aan maatschappelijke trends concreet te illustreren. De impact van deze technologieën is echter niet per definitie kleiner; hun ondersteunende rol maakt ze juist cruciaal voor het realiseren van bredere technologische toepassingen.

Binnen de categorie connectiviteitstechnologieën zijn de volgende technologieën geselecteerd:

-) Advanced connectivity
-) Reconfigurable intelligent surfaces (RIS)

4.1.1 Advanced connectivity

Zichtjaar: 2030-2035



Afbeelding gereproduceerd van Sharma et al. (2024), p.3

Wat doet deze technologie?

Advanced connectivity (geavanceerde connectiviteit), ook wel next generation networks genoemd, omvat innovaties van connectiviteitstechnologieën zoals draadloze netwerken met laag vermogen, 5G en 6G cellulair, Wi-Fi 6 en 7, satellieten die in een lage baan om de aarde vliegen en andere telecommunicatietechnologieën (McKinsey, 2025).

Wat maakt deze technologie vernieuwend?

De ontwikkelingen binnen advanced connectivity zullen vooral voordelen hebben voor de snelheid van communicatie, de betrouwbaarheid van de communicatie en de mogelijkheid om veel meer apparaten tegelijk aan te sluiten op een netwerk en te besturen. Ter illustratie, 5G is tot 100 keer sneller dan 4G en is betrouwbaar en snel genoeg voor toepassingen zoals zelfrijdende auto's en medische ingrepen op afstand. 6G gaat nog een flinke stap verder. Denk aan internet dat zo snel en betrouwbaar is dat je ermee hologrammen kunt versturen, virtuele werelden kunt betreden alsof je er echt bent of hele steden slim kunt aansturen door de grote hoeveelheid apparaten die op het netwerk aangesloten kan worden (Barcevičius et al., 2025).

Wanneer zien we deze technologie in de praktijk?

Op dit moment groeit de markt voor advanced connectivity. Deze ontwikkeling wordt vooral gedreven door de toenemende behoefte aan sneller internet en geavanceerde technologieën. Naar verwachting zal met name de vraag naar 6G verder toenemen door het toenemende gebruik van AI, het Internet of Things en andere digitale technologieën

(Barcevičius et al., 2025). Naar verwachting zal 6G vanaf 2030 commercieel beschikbaar zal zijn.

Tabel 4.1 presenteert een overzicht van mogelijke toepassingen van advanced connectivity in relatie tot maatschappelijke trends.

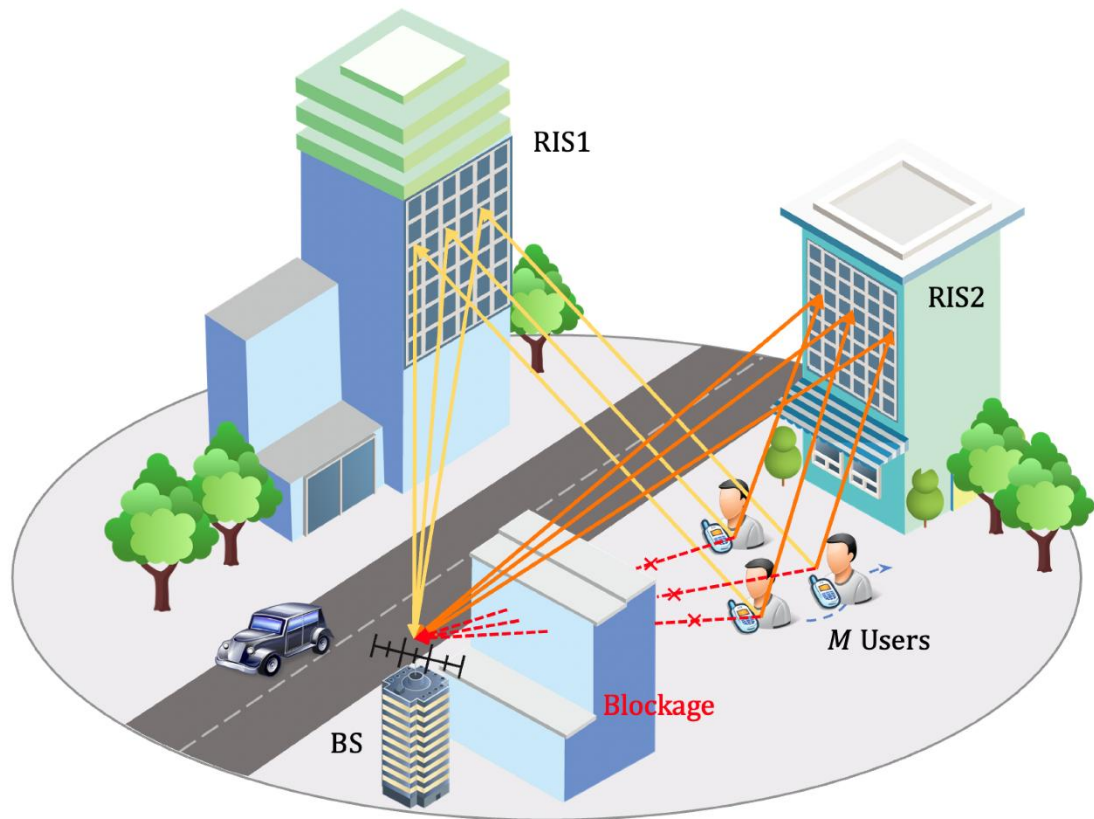
Tabel 4.1: Overzicht toepassingen advanced connectivity in relatie tot maatschappelijke trends

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Krapte op de arbeidsmarkt	Advanced connectivity biedt organisaties in Breda een snelle en betrouwbare digitale infrastructuur, ook bij hoge netwerkbelasting. Door de lage vertraging tussen verzender en ontvanger verlopen processen efficiënter, wat de productiviteit verhoogt en de behoefte aan extra personeel vermindert. In sectoren waar veel apparaten worden ingezet, maakt deze technologie het mogelijk om systemen op afstand te bedienen, wat flexibel werken ondersteunt. Hierdoor kunnen medewerkers slimmer en breder worden ingezet, ook buiten fysieke locaties. Dit draagt bij aan het verlichten van de druk op de arbeidsmarkt.	Het bedienen van (specialistische) machines op afstand, zoals bij laswerkzaamheden op lastig bereikbare plekken (zoals onder water of op afgelegen industriegebieden).
Woningcrisis en stagnatie van woningbouw	Advanced connectivity is een randvoorwaarde voor het sneller en accurater delen van allerlei data die woningen, bewoners, gebouwen en onderhouds- en constructiebedrijven produceren. Door data over woonvoorkeuren, leegstand, verhuisbewegingen en onderhoud te combineren, kunnen gemeenten, projectontwikkelaars en woningcorporaties sneller inspelen op de woonbehoefte van verschillende doelgroepen. Hiermee kan de doorstroom op de woningmarkt worden vergroot en de productiviteit van de bouw en onderhoud van woningen worden vergroot.	In de Verenigde Staten maken bouwbedrijven gebruik van volledig geïntegreerde off-site bouwmethoden en IoT-monitoring om bouwprocessen te versnellen, de afhankelijkheid van handmatige arbeid te verminderen en kosten te verlagen. Dit draagt bij aan toegankelijke en schaalbaardere huisvesting (Ivory & Colton, 2020). Hoewel dit een ouder voorbeeld is, laat het goed zien hoe geavanceerde connectiviteit het gebruik en delen van data kan verbeteren om tijd en kosten in de bouwsector verder te reduceren.

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Vergrijzing en gezondheidskloof	Advanced connectivity maakt het mogelijk om medische apparatuur op afstand te bedienen, waardoor gespecialiseerde zorg toegankelijker wordt voor mensen met beperkte mobiliteit. Dit helpt om de gezondheidskloof te verkleinen, vooral in gebieden waar zorg moeilijk bereikbaar is. Daarnaast kunnen ouderen en patiënten via verbonden sensoren op afstand worden gemonitord. Dit ondersteunt zelfstandig wonen en vermindert de druk op zorgpersoneel.	› Het op afstand uitvoeren van medische operaties met robots (Remote robotic surgery) (Yardley et al., 2024). Experts geven echter aan dat het zichtjaar hiervoor waarschijnlijk verder ligt dan dat van advanced connectivity in het algemeen, omdat er mensenlevens op het spel staan en hoge nauwkeurigheid vereist is. › Het ondersteunen van het langer thuiswonen van ouderen en patiënten door het mogelijk maken van bezorging van medicijnen met drones, voorspellend onderhoud van medisch apparatuur en het op afstand monitoren van de gezondheid (Yardley et al., 2024).
Verslechterende Rijksfinanciën	Advanced connectivity kan publieke diensten transformeren op het gebied van noodbeheer, slimme stadsinfrastructuur en betrokkenheid van inwoners vergroten.	› Het slimmer beheren van verkeersstromen en de openbare ruimte, maken openbaar vervoer en wegwerkzaamheden efficiënter. › De implementatie van 5G door overheidsinstellingen in de VS voor beveiligde communicatie, toepassingen voor openbare veiligheid en de integratie van IoT voor real-time gegevensbeheer (Carahsoft, 2024).

4.1.2 Reconfigurable intelligent surfaces (RIS)

Zichtjaar: na 2040



Afbeelding gereproduceerd van Mei et al. (2023), p. 4

Wat doet deze technologie?

Een *Reconfigurable Intelligent Surface* (RIS), ook wel een slimme spiegel genoemd, is een programmeerbare plaat die draadloze signalen zoals wifi of mobiele netwerken actief kan sturen en versterken (Fink et al., 2024). Door te beïnvloeden hoe deze signalen weerkaatsen op oppervlakken zoals muren of plafonds, verbetert een RIS de dekking en betrouwbaarheid van draadloze verbindingen. Dit is vooral waardevol op plekken waar het signaal normaal gesproken zwak is of wordt geblokkeerd. Een RIS maakt het mogelijk dat apparaten over kortere afstanden met elkaar communiceren en vermindert storingen wanneer veel apparaten zich dicht bij elkaar bevinden. De technologie is bovendien energiezuinig en geschikt voor toepassing in woningen, kantoren en stedelijke omgevingen, waar het draadloze netwerk efficiënter en gebruiksvriendelijker kan worden ingericht.

Wat maakt deze technologie vernieuwend?

De vernieuwing van RISes zit in de manier waarop draadloze communicatie actief wordt gestuurd via oppervlakken in de omgeving. In tegenstelling tot traditionele antennes of versterkers, werkt een RIS passief en programmeerbaar, waardoor het energieverbruik laag blijft en de technologie flexibel inzetbaar is. Dit maakt RISes bijzonder geschikt voor complexe omgevingen zoals slimme fabrieken, waar betrouwbare draadloze verbindingen essentieel zijn. Ook in de landbouw biedt RIS een betaalbare en duurzame oplossing om de dekking van draadloze netwerken te verbeteren. Daarnaast kan de technologie bijdragen

aan verkeersveiligheid, door stabiele communicatie tussen voertuigen en hun omgeving mogelijk te maken.

Wanneer zien we deze technologie in de praktijk?

Hoewel verschillende telecommunicatiebedrijven momenteel investeren in de ontwikkeling van RIS, is grootschalige commerciële toepassing nog niet aan de orde. Volgens het World Economic Forum zijn er nog diverse uitdagingen te overwinnen, waaronder de hoge kosten van de hardware en het ontbreken van duidelijke standaarden en regelgeving voor veilig en ethisch gebruik. De verwachting is dat het nog jaren zal duren voordat RIS breed beschikbaar wordt op de markt. De technologie bevindt zich nog in de ontwikkelingsfase, maar het potentieel voor toekomstige toepassingen in uiteenlopende sectoren is groot (Fink et al., 2024). Gezien de benodigde technologische en institutionele ontwikkelingen, is de verwachte uitrol na 2040.

Tabel 4.2 presenteert een overzicht van mogelijke toepassingen van RIS in relatie tot maatschappelijke trends.

Tabel 4.2: Overzicht toepassingen RIS in relatie tot maatschappelijke trends

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Krapte op de arbeidsmarkt	RIS kan bijdragen aan de toegankelijkheid en beschikbaarheid van hoogwaardige digitale infrastructuur in gebieden waar de netwerkdekking slecht is.	Slimme fabrieken en distributiecentra met grote aantallen sensoren (apparaten die hun omgeving meten, zoals een digitale thermometer), actuatoren (apparaten die op afstand bestuurd kunnen worden om hun omgeving te beïnvloeden, bijvoorbeeld om een verwarming aan te zetten), en robots, hebben baat bij deze technologie. De apparaten kunnen stabiel met elkaar blijven communiceren en real-time informatie met elkaar delen.
Verslechterende Rijksfinanciën	RIS kan de werking van sensoren en robots die de gemeente in de buitenruimte plaatst verbeteren waardoor publieke diensten geautomatiseerd kunnen worden.	Sensoren en actuatoren om drukte te meten of vervoer te regelen (zoals autonoom vervoer of communicatie tussen voertuigen en wegapparatuur) werken stabiel.

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Groei van de gemeente en Ruimtelijke transformatie	RIS kan de energie-efficiëntie in draadloze netwerken verbeteren, waardoor de druk op het energienet mogelijk kan worden verlicht. Daarnaast kan de netwerkdekking in gebieden die zeer dichtbebouwd zijn of buiten huidige dekking vallen verbeteren.	› Stabieler connectiviteit in zeer dichtbebouwde gebieden, die momenteel lijden onder 'overbezetting' van bepaalde frequenties door een groot aantal zendende apparaten (zoals telefoons en IoT-apparaten) in de buurt). › Gelijkblijvende of verbeterende stabiliteit van connectiviteit wanneer een gebied dichter bevolkt en bebouwd wordt, bijvoorbeeld wanneer flats worden gebouwd. › Stabieler connectiviteit in gebieden waar de dekking nu slecht is, bijvoorbeeld buiten het stedelijk gebied.

4.2 Internet of Things



Copyright (c) 2020 metamorworks/Shutterstock.

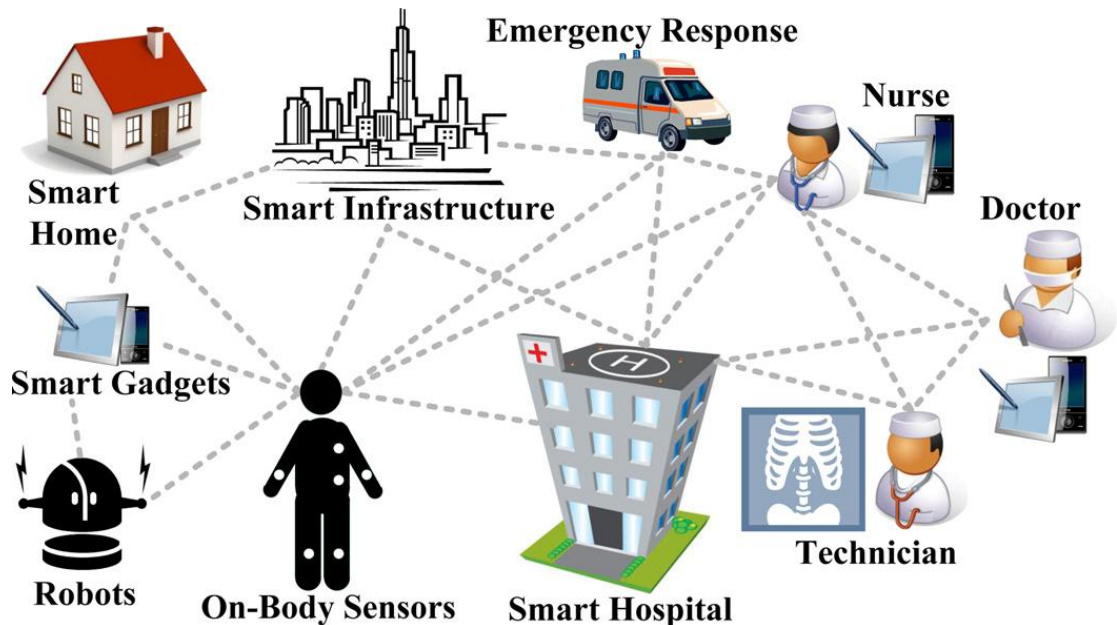
Het Internet of Things (IoT) verwijst naar een netwerk van fysieke apparaten, voertuigen, huishoudelijke apparaten en andere objecten die zijn uitgerust met sensoren, software en netwerkconnectiviteit, waardoor ze gegevens kunnen verzamelen en delen. IoT-apparaten, variëren van eenvoudige slimme thermostaten en wearables zoals smartwatches tot complexe industriële machines en transportsystemen. Deze slimme apparaten kunnen met elkaar en met andere internetapparaten communiceren, waardoor een uitgebreid netwerk ontstaat dat gegevens kan uitwisselen en verschillende taken autonoom kan uitvoeren. Toepassingen van IoT zijn onder meer het monitoren van milieumomstandigheden op boerderijen, het beheren van verkeerspatronen met slimme auto's, het controleren van machines in fabrieken en het volgen van voorraden in magazijnen (IBM, 2023). De connectiviteitstechnologieën (zie 4.1) zijn ondersteunend en soms voorwaardelijk voor deze IoT-toepassingen. Het IoT draait immers om het steeds meer en sneller uitwisselen van informatie, en het handelen naar aanleiding daarvan. Dat vereist stabiele en snelle gegevensuitwisseling.

Binnen de categorie IoT zijn de volgende technologieën geselecteerd:

-) Ambient Invisible intelligence (AII)
-) Integrated Sensing and Communication

4.2.1 Ambient invisible intelligence (AII)

Zichtjaar: 2030-2035



Afbeelding gereproduceerd van Acampora et al. (2013), p. 2471

Wat doet deze technologie?

Ambient Invisible Intelligence (AII) verwijst naar een nieuwe generatie slimme technologieën, zoals kunstmatige intelligentie, sensoren en andere IoT-toepassingen, die vrijwel onzichtbaar worden geïntegreerd in onze leefomgeving en in sommige gevallen zelfs in ons lichaam. In plaats van opvallende apparaten of directe interactie, functioneren deze systemen geruisloos op de achtergrond. Ze zijn ontworpen om onze dagelijkse ervaring te verbeteren zonder dat we actief met ze hoeven te communiceren. Voorbeelden van toepassingen zijn het automatisch aanpassen van verlichting en muziek in winkels, het optimaliseren van kantooromgevingen op basis van gebruik, en het continu monitoren van patiënten in de zorg zonder dat zij daarvoor zichtbare of draagbare apparatuur nodig hebben (Gartner, 2024b).

Wat maakt deze technologie vernieuwend?

AII draait om het testen van nieuwe combinaties van bestaande sensoren om subtielere patronen te herkennen, het toepassen van contextgevoelige algoritmes die automatisch reageren en het integreren van technologie in systemen zoals gebouwbeheer of zorgplatforms. Daarbij ligt de focus op minder zichtbare of passieve toepassingen, zoals omgevingssensoren in plaats van draagbare apparaten. De vernieuwing van ambient invisible intelligence zit in de manier waarop technologie steeds meer verdwijnt uit het zicht, terwijl de functionaliteit juist toeneemt. In plaats van expliciete interactie met apparaten, reageren deze systemen proactief op context en gedrag. Dit maakt het mogelijk om omgevingen slimmer en responsiever te maken, zonder dat gebruikers zich bewust zijn van de technologie die dit mogelijk maakt. De technologie biedt daarmee een subtiele maar krachtige vorm van automatisering, die breed inzetbaar is in sectoren zoals retail, zorg, kantoren en openbare ruimten.

Wanneer zien we deze technologie in de praktijk?

Volgens Gartner (2024b) zullen de eerste toepassingen van ambient invisible intelligence zich tot ongeveer 2028 richten op het oplossen van directe en praktische problemen. Denk hierbij aan goedkope objectdetectie en tracking om kosten te verlagen en efficiëntie te verbeteren. Op basis van deze vroege toepassingen wordt verwacht dat de technologie vanaf 2030 op grotere schaal zal worden uitgerold. De komende jaren zullen vooral in het teken staan van technologische verfijning, kostenreductie en het ontwikkelen van betrouwbare infrastructuur om deze technologie breed toegankelijk te maken.

Tabel 4.3 presenteert een overzicht van mogelijke toepassingen van AI in relatie tot maatschappelijke trends.

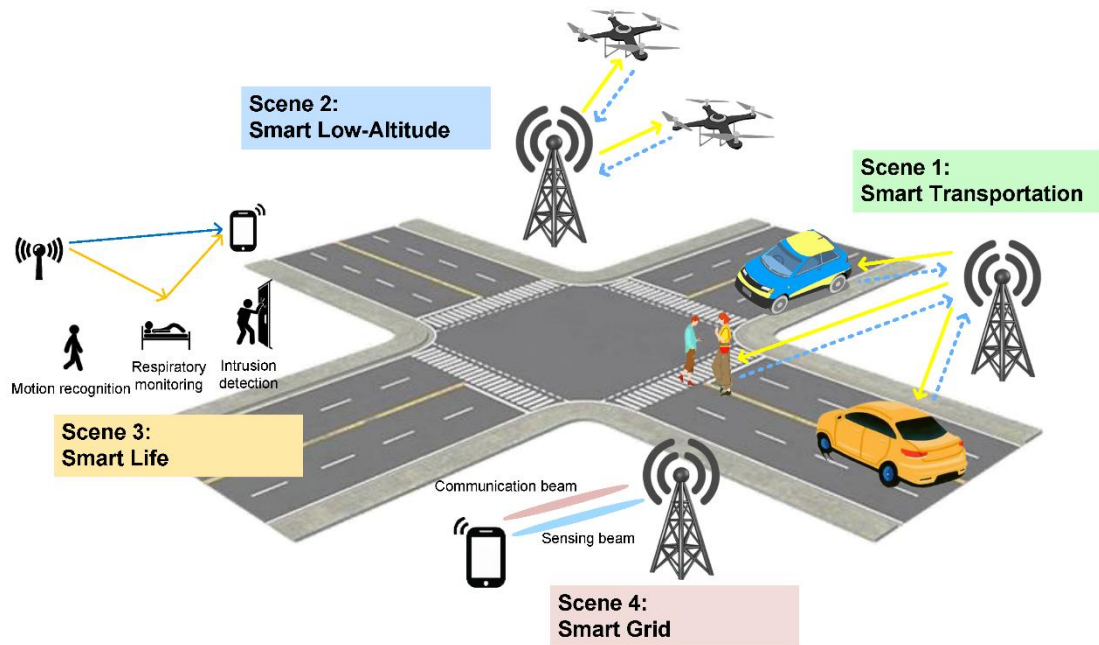
Tabel 4.3: Overzicht toepassingen AI in relatie tot maatschappelijke trends

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Krapte op de arbeidsmarkt	AI kan routinetaken automatiseren zoals voorraadbeheer en monitoring, waardoor minder menskracht nodig is voor operationele processen.	› Medewerkers en managers in de maakindustrie kunnen grondstoffen volgen van binnenkomst in hun fabriek tot verscheping. › In de logistiek kunnen pakketjes nauwkeuriger getraceerd worden. › Zorgpersoneel kan verrijdbare bedden en meetapparatuur eenvoudig terugvinden › Productielijnen kunnen in real-time worden bewaakt en aangepast, bijvoorbeeld wanneer ontdekt wordt dat een onderdeel vertraagd is of verkeerd geproduceerd is › Apotheken, restaurants en winkels kunnen de inkoop van medicijnen, ingrediënten en producten automatiseren. › Organisaties kunnen de inkoop van bedrijfsgoederen, zoals schrijfwaren, automatiseren
Groei van de gemeente en Ruimtelijke transformatie	AI maakt het mogelijk om gebouwen slimmer te beheren door real-time data over bezetting, temperatuur, licht en energieverbruik te verzamelen en te analyseren. Voor gemeenten betekent dit dat bestaande gebouwen efficiënter kunnen worden benut, wat ruimte schept voor andere functies en investeringen. Daarnaast kan bij toepassing op grote schaal de belasting van het elektriciteitsnet dynamisch worden afgestemd.	Het dynamisch regelen van het binnenklimaat in gebouwen. Hiermee kan onnodig energieverbruik worden voorkomen. Wanneer verlichting en verwarming in gebouwen dynamisch afgestemd wordt op de aanwezigen, wordt alleen energie verbruikt wanneer nodig. Als dit op grote schaal gebeurt, neemt de druk op het elektriciteitsnet af.

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Vergrijzing	Met AI kunnen voorwerpen in zorginstellingen (zoals apparatuur en medicatie) en de gezondheid van mensen (thuis en in zorginstellingen) gemonitord worden, zonder dat wearables nodig zijn (Gartner, 2024b).	Verpakkingen van medicijnen kunnen signaleren wanneer het medicijn niet (goed) of op het juiste moment genomen is
Gezondheidskloof	In de gezondheidszorg kan AI een revolutie teweegbrengen in de patiëntenzorg door continue monitoring en vroegtijdige diagnose mogelijk te maken zonder dat wearables nodig zijn. Hierdoor kan de gezondheidszorg betaalbaarder worden. Daarnaast is de verwachting dat AI meer inzicht zal bieden in gezondheidsrisico's in de leefomgeving.	Door gezondheidsrisico's zoals slechte luchtkwaliteit, geluidsoverlast en hittestress onopvallend en continu te monitoren via geïntegreerde sensoren in de leefomgeving, kunnen deze risico's vroegtijdig worden opgespoord. Op basis van real-time data kunnen gerichte maatregelen worden genomen, zoals het aanpassen van verkeersstromen. Dit stelt gemeenten in staat om sneller en effectiever in te grijpen.
Maatschappelijk klimaat (onveiligheid, wantrouwen, polarisatie)	AI kan een risico vormen voor het schaden van privacy en autonomie. Dit roept de vraag op: (hoe) moeten gebruikers van AI anderen hiervan op de hoogte stellen en mogelijkheden tot aanvaarding dan wel afwijzing bieden? Wat betekent het continue monitoren voor ieders (ervaren) autonomie? En hoe om te gaan met mensen die zelf geen antwoord op deze vragen kunnen geven?	Wanneer sensoren alomtegenwoordig en haast onzichtbaar worden, hebben inwoners minder snel door wanneer zij 'gemeten' worden, wanneer actuators hun omgeving beïnvloeden, en hoe ze zich kunnen distantiëren.

4.2.2 Integrated Sensing and Communication

Zichtjaar: 2030-2035



Afbeelding gereproduceerd van Zhang et al. (2023), p. 11

Wat doet deze technologie?

Integrated Sensing and Communication (ISAC), ook bekend als Joint Communication and Sensing (JCAS), is een innovatieve technologie waarbij radiosignalen niet alleen worden gebruikt voor communicatie, maar tegelijkertijd ook voor het waarnemen van de omgeving (Baldemair, 2024; Ramos et al., 2025). In tegenstelling tot traditionele draadloze systemen die zich uitsluitend richten op het verzenden van informatie, combineert ISAC communicatie en waarneming in één netwerk, waardoor data direct beschikbaar is en sneller verwerkt kan worden dan bij gescheiden systemen. Hierdoor kunnen netwerken niet alleen data uitwisselen, maar ook actief objecten volgen, zoals drones, mensen, voertuigen, automatisch geleide voertuigen (AGV's), dieren en andere bewegende objecten (Barcevičius et al., 2025). Er hoeven daardoor geen aparte sensoren of camera's te worden geïnstalleerd. Dit maakt ISAC tot een veelbelovende technologie voor toepassingen waarin zowel communicatie als situatiewaarneming essentieel zijn.

Wat maakt deze technologie vernieuwend?

De vernieuwing van ISAC zit in de combinatie van twee functies die tot nu toe gescheiden waren: draadloze communicatie en sensortechnologie. Door deze samen te brengen in één systeem, ontstaat een netwerk dat niet alleen informatie overdraagt, maar ook de fysieke omgeving continu monitort. Dit is bijvoorbeeld van groot belang voor omgevingsmonitoring, waarbij gegevens over luchtkwaliteit, temperatuur of beweging in real-time worden verzameld en geanalyseerd (Johnston, 2024). Daarnaast maakt ISAC nauwkeurige bewegingsregistratie mogelijk, wat nuttig is voor toepassingen in beveiliging en slimme steden (Ghadiyaly, 2024). In vergelijking met een traditionele drone, die vaak afhankelijk is van afzonderlijke sensoren en communicatiemodules, kan een ISAC-gestuurd systeem beide functies tegelijk uitvoeren via dezelfde infrastructuur, wat efficiënter en schaalbaarder is.

Wanneer zien we deze technologie in de praktijk?

Hoewel ISAC veel potentie heeft, bevindt de technologie zich nog in een vroeg ontwikkelingsstadium. Er zijn nog diverse technische uitdagingen, zoals het verfijnen van de hardware en het ontwikkelen van gestandaardiseerde protocollen voor veilig en ethisch gebruik. Volgens Ericsson wordt verwacht dat de eerste gestandaardiseerde versie van ISAC zal worden opgenomen in de initiële release van 6G (Baldemair, 2024), die rond 2030 wordt verwacht (Barcevičius et al., 2025).

Tabel 4.4 presenteert een overzicht van mogelijke toepassingen van ISAC in relatie tot maatschappelijke trends.

Tabel 4.4: Overzicht toepassingen ISAC in relatie tot maatschappelijke trends

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Krapte op de arbeidsmarkt	ISAC kan de communicatie tussen slimme goederen en gebouwen ingrijpend veranderen. In de toekomst biedt deze technologie bedrijven in uiteenlopende sectoren beter realtime inzicht en volledige controle over hun assets op afstand. Dit maakt het mogelijk om locaties efficiënter te beheren met minder personeel ter plaatse, wat resulteert in lagere kosten, minder reisbewegingen en een duurzamere bedrijfsvoering.	› Akkers en gebouwen kunnen makkelijker gemonitord of zelfs op afstand worden beheerd. › Botsingen tussen autonome voertuigen (zoals pakketdrones, robots in fabrieken, en auto's en busjes op de weg) en hun omgeving kunnen beter voorkomen worden. Transport van goederen en personen wordt zo veiliger en efficiënter, zowel op de weg als in fabrieken (Baldemair, 2024). › Detecteren én volgen van drones in (verboden) gebieden (Baldemair, 2024).
Groei van de gemeente en Ruimtelijke transformatie	ISAC creëert meer mogelijkheden voor sensoren en actuatoren in de openbare ruimte en gebouwen. Dit geeft meer inzicht in en controle over verkeersstromen, de onderhoudsstatus van gebouwen, en energieverbruik. In aanvulling daarop worden overlastfactoren inzichtelijker, zoals luchtkwaliteit, geluid, en hittestress. De gemeente kan deze informatiestromen gebruiken om hun digital twin te verrijken en daarmee betere beleidskeuzes te kunnen maken. In hun totaliteit verbetert de technologie de informatiepositie van (gemeentelijke) besluitvormers. Wanneer zij hun besluiten op meer en gedetailleerdere data kunnen baseren, kunnen zij deze uitdaging beter te lijf gaan.	› Gericht bestrijden van overlastfactoren zoals luchtkwaliteit, geluid, en hittestress › Managen van (autonoom) verkeer om de doorstroming van openbaar vervoer, bedrijfsvervoer (bijvoorbeeld bezorgvoertuigen / -drones), en passagiersvervoer te verbeteren › Beperken van netcongestie: de technologie maakt fijnmazig adaptief energieverbruik mogelijk, zodat apparaten (bijvoorbeeld wasmachines en vaatwassers) alleen energie verbruiken als het energienet dit goed aankan

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Vergrijzing en gezondheidskloof	ISAC biedt opties voor het tegelijkertijd monitoren van mensen hun bewegingen en vitale functies en het communiceren daarvan aan zorgverleners. Hierdoor wordt zorgverlening efficiënter, kan deze op afstand plaatsvinden en kan er bij afwijkende vitale waarden sneller opgetreden worden.	Systemen die gebruikmaken van sensoren in combinatie met geavanceerde connectiviteit stellen zorgteams in staat de mobiliteit van patiënten te volgen en waarschuwingen te ontvangen als er een afwijking is van de routinematige beweging, zoals vallen of gebrek aan activiteit (Ekudden & Cohen, 2024).
Maatschappelijk klimaat (onveiligheid, wantrouwen, polarisatie)	ISAC kan de informatiepositie van besluitvormers verbeteren en daarmee de onderbouwing van hun besluiten verbeteren. Mits menselijke ervaringen niet opzij geschoven worden, zullen betere besluiten het vertrouwen in de (lokale) politiek doen groeien	Geen concreet (potentieel) voorbeeld gevonden.
Verslechterende Rijksfinanciën	Met ISAC kunnen overheidsorganisaties meer inzicht krijgen in gebouwen, de openbare ruimte, de natuur, en stromen van mensen en voertuigen. Wederom geldt het 'afstandsargument': de gemeente krijgt meer inzicht en controle met minder personeel op locatie.	› Faciliteren van (preventief) onderhoud van gebouwen en natuur, voordat grootschaliger en duurder onderhoud nodig is. › Managen van (autonoom) verkeer, om autonoom openbaar vervoer te realiseren. › Gerichter en effectiever voorkomen en bestrijden van branden in natuurgebieden. › Aan- en uitzetten van lantaarnpalen afhankelijk van of er mensen in de buurt zijn.

4.3 Immersieve technologieën



Immersieve technologieën maken real-time interacties mogelijk in driedimensionale virtuele werelden, en in sommige gevallen ook met de fysieke wereld (Yee et al., 2024). Deze technologieën vervagen de grens tussen virtueel en werkelijk, waardoor gebruikers zich volledig kunnen onderdompelen in digitale omgevingen die aanvoelen als echt.

Toepassingen variëren van entertainment, zoals gaming en virtuele concerten, tot sociale interactie, waarbij mensen elkaar kunnen ontmoeten in digitale ruimtes voor werk of privé. Daarnaast worden immersieve technologieën steeds vaker ingezet om werkprocessen te verrijken, bijvoorbeeld bij orderpicking in distributiecentra of bij chirurgische operaties op afstand.

Om deze ervaringen soepel en realistisch te laten verlopen, is betrouwbare en snelle connectiviteit essentieel. Immersieve toepassingen vereisen netwerken met minimale vertraging om natuurlijke interacties mogelijk te maken. Ook is er een duidelijke koppeling met het Internet of Things (zie 4.2): sensoren en actuatoren kunnen worden verbonden met virtuele werelden, waardoor fysieke objecten en digitale omgevingen met elkaar communiceren. Zo kunnen sensoren real-time informatie doorgeven aan een virtuele omgeving, en kunnen gebruikers in die omgeving op afstand fysieke apparaten bedienen.

Binnen de categorie immersieve technologieën zijn de volgende technologieën geselecteerd:

-) Extended reality (XR)
-) Tactiele internet

4.3.1 Extended reality (XR)

Zichtjaar: vóór en vanaf 2023



Wat doet deze technologie?

Extended Reality (XR) is een verzamelterm voor technologieën die de fysieke en digitale wereld met elkaar laten samensmelten (Niamut & Bronkhorst, 2024; Hendricksen et al., 2024). De bekendste vormen van XR zijn Augmented Reality (AR) en Virtual Reality (VR). Bij AR worden digitale elementen toegevoegd aan de echte wereld, bijvoorbeeld via een smartphone of slimme bril. Deze toevoegingen kunnen variëren van eenvoudige tekst of afbeeldingen tot levensechte 3D-objecten die visueel opgaan in de omgeving. VR daarentegen dompelt de gebruiker volledig onder in een digitale wereld, zichtbaar via een bril of scherm, die geheel computergemaakt is of gebaseerd op 360-gradenbeelden.

Wat maakt deze technologie vernieuwend?

Hoewel AR en VR al enige tijd bekend zijn bij het brede publiek, vooral als toepassingen in gaming, ligt de vernieuwing in de integratie met andere opkomende technologieën. Door gebruik te maken van kunstmatige intelligentie (AI), Internet of Things (IoT) en advanced connectivity, kunnen XR-toepassingen slimmer, responsiever en persoonlijker worden. Deze combinatie maakt het mogelijk om real-time digitale ervaringen te creëren die zich aanpassen aan de gebruiker en de context waarin deze zich bevindt (Barcevičius et al., 2025). Denk bijvoorbeeld aan interactieve leeromgevingen, virtuele samenwerking in werksituaties of gepersonaliseerde bezoekers- en winkelervaringen.

Wanneer zien we deze technologie in de praktijk?

De verwachting is dat XR-technologieën in de komende jaren aanzienlijk zullen evolueren. Met de lancering van advanced connectivity, zoals 5G en later 6G, zullen XR-toepassingen profiteren van hogere snelheden, lagere latency en betere netwerkcapaciteit. Hierdoor kunnen nieuwe functionaliteiten worden uitgerold die tot nu toe technisch niet haalbaar waren. Volgens Barcevičius et al. (2025) zal deze technologische versnelling leiden tot

breder toepassing van XR vanaf 2030, waarbij de technologie niet alleen in entertainment, maar ook in sectoren zoals onderwijs, zorg en industrie een belangrijke rol zal gaan spelen.

Tabel 4.5 presenteert een overzicht van mogelijke toepassingen van XR in relatie tot maatschappelijke trends.

Tabel 4.5: Overzicht toepassingen XR in relatie tot maatschappelijke trends

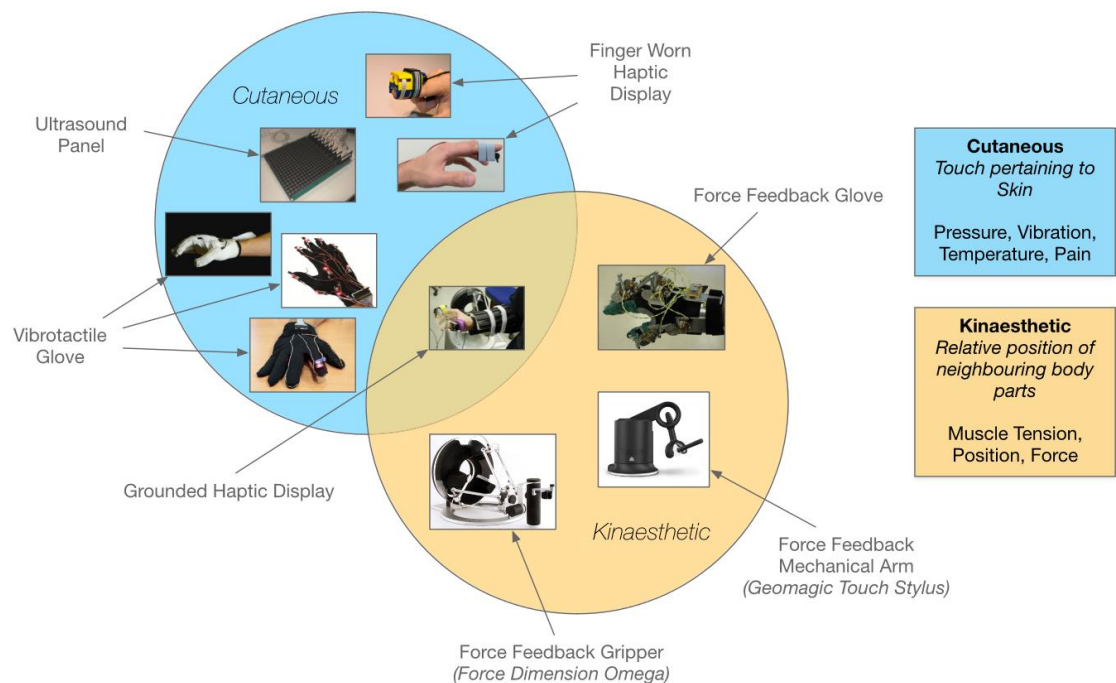
Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Krapte op de arbeidsmarkt	XR kan expertise op afstand en virtuele samenwerking mogelijk maken, waardoor geografische beperkingen voor werk deels wegvallen. Door virtuele trainingen, begeleiding en samenwerking kunnen meer mensen participeren, wordt reistijd gereduceerd en kunnen moeilijk vervulbare vacatures efficiënter ingevuld worden. Het stelt bedrijven en instellingen in staat om kennisdeling en bijscholing op te schalen zonder grote fysieke inspanning, wat een directe bijdrage levert aan het verminderen van arbeidsmarktkrapte	VR/AR-trainingsmodules om personeel op afstand op te leiden waarmee opleidingstijd wordt verkort en personeelstekorten in technische beroepen worden aangepakt.
Groei van de gemeente en Ruimtelijke transformatie	XR biedt mogelijkheden om inwoners, ondernemers en bestuurders actiever te betrekken bij stedelijke ontwikkeling en beleidsvorming via laagdrempelige, inclusieve en interactieve virtuele participatie-instrumenten. Gemeentelijke bijeenkomsten en inspraakmomenten kunnen plaatsvinden in virtuele omgevingen, wat ruimtelijke planprocessen versnelt en verbetert. Daarnaast maakt XR het mogelijk om verschillende ontwerpen voor ruimtelijke transformatie te visualiseren. Hierdoor kunnen architecten, besluitvormers en inwoners ruimtelijke plannen beter begrijpen en beoordelen tijdens ontwerp- en inspraakprocessen	Inzet van digital twins en XR voor snel en burgergericht woningontwerp en -ontwikkeling. Architecten, besluitvormers en burgers kunnen ruimtelijke plannen beter begrijpen en beoordelen met virtuele visualisaties tijdens ontwerp- en inspraakprocessen.

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Woningcrisis en stagnatie van woningbouw	Door virtuele woonbelevingen, digitale rondleidingen en participatie in planvorming kan XR het woningbouwproces versnellen. Daarnaast maakt het nieuwe woon- en werkvormen (hybride, remote) mogelijk, waardoor ruimtedruk lokaal kan afnemen.	Bouwwakkers en aannemers kunnen werkinstructies visualiseren en bespreken op de bouwplaats maar ook daarbuiten.
Vergrijzing	XR helpt ouderen om sociaal actief te blijven en gezond oud te worden, bijvoorbeeld door virtuele huisbezoeken, sociale activiteiten en revalidatie of begeleiding in een veilige virtuele omgeving. Het vermindert (langdurig) sociaal isolement en maakt zorg en begeleiding op afstand toegankelijker.	Ouderen kunnen in levensechte digitale omgevingen oefenen met sociale interacties en ontspanningstechnieken, wat hun mentale welzijn verbetert.
Gezondheidskloof	Door laagdrempelige virtuele zorg, training en preventie via XR kan toegang tot gezondheidszorg en gezondheidsinformatie verbreed worden, ook voor mensen met beperkte mobiliteit of in perifere regio's. Dit draagt bij aan het verkleinen van gezondheidsverschillen.	› Een zorgverlener kan virtueel met iemand afspreken wanneer een fysiek bezoek niet haalbaar of wenselijk is. › Stimuleren van sport en beweging in de buitenlucht met interactieve loop- of fietsroutes voor jong en oud met AR zoals bij Pokémon Go › Experiment door het Universitair Medisch Centrum Groningen waarbij patiënten met psychoses met VR op een gecontroleerde manier te laten oefenen met sociale situaties die angst en achterdocht oproepen (Rijksuniversiteit Groningen, 2025).
Maatschappelijk klimaat (onveiligheid, wantrouwen, polarisatie)	XR kan besluitvormers en betrokkenen ondersteunen in hun beoordeling van verschillende ontwerpen van ruimtelijke transformaties, zodat de snelheid en kwaliteit van, en het draagvlak voor besluiten toeneemt.	Pilot studie waarbij is onderzocht of een AR app het begrip van mensen over duurzame architectuur kan vergroten en daarmee hun interesse en betrokkenheid kan vergroten. Hoewel de steekproef klein was, wijst de studie erop dat AR een effectief middel kan zijn om draagvlak te vergroten en burgers actief te betrekken bij duurzame keuzes (Moscoso et al., 2024).

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Verslechterende Rijksfinanciën	Besluitvormers kunnen met XR het onderwerp van hun besluit (zoals de openbare ruimte of een gebouw) virtueel zien en hoeven daardoor minder vaak naar een locatie toe. Dat scheelt reistijd en -kosten.	Om een complexe vergunningsaanvraag te beoordelen, brengt een ambtenaar een 'virtueel bezoek' aan de toekomstige situatie om te zien hoe een gebied verandert bij toewijzing van de vergunning.

4.3.2 Tactiele internet

Zichtjaar: 2030-2035



Afbeelding gereproduceerd van Van den Berg et al. (2017), p. 23507

Wat doet deze technologie?

Het tactiele internet is een opkomende technologie waarmee via het internet niet alleen informatie, beeld of geluid kan worden verzonden, maar ook fysieke aanraking kan worden ervaren (Fettweis, 2014). Dit betekent dat gebruikers op afstand niet alleen machines kunnen bedienen en voelen wat er gebeurt alsof ze fysiek aanwezig zijn, maar ook kunnen interacteren met andere mensen en met de fysieke omgeving via tastbare, digitale verbindingen. Het grote verschil met het huidige internet is de snelheid en betrouwbaarheid: waar kleine vertragingen bij het streamen van video of het versturen van e-mails geen probleem zijn, is bij het tactiele internet directe en foutloze respons cruciaal. Denk bijvoorbeeld aan toepassingen zoals operaties op afstand of het besturen van robots, waarbij elke milliseconde telt (Simsek et al., 2016; ITU, 2014).

Wat maakt deze technologie vernieuwend?

De vernieuwing van het tactiele internet zit in de mogelijkheid om fysieke interactie op afstand mogelijk te maken met een extreem lage vertraging (latency). Hierdoor kunnen mensen niet alleen communiceren, maar ook handelen en voelen in virtuele of fysieke omgevingen. Dit opent de deur naar toepassingen die met het huidige internet niet haalbaar zijn, zoals haptische feedback in virtuele werelden, precisiewerk op afstand in de zorg of industrie, en nieuwe vormen van samenwerking waarbij fysieke aanwezigheid niet meer nodig is. De technologie vereist een fundamenteel andere netwerkarchitectuur dan die van het huidige internet, met een focus op betrouwbaarheid, snelheid en realtime verwerking (Simsek et al., 2016).

Wanneer zien we deze technologie in de praktijk?

Hoewel het tactiele internet veelbelovend is en al geruime tijd onderwerp van onderzoek, is de verwachting dat grootschalige commerciële toepassing nog enkele jaren op zich laat wachten. De belangrijkste technische uitdaging is het realiseren van een vertraging van minder dan één milliseconde, een eis die zelfs met 5G-netwerken nog niet volledig haalbaar is. Volgens Barcevičius et al. (2025) wordt de echte doorbraak pas verwacht met de komst van 6G-netwerken, die rond 2030 worden uitgerold. Tot die tijd zullen toepassingen vooral beperkt blijven tot testomgevingen en nichetoepassingen, zoals in de medische sector of industriële automatisering (Mourtzis et al., 2021).

Tabel 4.6 presenteert een overzicht van mogelijke toepassingen van het tactiele internet in relatie tot maatschappelijke trends

Tabel 4.6: Overzicht toepassingen tactiele internet in relatie tot maatschappelijke trends

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Krapte op de arbeidsmarkt	Het tactiele internet kan op twee manieren de krapte op de arbeidsmarkt verminderen. Ten eerste wordt besturing op afstand goed mogelijk. Industriële machines en robotarmen kunnen bediend worden door (specialistisch) personeel dat hierdoor niet op locatie hoeft te komen. Het tweede aspect betreft (her)scholing. Met tactiele feedback kunnen leerlingen gevoel ontwikkelen bij fijn-motorische handelingen (Aijaz & Sooriyabandara, 2018). Zo kunnen studenten en werknemers ervaren hoeveel kracht nodig is om een handeling uit te voeren en hoe deze voelt. In beide gevallen verrijkt het tactiele internet de virtuele omgevingen van <i>XR</i> met tactiele feedback.	› Het op afstand besturen van voertuigen (zoals auto's, vrachtwagens, en drones) in gevaarlijke omstandigheden, bijvoorbeeld wanneer een chauffeur onwel wordt. › Een leerling-tandarts kan virtueel oefenen hoe een bepaalde behandeling uit te voeren en leert zo een vaardigheid die fijne motoriek vereist. Een docent zou het gereedschap zelfs virtueel bij kunnen sturen. › Op afstand besturen van voertuigen of industriële onderdelen (zoals robotarmen), om operaties uit te voeren op voor mensen gevaarlijke of lastig bereikbare locaties (zoals bouwplaatsen of elektrische installaties van het stroomnet)

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Groei van de gemeente en Ruimtelijke transformatie	Tactiele internet maakt het mogelijk om machines en systemen op afstand te besturen met extreem lage vertraging en hoge betrouwbaarheid. Dit betekent dat werknemers niet fysiek aanwezig hoeven te zijn op werkplekken zoals bouwlocaties, productiefaciliteiten of onderhoudsgebieden. Voor gemeenten biedt dit kansen om werk en bedrijvigheid te decentraliseren, waardoor de druk op stedelijke ruimte, mobiliteit en infrastructuur afneemt.	De voorbeelden die genoemd worden onder 'Krapte op de arbeidsmarkt' kunnen bijdragen aan het spreiden van werk en economische activiteiten. Hierdoor wordt fysieke concentratie van werkplekken minder noodzakelijk, wat leidt tot minder druk op stedelijke ruimte, mobiliteit en infrastructuur.
Vergrijzing en Gezondheidskloof	Tactiele internet kan zorgen voor een snelle, betrouwbare verbinding om aanrakingen van mensen en machines te communiceren. Dit zorgt dat zorgverlening op afstand met aanrakingen mogelijk is. Daarnaast kan het bijdragen aan sociale ondersteuning voor het mentale welzijn.	› Een arts kan een patiënt op afstand opereren en binnen een milliseconde het effect van zijn of haar handelingen zien en voelen. Wanneer patiënten voor operaties niet langer naar hetzelfde ziekenhuis hoeven als waar een specifieke arts zich bevindt, wordt zorg toegankelijker voor ouderen die minder mobiel zijn. › Het verrijken van digitale ontmoetingen in XR door naast beeld en geluid ook aanraking te simuleren. Dit versterkt de bijdrage van XR aan mentaal welzijn en traumaverwerking.

4.4 Kunstmatige intelligentie en data

Kunstmatige intelligentie (AI) heeft als doel om menselijke intelligentie na te bootsen in technische systemen (Ministerie van Economische Zaken & Klimaat, 2024). Er bestaan verschillende strategieën om AI-systemen ‘intelligent’ te maken. Zo kunnen ze zichzelf trainen door te leren van grote hoeveelheden zogeheten trainingsdata, of worden ze door menselijke operators beloond voor gewenst gedrag, waardoor ze leren welke acties effectief zijn. Deze flexibiliteit in ontwerp maakt een breed scala aan toepassingen mogelijk, van automatisering en data-analyse tot het genereren van tekst en beeld. De Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid beschouwt AI dan ook als een systeemtechnologie: een fundamentele technologie die vergelijkbaar is met de impact van de stoommachine, elektriciteit en de computer op onze samenleving (Prins et al., 2021).

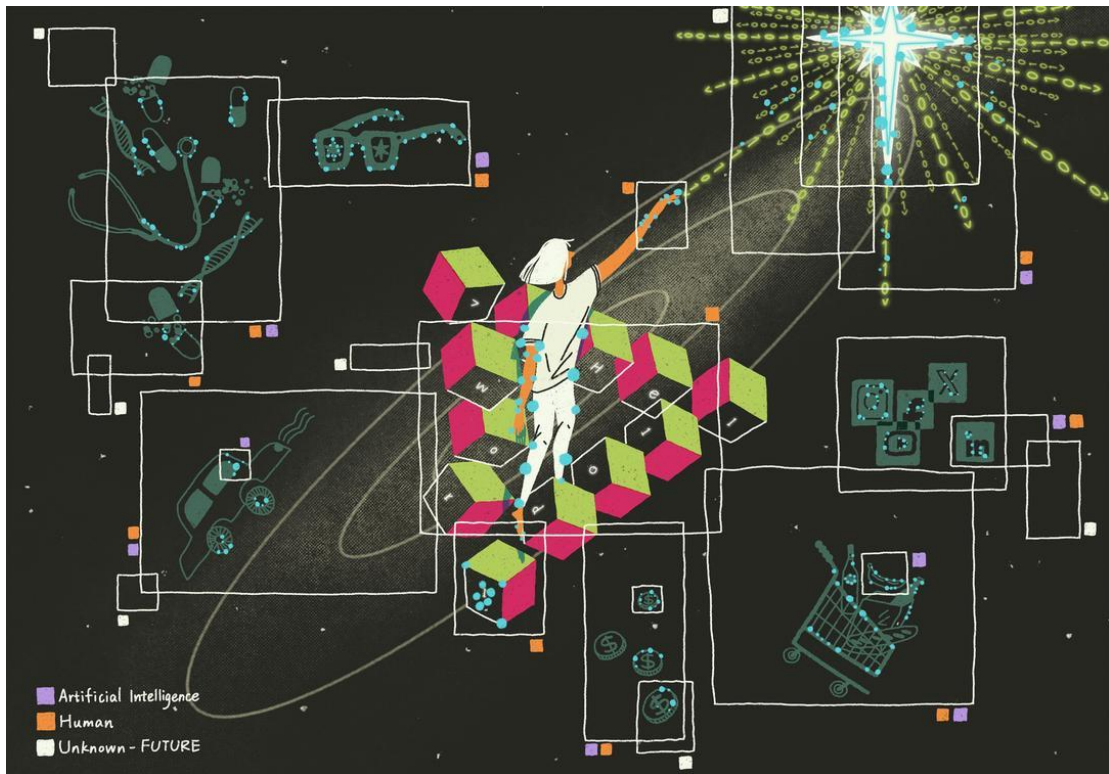
De manier waarop een AI-systeem wordt getraind en ingezet, bepaalt welke data en hoeveel rekenkracht nodig zijn. Data is daarmee onlosmakelijk verbonden met AI. Voor een eerlijk en betrouwbaar systeem is het essentieel dat de AI beschikt over voldoende data van hoge kwaliteit, zowel tijdens de trainingsfase als bij het gebruik in de praktijk. Tegelijkertijd kunnen zowel de data als de toepassingen van AI leiden tot spanningen met publieke waarden, zoals privacy, inclusiviteit en transparantie.

Binnen de categorie kunstmatige intelligentie en data de volgende AI technologieën geselecteerd en geclusterd:

- › AI voor automatisering en assistentie;
- › AI voor geavanceerde data-analyse en interpretatie;
- › Generatieve AI;
- › Multimodale AI-modellen en Small Language Models.

4.4.1 Automation and assistance (automatisering en assistentie)

Zichtjaar: 2030-2035, m.u.v. Artificial General Intelligence



Afbeelding gereproduceerd van Liu & The Bigger Picture (n.d.)

Wat doet deze technologie?

AI automation and assistance verwijst naar het gebruik van kunstmatige intelligentie om routinetaken en ondersteunende werkzaamheden te automatiseren. Dit omvat onder andere digitale assistenten en chatbots die vragen beantwoorden en afspraken plannen (AI agents and assistants), AI-systemen die zelfstandig doelen nastreven en processen optimaliseren (agentic AI), en software die de productiviteit verhoogt door bijvoorbeeld documenten te analyseren of e-mails te prioriteren (AI-powered productivity tools). Binnen deze categorie valt ook Artificial General Intelligence (AGI), een toekomstig niveau van AI dat menselijke intelligentie kan evenaren of zelfs overtreffen door zelfstandig te leren, redeneren en nieuwe kennis te creëren. Over de haalbaarheid en het tijdspad van AGI lopen de meningen onder experts uiteen. Daarnaast brengt geautomatiseerde besluitvorming risico's met zich mee, zoals mogelijke vooringenomenheid (zie 4.5.1). Dit roept de vraag op in hoeverre het wenselijk is om dergelijke beslissingen volledig aan systemen over te laten.

Wat maakt deze technologie vernieuwend?

De vernieuwing binnen AI automation and assistance zit in de toenemende mate van autonomie en intelligentie van deze systemen. Waar AI voorheen vooral werd ingezet voor het automatiseren van eenvoudige taken, zijn moderne systemen in staat om zelfstandig beslissingen te nemen, context te begrijpen en zich aan te passen aan veranderende omstandigheden. Door de integratie van agentic AI krijgen deze systemen handelingsvermogen en vrijheid (agency), waardoor ze niet alleen ondersteunen, maar ook

actief bijdragen aan besluitvorming en procesoptimalisatie. Dit maakt AI een strategisch instrument in werkprocessen, dienstverlening en kennismanagement.

Wanneer zien we deze technologie in de praktijk?

De uitrol van AI automation and assistance is al begonnen en zal zich de komende jaren sterk versnellen. Volgens Gartner (2024c) zal in 2028 minstens 15% van de dagelijkse werkbeslissingen autonoom worden genomen door agentic AI-systemen, terwijl dit in 2024 nog 0% was. Deze groei wordt mogelijk gemaakt door technologische vooruitgang in AI-modellen, de beschikbaarheid van data, en de integratie met andere digitale infrastructuren zoals cloud computing en advanced connectivity. Naar verwachting zullen AI-assistenten en autonome systemen in steeds meer sectoren een centrale rol gaan spelen, van administratie en klantenservice tot strategische besluitvorming. Hoewel de uitrol al is begonnen, wordt het zichtjaar voor commerciële uitrol na 2030 geschat. Volgens experts zijn er namelijk nog belangrijke ethische, juridische en technische vraagstukken die opgelost moeten worden voordat betrouwbare inzet mogelijk is

Tabel 4.7 presenteert een overzicht van mogelijke toepassingen van automation and assistance toepassingen van AI in relatie tot maatschappelijke trends

Tabel 4.7: Overzicht toepassingen AI: Automation and assistance in relatie tot maatschappelijke trends

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Krapte op de arbeidsmarkt	Automation and assistance-tools, zoals AI agents, kunnen autonoom beslissingen nemen en zowel routine als complexe taken uitvoeren. Dit concept is in nagenoeg elke sector toepasbaar voor automatisering en productiviteit.	) AI-Powered Job Search, een AI-gedreven zoekfunctie van LinkedIn voor werving en werkzoekenden (Kepinski, 2025).) Een AI-agent vraagt offertes op bij organisaties, analyseert de verschillen, selecteert de meest geschikte offerte en rapporteert hierover met een mens die een beslissing maakt.) Een telecombedrijf gebruikt een AI-agent in hun klantenservice. Deze analyseert de vragen of problemen die klanten delen in een chatbericht of email, draagt mogelijke oplossingen aan die de klant zelf kan uitvoeren, of plant een monteur in met de relevante vaardigheden om langs te komen.

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Groei van de gemeente en Ruimtelijke transformatie	AI automation and assistance kan als hulpmiddel dienen om flexibel gebruik te maken van het elektriciteitsnetwerk. Door vooraf in te schatten waar knelpunten in het energienet kunnen ontstaan, kan het gedrag van lokale energieverbruikers worden aangepast. Op die manier worden energiestromen actief gestuurd om overbelasting van het netwerk te voorkomen (Dobbe, 2024). Ook kunnen simulaties van menselijk gedrag in bijvoorbeeld in de ruimtelijke omgeving met AI agenten de informatiepositie van inwoners, bedrijven en besluitvormers verbeteren bij het managen van verkeerstromen en evenementen.	› Het Mobility DesAIgn Lab onderzoekt de inzet van AI-ondersteunde digital twins om verschillende ruimtelijke ontwerpkeuzes in steden af te wegen. Hiermee kunnen beleidsmakers effectiever omgaan met schaarse ruimte, mobiliteit, klimaat en energie (TNO, 2025). › Een thuisbatterij slaat elektriciteit uit zonnepanelen zelf op, totdat deze voorspelt of merkt dat er minder stroom aangeboden wordt op het elektriciteitsnet.
Woningcrisis en stagnatie van woningbouw	Inzet van AI assistentie kan helpen bij uitzoeken welke vergunningen, normen en afmetingen gehanteerd moeten worden voor een bouwproject. Daarnaast kan AI ondersteuning bieden bij het afhandelen van vergunningsprocessen. Wanneer de AI-assistentie kwalitatief goed genoeg is, kunnen deze processen sneller verlopen terwijl de bouwbedrijven meer tijd hebben voor uitvoering in plaats van administratie.	AI-assistent Stuck, een AI-platform ontwikkeld voor bouwend Nederland waarin landelijke, regionale en lokale wetten, normen en regels zijn opgenomen (Hilwig, 2025).

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Vergrijzing en Gezondheidskloof	Een AI agent gericht op ouderen, kan hen helpen in het doorlopen van allerlei (zorggerelateerde) aanvragen. De persoon (of zijn/haar mantelzorger) hoeft dan niet uit te zoeken welke instantie de aanvraag behandelt, welke informatie daarvoor nodig is, en waar het geld vandaan moet komen. Daarnaast kunnen AI agents patiënten uitleg geven over hun ziekten op een manier dat het begrijpelijk is voor een patiënt en gepersonaliseerde adviezen geven om de leefstijl te verbeteren. Deze kunnen aanvullend gevoed worden met informatie en voorspellingen uit sensoren die hun gezondheid monitoren, maar ook met bijvoorbeeld hun agenda.	› Een agent een aanvraag laten doen voor thuiszorg, hulp in de huishouding, of een scootmobiel. Dit omvat het bepalen en benaderen van de relevante instantie, verzamelen en aanleveren van relevante stukken, en op de hoogte houden van de eigenlijke aanvrager. › AI-agents voor gezondheidsadvies kunnen verpakt worden in een chatbot op een telefoon of laptop, of in een ander slim apparaat zoals een luidspreker, televisie of radio. Dit maakt ze toegankelijk voor ouderen die liever vertrouwde apparaten gebruiken. Deze adviezen kunnen bijvoorbeeld gaan over voeding, rust en beweging, en hoe bepaalde medicatie in te nemen. Ook kunnen herinneringen voor medicatie en voor gebeurtenissen in de agenda gegeven worden.

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Verslechterende Rijksfinanciën	AI-agents en andere ondersteunende technologieën kunnen zelfstandig beslissingen nemen en zowel eenvoudige als complexe taken uitvoeren binnen gemeentelijke processen.	› JuntaGPT, een AI-assistent die ambtenaren in Andalusië helpt bij het opstellen van e-mails, het samenvatten van documenten en het analyseren van regelgeving. De tool is ook te raadplegen voor advies over de meer dan vierhonderd verschillende administratieve processen die specifiek zijn voor Andalusië (Van Trigt, 2025) › Pilot 'Afhandeling van bezwaarschriften' met behulp van AI van de gemeente Amsterdam (Gemeente Amsterdam, 2025). › Pilot 'AI-gedreven beslissingssysteem voor omgevingsvergunning aanvragen' van de gemeente Beverwijk (VNG, 2025) › Inzet van een AI-assistent in het klantcontactcentrum van een gemeente. De AI-assistent leest automatisch mee met vragen of problemen die inwoners stellen via chat of e-mail en stelt passende oplossingen voor aan de inwoner en/of behandelend ambtenaar.

4.4.2 Advanced data analysis and interpretation

Zichtjaar: vóór 2030



Wat doet deze technologie?

AI advanced data analysis and interpretation verwijst naar toepassingen waarbij kunstmatige intelligentie niet alleen grote hoeveelheden data kan verwerken, maar deze ook zelfstandig kan interpreteren en begrijpen binnen complexe en dynamische omgevingen. Dankzij zelflerende algoritmen en technieken zoals deep learning is AI in staat om patronen te herkennen, context te begrijpen en te leren van nieuwe situaties. Een belangrijk onderdeel hiervan is computer vision, waarbij AI beelden en video's analyseert en herkent, bijvoorbeeld door objecten of gezichten in foto's te identificeren. Door het trainen van AI op enorme hoeveelheden visuele data worden deze beeldherkenningstaken steeds nauwkeuriger uitgevoerd (LeCun et al., 2015).

Wat maakt deze technologie vernieuwend?

De vernieuwing zit in het vermogen van AI om niet alleen data te verwerken, maar ook betekenis te geven aan wat het ziet, leest of hoort. In tegenstelling tot traditionele analysetools, die afhankelijk zijn van vooraf gedefinieerde regels, kunnen moderne AI-systemen zelfstandig leren en zich aanpassen aan nieuwe contexten. Dit maakt ze geschikt voor toepassingen in bijvoorbeeld medische beeldanalyse, fraudedetectie, autonome voertuigen en besluitvorming in complexe systemen. De combinatie van deep learning en contextbewuste interpretatie stelt AI in staat om inzichten te genereren die voorheen alleen door menselijke experts konden worden ontdekt.

Wanneer zien we deze technologie in de praktijk?

De uitrol van AI voor geavanceerde data-analyse is al begonnen en zal zich naar verwachting de komende jaren sterk versnellen (Gartner, 2024c). Toch zijn er ook kritische geluiden. Sommige experts zijn sceptisch over de kwaliteit en betrouwbaarheid van het

analytisch vermogen van AI, vooral in situaties waarin nuance, ethiek of contextgevoeligheid een grote rol spelen. Deze zorgen richten zich onder andere op de interpretatie van complexe data, bias in trainingsdata, en het gebrek aan transparantie in hoe AI tot conclusies komt. Ondanks deze uitdagingen wordt verwacht dat de technologie zich verder zal ontwikkelen en in steeds meer sectoren zal worden toegepast, mits er voldoende aandacht blijft voor kwaliteit, verantwoording en menselijk toezicht.

Tabel 4.8 presenteert een overzicht van mogelijke toepassingen van advanced data analysis and interpretation toepassingen van AI in relatie tot maatschappelijke trends

Tabel 4.8: Overzicht toepassingen AI: Advanced data analysis and interpretation in relatie tot maatschappelijke trends

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Krapte op de arbeidsmarkt	Met <i>advanced data analysis and interpretation</i> kan men in korte tijd patronen vinden in bijvoorbeeld camerabeelden en data over gebruikers, productielijnen, en bedrijfsprocessen.	› Klachten en problemen van gebruikers, bijvoorbeeld in de openbare ruimte, kunnen geanalyseerd worden om patronen of gemeenschappelijke oorzaken te ontdekken. › Analyse van camerabeelden van gewassen biedt informatie in de gezondheid en benodigde verzorging ervan.

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Groei van de gemeente en Ruimtelijke transformatie	AI kan data uit slimme sensoren (zoals luchtkwaliteit, geluid, mobiliteit) combineren en analyseren om inzicht te geven in hoe de ruimte nu wordt gebruikt én hoe die in de toekomst kan veranderen. Dit helpt o.a. gemeenten om beter te plannen, bijvoorbeeld bij woningbouw, infrastructuur of vergroening. Door technologische vooruitgang kan AI steeds meer maatschappelijke belangen meenemen in deze analyses, zoals gezondheid en leefbaarheid. Zo kunnen gemeenten beter afgewogen keuzes maken en gericht investeren in een gezondere en toekomstbestendige leefomgeving.	› Openred, een AI-tool die betrokkenen bij een nieuwbouwproject helpt door o.a. scenario's door te rekenen om de beste balans te vinden tussen marktvraag, risico, duurzaamheid, rendement en leefbaarheid (Hilwig, 205). › Verkeersstromen op drukke plekken in de stad meten (bijvoorbeeld waar voetgangers, auto's, en openbaar vervoer samen komen) om te voorspellen hoe een aanpassing in de dienstregeling de veiligheid en doorstroming beïnvloedt, of om openbaar vervoer dynamisch op- en af te schalen afhankelijk van de vraag › Belasting op het stroomnet voorspellen bij bouwplannen voor woningen en industrie › Voorspellen van de gezondheid van bewoners (aan de hand van luchtvervuiling, geluidsoverlast, veiligheid op straat, en hoe mooi de straat ervaren zal worden) wanneer een wijk anders ingericht wordt.

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Woningcrisis en stagnatie van woningbouw	AI en data-analyse kan helpen de woningbouw te versnellen door slimmer te plannen en te onderhouden. Door data uit sensoren en bouwprocessen te analyseren, kunnen gemeenten en bouwbedrijven beter voorspellen waar en wanneer gebouwd moet worden. Ook wordt het onderhoud van gebouwen efficiënter: AI voorkomt dat ingrepen te vroeg of te laat plaatsvinden. Met steeds betere interpretatie van data kunnen ook bredere maatschappelijke belangen, zoals gezondheid en duurzaamheid, worden meegenomen in bouwbeslissingen. Dit maakt woningbouw niet alleen sneller, maar ook toekomstbestendiger. Deze toepassing kan gecombineerd worden met AI automation and assistance, indien er gekozen wordt om op basis van de interpretatie van data geautomatiseerd besluiten te nemen.	› Het transformatiepotentieel van gebouwen verkennen. Hierbij wordt geanalyseerd in hoeverre een leegstand pand, bijvoorbeeld een oud kantoorpand of winkel, geschikt is om te transformeren tot woning. › Het bouwproces van woningen industrialiseren, bijvoorbeeld door 'prefabricage' in fabriekshallen met behulp van 3D-printing. Het breed gebruiken van generieke onderdelen vermindert de vereiste hoeveelheid maatwerk op de bouwlocatie. Dat scheelt arbeid en verplaatsingen van materiaal. › Met IoT-sensoren monitoren of gebouwen momenteel lijden onder, en voorspellen wanneer de kans groter wordt op, schimmelvorming, houtrot, lekkage, funderingsproblemen, enzovoort.

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Vergrijzing en Gezondheidskloof	Deze categorie van AI-technologieën draagt bij aan gezondheidsmonitoring en het voorspellen van wat voor zorg ouderen nodig zullen hebben (Kamphuis et al., 2025). Ook wordt verwacht dat met behulp van AI vroegtijdig ziektes kunnen worden opgespoord, zelfs voordat symptomen waar te nemen zijn. Dat komt ten goede aan ouderen, familie en (mantel)zorgverleners. Adviezen kunnen beter gepersonaliseerd worden aan de gebruiker, bijvoorbeeld om rekening te houden met de medicijnen die iemand gebruikt. Onderzoekers zullen ook profijt hebben van deze AI-technologieën. Ze kunnen bijdragen aan de ontwikkeling voor modellen die gezondheidsrisico's kunnen voorspellen en op basis daarvan preventieve maatregelen kunnen aanbevelen.	› Aan de hand van draagbare sensoren en mobiele apps kunnen ziektes real-time worden gemonitord. Met behulp van AI kunnen patiënten real-time feedback krijgen over de hun lichamelijke gesteldheid (bijvoorbeeld hun bloedsuiker of bloeddruk) en wanneer er een medisch specialist moet worden geraadpleegd. › AI verzamelt gezondheidsdata in real-time, analyseert patronen, signaleert risico's en geeft direct persoonlijk advies of waarschuwingen. Dit gaat verder dan alleen meten: AI leert van de data en kan gepersonaliseerd advies geven of ingrijpen wanneer nodig. In gebieden met slechte luchtkwaliteit of geluidsoverlast helpt AI bewoners met praktische tips, en kan deze inzichten ook delen met gemeenten om de leefomgeving gezonder te maken.

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Verslechterende Rijksfinanciën	Deze categorie van AI-technologieën maakt het voor gemeenten makkelijker om snel en nauwkeurig grote hoeveelheden gegevens te verwerken. Dit zorgt ervoor dat problemen en trends eerder zichtbaar worden en besluitvorming beter onderbouwd is. Medewerkers ontvangen sneller de informatie die ze nodig hebben, waardoor gemeenten vaker zelfstandig kunnen werken. Hierdoor is er minder behoefte aan externe adviesbureaus, wat kosten kan besparen.	› Gaten in wegen lokaliseren en voorspellen hoe snel deze groter zullen worden, om gericht onderhoud uit te voeren; voortbouwend op de dronepilot die Breda hier al voor heeft uitgevoerd (Barel & Heijsser, 2025) › Automatisch meldingen van inwoners over de openbare ruimte analyseren om terugkomende problemen (zoals omtrent beleid of locaties) te identificeren, en dit terug te koppelen aan de relevante ambtenaar. › Een toepassing om ruimtelijke transformaties te genereren en de effecten daarvan te voorspellen, is eenvoudig in gebruik en is eenvoudig aan te sluiten op de systemen van de gemeente. De gemeente kan de toepassing daarom zelf gebruiken. › AI data analyse-tools kunnen initiatieven zoals de Digitale Bouwkeet versterken door automatisch grote hoeveelheden bouw- en projectdata te verzamelen, verwerken en structureren. Dit verhoogt de efficiëntie en verbetert de informatie-uitwisseling tussen betrokken partijen. Deze tools kunnen daarnaast patronen in projectdata herkennen zoals vertragingen, risico's of kwaliteitsproblemen, waardoor tijdig ingrijpen in mogelijk wordt en besluitvorming verbetert. Daarnaast maken voorspellende modellen het mogelijk om onderhoud beter te plannen en middelen efficiënter toe te wijzen, wat leidt tot kostenbesparing.

4.4.3 Generatieve AI

Zichtjaar: voor 2030



Afbeelding gereproduceerd van Liu & Kingston School of Art (n.d.)

Wat doet deze technologie?

Generatieve AI omvat technieken die in staat zijn om volledig nieuwe content te creëren, zoals teksten, afbeeldingen, video's of muziek. Deze systemen leren patronen en structuren uit bestaande data en gebruiken die kennis om originele inhoud te genereren. Generatieve AI wordt breed ingezet voor contentcreatie, het ontwikkelen van kunstmatige ontwerpconcepten en als creatieve ondersteuning in domeinen zoals kunst, media en marketing. Een belangrijk onderdeel van generatieve AI is synthetische datageneratie, waarbij kunstmatige data wordt geproduceerd die de eigenschappen en relaties van echte data nabootst. Dit is vooral waardevol in sectoren zoals de gezondheidszorg en financiële dienstverlening, waar echte data vaak schaars, gevoelig of moeilijk toegankelijk is (Nederlandse AI Coalitie, 2021; TNO, 2023).

Wat maakt deze technologie vernieuwend?

De vernieuwing van generatieve AI zit in het vermogen om niet alleen bestaande data te analyseren, maar ook nieuwe, bruikbare en contextrelevante output te creëren. Door synthetische data te genereren, kunnen AI-modellen worden getraind zonder dat privacy in het geding komt of datakwaliteit wordt aangetast. Dit maakt het mogelijk om veilig, efficiënt en op grote schaal te werken met data, en versnelt innovatie in AI-toepassingen. Daarnaast zorgt de integratie van generatieve AI in creatieve en zakelijke processen voor een verschuiving in hoe content wordt geproduceerd en gepersonaliseerd.

Wanneer zien we deze technologie in de praktijk?

De uitrol van generatieve AI is al begonnen en zal de komende jaren sterk versnellen. Volgens Gartner wordt verwacht dat generatieve AI tegen 2027 breed geïntegreerd zal zijn in bedrijfsprocessen en consumentenproducten. Gartner voorspelt dat het aandeel van generatieve AI-oplossingen in de softwaremarkt zal groeien van 8% in 2023 naar 35% in 2027, mede doordat meer dan 70% van de softwareleveranciers tegen 2026 generatieve

AI-functionaliteiten in hun applicaties zal hebben ingebouwd (Gartner, 2023; Gartner, 2024a).

Tabel 4.9 presenteert een overzicht van mogelijke toepassingen van generatieve AI toepassingen in relatie tot maatschappelijke trends

Tabel 4.9: Overzicht toepassingen generatieve AI in relatie tot maatschappelijke trends

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Krapte op de arbeidsmarkt	Generatieve AI is al breed beschikbaar om teksten en beelden te genereren: van simpele e-mails tot rapportages over complexe wetenschappelijke artikelen. De verdere integratie in allerlei software en processen vergroot hun bijdrage aan productiviteit. Denk bijvoorbeeld aan het rapporteren over resultaten van <i>advanced data analysis and interpretation</i> met automatisch gegenereerde tekst, slides, video, of audio.	› Automatisch maken van een samenvatting of uitlegvideo van complexe wetenschappelijke studies naar een bepaald onderwerp, in taal die afgestemd is op de doelgroep (zoals inwoners of leveranciers). › Generatieve AI kan teksten vertalen, waardoor mensen enkel de machinevertaling hoeven te controleren. › Opstellen van generieke communicatie en documenten, bijvoorbeeld facturen of een stappenplan voor hoe een veelvoorkomend probleem op te lossen.
Kansenongelijkheid	Generatieve AI kan gebruikt worden om teksten samen te vatten, in andere woorden uit te leggen, en om nieuwe tekst te schrijven. Mensen die tekstueel minder vaardig zijn, en kleine bedrijven, zijn hierbij gebaat.	› Publieke en private organisaties kunnen generatieve AI gebruiken om communicatie naar inwoners te herschrijven in begrijpelijker taal › Inwoners kunnen een AI-model vragen om te helpen met brieven schrijven naar bedrijven en overheden, bijvoorbeeld voor sollicitaties of bezwaarbrieven; of om brieven in begrijpelijker taal uit te leggen, zoals met de Lees Simpel App (Odido, 2024). › Generatieve AI kan kleine bedrijven helpen bij het factureren, klantenservice, en het opstellen van communicatiematerialen (zoals een nieuwsbrief of social media-post) en hun concurrentiepositie tegen grotere bedrijven verbeteren

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Groei van de gemeente en Ruimtelijke transformatie	Generatieve AI is op termijn breed inzetbaar voor ruimtelijke transformaties . Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van historische en real-time data, maar ook door menselijk gedrag in bijvoorbeeld het verkeer te simuleren met AI agenten (Huang et al., 2025; Urban AI, 2025). De technologie helpt inwoners, gemeenten, en uitvoerders.	› Toepassingen variëren van het bedenken van verschillende ruimtelijke transformaties, tot visualisatie daarvan in 3D-modellen en kaarten, en het afwegen van alternatieven met een veelheid aan belangen. Door multimodale input te analyseren (zoals satellietbeelden, IoT-sensorgegevens en feedback uit de gemeenschap), kunnen deze tools ontwerpen genereren die creativiteit in balans brengen met praktische uitvoerbaarheid. › Aannemers en bouwbedrijven kunnen vergunningsaanvragen en -onthefingen sneller aanvragen wanneer de tekst hiervoor met hulp van generatieve AI opgesteld wordt. › OmgevingsChat is een chatbot die medewerkers van gemeenten, provincies en waterschappen vragen laat stellen over de Omgevingswet en antwoord geeft in begrijpelijke taal, en kan helpen bij het schrijven van omgevingsplannen (Stichting Digitale Overheid, n.d.).

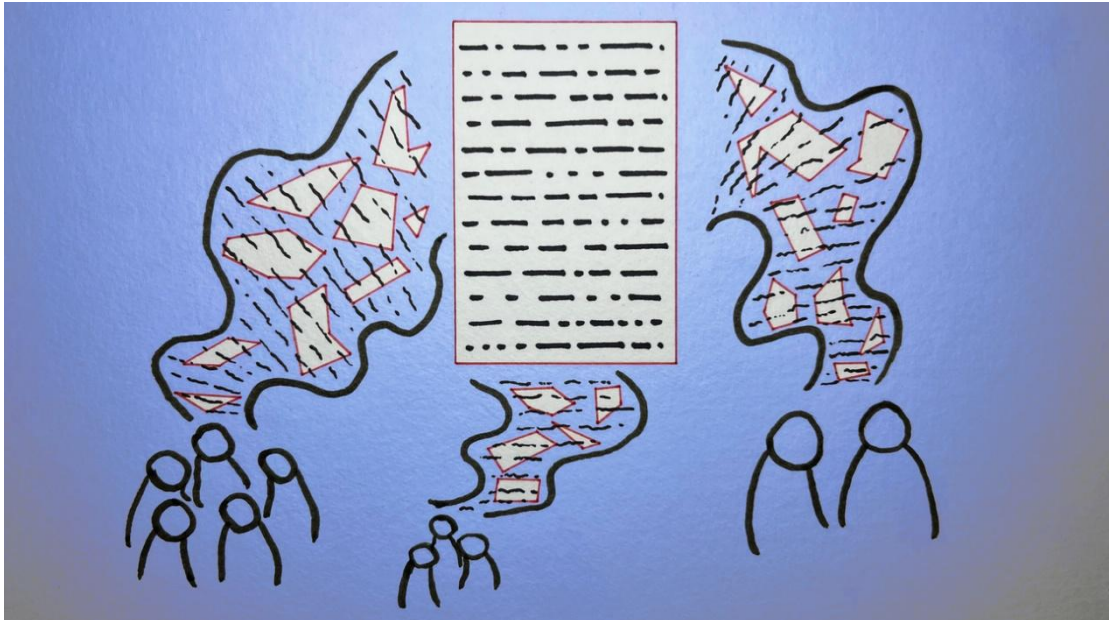
Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Kansenongelijkheid	Generatieve AI kan gebruikt worden om teksten samen te vatten, in andere woorden uit te leggen, en om nieuwe tekst te schrijven. Mensen die tekstueel minder vaardig zijn, en kleine bedrijven, zijn hierbij gebaat.	› Publieke en private organisaties kunnen generatieve AI gebruiken om communicatie naar inwoners te herschrijven in begrijpelijker taal › Inwoners kunnen een AI-model vragen om te helpen met brieven schrijven naar bedrijven en overheden, bijvoorbeeld voor sollicitaties of bezwaarbrieven; of om brieven in begrijpelijker taal uit te leggen, zoals met de Lees Simpel App (Odido, 2024). › Generatieve AI kan kleine bedrijven helpen bij het factureren, klantenservice, en het opstellen van communicatiematerialen (zoals een nieuwsbrief of social media-post) en hun concurrentiepositie tegen grotere bedrijven verbeteren
Woningcrisis en stagnatie van woningbouw	Generatieve AI kan helpen in vergunningsaanvragen; met name in combinatie met AI agenten (zie 'AI: Automation and assistance'). Ook helpen de hierboven genoemde toepassingen om woningbouw te versnellen.	Aannemers en bouwbedrijven kunnen vergunningsaanvragen en -ontheffingen sneller aanvragen wanneer de tekst hiervoor met hulp van generatieve AI opgesteld wordt.

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Vergrijzing en Gezondheidskloof	Generatieve AI ondersteunt de zorgsector door administratieve lasten te verlichten (Kamphuis et al., 2025), rapportages te verbeteren waardoor betrokkenen meer inzicht krijgen (ActiZ, 2025), en zorgverleners te helpen via chatbots bij vragen buiten hun expertise (Verkerk, 2025). Met behulp van generatieve AI kan ook synthetische data gegenereerd worden: data die de algemene kenmerken van een verzameling ‘echte’ data van personen bevat, zonder de identiteit van die personen weg te geven. Met synthetische data op basis van patiëntgegevens wordt meer medisch onderzoek mogelijk, terwijl de privacy van de patiënten gewaarborgd wordt. Uiteindelijk wordt zorgverlening en zorgkennis dan breder toegankelijk.	› Spraak omzetten naar tekst, om een gesprek in een zorgdossier op te kunnen nemen › Een samenvatting van een patiëntendossier genereren. › ‘Digitale dokters’ kunnen zo de druk op de zorg verlagen terwijl de toegankelijkheid van goed medisch advies verbetert. › Met betrekking tot synthetische data: Stel je een patiëntenbestand voor met leeftijd, symptomen, en behandelingen. Op basis van deze echte dataset, kan een synthetische dataset gemaakt worden, waarin de patiënten niet individueel te herleiden zijn, maar de relaties tussen de eigenschappen (zoals tussen symptomen en behandelingen) gewaarborgd blijven. Synthetische data faciliteert medisch onderzoek naar bijvoorbeeld leefomstandigheden of ziektes en de effectiviteit van behandelingen (TNO, 2023) › Met generatieve AI leefstijladvies of medische informatie in eenvoudige taal uitleggen. De AI-functionaliteit kan in een app of digitaal patiëntenportaal ingebouwd worden, zodat de informatie en de uitleg daarvan bij elkaar staan.

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Maatschappelijk klimaat (onveiligheid, wantrouwen, polarisatie)	Generatieve AI kan een rol spelen bij digitale burgerparticipatie door inwoners te helpen via een digitale ‘avatar’ die hun profiel, voorkeuren en wensen vertegenwoordigt in participatietrajecten. Zo krijgen ook mensen die niet fysiek deelnemen aan bijvoorbeeld insprekavonden alsnog een stem. Het gebruik van deze AI-agenten kan zorgen voor een bredere en inclusievere deelname aan democratische processen. Tegelijkertijd is voorzichtigheid geboden om te voorkomen dat generatieve AI echte burgerinspraak vervangt en om te waarborgen dat de wensen die AI-agenten uitdragen ook daadwerkelijk overeenkomen met de echte behoeften van inwoners. Dit vraagt om transparantie, controle en verantwoording bij het inzetten van AI in burgerparticipatie om negatieve effecten op het maatschappelijke klimaat te vermijden	› Besluitvormers definiëren verschillende scenario’s voor een bepaald beleid (bijvoorbeeld het vergroten van de terraszones in de binnenstad) en vragen inwoners, of hun ‘avatars’, om hun mening. De avatars kunnen de mening van hun ‘eigenaar’ voorspellen en weergeven. › Een kwaadwillende maakt met AI een nepfilmpje van een demonstratie in de binnenstad, om onrust in lokale groepsapps te stoken.
Verslechterende Rijksfinanciën	Generatieve AI kan gemeentelijke organisaties helpen door werkprocessen te versnellen en de dienstverlening te verbeteren, bijvoorbeeld door het automatisch opstellen van teksten en sneller beantwoorden van vragen van inwoners en ondernemers of bij ondersteuning van het eigen personeel.	› Opstellen van brieven naar belanghebbenden bij besluiten over de openbare ruimte of vergunningen; bijvoorbeeld wanneer werkzaamheden aan een riool of de opening van een nieuwe culturele locatie gecommuniceerd worden naar omwonenden. › Gemeente medewerkers kunnen complexe onderwerpen laten uitleggen in begrijpelijke taal, waardoor ze beter onderbouwde besluiten kunnen nemen. Wel is het belangrijk dat deze uitleg klopt, dus het raadplegen van interne of externe experts blijft nodig. › Pilot van Samenwerkingsverband WerkSaam West-Friesland met GenAI voor persoonlijke en gepersonaliseerde dienstverlening bij re-integratie (Bekkers, 2024)

4.4.4 Multimodal models and small language models

Zichtjaar: vóór 2030



Afbeelding gereproduceerd van Boudiaf & LOTI (n.d.)

Wat doet deze technologie?

De categorie *AI: Multimodal models and Small Language Models* omvat twee belangrijke ontwikkelingen binnen kunstmatige intelligentie:

- › Multimodale AI-modellen: dit zijn systemen die verschillende soorten gegevens zoals tekst, afbeeldingen, audio en video gelijktijdig kunnen verwerken, combineren en interpreteren. In plaats van zich te beperken tot één type data, integreren deze modellen meerdere modaliteiten om tot een vollediger en contextbewuster begrip te komen. Dit maakt het mogelijk om bijvoorbeeld een foto te analyseren, een gesproken vraag te begrijpen en relevante tekstinformatie te combineren binnen één systeem. Dergelijke toepassingen worden ingezet in geavanceerde chatbots, slimme assistenten en medische diagnostiek, waarbij informatie uit verschillende bronnen samenkomt voor nauwkeurigere en rijkere resultaten.
- › Small Language Models (SLM's): dit zijn compacte taalmodellen die ontworpen zijn om efficiënt te functioneren op apparaten met beperkte rekenkracht, zoals smartphones of edge devices. Ze kunnen natuurlijke taal begrijpen en genereren, maar zijn kleiner en sneller dan de grote, bekende AI-modellen. SLM's zijn bijzonder geschikt voor specifieke, afgebakende taken zoals vertalen, samenvatten of het ondersteunen van eenvoudige chatbots. Door hun schaalbaarheid en energiezuinigheid maken ze AI-toepassingen toegankelijker voor een breed scala aan gebruikers en toepassingen (Deloitte, 2024).

Wat maakt deze technologie vernieuwend?

De vernieuwing zit in de verbreding en decentralisatie van AI-functionaliteit. Multimodale modellen tillen AI naar een hoger niveau door verschillende soorten input te combineren, wat leidt tot rijkere interacties en betere besluitvorming. Dit is een stap richting meer menselijke vormen van informatieverwerking. Tegelijkertijd maken SLM's het mogelijk om AI

lokaal en efficiënt toe te passen, zonder afhankelijk te zijn van zware cloudinfrastructuur. Hierdoor kunnen organisaties en gebruikers AI inzetten op plekken waar dat voorheen niet mogelijk was met behoud van snelheid, privacy en energie-efficiëntie (Deloitte, 2024).

Wanneer zien we deze technologie in de praktijk?

De uitrol van multimodale AI-modellen en SLM's is al in volle gang en wordt in 2025 gezien als een dominante trend binnen de AI-sector. Volgens Gartner (2024a) zal 40% van de generatieve AI-oplossingen in 2027 multimodaal zijn, tegenover slechts 1% in 2023. Daarnaast voorspelt Gartner (2025) dat organisaties tegen 2027 drie keer vaker kleine, taakgerichte AI-modellen zullen inzetten dan grote, algemene taalmodellen. Deze verschuiving wijst op een bredere adoptie van efficiënte, contextbewuste en toegankelijke AI-oplossingen in zowel consumentenproducten als bedrijfsprocessen.

Tabel 4.10presenteert een overzicht van Multimodal models and Small Language Models toepassingen van AI in relatie tot maatschappelijke trends

Tabel 4.10: Overzicht toepassingen AI: Multimodal models and Small Language Models in relatie tot maatschappelijke trends

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Krapte op de arbeidsmarkt	Multimodale en taalmodellen ondersteunen andere AI-systemen door verschillende soorten informatie (zoals tekst, audio en video) te verwerken. Kleine taalmodellen bieden hierbij voordelen: ze zijn efficiënter, vragen minder rekenkracht en kunnen worden getraind op lokale data, zoals die van Breda. Dit maakt ze beter toepasbaar in specifieke contexten en ‘goed genoeg’ voor veel praktische toepassingen.	) Een webwinkel geeft een multimodaal model via tekst de instructie om foto’s van retour gestuurde goederen te beoordelen op schade en gebruikssporen. Wanneer deze zijn gedetecteerd, analyseert het model of dit te herstellen is en op welke manier. Het model rapporteert een tekst met verwijzing naar het defect en het herstelplan.) Onderzoekers van de Erasmus Universiteit Rotterdam ontwikkelden als <i>proof of concept</i> een SLM voor onder andere het schrijven van essays. De trainingsdata bevat studentenscripties en artikelen van wetenschappers van de universiteit (Gonçalves et al., 2025)

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Groei van de gemeente en Ruimtelijke transformatie	› Multimodale modellen verrijken de mogelijkheden van AI 'Advanced data analysis and interpretation' en generatieve AI. Deze modellen kunnen niet alleen overweg met data van Internet of Things-sensoren, maar ook bijvoorbeeld GIS-informatie, satellietbeelden, beleidsstukken, en feedback uit de gemeenschap. Dit verbetert inzicht in het huidige gebruik van de ruimte, en maakt het mogelijk om toekomstig gebruik – ook na eventuele transformaties – te voorspellen. › SLM's kunnen in de stedelijke praktijk worden ingezet voor het automatisch opstellen van ontwerpteksten, het analyseren van beleid en het ophalen van lokale data. Ze ondersteunen ook bij communicatie met inwoners, bijvoorbeeld over mobiliteit, vergunningen of voorzieningen. Door hun schaalbaarheid en beperkte rekenkracht zijn ze geschikt voor lokale toepassingen, zoals gemeentelijke systemen. Met verdere ontwikkeling kunnen ze ook complexere taken aan, zoals participatie, ontwerpbeoordeling en scenarioplanning.	Gespecialiseerde AI-modellen ondersteunen nu al ruimtelijke transformaties. Zo genereert PlanGPT stedelijke ontwerpteksten, haalt relevante informatie op en beoordeelt ontwerpen (Zhu et al., 2024). UrbanLLM beantwoordt vragen van bezoekers over bijvoorbeeld vervoer en parkeren beter dan generieke AI-modellen (Jiang et al., 2024). Verdere doorontwikkeling van deze systemen zal het mogelijk maken om ook complexere ruimtelijke ontwerpen te genereren.

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Woningcrisis en stagnatie van woningbouw	Bij het analyseren van energieverbruik en netcongestie is uiteenlopende informatie nodig, zoals lokale productie, verbruik en energieprijzen. Omdat deze data vaak in verschillende formaten voorkomt, is het lastig te combineren met traditionele analysemethoden. AI kan deze diverse gegevens slim koppelen en interpreteren, wat gemeenten helpt om beter te plannen en ruimtelijke keuzes af te stemmen op het energiesysteem. Dezelfde aanpak geldt voor het ontwerpen van gebouwen, waarbij AI verschillende databronnen kan combineren, zoals gebruikersbehoeften, materiaalprestaties en omgevingsfactoren, om efficiëntere, duurzamere en beter afgestemde ontwerpen te maken.	› Door verschillende datatypen te combineren met een multimodaal model, kan netcongestie voorspeld worden op korte termijn (om zo energieverbruik daarop aan te passen) en op lange termijn (bijvoorbeeld wanneer nieuwe huishoudens of bedrijven op het elektriciteitsnet aangesloten worden). Zo kan gekozen worden om op een bepaald moment wel of geen energie te verbruiken (Dobbe, 2024). › Toepassingen in het woondomein zijn het voorspellen van lichtinval in ontwerpen van gebouwen (Kat et al., 2024) en het voorspellen van huizenprijzen (Hasan et al., 2024; Waddell & Besharati, 2023).
Vergrijzing en Gezondheidskloof	Omdat SLM's minder rekenkracht vereisen dan LLMs, kunnen ze uitgevoerd worden op apparaten van een organisatie of persoon zelf. Privacygevoelige informatie kan met SLM's geanalyseerd worden zonder dat de informatie het apparaat waar het op is opgeslagen verlaat (Garg et al., 2025). De voordelen bij 'generatieve AI' en 'Advanced data analysis and interpretation' zijn hier dus ook van toepassing. Wel blijft privacy beter gewaarborgd en is de persoon of organisatie minder afhankelijk van een dienstverlener (zoals een AI-aanbieder).	Leefstijladviezen voor mensen die in een gebied met slechte luchtkwaliteit en een grote hoeveelheid geluidsoverlast wonen of werken; zonder dat persoonlijke data over de gebruikers hun huidige leefstijl hun apparaat verlaat.

Maatschappelijke trend	Bijdrage technologie aan maatschappelijke trend	Voorbeelden
Verslechterende Rijksfinanciën	Multimodale AI-modellen bieden gemeenten het voordeel dat ze niet alleen tekst, maar ook beelden, geluid en sensorgegevens kunnen verwerken, wat kan leiden tot betere en rijkere inzichten voor besluitvorming. SLM's zijn efficiënt in taalverwerking en kunnen met minder rekenkracht snel vragen beantwoorden en informatie vereenvoudigen, wat communicatie met inwoners kan verbeteren. SLM's kunnen daarnaast lokaal draaien, wat kosten bespaart en betrouwbaarheid verhoogt.	› Met een multimodaal model kan de waarde van woningen beter voorspeld worden (Despotovic & Brunauer, 2024). Dit is toepasbaar bij het berekenen van WOZ-waardes. › Lu et al. (2023) beschrijven een multimodaal model dat meldingen van inwoners analyseert en bepaalt welke afdeling van de gemeente de melding op moet pakken. Het model kan tekst, beeld en locatie verwerken.

4.5 Aandachtspunten voor digitalisering en kansenongelijkheid

Digitale technologieën bieden veelbelovende mogelijkheden om maatschappelijke trends aan te pakken, zoals personeelstekorten, ruimtelijke druk en vergrijzing. Tegelijkertijd is de effectiviteit van deze toepassingen sterk afhankelijk van een aantal randvoorwaarden. Denk aan een robuuste digitale infrastructuur, voldoende digitale vaardigheden onder inwoners en professionals, en duidelijke kaders voor privacy, transparantie en publieke waarden. Ontbreken deze voorwaarden, dan kunnen technologieën hun potentieel niet waarmaken en ontstaan risico's zoals economische afhankelijkheid, ondoorzichtige besluitvorming of het vervagen van publieke en private verantwoordelijkheden.

Daarnaast is het van belang om oog te hebben voor de manier waarop digitalisering bestaande ongelijkheden kan versterken. Niet iedereen profiteert in gelijke mate van technologische vooruitgang. In sommige gevallen vergroten digitale toepassingen juist de kloof in toegang tot informatie, zorg of dienstverlening. Deze paragraaf reflecteert daarom niet alleen op de randvoorwaarden en risico's van digitalisering, maar ook op de impact ervan op kansenongelijkheid.

In paragraaf 4.5.1 wordt ingegaan op de vernieuwing van digitale trends en de bijbehorende sociale en technische risico's en randvoorwaarden. In paragraaf 4.5.2 staat de invloed van digitalisering op kansenongelijkheid centraal. In paragraaf 4.5.3 wordt tot slot gereflecteerd op de inzet van digitale technologieën binnen een aantal maatschappelijke trends. Op basis van expertinzichten worden hierbij aanvullende randvoorwaarden benoemd, evenals kansen en risico's met betrekking tot kansenongelijkheid.

4.5.1 Digitalisering

De resultaten laten zien dat een breed scala aan digitale technologieën op steden en hun inwoners afkomt. Sommige technologieën, zoals RISes en tactiel internet, zijn waarschijnlijk nog onbekend voor zowel beleidsmakers als inwoners. Bij de meeste technologieën zit de

vernieuwing echter vooral in de manier waarop bestaande technologieën worden gecombineerd, bijvoorbeeld met kunstmatige intelligentie of geavanceerde connectiviteit. Ook zijn er technologieën waarvan verwacht wordt dat ze door verdere ontwikkeling sneller en effectiever zullen worden ingezet. Deze technologieën kunnen op een positieve manier bijdragen aan het aanpakken van maatschappelijke trends, zoals het verlichten van werkdruk, het versnellen van werkprocessen en het creëren van nieuwe ontwikkelkansen, bijvoorbeeld in de zorg en de bouwsector. Immersieve technologieën maken het bovendien mogelijk om op afstand contact te houden, wat van waarde kan zijn in sociale en professionele contexten.

Om deze toepassingen daadwerkelijk te realiseren, zijn echter een aantal randvoorwaarden van belang. Allereerst moet het lokale en regionale data-ecosysteem op orde zijn, met voldoende aandacht voor connectiviteit, datacenters, energievoorziening en privacybescherming. Daarnaast zijn sommige technologieën, zoals connectiviteitstechnologieën, essentieel voor het functioneren van andere toepassingen, zoals Ambient Invisible Intelligence en Extended Reality. De inzet van deze technologieën is dus afhankelijk van de beschikbaarheid en kwaliteit van onderliggende infrastructuur. Tot slot is ook digitale geletterdheid een belangrijke voorwaarde. Om ervoor te zorgen dat iedereen kan meedoen in de digitale samenleving, is het van belang dat mensen over de juiste vaardigheden beschikken om met deze technologieën om te gaan. Dat kan gaan over kennis en vaardigheden over de werking van de technologie om de technologieën te gebruiken, maar ook over de capaciteit om kritische vragen te stellen bij de toepassing en uitkomsten van bijvoorbeeld AI.

Aandachtspunten en risico's voor verantwoorde toepassing

Naast de eerder benoemde randvoorwaarden zijn er ook bredere, structurele risico's die van cruciaal belang zijn voor een verantwoorde inzet van digitale technologieën. Eén daarvan is het risico op economische afhankelijkheid van een beperkt aantal aanbieders, zoals bij een vendor lock-in. Dit kan leiden tot hoge kosten en beperkte toegang tot digitale oplossingen, vooral in sectoren zoals de zorg, waar momenteel slechts een kleine groep technologiebedrijven actief is.

Verder spelen publiek-private samenwerkingen een belangrijke rol in de ontwikkeling en toepassing van digitale technologieën, maar dit vereist wel een duidelijke taakverdeling. Commerciële partijen bieden steeds vaker technologieën aan die raken aan publieke functies, zoals slimme camera's en digitale zorgdiensten. Hierdoor vervaagt de grens tussen publieke en private verantwoordelijkheden. Daarbij is ook het maatschappelijke klimaat van invloed: digitalisering kan bijdragen aan individualisering en eigenrichting, met mogelijke gevolgen voor privacy en sociale cohesie.

Daarnaast worden geopolitieke en ethische vraagstukken steeds urgenter. Technologieën zijn vaak doordrenkt van culturele en politieke waarden uit hun land van herkomst, terwijl transparantie over hun werking, controlemechanismen en de gevolgen bij uitval regelmatig ontbreekt. Bovendien kunnen publieke waarden zoals efficiëntie, transparantie en inclusiviteit met elkaar conflicteren. Dit vraagt om bewuste, contextafhankelijke afwegingen (Witte-Schaaphok et al., 2024). Tot slot blijft bias (vooringenomenheid) in AI-systemen een zorgwekkend punt. Deze systemen kunnen leiden tot ongelijke behandeling op basis van kenmerken zoals geslacht, ras of taal (Catamco, 2024).

Tot slot brengt Generatieve AI duurzaamheidskwesties met zich mee. De technologie verbruikt veel energie. Het stroomverbruik van datacenters zal naar verwachting tegen 2030

meer dan verdubbelen tot ongeveer 945 terawattuur (TWh), wat iets meer is dan het totale stroomverbruik van Japan nu (International Energy Agency (2025)).

4.5.2 Kansenongelijkheid

Tijdens het onderzoek zijn verschillende mogelijkheden besproken waarin digitale technologieën kunnen bijdragen aan het verkleinen van kansenongelijkheid. In de eerdere paragraaf over digitalisering zijn al enkele relevante aandachtspunten aan bod gekomen. In het onderstaande overzicht maken we deze punten explicieter door ze te benoemen als kansen en uitdagingen die specifiek betrekking hebben op kansenongelijkheid.

Vanuit de verkenning hebben we gezien dat de genoemde digitale technologieën kunnen bijdragen aan een inclusievere samenleving. Zo kunnen virtuele ontmoetingen sociale contacten bevorderen voor mensen die anders geïsoleerd raken, bijvoorbeeld door fysieke beperkingen of geografische afstand. Immersieve technologieën maken het mogelijk om op een betekenisvolle manier contact te houden met vrienden en familie, zelfs op afstand. Daarnaast kunnen AI-agents praktische ondersteuning bieden bij administratieve processen, zoals het aanvragen van uitkeringen of het vinden van werk. Denk aan systemen die automatisch relevante vacatures verzamelen, motivatiebrieven opstellen, of uitkeringsrechten analyseren en aanvragen. Zulke toepassingen kunnen drempels verlagen voor mensen die moeite hebben met bureaucratische procedures of sollicitatieprocessen.

Tegelijkertijd brengt digitalisering risico's met zich mee die kansenongelijkheid kunnen vergroten. Niet iedereen beschikt bijvoorbeeld over de vaardigheden om technologie effectief te gebruiken, wat samenhangt met factoren als leeftijd, opleidingsniveau en leefomgeving. Hierdoor kunnen bepaalde groepen disproportioneel vaak te maken krijgen met technologieën die hen niet optimaal bedienen. Denk aan ouderen of chronisch zieken die via IoT worden gemonitord, of mensen die afhankelijk zijn van geautomatiseerde dienstverlening bij overheidsinstanties. Als deze technologieën niet goed functioneren of discriminerend zijn, raken juist kwetsbare groepen benadeeld.

Daarnaast speelt het risico dat betere, ethischere of comfortabelere technologieën vaak duurder zijn en daardoor niet voor iedereen toegankelijk. Bijvoorbeeld: hoogwaardige immersieve technologieën kunnen sociale voordelen bieden, maar zijn mogelijk te kostbaar voor mensen met een laag inkomen. Ook bij AI speelt dit: systemen die getraind zijn op kwalitatief goede data (zoals academische publicaties) zijn duurder dan systemen die gebruikmaken van gratis, maar potentieel onbetrouwbare bronnen. Tot slot kunnen bedrijven geld vragen voor extra privacybescherming, waardoor digitale veiligheid afhankelijk wordt van financiële draagkracht (NOS Nieuws, 2025).

4.5.3 Digitale technologie in context: randvoorwaarden en risico's voor gelijke kansen

Voor de maatschappelijke trends krapte op de arbeidsmarkt, groei van de gemeente, ruimtelijke transformatie, vergrijzing en gezondheidskloof hebben experts specifieke aandachtspunten benoemd voor de inzet van digitale technologieën in deze specifieke contexten. Deze reflecties brengen niet alleen aanvullende randvoorwaarden voor digitalisering aan het licht, maar ook kansen en risico's met betrekking tot kansenongelijkheid. In de onderstaande paragrafen worden deze inzichten per maatschappelijke trend waar ze betrekking op hebben toegelicht.

Krapte op de arbeidsmarkt

Nieuwe technologieën kunnen helpen om personeelstekorten te verminderen door werk slimmer en efficiënter te organiseren. Toch zijn er belangrijke kanttekeningen. Hoewel ze vaak worden gepresenteerd als middelen om kosten en arbeid te besparen, brengen ze ook extra uitgaven met zich mee, zoals voor aanschaf, beheer en het aanpassen van werkprocessen. Die kosten kunnen hoger uitvallen dan de verwachte efficiëntiewinst. Daarom is het verstandig om eerst de bestaande werkprocessen kritisch te bekijken omdat er soms ook winst te behalen is zonder ingrijpende technologische veranderingen. Daarnaast waarschuwen experts dat een hogere productiviteit niet altijd het gewenste effect heeft: het kan juist leiden tot strengere eisen voor personeel, waardoor het positieve effect op de arbeidsmarkt beperkt blijft. Ook mensen buiten de organisatie worden geraakt door technologische toepassingen, zoals klanten of inwoners die met AI-systemen moeten omgaan. Het niveau van dienstverlening en inclusiviteit daarvan zijn fundamenteel, zeker in de publieke sector. Dit vraagt om structurele investeringen en visie, maar ook om betrokkenheid van medewerkers en aandacht voor alle gebruikers.

Groei van de gemeente en ruimtelijke transformatie

Hoewel technologie de besluitvorming over ruimtelijke vraagstukken kan ondersteunen, wijzen experts op belangrijke kanttekeningen. De grote hoeveelheid data uit modellen en simulaties moet overzichtelijk en toegankelijk blijven, anders dreigen besluitvormers het overzicht kwijt te raken en komt het proces tot stilstand. Besluitvorming is en blijft een menselijk, cognitief proces; blind vertrouwen in data als absolute waarheid is riskant. De ervaringen van betrokkenen verdienen altijd een plek in het proces. Daarbij geldt dat simulaties een weergave van de werkelijkheid zijn, maar nooit de werkelijkheid zelf. Hoe voorkeuren, gedrag, belangen en doelen in deze modellen worden gedefinieerd, heeft veel invloed. Daarom is transparantie cruciaal: het moet duidelijk zijn wie deze definities heeft opgesteld, hoe dit is gebeurd, en welke belangen daarbij onvoldoende zijn meegenomen. Als mensen zich niet herkennen in de uitgangspunten van een technologie, kan dat leiden tot wantrouwen of protest. Dit wantrouwen is vaak een symptoom van bredere zorgen over het besluitvormingsproces. Het vergroten van burgerparticipatie kan helpen om vertrouwen te herstellen en tot meer inclusieve besluitvorming te komen.

Vergrijzing en gezondheidskloof

AI wordt steeds vaker ingezet in de zorg, onder meer om administratieve lasten te verlichten. Hoewel dit efficiëntie belooft, wijzen experts op belangrijke uitdagingen. Zo is de technologie momenteel nog niet betrouwbaar genoeg, wat ertoe leidt dat zorgpersoneel juist méér tijd kwijt is aan het corrigeren of ondersteunen van deze systemen. Daarnaast vraagt het effectief gebruik van AI om technische doorontwikkeling en kennisopbouw, wat op voorhand flinke investeringen vereist vanuit zowel de sector als individuele medewerkers. Of daar voldoende middelen en tijd voor beschikbaar zijn, is onzeker. Naast deze praktische kanttekeningen heeft de toepassing van AI en zorgtechnologie bredere maatschappelijke gevolgen. Doordat mensen vaker thuis behandeld kunnen worden, blijven ouderen langer in woningen die mogelijk niet passend zijn, wat de druk op de woningmarkt verhoogt. Tegelijk kan het sociale aspect van zorg, zoals menselijk contact en persoonlijke aandacht, in het gedrang komen.

Bovendien kan technologische vooruitgang onbedoeld extra druk op de zorgcapaciteit met zich meebrengen. Meer diagnoses via digitale systemen leiden tot een grotere zorgvraag, en door stijgende levensverwachting nemen ook de totale zorgkosten toe. Daarbij zijn veel AI-systemen nog bevooroordeeld: ze werken minder goed voor bepaalde groepen, bijvoorbeeld op basis van geslacht of culturele achtergrond (Catamco, 2024). Digitale ongelijkheid vergroot bovendien de gezondheidskloof en kan daarmee kansenongelijkheid vergroten.

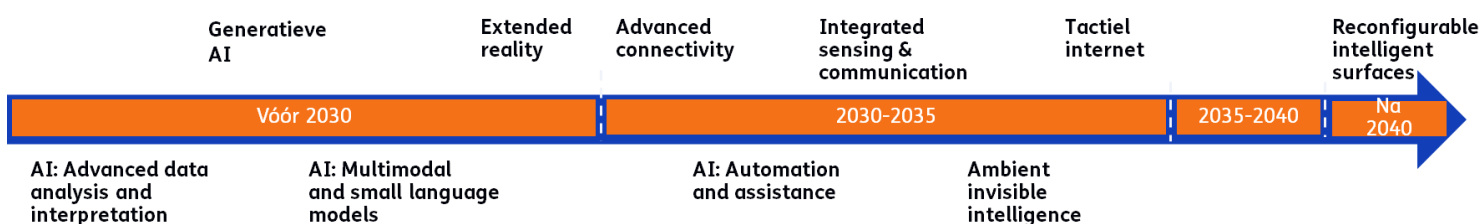
Mensen met beperkte digitale vaardigheden krijgen soms minder toegang tot zorg, zeker wanneer ze eerst naar technische diensten worden verwezen (NWO, 2025).

5 Conclusie en aanbevelingen

5.1 Conclusie

Dit onderzoek heeft als doel om partners van Breda en andere betrokken partijen te inspireren tot het opzetten van experimenten met digitale technologieën. Daarnaast draagt het bij aan bewustwording van opkomende technologieën en aan het verkennen van hun potentieel om de kwaliteit van leven in Breda te verbeteren. De centrale vraag die in dit rapport wordt onderzocht luidt: *Welke digitale ontwikkelingen komen op de stad en haar inwoners af, hoe sluiten deze aan bij de door Breda geïdentificeerde maatschappelijke trends, en welke combinaties bieden kansen voor partners om digitale innovaties op een positieve manier in te zetten voor de maatschappelijke vraagstukken van de stad?*

In het onderzoek zijn tien digitale ontwikkelingen geïdentificeerd, verdeeld over vier categorieën: connectiviteitstechnologieën, Internet of Things (IoT), immersieve technologieën, en kunstmatige intelligentie (AI) en data. Het verwachte zichtjaar van deze technologieën varieert sterk (zie figuur 2). Zo worden AI- en datatoepassingen al uitgerold of rond 2030 verwacht, terwijl immersieve technologieën en geavanceerde connectiviteit pas tussen 2030 en 2035 breed beschikbaar zullen zijn. Voor technologieën zoals *reconfigurable intelligent surfaces* wordt zelfs pas na 2040 een brede toepassing voorzien. Een belangrijk kantelpunt lijkt het jaar 2030, waarin de uitrol van 6G, onderdeel van advanced connectivity, wordt verwacht. Deze technologie is cruciaal als randvoorwaarde voor de toepassing van andere technologieën vanwege de vereiste snelheid en stabiliteit van connectiviteit.



Figuur 5.1: Overzicht technologieën

De geïdentificeerde technologieën zijn in veel gevallen verbeteringen van huidige technologieën. Ze verbeteren niet alleen bestaande processen, maar maken ook geheel nieuwe toepassingen mogelijk. Volgens de literatuur en experts zijn de innovaties vooral kansrijk wanneer ze in samenhang worden ontwikkeld en toegepast. Sommige technologieën zijn zelfs randvoorwaardelijk voor het functioneren van andere. Zo vereisen immersieve technologieën en IoT een stabiele en snelle verbinding, terwijl AI-technologieën elkaar versterken door geavanceerde data-analyse en interpretatie die automatisering mogelijk maakt.

De maatschappelijke impact van deze technologieën is divers. Ze kunnen bijdragen aan meer efficiëntie en productiviteit, bijvoorbeeld door automatisering van processen, besturing op afstand en betere scholing van arbeidskrachten. Daarnaast bieden ze meer inzicht en controle over gebouwen en omgevingen, wat helpt bij het optimaliseren van huidig gebruik en het ontwerpen voor de toekomst. Ook op het gebied van welzijn en levenskwaliteit zijn er kansen, zoals het verbeteren van sociale interactie, zorg op afstand, het monitoren van lucht- en geluidsoverlast, en het overbruggen van taalbarrières.

Uit de geraadpleegde rapporten is op te maken dat opkomende digitale trends zich vooral richten op procesverbetering binnen de bedrijfsvoering, met name in de logistiek en zorgsector. Hierdoor ligt de nadruk van de gevonden toepassingen vooral op deze domeinen, en minder op het gebruik van technologie in de bredere stedelijke context. De ervaringen in stedelijke toepassingen zijn dus relatief beperkt. Dit biedt kansen voor verdere verkenning en verbreding van het toepassingsgebied, zodat digitale innovaties ook kunnen bijdragen aan maatschappelijke trends in de openbare ruimte, het sociale domein en de leefomgeving.

Hoewel sommige technologieën minder directe toepassingen lijken te hebben, betekent dit niet dat ze minder waardevol zijn. Technologieën met een dichterbij liggend zichtjaar zijn eenvoudiger te vertalen naar concrete toepassingen. Faciliterende technologieën zijn bovendien essentieel voor het succes van andere innovaties, wat hun werkelijke waarde vergroot.

5.2 Aanbevelingen

Breda wordt aanbevolen om te focussen op technologieën met een zichtjaar tussen nu en 2035. Technologieën met een langere horizon kampen vaak met een gebrek aan voldoende expertise en infrastructuur, wat experimenten en adoptie bemoeilijkt. Op basis van de volwassenheid en relevantie voor Breda adviseren wij om te overwegen om met de volgende technologieën te experimenteren:

- › *Extended reality (XR)*: creëert interactieve visualisaties en simulaties, bevordert participatie en helpt bij training en ontwerp;
- › *AI: Advanced data analysis and interpretation*: voor betere inzichten en datagedreven besluitvorming bij complexe stedelijke vraagstukken;
- › *Generatieve AI*: biedt veel potentie voor automatisering, creatie van content en participatie, mits ethisch verantwoord toegepast;
- › *AI: Multimodal models and small language models*: geschikt voor lokale toepassing en analyse met diverse datatypes.

Veel van de digitaliseringsinnovatie ligt in het versnellen en stabiliseren van de communicatie, wat vaak minder tastbaar is. Een aantal meer 'zichtbare' digitaliseringstrends die voor de Bredase burgers en bedrijven kansen bieden zijn bijvoorbeeld:

- › *Extended Reality (XR)* benutten in participatieprocessen. Denk aan het door XR-visualisaties kunnen 'ervaren' van toekomstige gebiedsontwikkeling of faciliteren van sociale interactie (inclusie). Dit kan in combinatie met fysieke locaties om de digitaal minder vaardigen te betrekken en draagt bij aan contacten voor sociale cohesie (inclusiviteit). Dit sluit aan bij de maatschappelijke trends 'Groei van de gemeente' en 'Ruimtelijke transformatie'.
- › Het stimuleren van een gezondere en leefbare omgeving met op AI gebaseerde data-analysemodellen (onderdeel van *AI advanced data analysis en interpretation*), om data uit slimme sensoren (zoals luchtkwaliteit, geluid, mobiliteit én IoT-sensoren op gebouwen en infrastructuur) te combineren en analyseren voor inzichten in gerichte investeringen voor woningbouw, infrastructuur, vergroening en onderhoud. Dankzij nieuwe

ontwikkelingen kan AI naar verwachting steeds meer maatschappelijke belangen beschouwen, zoals gezondheid en leefbaarheid, wat bijdraagt aan een gezondere en toekomstbestendige leefomgeving. Dit sluit aan bij maatschappelijke trends ‘Groei van de gemeente’, ‘Ruimtelijke transformatie’, ‘Woningcrisis stagnatie van woningbouw’, en ‘Gezondheidskloof’.

- › *Generatieve AI* inzetten om de wensen van de bedrijven, bezoekers en burgers te verzamelen en om te zetten naar ontwerpen. Besluitvormers definiëren verschillende scenario's voor een bepaald beleid (bijvoorbeeld het vergroten van de terraszones in de binnenstad) en vragen inwoners, of hun ‘avatars’, om hun mening. De avatars kunnen de mening van hun ‘eigenaar’ voorspellen en weergeven. Hiermee kunnen behoeftes van groepen die minder makkelijk deelnemen aan participatieprocessen ook meegenomen worden. Dit sluit aan bij de maatschappelijke trends ‘Groei van de gemeente’, ‘Ruimtelijke transformatie’ en ‘Verslechterde rijksfinanciën’.
- › *Small Language Models (SLM's)* voor ondersteuning bij ruimtelijke transformatie en dienstverlening door gericht en efficiënt tekstuele taken uit te voeren. Denk aan het genereren van ontwerp teksten, het ophalen en interpreteren van relevante lokale data, of het beantwoorden van praktische vragen van inwoners en bezoekers over mobiliteit, voorzieningen of regelgeving. Door hun compacte omvang en domeinspecifieke training zijn SLM's beter inzetbaar voor lokale toepassingen dan generieke AI-modellen. Daarnaast kunnen SLM's lokaal draaien, wat zorgt voor betere privacy, snelheid, betrouwbaarheid, en lagere energieconsumptie. Juist in het maatschappelijke debat over energieverbruik en privacy is dit een kansrijke technologie om samen met partners te verkennen. Dit sluit aan bij de maatschappelijke trends ‘Groei van de gemeente’ en ‘Ruimtelijke transformatie’.

De volgende toepassingen zijn vernieuwend en veelbelovend voor gebruik in een stedelijke omgeving, maar ook nog in ontwikkeling met een zichtjaar voor commerciële uitrol ver na 2030:

- › *AI agents* (onderdeel van *AI automation and assistance*) inzetten om patiënten en ouderen thuis te ondersteunen door medische informatie begrijpelijk uit te leggen en gepersonaliseerde leefstijladviezen geven, eventueel verrijkt met data uit gezondheidssensoren en persoonlijke agenda's. Een kleinschalig experiment met dergelijke AI agents in de thuissituatie kan waardevolle inzichten opleveren in gebruiksgemak, betrouwbaarheid, en impact op zelfredzaamheid en gezondheid. Dit sluit aan bij de maatschappelijke trends ‘Vergrijzing’ en ‘Gezondheidskloof’.
- › ‘Slimme spiegels’ (*Reconfigurable Intelligent Surfaces*) als experiment. Hoewel wat verder in de toekomst gelegen, zou een RIS in een gebied met slecht bereik ingezet kunnen worden om draadloze signalen zoals wifi of mobiele netwerken actief te sturen en versterken. Denk bijvoorbeeld aan geautomatiseerde communicatie tussen automobilisten, fietsers, en de wegbeheerder; bezoekers van een stedelijk evenement informeren over druktehotspots; en het bereik van communicatiemiddelen van hulpverleners waarborgen bij grote evenementen. Dit sluit aan bij de maatschappelijke trend ‘Groei van de gemeente’.

Kansen voor samenwerkingen

Om experimenten met digitale technologieën effectief te starten, is het allereerst aan te raden om een nulmeting uit te voeren. Dit biedt inzicht in de digitale volwassenheid van lokale bedrijven, kennisinstellingen en overheden, evenals hun ondersteuningsbehoeften. Op basis hiervan kan gericht worden gestuurd op het benutten van bestaande capaciteiten en het opzetten van succesvolle experimenten.

De vier genoemde technologieën bieden concrete kansen om aan te sluiten bij bestaande netwerken en initiatieven, wat de drempel voor experimenteren verlaagt en de doorlooptijd van projecten verkort. Zo bestaan er op het gebied van AI landelijke samenwerkingsverbanden. Een voorbeeld is Appl.AI, waar gemeenten via concrete use cases kunnen bijdragen aan onderzoek en ontwikkeling. Dit vergroot de toegang tot expertise en infrastructuur, en verhoogt de relevantie en impact van lokale toepassingen.

Ook op regionaal niveau zijn er waardevolle ecosystemen beschikbaar. Voor XR biedt de Breda Game Hub, een samenwerking tussen de Provincie Noord-Brabant, Gemeente Breda en Breda University of Applied Sciences, bijzondere mogelijkheden. XR wordt hier niet alleen ingezet voor entertainment, maar ook voor maatschappelijke toepassingen in domeinen zoals zorg, veiligheid, onderwijs en participatie.

Daarnaast staan veel gemeenten voor vergelijkbare maatschappelijke trends, zoals arbeidsmarktkrapte, vergrijzing en ruimtelijke druk. Daarom is samenwerking en kennisuitwisseling via platforms zoals de Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG) essentieel voor het ontwikkelen van schaalbare, inclusieve en toekomstbestendige oplossingen.

Tot slot biedt de reeds door de Gemeente Breda ondertekende City Deal Over AI kansen om samen met overheden, kennisinstellingen, maatschappelijke organisaties en bedrijven te leren hoe AI verantwoord en effectief kan worden ingezet voor maatschappelijke opgaven rond leefbaarheid in steden en dorpen.

Verantwoord en inclusief experimenteren

Bij het experimenteren met digitale technologieën is het van belang om niet alleen aandacht te besteden aan technische randvoorwaarden, maar ook aan bredere structurele risico's. Naast de technische haalbaarheid van een technologie, moet ook worden beoordeeld of de toepassing juridisch toegestaan is en ethisch en maatschappelijk wenselijk is. Afhankelijkheid van een beperkt aantal technologieaanbieders kan bijvoorbeeld de keuzevrijheid beperken en leiden tot hoge kosten, vooral in kwetsbare sectoren zoals de zorg.

Ook vraagt de samenwerking tussen publieke en private partijen om een duidelijke taakverdeling, zeker wanneer commerciële technologieën publieke functies raken. Daarnaast spelen geopolitieke en ethische vraagstukken een steeds grotere rol. Technologieën zijn vaak niet neutraal en kunnen botsen met lokale waarden en normen. Transparantie over werking en controle is vaak beperkt, terwijl publieke waarden zoals privacy, inclusiviteit en efficiëntie soms met elkaar conflicteren.

Tot slot blijft vooringenomenheid in AI-systemen een hardnekkig risico, met mogelijk nadelige gevolgen voor kansenongelijkheid. Deze overwegingen vragen om een kritische, maatschappelijk verantwoorde benadering van AI. Om deze risico's goed te kunnen adresseren, is het van groot belang om een breed scala aan belanghebbenden te betrekken bij de opzet en uitvoering van experimenten. Denk aan bedrijven (groot én klein), inwoners uit verschillende wijken, onderwijsinstellingen en gemeentelijke medewerkers. Een brede dialoog over normen, waarden en verwachtingen rondom technologie draagt bij aan draagvlak, inclusiviteit en maatschappelijk vertrouwen. De reeds genoemde samenwerkingsverbanden kunnen helpen om tot een breder gedragen experiment te komen.

Referenties

- Acampora, G., Cook, D. J., Rashidi, P., & Vasilakos, A. V. (2013). A Survey on Ambient Intelligence in Health Care. *Proceedings of the IEEE. Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 101(12), 2470-2494. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2013.2262913>
- ActiZ. (2025, 24 februari). *In gesprek met vier zorgpartijen over de AI-revolutie van minister Agema*. ActiZ. <https://www.actiz.nl/gesprek-met-vier-zorgpartijen-over-de-ai-revolutie-van-minister-agema>
- Aijaz, A., & Sooriyabandara, M. (2018). The tactile internet for industries: A review. *Proceedings of the IEEE*, 107(2), 414-435. <https://10.1109/JPROC.2018.2878265>
- Baldemair, R. (2024). *Integrated Sensing and Communication*. Ericsson. <https://www.ericsson.com/en/blog/2024/6/integrated-sensing-and-communication>
- Barcevičius, E., Bobrovnikova, E., Chen, M., Danielle, L., van Deventer, O., Gunkel, S., Gabaliņa, R., Kudzmanaitė, B., De Koninck, T., Sarmanova, A., van der Veen, T., Vinagre, C., Wójtowicz, A., Zepcan, A., & Zuraniewski, P. (2025). *Background document: Input for the Global Multistakeholder High Level Conference on Governance for Web 4.0 and Virtual Worlds, 31 March – 1 April 2025*. PPMI & TNO. <https://ec.europa.eu/newsroom/dae/redirection/document/113701>
- Barel, A., & Heijsser, W. (2025). *DEEP DIVE HAZELDONK: Inspecteren van het wegdek met een drone*. <https://bredata.nl/wp-content/uploads/2025/06/Sessie-3-Wouter-Heijsser-Alette-Barel-Inspectieverharding.pdf>
- Bekkers, H. (2024, 29 april). *VNG trekt miljoenen uit voor pilots tegen personeelskrapte*. Binnenlands Bestuur. <https://www.binnenlandsbestuur.nl/carriere/kunstmatige-intelligentie/vng-trekt-miljoenen-uit-voor-pilots-tegen-personeelskrapte>
- Boudiaf, Y. & LOTI. (n.d.). *Data Processing*. Better Images of AI. <https://betterimagesofai.org/images?artist=YasmineBoudiaf&title=DataProcessing>
- Capgemini. (2024). *TechnoVision 2024: Prompt the Future*. Capgemini. <https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2024/01/TechnoVision-2024-CTIO-Report-Web-Version.pdf>
- Carahsoft. (2024, 8 april). *The top 10 5G events for government in 2025*. <https://www.carahsoft.com/blog/carahsoft-the-top-10-5g-events-for-government-blog-2025>
- Catamco, E. (2024, 27 augustus). *The Role of Technology in Advancing Healthcare Equity*. American Medical Compliance. <https://americanmedicalcompliance.com/general/role-of-technology-in-advancing-healthcare-equity/>
- Chen, M., Oren, R., Lazo, C., Szijjártó, V., Geurts, A., & Bakker, B. (2023). *Toekomstverkenning Evenementenbranche: Digitale innovaties voor de evenementenbranche in een*

- dynamische wereld* (TNO-2023-R10924). TNO.
<https://publications.tno.nl/publication/34643192/3jG6Gbnn/TNO-2023-R10924.2.pdf>
- Daugherty, P., Burden, A., & Biltz, M. (2024). *Technology Vision 2024: Human by design*. Accenture. <https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/accenture-com/document-2/Accenture-Tech-Vision-2024.pdf#zoom=40>
- Deloitte. (2024, 11 december). *AI agents and autonomous AI*. Deloitte Insights. <https://www.deloitte.com/us/en/insights/topics/technology-management/tech-trends/2025/tech-trends-ai-agents-and-autonomous-ai.html>
- Despotovic, M., & Brunauer, W. A. (2024). Scalable multimodal assessment of the micro-neighborhood using orthogonal visual inputs. *Journal of Housing and the Built Environment*, 39, 1937-1964. <https://doi.org/10.1007/s10901-024-10153-2>
- Dobbe, R. (2024, 17 december). *Slim net kan niet zonder AI én sociale basis*. De Ingenieur. <https://deingenieur.nl/artikelen/slim-net-kan-niet-zonder-ai-en-sociale-basis>
- Ekudden, E., & Cohen, Y. (2024, June 20). *Integrated sensing and communication unlocks spatial location of objects*. Ericsson. <https://www.ericsson.com/en/blog/2024/6/integrated-sensing-and-communication-unlocks>
- Ex, L., Nieuwenhuizen, W., Hijstek, B., Roolvink, S., & van Huijstee, M. (2023). *Immersieve technologieën*. Rathenau Instituut. https://www.rathenau.nl/sites/default/files/2023-10/Scan_Immersieve_techologieen_Rathenau_Instituut.pdf
- Fettweis, G. P. (2014). The tactile internet: Applications and challenges. *IEEE vehicular technology magazine*, 9(1), 64-70. <https://doi.org/10.1109/MVT.2013.2295069>
- Fink, O., Hartung, T., Lee, S. Y., Maynard, A., van Gemert-Pijnen, L., Lee, D., van Schijndel, B., Alouini, M. S., Costantine, J., Di Renzo, M., Garcia-Martinez, J., DiChristina, M., & others. (2024). *Top 10 emerging technologies of 2024: In full – AI for scientific discovery; Reconfigurable intelligent surfaces*. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/publications/top-10-emerging-technologies-2024/in-full/1-ai-for-scientific-discovery/#3-reconfigurable-intelligent-surfaces>
- Garg, M., Raza, S., Rayana, S., Liu, X., & Sohn, S. (2025). *The Rise of Small Language Models in Healthcare: A Comprehensive Survey*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.17119>
- Gartner. (2023). *Artificial Intelligence Software, 2023-2027, Worldwide*. <https://www.gartner.com/en/documents/4925331>
- Gartner. (2024). *2025 Top Strategic Technology Trends*. Gartner. <https://emt.gartnerweb.com/ngw/globalassets/en/information-technology/documents/trends/2025-top-tech-trends-ebook.pdf>
- Gartner. (2024a, 9 september). *Gartner: Veertig procent van GenAI-oplossingen is in 2027 multimodaal*. <https://www.dutchitleaders.nl/news/499802/gartner-veertig-procent-van-genai-oplossingen-is-in-2027-multimodaal>

- Gartner. (2024b, 19 oktober). *Use Ambient Intelligence to Expose Your Organization's Blind Spots*. <https://www.gartner.com/en/articles/ambient-intelligence>
- Gartner. (2024c, 21 oktober). *Gartner identifies the top 10 strategic technology trends for 2025*. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2024-10-21-gartner-identifies-the-top-10-strategic-technology-trends-for-2025>
- Gartner. (2025, 9 april). *Gartner predicts by 2027, organizations will use small, task-specific AI models three times more than general-purpose large language models*. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2025-04-09-gartner-predicts-by-2027-organizations-will-use-small-task-specific-ai-models-three-times-more-than-general-purpose-large-language-models>
- Gemeente Amsterdam. (2025, februari). *Advies over pilot afhandeling van bezwaarschriften met behulp van AI – Kern van de zaak*. Gemeente Amsterdam. <https://www.amsterdam.nl/bestuur-organisatie/organisatie/commissie-persoonsgegevens-amsterdam/adviezen-cpa-2025/advies-pilot-afhandeling/>
- Gemeente Breda. (n.d.). *Trendverkenning 2024 'Trends Brede Welvaart'*.
- Ghadiyaly, Z. (2024, 21 september). *Integrating Sensing And Communications (ISAC) for Enhanced System Efficiencies and New User Experiences*. Free 6G Training, <https://www.free6gtraining.com/2024/09/integrating-sensing-and-communications.html>
- Gonçalves, J., Jelcic, N., Murgia, M., & Stamhuis, E. (2025). *The advantages of context specific language models: The case of the Erasmian Language Model*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.06931>
- Hasan, M. H., Jahan, M. A., Ali, M. E., Li, Y.-F., & Sellis, T. (2024). *A Multi-Modal Deep Learning Based Approach for House Price Prediction*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.05335>
- Hendricksen, T., van der Starre, B., Vogelaar, S., Contente, S., Maas, M., & Greenhead, T. (2024). *Groeikansen voor het Immersive Technology ecosysteem Zuid-Holland: Analyse en advies voor de opbouw van een regionaal innovatienetwerk*. Birch. <https://www.birch.nl/cases/groeikansen-voor-het-immersive-technology-ecosysteem-zuid-holland>
- Hilwig, M. (2025, 17 maart). *Bouwen met data: AI veroverd de vastgoedwereld*. Rabobank. <https://www.rabobank.nl/kennis/d011468006-bouwen-met-data-ai-verovert-de-vastgoedwereld>
- Huang, J., Bibri, S. E., & Keel, P. (2025). Generative spatial artificial intelligence for sustainable smart cities: A pioneering large flow model for urban digital twin. *Environmental Science and Ecotechnology*, 24, Artikel 100526. <https://doi.org/10.1016/j.es.2025.100526>
- IBM. (2023, mei). *What is the Internet of Things (IoT)?*. <https://www.ibm.com/think/topics/internet-of-things>
- International Energy Agency. (2025). *Energy and AI*. IEA. <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai>

Ivory, A., & Colton, K. W. (2020, 1 december). *Innovative solutions for the housing crisis*. Stanford Social Innovation Review.

https://ssir.org/articles/entry/innovative_solutions_for_the_housing_crisis

Jiang, Y., Chao, Q., Chen, Y., Li, X., Liu, S., & Cong, G. (2024). UrbanLLM: Autonomous Urban Activity Planning and Management with Large Language Models. *Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2024*, 1810-1825.

<https://doi.org/10.18653/v1/2024.findings-emnlp.98>

Johnston, J. (2024, 12 februari). *Guest Post: Why Integrated Sensing and Communications Will be the Killer App for 6G*. Welcome to 6GWorld.

<https://www.6gworld.com/exclusives/guest-post-why-integrated-sensing-and-communications-will-be-the-killer-app-for-6g/>

Kamphuis, B., Bottema, R., Ansems, S., Erven, C., Lukkien, D., Nooijen, A., Scholten, C., & Oomens, I. (2025). *Toekomstbestendige zorg met AI*. ZonMw.

<https://www.zonmw.nl/sites/zonmw/files/2025-04/AI-signalement.pdf>

Kat, C. J., Mostafavi, F., Brembilla, E., & Turrin, M. (2024). Application of multimodal learning in daylight provision and view quality assessment of residential building layouts. *International Journal of Architectural Computing*, 22(4), 605-627.

<https://doi.org/10.1177/14780771241286614>

Kepinski, W. (2025, 12 mei). *LinkedIn introduceert nieuwe AI-gedreven tools voor werving en werkzoekenden*. Dutch IT Leaders.

<https://www.dutchitleaders.nl/news/626350/linkedin-introduceert-nieuwe-ai-gedreven-tools-voor-werving-en-werkzoekenden>

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444.

<https://doi.org/10.1038/nature14539>

Liu, Y. & Kingston School of Art. (n.d.). *Talking to AI 2.0*. Better Images of AI.

<https://betterimagesofai.org/images?artist=YutongLiu&title=TalkingtoAI2.0>

Liu, Y. & The Bigger Picture. (n.d.). *AI is Everywhere*. Better Images of AI.

<https://betterimagesofai.org/images?artist=YutongLiu&title=AIisEverywhere>

Lu, L., Chua, W., Lee, A., & DSAID GovTech team. (2023, 16 januari). *Classifying Multimodal Municipal Issues Feedback using Transformers*. AI Practice and Data Engineering Practice, GovTech.

<https://medium.com/dsaid-govtech/classifying-multimodal-municipal-issues-feedback-using-transformers-f0fc337dc620>

McKinsey. (2022). *Advanced Connectivity: The Next Wave of Innovation*.

<https://www.mckinsey.com/spContent/bespoke/tech-trends/pdfs/mckinsey-tech-trends-outlook-2022-advanced-connectivity.pdf>

McKinsey. (2024). *Technology Trends Outlook 2024*. McKinsey.

<https://www.mckinsey.com/-/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/the%20top%20trends%20in%20tech%202024/mckinsey-technology-trends-outlook-2024.pdf>

McKinsey. (2025). *The Top Trends in Tech*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-top-trends-in-tech#new-and-notable>

- Mei, Y., Wang, R., Liu, E., & Soto, I. (2023). Multi-User Tracking in Reconfigurable Intelligent Surface Aided Near-Field Wireless Communications System. *Applied Sciences*, 14(1), artikel 205. <https://doi.org/10.3390/app14010205>
- Ministerie van Economische Zaken & Klimaat. (2024). *De Nationale Technologiestrategie: Bouwstenen voor strategisch technologiebeleid*. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2024/06/07/nationale-technologiestrategie>
- Ministerie van Economische Zaken & Klimaat. (2024). *De Nationale Technologiestrategie: Bouwstenen voor strategisch technologiebeleid*. Ministerie van Economische Zaken & Klimaat. <https://open.overheid.nl/documenten/67b0a9e1-135b-483f-9ed9-3aade270dbce/file>
- Moscoco, C., Morad, R., Oksvold, A., Dimmen, O., Skjermo, J., & Tangrand, K. (2024). Increasing citizen engagement in sustainable architecture using augmented reality: A pilot study. *Computers in Human Behavior Reports*, 16, artikel 100498. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2024.100498>
- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., & Panopoulos, N. (2021). Smart manufacturing and tactile internet based on 5G in industry 4.0: Challenges, applications and new trends. *Electronics*, 10(24), artikel 3175. <https://doi.org/10.3390/electronics10243175>
- Nederlandse AI Coalitie (NL AIC). (2021). *Synthetische data, een oplossing voor de ontwikkeling van AI-toepassingen*. <https://nlaic.com/nieuws/synthetische-data-een-oplossing-voor-de-ontwikkeling-van-ai-toepassingen/>
- Niamut, O., & Bronkhorst, A. (2024). *Social XR: Nu en Toekomst*. TNO. <https://publications.tno.nl/publication/34642230/16CC2K/niamut-2024-social2.pdf>
- NOS Nieuws. (2025, 23 april). *Europese Commissie legt Apple en Meta voor 700 miljoen euro boetes op*. NOS. <https://nos.nl/collectie/13986/artikel/2564653>
- NWO. (2025, 2 december). *KIC Verkleinen van gezondheidsverschillen—Technologie voor mensen in een lagere sociaaleconomische positie*. <https://www.nwo.nl/calls/kic-verkleinen-van-gezondheidsverschillen-technologie-voor-mensen-in-een-lagere-sociaaleconomische-positie>
- Odata (2024). *Connectivity: understand why it is the power that is driving the digital age*. Odata. <https://odatacolocation.com/en/blog/connectivity/>
- Odido. (2024, 10 juni). *Lees Simpel: de app waarmee je moeilijke brieven snapt*. Odido Business Blog. <https://www.odido.nl/business-blog/technologie/lees-simpel-app/>
- Polachan, K., Pal, J., Singh, C., Prabhakar, T. V., & Kuipers, F. A. (2021). Tcpsbed: A modular testbed for tactile internet-based cyber-physical systems. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 30(2), 796-811. <https://doi.org/10.1109/TNET.2021.3124767>
- Prins, J. E. J., Sheikh, H., Schrijvers, E. K., Steijns, J. M., & Bovens, M. A. P. (2021). *Opgave AI. De nieuwe systeemtechnologie* (No. 105). Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid. <https://www.wrr.nl/publicaties/rapporten/2021/11/11/opgave-ai-de-nieuwe-systeemtechnologie>

- PwC. (2023). *The new Essential Eight technologies*. PwC. <https://www.pwc.com/us/en/tech-effect/emerging-tech/essential-eight-technologies.html>
- Ramos, A., Inca, S., Ferrer, M., Calabuig, D., Roger, S., & Monserrat, J.F. (2025). Simulation framework for detection and localization in integrated sensing and communication systems. *Telecom*, 6(1), 4. <https://doi.org/10.3390/telecom6010004>
- Raskovich, K., Briggs, B., Bechtel, M., Burns, E., Ravinutala, A., & Buscaino, R. (2024). *Tech Trends 2025* (Deloitte Insights). Deloitte. <https://www.deloitte.com/us/en/insights/topics/technology-management/tech-trends.html>
- Rijksuniversiteit Groningen. (2025, 8 juli). *UMCG-onderzoek: Behandeling met VR werkt snel en goed tegen psychoses*. <https://www.rug.nl/about-ug/latest-news/news/archief2025/nieuwsberichten/umcg-onderzoek-behandeling-met-vr-werkt-snel-en-goed-tegen-psychoses>
- Schmitt, P. (n.d.). *Data flock (digits)*. Better Images of AI. [https://betterimagesofai.org/images?artist=PhilippSchmitt&title=Dataflock\(digits\)](https://betterimagesofai.org/images?artist=PhilippSchmitt&title=Dataflock(digits))
- Schulz, J., Dubslaff, C., Seeling, P., Li, S. C., Speidel, S., & Fitzek, F. H. (2024). Negative latency in the tactile internet as enabler for global metaverse immersion. *IEEE Network*, 38(5), 167-173. <https://doi.org/10.1109/MNET.2024.3375522>
- Sharma, S., Popli, R., Singh, S., Chhabra, G., Saini, G. S., Singh, M., Sandhu, A., Sharma, A., & Kumar, R. (2024). The Role of 6G Technologies in Advancing Smart City Applications: Opportunities and Challenges. *Sustainability*, 16(16), artikel 7039. <https://doi.org/10.3390/su16167039>
- Stichting Digitale Overheid. (n.d.). *OmgevingsChat*. OmgevingsChat. <https://omgevingschat.nl/>
- Taylor, L. (2024, 23 december). *Top 10 technologies – a CMA horizon scanning perspective*. Competition and Markets Authority. <https://competitionandmarkets.blog.gov.uk/2024/12/23/top-10-technologies-a-cma-horizon-scanning-perspective/>
- TNO. (2023, 31 maart). *Synthetische datageneratie: veilig leren van persoonlijke data*. <https://www.tno.nl/nl/technologie-wetenschap/technologieen/synthetische-datageneratie-veilig-leren/>
- TNO. (2025, 30 april). *Mobility Design Lab voor verantwoorde toepassing AI voor mobiliteit*. <https://www.tno.nl/nl/newsroom/2025/04/mobility-design-lab-ai/>
- Urban AI. (2025, 27 februari). *AI Agents in Urban Planning: A New Paradigm for Urban Simulation*. Urban AI. <https://medium.com/urban-ai/ai-agents-in-urban-planning-a-new-paradigm-for-urban-simulation-41c4c210e4a8>
- van den Berg, D., Glans, R., de Koning, D., Kuipers, F. A., Lugtenburg, J., Polachan, K., Venkata, P. T., Singh, C., Turkovic, B., & van Wijk, B. (2017). Challenges in Haptic Communications Over the Tactile Internet. *IEEE Access*, 5, 23502-23518. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2764181>

- van der Wal, L. (2024, april 12). *Verschillen in de zorg voor mannen en vrouwen met dezelfde klachten*. Universitair Medisch Centrum Groningen.
<https://nieuws.umcg.nl/w/verschillen-in-de-zorg-voor-mannen-en-vrouwen-met-dezelfde-klachten>
- van Trigt, M. (2025, 23 juni). *Andalusische ambtenaar krijgt eigen AI-assistent*. iBestuur.
<https://ibestuur.nl/artikel/andalusische-ambtenaar-krijgt-eigen-ai-assistent/>
- Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG). (2025, 11 maart). *Pilot AI-gedreven beslissingssysteem voor omgevingsvergunning aanvragen*. VNG.
<https://vng.nl/artikelen/pilot-ai-gedreven-beslissingssysteem-voor-omgevingsvergunning-aanvragen>
- Verkerk, J. (2025, 27 april). *AI helpt de huisarts, maar tijdwinst? Die is er niet, is het eerlijke antwoord*. NRC. <https://www.nrc.nl/nieuws/2025/04/27/ai-helpt-de-huisarts-maar-tijdwinst-die-is-er-niet-is-het-eerlijke-antwoord-a4891282>
- Waddell, P., & Besharati, A. (2023, september). *Data-Driven Multi-Scale Planning for Housing Affordability*. Bringing Digitalization Home: How Can Technology Address Housing Challenges?, Harvard, Verenigde Staten van Amerika.
https://www.jchs.harvard.edu/sites/default/files/research/files/harvard_jchs_digitalization_panel5_waddell_2023.pdf
- Witte-Schaaphok, M., van der Bij, W., Hoekstra, M., van Drie, R., & Vethman, S. (2024). *Verantwoorde AI door het faciliteren van bewuste keuzes: Geleerde lessen in de publieke sector* (TNO-2024-P12454). TNO.
<https://publications.tno.nl/publication/34643477/o7ufyggZ/TNO-2024-P12454.pdf>
- World Economic Forum & Frontiers. (2024). *Top 10 Emerging Technologies of 2024*. World Economic Forum.
https://www3.weforum.org/docs/WEF_Top_10_Emerging_Technologies_of_2024.pdf
- Yardley, M., Daly, A., & Tyagi, T. (2024). *Why the UK needs to use advanced connectivity*. Analysys Mason. https://www.connectivityuk.org/wp-content/uploads/2024/03/Analysys-Mason_Take-up-of-advanced-connectivity_Use-case-research_19-March-2024a.pdf
- Yee, L., Chui, M., Roberts, R., & Issler, M. (2024). *Technology Trends Outlook 2024*. McKinsey Digital. <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-top-trends-in-tech#/>
- Zhang, L., Du, Q., Lu, L., & Zhang, S. (2023). Overview of the Integration of Communications, Sensing, Computing, and Storage as Enabling Technologies for the Metaverse over 6G Networks. *Electronics*, 12(17), artikel 3651. <https://doi.org/10.3390/electronics12173651>
- Zhu, H., Zhang, W., Huang, N., Li, B., Niu, L., Fan, Z., Lun, T., Tao, Y., Su, J., Gong, Z., Fang, C., & Liu, X. (2024). *PlanGPT: Enhancing Urban Planning with Tailored Language Model and Efficient Retrieval*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.19273>

Bijlage A

Trendrapporten digitalisering

Tabel A.1: Overzicht geraadpleegde trendrapporten

Organisatie	Verwijzing
Accenture	Daugherty, P., Burden, A., & Biltz, M. (2024). <i>Technology Vision 2024: Human by design</i> . Accenture. https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/accenture-com/document-2/Accenture-Tech-Vision-2024.pdf#zoom=40
Capgemini	Capgemini. (2024). <i>TechnoVision 2024: Prompt the Future</i> . Capgemini. https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2024/01/TechnoVision-2024-CTIO-Report-Web-Version.pdf
Competition and Markets Authority (Verenigd Koninkrijk)	Taylor, L. (2024, 23 december). <i>Top 10 technologies – a CMA horizon scanning perspective</i> . Competition and Markets Authority. https://competitionandmarkets.blog.gov.uk/2024/12/23/top-10-technologies-a-cma-horizon-scanning-perspective/
Deloitte	Raskovich, K., Briggs, B., Bechtel, M., Burns, E., Ravinutala, A., & Buscaino, R. (2024). <i>Tech Trends 2025</i> (Deloitte Insights). Deloitte. https://www.deloitte.com/us/en/insights/topics/technology-management/tech-trends.html
Gartner	Gartner. (2024). <i>2025 Top Strategic Technology Trends</i> . Gartner. https://emt.gartnerweb.com/ngw/globalassets/en/information-technology/documents/trends/2025-top-tech-trends-ebook.pdf
McKinsey	McKinsey. (2024). <i>Technology Trends Outlook 2024</i> . McKinsey. https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/the%20top%20trends%20in%20tech%202024/mckinsey-technology-trends-outlook-2024.pdf
Ministerie van Economische Zaken en Klimaat	Ministerie van Economische Zaken & Klimaat. (2024). <i>De Nationale Technologiestrategie: Bouwstenen voor strategisch technologiebeleid</i> . Ministerie van Economische Zaken & Klimaat. https://open.overheid.nl/documenten/67b0a9e1-135b-483f-9ed9-3aade270dbce/file
PwC	PwC. (2023). <i>The new Essential Eight technologies</i> . PwC. https://www.pwc.com/us/en/tech-effect/emerging-tech/essential-eight-technologies.html
Rathenau Instituut	Ex, L., Nieuwenhuizen, W., Hijstek, B., Roolvink, S., & van Huijstee, M. (2023). <i>Immersieve technologieën</i> . Rathenau Instituut. https://www.rathenau.nl/sites/default/files/2023-10/Scan_Immersieve_technologieen_Rathenau_Instituut.pdf

TNO	Chen, M., Oren, R., Lazo, C., Szijjártó, V., Geurts, A., & Bakker, B. (2023). <i>Toekomstverkenning Evenementenbranche: Digitale innovaties voor de evenementenbranche in een dynamische wereld</i> (TNO-2023-R10924). TNO. https://publications.tno.nl/publication/34643192/3jG6Gbnn/TNO-2023-R10924.2.pdf
TNO	Intern werkdocument 'Longlist trends techradar'
TNO	Intern werkdocument 'BZK Techradar'
World Economic Forum	World Economic Forum & Frontiers. (2024). <i>Top 10 Emerging Technologies of 2024</i> . World Economic Forum. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Top_10_Emerging_Technologies_of_2024.pdf

Bijlage B

Overzicht geïnterviewde experts en interviewprotocol

Tabel B.1: Overzicht geïnterviewde experts

Expert	Expertise	Besproken trends
Jessie Koen	Future of work	Krapte op de arbeidsmarkt & verslechterende rijksfinanciën
Daniël van Staveren	Ontwerp en optimalisatie voor de gebouwde omgeving	Groei van de gemeente, ruimtelijke transformatie & woningcrisis
Arnout de Vries	Sociale media en maatschappelijke veiligheid	Maatschappelijk klimaat
Paolo de Heer	Inzet data en AI in de gebouwde omgeving	Woningcrisis & ruimtelijke transformatie
Robin van Stokkum	Innovatie in de gezondheidszorg	Vergrijzing & gezondheidskloof

Tabel B.2: Interviewprotocol

Algemene vragen maatschappelijke trend en digitale trends
Ten aanzien van [maatschappelijke trend], welke ontwikkelingen verwacht je in 2040 en daarbuiten?
Welke kansen zie jij voor digitalisering voor [maatschappelijke trend]? Kun je daar voorbeelden van geven?
Welke bedreigingen zie jij voor digitalisering voor [maatschappelijke trend]? Kun je daar voorbeelden van geven?
Wat is volgens jou een digitale toepassing voor [maatschappelijke trend] die rond 2040 grootschalig toegepast zal worden? Wat verwacht je dat de voor- en nadelen hiervan zijn?
Specifieke vragen over de geselecteerde digitale trends
In hoeverre ben jij bekend met deze trends en toepassingen hiervan voor [maatschappelijke trend]? Kun je voorbeelden van toepassingen geven?
Welke digitale trends missen er volgens jou nog?
Welk(e) advies/aandachtspunten zou jij aan de gemeente willen meegeven ten aanzien van het toepassen van de digitale trends voor [maatschappelijke trend]?

ICT, Strategy & Policy

Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
www.tno.nl