SPARK Campus



Arbeidsbesparende Technologie

Verkenning inzet robots in de bouw

mede mogelijk gemaakt door: TOEKOMST BESTENDIGE LEEF OMGEVING

in samenwerking met: BuildinG Thuis in de toekomst · pioneering · BOUW LAB

Eindrapportage

NGF TBL – Ecosystemen – Human Capital (D11.2)

Versie: 1.0
Datum: 29 juni 2026

Auteurs:
- Jentine Berger (Pioneering)
- Nils Hospes (Bouwlab R&Do)
- Jelle Pama (BuildinG)
- Johan Treur (SPARK Campus)

Inhoud

1. Managementsamenvatting 1

2. Leeswijzer 3

3. Context en probleemstelling 4
   - 3.1 Arbeidsproductiviteit in de bouw
   - 3.2 Specifieke uitdagingen op de bouwplaats

4. Onderzoeksvragen en methodologie 6
   - 4.1 Hoofdvraag
   - 4.2 Subvragen
   - 4.3 Werkwijze en methodologie
   - 4.4 Scope

5. Technologieradar: robots 7
   - 5.1 Definitie en positionering
   - 5.2 Werkcontext: fabriek versus bouwplaats
   - 5.3 Bouwtaken als beslislaag
   - 5.4 De robot als uitvoerder: specialist versus generalist
   - 5.5 Waarom robotisering op de bouwplaats zo moeilijk is
   - 5.6 Intelligentie en aansturing
   - 5.7 Wat betekent dit concreet voor MKB?
   - 5.8 Ecosysteem en adoptie

6. Praktijkverkenning 15
   - 6.1 Robots inzetten – gezien vanuit de dagelijkse praktijk
   - 6.2 Use-case 1: Logistieke ondersteuning op de bouwplaats
   - 6.3 Use-case 2: Repetitieve assisterende montage
   - 6.4 Use-case 3: Inspectie, inmeten en dataverzameling
   - 6.5 En hoe werkt dit dan in de praktijk?

7. Voorwaarden voor succesvolle inzet 22
   - 7.1 Adoptie op organisatieniveau
   - 7.2 Sociale acceptatie
   - 7.3 Veiligheid en regelgeving
   - 7.4 Lessen uit de praktijk
   - 7.5 Tussenconclusie

8. Verwachte opbrengsten en impact 29
   - 8.1 Economische effecten
   - 8.2 Sociale en arbeidsmarkteffecten
   - 8.3 Grenzen en onzekerheden

9. Rol van regionale ecosystemen 30

10. Conclusies 31

11. Aanbevelingen 33

12. Reflectie en vervolg 35

13. Bronnen 37

1. Managementsamenvatting

De bouwsector staat voor grote uitdagingen op het gebied van arbeidsproductiviteit, arbeidsmarktkrapte en duurzame inzetbaarheid. Al jarenlang stagneert de arbeidsproductiviteit, terwijl de vraag naar nieuwe woningen, infrastructuur en onderhoud daarvan enorm groeit.

Inzet van robots als sleutel voor verbetering arbeidsproductiviteit
Robotisering wordt in toenemende mate gezien als ondersteunend instrument om deze uitdagingen het hoofd te bieden. Dit rapport verkent in hoeverre de inzet van robots kan bijdragen aan arbeidsbesparing en -ondersteuning op en rondom de bouwplaats op basis van verkenning van literatuuronderzoek, analyse van internationale pilots, logische doordenking van bouwprocessen en validatiegesprekken met 17 beslissers uit de bouwketen.

Afhankelijkheid van de omgeving waarin de robot aan de slag gaat
De meest bepalende factor bij robotisering in de bouw is de werkcontext. In fabrieksomgevingen (prefab, modulair bouwen, industriële componentenproductie) is robotisering al bewezen en levert het aantoonbaar directe productiviteitswinst op. Op de dynamische bouwplaats is dit uitdagender: de omgeving verandert continu, elke situatie is uniek en volledige autonomie van robots loopt daar nog tegen grenzen aan. Volledig autonome bouwplaatsen zijn op korte termijn dus niet te verwachten.

Kansen op de bouwplaats liggen in ondersteuning, niet in vervanging
De grootste kansen voor robotisering op de bouwplaats liggen niet in het vervangen van vakmensen, maar in het ondersteunen ervan. Taken die repetitief, fysiek belastend, gevaarlijk en relatief voorspelbaar zijn, zoals logistieke ondersteuning, inspectie en inmeten, assisterende montagehandelingen, etc, lenen zich het meest voor robotisering. Het gaat dan vaak om gespecialiseerde robots die vandaag de dag al aantoonbaar goed zijn wanneer taak, omgeving en schaal voldoende helder zijn. Humanoïde en robots die meerdere taken kunnen uitvoeren, bevinden zich in de bouwcontext grotendeels nog in de pilot- en demonstratiefase.

Adoptie en sociale acceptatie zijn minimaal zo bepalend als de technologie
Technische robuustheid is noodzakelijk, maar op zichzelf niet voldoende. Robots dragen pas bij aan productiviteitsverbetering wanneer zij duurzaam zijn geïntegreerd in werkprocessen en worden geaccep-



Bron: Hilti

teerd door uitvoerend personeel. Acceptatie groeit niet vóór gebruik, maar dóór gebruik, én alleen wanneer medewerkers de meerwaarde in hun eigen werksituatie daadwerkelijk ervaren. Betrokkenheid van uitvoerend personeel bij pilots, behoud van autonomie en vakmanschap, en betrouwbare veiligheidsafspraken zijn daarbij essentiële voorwaarden.

De meerwaarde is op korte termijn met name indirect
Robots die zich bevinden in de beginfase zijn zelden sneller of efficienter dan ervaren vakmensen. De economische meerwaarde manifesteert zich in eerste instantie vooral indirect: minder fysieke belasting, hogere veiligheid, consistentere kwaliteit en verbetering van de duurzame inzetbaarheid van personeel. Structurele productiviteitsverbetering vraagt aanvankelijk om procesoptimalisatie vóórdat robots worden ingezet. Robotisering is een sluitstuk van procesverbetering, geen vervanging ervan.

Samenwerking in de keten is essentieel voor opschaling
De overgang van experimenten en pilots naar structurele toepassing lukt niet op bedrijfsniveau alleen. Hiervoor moet de hele keten worden meegenomen. Regionale ecosystemen, bestaande uit bedrijven, kennisinstellingen en innovatiehubs zoals Bouwlab, Pioneering, BuildinG en SPARK Campus, spelen een belangrijke rol bij kennisuitwisseling, gedeeld experimenteren en ontwikkeling van skills. Opschaling vraagt bovendien om standaardisatie in de sector en verankering in onderwijs en opleiding.

Aanbevelingen in het kort
Voor bouwbedrijven: begin klein maar begin nu, kies use-cases op basis van taak, omgeving en schaal, en betrek uitvoerend personeel vanaf het begin.

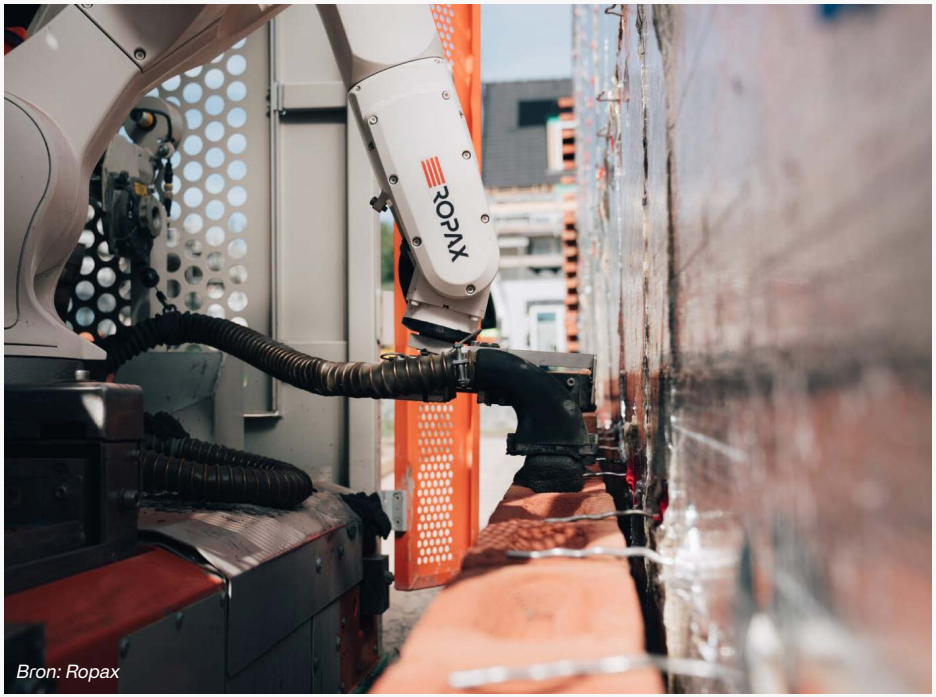
Voor beleidsmakers en opdrachtgevers is het zaak om experimenteerruimte te creëren in aanbestedingen, te werken aan sectorspecifieke veiligheids- en aansprakelijkheidskaders, en robotisering te koppelen aan een brede vaardigheden- en onderwijsagenda.

Regionale ecosysteempartijen kunnen een belangrijke bijdrage leveren als ze in hun regio de leerinfrastructuur organiseren en onderlinge samenwerking en standaardisatie als sectoropgave aanpakken.

De sleutel tot productiviteitsverhoging ligt niet alleen in de robot zelf, maar op de manier waarop mens, organisatie en technologie gezamenlijk evolueren. Dit rapport biedt daarvoor een analytische basis. De stap naar de praktijk is aan de sector.

2. Leeswijzer

Dit rapport is opgesteld binnen het NGF TBL-programma Ecosystemen, project Human Capital (D11.2). Het doel is om aan bouwbedrijven, ketenpartijen en overheden inzicht te geven in de toepassingsmogelijkheden van (humanoïde) robots in de bouwsector en aan de hand daarvan hun potentiële bijdrage aan arbeidsproductiviteit en arbeidsverlichting in beeld te brengen. De focus ligt op de bouwplaats, zowel nieuwbouw als onderhoud en renovatie. Relevant voor bedrijven die actief zijn in de bouw- en installatiebranche, maar ook voor beleidsbepalers en innovatoren die zoeken naar mogelijkheden om de arbeidsproductiviteit in de sector te verbeteren.



Bron: Ropax

De verkenning is expliciet geen technisch validatieonderzoek, maar een combinatie van technologisch overzicht, praktijkgerichte analyse en strategische reflectie.

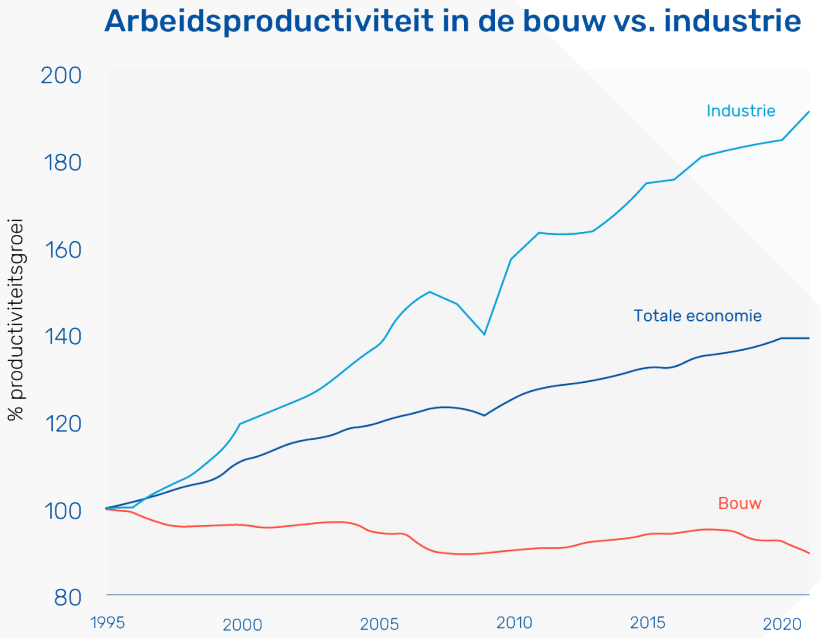
In het inleidende hoofdstuk 3 wordt beschreven in welke mate de arbeidsproductiviteit achter blijft en welke specifieke uitdagingen op de bouwplaats daar waarschijnlijk de oorzaak van zijn. In hoofdstuk 4 wordt het vraagstuk en de onderzoeksaanpak toegelicht. Hoofdstuk 5 behandelt robotisering in de bouw in de breedte en geeft inzicht in de definitie ervan, waarom het relevant kan zijn in jouw bedrijf, in welke situaties robots juist wél en wanneer juist níet werken, welke type robots er überhaupt zijn en welke beperkingen ze kennen. In hoofdstuk 6 komen een aantal praktische use-cases aan bod en hoofdstuk 7 geeft een perspectief op de sociale aspecten zijn die belangrijk zijn voor het inzetten van deze technologie. Hoofdstuk 8 gaat over de verwachte opbrengsten en in hoofdstuk 9 wordt beschreven wat de rol en het belang van regionale ecosystemen hierin is.

3. Context en probleemstelling

3.1 Arbeidsproductiviteit in de bouw

De arbeidsproductiviteit in de bouwsector blijft al decennia achter bij die van andere sectoren zoals de industrie en logistiek. Internationale analyses van onder andere McKinsey (2017) en het World Economic Forum (2018) laten zien dat de jaarlijkse productiviteitsgroei in de bouw wereldwijd gemiddeld rond de 1% ligt, tegenover 3–4% in de maakindustrie. Nederlandse studies van het EIB (2022) en TNO (2020) bevestigen dit beeld voor de nationale context: ondanks digitalisering in ontwerp en voorbereiding (BIM, calculatiesoftware) is de productiviteit op de bouwplaats nauwelijks structureel verbeterd. De cijfers hieronder van Eurostat en ING research laten zien dat het verschil misschien nog wel groter is.

Belangrijke verklaringen hiervoor zijn de projectmatige aard van het werk, beperkte standaardisatie, weersafhankelijkheid en een sterke afhankelijkheid van menselijke arbeid. Juist deze kenmerken maken de sector kwetsbaar voor arbeidsmarktkrapte.



Bron: https://12build.com/nl/blog/waarom-de-bouw-digitaler-moet

Figuur 1

Dit terwijl de vraag naar woningen, infrastructuur en verduurzamingsprojecten stijgt (McKinsey & Company, 2024). In Nederland blijft de bouw bovendien een kraptesector: CBS meldde voor het eerste kwartaal van 2026 dat de bouw opnieuw de hoogste vacaturegraad had van alle bedrijfstakken (CBS, 2026). Tegelijkertijd blijft de druk vanuit duurzaamheid, klimaatdoelen, digitalisering, emissieloos werken en veranderende regelgeving op het werk en de organisaties van de sector toenemen (Volandis, 2023).

Robotisering wordt daarom vaak gepresenteerd als antwoord op arbeidskrapte, veiligheidsrisico's en productiviteitsdruk. Maar robotisering is geen doel op zich. Het moet een middel zijn om repetitieve, gevaarlijke en fysiek belastende taken selectief te automatiseren en mens-robot-samenwerking te organiseren waar volledige autonomie nog niet haalbaar is (Xu et al., 2026). Ook de recente humanoid-roadmap voor de bouw benadrukt dat de grootste potentiële waarde voorlopig ligt in taakverlichting, veiligheid en ondersteunende inzet, niet in totale vervanging van vakmensen (Uthai et al., 2026)

3.2 Specifieke uitdagingen op de bouwplaats

De traditionele bouwplaats kenmerkt zich door een dynamische en onvoorspelbare werkomgeving. In tegenstelling tot fabrieksomgevingen is de fysieke context voortdurend in verandering, met variaties in ondergrond, weersomstandigheden, logistiek en samenwerking tussen verschillende partijen. Renovatie- en onderhoudsprojecten versterken deze complexiteit doordat bestaande constructies maatwerk en improvisatie vereisen. Waar in andere sectoren verregaande automatisering en robotisering belangrijke sleutels zijn geweest om de arbeidsproductiviteit te stuwen, maken deze omstandigheden op de bouwplaats de entree van robots en verdere automatisering op z'n minst uitdagend (Bock & Linner, 2016; Delgado et al., 2019).

Zo zijn klassieke industriële robots afhankelijk van vaste posities en herhaalbare processen, waardoor ze nog nauwelijks zijn doorgedrongen tot de bouwplaats. Humanoïde robots worden juist ontwikkeld om in mensgerichte omgevingen te functioneren en vormen daarmee een potentieel nieuw paradigma. Daarom hebben we in deze verkenning, bekeken welk type robots wel kansrijk zijn, en onder welke omstandigheden. Los van de nieuwe beweging van humanoïde robots, komt de inzet van klassieke industriële robots namelijk ook dichterbij, dankzij de industrialisatie van de (met name) de woningbouw (Rodrigues et al., 2024).

4. Onderzoeksvragen en methodologie

4.1 Hoofdvraag

Wat is het potentieel van robots in de bouwsector om de arbeidsproductiviteit te verhogen? En welke toepassingsmogelijkheden ziet de sector met name?

4.2 Subvragen

- In welke mate wordt de urgentie voor arbeidsproductiviteitsverhoging in de bouwsector gevoeld/ ervaren?
- Welke bouwtaken zijn geschikt voor robots?
- Welke robots zijn beschikbaar of in ontwikkeling?
- Wat zijn randvoorwaarden voor inzet op de bouwplaats?
- Welke economische en sociale effecten zijn te verwachten?
- Wat zijn internationale ontwikkelingen op dit gebied?

4.3 Werkwijze en methodologie

Dit rapport is tot stand gekomen door toepassing van:

- Desk research (wetenschappelijke literatuur, marktpublicaties)
- Analyse van (inter)nationale pilots en demonstraties
- Logische doordenking van bouwprocessen
- Validatiegesprekken met partijen uit de keten van bouw & techniek

4.4 Scope

Bij robotisering is het relevant om te kijken naar zowel gecontroleerde als ongecontroleerde omgevingen. Mede hierom, in combinatie met de ontwikkeling in de bouwsector richting industrieel bouwen, is de scope qua verkenning van robots breed, van industriële robots tot aan drones en humanoïde robots.

5. Technologieradar: Robots

Dit hoofdstuk helpt je als (MKB-)bedrijf om robotisering in de bouw beter te begrijpen én om eerste keuzes te kunnen maken. Je krijgt inzicht in:

- Wat we onder robotisering verstaan
- Waarom robotisering relevant is voor jouw bedrijf
- In welke situaties robots wél en juist níet werken
- Welke typen robots er zijn en wat hun beperkingen zijn
- Hoe je kunt bepalen of robotisering voor jouw werkzaamheden interessant is

Dit hoofdstuk biedt daarmee het inhoudelijke kader voor de keuzes die volgen. In de daaropvolgende technologieradar en praktijkvoorbeelden wordt dit verder vertaald naar concrete oplossingen en toepassingen.

5.1 Definitie en positionering

Een robot is een p**rogrammeerbare machine met een fysiek lichaam** die **zelfstandig taken kan uitvoeren** door interactie met de omgeving, vaak door sensoren en actuatoren, en kan variëren van een eenvoudige automatische machine tot een complex, zelflerend systeem met kunstmatige intelligentie. Kernkenmerken zijn programmeerbaarheid, autonomie (of semi-autonomie), en de capaciteit om fysiek te handelen (ISO, 2021; IFR, z.d.-a).

Belangrijke kenmerken & eigenschappen:

- **Programmeerbaar**: Kan instructies of software ontvangen om specifieke taken uit te voeren.
- **Fysieke interactie**: Beschikt over een tastbaar lichaam (mechanische onderdelen, sensoren) om te bewegen en te handelen in de fysieke wereld.
- **Autonomie**: Kan beslissingen nemen en acties uitvoeren zonder constante menselijke tussenkomst, waarbij geavanceerde robots kunnen leren.
- **Sensoren & actuatoren**: Gebruikt sensoren (zicht, geluid, aanraking) om de omgeving waar te nemen en actuatoren (motoren, grijpers) om te reageren.
- **Veelzijdigheid**: Hoewel vaak mensachtig voorgesteld, kan een robot er heel anders uitzien (bv. een stofzuiger, industriële arm) en taken uitvoeren die repetitief, gevaarlijk of te zwaar zijn voor mensen.

Kortom: Een robot is een machine die met behulp van programmering en technologie taken kan uitvoeren, reageert op zijn omgeving en zich kan aanpassen, wat hem onderscheidt van een simpel apparaat.

Humanoïde robots zijn een variatie hierop met een mensachtige lichaamsstructuur (romp, twee armen en benen) en zijn juist interessant omdat zij kunnen functioneren in mensgerichte ruimten met menselijke interfaces, gereedschappen en werkstations. De vorm van deze robots is dus vooral relevant in human-centered environments,

waar trappen, ladders, deuren, steigers en handgereedschappen op menselijke afmetingen en bewegingen zijn afgestemd (Uthai et al., 2026). Dat sluit aan bij de positionering van partijen als Agility Robotics, Tesla en Boston Dynamics, die humanoids expliciet framen als systemen voor ruimten “where people already work” (Agility Robotics, z.d.-a, z.d.-b; Boston Dynamics, z.d.-a; Tesla Nederland, z.d.). Een variant hierop zijn de robothonden met 4 poten, een romp en een kop, soms uitgevoerd met wielen.

5.2 Werkcontext: fabriek versus bouwplaats

De effectiviteit van robotisering wordt in sterke mate bepaald door de omgeving waarin de robot opereert. In de bouwpraktijk is het onderscheid tussen twee werkcontexten essentieel: de gestructureerde fabrieksomgeving en de ongestructureerde bouwplaats. (Gharbia et al., 2020; Melenbrink et al., 2020; Xu et al., 2026). Wat technisch werkt in een prefabhal of productielijn, laat zich niet automatisch vertalen naar een bouwplaats met veranderlijke indelingen, tijdelijke obstakels en meerdere gelijktijdige disciplines.

5.2.1 De gestructureerde werkcontext: de fabriek

De fabrieksomgeving kenmerkt zich door voorspelbaarheid en herhaling. Productieprocessen zijn gestandaardiseerd en de omgeving is ingericht op efficiëntie:

- Vaste indelingen en rijroutes
- Stabiele ondergrond
- Betrouwbare energievoorziening
- Gecontroleerde omstandigheden

In deze context kunnen robots optimaal functioneren. Ze voeren repetitieve taken uit met hoge precisie en consistentie. Veiligheidsmaatregelen zijn relatief eenvoudig te implementeren doordat mens en machine gescheiden kunnen opereren (McKinsey & Company, 2025; Pan et al., 2022).

Het is dan ook niet verrassend dat robotisering in de bouw momenteel vooral hier plaatsvindt. In prefab-productieomgevingen leidt automatisering aantoonbaar tot hogere productiviteit en lagere faalkosten.

5.2.2 De ongestructureerde werkcontext: de bouwplaats

De bouwplaats vormt het tegenovergestelde uiterste. Het is een dynamische en onvoorspelbare omgeving:

- Ongelijke en veranderende ondergrond;
- Obstakels en wisselende indeling;
- Gelijktijdige aanwezigheid van mensen en machines;
- Beperkte en onbetrouwbare digitale infrastructuur.

Elke bouwplaats is uniek en verandert continu gedurende het bouwproces. Voor robots betekent dat lokalisatie, routeplanning, objectherkenning, veilige interactie en taakuitvoering steeds opnieuw moeten worden aangepast. Precies daar stuit volledige autonomie vandaag vaak op haar grenzen (Xu et al., 2026; Uthai et al., 2026).

Waarom niet alles in de fabriek?

Een logische gedachte is: als fabrieksomgevingen zo geschikt zijn voor automatisering, waarom verplaatsen we dan niet zoveel mogelijk bouwactiviteiten naar de fabriek? De literatuur over modular en

off-site construction laat inderdaad zien dat fabrieksmatige productie sneller, veiliger en efficiënter kan zijn, mits er voldoende schaal, herhaalbaarheid en ketenregie is (McKinsey & Company, 2023, 2025). Toch wijzen zowel internationale als Nederlandse bronnen op hardnekkige beperkingen:

- **Logistiek**: grote prefab-elementen zijn lastig te transporteren en te hijsen
- **Maatwerk en renovatie**: veel bouwprojecten zijn uniek en locatiegebonden
- **Ruimtelijke beperkingen**: binnenstedelijke bouwlocaties laten weinig ruimte voor standaardisatie
- **Klantwensen**: flexibiliteit en aanpasbaarheid blijven belangrijk (UK Government, 2024; Volandis, 2023)

De realiteit is daarom dat de bouw altijd een combinatie blijft van fabrieksmatige productie en werkzaamheden op de bouwplaats. Robotisering moet binnen die realiteit worden toegepast.

Mini-case: metselrobots in de praktijk
Metselrobots zoals Hadrian X of SAM100 laten goed zien hoe sterk de context bepalend is. Deze systemen kunnen zeer efficiënt metselwerk uitvoeren, maar alleen onder specifieke voorwaarden:

- Voldoende ruimte
- Stabiele opstelling
- Gestandaardiseerde werkwijze

In een gecontroleerde setting of bij seriematige bouw werken ze effectief. In complexe, binnenstedelijke projecten met veel variatie neemt de toepasbaarheid snel af.

Tussenconclusie
Het onderscheid tussen fabriek en bouwplaats is de belangrijkste factor bij robotisering. Wat in de fabriek werkt, is niet automatisch toepasbaar op de bouwplaats. Voor MKB-bedrijven betekent dit dat de vraag niet alleen is of er een robot bestaat die een specifieke taak kan uitvoeren, maar ook of deze in jouw specifieke werkomgeving kan functioneren (Gharbia et al., 2020; Xu et al., 2026).

5.3 Bouwtaken als beslislaag

Om robotisering concreet te maken, is het overigens niet voldoende om alleen naar de omgeving te kijken. Ook het type werk speelt een cruciale rol. Niet alle bouwtaken zijn even goed te automatiseren.

Onderstaande indeling helpt om te bepalen waar robotisering kansrijk is:

Inspectie & inmeten
- Relatief goed te automatiseren
- Vaak al inzet van drones en mobiele robots
- Lage fysieke interactie met de omgeving

Logistiek & ondersteuning
- Transport van materialen, opruimen, afvalverwerking
- Groeiend domein voor mobiele robots
- Uitdaging: navigatie op bouwplaats

Afbouw
- Schilderen, pleisteren, afwerken
- Hoge mate van herhaling
- Technisch geschikt, maar afhankelijk van omgeving

Ruwbouw & constructie
- Metselen, betonwerk, wapening
- Zwaar en repetitief werk → interessant voor robotisering
- Maar: sterk afhankelijk van omstandigheden

Installatie & montage
- Complexe, vaak niet-gestandaardiseerde handelingen
- Moeilijker te automatiseren
- Potentieel voor ondersteuning (niet volledige automatisering)

GWW & grondwerk
- Grote machines, vaak al deels geautomatiseerd
- GPS-gestuurde systemen
- Verdere automatisering mogelijk, maar kapitaalintensief

Tussenconclusie
Taken met een hoge mate van herhaling, duidelijke kwaliteitscriteria en relatief voorspelbare interactie met de omgeving zijn het meest geschikt voor robotisering. Taken met veel variatie, verborgen condities, improvisatie en vakmanschap blijven voorlopig lastiger te automatiseren en zijn vaker kandidaten voor ondersteuning dan voor volledige vervanging (Xu et al., 2026; Ren & Kim, 2025).

5.4 De robot als uitvoerder: specialist versus generalist

Naast de werkcontext en het type taak is ook het type robot van belang. In de praktijk is het onderscheid tussen gespecialiseerde en veelzijdige robots essentieel.

5.4.1 Single-purpose robots: specialisten

Single-purpose robots zijn ontworpen voor één duidelijk afgebakende taak. Ze zijn doorgaans efficiënter, voorspelbaarder en sneller te integreren dan generalistische systemen, juist omdat hun hardware, software en veiligheid op een beperkte taak zijn geoptimaliseerd.

Voorbeelden in de bouw zijn:
- Metselrobots (zoals Pax)
- Boorrobots (zoals Jaibot)
- Wapeningsrobots (zoals Tybot)
- Afwerkingsrobots (zoals Okibo)

Hun voordelen zijn duidelijk: hoge productiviteit op één taak, consistente kwaliteit, voorspelbare output en lagere fysieke belasting voor personeel. Maar die voordelen gelden meestal alleen binnen duidelijke randvoorwaarden: juiste materiaalspecificaties, voldoende herhaling, stabiele opstelling, passende logistiek en een proces waarin de robot niet voortdurend van taak hoeft te wisselen (Hilti Corporation, 2022; Construction Robotics, z.d.; ROPAX, z.d.-a).

Mini-case: Tybot (wapening)

Tybot automatiseert het vlechten van wapeningsstaal. In projecten met veel herhaling levert dit aanzienlijke tijdswinst op. Tegelijkertijd is het systeem alleen rendabel bij voldoende schaal en standaardisatie.

5.4.2 Multi-purpose robots: flexibel maar nog beperkt

Multi-purpose robots zijn ontworpen om meerdere taken uit te voeren. Denk aan:

- Materiaaltransport
- Inspectie
- Eenvoudige montage-ondersteuning

Veel van deze robots zijn mobiel en kunnen zich aanpassen aan verschillende omgevingen. Sommige hebben een humanoïde vorm, waardoor ze beter kunnen functioneren in voor mensen ontworpen ruimtes.

Mini-case: Spot (inspectie)

De robot Spot wordt ingezet voor inspectie en dataverzameling. Hij kan zelfstandig rondlopen op een bouwplaats en beelden verzamelen. Dit soort toepassingen laat zien dat ondersteuningstaken vaak eerder te automatiseren zijn dan primaire bouwtaken.

Tussenconclusie
Specialistische robots zijn vandaag de dag het meest effectief zodra taak, omgeving en volume voldoende helder zijn. Veelzijdige robots en humanoids bieden op papier meer flexibiliteit, maar bevinden zich in de bouw voorlopig vooral in de fase van pilot, demonstratie, ondersteunende inzet of strategische verkenning (Uthai et al., 2026; Xu et al., 2026).

5.5 Waarom robotisering op de bouwplaats zo moeilijk is

Robotisering op de bouwplaats wordt vaak onderschat. De grootste uitdaging zit niet in de mechanica, maar in de complexiteit van de omgeving.
Vier kernproblemen

1. **Variabiliteit:**
   Geen bouwplaats is hetzelfde. Situaties veranderen continu.
2. **Perceptie:**
   Een robot kan “zien”, maar begrijpen wat hij ziet, is veel moeilijker
3. **Manipulatie:**
   Bouwmaterialen zijn niet uniform. Kleine afwijkingen hebben grote gevolgen.
4. **Veiligheid:**
   Mens en robot werken in dezelfde ruimte, wat hoge eisen stelt aan betrouwbaarheid.

Lessen uit autonoom rijden
De ontwikkeling van zelfrijdende auto’s laat zien hoe moeilijk het is om systemen volledig autonoom te laten opereren in een complexe omgeving. Ondanks jarenlange ontwikkeling functioneren deze systemen nog steeds beperkt en vaak alleen onder specifieke omstandigheden.

De bouwplaats kent vergelijkbare, en in veel gevallen nog grotere, uitdagingen:

- Minder voorspelbare omgeving
- Minder standaardisatie
- Grotere variatie in objecten en handelingen

Tussenconclusie
Volledig autonome bouwplaatsen zijn op korte termijn niet realistisch. De grootste kansen liggen in gedeeltelijke automatisering en ondersteuning van menselijke arbeid.

5.6 Intelligentie en aansturing

Waar de fysieke capaciteiten van robots relatief ver ontwikkeld zijn, vinden de grootste innovaties momenteel plaats in de aansturing: de software en AI.

5.7.1 Van programmeren naar leren

Traditionele robots werken op basis van vooraf gedefinieerde instructies. Dit werkt goed in stabiele omgevingen, maar niet in dynamische situaties.

Nieuwe ontwikkelingen, zoals Embodied AI in combinatie met Physical AI, maken het mogelijk dat robots leren van observatie en ervaring. In plaats van elke stap te programmeren, kan een robot gedrag aanleren wat ze kunnen combineren met interactie met hun omgeving.

5.7.2 Vision–language–action

Een belangrijke ontwikkeling is de koppeling tussen zien, begrijpen en handelen. Robots kunnen hierdoor:

- Objecten herkennen
- Instructies interpreteren
- Hun gedrag aanpassen

Dit maakt toepassingen op de bouwplaats beter haalbaar, maar deze technologie is nog enorm in ontwikkeling.

Mini-case: lerende robots

Experimentele systemen kunnen inmiddels eenvoudige handelingen aanleren door menselijke demonstraties te observeren. Dit verkort de tijd die nodig is om nieuwe taken aan te leren, maar de betrouwbaarheid is nog beperkt.

5.7 Wat betekent dit concreet voor MKB?

Voor MKB-bedrijven is de belangrijkste vraag niet wat technologisch mogelijk is, maar wat praktisch en economisch zinvol en haalbaar is. Tot en met 2025 bevinden de meeste humanoïde robots zich in een ontwikkel- of vroege pilotfase. Robots zoals Tesla Optimus (2024), Figure 01 en Agility Robotics' Digit (2025) zijn primair ontwikkeld voor logistieke en industriële toepassingen. Boston Dynamics' Atlas (2024) fungeert vooral als onderzoeksplatform voor mobiliteit en balans.

Hoewel demonstraties indrukwekkend zijn, benadrukken onderzoekers dat prestaties sterk afhangen van gecontroleerde omstandigheden. Autonomie, robuustheid en betrouwbaarheid vormen nog substantiële uitdagingen.

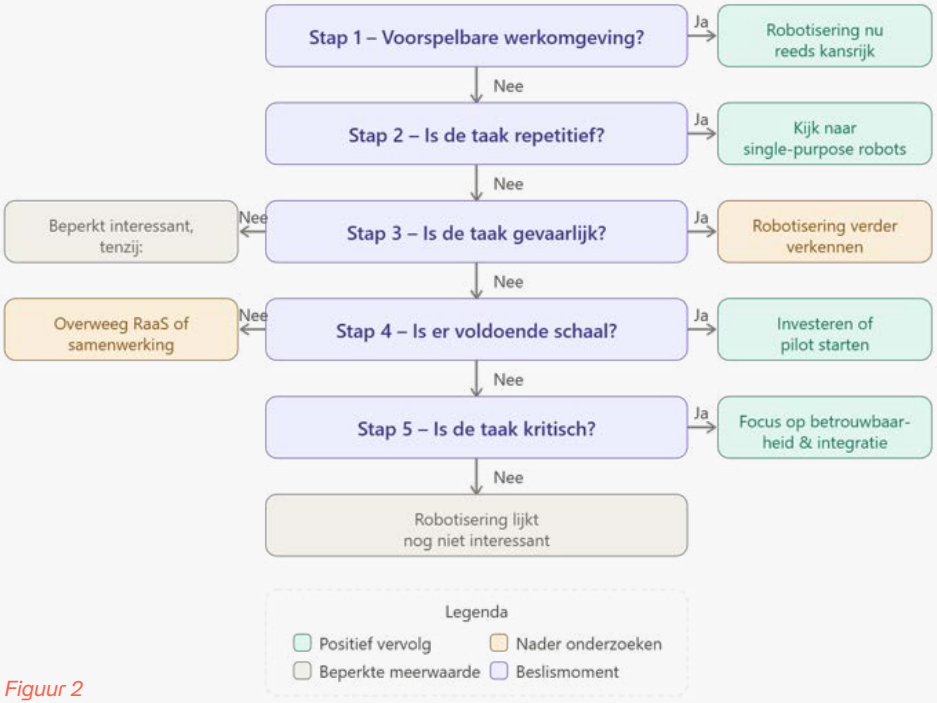
Onderzoek naar robotisering in de bouw wijst uit dat niet alle taken even geschikt zijn voor automatisering. Taken met een hoge mate

van repetitiviteit, fysieke belasting en lage variabiliteit zijn het meest kansrijk. Voor humanoïde robots geldt dat hun kracht vooral ligt in ondersteunende taken waarbij flexibiliteit nodig is, maar geen hoog specialistisch vakmanschap.

5.7.1 Drie bepalende factoren

De inzet van robotica hangt in de praktijk vooral af van drie vragen:

1. **De taak:**
   Is deze repetitief, fysiek belastend, gevaarlijk en voorspelbaar?
2. **De omgeving:**
   Is deze stabiel of dynamisch?
3. **De schaal:**
   Komt de taak vaak genoeg voor om investering te rechtvaardigen?



Figuur 2

5.7.2 Beslisframework

Het stappenplan in figuur 2 helpt bij het maken van een eerste afweging:

Voorbeelden zijn logistieke ondersteuning (transport van materialen), assisterende montagehandelingen en inspectie- en meettaken in combinatie met sensortechnologie. Taken die intensief probleemoplossend vermogen, improvisatie en ambachtelijke vaardigheden vereisen, blijven voorlopig minder geschikt.

Nederlandse cijfers laten zien dat juist fysiek belastende taken sterk bijdragen aan ziekteverzuim en vroegtijdige uitval in de bouw (EIB, 2022; TNO, 2020). In dat licht kan taakverlichting via robotica indirect bijdragen aan duurzame inzetbaarheid (Rodrigues et al., 2024).

Belangrijk inzicht

Robotisering is geen alles-of-niets keuze. De meerwaarde van (humanoïde) robots voor de bouw ligt niet in volledige automatisering, maar in het ondersteunen van menselijke arbeid door het automatiseren van specifieke onderdelen van het proces. Literatuur over human–robot interaction benadrukt dat hybride samenwerking momenteel realistischer is dan volledige vervanging van vakmensen (Goodrich & Schultz, 2007; Garcés, 2025; Xu et al., 2026). In interviews wordt benadrukt dat er ook op talrijke andere fronten in de bouw- en ontwikkelprocessen nog besparing en arbeidsproductiviteitsverbetering kan worden gerealiseerd. Robotisering wordt door sommigen geduid als sluitstuk van de optimalisatie.

5.8 Ecosysteem en adoptie

De adoptie van robotica wordt niet alleen bepaald door technologie, maar ook door het ecosysteem eromheen.

Belangrijke ontwikkelingen zijn:

- **Robotics as a Service (RaaS):**
  betalen voor gebruik in plaats van bezit
- **Samenwerking:**
  delen van kennis en investeringen
- **Platformen en standaarden:**
  meer flexibiliteit en minder afhankelijkheid

Voor MKB-bedrijven verlaagt dat de drempel om te starten, maar het verandert de kernvraag niet: ook bij huur of RaaS moeten taakfit, procesfit, veiligheidsfit en schaalfit aanwezig zijn. RaaS maakt een slechte use-case niet goed; het verlaagt vooral de drempel om een goede use-case te testen (IFR, 2025; ABB, z.d.; Agility Robotics, 2026). Hoofdstuk 7 gaat verder in op de adoptie van robotica.

Tussenconclusie
Robotisering in de bouw ontwikkelt zich langs twee sporen.

In fabrieksomgevingen is robotisering en automatisering al bewezen en levert het directe productiviteitswinst op, hoewel er in de (woning) bouwfabrieken nog veel gerobotiseerd kan worden. Op de bouwplaats zijn de uitdagingen groter en is de inzet van robots voorlopig selectief en contextafhankelijk.

Voor (MKB-)bedrijven betekent dit dat de vraag niet is óf robotisering ooit relevant wordt, maar waar, wanneer en onder welke voorwaarden zij waarde toevoegt in de eigen processen. Niet de technologie op zichzelf, maar de combinatie van taak, omgeving, schaal, veiligheid en businessmodel bepaalt of robotisering verstandig is. Gelukkig zijn er al voorbeelden en ideeën uit de praktijk die zicht geven op kansrijke toepassingen. Daar gaat hoofdstuk 6 over.

6. Praktijkverkenning

6.1 Robots inzetten – gezien vanuit de dagelijkse praktijk

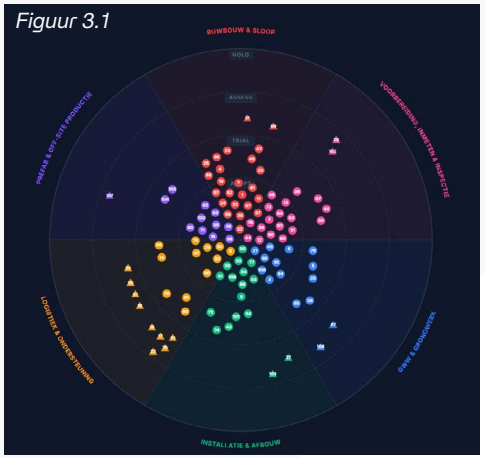
In totaal zijn 17 interviews met beslissers in de bouwketen gehouden, waarin meerdere vormen van (potentiële) use-cases voor de inzet van robots in de bouwsector worden genoemd. Hieronder een aantal voorbeelden:

- **Metselrobot**:
  er zijn meerdere partijen die een metselrobot hebben ontwikkeld en in de markt zetten, zoals https://www.ropax.eu/, https://www.monumental.co/nl en https://www.spamecon.nl/metselrobot
- **Boorrobot:**
  een veel genoemde robottoepassing is de boorrobot van bijvoorbeeld Hilti of Fischer
- **3D printers**
  voor bijvoorbeeld 3D printen van woningen of betonprinters tbv infrastructurele componenten, zoals bruggen, taluten en rioolputten. Denk aan: https://www.3d.weber/nl, https://www.zavhy.com/ of https://www.neolithic3d.com/nl/home/
- **Robot SitePrint printer van HP**
  voor het printen van de maatvoering op de bouwvloer.

Waar ook veel potentie wordt gezien:

- De inzet van drones of robothonden voor **inspectiedoeleinden** (onderhoud of kwaliteit
  - Tussenstap hierin is de applicatie van Open Space die door aantal geïnterviewden gebruikt wordt (via camera-op-helm-toepassing)
- Robots die zaken (autonoom) **inmeten**
- **Tilrobots** om het werk gemakkelijker/ lichter te maken
  - Met Exoskeletten als tussenvariant
  - Robothond met plateau erop die spullen naar boven brengt (in renovatieprojecten)
- **Inzet van AI agents** (virtuele robots) ten behoeve van werkvoorbereiding, planningen, calculaties, etc.

Dit naast natuurlijk de toename van prefab bouw in fabrieken, waar op industriële schaal componenten of volledige wooneenheden worden geproduceerd. Met behulp van AI en de input van verschillende experts is een overzicht gemaakt van meer dan 100 bestaande robottoepassingen in de bouwsector.



Link naar Technology Radar - inzet robots in de bouw



Link naar overzicht use cases - robots in de bouw

Naast de inzet van robots in fabrieken, komen we op basis van de interviewresultaten in combinatie met bestaande internationale pilots, literatuur over human–robot interaction en analyse van bouwprocessen, tot 3 interessante schaalbare use-cases voor inzet van robots op de bouwplaats. Zij dienen nadrukkelijk als leer- en denkkader en niet als empirisch bewezen cases.

6.2 Use-case 1: Logistieke ondersteuning op de bouwplaats

In deze use-case ondersteunt een humanoïde robot de logistiek op de bouwplaats door het transporteren van materialen van opslaglocaties naar werkplekken. Dit betreft bijvoorbeeld het aanreiken van lichte tot middelzware materialen, gereedschappen en hulpmiddelen.

De potentiële meerwaarde zit in het verminderen van loopafstanden en fysieke belasting van vaklieden, waardoor zij meer tijd kunnen besteden aan kerntaken. Internationale pilots in de logistiek laten zien dat humanoïde robots vooral effectief zijn in gestructureerde deelomgevingen. Voordat dergelijke robots op de bouwplaats aan de slag kunnen, vereist dat aanvullende robuustheid, veiligheidsvoorzieningen en procesafspraken.

6.3 Use-case 2: Repetitieve assisterende montage

Deze use-case richt zich op assisterende montagehandelingen, zoals het positioneren en vasthouden van standaardcomponenten terwijl een vakman de feitelijke bevestiging uitvoert. De robot fungeert hierbij als een fysieke assistent.

De literatuur over collaboratieve robotica suggereert dat dergelijke vormen van samenwerking het meest kansrijk zijn, omdat zij menselijke expertise combineren met mechanische ondersteuning. Tegelijkertijd vraagt dit om hoge betrouwbaarheid, voorspelbaar gedrag en acceptatie door uitvoerend personeel.

6.4 Use-case 3: Inspectie, inmeten en dataverzameling

In deze use-case voert een (humanoïde) robot inspecties en inmeetwerkzaamheden uit met behulp van camera's, LiDAR en andere sensoren. Dit kan bijvoorbeeld worden ingezet voor voortgangscontrole, kwaliteitsinspecties of veiligheidsrondes.

De toegevoegde waarde ligt vooral in consistente dataverzameling en het ontlasten van personeel bij routinematige controles. De interpretatie van data blijft vooralsnog grotendeels mensenwerk.

6.5 En hoe werkt dit dan in de praktijk?

Binnen het NGF programma Toekomstbestendige Leefomgeving hebben BuildinG en SPARK Campus allebei een dergelijke use-case met een Unitree GO2-W robothond in de praktijk gebracht. Hieronder een korte toelichting daarop.



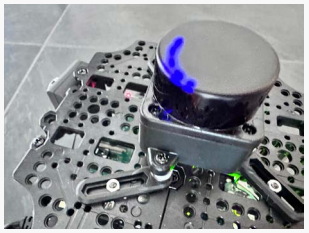
Figuur 4
Bron: JAJO

6.5.1 Autonome inspectie met behulp van een Unitree GO2-W robothond – SPARK Campus + JaJo

Bij SPARK Campus staat het ‘doen’ centraal om de sector te inspireren en écht werk te maken van innovatie. In dat kader is in een eerder stadium een robothond aangeschaft om bezoekers te inspireren. Dit was de ‘goedkopere’ versie waarop je geen nieuwe toepassingen kon programmeren. Dit heeft bouwbedrijf JaJo aangezet tot de aanschaf van de duurdere versie waarop dat wel kan. In een samenwerking tussen JaJo, SPARK Campus en de inzet van BotBerg is gewerkt aan een praktische use-case binnen de gebouwde omgeving. Een van de toepassingsgebieden die hierbij is onderzocht, is het autonoom uitvoeren van inspectierondes op bouwplaatsen. Binnen bouwprojecten is continu inzicht nodig in veiligheid, voortgang en omgevingscondities. Denk aan het controleren van bouwlocaties, het registreren van beeldmateriaal en het verzamelen van meetgegevens zoals temperatuur, luchtvochtigheid, wind en geluidsniveaus.

Traditioneel worden dit soort inspecties uitgevoerd door mensen op locatie. Hoewel menselijke inspectie waardevol blijft, zijn veel controles arbeidsintensief, repetitief en soms risicovol. Bouwplaatsen veranderen voortdurend en kunnen plekken bevatten die moeilijk bereikbaar of onveilig zijn. Het doel van deze toepassingscase was daarom te onderzoeken of een mobiele robot kan worden ingezet als autonoom inspectieplatform dat zelfstandig rondes uitvoert, data verzamelt en informatie beschikbaar maakt voor verdere analyse.

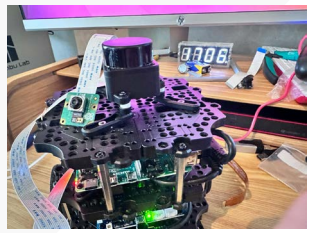
Voor deze usecase is gewerkt met de Unitree Go2-W robothond. Dit is een robothond op wielen die is ontworpen om zich zelfstandig door realistische omgevingen te bewegen. Doordat de robot wielen gebruikt in plaats van uitsluitend poten, kan hij grotere afstanden sneller, stabieler en energiezuiniger afleggen. Dat maakt het platform geschikt voor toepassingen zoals bouwplaatsinspectie, terreinbewaking en monitoring van veiligheid en voortgang.



Figuur 5.1
Bron: BotBerg



Figuur 5.2



Figuur 5.3

De centrale vraag binnen de case was of de robothond zelfstandig inspectierondes kan uitvoeren op een bouwplaats, waarbij hij onderweg beeldmateriaal en sensordata verzamelt. Het beoogde eindbeeld is een mobiele inspecteur die kan controleren, meten, registreren en rapporteren. De robot moet daarbij niet alleen kunnen rijden, maar ook kunnen omgaan met een omgeving die voortdurend verandert. Bouwplaatsen zijn immers dynamisch: routes kunnen wijzigen, obstakels

kunnen verschijnen en omstandigheden kunnen per dag verschillen.

Een belangrijk onderdeel van de toepassing is de integratie van camera's en sensoren. De robothond wordt ingezet om foto's, video en aanvullende meetdata structureel te verzamelen. Sensoren kunnen bijvoorbeeld worden gebruikt om temperatuur, luchtvochtigheid, wind en geluidsniveaus te registreren. Deze gegevens kunnen later worden geanalyseerd en gekoppeld aan inspectiebevindingen, voortgangsrapportages of veiligheidscontroles.

De technische aanpak richt zich op het programmeren van de robothond en het koppelen van camera- en sensordata aan de inspectieworkflow. Daarbij gaat het om het aansturen van de robot, het verzamelen van data en het ontwikkelen van een basis waarmee autonome inspecties in de toekomst betrouwbaarder kunnen worden uitgevoerd. De robot moet obstakels kunnen detecteren, routes kunnen volgen en relevante gegevens kunnen vastleggen tijdens zijn ronde.

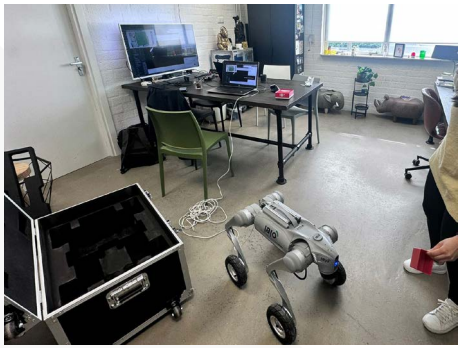
In de eerste fase zijn de eerste programmeerstappen gezet. De robothond is aangestuurd met Python-scripts, waarmee basiscommando's konden worden uitgevoerd. Daarmee is een technische basis gelegd voor verdere ontwikkeling richting zelfstandige inspectierondes. De focus ligt daarbij op het stap voor stap uitbreiden van de functionaliteit: van handmatige of eenvoudige aansturing naar meer autonome beweging, dataverzameling en rapportage.

De meerwaarde van deze usecase ligt vooral in het automatiseren van repeterende inspectietaken. Een robothond kan op vaste momenten dezelfde ronde uitvoeren, op dezelfde manier gegevens verzamelen en objectieve meetdata vastleggen. Daardoor ontstaat een consistenter beeld van de bouwplaats en kunnen afwijkingen mogelijk sneller worden opgemerkt.



Bron: BotBerg

Figuur 6.1



Figuur 6.2

Daarnaast kan de inzet van een robothond bijdragen aan veiligheid. De robot kan worden ingezet op plekken waar menselijke aanwezigheid ongewenst, onpraktisch of risicovol is. Dit is bijvoorbeeld relevant bij instabiele situaties, slecht toegankelijke zones of werkzaamheden waarbij omgevingscondities eerst gecontroleerd moeten worden voordat mensen het gebied betreden.

De toepassing biedt ook kansen voor arbeidsproductiviteit. In de bouw is monitoring van veiligheid, voortgang en duurzaamheid belangrijk, maar vaak tijdrovend. Door een deel van deze controles te automatiseren, kan personeel zich meer richten op beoordeling, besluitvorming en opvolging, terwijl de robot de routinematige dataverzameling ondersteunt.

Tegelijkertijd bevindt de usecase zich nog in een ontwikkel- en onderzoeksfase. Autonome inspectie op een bouwplaats vraagt om robuuste software, betrouwbare sensorkoppelingen en een goede interpretatie van de verzamelde data. Vooral de continu veranderende omgeving maakt de toepassing technisch uitdagend. De robot moet

kunnen omgaan met obstakels, wisselende routes en uiteenlopende omstandigheden. Dit vraagt veel van het programmeren, testen en valideren van hiervan. Om de benodigde investeringen hiervoor te kunnen dragen, zal de sector de handen ineen moeten slaan.

De case laat zien dat de Unitree Go2-W een kansrijk platform is voor toekomstige inspectieworkflows in de bouw. De robothond fungeert daarbij niet als vervanging van de menselijke inspecteur, maar als aanvullend hulpmiddel: een mobiel platform dat zelfstandig kan rondrijden, meten en registreren. Daarmee vormt de usecase een belangrijke stap richting autonome bouwplaatsinspectie waarin navigatie, beeldregistratie, sensordata en rapportage samenkomen in één inzetbaar robotsysteem.

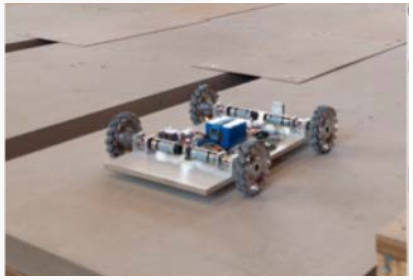
6.5.2 Trillingsdetectie met behulp van een Unitree GO2 quadrupedrobot – BuildinG

Ook BuildinG is met een Unitree Go2-W robothond aan de slag gegaan met praktische use-cases. Een van de praktische toepassingsgebieden die met behulp van de Unitree Go2 quadrupedrobot zijn onderzocht, is trillingsgebaseerde structurele monitoring en inspectie. Binnen de gebouwde omgeving worden trillingskarakteristieken, zoals eigenfrequenties en dempingsverhoudingen, veelvuldig gebruikt als indicatoren voor de structurele conditie en mogelijke schade. Traditioneel worden deze metingen uitgevoerd met vaste hoogprecisieversnellingsmeters die rechtstreeks op constructies worden geïnstalleerd. Hoewel dergelijke systemen zeer nauwkeurig zijn, zijn ze vaak kostbaar, arbeidsintensief om te installeren en moeilijk toepasbaar in gevaarlijke of slecht toegankelijke omgevingen.

Het doel van deze toepassingscase was te onderzoeken of de onboard inertial measurement unit (IMU) van de quadrupedrobot kan worden gebruikt (Alzuhiri et al., 2023; Capriglione et al., 2021; Li et al., 2025; Shokravi et al., 2024; Yu et al., 2025) als een mobiel sensorplatform voor structurele trillingsanalyse (Figuur 7). Het concept is gebaseerd op indirecte structurele monitoring, waarbij structurele dynamische eigenschappen worden afgeleid uit versnellingsmetingen die worden verzameld door een bewegend robotplatform in plaats van door permanent geïnstalleerde sensoren.



Figuur 7.1



Figuur 7.2

De quadrupedrobot (7.1) en de op maat ontwikkelde roverrobot (7.2) die in de studie zijn gebruikt.
Bron: BuildinG

Voor dit doel is een toepassingscase ontwikkeld. De studie onderzocht de haalbaarheid van het gebruik van onboard IMU-metingen van mobiele robotsystemen voor het identificeren van structurele dynamische eigenschappen. Twee robotplatformen werden geëvalueerd:

- De Unitree Go2 quadrupedrobot
- Een op maat ontwikkeld roverplatform op wielen

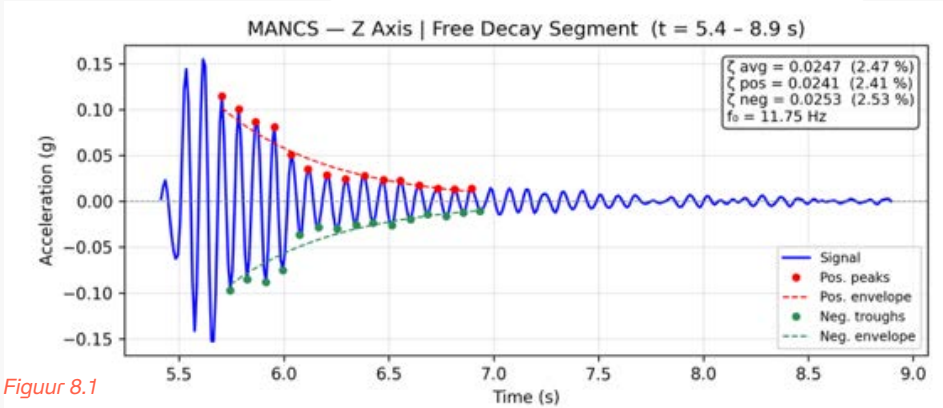
Beide systemen waren uitgerust met onboard IMU's die tri-axiale versnellingsdata konden registreren tijdens interactie met structurele systemen.

De experimenten werden uitgevoerd op laboratoriumvloersystemen van hout (Smyrou et al., 2026) waarvan de dynamische eigenschappen reeds bekend waren op basis van conventionele hoogprecisiesensoren. De quadrupedrobot werd op de vloer ingezet en voerde gecontroleerde bewegingen en sprongacties uit om trillingen met lage amplitude in de constructie op te wekken. De onboard IMU registreerde tijdens deze tests versnellings-tijdreeksen.

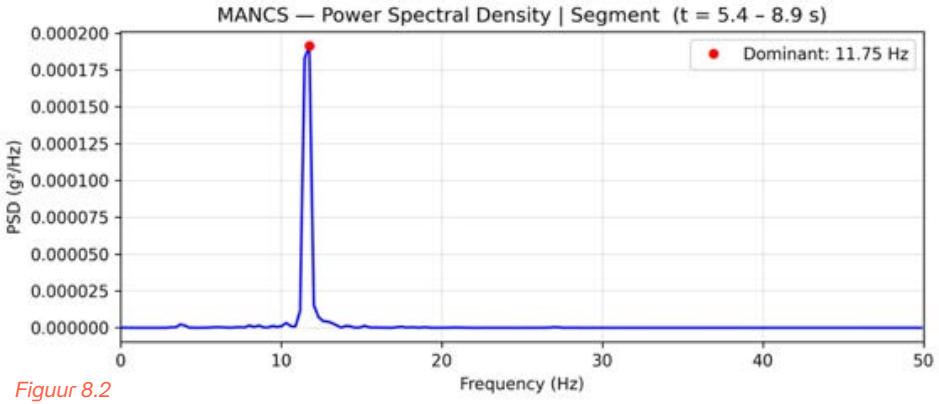
Het doel was om de volgende parameters te bepalen:

- Fundamentele eigenfrequenties
- Dempingsverhoudingen
- Dynamische trillingskarakteristieken van het vloersysteem

De geïdentificeerde trillingskarakteristieken verkregen uit de robot-IMU's werden vervolgens vergeleken met referentiemetingen van conventionele bekabelde versnellingsmeters die rechtstreeks op de constructie waren bevestigd.



Figuur 8.1



Figuur 8.2

Berekeningen van de demping (8.1) en trillingsfrequentie (8.2) van de vloer met behulp van de onboard IMU van de quadrupedrobot.

De resultaten toonden aan dat de quadrupedrobot in staat was om de fundamentele trillingskarakteristieken van de constructie met redelijke nauwkeurigheid te identificeren. De gemeten frequenties vertoonden een sterke overeenkomst met conventionele sensorsystemen, ondanks de aanwezigheid van door de robot veroorzaakte bewegingsverstoringen en het gebruik van compacte onboard MEMS-sensoren.

Een belangrijke bevinding van de studie was dat robotgebaseerde metingen kunnen worden uitgevoerd zonder menselijke aanwezig-

heid op de constructie. Conventionele trillingstesten maken vaak gebruik van door mensen opgewekte excitatie, zoals hakstappen, die de structurele respons onbedoeld beïnvloeden door extra massa- en dempingseffecten. Het robotplatform maakt meer herhaalbare en gestandaardiseerde metingen onder onbelaste omstandigheden mogelijk, wat zeer waardevol is voor structurele vergelijkingen en toepassingen voor langetermijnmonitoring.

Het onderzoek benadrukte daarnaast verschillende belangrijke voordelen van quadruped robotsystemen voor sensing binnen de gebouwde omgeving:

- Snelle inzet zonder installatie van vaste sensoren
- Mogelijkheid om gevaarlijke of moeilijk bereikbare omgevingen te betreden
- Gelijktijdige integratie van IMU-, camera- en LiDAR-data
- Potentieel voor autonome inspectieworkflows
- Verminderde noodzaak voor menselijke blootstelling aan onveilige omstandigheden

Deze mogelijkheden zijn bijzonder relevant voor:

- Inspectie van industriële faciliteiten
- Evaluatie van infrastructuur
- Grootschalige campagnes voor structurele gezondheidsmonitoring
- Structurele inspecties na aardbevingen
- Monitoring van beschadigde of instabiele gebouwen

De studie identificeerde ook verschillende beperkingen en lopende uitdagingen. De gemeten signalen worden niet alleen beïnvloed door de constructie zelf, maar ook door:

- Robotdynamica
- Interactie tussen voet en ondergrond
- Stijfheid van het platform
- Bewegingsgerelateerde ruis

Daarnaast blijft de identificatie van hogere trillingsmodi moeilijk vanwege de beperkte excitatie-energie en het aanwezige sensorgeluid.

Desondanks leveren de resultaten sterke validatie dat onboard IMU-systemen geïntegreerd in quadrupedrobots kunnen functioneren als praktische mobiele sensortools voor trillingsgebaseerde structurele analyses. Het werk vormt een belangrijke eerste stap richting toekomstige autonome robotinspectiesystemen die de volgende functionaliteiten combineren:

- Navigatie
- Visuele inspectie
- LiDAR-scanning
- Trillingsmonitoring
- AI-ondersteunde structurele beoordeling binnen één inzetbaar robotplatform.

Meer details over dit werk zijn te vinden in de conferentiepublicatie van Ozdemir et al., 2026.

7. Voorwaarden voor succesvolle inzet

De inzet van robots op de bouwplaats is niet uitsluitend een technische opgave, maar nadrukkelijk ook een organisatorische en sociale. Uit zowel praktijkervaringen als bestaand onderzoek naar mens–robot samenwerking blijkt dat sociale acceptatie en organisatorische adoptie doorslaggevend zijn voor succesvolle toepassing. Robots dragen pas bij aan arbeidsproductiviteit wanneer zij duurzaam worden geïntegreerd in werkprocessen, worden geaccepteerd door uitvoerend personeel en passen binnen de organisatiecultuur.

Dit hoofdstuk beschrijft de belangrijkste voorwaarden voor succesvolle inzet van robots in de bouw, met specifieke aandacht voor adoptie op organisatieniveau en sociale acceptatie op de werkvloer, maar ook voor veiligheid en regelgeving. Deze factoren hangen nauw samen: onduidelijkheid of tekortkomingen op één van deze niveaus kunnen ertoe leiden dat initiatieven blijven steken in experimenten en pilots, zonder structurele impact op productiviteit en werk.

7.1 Adoptie op organisatieniveau

Adoptie verwijst naar de mate waarin robottoepassingen structureel worden ingebed in werkprocessen, planning en organisatie. Dit overstijgt individuele acceptatie en raakt strategische, organisatorische en economische keuzes.

Robotisering vraagt om realistische verwachtingen vanuit management en projectleiding, en om expliciete ruimte voor leren en aanpassen. De bouwsector kenmerkt zich door dunne marges en hoge tijdsdruk, wat experimenteerruimte beperkt. Dit verklaart waarom veel initiatieven blijven steken in pilots. Zonder een bewuste adoptiestrategie, waarin leerdoelen, tijd en begeleiding zijn geborgd, resteert robotisering als losstaand experiment in plaats van structurele verbetering.

Adoptie vraagt dan ook om meer dan technische haalbaarheid. Het vereist:

- Aanpassing van werkprocessen
- Inrichting van support en onderhoud
- Opleiding en begeleiding
- Realistische verwachtingen over opbrengsten op korte en lange termijn

Organisaties die robotisering benaderen als leerproces, en waarin ook mislukkingen expliciet als leerervaring worden gezien, creëren hiermee een steviger basis voor adoptie op langere termijn.

7.1.1 Integratie in werkprocessen en sociale context

Bouwplaatsen zijn dynamische, mensgerichte omgevingen waarin samenwerking, improvisatie en informele routines een belangrijke rol spelen. Dit maakt integratie van robots fundamenteel anders dan in fabrieksomgevingen. Succesvolle inzet vraagt daarom niet alleen om technische inpassing, maar om aansluiting bij bestaande werkpraktijken.

Uit gesprekken met bouwbedrijven blijkt dat robotisering vooral kansrijk wordt geacht wanneer robots een ondersteunende rol vervullen, bijvoorbeeld bij logistieke handelingen, fysiek belastend werk of repeterende taken. Toepassingen die het werk ontlasten zonder het werkproces fundamenteel te ontwrichten worden doorgaans positiever ontvangen dan oplossingen die een volledig nieuwe werkwijze afdwingen.

Tegelijkertijd laten praktijkervaringen zien dat robots zelden direct productief zijn zonder aanvullende procesaanpassingen. Effectieve inzet vraagt om:

- Duidelijke taakafbakening tussen mens en robot
- Zoveel mogelijk processtandaardisatie en -optimalisatie
- Afstemming met planning en logistiek
- En expliciete afspraken over toezicht, veiligheid en verantwoordelijkheid

Hoe beter deze randvoorwaarden worden ingevuld, hoe groter de kans is dat robots (deel)taken economisch rendabel kunnen overnemen. Wanneer deze randvoorwaarden ontbreken, blijven robottoepassingen veelal steken in losse pilots met beperkte impact.

7.1.2 Skills, leren en verandervermogen

De inzet van robots verandert niet alleen taken, maar ook de benodigde competenties. Naast technische vaardigheden ontstaat behoefte aan:

- Samenwerken met technologie
- Omgaan met onvolwassen of storingsgevoelige systemen
- En probleemoplossend handelen binnen hybride teams van mens en robot

Organisaties die hierin slagen investeren niet uitsluitend in technologie, maar ook in leervermogen en begeleiding. Dit vraagt om een bredere visie op vakmanschap, waarin digitale en sociale competenties aanvullend zijn aan ambachtelijke expertise.

7.1.3 Praktijkvoorbeeld: Breman Installatiegroep – Breinn

Een voorbeeld van een adoptiegerichte benadering is te vinden bij de Breman Installatiegroep. Enkele jaren geleden zijn zij op een onderzoekende manier begonnen met het verkennen van de inzet van humanoïde robots binnen hun eigen werkpraktijk. Deze verkenning vertrok niet vanuit een vooraf gedefinieerde toepassing of businesscase, maar vanuit de vraag hoe nieuwe robottechnologie zich in de praktijk verhoudt tot mensgerichte werkomgevingen, zoals fabrieksvloeren, technische werkplaatsen en logistieke omgevingen.

Vanuit deze verkennende insteek is innovatielab Breinn opgericht en zijn ze gestart met het werken met een humanoïde robot, de Unitree G1. Daarbij is bewust gekozen om niet te testen in een gecontroleerde laboratoriumomgeving, maar in bestaande werkomgevingen. De nadruk lag niet op prestaties of snelheid, maar op het opdoen van ervaring met mens–robot interactie in de dagelijkse praktijk. Door de robot te laten functioneren in ruimtes met menselijke interfaces, fysieke obstakels en



Figuur 9

variatie, ontstond inzicht in de organisatorische, technische en sociale voorwaarden die nodig zijn om dergelijke systemen verantwoord in te zetten.

Kenmerkend aan deze aanpak is dat adoptie vanaf het begin breder werd opgevat dan technologische validatie alleen. Met hun missie ‘de Robot uit de Mens halen’ richt Breman zich op het inzetten van technologie om mechanische en fysiek belastende aspecten van werk over te nemen, zodat vakmensen hun kennis en ervaring optimaal kunnen inzetten. Robotisering wordt hierbij niet benaderd als vervanging van mensen, maar als versterking van menselijke capaciteiten.

Op basis van de opgedane praktijkervaringen zijn door Breman verschillende potentiële voordelen geïdentificeerd.

Voor werknemers gaat het onder meer om:

- Verhoogde veiligheid, doordat robots kunnen worden ingezet bij gevaarlijke taken, zoals werken in besloten ruimtes of onder extreme omstandigheden;
- Vermindering van fysieke belasting, door het overnemen van repetitieve handelingen en ongunstige werkhoudingen die kunnen leiden tot blessures;
- Verschuiving van rollen, waarbij technici zich kunnen ontwikkelen van uitvoerend werk naar rollen als operator, supervisor of begeleider van robotsystemen;
- Bijdrage aan duurzame inzetbaarheid, doordat fysieke beperkingen minder snel leiden tot vroegtijdige uitval.

Voor klanten en afnemers benoemen ze:

- Hogere beschikbaarheid, aangezien robotsystemen in principe continu kunnen worden ingezet;
- Consistentere uitvoering van routinetaken, met minder variatie in kwaliteit;
- Potentiële kostenefficiëntie, doordat ondersteunende robottoepassingen kunnen bijdragen aan efficiëntere inzet van menselijk vakmanschap.

Volgens Breman biedt deze manier van werken een waardevolle voorbereiding op toekomstige ontwikkelingen in werk en technologie. Door nu ervaring op te doen met humanoïde robots in realistische werksituaties, bouwen zij kennis en organisatorisch leervermogen op dat richting kan geven aan toekomstige toepassingen.

7.2 Sociale acceptatie

Sociale acceptatie heeft betrekking op de houding en beleving van uitvoerend personeel ten opzichte van robots. Het gaat hierbij om vragen als: vertrouw ik deze technologie, helpt het mij in mijn werk en past het bij mijn vakmanschap?

7.2.1 Acceptatie door uitvoerend personeel

Sociale acceptatie van robots op de bouwplaats blijkt sterk afhankelijk van de mate waarin uitvoerend personeel de toegevoegde waarde van robots daadwerkelijk ervaart. Uit de gesprekken met bouwbedrijven blijkt dat sociale acceptatie sterk taak- en contextafhankelijk is.

Weerstand ontstaat in de praktijk zelden door technologie op zichzelf, maar door factoren zoals: verstoring van het werkritme, extra com-

plexiteit in de uitvoering, imago, of onduidelijkheid over de consequenties voor het eigen werk.

Robots worden beter geaccepteerd wanneer zij zichtbaar bijdragen aan werkverlichting, veiligheid en duurzaamheid van inzetbaarheid. Toepassingen waarbij fysiek belastende of monotone handelingen worden overgenomen, maken het voor vakmensen mogelijk hun expertise effectiever in te zetten en langer inzetbaar te blijven.
Hierbij is de manier waarop robots worden gepositioneerd essentieel. Wanneer zij worden gepresenteerd als hulpmiddel voor vakmanschap, en niet als vervanging ervan, neemt acceptatie merkbaar toe. Daarom is sociale acceptatie geen statische houding, maar een dynamisch proces dat zich ontwikkelt door ervaring in het werk.

Acceptatie ontstaat niet vooraf, maar tijdens het gebruik.

7.2.2 Factoren die sociale acceptatie beïnvloeden

Op basis van onderzoek zijn meerdere factoren te identificeren die sociale acceptatie beïnvloeden:

1. **Ervaren meerwaarde in het werk**
   Wanneer medewerkers direct voelen dat een robot hun werk makkelijker, veiliger of minder belastend maakt, groeit acceptatie snel. Abstracte productiviteitsdoelen zijn hiervoor onvoldoende; de meerwaarde moet zichtbaar zijn op de werkvloer.

2. **Betrokkenheid en invloed**
   Acceptatie neemt toe wanneer uitvoerend personeel betrokken is bij pilots en invloed heeft op de manier waarop de robot wordt ingezet. Mogelijkheden om taakverdeling, tempo of samenwerking aan te passen dragen bij aan gevoel van eigenaarschap. Wanneer medewerkers mede-eigenaar worden van de toepassing, verschuift de perceptie van ‘opgelegde technologie’ naar ‘ondersteunend gereedschap’.

3. **Perceptie van productiviteit en autonomie**
   Een belangrijk aandachtspunt is de manier waarop productiviteit wordt waargenomen. In veel gevallen zijn robots op korte termijn niet sneller dan ervaren vakmensen. Toch kan de totale productiviteit toenemen doordat:
   - Fysieke en mentale belasting afneemt
   - Medewerkers parallel andere taken uitvoeren
   - Fouten en herstelwerk worden verminderd
   - En werkprocessen consistenter verlopen

Wanneer productiviteit uitsluitend wordt beoordeeld op directe snelheid, blijven deze indirecte opbrengsten onderbelicht. Dit kan acceptatie remmen en leidt tot onderschatting van de daadwerkelijke waarde van robotondersteuning. Technologie die ruimte laat voor autonomie en vakmanschap sluit beter aan bij de beroepsidentiteit van bouwvakmensen.

7.2.3 Sociale acceptatie in de praktijk

De praktijk laat zien dat sociale acceptatie sterk wordt bepaald door de manier waarop technologie aansluit op het dagelijkse werk van uitvoerend personeel. Dit komt duidelijk naar voren in de onderstaande voorbeelden uit de praktijk:

Een vaak genoemd voorbeeld waarbij sociale acceptatie moeizaam blijkt, is het gebruik van exoskeletten op de bouwplaats. Hoewel een

exoskelet strikt genomen geen robot is, illustreert dit hulpmiddel goed hoe technische ondersteuning kan botsen met de werkbeleving van uitvoerend personeel. In de praktijk geven bouwvakkers regelmatig aan dat het dragen van een exoskelet de bewegingsvrijheid beperkt, als ongemakkelijk wordt ervaren of het werktempo verstoort. Daarnaast wordt het hulpmiddel letterlijk aan het lichaam gedragen, wat kan leiden tot een gevoel van opgelegde correctie of verschuiving van verantwoordelijkheid naar de werknemer zelf. Ondanks potentiële gezondheidsvoordelen blijft het gebruik daardoor vaak beperkt of tijdelijk. Dit voorbeeld laat zien dat technische effectiviteit niet automatisch leidt tot sociale acceptatie wanneer autonomie en comfort worden aangetast.

Ook het imago telt mee in het gevoel van autonomie. In een praktische use-case met een ondersteunende tool om verkeerde tilbewegingen te detecteren (Backy van tacniq.ai) blijkt het al moeilijk te zijn, om deelnemers te vinden die hieraan mee willen werken. Met zo'n ondersteunende tool wordt namelijk de medewerker, bij verkeerd tillen, bijgestuurd met een kleine trilling. Daarnaast wordt ook data verzameld van de hoeveelheid tilbewegingen, etc. Dit wordt als "spannend" ervaren, zo bleek uit de rondgang om vrijwilligers te vinden.

Een contrasterend voorbeeld is te vinden in het RobotAO onderzoek (TechYourFuture, 2023), waarin de samenwerking tussen mens en collaboratieve robot centraal staat. Dit onderzoek richt zich niet specifiek op de bouwsector, maar op assemblage en productieomgevingen waarin mens en robot zij aan zij werken. Echter delen de onderzochte werksituaties belangrijke kenmerken met de bouwpraktijk, zoals variatie in taken, noodzaak tot improvisatie en het belang van menselijk vakmanschap.

Binnen het RobotAO-onderzoek (TechYourFuture, 2023) fungeert de robot niet als vervanger, maar als assistent die afgebakende, ondersteunende taken uitvoert, zoals het aanreiken van materialen of het uitvoeren van repetitieve controles. Cruciaal hierbij is dat medewerkers regie houden over het werkproces. Zij kunnen bepalen wanneer en waarvoor de robot wordt ingezet en hebben invloed op de taakverdeling. Deze regelruimte blijkt essentieel voor sociale acceptatie: de robot wordt ervaren als hulpmiddel dat fysieke en mentale belasting vermindert, zonder het vakmanschap of de professionele identiteit van de medewerker aan te tasten.

Gezamenlijk laten deze voorbeelden zien dat sociale acceptatie niet wordt bepaald door het type technologie, maar door de manier waarop ondersteuning wordt ervaren in het dagelijkse werk. Technologie die autonomie beperkt of het werkgevoel aantast, roept weerstand op, zelfs wanneer de technische voordelen evident zijn. Daartegenover staat technologie die binnen het werkproces opereert, regelruimte laat en vakmanschap ondersteunt, aanzienlijk meer kans heeft om geaccepteerd en daadwerkelijk gebruikt te worden. Bovendien creëer je hier een feedbackloop voor verbetering op basis van praktisch gebruik in de praktijk.

Sociale acceptatie is daarmee geen vaststaande houding, maar een proces dat zich ontwikkelt in gebruik. Ervaren meerwaarde, betrokkenheid en behoud van regie blijken hierin essentiële randvoorwaarden.

7.3 Veiligheid en regelgeving

Veiligheid en regelgeving vormen een fundamentele randvoorwaarde

voor de succesvolle inzet van robots op de bouwplaats. Dit geldt niet alleen vanuit juridisch oogpunt, maar ook als basis voor vertrouwen, acceptatie en adoptie. In een werkomgeving waarin mens en robot fysiek nabij samenwerken, is ervaren veiligheid een voorwaarde voor sociale acceptatie op de werkvloer én voor organisatorische bereidheid om te investeren en op te schalen.

De huidige normenkaders voor industriële en collaboratieve robots, ISO 10218 (2025a, 2025b) en ISO/TS 15066 (2016), zijn primair ontwikkeld voor gecontroleerde omgevingen, zoals fabrieken en productielijnen. De bouwplaats wijkt hier wezenlijk van af door haar dynamische karakter, wisselende omstandigheden en gedeelde werkruimtes. Toepassing van deze normen in de bouw vraagt daarom om aanvullende interpretatie, vertaalslagen naar de praktijk en mogelijk sectorspecifieke richtlijnen.

Deze normatieve onzekerheid heeft directe gevolgen voor adoptie op organisatieniveau. Onduidelijkheid over aansprakelijkheid, verantwoordelijkheden en veilige inzet kan leiden tot terughoudendheid bij management en projectleiding, waardoor robottoepassingen niet verder komen dan pilots. Tegelijkertijd beïnvloedt veiligheid ook sociale acceptatie: wanneer uitvoerend personeel robotgedrag als onvoorspelbaar of onvoldoende beheerst ervaart, ontstaat wantrouwen dat samenwerking in de dagelijkse praktijk belemmert.

Daarnaast introduceert de Europese AI Act nieuwe verplichtingen rondom risicobeheersing, transparantie en menselijk toezicht bij de inzet van AI-gedreven systemen. Dit betekent dat (humanoïde) robots op bouwplaatsen waarschijnlijk onder verhoogd risicotoezicht zullen vallen. Hoewel dit aanvullende eisen stelt aan implementatie en gebruik, biedt het tegelijkertijd duidelijkheid en houvast voor organisaties door kaders te scheppen voor verantwoord gebruik.

Heldere veiligheidsafspraken, begrijpelijke regelgeving en professionele begeleiding werken daarmee niet remmend, maar faciliterend. Zij creëren de voorwaarden waaronder robots als betrouwbaar hulpmiddel kunnen worden gezien en niet als onvoorspelbaar risico, wat essentieel is voor zowel acceptatie als adoptie.

7.4 Lessen uit de praktijk

Er zijn een aantal consistente lessen die naar voren komen met betrekking tot het inzetten van robots in de bouw:

1. **Begin met werkverlichting, niet met vervanging**
   Robots worden beter geaccepteerd wanneer zij fysiek of mentaal belastende taken ondersteunen. Toepassingen die vakmanschap aanvullen, in plaats van vervangen, sluiten beter aan bij de werkidentiteit van uitvoerend personeel.

2. **Denk in systemen, niet in losse robots**
   Een robot kan alleen functioneren binnen een goed ingericht geheel van logistiek, planning, veiligheid en voorbereiding. Wanneer dit omringende systeem ontbreekt, ontstaat frustratie en verdwijnt het vertrouwen in de technologie.

3. **Betrek uitvoerders vroeg en actief**
   Acceptatie groeit wanneer vakmensen onderdeel zijn van pilots en kunnen meedenken over taakverdeling, tempo en toepassing. Sociale adoptie ontstaat door ervaring, niet door communicatie achteraf.

4. **Verwacht geen directe snelheid, maar wel indirecte opbrengst**
   In de beginfase zijn robots vaak niet sneller dan ervaren vakmensen. De meerwaarde ligt in kwaliteitsverbetering, foutreductie en het mogelijk maken van parallel werk.

5. **Organiseer robotisering als leerproces**
   Succesvolle initiatieven behandelen robotisering niet als investering die 'moet renderen', maar als ontwikkeltraject waarin leren, aanpassen en bijsturen expliciet onderdeel zijn van het proces.

7.5 Tussenconclusie

De inzet van robots in de bouw wordt in de praktijk niet alleen bepaald door technische haalbaarheid, maar in sterke mate door adoptie op organisatieniveau en sociale acceptatie en veiligheid op de werkvloer. Technisch succesvolle toepassingen kunnen sociaal stranden wanneer werkprocessen, verwachtingen en betrokkenheid onvoldoende zijn meegenomen.

De voorbeelden in dit hoofdstuk laten zien dat de inzet van robots niet alleen een technologisch vraagstuk is, maar vooral een organisatie- en werkvraagstuk. Waar robottoepassingen worden benaderd als losstaand experiment of efficiëntiemiddel, blijft de impact vaak beperkt tot pilots. Daarentegen ontstaan kansen voor structurele toepassing wanneer organisaties investeren in leerprocessen, integratie in werkpraktijken en het actief betrekken van medewerkers.

Opschaling van robottoepassingen in de bouw vraagt daarom om:

- Gefaseerde introductie
- Aandacht voor werkbeleving en draagvlak
- Integratie in bestaande werkprocessen
- Langdurige samenwerking tussen bedrijven, kennisinstellingen en innovatiehubs.

In die zin ligt de sleutel tot productiviteitsverhoging niet alleen in de robot zelf, maar in de manier waarop mens, organisatie en technologie gezamenlijk evolueren.

8. Verwachte opbrengsten en impact

8.1 Economische effecten

De economische impact van robots in de bouw zal op de korte termijn naar verwachting vooral indirect zijn. In plaats van directe arbeidsvervanging ligt de nadruk op taakverlichting, veiligheid, tijdsbesparing en vermindering van faalkosten. Internationale studies tonen aan dat productiviteitswinsten vooral optreden wanneer technologie wordt gecombineerd met procesherontwerp. In de validatiegesprekken wordt ook benadrukt dat de huidige processen nog dusdanig veel optimalisatiekansen bevatten dat we daar eerst nog veel werk te doen hebben.

8.2 Sociale en arbeidsmarkteffecten

Robotondersteuning draagt bij aan vermindering van fysieke belasting en daarmee aan duurzame inzetbaarheid van medewerkers. Dit is zeer relevant in een sector met vergrijzing en hoge uitval door fysieke klachten. Tegelijkertijd vraagt dit om zorgvuldige begeleiding om gevoelens van baanonzekerheid te voorkomen.

Anderzijds kan de inzet van robots op gevaarlijke activiteiten een belangrijke bijdrage leveren aan de veiligheid van werken in de bouw.

De combinatie van bovengenoemde 2 aspecten, samen met de moderne uitstraling van het werken met robots, zal de aantrekkelijkheid van het vak een enorme boost geven. Waar het werken in een fabriek lange tijd niet aantrekkelijk gevonden werd, is het nu vaak de plek waar hoger opgeleide technici de voorkeur aan geven.

8.3 Grenzen en onzekerheden

Het is belangrijk te benadrukken dat veel effecten nog onzeker zijn. Zo zijn bijvoorbeeld de meeste humanoïde robots niet ontworpen voor langdurige inzet in ruwe buitenomgevingen (McKinsey, 2017; EIB, 2022). Dit beperkt de mate waarin conclusies kunnen worden gegeneraliseerd en geëxtrapoleerd.

9. Rol van regionale ecosystemen

Uit voorgaande blijkt dat dit vraagstuk nog veel draait om innovatie, doorontwikkeling en adoptie en acceptatie. Enerzijds op procesoptimalisatie in de gehele keten, anderzijds om de technologie gebruiksklaar te maken voor de specifieke context van de bouwplaats. Dit vraagt om samenwerking, experimenteren en kennisuitwisseling.

Regionale ecosystemen spelen een sleutelrol in het verantwoord introduceren van (humanoïde) robots in de bouw. Door samenwerking tussen bedrijven, kennisinstellingen en innovatiehubs ontstaat ruimte om te experimenteren in realistische omstandigheden.

De betrokken hubs (Bouwlab, Pioneering, BuildinG en SPARK Campus) fungeren als verbindende schakels tussen technologieontwikkeling, praktijktoepassing en skillsontwikkeling. Zij maken het mogelijk om kennis laagdrempelig te delen met (MKB-) bedrijven en om gezamenlijk leerervaringen op te bouwen.

Opschaling vraagt om langdurige samenwerking, standaardisatie van leerervaringen en borging in onderwijs en training (WEF, 2018; TNO, 2020).



10. Conclusies

De centrale vraag van dit rapport (Wat is het potentieel van robots in de bouwsector om de arbeidsproductiviteit te verhogen?), laat zich niet beantwoorden met een simpele ja of nee. De verkenning maakt duidelijk dat dit potentieel reëel is, maar contextueel, gefaseerd en sterk afhankelijk van de juiste randvoorwaarden.

Arbeidsproductiviteitsdruk is urgent en structureel
De bouwsector heeft een structureel productiviteitsprobleem. Waar andere sectoren decennia van verbetering laten zien, stagneert de productiviteitsgroei in de bouw al een behoorlijke tijd. Krapte op de arbeidsmarkt, vergrijzing, fysieke uitval en toenemende vraag vanuit woning- en infrastructuuropgaven maken dit vraagstuk urgenter dan ooit. Robotisering wordt eindelijk gezien als één van de instrumenten om hier iets aan te doen, maar het is geen snelle oplossing en zeker geen doel op zich.

De omgeving waarin de robot opereert is bepalend
Het onderscheid tussen de gestructureerde fabrieksomgeving en de ongestructureerde bouwplaats is de meest bepalende factor bij robotisering in de bouw. Fabrieksmatige productie (prefab, modulair bouwen, industriële producenten van componenten) leent zich goed voor robotisering en automatisering. Daar zijn de rendementen al aantoonbaar. Op de bouwplaats zelf is de situatie anders: de omgeving is dynamisch, elke situatie is uniek, en de interactie tussen mens, machine en omgeving vereist aanpassingsvermogen, die huidige robots nog maar beperkt hebben.

Taken met veel herhaling en voorspelbaarheid zijn kansrijk
Niet alle bouwtaken zijn direct geschikt voor automatisering. Taken die repetitief, fysiek belastend, gevaarlijk en relatief voorspelbaar zijn, denk aan lastige ondersteuning, inspectie en inmeten, repetitieve montagehandelingen en bepaalde vormen van ruwbouwwerk, hebben de meeste potentie. Taken die vakmanschap, improvisatie en contextgevoeligheid onzichtbaar, blijven onvermijdelijk mensenwerk.

Specialistische robots leveren op korte termijn het meeste resultaat
Single-purpose robots, zoals metselrobots, boorrobots, afwerkingsrobots en inspectiedrones, leveren vandaag de dag al aantoonbaar resultaat, mits taak, omgeving en schaal voldoende helder zijn. Humanoïde en multifunctionele robots bieden op termijn meer flexibiliteit, maar bevinden zich in de bouwcontext grotendeels nog in de pilot- en demonstratiefase. Volledig autonome bouwplaatsen zijn op korte termijn niet realistisch.

Adoptie en sociale acceptatie zijn minimaal zo bepalend als technologie
Technisch robuuste en werkende oplossingen zijn een fundamentele vereiste, maar niet de enige voorwaarde. Praktijkervaring laat zien dat robots pas echt bijdragen aan productiviteitsverbetering wanneer zij duurzaam worden geïntegreerd in werkprocessen, worden geaccepteerd door uitvoerend personeel en passen binnen de organisatiecultuur. Acceptatie groeit niet vóór gebruik, maar dóór gebruik, en alleen wanneer medewerkers de meerwaarde in de eigen werksituatie daadwerkelijk ervaren.

De meerwaarde is op korte termijn vooral indirect
Robots bevinden zich in de beginfase zelden sneller dan ervaren vakmensen. De economische meerwaarde manifesteert zich indirect: minder krachtige belasting, minder faalkosten, consistentere kwaliteit, veiliger werken en een betere duurzame inzetbaarheid van personeel. Op termijn, wanneer de technologie volwassener is en processen beter ingericht, neemt de directe productiviteitswinst toe.

Regionale samenwerking is essentieel voor opschaling
De overgang van losse pilots naar structurele toepassing lukt niet op bedrijfsniveau alleen. Kennisuitwisseling, standaardisatie, vaardighedenontwikkeling en aanzienlijke infrastructuurvragen om samenwerking tussen bedrijven, kennisinstellingen en innovatiehubs. Regionale ecosystemen spelen hierin een onmisbare verbindende rol.

11. Aanbevelingen

Op basis van de conclusies van dit rapport hebben wij de volgende aanbevelingen, specifiek gemaakt op bouwbedrijven, beleidsmakers en regionale ecosysteempartijen.

Voor bouwbedrijven (MKB en groter):

1. **Begin klein, maar begin nu**
   Wacht niet op de perfecte robot van de volledige businesscase. Juist door nu te experimenteren met 3D printen, of andere afgebakende toepassingen zoals een inspectiedrone/-robot, een boorrobot of een logistieke robot, bouw je het organisatorisch leervermogen op dat noodzakelijk is voor toekomstige opschaling.

2. **Kies use-cases op basis van taak, omgeving én schaal**
   Gebruik het beslisframework uit hoofdstuk 5 als vertrekpunt. Een robot moet passen bij het type werk (repetitief, fysiek belastend, voorspelbaar), de omgeving (voldoende gecontroleerd en voorspelbaar) én de schaal (voldoende volume om investering te rechtvaardigen). Een goede use-case overleeft deze drie toetsen.

3. **Betrek uitvoerend personeel vanaf het begin**
   Maak vakmensen mede-eigenaar van pilots. Laat hen meedenken over taakverdeling, tempo en toepassingsgrenzen. Sociale acceptatie ontstaat door ervaring en zeggenschap — niet door communicatie achteraf.

4. **Investeer in procesoptimalisatie vóór robotisering**
   Een robot maakt een slecht proces niet beter. Standaardiseer werkprocessen (zowel in de eigen organisatie, als in de keten), verbeter de werkstromen en verhelder de taakverdeling voordat je een robot introduceert. Robotisering is een sluitstuk van procesverbetering, geen vervanging ervan.

5. **Reken niet uitsluitend op directe snelheidswinst**
   Beoordeel de meerwaarde van robots ook op indirecte opbrengsten, zoals minder uitval, hogere veiligheid, consistentere kwaliteit en aantrekkelijkheid als werkgever. Deze baten zijn reëel, maar worden in traditionele businesscases vaak lastig.

Voor beleidsmakers en opdrachtgevers:

6. **Schep ruimte voor leren in aanbestedingen en contracten**
   De huidige druk op doorlooptijden en marges maakt experimenteren moeilijk. Opdrachtgevers en beleidsmakers kunnen innovatie faciliteren door pilots expliciet ruimte te geven in projecten, zonder directe rendementseisen te stellen.

7. **Werk aan betrouwbare, sectorspecifieke veiligheids- en aansprakelijkheidskaders**
   De huidige normen voor robots zijn ontwikkeld voor fabrieksomgevingen en sluiten niet goed aan de dynamiek van de bouwplaats. Onduidelijkheid over aansprakelijkheid remt adoptie. Investeer in sectorspecifieke richtlijnen en voorlichting.

8. **Koppel robotisering aan vaardigheden- en onderwijsagenda's-**
   De introductie van robots verandert het type competenties dat de sector nodig heeft. Beleid rondom robotisering moet hand in hand gaan met investeringen in omscholing, bijscholing en integratie in vakopleidingen.

Voor regionale ecosysteempartijen (hubs, kennisinstellingen, brancheorganisaties):

9. **Organiseer een vergelijkbare leerinfrastructuur**
   Bouw gezamenlijke living labs, testomgevingen en kennisdeelplatforms waar (MKB-) bedrijven[EQ1.1] laagdrempelig kunnen experimenteren. Deel mislukkingen zelfs actief als succes, ook negatieve leerervaringen zijn waardevol. Zet hierbij in op skillsontwikkelprogramma's om zowel op organisatieniveau als op individueel niveau de juiste skills aan te leren.

10. **Stimuleer standaardisatie als sectoropgave**
    Robotisering op schaal vereist gestandaardiseerde materiaalspecificaties, bouwprocessen en dataformaten. Dit is geen taak voor individuele bedrijven, maar voor de sector als geheel. Ecosysteempartijen kunnen hier een trekkersrol beëindigd.

11. **Verbind technologieontwikkeling met sociale vraagstukken**
    Richt programma's niet alleen op technische duurzaamheid, maar ook op werkervaring, vakmanschap en duurzame inzetbaarheid. De sociale kant van robotisering verdient evenveel aandacht als de technische.

12. Reflectie en vervolg

Dit rapport is een verkennende studie met duidelijke beperkingen. Het ontbreken van empirische praktijkdata betekent dat conclusies indicatief zijn. Tegelijkertijd biedt de verkenning richting voor vervolgonderzoek.

Aanbevolen wordt om vervolgprojecten te richten op langdurige pilots, kwantitatieve effectmeting en het ontwikkelen van bouwspecifieke veiligheidsrichtlijnen voor de inzet van (humanoïde) robots in de bouw.

Wat dit onderzoek wel en niet is
Dit rapport is een verkennend onderzoek, geen technisch validatieonderzoek. De use-cases in hoofdstuk 6 zijn analytische denkkaders, gebaseerd op literatuur, internationale pilots en gesprekken met praktijkmensen, geen empirisch bewezen toepassingen. De ontdekkingen moeten worden gelezen als een goede hypothese over waar robotisering in de bouw kansrijk is, niet als blauwdruk voor implementatie.

De validatiegesprekken met beslissers in de sector hebben waardevolle resultaten opgeleverd, maar vertegenwoordigers geen volledige of representatieve doorsnede van de bouwketen. Ervaringen van kleinere MKB-bedrijven, zzp'ers en ondernemers zijn onderbelicht gebleven.

Wat we nu weten, en wat nog onduidelijk is
We weten dat de technologie voor specifieke toepassingen beschikbaar en krachtig is, dat adoptie en sociale acceptatie de kritieke succesfactoren zijn, en dat samenwerking in regionale ecosystemen feitelijk nodig is voor opschaling. We weten ook dat fabrieksmatige productie op korte termijn meer van robotisering profiteert dan de dynamische, en meer traditionele bouwplaats. En dat op de bouwplaats zelf de kansen meer liggen in ondersteuning en taakverlichting in plaats van volledige autonomie.

Wat nog onduidelijk is: hoe snel humanoïde robots robuust en betrouwbaar genoeg worden voor structureel gebruik op de bouwplaats, wat de werkelijke TCO (total cost of ownership) is van robotisering gedurende een veelbelovende periode, en hoe de inzet van robots op de bouwplaats zal veranderen.

Gewenste stappen
De logische vervolgstap op dit rapport is praktische validatie: het uitvoeren van gecontroleerde pilots op echte bouwplaatsen, met gestandaardiseerde meetmethoden voor productiviteitseffecten, sociale acceptatie en veiligheid. Daarbij is het van belang:

- Meerdere bedrijven en contexten te onderzoeken, en daar wel vergelijkbare en generaliseerbare uitkomsten van te maken
- Uitvoerend personeel te betrekken bij de opzet, uitvoering en evaluatie van pilots in het kader van draagvlak en sociale acceptatie
- Resultaten, zowel positief als negatief, actief te delen via de regionale ecosystemen
- De koppeling te leggen met onderwijs- en opleidingsprogramma's, zodat kennisopbouw op de werkplek ook duurzaam verankerd wordt in de sector.

Robotisering in de bouw is geen revolutie die morgen begint. Het is een geleidelijk, complex en sociaal proces dat vraagt om geduld, samenwerking en een langdurig perspectief. Dit rapport levert hierin een bijdrage door een stevige analytische basis. Nu is het zaak de stap naar de praktijk te zetten.

13. Bronnen

1. ABB. (z.d.). Robotics. ABB. https://new.abb.com/products/robotics
2. Advanced Construction Robotics. (z.d.). TyBOT. Advanced Construction Robotics. https://www.constructionrobots.com/tybot
3. Agility Robotics. (z.d.-a). Digit. Agility Robotics. https://agilityrobotics.com/products/digit
4. Agility Robotics. (z.d.-b). Agility Arc. Agility Robotics. https://agilityrobotics.com/arc
5. Alzuhiri, M., Li, Z., Rao, A., Li, J., Fairchild, P., Tan, X., & Deng, Y. (2023). IMU-assisted robotic structured light sensing with featureless registration under uncertainties for pipeline inspection. NDT & E International, 139, Article 102936. https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2023.102936
6. Bock, T., & Linner, T. (2016). Construction robots. Cambridge University Press. https://www.cambridge.org/core/books/construction-robots/6A6A0A6A2A2F0F1E0B-9F3A6C3E6E7B8A
7. Boston Dynamics. (z.d.-a). Atlas. Boston Dynamics. https://bostondynamics.com/atlas/
8. Boston Dynamics. (z.d.-b). Spot. Boston Dynamics. https://bostondynamics.com/products/spot/
9. Bouwend Nederland. (2026). Arbeidsinspectie breidt handhaving fysieke belasting uit naar meer beroepen. Bouwend Nederland. https://www.bouwendnederland.nl/nieuws/algemeen/arbeidsinspectie-breidt-handhaving-fysieke-belasting-uit-naar-meer-beroepen
10. Capriglione, D., Carratu, M., Catelani, M., Ciani, L., Patrizi, G., Pietrosanto, A., & Sommella, P. (2021). Experimental analysis of filtering algorithms for IMU-based applications under vibrations. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 70, 1–10. https://doi.org/10.1109/TIM.2020.3044339
11. Centraal Bureau voor de Statistiek. (2026). Minder vacatures in eerste kwartaal van 2026. CBS. https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2026/18/minder-vacatures-in-eerste-kwartaal-van-2026
12. Construction Robotics. (z.d.). SAM100. Construction Robotics. https://www.construction-robotics.com
13. Delgado, J. M., Oyedele, L., Ajayi, A., Akanbi, L., Akinade, O., Bilal, M., & Owolabi, H. (2019). Robotics and automated systems in construction: Understanding industry-specific challenges for adoption. Journal of Building Engineering, 26, Article 100868. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100868
14. Driess, D., Xia, F., Sajjadi, M. S. M., Lynch, C., Chowdhery, A., Ichter, B., Wahid, A., Tompson, J., Vuong, Q., Yu, T., Huang, W., Chebotar, Y., Sermanet, P., Duckworth, D., Levine, S., Vanhoucke, V., Hausman, K., Toussaint, M., Greff, K., ... Florence, P. (2023). PaLM-E: An embodied multimodal language model. arXiv. https://arxiv.org/abs/2303.03378
15. Economisch Instituut voor de Bouw. (2022). Arbeidsmarkt en productiviteit in de bouwsector. EIB. https://www.eib.nl/publicaties/arbeidsmarkt-en-productiviteit-in-de-bouwsector/
16. European Commission. (z.d.). European approach to artificial intelligence. European Commission. https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-approach-artificial-intelligence
17. FBR. (z.d.). Hadrian X. FBR. https://www.fbr.com.au/view/hadrian-x
18. Figure AI. (z.d.-a). Figure 01. Figure AI. https://www.figure.ai/
19. Figure AI. (z.d.-b). Figure 02. Figure AI. https://www.figure.ai/
20. Garcés, G., & Guo, B. H. W. (2025). Human-robot synergy in building construction: Advances, challenges, and future horizons for construction 5.0. Discover Civil Engineering. https://doi.org/10.1007/s44290-025-00297-7
21. Gharbia, M., Chang-Richards, A., Lu, Y., Zhong, R. Y., & Li, H. (2020). Robotic technologies for on-site building construction: A systematic review. Journal of Building Engineering, 32, Article 101584. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101584
22. Goodrich, M. A., & Schultz, A. C. (2007). Human–robot interaction: A survey. Foundations and Trends in Human–Computer Interaction, 1(3), 203–275. https://doi.org/10.1561/1100000005
23. Google DeepMind. (2023). RT-2: New model translates vision and language into action. Google DeepMind. https://deepmind.google/blog/rt-2-new-model-translates-vision-and-language-into-action/
24. Halder, S., & Afsari, K. (2023). Robots in inspection and monitoring of buildings and infrastructure: A systematic review. Applied Sciences, 13(4), Article 2304. https://www.mdpi.com/2076-3417/13/4/2304
25. Hilti Corporation. (2020). Jaibot: Semi-autonomous mobile drilling robot. Hilti. https://www.hilti.com/content/hilti/W1/US/en/business/business/trends/jaibot.html

26. Hilti Corporation. (2022). Jaibot: Construction robotics for ceiling drilling. Hilti. https://www.hilti.com/content/hilti/W1/US/en/business/business/trends/jaibot.html
27. International Federation of Robotics. (2025). World Robotics 2025. IFR. https://ifr.org/worldrobotics/
28. International Federation of Robotics. (z.d.-a). What is a robot? IFR. https://ifr.org/robot-history
29. International Federation of Robotics. (z.d.-b). Service robots. IFR. https://ifr.org/service-robots
30. International Organization for Standardization. (2021). ISO 8373:2021 Robotics — Vocabulary. ISO. https://www.iso.org/standard/75539.html
31. International Organization for Standardization. (2025a). ISO 10218-1:2025 Robotics — Safety requirements — Part 1: Industrial robots. ISO. https://www.iso.org/standard/73933.html
32. International Organization for Standardization. (2025b). ISO 10218-2:2025 Robotics — Safety requirements — Part 2: Industrial robot applications and robot cells. ISO. https://www.iso.org/standard/73934.html
33. International Organization for Standardization. (2016). ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices — Collaborative robots. ISO. https://www.iso.org/standard/62996.html
34. Kakhkharov, A., Kim, J.-W., & Choi, J.-H. (2026). Quadruped robots in construction automation: A comprehensive review of applications, localization, and site-level operations. Buildings, 16(5), Article 962. https://www.mdpi.com/2075-5309/16/5/962
35. Li, D., Shi, H., Cai, B., Bai, X., Chen, L., Han, G., & Mi, C. (2025). A review of technical advances and applications of intelligent inspection robots in structural health monitoring. SmartBot, 1, Article e70000. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/smb2.70000
36. Lisondra, M., Benhabib, B., & Nejat, G. (2026). Embodied AI with foundation models for mobile service robots: A systematic review. Robotics, 15(3), Article 55. https://www.mdpi.com/2218-6581/15/3/55
37. Liu, Y., Alias, A. H., Haron, N. A., Bakar, N. A., & Wang, H. (2024). Robotics in the construction sector: Trends, advances, and challenges. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 110(2), Article 72. https://link.springer.com/article/10.1007/s10846-024-02104-4
38. McKinsey & Company. (2020). The next normal in construction: How disruption is reshaping the world's largest ecosystem. McKinsey & Company. https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/capital%20projects%20and%20infrastructure/our%20insights/the%20next%20normal%20in%20construction/executive-summary_the-next-normal-in-construction.pdf
39. McKinsey & Company. (2024). Delivering on construction productivity is no longer optional. McKinsey & Company. https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/delivering-on-construction-productivity-is-no-longer-optional
40. McKinsey & Company. (2025). Putting the pieces together: Unlocking success in modular construction. McKinsey & Company. https://www.mckinsey.com/industries/engineering-construction-and-building-materials/our-insights/putting-the-pieces-together-unlocking-success-in-modular-construction
41. McKinsey Global Institute. (2017). Reinventing construction: A route to higher productivity. McKinsey & Company. https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution
42. Melenbrink, N., Werfel, J., & Menges, A. (2020). On-site autonomous construction robots: Towards unsupervised building. Automation in Construction, 119, Article 103312. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580520301746?via%3Dihub
43. National Highway Traffic Safety Administration. (z.d.). Automated vehicles for safety. NHTSA. https://www.nhtsa.gov/vehicle-safety/automated-vehicles-safety
44. NVIDIA. (z.d.). Physical AI. NVIDIA. https://www.nvidia.com/en-us/ai-data-science/
45. OKIBO. (z.d.). Autonomous robots for construction. OKIBO. https://okibo.com/
46. Özdemir, K., Baehre, B., Neumann, K., Smyrou, E., & Bal, İ. E. (2026). Robotics-based structural inspection using onboard IMUs: Experimental validation. In Proceedings of the 18th European Conference on Earthquake Engineering (ECEE 2026). Groningen, Netherlands. https://ecee2026.eu/
47. Pan, M., Yang, Y., Zheng, Z., & Pan, W. (2022). Artificial intelligence and robotics for prefabricated and modular construction: A systematic literature review. Journal of Construction Engineering and Management, 148(9), Article 03122004. https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0002324
48. Ren, X., & Kim, J.-H. (2025). The role of AI in on-site construction robotics: A state-of-the-art review. Buildings, 15(13), Article 2374. https://www.mdpi.com/2075-5309/15/13/2374
49. Rodrigues, P. B., Singh, R., Oytun, M., Adami, P., Woods, P. J., Becerik-Gerber, B., Soibelman, L., Copur-Gencturk, Y., & Lucas, G. M. (2023). A multidimensional taxonomy for human–robot interaction in construction. Automation in Construction, 150, Article 104845. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092658052300105X?via%3Dihub
50. ROPAX. (z.d.). Ropax metselrobot. ROPAX. https://www.ropax.eu/
51. Shokravi, H., Vafaei, M., Samali, B., & Bakhary, N. (2024). In-fleet structural health monitoring of roadway bridges using connected and autonomous vehicles' data. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 39(14), 2122–2139. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1093968726001970?via%3Dihub

52. Smyrou, E., Özdemir, K., Veenstra, R., Bal, İ. E., Roijakkers, R., & Tesfamariam, S. (2026). Experimental evaluation of static and vibration performance of three timber floor systems with and without bonded topping layers. Journal of Performance of Constructed Facilities, 40(3), Article 04026017. https://ascelibrary.org/doi/10.1061/JPCFEV.CFENG-5306
53. TechYourFuture. (2023). RoboTAO: De weg naar toekomstbestendige samenwerking tussen mens en collaboratieve robot. TechYourFuture. https://www.techyourfuture.nl/wp-content/uploads/2023/07/401-0063-RoboTao_5_Losse-paginas-LR.pdf
54. Tesla, Inc. (z.d.). AI & robotics. Tesla. https://www.tesla.com/AI
55. TNO. (2020). Technologische veranderingen op het werk: Zelf gerapporteerde effecten van technologie op werk. TNO. https://publications.tno.nl/publication/34637575/QtY0le/TNO-2020-R11973.pdf
56. TNO. (2025). Factsheet fysieke arbeidsbelasting. TNO. https://www.arboportaal.nl/site/binaries/site-content/collections/documents/2025/12/12/factsheet-fysieke-arbeidsbelasting/tno-2025-fysiekearbeid.pdf
57. UK Government. (2024). Volumetric modular construction research. GOV.UK. https://www.gov.uk/government/publications/volumetric-modular-construction-research/volumetric-modular-construction-research
58. Uthai, T., You, H., Wang, M., Smith, K., Spackman, E., Ryan, Z., Li, S., & Du, J. (2025). Opportunities, challenges and roadmap for humanoid robots in construction. Scientific Reports, 16, Article 905. https://doi.org/10.1038/s41598-025-30252-6
59. Volandis. (2024). Bedrijfstakverslag 2022 en 2023. Volandis. https://www.volandis.nl/media/xdmh5224/bedrijfstakverslag-2022-en-2023.pdf
60. World Economic Forum. (2018). Shaping the future of construction: A breakthrough in mindset and technology. World Economic Forum. https://www.weforum.org/reports/shaping-the-future-of-construction-a-breakthrough-in-mindset-and-technology
61. Xu, Y., Cheung, C., Ng, M. S., Yunusa-Kaltungo, A., Ishizawa, T., & Fujimoto, K. (2026). Construction robotics: A systematic review of robot types, applications and human robot collaborations. Results in Engineering, 30, Article 110406. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2026.110406
62. Yu, L., Qiao, Z., Xing, S., Wu, Y., & Ji, H. (2025). A novel structural vibration sensing approach based on a miniaturized inertial measurement unit. Sensors, 25(13), Article 3958. https://doi.org/10.3390/s25133958

Colofon

Titel: Arbeidsbesparende Technologie - Verkenning inzet robots in de bouw

Versie: 1.0 - Juni 2026

Auteurs: Jentine Berger (Pioneering), Nils Hospes (Bouwlab R&Do), Jelle Pama (BuildinG), Johan Treur (SPARK Campus)

Uitgegeven door: SPARK Campus

In samenwerking met: Pioneering, BuildinG, Bouwlab R&Do

Mede mogelijk gemaakt door: NGF Toekomstbestendige Leefomgeving

Copyright: © 2026 SPARK Campus
Niets uit deze uitgave mag zonder toestemming worden overgenomen.