



Literatuurstudie SKILLS4.0



Voorwoord

Deze literatuurstudie kadert binnen het INTERREG Frankrijk Wallonië Vlaanderen-project SKILLS4.0.

De industrie is een belangrijke motor voor de economie in de grensregio. Ze staat garant voor heel wat werkgelegenheid en heeft de laatste jaren sterk geïnvesteerd in duurzame en digitale toepassingen. Bedrijven hebben het echter steeds moeilijker om hun vacatures ingevuld te krijgen. Vooral technische profielen zijn schaars. De reden hiervoor is dat nog steeds te weinig jongeren en volwassenen kiezen voor een technische (om-)scholing. Dit heeft deels te maken met het imago van technische jobs en opleidingen. De opkomst van industrie 4.0 biedt echter heel wat kansen voor meer werkbare jobs, maar impliceert ook dat jobs veranderen en er dus nieuwe kennis en competenties nodig zijn.

Binnen het SKILLS4.0-project waren we op zoek naar een lijst met alle benodigde vaardigheden binnen industrie 4.0. Hoewel zo'n lijst niet kant-en-klaar beschikbaar bleek, brachten we wel enkele competentienoden en tendensen in kaart. Op basis hiervan zullen de projectpartners nieuwe opleidingsinhouden en tools voor technische beroepen ontwikkelen opdat die betere aansluiting vinden op de (toekomstige) noden van de industrie. Deze literatuurstudie gebruikt publicaties uit de drie betrokken gebiedsdelen (Vlaanderen, Wallonië, Frankrijk). De bronnen werden bepaald in samenspraak met de betrokken SKILLS4.0-partners (POM West-Vlaanderen, Syntra West, Syntra Midden Vlaanderen, CVO Miras, EEDK, Entreprendre Ensemble, VDAB, Sirris, Sud Concept, MEEF).

Aanvullend op deze literatuurstudie worden interviews afgenomen en bedrijven bezocht om tot de nodige inzichten te komen.

Voorwoord

1. Inleiding: de onomkeerbare golf van industrie 4.0
2. Worden sommige beroepen minder relevant, verdwijnen ze, of transformeren ze?
 - 2.1. De operator van de toekomst
 - 2.2. De verschuiving van routinematige naar cognitieve taken
 - 2.3. De hybride technicus en de operator 4.0
3. Basisvaardigheden en hard skills binnen I4.0
 - 3.1. Digitale geletterdheid
 - 3.2. Hard skills
 - 3.2.1. Data-analyse en AI
 - 3.2.2. Automatisering en robotica
 - 3.2.3. Cybersecurity
 - 3.2.4. Digitale productie
4. De opkomst van soft skills binnen I4.0
 - 4.1 Essentiële soft skills
 - 4.2 Afwezige soft skills in curricula
5. De noodzaak van sectorspecifieke nuance en regionale dynamiek
 - 5.1 Transversale basis, sectorspecifieke specialisatie
 - 5.2 Regionale verschillen in aanpak en maturiteit
6. Structurele implicaties voor opleiding
 - 6.1. Soft skills
 - 6.2. Curriculum breedte en -diepte
 - 6.3 Innovatieve opleidingsvormen voor levenslang leren
7. Beleid
 - 7.1 De strategische rol van de overheid

7.2 De verschuiving naar industrie 5.0: de mens centraal

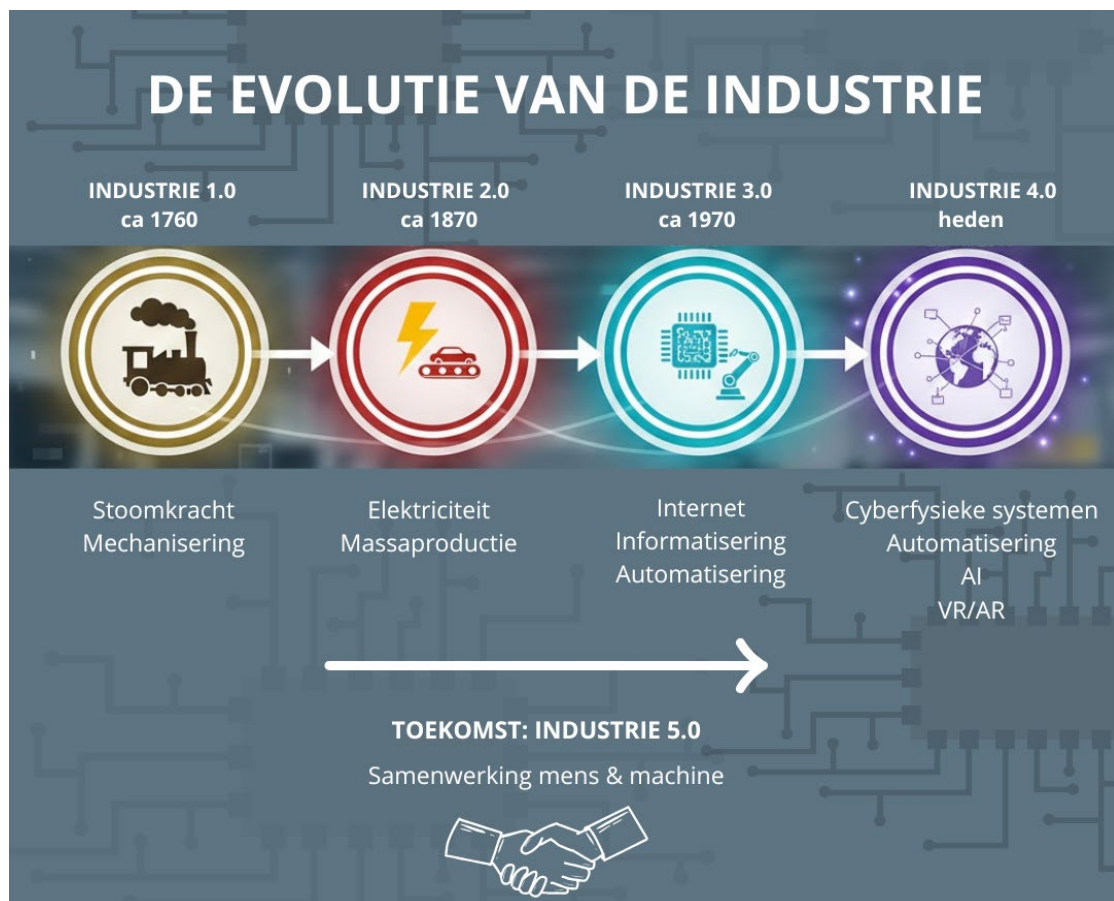
7.3 Good practices en strategische modellen

8. Conclusie

1. Inleiding: de onomkeerbare golf van industrie 4.0

Bronnen: 1, 2, 9, 14, 15, 20, 23, 24, 25, 27, 28, 29

Doorheen de geschiedenis kregen we te maken met verschillende industriële revoluties: de eerste industriële revolutie (mechanisatie), de tweede (massaproductie en elektriciteit), en de derde (automatisering). Naast de impact op productie en business modellen, hadden deze revoluties ook impact op de nodige



4

vaardigheden binnen de industrie. Momenteel bevinden we ons midden in de vierde industriële revolutie (industrie 4.0), waarbinnen er een opmerkelijke opkomst en verwevenheid is met big data, wat opnieuw voor een verandering in specialisaties en vaardigheden zorgt bij medewerkers.

Industrie 4.0 (I4.0) brengt een opmerkelijke transformatie teweeg binnen technische beroepen door de integratie van digitale technologieën, geavanceerde automatisering, artificiële intelligentie (AI) en data-analyse. Als gevolg van deze transformatie krijgt de industrie te maken met een verandering in hoe competenties binnen de industrie vorm krijgen en gedefinieerd worden. Verschillende literatuur omschrijft deze transformatie als een fundamentele en onomkeerbare hervorming die verder gaat dan enkel technologische aanpassingen maar die effectief de gehele operationele architectuur beïnvloedt. De rode draad binnen deze transformatie is de verschuiving van manuele en fysieke uitvoering, naar functies waarin cognitie, controle en optimalisatie van processen centraal staan. Met andere woorden: er is een verschuiving gaande van een operatorrol naar een “systeemregisseur”. Technische functies zijn namelijk complexer en kennisintensiever geworden, waarbij niet enkel de machines bediend moeten worden maar waarbij werknemers moeten begrijpen hoe deze machines functioneren binnen het systeem waar cyber-fysieke systemen, AI, en big data geïntegreerd zijn met elkaar. Daarnaast heeft de transformatie ook invloed op de werkorganisatie: er is een trend naar vlakke structuren, meer autonomie, en samenwerking in multidisciplinaire teams. Managers evolueren van controleurs naar coaches.

2. Worden sommige beroepen minder relevant, verdwijnen ze, of transformeren ze?

2.1. De operator van de toekomst

Bronnen: 2, 4, 9, 12, 20, 21, 22, 24, 26, 27, 32

Zoals gesteld in verschillende bronnen, staat de transitie binnen de industrie niet automatisch gelijk aan het verdwijnen van jobs. De inhoud van de jobs ondergaat daarentegen wel een diepgaande transformatie. De rol van operator evolueert - zoals hierboven beschreven - naar die van een systeemregisseur of 'verhoogde operator' die inzicht heeft in digitale processen en deze ook kan aansturen en opvolgen. Andere functies, zoals onderhoudstechnici, evolueren bijvoorbeeld van een reactieve onderhoudstechnicus naar een voorspellende onderhoudstechnicus door het inzicht en gebruik van sensoren en slimme data-analyse. Een werknemer, hetzij operator of hetzij onderhoudstechniek, heeft dus inzicht nodig in hoe hij de geconnecteerde machinesoftwarematig moet interpreteren, en kan interveniëren wanneer nodig aan de hand van digitale tools (= controle en kwaliteitsbeheer). Er ontstaat een focus op preventief en voorspellend onderhoud (*predictive maintenance*), wat vereist dat technici zich bezighouden met het interpreteren van de systeemstatus, in plaats van louter reparaties uitvoeren.

Hoewel de juiste infrastructuur en de nodige technologie belangrijk zijn voor het succes van de transitie, zijn ook het vermogen en de competenties van de beroepsbevolking om zich continu bij en om te scholen (*upskilling* en *reskilling*) van belang. Het menselijke aanpassingsvermogen - dat nodig is om continue bij te leren - wordt gezien als de kritieke succesfactor voor de grootschalige evolutie omdat de werknemers zo alle inhoudelijke veranderingen kunnen blijven toepassen. Er zijn twee groepen vaardigheden te onderscheiden:

1. **Hard skills:** technologische vaardigheden zoals automatisering, programmering, en data-analyse.
2. **Soft skills:** relationele vaardigheden zoals aanpassingsvermogen, innovatievermogen, veranderingsmanagement, samenwerking en autonomie.

Bedrijven en opleidingsactoren kunnen inspelen op de snelheid van verandering door in te zetten op levenslang leren of permanente vorming voor hun werknemers. Investeren in training of interne opleiding is een belangrijke hefboom binnen deze transitie. Dat laatste is echter een uitdaging omdat technologieën in de bedrijfscontext sneller ingevoerd worden dan dat de opleidingssector ze kan bijbenen.

Binnen de literatuur wordt gesteld dat sommige functies wel degelijk zullen verdwijnen. Denk aan repetitieve functies zoals de klassieke machinebediening en data-invoer, maar ook jobs binnen de lage inkomenscategorie of onveilige jobs dreigen overbodig te worden. Deze jobs kunnen vervangen worden door geautomatiseerde systemen met behulp van AI. Een positief gevolg van het mogelijk verdwijnen van bepaalde functies, is dat er nieuwe hybride beroepen ontstaan. De vraag naar multi-inzetbare werknemers stijgt, denk aan een onderhoudstechnicus-data-analist, ingenieurs met IT-kennis en robotica-specialisten. Hybride werknemers zijn multi-inzetbare werknemers omdat hun profiel een combinatie is van de klassieke technische kunde aangevuld met digitale expertise. De beroepsstructuur binnen I4.0 wijst op het ontstaan van gespecialiseerde rollen op vlak van engineering en ICT.

2.2. De verschuiving van routinematige naar cognitieve taken

Bronnen: 1, 2, 5, 13, 15, 16, 21

De technologische ontwikkelingen, waaronder robotisering, automatisering en de toepassing van virtual en augmented reality, leiden tot een verregaande verandering

van de werkomgeving. De inzet van deze technologieën herschrijft de rol van de mens in de productieketen.

Binnen industrie 3.0, waarbij automatisering centraal stond, werd van werknemers verwacht dat ze uitblonken in nauwkeurige en routinematige taken. De opkomst van industrie 4.0 doorbreekt deze verwachtingen door zijn flexibele en 'slimme' karakter. De grootste verschuiving is het verdwijnen of reduceren van repetitieve taken (bijvoorbeeld handmatige kwaliteitscontrole). Onderzoek in de sectoren metaal - en textiel - bevestigt dat deze routinematige taken door de opkomst van slimme systemen zoals AI en smart data worden overgenomen. Desondanks biedt industrie 4.0 een opportuniteit voor de menselijke factor: bepaalde nieuwe functies zoals het beheren van differentiatie en het interpreteren van complexe voorspellende data, vereisen menselijke intelligentie want ze kunnen nog niet volledig geautomatiseerd worden. Kortom: het verdwijnen van voorspelbare en routinematige arbeid, verlegt de focus naar cognitieve en niet-routinematige taken om de flexibiliteit van de industrie 4.0 te kunnen volgen.

Als gevolg van deze verschuiving veranderen de functies binnen technische jobs. Ze worden gevarieerder omdat medewerkers moeten kunnen omgaan met deze slimme systemen en snel veranderende trends. Medewerkers hebben hierdoor een zekere mentale flexibiliteit nodig waarbij mentaal leiderschap en complexe besluitvorming centraal staan. Binnen industrie 4.0 wordt van medewerkers verwacht dat ze flexibel omgaan met problemen en dat ze deze ook kunnen oplossen. Medewerkers moeten naadloos kunnen navigeren en in interactie gaan met geautomatiseerde systemen. Autonomie is hiervoor een belangrijke vaardigheid, want hoewel AI in staat is om complexe figuren te herkennen, zijn mensen beter in staat om onverwachte of onvoorspelbare storingen te herkennen en hierop te reageren.

De menselijke rol evolueert van fysieke uitvoering naar toezicht, monitoring en het oplossen van complexe problemen. Hierdoor verhogen de cognitieve eisen van de operator binnen industrie 4.0. Enkele voorbeelden van cognitieve taken zijn:

1. Data-gedreven besluitvorming: het interpreteren van data om strategische en/of operationele beslissingen te nemen.
2. Procesoptimalisatie waarbij creatieve en niet-routinematige vaardigheden nodig zijn om productielijnen te optimaliseren op een flexibele en competitieve wijze.
3. Supervisie waarbij de medewerker ingrijpt op het moment dat AI een onverwachte situatie niet kan oplossen. Medewerkers moeten nog steeds de beslissingen van de machines kunnen valideren.

2.3. De hybride technicus en de operator 4.0

Bronnen: 12, 20, 22, 26, 27, 29

"Net zoals we in ons dagelijkse leven technologie omarmen voor meer gemak, zullen digitalisering en AI ook in fabrieken het werk comfortabeler maken. Robots en chatbots worden 'compagnons' van operatoren, kwaliteitsmedewerkers en productontwikkelaars" 5

Machines en data zijn binnen I4.0 onlosmakelijk met elkaar verbonden, wat zorgt voor een verwevenheid van operationele technologie (OT) en informatietechnologie (IT) waarbij de grens tussen beide steeds meer vervaagt. Die verwevenheid van OT en IT wordt ook wel de hybridisatie genoemd.

Eerder werd al gesproken over de nieuwe hybride werknemer (zie 2.1. De operator van de toekomst). De hybridisering van vaardigheden houdt een combinatie in van

verschillende competentiedomeinen die voorheen vaker gescheiden werden gehouden. Binnen industrie 4.0 wordt de traditionele industriële expertise gecombineerd met digitale competenties en met applicatie gerelateerde competenties. De technicus 4.0 wordt dus verwacht de fusie van OT en IT te belichamen waarbij hij/zij cyber-systemen superviseert met behulp van *Augmented Reality (AR)*, door data te beheren en geautomatiseerde output te valideren. Een aandachtspunt in deze transformatie is dat de technicus 4.0 expertise nodig heeft in het filteren van informatie. Er is door de integratie van digitale hulpmiddelen namelijk een toestroom van veel data. Indien de technicus 4.0 deze data niet kan synthetiseren of filteren, kan dit leiden tot een cognitieve overbelasting van de medewerker, wat dan weer kan leiden tot fouten. De technicus 4.0 moet dus grote hoeveelheden data interpreteren, analyseren en integreren in processen ter optimalisatie. De competentie om deze data om te zetten in actie is een belangrijke hard skill binnen I4.0.

De hybride rol binnen I4.0 centreert zich rond het omgaan met uitzonderingen, het oplossen van niet-voorspelbare problemen en het omgaan met de algemene systeemintegriteit. Zonder deze hybride profielen kan de synergie tussen machines en data niet worden gerealiseerd. Hybride profielen fungeren als de noodzakelijke 'bruggenbouwers' tussen de operationele technologie (OT – machines) en de informatietechnologie (IT – data en software). Zij zijn de sleutel tot een naadloze en efficiënte systeemintegratie. De verwevenheid van systemen zorgt ervoor dat een storing zelden een puur mechanisch probleem is, maar vaak een combinatie van software, elektriciteit en mechanica. Het interdisciplinaire profiel is het enige dat snel en efficiënt een diagnose kan stellen omdat hij de volledige systeemketen overziet. Dit versnelt de hersteltijd en minimaliseert de downtime. De technicus-data-analist, die sensordata kan interpreteren en ernaar kan handelen, is dan ook de nieuwe standaard op de werkvloer. Dit profiel combineert de operationele kennis met de analytische capaciteit.

3. Basisvaardigheden en hard skills binnen I4.0

3.1. Digitale geletterdheid

Bronnen: 1, 2, 3, 5, 23, 27, 28, 32

Intussen is duidelijk dat industrie 4.0 heel wat verandering teweeg brengt in zowel werkprocessen als in jobinhoud. Enerzijds is er een dringende en brede noodzaak om het algemene niveau van digitale geletterdheid van de volledige beroepsbevolking te verhogen. Anderzijds ontstaat er een acute en groeiende vraag naar hooggekwalificeerde experts met diepgaande, gespecialiseerde kennis. Bedrijven zullen steeds meer gebruik maken van robotica en slimme systemen die in interactie kunnen gaan met medewerkers. Dit vereist verschillende basisvaardigheden bij medewerkers. Literatuur spreekt o.a. over *qualifiers* en *order winners*.

Qualifiers worden gezien als essentiële basisvoorwaarden die medewerkers moeten hebben om te kunnen functioneren binnen I4.0. Als een medewerker deze vaardigheden niet heeft, komt het uitoefenen van zijn functie in gedrang. Qualifiers zijn bijvoorbeeld specifieke expertkennis, continu geüpdatet aan de hand van permanente bijscholing. Van de medewerker wordt een bereidheid tot levenslang leren verwacht.

Order winners zijn onderscheidende vaardigheden waarmee een medewerker zichzelf kan onderscheiden en waarde kan toevoegen aan de organisatie. Met deze vaardigheden bij medewerkers, onderscheidt een organisatie zichzelf van andere organisaties in de markt. Order winners zijn bijvoorbeeld interdisciplinaire samenwerking, en bedrijfskundige kennis waarbij de medewerker inzicht heeft in de bedrijfsprocessen en bijbehorende doelen.

Echter wordt de “competentiekern” van I4.0 omschreven als het kunnen verzamelen van data, analyseren en omzetten in waarde. Hogere specialisaties zoals data-

analyse, programmeren, en systeemintegratie zijn steeds belangrijker. Bij laaggeschoolde functies is digitale geletterdheid een must. Medewerkers moeten kunnen omgaan met tablets, interfaces en eenvoudige software. De nood aan digitale vaardigheden en specialisten met kennis van AI en automatisering wordt steeds groter dus zijn digitale vaardigheden niet langer een troef op de arbeidsmarkt, maar eerder een absolute basisvereiste.

Ook functies die traditioneel als niet-technisch aanzien worden, zullen een vlotte omgang met digitale tools vereisen. Zo moet een inpakker kunnen omgaan met digitale scansystemen, apps en digitale werkinstructies kunnen interpreteren. Dit betekent dat zelfs basisvaardigheden een upgrade nodig hebben binnen I4.0.

3.2. Hard skills

Bronnen: 1, 2, 3, 4, 13, 20, 24, 26, 28, 29

3.2.1. Data-analyse en AI

De rode draad binnen I4.0 qua hard skills is de noodzaak aan hybride competentieprofielen (zie 2.3. De hybride technicus en de operator 4.0). Deze profielen zijn een combinatie van zowel technische kennis als expertise in digitale en data-technologieën. Zo blijkt het hebben van analytisch vermogen om data te kunnen interpreteren steeds belangrijker. Van medewerkers wordt verwacht dat ze grote datastromen kunnen verzamelen en interpreteren. Data management en -science zijn hierbij belangrijke vaardigheden. Om zelflerende systemen te creëren en beslissingsalgoritmes te ontwikkelen waarmee analyses kunnen gemaakt worden, is kennis van AI en *machine learning* een noodzaak. Bij technici en IT-specialisten is kennis van programmeren essentieel voor bijvoorbeeld het ontwikkelen van interne software, websites of gebruikersinterfaces.

3.2.2. Automatisering en robotica

Multidisciplinaire kennis van elektriciteit, elektronica en software wordt steeds belangrijker om machines en robots te kunnen programmeren. Een integratie van deze vaardigheden is nodig bij de complexe en geautomatiseerde productielijnen.

3.2.3. Cybersecurity

De beveiliging van geconnecteerde industriële systemen en netwerken wordt steeds meer een onmisbaar vakgebied. Medewerkers worden verwacht IoT-netwerken van sensoren en apparaten te kunnen installeren en beheren. De toename van die connectiviteit zorgt ervoor dat cybersecurity-bewustzijn en kennis van beveiligingsarchitectuur een absolute prioriteit is en bijgevolg een kritische vaardigheid is binnen I4.0.

3.2.4. Digitale productie

Specialistische vaardigheden in 3D-printing en het werken met digitale simulaties (digital twins) worden steeds belangrijker. Medewerkers worden verwacht 3D-printing te beheersen als een vorm van additive manufacturing, maar ook om digitale simulatie te beheersen om processen virtueel te testen en zo de 'time to market' te verkorten. Snelheid en flexibiliteit van de productie wordt op deze manier verhoogd.

4. De opkomst van soft skills binnen I4.0

4.1 Essentiële soft skills

Bronnen: 1, 2, 3, 10, 11, 12, 17, 19, 20, 21, 24, 25, 27, 29, 31

Naarmate automatisering routinematige cognitieve taken overneemt, worden de menselijke taken complexer, minder gestructureerd en meer afhankelijk van samenwerking. Dit verhoogt de noodzaak aan zachte vaardigheden of *soft skills*.

Soft skills zijn niet langer secundair, maar een primaire vereiste voor het functioneren binnen I4.0. De menselijke taken worden steeds complexer en meer gericht op communicatie en besluitvorming. Om technische vaardigheden in te zetten binnen I4.0, zijn soft skills een basisvoorwaarde. Zonder kritisch denkvermogen kan een I4.0 technicus de data-analyse niet correct interpreteren of toepassen.

In de meeste literatuur worden steeds dezelfde vaardigheden belicht: samenwerking, creativiteit en innovatie, maar ook autonomie, relationele vaardigheden, management en taalvaardigheid. Andere studies benadrukken aanpassingsvermogen en flexibiliteit om te kunnen schakelen tussen verschillende taken. Medewerkers moeten verandering kunnen accepteren en omgaan met de snelle technologische veranderingen. Doorzettingsvermogen en zelfzekerheid blijken belangrijke soft skills te zijn. Ten slotte voegen sommige bronnen daar nog kritisch denken en probleemoplossend vermogen aan toe, van belang voor het opsporen van onvoorspelbare situaties, deze twee vaardigheden onderscheiden de mens van geautomatiseerde systemen. Door de opkomst van multidisciplinaire teams en het vervagen van grenzen tussen afdelingen (denk aan OT/IT) is communicatie en samenwerking zeer belangrijk om de interdisciplinariteit te doen slagen.

4.2 Afwezige soft skills in curricula

Bronnen: 14, 17, 18, 33

Gezien de focus ligt op operationele en cognitieve soft skills (probleemoplossing, flexibiliteit, ...), blijven gedragsmatige en ethische vaardigheden vaak onderbelicht in de opleidingsinventarissen. Dit wijst op een leegte in de huidige opleidingsprogramma's. Emotionele intelligentie, leiderschap, conflictresolutie en ethisch bewustzijn worden bijvoorbeeld minder expliciet genoemd. De nadruk ligt sterk op louter operationele vaardigheden. De focus op duurzaamheid, inclusie en de transitie naar industrie 5.0 (mensgerichtheid) vereist dat deze bovengenoemde competenties wel structureel onderdeel uitmaken van opleidingen. De Vlaamse Visie 2050 benadrukt de link tussen digitale transitie en maatschappelijke doelen, wat ethische competenties broodnodig maakt. Het vermogen om ethische oordelen te vellen en maatschappelijke verantwoordelijkheid te tonen in technologische beslissingen, zoals bij de implementatie van AI of het beheer van Big Data, is een opkomende noodzaak.

5. De noodzaak van sectorspecifieke nuance en regionale dynamiek

5.1 Transversale basis, sectorspecifieke specialisatie

Bronnen: 4, 5, 19, 27

De kerncompetenties binnen I4.0 zijn universeel van aard, maar toch verschillen hun toepassing per sector. De context per sector is bepalend voor de diepgang van de nodige specialisaties die verwacht worden, bovenop de algemene of generieke basisvaardigheden.

Binnen de metaalindustrie zien we bijvoorbeeld een sterke nadruk op geavanceerde productietechnieken, precisiecontrole en specifieke materiaalkennis voor 3D-metaalprinten. Traceerbaarheid via RFID en blockchain is hier cruciaal.

De chemie- en farmasector wordt gekenmerkt door strenge regelgeving, de nood aan geavanceerde R&D-vaardigheden en data-analyse van klinische studies. De digitalisering richt zich daarom hier sterk op procesautomatisering, naast het ontwikkelen van medische robotica en slimme hulpmiddelen. Binnen deze sectoren is de wettelijke context een belangrijk gegeven.

Binnen agrovoeding is de rode draad voedselveiligheid, traceerbaarheid en productontwikkeling. De automatisering maakt gebruik van robots voor delicate taken en smart glasses voor orderpicking. Kennis van hygiëneregels is hier van belang.

In de bouwsector draait digitalisering rond *building information modeling* (BIM) voor ontwerp en beheer, en vaardigheden in duurzaamheid, zoals infiltratie- en thermografische metingen. De bouwsector legt een nadruk op virtueel beheer van complexe projecten.

Een waardevolle professional is er één die een sterke, generieke digitale basis

combineert met een diepgaande domeinkennis. Beide vaardigheden zijn nodig om specifieke uitdagingen binnen zijn/haar domein of sector aan te pakken.

5.2 Regionale verschillen in aanpak en maturiteit

Bronnen: 1, 2, 3, 4, 6, 10, 19, 22, 33

Hoe I4.0 wordt aangepakt, hangt af van regio tot regio. Dit duidt op een nood aan gecoördineerde en grensoverschrijdende strategieën. Dit is onder andere relevant voor kleine maar sterk geïntegreerde economieën zoals België en Frankrijk.

Maar zelfs in een klein land als België gebeurt de transitie anders in Vlaanderen dan in Wallonië.

In Vlaanderen is de aanpak stapsgewijs en pragmatisch. Er is een nadruk op efficiëntie en ondersteuning door regionale netwerken en kenniscentra zoals Flanders Make en VLAIO. Wallonië daarentegen richt zich op een inhaalbeweging, met een top-down benadering die in kaart brengt welke structurele competentietekorten aanwezig zijn. Dit doen ze via SCES-rapporten en de strategie Digital Wallonia. De primaire zorg is hier het dichten van de kloof in technologische maturiteit. Het verschil tussen de pragmatische, sociaal georiënteerde Vlaamse aanpak en de Waalse inhaalbeweging creëert volgens bepaalde stemmen binnen de sector een risico op intra-nationale versnippering in de competentieontwikkeling, wat de samenwerking en mobiliteit mogelijk kan bemoeilijken.

In Frankrijk wordt de transitie sterk gedragen door grote bedrijven in de auto-, luchtvaart- en farmasector.

De Europese Commissie richt zich specifiek op het creëren van een gemeenschappelijk kader voor competenties en onderwijsinnovatie, zoals de Curriculum Guidelines 4. Deze aanpak richt zich op harmonisatie.

De regionale vergelijking legt de constante uitdaging bloot van de kloof tussen grote bedrijven en KMO's. De ongelijkheid in middelen en de complexiteit van de technologie zijn de drijvende factoren achter dit verschil in adoptiesnelheid. Grote

bedrijven beschikken over de middelen om interne academies (bv. Safran University, Verallia 4.0) en de diepe specialisatie zoals order winners ontwikkelen. KMO's daarentegen hebben vaak minder middelen en lopen zo mogelijk achter in tempo en maturiteit. Niet-gestandaardiseerde technologieën en bijhorende complexiteit maken de implementatie en gespecialiseerde opleidingen minder betaalbaar voor kleine spelers. Dit noodzaakt volgens verschillende bronnen tot strategische interventies op beleidsniveau om deze kloof te dichten en KMO's te ondersteunen in de transitie.

6. Structurele implicaties voor opleiding

6.1. Soft skills

Bronnen: 20, 23, 31, 32

Omdat soft skills moeilijker aan te leren zijn via een traditionele klassikale onderwijscontext, vereist de ontwikkeling van soft skills in opleidingen een aparte pedagogische aanpak. Binnen deze aanpak moet de leeromgeving de complexiteit van fabrieken kunnen simuleren. De ontwikkeling van soft skills is voornamelijk succesvol via contextrijk leren, zoals werkplekleren (dual learning, stages, ...), mentoring, coaching en simulatiespellen. Deze studievormen bootsen namelijk de ongestructureerde realiteit van de werkvloer na.

Om deze vaardigheden aan te leren, kan gewerkt worden met innovatieve leervormen zoals *virtual reality* (VR) of *massive open online courses* (MOOC's) in gestructureerde workshops om aan de hand hiervan specifieke soft skills te ontwikkelen. De aanvulling van digitale tools maakt het mogelijk om flexibel en contextrijk te leren. Bedrijven gebruiken op heden interne programma's en blended leervormen om hun medewerkers intern bij te scholen. Bij deze programma's ligt de nadruk op de combinatie van technische en transversale vaardigheden en focussen bedrijven zo op het overdragen van specifieke vaardigheden relevant voor de bedrijfscontext. Aan de hand van digitale tools kunnen soft skills aangeleerd worden die momenteel ontbreken in huidige curricula zoals emotionele intelligentie, conflictresolutie of ethisch bewustzijn (zie: 4.2. Afwezige soft skills in curricula).

6.2. Curriculum breedte en -diepte

Bronnen: 3, 19, 23, 24, 27, 28, 33

De transformatie van de beroepen binnen I4.0 vereist een structurele hervorming van het opleidingsaanbod waarin het integraal verankeren van nieuwe trends

centraal staan waarbij afgestapt wordt van losse modules, en trends een fundamenteel onderdeel worden van de opleidingen. Dit betekent dat opleidingen enerzijds een gegronde en brede basiskennis van IT, digitale technologieën en talen moeten voorzien, en anderzijds de diepgang van de expertkennis moeten garanderen. Er bestaat echter een duidelijke kloof tussen de grote en groeiende vraag naar deze hybride profielen en het aanbod op de arbeidsmarkt, deels veroorzaakt door verkokerde opleidingssystemen. Dit vormt een kritieke bottleneck, omdat het onderwijssysteem de benodigde interdisciplinaire bruggenbouwers - tevens een basisvaardigheid onder de koepel van order winner - onvoldoende levert. Curricula moeten zich dus balanceren tussen de breedte en diepte van kennis.

Naast de digitale transitie moeten opleidingen ook de groene transitie integreren, met aandacht voor energie-efficiëntie, circulaire economie en duurzaam materiaalgebruik. De Vlaamse Visie 2050 toont aan dat duurzaamheid en I4.0 verweven zijn in de competentie-eisen. Curricula moeten gericht zijn op het creëren van een permanent ontwikkelingstraject dat technici vormt om te functioneren in steeds veranderende en onvoorspelbare werkomgevingen. Dit bouwt voort op de kwalificatie van permanente educatie. Dit wordt omschreven als het opleiden van "smart missiles": mensen die snel van koers kunnen veranderen. Deze vaardigheid is essentieel voor het overleven in een context van snelle kennisveroudering.

6.3 Innovatieve opleidingsvormen voor levenslang leren

Bronnen: 3, 20, 21, 22, 27, 28, 31, 32

De snelle kennisveroudering maakt levenslang leren de nieuwe norm. Continue ontwikkeling is noodzakelijk om relevant te blijven op de arbeidsmarkt. Het lineaire model van 'eenmalig afstuderen' is niet langer houdbaar, omdat de snelheid van technologische verandering de "houdbaarheid" van verworven kennis verkort.

Verschillende bronnen halen de volgende leermodellen aan die het levenslang leren mogelijk maken:

- Modulaire flexibiliteit: microcredentials ondersteunen het continue proces doordat werknemers de mogelijkheid krijgen om gedurende de loopbaan kleinere, gespecialiseerde opleidingen te volgen wanneer de nood zich aandient. Dit speelt in op het probleem van snelle kennisveroudering.
- Werkplekleren en simulatie: duaal leren, praktijkgerichte stages en opleidingsmodules op de werkvloer (interne training) laten toe om snel gespecialiseerde vaardigheden aan te leren. De directe link met de praktijk garandeert de relevantie van de opgedane kennis.
- *Learning factories* en projectmatig leren: de ultieme *good practice* is de 'learning factory', dit is een fysieke of virtuele leeromgeving die een echte fabriek simuleert. Dit model maakt '*experiential learning*' en projectgebaseerd leren in multidisciplinaire teams mogelijk, wat essentieel is voor het aanleren van interdisciplinaire samenwerking en probleemoplossend vermogen. De learning factory speelt in op de belangrijke vaardigheid van interdisciplinariteit en interdisciplinaire samenwerking.
- Blended learning en digitale tools: de inzet van blended learning (online en klassikaal), MOOCs, en tools zoals AR/VR en *gamification* verlagen de drempel voor bijscholing en maken opleidingen flexibeler en op maat van de lerende. De opleidingsvorm moet afgestemd zijn op de individuele noden van de werknemer.

Samenwerking tussen onderwijs, opleidingspartners en bedrijven is cruciaal voor het relevant houden van het opleidingsaanbod en de innovatiekracht van bedrijven.

Bedrijven ontwikkelen de diepe specialisatie via in-house training, terwijl het onderwijs de brede en sterke basis moet leveren. Dit is een beleidsmatige noodzaak die de rollen duidelijk definieert. Dit vereist een continue feedbackloop, waarbij bedrijven noden signaleren en onderwijsinstellingen hun curricula hierop aanpassen. Een dynamische wisselwerking tussen vraag en aanbod is nodig. Concrete projecten, zoals het UPSKILL-project in West-Vlaanderen - rond het

investeren en delen van opleidingsapparatuur en SKILLS-platformen - illustreren het belang van deze regionale vaardigheidsecosystemen. Dit type initiatief is noodzakelijk om de KMO-kloof te dichten, aangezien de diepe specialisatie gedeeld moet worden.

7. Beleid

7.1 De strategische rol van de overheid

Bronnen: 1, 2, 4, 10, 24, 31, 33

Aan het beleid wordt een proactieve rol toegekend binnen industrie 4.0. De huidige evolutie is te complex om dit alleen aan de markt over te laten. Daarom raadt literatuur aan dat de overheid fungeert als stuurman, facilitator, investeerder en schepper van een gunstig ondernemingsklimaat. De kerntaken van het beleid kunnen omvatten:

- Strategische sturing: het ontwikkelen van nationale en regionale strategieën en het organiseren van structureel overleg met alle stakeholders.
- Innovatie en financiële steun: het ondersteunen van de technologische transformatie bij KMO's. Dit kan via subsidies, belastingkredieten en specifieke programma's. Dit kan van belang zijn om de KMO-kloof te overbruggen.
- Talentontwikkeling: het hervormen van het onderwijs door curricula aan te passen met STEM, digitale vaardigheden, en kritisch denken als pijlers. Daarnaast moet levenslang leren structureel en betaalbaar gemaakt worden.
- Standaardisatie: zorgen voor een rechtszeker kader, inclusief een stabiel vergunningenbeleid en de uitbouw van strategische infrastructuur.

7.2 De verschuiving naar industrie 5.0: de mens centraal

Bronnen: 3, 14, 34

Een louter technologische focus in industrie 4.0 kan leiden tot een intensiever werkritme en vervreemding. Onderzoek naar de arbeidskwaliteit in geautomatiseerde omgevingen heeft deze psychosociale risico's aangetoond.

Een human-centered of industrie 5.0 benadering is essentieel, waarbij het welzijn van de medewerkers centraal staat. I5.0 wordt gezien als een noodzakelijke correctie op de loutere efficiëntie focus van I4.0. Zo zou het aan te raden zijn om werknemers

vroegtijdig en actief te betrekken bij de implementatie van nieuwe technologie, zodat deze als hulpmiddel en niet als bedreiging wordt ervaren. Het beleid moet kaders ontwikkelen voor digitalisering met inspraak van sociale partners zoals vakbonden, inclusief het actualiseren van overeenkomsten om arbeidsvoorwaarden, privacy, controle en werkdruk te bewaken. De sociale dialoog is cruciaal om werkbaar werk te garanderen.

Belangrijk hierbij is de voorwaarde dat systemen "verklaarbaar" of "interpreteerbaar" zijn ("*explainable AI*"), zodat de mens de controle behoudt over de beslissingen van geautomatiseerde systemen en de mogelijkheid heeft deze toe te passen of te negeren. Dit is een ethische vereiste om vervreemding te voorkomen.

7.3 Good practices en strategische modellen

Bronnen: 31, 32, 34

De transitie wordt ondersteund door een rijke verzameling aan good practices, modellen en concrete tools die de implementatie van I4.0 vergemakkelijken.

Categorie	Beschrijving	Good Practices / Modellen
Strategische Kaders	Modellen om de complexe materie te structureren en nieuwe businessmodellen te conceptualiseren.	RAMI 4.0 (Referentiekader voor standaardisatie), Industry 5.0 (mensgericht paradigma), Servitization (bv. Kaeser Compressors), Mass Customisation.

Opleidingsmethodieken	Innovatieve, praktijkgerichte methoden voor competentieontwikkeling.	Learning Factories (bv. TU Darmstadt), CDIO Initiative (volledige productlevenscyclus), Apprentissage actif par projet (A2P2), Dual Learning, MOOCs, AR/VR
Meetinstrumenten	Tools voor zelfevaluatie en analyse van maturiteit en werkbaarheid.	Industry 4.0 Competence Meter (maturiteit van bedrijf), Werkmeter (analyse psychosociale risico's), Online Skills Check 4.0 (studenten).
Technologische Toepassingen	Concrete toepassingen voor optimalisatie op de werkvloer.	Cobots (Collaboratieve robots), SART-systeem (Airbus AR voor kwaliteitscontrole), ALIS (F-35 voorspellend onderhoud), Exoskeletten (vermindering fysieke druk)

De ontwikkeling en het gebruik van deze modellen, zoals de *industry 4.0 competence meter*, zijn essentieel om bedrijven, met name KMO's, te begeleiden bij het

ontwikkelen van hun eigen, gefaseerde digitale strategie. De combinatie van meetinstrumenten zoals de *'competence meter'* (technische maturiteit) en de *'werkmeter'* (psychosociale risico's) garandeert een geïntegreerde aanpak van I4.0.

8. Conclusie & aanbevelingen

Bronnen: 1, 2, 3, 4, 14, 19, 20, 21, 27, 28, 31, 32, 33, 34

De bevindingen in bovenstaande literatuurstudie tonen aan dat de huidige evolutie naar industrie 4.0 een fundamentele en complexe uitdaging is, waarbij technologische implementatie onvermijdelijk verbonden is met de ontwikkeling van de competenties van medewerkers en het aanpassingsvermogen binnen een organisatie. De wisselwerking tussen deze elementen bepaalt het succes van I4.0. Technische beroepen evolueren van repetitief uitvoerende taken naar de rol van procesbeheerders en het oplossen van problemen, wat de vraag naar hybride profielen met een mix van harde en zachte vaardigheden versterkt. Om deze rol succesvol in te vullen zijn zowel technische diepgang als een goed vermogen om complexe situaties te duiden, vereist. De meest kritische bevindingen in deze literatuurstudie zijn:

- De hybridisering van de professional, waarbij de toekomstbestendige technicus een interdisciplinair profiel is dat de brug slaat tussen OT en IT, en data-analyse en mechatronica combineert. De competenties zijn gelaagd, waarbij expertkennis, permanente educatie, bedrijfskundig inzicht en interdisciplinaire samenwerking zeer waardebepalend zijn. Deze structuur moet het uitgangspunt zijn voor hervormingen van de aangeboden opleidingen.
- In een complexe omgeving zijn cognitieve vaardigheden zoals kritisch denken, aanpassingsvermogen en autonomie de noodzakelijke voorwaarden voor het effectief toepassen van technische specialisaties. Deze vaardigheden dienen als menselijke buffer tegen de complexiteit van de technologie.
- De oplossing voor de competentiekloof ligt in een structurele en permanente aanpassing van het leeraanbod. De snelle veroudering van kennis vereist een institutionele reactie waarbij het beleid een belangrijke rol speelt in het hervormen van het huidige lineaire opleidingsmodel naar een model van

levenslang leren. De rol van de overheid hierbij, is een overheid die niet alleen innoveert, maar een overheid die de mens centraal stelt en de digitale kloof bij laaggeschoolden en KMO's actief aanpakt. De coördinatie tussen regionale actoren en de standaardisatie van bekwaamheidserkenning over de grenzen heen zijn hierbij van belang om de mobiliteit van schaars talent te optimaliseren en de regionale fragmentatie tegen te gaan. De strategische aanbeveling luidt dan ook dat beleid, onderwijs en industrie een gezamenlijke inspanning moeten leveren die zich op drie assen richt: digitale geletterdheid voor de gehele beroepsbevolking, gerichte specialisatie via flexibele opleidingsmodellen, en de implementatie van een mensgerichte aanpak om werkbaar werk en controle over geautomatiseerde systemen te garanderen.

Hoewel deze literatuurstudie een theoretische basis biedt, is de industrie - zoals eerder beschreven - constant in beweging. Als volgende stap binnen SKILLS4.0 worden interviews afgenomen bij bedrijven binnen de industriesector, en vinden bedrijfsbezoeken plaats. Deze kwalitatieve input uit het werkveld is van belang om de theoretische competenties te toetsen aan de dagelijkse praktijk van bedrijven. Daarnaast helpen de interviews en bedrijfsbezoeken om de nuances tussen Vlaanderen, Wallonië en Frankrijk verder te verfijnen.

De inzichten uit dit onderzoek zullen samen met de interviews de basis vormen voor het verdere verloop van het SKILLS4.0-project en de bijbehorende ontwikkeling van de tools en trainingen.

Bronnenlijst

1. Connectez vous aux métiers d'avenir, AFPA Grand Est voor projet "Digimob Industrie 4.0" .
<https://digimob-industrie40.eu/CMS/content/images/202303/livre-blanc-digimob-fr-numerique.pdf>
2. Analyse prospective sur le développement et les besoins en compétences pour l'industrie 4.0 (2021) SPW.
[https://emploi.wallonie.be/files/DOCS/Actualit%C3%A9s/SCES%20Analyse%20besoins%20comp%C3%A9tences%20industrie%204.0%20\(final\).pdf](https://emploi.wallonie.be/files/DOCS/Actualit%C3%A9s/SCES%20Analyse%20besoins%20comp%C3%A9tences%20industrie%204.0%20(final).pdf)
3. Skills for industry curriculum guidelines 4.0. *Europese Commissie*.
<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/845051d4-4ed8-11ea-aece-01aa75ed71a1>
4. Rapport Industrie 4.0 onder de loep in vijf sectoren (2019). *SERV*.
https://www.serv.be/sites/default/files/documenten/StIA_20190617_Digitalisering_Industrie_4.0_RAP.pdf
5. Arbeid 4.0 in de voedingsindustrie. *Alimento*.
https://www.alimento.be/sites/default/files/files/alimento_publication/field_file/Alimento-Catalogue-Seminarie%20arbeid-NL-No.1-RVB-Minimum_0.pdf
6. Vlaams arbeidsmarktcongres. *Steunpunt werk*. <https://www.vlaanderen.be/kennisplatform-departement-werk-en-sociale-economie/vlaams-arbeidsmarktcongres-2024/09-12-2024>
7. Rapport de l'industrie. *Forem*. <https://www.leforem.be/documents/a-propos-du-forem/rapport-activite.pdf>
8. /
9. Be the change. *Agoria*. <https://www.agoria.be/en/services/expertise/talent/be-the-change/be-the-change-looks-can-be-deceiving-2023>
10. BPI France explore les technologies au cœur de l'industrie 4.0. *BPI*.
https://bigmedia.bpifrance.fr/nos-dossiers/industrie-40-technologies-enjeux-en-entreprise-ou-en-est?utm_source=chatgpt.com
11. SAP France. *SAP*. https://www.sap.com/france/products/scm/industry-4-0/what-is-industry-4-0.html?utm_source=chatgpt.com
12. Le potentiel des technologies industries 4.0. *IRSEM*.
https://www.researchgate.net/publication/332290677_MCO_40_Le_potentiel_des_technologies_de_l'industrie_40_appliquees_au_Maintien_en_Condition_Operationnelle_MCO_des_materiels_de_defense_etude_IRSEM_n65
13. Ville intelligente et grappe industrielle en intelligence artificielle. *HEC Montréal*.
https://biblos.hec.ca/biblio/memoires/pasteur_brun_valencia_m2022.pdf

14. Evolution de l'IA : quels enjeux pour l'activité humaine et la relation humain-machine. *Zouinar Revue activités*. <https://journals.openedition.org/activites/4941#tocto1n2>
15. Contribution de l'ergonomie à la conception des nouvelles technologies dans l'industrie 4.0 : vers la conception de situations capacitanes. *Compans & coll.Site Self*. <https://ergonomie-self.org/document/contribution-de-lergonomie-a-la-conception-des-nouvelles-technologies-dans-lindustrie-4-0-vers-la-conception-de-situations-capacitanes/>
16. INDUSTRIE 4.0 BINNEN DE METAAL- EN TEXTIELSECTOR IN BELGIË. *KU Leuven / Hiva*. <https://lirias.kuleuven.be/retrieve/609897>
17. "Les soft skills dans l'industrie 4.0 : Un levier pour réussir la transformation numérique" (2020). *Revue de gestion RH- D Theurelle-Stein*. <https://shs.cairn.info/revue-management-et-avenir-2017-5-page-129?lang=fr>
18. L'impact de la transformation digitale sur les pratiques et le développement du capital humain. *IJIFAME-Zouhair EL ARHLABI*. file:///Users/Philippe/Downloads/964-Article%20Text-2515-1-10-20230530.pdf
19. Analyse prospective sur le développement et les besoins en compétences pour l'industrie 4.0. *SCES*. [https://emploi.wallonie.be/files/DOCS/Actualit%C3%A9s/SCES%20Analyse%20besoins%20comp%C3%A9tences%20industrie%204.0%20\(final\).pdf](https://emploi.wallonie.be/files/DOCS/Actualit%C3%A9s/SCES%20Analyse%20besoins%20comp%C3%A9tences%20industrie%204.0%20(final).pdf)
20. Travail industriel à l'ère du numérique : Se former aux compétences de demain. *La fabrique de l'industrie Thibaut Bidet Mayer*. <https://www.la-fabrique.fr/wp-content/uploads/2016/10/N16-Travail-industriel-%C3%A0-l%C3%A8re-du-num%C3%A9rique.pdf>
21. Renforcement des compétences face à l'ère de l'industrie 4.0. *Industrie numérique*. <https://www.industrie-numerique.com/renforcement-des-competences-face-a-lere-de-lindustrie-4-0/>
22. Roadmap techniek en industrie 4.0. *POM ihkv UPSKILL*. https://www.opleidingsmateriaal.be/files/ugd/e83159_72ce212921714dc48e7370a4e0593c28.pdf
23. Les métiers et les compétences de l'industrie 4.0 - site portail. *GIMELEC*. <https://industrie40.fr/>
24. L'Industrie 4.0 freinée par les infrastructures obsolètes et le manque de compétences. *CIO*. <https://www.cio-online.com/actualites/lire-l-industrie-40-freinee-par-les-infrastructures-obsolètes-et-le-manque-de-competences-15291.html>
25. Industrie 4.0 processus– Quel modèle pour une intégration réussie. *École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers*. <https://theses.hal.science/tel-03677479/>
26. Cartographie des emplois, des compétences et des formations de l'industrie du futur. *L'Observatoire Compétences Industries*. <https://www.observatoire-metallurgie.fr/analyses-previsions/cartographie-industrie-du-futur>

27. AN INVESTIGATION OF INDUSTRY 4.0 SKILLS REQUIREMENTS (2019). *South African Journal of Industrial Engineering*.
https://www.researchgate.net/publication/337327291_An_Investigation_of_Industry_40_Skills_Requirements/fulltext/5dd29679a6fdcc7e138bab03/An-Investigation-of-Industry-40-Skills-Requirements.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijpb7ImZpcnNOUGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19
28. Rebellen in de techniek (2018). *Tech your future - Centre of expertise TechniekOnderwijs*.
https://www.techyourfuture.nl/wp-content/uploads/2023/05/401-0017-Rebellen-in-de-Techniek-A4-V4_LR-002-1.pdf?utm_source=chatgpt.com
29. SOFT SKILLS AND HARD SKILLS NEEDED IN INDUSTRY 4.0 FOR ELECTRICAL ENGINEERING STUDENTS. *Journal of Applied Engineering and Technological Science*.
<https://journal.yrpiuku.com/index.php/jaets/article/view/2174/2083>
30. /
31. i4EU Handbook: Key Competences for a European Model of Industry 4.0 (2022). *I4EU preject (erasmus+)*. <https://www.i4eu-pro.eu/handbook-en/>
32. LCAMP - Skills and jobs observatory (2024). *LCAMP project (CoVE)*.
<https://lcamp.eu/activity/skills-and-job-observatory/>
33. Vision 2050 (2016). *Vlaanderen*. <https://publicaties.vlaanderen.be/view-file/19586>
34. Werknemersperspectief binnen Industrie 4.0: effect van technologiefuncties op gepercipieerde arbeidskwaliteit en bevoegenheid (2021). *HIVA*.
https://kuleuven.limo.libis.be/discovery/search?query=any,contains,LIRIAS3393984&tab=LIRIAS&search_scope=lirias_profile&vid=32KUL_KUL:Lirias&offset=0