NL AI Coalitie

23 NOVEMBER 2020

AI is mensenwerk beleidsnota 2020

NL AIC Human Capital-subwerkgroep Scholing en Onderwijs

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave **3**
Inleiding **5**
Thema 1: Arbeidsmarkt **9**
Achtergrondanalyse 9
Knelpuntanalyse 11
Knelpunt- en oplossingsmatrix 12
Toelichting bij de voorgestelde oplossingen 13
Thema 2: Onderwijs- en scholingsaanbod **15**
Achtergrondanalyse 15
Knelpuntanalyse 16
Knelpunt- en oplossingsmatrix 19
Toelichting bij de voorgestelde oplossingen 20
Thema 3: Onderwijsorganisatie **26**
Achtergrondanalyse 26
Knelpuntanalyse 27
Knelpunt- en oplossingsmatrix 28
Toelichting bij de voorgestelde oplossingen 29
Thema 4: Instroom en doorstroom **34**
Achtergrondanalyse 34
Knelpuntanalyse 34
Knelpunt- en oplossingsmatrix 36
Toelichting bij de voorgestelde oplossingen 37
Advies **41**
Samenvatting **44**
Bijlagen **48**

Inleiding

Nederland staat grote veranderingen te wachten. Artificiële Intelligentie (AI), oftewel kunstmatige intelligentie, biedt ons kansen én uitdagingen voor de toekomst.

AI gaat over intelligente machines en in het bijzonder over intelligente computerprogramma's. Computers kunnen nu dingen die vroeger alleen mensen konden doen, zoals schaken, lezen en beelden herkennen. Bij AI kunnen we denken aan zelfstandig opererende systemen als robots en zelfrijdende auto's, maar ook aan technieken waarbij we computers gebruiken om intelligente taken uit te voeren. Het gaat dan bijvoorbeeld om het analyseren van grote hoeveelheden informatie (data) en het herkennen van patronen daarin. Hoewel de verwevenheid tussen informatica en AI voor de hand ligt, heeft AI als interdisciplinair vakgebied ook verwantschappen met vakgebieden als design, cognitieve psychologie, logica, statistiek en linguïstiek.

De ontwikkelingen binnen AI gaan razendsnel en hebben gevolgen voor alle facetten van de maatschappij. AI-systemen en -technieken brengen ook juridische, ethische en bedrijfskundige vraagstukken met zich mee. Het is daarom belangrijk dat we de kansen die AI ons biedt ten volste benutten en dat we tegelijkertijd zorgen dat AI op een verantwoorde manier ontwikkeld en geïntroduceerd wordt.

Deze doelstelling vereist deskundigen die sturing kunnen geven aan de ontwikkeling en introductie van maatschappelijk verantwoorde AI-innovaties. Onderwijs en scholing speelt hierbij een grote rol: het is onze taak om te zorgen dat er voldoende mensen zijn die de Nederlandse AI-ambities kunnen waarmaken.

Voor u ligt de beleidsnota 'AI is mensenwerk': het resultaat van een periode van bijna een jaar, waarin werkgroepleden afkomstig van bedrijven en onderwijsinstellingen om de twee weken met elkaar spraken over AI-onderwijs en -scholing in Nederland. Deze nota werd vervolgens opgetekend door een schrijfgroep afkomstig uit het onderwijs. De details van dit proces zijn te vinden in bijlage 1.

De Nederlandse AI Coalitie en werkgroep Human Capital
De Nederlandse AI Coalitie (NL AIC) verenigt onderwijs, onderzoek, overheid, het bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties, die samen als doel hebben om Nederland in een voorhoedepositie te krijgen wat betreft kennis en toepassing van AI. In het bijzonder gaat het om het inzetten van AI voor welvaart en welzijn in lijn met Europese normen en waarden.

De NL AIC heeft vijf bouwstenen. *Human Capital* is er daar één van, naast *Data Delen*, *Maatschappelijke Acceptatie en Inclusie*, *Research en Innovatie* en *Start-ups en Scale-ups*. Elke bouwsteen heeft zijn eigen werkgroep en subwerkgroepen die sectoroverstijgende uitdagingen aanpakken. De werkgroep *Human Capital* kijkt specifiek naar AI-onderwijs en -scholing, inclusief het levenslang ontwikkelen en aanleren van AI-kennis en -vaardigheden.

Vier thema's, vier knelpuntanalyses en vier series oplossingen
Uit de inventarisatie van de werkgroep, waarbij gekeken is naar beschikbare data en onderzoeksrapporten, het bestaande onderwijsaanbod en de behoefte aan AI-vaardigheden bij de arbeidsmarkt en maatschappij, zijn vier thema's naar voren gekomen. Voor elk thema zijn de knelpunten in kaart gebracht, die vervolgens aan concrete oplossingsrichtingen zijn gekoppeld.

Thema 1 onderzoekt de **Arbeidsmarkt**. De werkgroep constateert dat er grote behoefte is aan AI-specialisten, aan domeinexperts (specialisten op andere gebieden zoals bijvoorbeeld geneeskundigen of accountants) met AI-kennis en aan mogelijkheden voor bij- en omscholing. Er moeten dus meer mensen worden opgeleid en worden behouden voor Nederland. Het onderwijsaanbod moet bovendien beter worden afgestemd op de vraag vanuit de maatschappij. De problematiek op de arbeidsmarkt is het spreekwoordelijke topje van de ijsberg: oplossingen voor deze uitdagingen zijn veelal terug te voeren op één van de drie onderwijsthema's in deze nota.

Thema 2 verkent het **Onderwijs- en scholingsaanbod**. Hoe verhoudt het huidige onderwijs- en scholingsaanbod zich tot de vraag vanuit de arbeidsmarkt en de maatschappij? Om deze aansluiting te verbeteren, adviseert de werkgroep in te zetten op het vergroten van het AI-onderwijsdeel in niet-AI-gerelateerde en algemene onderwijsprogramma's. Het gaat hier zowel om AI-kennis voor bijvoorbeeld de domeinexpert als om basiskennis van AI voor iedereen via het basis- en voortgezet onderwijs. AI-experts moeten daarnaast meer praktische vaardigheden meekrijgen om AI toe te passen binnen het bedrijfsleven, wat onder andere versterkt kan worden door samenwerken met het bedrijfsleven zelf. Ook moet er meer aandacht komen voor de juridische, ethische en maatschappelijke aspecten van AI. Het stimuleren van het niet-reguliere en private aanbod speelt een belangrijke rol bij het omscholen en bijscholen van een brede waaier aan beroepsgroepen.

Om het gewenste onderwijsaanbod te realiseren en de tekorten op de arbeidsmarkt op te vangen, is aandacht nodig voor de uitdagingen die onderwijsinstellingen ondervinden. Er is te weinig capaciteit om voldoende mensen op te leiden. **Thema 3** gaat daarom in op de **Onderwijsorganisatie**. Het onderwijs ondervindt zelf óók hinder door de krappe arbeidsmarkt; er is een groot tekort aan AI-docenten op alle niveaus van het onderwijs. Thema 3 biedt oplossingen om het docenttekort te ondervangen en om efficiënter om te gaan met onderwijsmiddelen. Er moeten meer docenten aangesteld en aanvullend geschoold worden. Werken in het AI-onderwijs moet parallel daaraan aantrekkelijker en toegankelijker worden, via bijvoorbeeld bij- en omscholingsmogelijkheden, betere arbeidsvoorwaarden en diversere aanstellingsmogelijkheden. Om de efficiëntie te vergroten moet onderwijsmateriaal schaalbaar worden, kan er gekeken worden naar onderwijsmodellen waarin docenten een kleinere rol spelen en moet bovenal beter samengewerkt worden binnen de onderwijsketen.

Tot slot kijkt **Thema 4** naar **Instroom en doorstroom**: de schakel die de keten rondmaakt. Wanneer er voldoende, kwalitatief goede opleidingsplekken gerealiseerd zijn, is het van belang dat genoeg mensen instromen én dat zij vervolgens ook behouden worden voor de Nederlandse arbeidsmarkt. Dit thema schenkt daarbij ook aandacht aan het verhogen van diversiteit in de AI-wereld. De werkgroep ziet kansen op het gebied van bewustwording op jonge leeftijd, betere doorstroommogelijkheden binnen de onderwijsketen, het ontwikkelen van doelgroepverbredend aanbod en schakelprogramma's voor scholieren zonder bètaprofiel. Ook het behouden van internationaal AI-talent dat zich in Nederland laat scholen of opleiden biedt mogelijkheden.

Ter inspiratie laat deze nota enkele lovenswaardige voorbeelden uit de onderwijspraktijk zien.

Samen toekomstbestendig AI-onderwijs vormgeven

Naast de vele oplossingsrichtingen bevat deze nota tot slot een advies aan de overheid, het bedrijfsleven en het onderwijs. Het sleutelwoord hierbij is samenwerking: de knelpunten die in deze nota geïdentificeerd worden, hangen allemaal met elkaar samen. Het ontstaan van een ecosysteem waarin onderwijs, overheid en bedrijfsleven samenwerken is essentieel voor de doeltreffende

opleiding en scholing van mensen. Een dergelijke aanpak kan AI-onderwijs, en daarmee de toepassing en kennis van AI in Nederland, naar een hoger plan tillen.

De NL AIC Human Capital-werkgroep gaat hier in samenwerking met onze partners werk van maken. We kijken uit naar de aansluiting van iedereen die AI-onderwijs én de toekomst van Nederland als AI-gidsland een warm hart toedraagt.

Namens de NL AIC Human Capital-subwerkgroep Scholing en Onderwijs,

Dr. ir. Willem-Paul Brinkman, voorzitter
23 november 2020

Thema 1: Arbeidsmarkt

Onderwijs en scholing bereidt mensen voor op een bijdrage aan de maatschappij en stelt ze in staat om zich doorlopend te blijven ontwikkelen. Binnen het eerste thema kijken we daarom naar de behoeften van de arbeidsmarkt. Artificiële Intelligentie (AI) is echter een relatief jong veld. Om die reden wordt AI nog niet altijd apart geanalyseerd, en kijken we ook naar de cijfers die betrekking hebben op de gehele ICT-arbeidsmarkt.

Achtergrondanalyse

Onderstaande achtergrondanalyse betreft een samenvatting van het literatuur- en verkennend onderzoek in dit rapport. Aanvullende informatie is te vinden in bijlage 2.1.

De Nederlandse arbeidsmarkt heeft grote behoefte aan werknemers met computationele denkvaardigheden: de kunde om problemen en oplossingen te kunnen formuleren op een manier dat computers er mee om kunnen gaan. Daar horen bijvoorbeeld abstract denken en het in stukken opdelen van problemen bij.

Volgens de *Strategische Agenda Hoger Onderwijs en Onderzoek* zal de behoefte aan mensen met technische vaardigheden (digitale vaardigheden, data-analyse en onderzoeksvaardigheden) tot 2030 nog sterk toenemen.[1] Op het gebied van AI speelt de behoefte aan werknemers met specifieke technische kennis van bijvoorbeeld machine learning en data science een rol. AINED rapporteert verder dat bedrijven vooral zoeken naar mensen die AI-kennis kunnen koppelen aan businessmodellen[2], en de werkgroep onderstreept het belang van het opleiden van werknemers met oog voor de juridische, ethische en maatschappelijke aspecten van AI.

De ICT-sector

Computationele denkvaardigheden spelen een belangrijke rol in de ICT-sector, waar de tekorten duidelijk zichtbaar zijn. UWV classificeert deze arbeidsmarkt al vanaf 2016 als krap tot zeer krap. Dit is inclusief de eerste helft van 2020, waarin de covid-19-pandemie uitbrak.[3]

In 2019 waren er in totaal 520.000 ICT'ers werkzaam in Nederland. Dit is ongeveer 5.8% van de beroepsbevolking, waarbij het grootste deel (58%) werkt in de ICT-sector zelf. De meeste ICT'ers hebben een hbo- (34%) of een wo-vooropleiding (29%). Een kleinere groep heeft mbo (21%) of basis/voortgezet onderwijs (16%) als vooropleiding.[4]

---

[1]Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (2019). *Strategische agenda hoger onderwijs en onderzoek Houdbaar voor de toekomst.* Geraadpleegd via https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2019/12/02/bijlage-1-strategische-agenda-hoger-onderwijs-en-onderzoek-houdbaar-voor-de-toekomst

[2]AINED (2018). *AI voor Nederland: Vergroten, versnellen, verbinden*. Geraadpleegd via https://www.vno-ncw.nl/sites/default/files/aivnl_20181106_0.pdf

[3]UWV (2020). Spanningsindicator Arbeidsmarkt. Geraadpleegd via https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMmIyMWE0NWUtNTNjMS00YWFhLThhMWUtODBjN2EyYzY2MzY2IiwidCI6IjY0ODRkNGI2LWI0MTMtNGE1NS1hN2FlLWI4ODBmMjYwODY4MSIsImMiOjh9

[4] CA-ICT (2020) Expertisecentrum Digitalisering ICT. Arbeidsmarkt voor ICT'ers en ICT-gediplomeerden. Geraadpleegd via https://pr-edict.nl/ict-arbeidsmarkt#

Aan het eind van ieder kwartaal staan tussen de 11.400 en 18.400 vacatures open.[5] De vraag naar hbo-geschoold personeel is het grootst, gevolgd door de vraag naar mbo-geschoold personeel en daarna de vraag naar universitair opgeleid personeel. Deze tekorten hebben gevolgen voor bedrijven: recent ervoer 40% van de werkgevers in de ICT-dienstverlening hierdoor belemmering van hun zakelijke activiteiten.[6]

Overige sectoren
In alle sectoren bestaat echter behoefte aan ICT'ers en aan mensen met ICT-vaardigheden. Ongeveer 6 op de 10 ICT'ers werkt buiten de ICT-sector.[6] Buiten de ICT-sector om vereisen steeds meer beroepsgroepen ICT-vaardigheden. Het gaat dan bijvoorbeeld om zorgberoepen, maar vooral ook om managers.[7]

Behoefte aan AI-specialisten
Hoewel hoofdzakelijk informatie beschikbaar is over de vraag naar ICT-vaardigheden, begint de behoefte aan AI-specialisten ook zichtbaar te worden. In 2019 zette LinkedIn de vaardigheid *Artificial Intelligence* op de tweede plek in hun lijst van vaardigheden waar bedrijven naar zochten, maar moeilijk mensen voor konden vinden.[8] In 2020 staat AI op de vierde plek in deze lijst.[9]

Wanneer gekeken wordt naar het aantal keer dat werkgevers AI- of Data Science-vaardigheden vroegen, is wat betreft ICT-vacatures ruwweg een verdubbeling te zien tussen 2015 en 2018. Daaronder vallen bijvoorbeeld termen als *business intelligence, data science, artificial intelligence* en *machine learning.*[10] Op verzoek van de werkgroep Human Capital voerde CA-ICT daarnaast een analyse uit van het aantal ICT-vacatures waarin minimaal één specifieke AI-term (*artificial intelligence, neural networks, deep learning* en/of *machine learning*) wordt genoemd. Tussen 2015 en 2018 nam dit aantal toe van 412 naar 2.398; een groei van maar liefst 482%.

De Nederlandse concurrentiepositie
De Nederlandse arbeidsmarkt staat in competitie met de buitenlandse arbeidsmarkt en andersom. Het percentage Nederlandse studenten dat tussen 2005 en 2017 emigreerde na het behalen van een AI-gerelateerd diploma is het hoogst onder universitair geschoolde mensen (10%), gevolgd door hbo- en mbo-geschoolde mensen (beide 4%).[4]

Andersom blijven buitenlandse studenten die in Nederland opgeleid zijn ook in Nederland. De blijfkansen van studenten die afstuderen aan techniekopleidingen zijn daarbij hoger dan die van studenten in het algemeen (Tabel 1). [11]

---

[5] UWV (z.d.). Dashboard Arbeidsmarkt. Geraadpleegd via https://www.werk.nl/arbeidsmarktinformatie/cijfers/arbeidsmarktdashboards/
[6] UWV (2019). ICT-beroepen. Factsheet Arbeidsmarkt. Geraadpleegd via https://www.uwv.nl/overuwv/Images/factsheet-ict-beroepen-2019.pdf
[7] Brainport Eindhoven (2020). Brainport Future Skills Onderzoek. Geraadpleegd via https://brainporteindhoven.com/fileadmin/user_upload/Onderwijs/Brainport_Future_Skills_Onderzoek_2020.pdf
[8] LinkedIn (2019). *The Top Skills Companies Need Most in 2019—And How to Learn Them.* Geraadpleegd via https://www.linkedin.com/business/learning/blog/top-skills-and-courses/the-skills-companies-need-most-in-2019-and-how-to-learn-them
[9] LinkedIn (2020). *The Top Skills Companies Need Most in 2020—And How to Learn Them.* Geraadpleegd via https://www.linkedin.com/business/learning/blog/top-skills-and-courses/the-skills-companies-need-most-in-2020and-how-to-learn-them
[10] CA-ICT (2020) Expertisecentrum Digitalisering ICT. *Themarapportages: AI en Data Science.* Geraadpleegd via https://pr-edict.nl/themarapportages/ai-data-science
[11] Centraal Planbureau (2019). De economische effecten van internationalisering in het hoger onderwijs en mbo. Geraadpleegd via https://www.cpb.nl/de-economische-effecten-van-internationalisering-het-hoger-onderwijs-en-mbo-0

	EER-studenten*	Niet-EER-studenten*
Hbo-studenten (algemeen)	10%	29%
Hbo-studenten (techniek)	10%	39%
Wo-studenten (algemeen)	15%	31%
Wo-studenten (techniek)	30%	43%

Tabel 1. Het percentage niet-Nederlandse studenten dat na 5 jaar na afstuderen nog in Nederland is.

* De EER is de Europese Economische Ruimte. Hieronder vallen alle EU-landen plus Liechtenstein, Noorwegen en IJsland.
Bron: CPB, 2019. De economische effecten van internationalisering in het hoger onderwijs en mbo. https://www.cpb.nl/de-economische-effecten-van-internationalisering-het-hoger-onderwijs-en-mbo-0#docid-159981

Knelpuntanalyse

Over de grote krapte op de AI- en ICT-arbeidsmarkt bestaat geen twijfel. De behoefte bestaat uit:

- AI-specialisten
- AI-specialisten met bedrijfskennis
- Domeinexperts met AI-kennis (bijvoorbeeld zorgspecialisten en landbouwspecialisten)
- Bestuurders, managers en beleidsmakers met AI-kennis

Personeel is niet alleen schaars, maar heeft ook niet altijd de juiste vaardigheden. Academische afstudeerders voldoen niet altijd aan het profiel waar bedrijven naar zoeken: bedrijven zijn op zoek naar mensen die in staat zijn een koppeling te maken tussen AI-kennis en businessmodellen. Dat sluit aan bij de vraag naar werknemers met een zogenaamd '*T-shaped*-profiel'. Het gaat dan om generalisten die erg goed zijn in een of meerdere onderdelen binnen hun vakgebied. Wat ICT'ers betreft is er behoefte aan mensen met inzicht in bedrijfsprocessen en communicatievaardigheden, die klantwensen kunnen omzetten naar ICT-vraagstukken.[6]

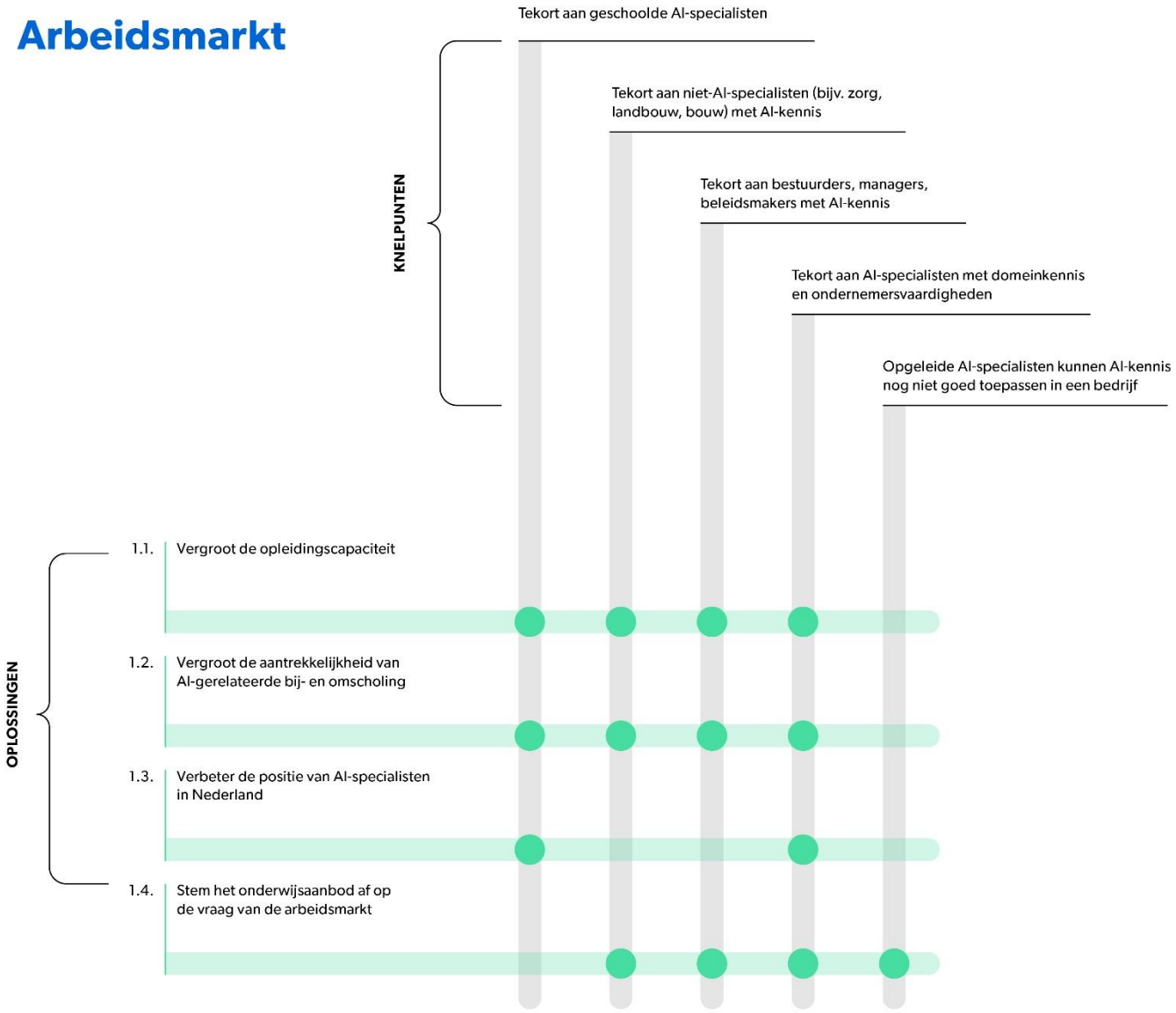
De behoefte aan specialistische werknemers met brede kennis is echter breder te trekken: ook specialisten in andere sectoren hebben in toenemende mate kennis nodig van AI, wat een steeds belangrijkere rol in hun werk speelt. Denk hierbij aan dokters, managers en bedrijfskundigen, die op hun manier als *T-shaped professional* de verbinding zoeken met het AI-veld.

Door het tekort aan breed opgeleide AI-professionals en het tekort aan andere specialisten met AI-kennis ontstaat een wisselwerking: AI-professionals zijn onvoldoende in staat om hun kennis op andere domeinen toe te passen, en overige domeinexperts zijn onvoldoende in staat om AI binnen hun domein in te zetten.

Knelpunt- en oplossingsmatrix

THEMA 1

Arbeidsmarkt



*Deze matrix koppelt de geïdentificeerde knelpunten aan oplossingsrichtingen. De knelpunten staan gerangschikt van links naar rechts (meest – minst urgent) en de oplossingen van boven naar beneden (hoge – lage impact op de belangrijkste knelpunten).

Toelichting bij de voorgestelde oplossingen

1.1. Vergroot de opleidingscapaciteit

Het grote tekort aan AI-gerelateerde specialisten én aan overige specialisten met AI-vaardigheden maakt duidelijk dat er behoefte is aan opleidingsplekken en -mogelijkheden. Dat kunnen zowel specialistische en AI-gerelateerde opleidingen betreffen als AI-vakken die in andere opleidingen ingebed zijn. Ook het niet-regulier en privaatonderwijs is belangrijk voor het oplossen van tekorten door middel van omscholing: dit type onderwijs kan de huidige beroepsbevolking bijvoorbeeld AI-vaardigheden bijbrengen.

Zoals in de inleiding aangegeven, staat de krapte op de arbeidsmarkt in direct verband met de opleidings- en omscholingscapaciteit binnen Nederland. De oplossingen voor het vergroten van de capaciteit bespreken we uitgebreid in **Thema 3: Onderwijsorganisatie**. Daarnaast is de instroom van belang: de opleidingsplekken moeten worden opgevuld door voldoende studenten, die bovendien een brede afspiegeling van de maatschappij vormen en daarna de Nederlandse arbeidsmarkt op gaan. Deze oplossingen vallen onder **Thema 4: Instroom en Doorstroom.**

1.2. Vergroot de aantrekkelijkheid van AI-gerelateerde bij- en omscholing

Bij- en omscholing vereisen een investering in de vorm van onder meer tijd, geld en aandacht. Hoe lager deze investering is, des te aantrekkelijker het is om aan scholing te beginnen en het traject af te maken. Dit speelt vooral bij werkende mensen. Voor bij- en omscholing is het daarom belangrijk om de individuele investering naar beneden te brengen en scholing aan te bieden op een manier die geen grote problemen veroorzaakt in iemands normale werkzaamheden en dagelijks leven.

1.3. Verbeter de positie van AI-specialisten in Nederland

De internationale arbeidsmarkt biedt kansen aan zowel Nederlandse als buitenlandse AI-specialisten. Het is dus noodzakelijk om te zorgen dat werken in Nederland voor hen aantrekkelijk is en dat in de toekomst ook blijft. Oplossingen voor het behoud van in Nederland opgeleide AI-werknemers behandelen we specifiek in **Thema 4: Instroom en Doorstroom**.

1.4. Stem het onderwijsaanbod af op de vraag van de arbeidsmarkt

Het beter afstemmen van het opleidings- en scholingsaanbod op de maatschappelijke vraag is een tweede belangrijke voorwaarde voor een evenwichtigere arbeidsmarkt. We gaan dieper op deze oplossingen in binnen **Thema 2: Onderwijs- en scholingsaanbod.**

Thema 2: Onderwijs- en scholingsaanbod

Om het tekort aan AI-personeel op te lossen, is het essentieel dat het aanbod van scholing en onderwijs aansluit op de vraag van de arbeidsmarkt. Daarnaast spelen scholing en onderwijs een belangrijke rol in de kennismaking met AI: een thema met impact op de gehele maatschappij, waar iedere burger basiskennis van zou moeten hebben. Wat is de huidige stand van zaken? In dit thema kijken we specifiek naar de inhoudelijke beschikbaarheid van het AI-aanbod; de capaciteit van het onderwijs- en scholingsaanbod komt aan bod in thema 3.

Wat onderwijs en scholing betreft zijn twee grote doelgroepen te onderscheiden: mensen die voor het eerst een opleiding volgen (onderwijs) en de groep die reeds een opleiding heeft genoten. Bij de laatste groep zal het vaak om bij- of omscholing gaan (scholing). Waar de eerste opleiding vaak binnen het regulier onderwijs valt – en al op de basisschool begint – zal in het geval van bij- of omscholing vaak een beroep gedaan worden op het niet-regulier en privaatonderwijs, dat aangeboden wordt door commerciële instanties of door reguliere onderwijsinstellingen in de vorm van professional education courses of massive open online courses (MOOCS). 'Leven Lang Ontwikkelen' is hierbij een centraal aspect.

Achtergrondanalyse

Onderstaande achtergrondanalyse betreft een samenvatting van het literatuur- en verkennend onderzoek in dit rapport. Aanvullende informatie is te vinden in bijlage 2.2.

Basis- en voortgezet onderwijs
Het basisonderwijs is de eerste schakel in de onderwijsketen. Momenteel richt het basisonderwijs zich op digitale geletterdheid van kinderen en kijkt daarbij naar ICT-basisvaardigheden, informatievaardigheden, mediawijsheid en computationeel denken. AI is (nog) geen onderdeel van digitale geletterdheid. Deze vaardigheden zijn echter wel essentieel om AI te ontwikkelen, te begrijpen en er mee om te gaan.

AI-onderwijs is eveneens beperkt in het voortgezet onderwijs. Binnen het havo- en vwo-onderwijs past AI bij het thema *Cognitive Computing*. Dit thema vormt 1 van de 12 keuzethema's binnen het examenvak Informatica. Op het vmbo is geen structurele aandacht voor AI-onderwijs. Het vmbo(t)/mavo kent wel het schoolexamenvak Informatietechnologie.

Mbo
Binnen het mbo bestaan diverse ICT-opleidingen die zich (doorgaans) richten op een specifieke disciplines binnen de ICT, zoals bijvoorbeeld Software Developer, Cybersecurity of Netwerkbeheerder. Er is momenteel echter geen structurele aandacht voor AI.

Hbo
Het hbo biedt AI-onderwijs vooral gekoppeld aan in de sector Hoger Technisch en Natuurkundig onderwijs. In bijzonder betreft dit de domeinen *HBO-i*, *Creative Technologies* en *Engineering* (zie ook bijlage 4). Het meeste AI-onderwijs is geïntegreerd in bestaande opleidingen. Specifiek AI-aanbod is nog beperkt: er zijn verschillende minoren en één afstudeerrichting gekoppeld aan het domein HBO-i. Specifieke hbo-masters zijn nog in ontwikkeling. Wel zijn er enkele hbo-masters waarin AI is geïntegreerd. Een voorbeeld is de hbo-master *Digital Driven Business*.

Wo
Op universiteiten kunnen studenten AI-onderwijs volgen in specifieke AI-opleidingen of in Informatica-opleidingen. In beide gevallen kan dit zowel op bachelor- als op masterniveau. Een overzicht van deze opleidingen, evenals de instroomaantallen, is te vinden in bijlage 5.2. Hiernaast biedt een aantal universiteiten ook AI-minoren aan. In sommige gevallen worden AI-vakken ook aangeboden binnen het reguliere curriculum van opleidingen op het gebied van bijvoorbeeld economie, bestuurskunde en gezondheidswetenschappen.

Promotietrajecten
Promovendi hebben in Nederland doorgaans een hybride positie. Ze worden zelf opgeleid, maar zijn tegelijkertijd aangesteld als medewerker bij een universiteit of onderzoeksinstituut, waarbij ze zelf onderwijs geven en onderzoek verrichten. Promovendi kunnen zich aansluiten bij zogenaamde *graduate schools* die onder andere vakspecifieke trainingen aanbieden. Twaalf Nederlandse instituten (waaronder elf universiteiten) zijn aangesloten bij *The Netherlands Research School for Information and Knowledge Systems* (SIKS), de Nederlandse graduate school voor onderzoekers in het ICT-veld.

Studentvaardigheden en opleidingsfocus
Binnen het hoger en regulier middelbaar onderwijs is AI momenteel hoofdzakelijk verankerd in AI/ICT-specifieke opleidingsprogramma's. Hierbij worden de AI-experts opgeleid. Over het algemeen geldt dat er weinig zicht is op welke niet-AI-gerelateerde opleidingen binnen het regulier onderwijs elementen van AI-onderwijs aanbieden. Naar verwachting is dit beperkt.

Niet-regulier en privaatonderwijs
Het enorme tekort aan AI-geschoold personeel biedt een voedingsbodem voor private opleidingsinitiatieven, al dan niet in samenwerking met publieke partners of het bedrijfsleven. De opleidingen onderscheiden zich op basis van inhoud en aanpak, maar ook door middel van opzet, opleidingsduur, instroomeisen en kosten. Een belangrijk deel van deze opleidingen beschikt niet over een onderwijsaccreditatie maar werkt soms met een bedrijfs-, software- of trainingsaccreditatie. Het ontbreekt aan een overzicht van niet-reguliere en private opleidingen en aan inzicht in de kwaliteit van het niet-regulier en private onderwijsaanbod.

Knelpuntanalyse

In thema 1 (Arbeidsmarkt) laten we zien dat er een grote vraag bestaat naar AI- en ICT-specialisten enerzijds en naar domeinexperts met AI-kennis anderzijds. Deze vraag beslaat de volle breedte van de arbeidsmarkt en sluit inhoudelijk niet altijd aan op het opleidingsaanbod. Daarnaast is de maatschappelijke rol van AI nu al dermate groot dat basiskennis van AI steeds belangrijker is voor burgers. Beide punten hebben gevolgen voor de inrichting van het onderwijs- en scholingsaanbod.

Basis- en voortgezet onderwijs
Vergeleken met de grote maatschappelijke rol die AI al speelt, is er nog te weinig specifieke aandacht voor AI in het basis- en voortgezet onderwijs. De kans om iedereen in Nederland kennis te laten maken met AI wordt hiermee onvoldoende benut. Dit is op zichzelf onwenselijk vanwege de invloed van AI in het dagelijks leven, maar veroorzaakt daarnaast vermoedelijk een aansluitingsprobleem binnen de onderwijsketen. Leerlingen zullen zich niet altijd bewust zijn van de kansen en uitdagingen die een carrière in AI hen biedt. Een belangrijk knelpunt voert overigens terug op het opleidings- en bijscholingsaanbod zelf: voor docenten in het basis- en voortgezet onderwijs moet het dan ook mogelijk zijn om de benodigde kennis op te doen om AI te doceren. Enkele oplossingen daarvoor komen aan bod in thema 3 en 4.

Onderwijs en scholing van AI-specialisten in het beroeps- en hoger onderwijs
AI-specialistische opleidingen worden momenteel vooral op het wo aangeboden. Specialistische opleidingen ontbreken zelfs op het mbo en zijn beperkt onderdeel van het hbo, terwijl de vraag naar hbo- en mbo-geschoolden (zie thema 1: Arbeidsmarkt) aangeeft dat er ook behoefte is aan opleidingen voor praktijkgeörienteerde AI-specialisten.

Voor AI-specialistische opleidingen geldt dat het opleidingsprofiel en de vereiste competenties daarnaast beter kunnen worden afgestemd op de arbeidsmarkt. Hiervoor is het met name van belang dat de AI-expert multidisciplinair leert werken en vaardigheden rondom het toepassen van AI-kennis binnen organisaties opdoet. Naast het ontwikkelen van een oplossing, wat nu vaak centraal staat in het onderwijs, zijn er in de praktijk verschillende hobbels die moeten worden genomen op weg naar implementatie. Denk bijvoorbeeld aan het werken met echte datasets, die eerst opgeschoond moeten worden, en aspecten als projectmanagement en communicatie. Binnen de huidige opleidingen is hiervoor nog weinig aandacht.

AI-gerelateerd onderwijs en scholing
Omdat AI in vele sectoren een rol gaat spelen, of dit al doet, is er ook grote behoefte aan AI-onderwijs in niet-AI-gerelateerde onderwijsprogramma's. Elke student zou de waarde en de aandachtspunten voor zijn of haar beroepsvelden moeten kunnen duiden. Als we een vergelijking trekken met wiskunde, wat vaak als een basisvak aangeboden wordt in onderwijsprogramma's, dan is dit momenteel nauwelijks het geval voor AI.

Naast dat het van belang is dat iedere student de implicaties van AI kan duiden, is het van belang dat er domeinexperts opgeleid worden met AI-kennis. Voor de toepassing van AI is immers ook diepgaande kennis van het specifieke domein nodig, zoals de gezondheidszorg of detailhandel. Deze afgestudeerde kan de brug slaan tussen zijn of haar expertisedomein en de AI-expert, om zo AI-technologie naar organisaties te brengen. Een voorbeeld is een minor of master in *AI & Health*. Dergelijk onderwijsaanbod staat grotendeels nog in de kinderschoenen.

Een tweede grote doelgroep – de doelgroep die al langer werkzaam is – wordt bediend door het niet-regulier onderwijs. Hierbij is specifieke aandacht nodig voor de AI-bijscholing van managers. Een survey[12] onder 269 bedrijven, waaronder 22 in Nederland, laat zien dat AI een belangrijk onderwerp is van strategisch tot operationeel managementniveau. De vraag naar managers met ICT-kennis neemt ook toe.[7] Omdat managers sturing geven aan AI-initiatieven binnen de organisatie is het belangrijk dat zij kennis hebben van AI en dat zij dit op kunnen opdoen via korte opleidingen.

Ook ICT'ers kunnen sterkte behoefte hebben aan bij- of omscholing. 73% van de wo-opgeleiden met ICT-baan heeft geen ICT-vooropleiding genoten. Onder hbo-alumni in de ICT-sector is dit 54% en onder mbo-alumni 46%.[4] Daarnaast vragen de snelle veranderingen op het vlak van AI om continue bijscholing.

De inhoud en het aanbod van AI-gerelateerde opleidingen is relatief echter weinig transparant, wat de bekendheid bij doelgroepen voor scholing en onderwijs in de weg staat. Ook belemmert het gebrek aan inzicht in het aanbod de onderlinge samenwerking in de opleidingsketen. Daarnaast is er, zeker bij het niet-regulier en privaatonderwijs, behoefte aan accreditatie en certificering van AI-trainingen.

[12] Møller, T.H., Czaika, E., Reich, M., & Van der Steen, E. (2019). Artificial Intelligence in Europe: The Netherlands. Outlook for 2019 and beyond. Geraadpleegd via: https://info.microsoft.com/rs/157-GQE-382/images/EN-CNTNT-eBook-NETHERLANDS.pdf

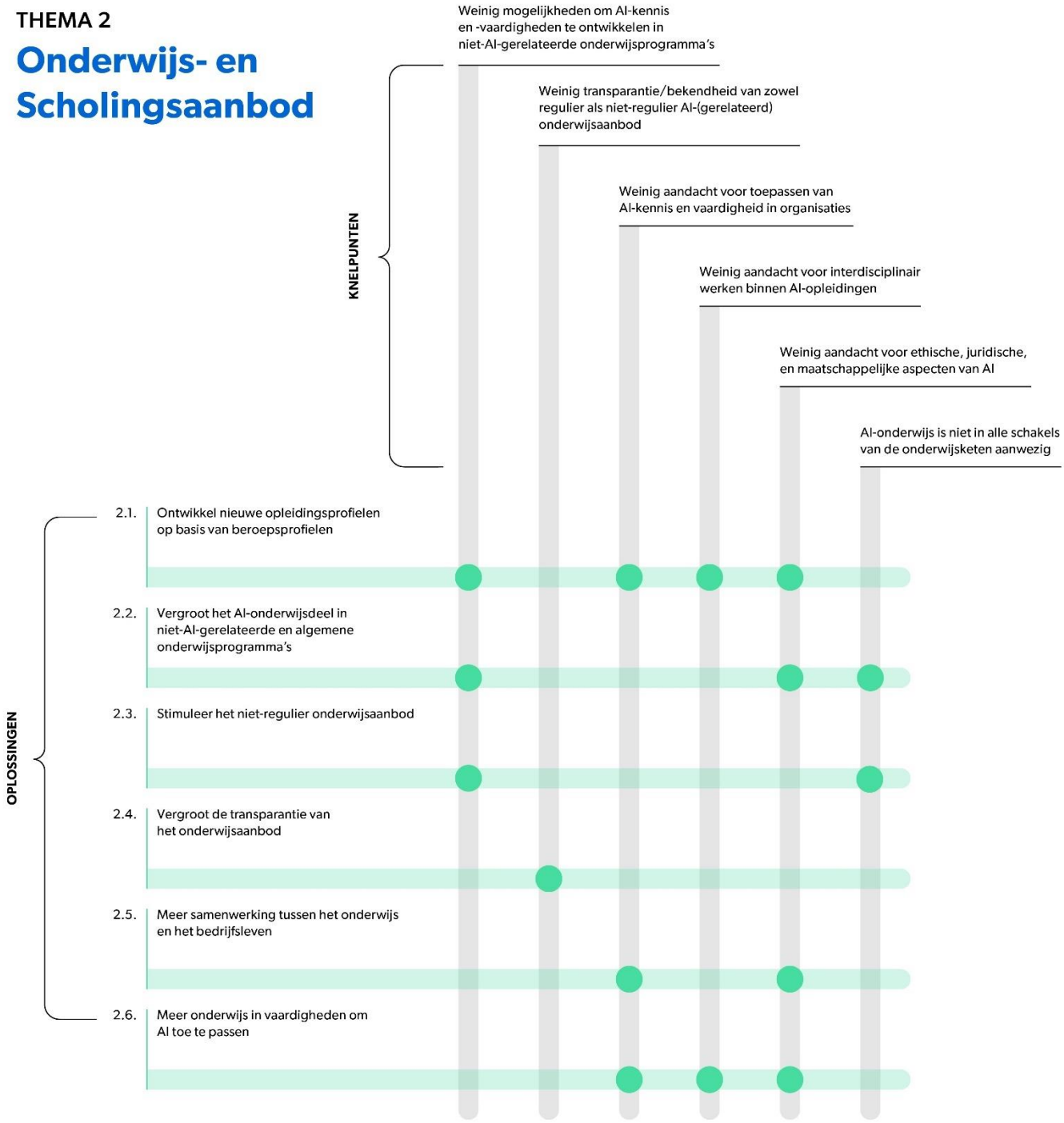
Het gebrek hieraan maakt het voor de maatschappij moeilijk om de waarde van een dergelijke training in te schatten.

Maatschappelijke randvoorwaarden bij AI en AI-gerelateerd onderwijs en scholing
In de meeste curricula is tot slot weinig aandacht voor de juridische, ethische en maatschappelijke kanten van AI. Het toepassen van AI roept ethische en maatschappelijke vragen op rondom thema's als privacy, inclusie, transparantie, menselijke handelingsvrijheid en soevereiniteit. Het is daarom belangrijk dat zowel AI-experts als AI-gerelateerde experts vaardigheden leren om het systeem te zien en de impact van hun eigen handelen hierop in kaart te brengen.

Knelpunt- en oplossingsmatrix

THEMA 2

Onderwijs- en Scholingsaanbod



*Deze matrix koppelt de geïdentificeerde knelpunten aan oplossingsrichtingen. De knelpunten staan gerangschikt van links naar rechts (meest – minst urgent) en de oplossingen van boven naar beneden (hoge – lage impact op de belangrijkste knelpunten).

Toelichting bij de voorgestelde oplossingen

2.1. Ontwikkel nieuwe opleidingsprofielen op basis van beroepsprofielen

Voor reguliere opleidingen bestaan opleidingsprofielen met kwalificaties (gekoppeld aan wat het beroep vraagt; beroepsprofiel) waar studenten aan moeten voldoen na het afstuderen. In vrijwel alle opleidingsprofielen zijn nog geen vaardigheden/kwalificaties opgenomen die nodig zijn voor AI-ontwikkeling. Als dergelijke vaardigheden worden opgenomen in opleidingsprofielen zullen opleidingen het moeten integreren.

Accreditaties kunnen ook een rol bij spelen bij het stimuleren van AI-gerelateerde curricula. De Nederlands-Vlaamse Accreditatieorganisatie (NVAO) heeft bijvoorbeeld een label voor excellente internationalisering, waarmee opleidingen kunnen aantonen dat hun internationalisering van hoge kwaliteit is. Een vergelijkbaar label zou een rol kunnen spelen voor AI.

2.2. Vergroot het AI-onderwijsdeel in niet-AI-gerelateerde en algemene onderwijsprogramma's

Dit is een brede oplossingsrichting, waarvan de uitwerking verschilt afhankelijk van het opleidingsniveau en het soort opleiding.

Over het algemeen vindt de werkgroep dat AI-onderwijs standaard onderdeel moet worden van meer technische opleidingen, zoals op het gebied van ICT of engineering. Daarnaast moeten zogenaamde domeinexperts, die worden opgeleid in andere gebieden als bijvoorbeeld geneeskunde, via hun opleidingen aanvullende AI-vaardigheden leren. Dit stelt deze domeinexperts in staat om vraagstukken uit hun domein te vertalen naar de mogelijkheden van AI. Tot slot speelt AI een belangrijke rol in de samenleving, en zou dus iedereen in Nederland toegang moeten hebben tot basiskennis van AI.

Specifieke kansen liggen bij het mbo, waar momenteel weinig tot geen aandacht is voor AI binnen bijvoorbeeld ICT-opleidingen. AI-onderwijs maakt ook nog geen onderdeel uit van het basis- en voortgezet onderwijs, terwijl dit juist een mogelijkheid biedt om het grootste deel van Nederland te bereiken. Het vak maatschappijleer zou hier bijvoorbeeld invulling aan kunnen geven.

Overigens vergt het realiseren van meer AI-onderwijs ook oplossingen voor knelpunten op het gebied van onderwijsorganisatie, waaronder oplossingen voor het tekort aan docenten en lesmateriaal. Deze oplossingen worden besproken in thema 3.

Best practice: Codasium op Lyceum Kralingen (voortgezet onderwijs)
Sinds 2017 kent het Lyceum Kralingen in Rotterdam het Codasium. Alle brugklasleerlingen volgen verplicht gemiddeld één uur programmeeronderwijs per week, zodat iedereen kan beoordelen of het Codasium wat voor hem/haar is. Na de brugklas kunnen leerlingen kiezen voor een Codasiumtraject, wat bestaat uit 3 uur programmeeronderwijs per week. Leerlingen leren programmeren en maken ook opdrachten voor bedrijven. Al het lesmateriaal is gratis en openbaar beschikbaar (zie www.pythonindeklas.nl). De afgelopen twee jaar hebben ca. 50 leerlingen voor Codasium gekozen, waarvan 35% meisjes.

Best practice: MBO College Airport/Amstelland (mbo)
Op het MBO College Airport/Amstelland (onderdeel van het ROC van Amsterdam) is geëxperimenteerd met AI als onderdeel van andere programmeervakken. Bij het vak C# hebben studenten gewerkt aan Machine Learning-applicaties met behulp van het ML.NET framework van Microsoft. Voor bijna alle studenten was het de eerste keer dat ze zelf een AI-applicatie maakten. Het ML.NET-lesmateriaal is inmiddels aangevuld met hoofdstukken over TensorFlow, het AI-platform van Google, en geautomatiseerde beeldherkenning met behulp van de Raspberry Pi-minicomputer. Binnenkort komt een uitgave gericht op AI-onderwijs voor mbo4- en Associate Degree-opleidingen beschikbaar.

Beste practice: AI-onderwijs binnen Technical Medicine en Geneeskunde (wo)
In de masteropleiding Technical Medicine (een joint degree van LUMC, TUD en EMC) is AI-onderwijs een structureel onderdeel van het curriculum. Sinds de invoering in het curriculum is het aantal stage- en afstudeeropdrachten met een medisch AI-onderwerp spectaculair gestegen. Ook het geneeskundecurriculum van het Erasmus MC wordt aangepast: in het nieuwe curriculum zal AI onderdeel zijn van het basiscurriculum, met een verdiepende track op het gebied van AI voor de student die een techniekprofiel kiest.

2.3. Stimuleer het niet-regulier en private onderwijsaanbod

Naast de vraag naar regulier onderwijs bestaat er grote behoefte aan korte opleidingen die verder bouwen op reeds gevolgde opleidingen en praktijkervaring. Dit geldt voor mensen met een AI-gerelateerde achtergrond én voor een bredere groep die in andere sectoren werkt. De werkgroep benadrukt de kansen op de volgende punten:

- **Bijscholing naar AI-specialisten**
  ICT'ers worden geacht om hun kennisniveau continu op peil te houden en zo te kunnen voldoen aan snel veranderde behoeftes.[6] Vanwege hun praktische ICT-vaardigheden en algemene computationele denkvaardigheden is het een logische stap om deze medewerkers AI-technieken te leren. Hetzelfde geldt voor bijvoorbeeld data scientists.
- **Bijscholing in AI voor specifieke domeinen, sectoren en beroepen**
  Aansluitend bij oplossingsrichting 2.2 is bijscholing ook nodig voor werkenden met een achtergrond in relevante domeinen en sectoren. De vraag naar ICT-vaardigheden bij deze groepen neemt over het algemeen toe.[7] Denk hierbij aan scholing voor managers. Ook mensen die in creatieve, taalkundige, bedrijfseconomische of administratieve beroepen werken hebben hier baat bij, net als het openbaar bestuur en de veiligheids- en juridische sectoren.

De NL AIC Human Capital-subwerkgroep *Leven Lang Ontwikkelen* onderzoekt de kansen om het niet-regulier en private onderwijsaanbod te versterken.

Best practice: AI in practice (niet-regulier)
Het online programma *AI in practice* wordt aangeboden door het Innovation Center for Artificial Intelligence (ICAI). ICAI is een nationaal initiatief gericht op de gezamenlijke ontwikkeling van talent en technologie tussen de academische wereld, het bedrijfsleven en de overheid op het gebied van kunstmatige intelligentie. De innovatiestrategie van ICAI is georganiseerd rond laboratoria: meerjarige strategische samenwerkingsverbanden met een focus op technologie- en talentontwikkeling *(tekst loopt door op de volgende pagina).*

AI in practice bereidt professionals voor op het toepassen van AI in de eigen organisatie en ondersteunt bij bijscholing. Het programma bestaat uit de cursussen 'Voorbereiden op AI' en 'AI toepassen'. In de eerste cursus leren deelnemers hoe ze zich kunnen voorbereiden op de integratie van AI in de organisatie, door te begrijpen wat het kan bereiken en mogelijke implicaties te herkennen. Ook worden de naleving van regels en ethische overwegingen aan de orde gesteld. De tweede cursus richt zich op praktische aspecten van AI en hoe je stapsgewijs een plan schrijft om AI toe te passen in de eigen organisatie. *AI in practice* presenteert ideeën en case studies op basis van het nieuwste AI-onderzoek dat is uitgevoerd in de Research Labs van ICAI. De case studies bevatten bijdragen van Nederlandse universiteiten, openbare instellingen en AI-experts van bedrijven als ING, Ahold Delhaize, Elsevier, KPN en Thirona.

Best practice: Digital Society School (niet-regulier)
De Hogeschool van Amsterdam heeft samen met Gemeente Amsterdam de *Digital Society School* opgericht. Binnen deze *learning community* werken de hogeschool en gemeente samen met partners uit de markt aan het thema Digitale Transformatie voor een Duurzame Samenleving. Meer dan honderd afgestudeerde tech- en designtalenten uit binnen- en buitenland komen naar de Digital Society School om aan een traineeship deel te nemen. De traineeships worden gefinancierd door partners uit de markt, die willen investeren in hun digitale transformatie en waarde voor de samenleving, evenals in het verbinden van digitaal talent. In dit traineeship werken ontwerpers en ontwikkelaars in teamverband samen aan toepassingen waarbij digitale technologie ingezet wordt voor maatschappelijke vraagstukken. De teams worden ondersteund door een intensief programma met online modules, peer-learning, coaching en facilitatie door *Digital Transformation Designers* en begeleiding van een technisch onderlegde postdoc. In het traineeship krijgen deelnemers onbeperkt toegang tot het Leven Lang Ontwikkelen-aanbod van de Digital Society School met online en blended trainingsmodules. Deze trainingen volgen ze samen met professionals uit het bedrijfsleven.

Best practice: Make IT Work (niet-regulier)
In samenwerking met aangesloten werkgevers heeft het onderwijs Make IT Work ontwikkeld. Hoogopgeleide talenten zonder specifieke IT-achtergrond kunnen zich via deze opleiding omscholen naar een IT-functie op hbo-niveau. De opleiding bestaat uit twee fases. De eerste vijf maanden volgt de cursist een fulltime omscholingstraject bij de onderwijsinstelling. Daarna krijgt de cursist een arbeidscontract (voor minimaal zes maanden) bij een aangesloten werkgever, en volgt de cursist nog één avond per maand bijscholing.

Make IT Work is in september 2015 opgericht door de Hogeschool van Amsterdam. Fontys, NHL Stenden en Hanzehogeschool zijn hierbij aangesloten; daarmee worden trajecten nu aangeboden in Amsterdam, Eindhoven, Groningen en Hilversum. Tot aan september 2020 hebben 650 cursisten meegedaan aan Make IT Work. Ruim 150 bedrijven hebben zich aangesloten als werkgever. De achtergrond van Make IT Work-cursisten is heel divers: van biologie en criminologie tot archeologie en communicatie. 97% van hen is nog steeds werkzaam binnen de IT.

2.4. Vergroot de transparantie van het onderwijsaanbod

Hierbij gaat het om het inzichtelijk maken van het aanbod en de inhoud van zowel reguliere als niet-reguliere opleidingen. Dit vormt een oplossing voor meerdere problemen. Allereerst krijgen onderwijsinstellingen zo meer inzicht in de gebieden waarop onderling kan worden samengewerkt. Bij meer samenwerking heeft ook standaardisatie een plaats, waardoor rondom het gestandaardiseerde

curriculum meer ruimte voor toepassingen en verdieping komt. Verder kan meer duidelijkheid over het aanbod ook bijdragen aan de instroom, waardoor deze oplossingsrichting ook raakt aan thema 4.

Daarnaast zijn er landelijke initiatieven nodig die bijdragen aan de transparantie van het (niet-) regulier onderwijsaanbod, inclusief accreditatie en certificering van AI-trainingen in het niet-regulier en privaatonderwijs.

Best practice: La Grande École du Numérique (niet-regulier)
De Franse organisatie *La Grande École du Numérique* (GEN) is een interessant voorbeeld van een accreditatie voor technische opleidingen die niet binnen bestaande onderwijskaders passen, maar die wel een belangrijke economische en maatschappelijke bijdrage leveren. GEN is een publiek/private samenwerking die in 2015 door de Franse overheid werd gelanceerd. Inmiddels zijn meer dan 750 trainingen geaccrediteerd en werden meer dan 20.000 mensen middels deze trainingen opgeleid. Accreditatie houdt onder andere in dat toezicht gehouden wordt op de kwaliteit van de opleiding en dat de rechten van deelnemers nagenoeg gelijk zijn aan die van reguliere studenten. Daaronder valt ook financiële ondersteuning gedurende de opleiding.

2.5. Meer samenwerking tussen het onderwijs en het bedrijfsleven

De praktijkvaardigheden die studenten in het onderwijs en bij scholing meekrijgen, kunnen versterkt worden door meer samenwerking tussen het onderwijs en bedrijfsleven.

Hier zijn verschillende vormen voor te bedenken. Het verhogen van het aantal AI-docenten en -onderzoekers (op alle niveaus) met bedrijfsaffiliatie is er één van. Door hun gedeelde aanstelling in zowel het bedrijfsleven als het onderwijs brengen ze waardevolle praktijkkennis met zich mee, die kan worden ingezet om het onderwijscurriculum beter op het werkveld te laten aansluiten. Deze oplossing heeft daarnaast positieve gevolgen voor de onderwijsorganisatie en wordt in die context ook besproken in thema 3.

Een tweede vorm van samenwerking betrekt studenten rechtstreeks. Studenten werken aan een *real life*-probleem van een bedrijf of organisatie in samenwerking met de onderwijsinstelling, en doen zo ervaring op met het werken in context van de praktijk. Naast deze rechtstreekse ervaring kunnen bedrijfspartners door dit soort samenwerkingen betrokken worden bij de invulling van het curriculum. Inmiddels zijn meerdere van zulke initiatieven op verschillende niveaus gestart.

Best practice: Fontys ICT-innovatielab (hbo)
Fontys ICT heeft sinds 2018 op Strijp TQ een innovatielab ingericht, waarin toegepast onderzoek mét en ín ICT in nauwe samenwerking wordt verricht met partners uit de industrie, overheid en kennisinstellingen. Derde- en vierdejaarsstudenten participeren samen met professionals en hun docenten en lectoren in onderzoeksgroepen rondom Artificial Intelligence, High Tech Embedded Systems en Interaction Design. Via een meerjarige samenwerking wordt door de *Partners in Innovation* gezamenlijk de onderzoeksagenda opgesteld. Onderzoek en onderwijs zijn volledig met elkaar verweven en bieden, naast valorisatie via innovatieve toepassingen in de industrie, ook een innovatieve stimulans naar het curriculum van de opleiding en de professionalisering van docenten. Een dergelijke hybride leeromgeving leent zich ook uitstekend voor aansluiting vanuit de onderwijsketen (denk aan vo- en mbo-docenten die zich hier kunnen ontwikkelen).

Best practice: HvA expertisecentrum Applied AI (hbo; Centre of Expertise in oprichting)
Het expertisecentrum Applied AI richt zich op de uitvoering van praktijkgericht onderzoek naar de toepassing en implementatie van verantwoorde AI. Aan het expertisecentrum zijn 7 toepassingsgerichte labs verbonden, waaronder AI en Health, AI en Retail, LegalTech en Smart Education. Binnen de labs werken onderzoekers, docenten en studenten in meerjarige ketenprojecten samen met bedrijven en organisaties aan vraagstukken uit de praktijk. Zij vertalen deze vraagstukken naar AI-ontwerpen en breed inzetbare tools en instrumenten. Vanuit de labs wordt het curriculum van de betrokken opleidingen doorontwikkeld en worden trainingen voor het bedrijfsleven ontwikkeld (Leven Lang Ontwikkelen).

Best practice: Learning Communities en de Roadmap Human Capital Topsectoren
In de Roadmap Human Capital Topsectoren 2020-2023 komen tien Nederlandse topsectoren samen om een optimale samenwerking tussen het beroeps- en hoger onderwijs, het bedrijfsleven en onderzoeksinstellingen te realiseren. Hiervoor is het concept van *Learning Communities* in het leven geroepen: nauwe samenwerkingsverbanden, waarbij innovatie wordt versneld door het samenbrengen van leren, werken en onderzoeken inclusief alle daarbij betrokken partijen. Het bedrijfsleven heeft zo toegang tot de nieuwste innovaties en kennis, terwijl studenten in aanraking komen met de praktijk. De komende vier jaar moeten minimaal 100 *Learning Communities* worden gerealiseerd. Enkele zijn al van start gegaan, zoals de Duurzaamheidsfabriek in Dordrecht.

Ook AI in Practice, Digital Society School, Make IT Work, de Delftse AI-labs, Techniekpact, Co-teach Informatica en het KE@Work-programma zetten in op intensieve samenwerking met het bedrijfsleven. Deze best practices worden nader toegelicht bij oplossingsrichtingen 2.3, 3.1, 4.1, 4.2 en 4.6.

2.6. Meer onderwijs in vaardigheden om AI toe te passen

Zoals benoemd in oplossingsrichting 2.5 kunnen samenwerkingen met bedrijven een grote rol spelen in het versterken van arbeidsmarktgerichte curricula. Ook buiten deze samenwerkingen om zijn er echter kansen om AI-curricula te verbreden met vaardigheden die helpen bij het (maatschappelijk verantwoord) implementeren van AI-oplossingen. Hierbij ziet de werkgroep twee aandachtspunten:

- Onderwijs rondom de juridische, ethische en maatschappelijke context waarin AI-oplossingen zich begeven;
- Onderwijs in praktijkvaardigheden die nodig zijn in bedrijfsprocessen en binnen organisaties, zoals projectmanagement en communicatievaardigheden.

Best practice: Project-Centred Learning aan de Universiteit Maastricht (wo)
De Data Science en AI-bachelor- en masteropleidingen van de Universiteit Maastricht gebruiken het onderwijsmodel 'Project-Centred Learning'. Het is een variant op het probleemgestuurd onderwijs dat de Universiteit Maastricht kenmerkt. Studenten werken hierbij in groepen van 5 à 6 gedurende enkele maanden aan een praktijkprobleem (twee projecten per leerjaar), waarbij ze de kennis inzetten die ze bij hun vakken verkrijgen. De studenten zijn, naast het ontwikkelen van een Data Science en/of AI-oplossing, verantwoordelijk voor het projectmanagement, hun groepsdynamiek en de presentatie en begeleidende documentatie van de oplossing. De Universiteit Maastricht ondersteunt ze hierin door gerichte *skills classes* aan te bieden. Doordat studenten op deze wijze regelmatig met praktijkproblemen geconfronteerd worden, is hun afstand tot de arbeidsmarkt op het moment van afstuderen klein.

Thema 3: Onderwijsorganisatie

Uit thema 1 wordt duidelijk dat Nederland roept om mensen met kennis van AI. Thema 2 geeft aan waar de kansen liggen om het onderwijs- en scholingsaanbod nog beter aan te laten sluiten op deze maatschappelijke vraag. Maar het opleiden van deze mensen en het realiseren van dat aanbod is óók mensenwerk: het valt of staat met de juiste faciliteiten en voldoende menskracht om hun onderwijs en scholing te verzorgen. Wat hebben onderwijs- en scholingsinstanties nodig om aan de groeiende maatschappelijke vraag te voldoen?

Achtergrondanalyse

Onderstaande achtergrondanalyse betreft een samenvatting van het literatuur- en verkennend onderzoek in dit rapport. Aanvullende informatie is te vinden in bijlage 2.3.

De capaciteit blijft achter bij de vraag
Hoewel de precieze grootte van het gat tussen het aantal uitgegeven diploma's en de vraag van de arbeidsmarkt lastig te becijferen is, maakt de krapte op de ICT-arbeidsmarkt (zie thema 1) duidelijk dat de maatschappij dringende behoefte heeft aan mensen met een ICT-opleiding. Op het gebied van specifiek AI is deze verhouding waarschijnlijk nog verder verstoord, omdat er nog maar beperkt AI-onderwijs is ontwikkeld.

Het rapport van het publiek-private samenwerkingsverband AINED laat zien dat tussen 2013 en 2018 het aantal inschrijvingen bij AI-gerelateerde hbo- en wo-opleidingen met ongeveer 13% per jaar toenam. De belangrijkste aanbeveling voor de nationale strategie is volgens AINED dan ook om deze groei te laten doorzetten en binnen 5 jaar de onderwijscapaciteit te verdubbelen.[2] Vanwege de grote krapte op de arbeidsmarkt is het daarom alarmerend dat de groei van de instroom van het regulier onderwijs tussen 2018 en 2019 niet over de hele linie doorzette (zie bijlage 5.2 en [13]). De vraag naar AI-gerelateerde opleidingen is zo groot dat een aantal universiteiten noodgedwongen een numerus fixus heeft ingevoerd (die onlangs ook weer deels is losgelaten).

Samenwerking tussen onderwijsinstellingen
De werkgroep constateert dat de samenwerking tussen onderwijsinstellingen nog niet altijd systematisch en langs de gehele onderwijsketen wordt opgepakt, terwijl die behoefte wel bestaat.

Enkele voorbeelden van ICT-specifieke samenwerkingen tussen hbo-instellingen zijn het PRIO-netwerk en de stichting HBO-i. Binnen PRIO werken alle Nederlandse hogescholen samen om praktijkgericht ICT-onderwijs en -onderzoek onder de aandacht te brengen. Ook stimuleert PRIO de samenwerking met onder andere universitaire ICT-onderzoeksgroepen. Stichting HBO-i zorgt onder andere voor informatieoverdracht tussen opleidingen en geeft richting aan de ontwikkeling van hbo-ICT-onderwijs in Nederland.

Binnen het universitaire onderwijs hebben de bacheloropleidingen Artificial Intelligence (verenigd in het z.g. KION-overleg) gezamenlijk een pakket van vakken gedefinieerd, wat automatisch toegang verleent tot de wederzijdse masterprogramma's (zie bijlage 5.1). Het ICT-Research Platform

[13]CA-ICT (2020) Expertisecentrum Digitalisering ICT. Instroom ICT-onderwijs. Geraadpleegd via https://pr-edict.nl/ict-onderwijs/instroom-ict

Netherlands (IPN) organiseert daarnaast geregeld bijeenkomsten waarin het wo-ICT-onderwijs in Nederland besproken wordt.

Het is echter nog een open vraag waaruit onderwijs in AI voor andere groepen moet bestaan, zoals opleidingen in het hbo en mbo, en onderwijspakketten die als onderdeel van andere opleidingen worden aangeboden. Voorbeelden hiervan zijn technische en niet-technische minors in het wo, postacademisch onderwijs en modules voor het middelbaar onderwijs.

Knelpuntanalyse

Capaciteit
De onderwijscapaciteit is niet in overeenstemming met de sterk toegenomen vraag. Een groot deel van de academische opleidingen hanteert een numerus fixus. Als we niet in staat zijn voldoende mensen op te leiden, dan ontbreekt in de nabije toekomst de menskracht om alle gemaakte plannen uit te voeren. Naast het doceren zelf, zijn deze docenten in het middelbaar en hoger onderwijs ook nodig voor het integreren van AI in het onderwijscurriculum.

Wat de werkgroep betreft is het tekort aan AI-docenten het grootste obstakel op de weg naar meer capaciteit. Enerzijds wordt het tekort aan AI-docenten veroorzaakt door de beperkte financiële middelen die beschikbaar zijn voor het bekostigen van docentenposities. Anderzijds wordt het tekort veroorzaakt door de krapte op de arbeidsmarkt, waar onderwijsinstellingen concurreren om AI-specialisten met onder andere bedrijven. De vergoeding die een specialist in het bedrijfsleven krijgt, is momenteel vele malen hoger dan in het onderwijs. Secundaire arbeidsvoorwaarden, zoals de beschikbare hoeveelheid onderzoekstijd, zijn ook niet altijd competitief.

De personeelskrapte gaat verder gepaard met een tekort aan facilitaire middelen, zowel wat lesmateriaal als platforms voor AI-onderwijs betreft.

Schaalbaarheid
Om niet alleen meer, maar ook efficiënter onderwijs te kunnen bieden, is er behoefte aan goed ontworpen schaalbaar onderwijs. Het gaat dan om oplossingen die bruikbaar zijn voor het onderwijzen en toetsen van grote aantallen personen.

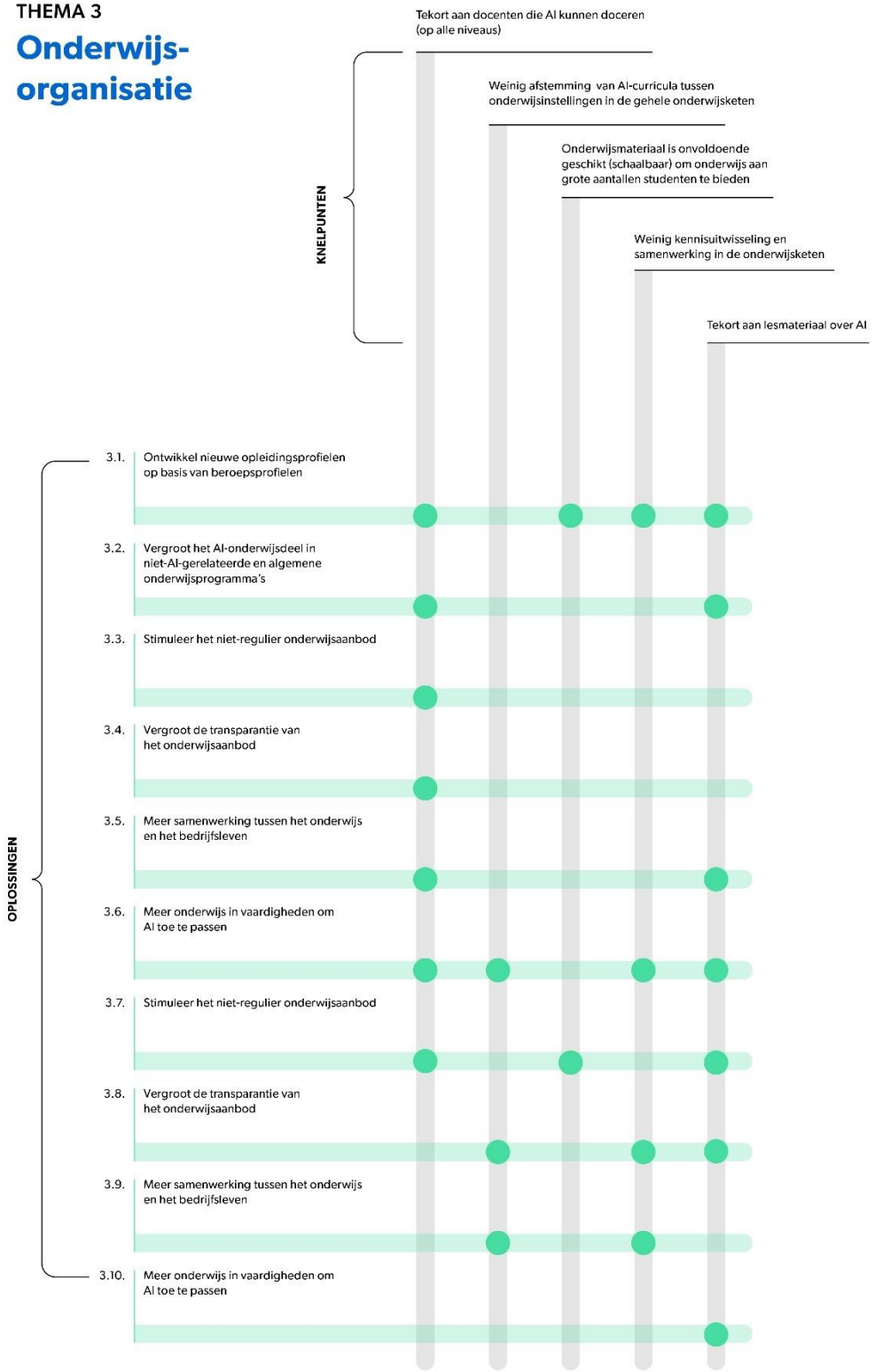
Het tot dusver ontwikkelde onderwijs is grotendeels zeer specifiek en vaak ontworpen voor offline-onderwijs in een bepaalde context: die van het klaslokaal of de collegezaal. Dit staat de mate van schaalbaarheid in de weg. Schaalbaar AI-onderwijs kent daarnaast een vakspecifieke uitdaging: AI-oplossingen zijn moeilijk automatisch te toetsen.

Onderlinge samenwerking
Aangezien AI een relatief nieuw onderwerp in het onderwijs is, is nog niet op alle onderwijsniveaus gedefinieerd hoe een samenhangend AI-onderwijspakket samengesteld moet zijn. De huidige ontwikkelingen lijken dermate snel te gaan dat het onderwijs als gehele sector nog niet in staat is geweest om op dit thema een samenwerking op te zetten.

Knelpunt- en oplossingsmatrix

THEMA 3

Onderwijs-organisatie



*Deze matrix koppelt de geïdentificeerde knelpunten aan oplossingsrichtingen. De knelpunten staan gerangschikt van links naar rechts (meest – minst urgent) en de oplossingen van boven naar beneden (hoge – lage impact op de belangrijkste knelpunten).

Toelichting bij de voorgestelde oplossingen

3.1. Vergroot het aantal docenten en onderwijsondersteunende posities

Structurele verhoging van de onderwijscapaciteit bij het regulier onderwijs – in de vorm van meer docenten, extra onderwijsondersteuning en verbeterde onderwijsfaciliteiten – ziet de werkgroep als een belangrijke oplossingsrichting om de beperkingen op beschikbare onderwijsplekken weg te nemen. Het vergroten van het aantal medewerkers en docenten die specifiek onderwijs kunnen verzorgen, zal bijdragen aan een versnelling in ontwikkeling van het onderwijs- en scholingsaanbod zoals in thema 2 geschetst.

Best practice: AI-labs bij de TU Delft
In de loop van 2020-2021 zal de TU Delft in totaal 24 TU Delft AI-labs opzetten, waarin AI-experts samen met wetenschappers uit verschillende faculteiten werken aan speciale AI-uitdagingen uit hun vakgebied. Deze labs vormen ook een basis voor het versterken van AI-onderwijs in de verschillende onderwijsprogramma's. De betrokken stafleden en promovendi hebben expliciet capaciteit beschikbaar voor AI-onderwijs. Zo krijgen de 96 promovendi een 5-jarige aanstelling met extra capaciteit voor het geven en ondersteunen van AI-onderwijs.

3.2. Maak werken in het AI-onderwijs aantrekkelijker

Meer ruimte om docenten aan te stellen is alleen een oplossing als de posities ook ingevuld kunnen worden. Het verbeteren van de financiële beloning en andere arbeidsvoorwaarden is daarom een belangrijke stap om meer AI-docenten aan te trekken. Tegelijkertijd kan ook worden ingezet op het verbeteren van het imago van werken in het onderwijs.

3.3. Maak werken in het AI-onderwijs toegankelijker

Hoewel bij het aantrekken van nieuwe docenten gezocht kan worden naar de schaarse docenten met een AI-gerelateerde opleiding, denkt de werkgroep ook aan het om- of bijscholen van docenten en overige professionals zodat ze AI-onderwijs kunnen geven.

Oplossingen daarvoor liggen onder andere bij het niet-regulier onderwijsaanbod (oplossingsrichting 2.3) en passen binnen het kader 'leven lang leren'. Ze kunnen ook worden gezocht in het 'train-the-trainer'-concept. Hierbij worden docenten ingezet om collega's te trainen. Het is daarbij wel belangrijk dat de onderwijsketen kijkt naar hoe deze trajecten het best kunnen worden vormgegeven, zonder dat het de werkdruk bij docenten verder vergroot. Voor oplossingen kan ook worden gekeken naar vakgebieden die ervaring hebben met bijscholing, zoals de geneeskunde.

Wanneer wordt ingezet op het uitdagen van professionals om bijscholing te volgen op het gebied van AI en Data Science, om zo het tekort binnen het onderwijs te kunnen oplossen, is belangrijk dat de beloning passend is (zie ook oplossingsrichting 3.2). Samenwerken met het bedrijfsleven kan hier een vehikel voor zijn.

Verder is in de netwerken van middelbare schooldocenten Informatica extra aandacht voor AI nodig. Veel docenten Informatica hebben weinig tot geen ervaring met AI. De uitdaging is om hen toch te overtuigen om dit keuzedeel aan te bieden. Uitgeverij Fundament biedt inspiratiedagen en modules voor docenten om hun kennis op dit gebied te vergroten.

3.4. Vergroot de diversiteit in aanstellingsmogelijkheden

In plaats van concurreren met andere sectoren, ziet de werkgroep juist ook een mogelijkheid om samen te werken met het bedrijfsleven. Dit kan bijvoorbeeld door het creëren van hybride docentschappen, waarbij docenten een gedeelde aanstelling in het bedrijfsleven en in het onderwijs krijgen. Behalve dat de concurrentie hierdoor afneemt, zal dit type aanstelling ook de gewenste verbintenis tussen onderwijs en de praktijk versterken (oplossingsrichting 2.5). Andere combinaties zijn ook wenselijk, zoals het koppelen van promotieonderzoek aan docentschap, en zijn op alle onderwijsniveaus nodig.

3.5. Investeer in scholing zonder docenten

Buiten het regulier onderwijs ziet de werkgroep mogelijkheden in onderwijsvormen met weinig tot geen docentbetrokkenheid. Ook het gebruik van *peer-to-peer*-technieken kan bijdragen aan een efficiëntere inzet van schaarse onderwijsmiddelen. Er ontstaat een breed aanbod waarin studenten en professionals zich kunnen scholen zonder dat er een docent aan te pas komt.

Best practice: Codam Coding College

Codam leidt studenten op tot Software Engineer middels een innovatief, hoogstaand en *hands-on* curriculum. Het programma is opgesplitst in twee delen. In de eerste anderhalf tot twee jaar leren studenten de basis van programmeren en volgen ze een voltijdstage van 6 maanden. In het tweede deel van de opleiding kunnen studenten zich in twee tot drie jaar verder specialiseren, waaronder in AI.

Codam heeft geen docenten. In plaats daarvan leren studenten met en van elkaar (*peer to peer learning*). Ook kijken ze elkaars werk na met antwoordschalen die door de opleiding verschaft zijn. Daarnaast wordt hun code door een computerprogramma gecontroleerd op inhoud en stijl. Dankzij de modulaire opbouw en zelfsturende aard van het programma raken studenten doordrongen van het belang om samen te werken, flexibel te zijn, kritisch te denken en leiderschap te tonen. In essentie leren studenten om zich te blijven aanpassen aan nieuwe omgevingen en onbekende vraagstukken. De opleiding is toegankelijk voor iedereen vanaf 18 jaar. Toelating vindt plaats op basis van een intensieve selectie (4 weken, 7 dagen per week) waarin wordt gekeken of de kandidaat het niveau aankan en de opleiding bij hem of haar past. Studenten vinden na hun afstuderen uiteenlopende banen, onder andere als Machine Learning Developer, AI Architect of Data Engineer.

Codam is gestart in 2019 en telt op dit moment bijna 300 studenten, waarvan 40% vrouwen. De meeste van deze studenten hebben geen eerdere programmeerervaring. Hun achtergronden lopen uiteen van studenten die niet over een startkwalificatie beschikken tot studenten met een afgeronde hbo- of wo-opleiding. De wijze waarop het onderwijsmodel is opgebouwd maakt het makkelijk schaalbaar, kosteneffectief en toekomstbestendig. Er is geen tussenkomst van leraren en een uiteenlopende groep studenten wordt aangesproken. Deze best practice sluit daarom ook aan bij thema 4.

3.6. Verbeter de bedrijfsprocessen en samenwerking in het onderwijs

De werkgroep ziet ook oplossingen in het verbeteren van het bedrijfsproces van onderwijsinstellingen en in meer onderlinge samenwerking. Dit kan samenwerking zijn tussen opleidingen op hetzelfde niveau (zogenaamde horizontale samenwerking, bijvoorbeeld het uitwisselen van lesmateriaal) maar ook tussen de niveaus, waarbij het vooral om onderlinge aansluiting gaat (verticale of ketensamenwerking; zie oplossingsrichting 3.9). Voor de aansluiting tussen de opleidingen is

samenwerking nodig voor de ontwikkeling van doorlopende leerlijnen tussen middelbaar en hoger onderwijs, en ook tussen bachelor- en masterprogramma's bij verschillende instellingen.

3.7. Ontwikkel schaalbaar onderwijs

Oplossingen die efficiënter gebruik maken van het schaarse aantal docenten, zoals schaalbaar onderwijs, vormen een tweede pijler naast het oplossen van het personeelstekort. Het gaat bij schaalbaar onderwijs om onderwijsmethoden die makkelijk in te zetten zijn voor grote groepen. Deze noodzaak speelt op alle onderwijsniveaus. De werkgroep denkt specifiek aan oplossingen voor individuele studentenbegeleiding en toetsen, omdat deze vaak een grote belasting vormen.

Schaalbaar onderwijs is gebaat bij de ontwikkeling van (online) onderwijsmateriaal dat gedeeld en hergebruikt kan worden. Het gaat hierbij om materiaal voor AI-specialistisch onderwijs, maar vooral ook voor AI-onderwijs dat een onderdeel vormt van andere opleidingsprogramma's waar minder AI-geschoolde docenten aan verbonden zijn.

De coronacrisis zorgt momenteel voor een grote mate van versnelling van de digitalisering van onderwijs. Aan deze ontwikkeling zitten voor- en nadelen; een voordeel kan zijn dat het bijdraagt aan de schaalbaarheid. Het online aanbieden van onderwijsmateriaal als modules en webinars kan ertoe leiden dat anderen op een laagdrempeligere manier gebruik kunnen maken van het bestaande aanbod.

3.8. Werk samen met AI- en onderwijsplatforms

Partijen als Coursera, edX en FutureLearn bieden complete digitale onderwijsmodules aan. Daarnaast bieden bedrijven ook AI-platforms aan, zoals bijvoorbeeld Google met TensorFlow en Microsoft met ML.NET. Deze platforms kunnen, afhankelijk van het soort en type onderwijs, onderdeel zijn van AI-onderwijsmateriaal (zie bijvoorbeeld de best practice MBO College Airport/Amstelland bij oplossingsrichting 2.2). Een bijkomend voordeel is dat ook andere onderwijsinstellingen gebruik kunnen maken van onderwijsmateriaal met een algemeen toegankelijke basis.

3.9. Stimuleer en agendeer ketensamenwerking

Een belangrijke sleutel voor het realiseren van meer instroom op de arbeidsmarkt is een betere aansluiting binnen de keten po-vo-mbo-hbo-wo. Dit kan door het creëren van bewustwording van AI in het primair en voortgezet onderwijs (ook buiten de traditionele ICT-context) en de ontwikkeling van aansluitende programma's voor mbo – hbo en wo-bachelors en (professionele) masterprogramma's binnen het beroeps- en hoger onderwijs.

Om dit mogelijk te maken zijn verschillende vormen van stimulering en lobby noodzakelijk. Een impuls vanuit de overheid, waaronder het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap, kan op deze vorm van samenwerking aansturen, maar zou ook middelen vrij moeten maken om ketensamenwerking mogelijk te maken. Het Techniekpact kan hier als voorbeeld dienen (zie de best practice bij oplossingsrichting 4.1).

Door de noodzaak van ketensamenwerking op de agenda te plaatsen van de verschillende verenigingen zoals VH (hbo) en VSNU (wo), maar ook bij het vo, po en mbo, komt het onderwerp op de agenda van de bestuurders van onderwijsinstellingen. Hiervoor zijn op dit niveau wel ambassadeurs nodig. De NL AIC Human Capital-subwerkgroep Scholing en Onderwijs kan als vertrekpunt dienen voor het stimuleren van meer ketensamenwerking. Hierin lijkt nu een vertegenwoordiging van het vo, mbo, hbo en wo samen te komen rondom het thema AI.

3.10. Ontwikkel lesmateriaal afgestemd op de maatschappelijke vraag

Bij het ontwikkelen van nieuw lesmateriaal is het, afgezien van schaalbaarheid, noodzakelijk om rekening te houden met wat de maatschappij en arbeidsmarkt verlangen van afgestudeerden en professionals. Deze richtingen worden in de voorgaande twee thema's in kaart gebracht.

Samengevat gaat het om de volgende punten:

- Aanbod voor AI-specialisten en niet-AI-specialisten op alle niveaus;
- Aandacht voor de vaardigheden die nodig zijn om AI in de praktijk te brengen, zowel vanuit het perspectief van de AI-specialist als de domeinexpert die met AI te maken heeft;
- Aandacht voor de juridische, ethische en maatschappelijke aspecten van AI.

Thema 4: Instroom en doorstroom

De laatste – maar zeker niet onbelangrijkste – schakel zijn studenten en life long learners zelf. Als de capaciteit en het aanbod van onderwijs en scholing beter aansluit op de maatschappelijke vraag, is het belangrijk dat de opleidingscapaciteit ten volste wordt benut. Voor maximaal effect moeten studenten en professionals niet alleen gestimuleerd worden om in te stromen, maar worden ze vervolgens ook behouden voor de Nederlandse arbeidsmarkt.

Achtergrondanalyse

Onderstaande achtergrondanalyse betreft een samenvatting van het literatuur- en verkennend onderzoek in dit rapport. Aanvullende informatie is te vinden in bijlage 2.4.

De AI-gerelateerde hogere opleidingen richten zich op havo- en vwo-scholieren met een Natuur & Techniek (N&T)-profiel. Onder havisten steeg het aantal scholieren dat voor dit profiel koos van 13.700 in 2014 tot 14.900 in 2018 (een toename van 8,8%). Onder vwo'ers steeg het aantal scholieren dat een N&T-profiel koos in dezelfde periode van 23.550 naar 29.700 (26,4%).[14]

Het aantal inschrijvingen voor AI-gerelateerde bacheloropleidingen (hbo en wo) ging in diezelfde periode van 1.763 naar 3.694 en voor masteropleidingen van 1.194 naar 2.209, een toename van respectievelijk 110% en 85%.[15] Voor AI-opleidingen ligt het percentage buitenlandse instroom momenteel op ca. 24%.[16] Zoals in thema 1 al werd aangehaald, verblijft tussen de 10% en 43% van de buitenlandse studenten aan een hbo- of wo-techniekopleiding vijf jaar na afstuderen nog in Nederland.[11]

Knelpuntanalyse

Instroom: aantallen en diversiteit
Omdat het aantal uitgegeven diploma's op het terrein van AI ver achterblijft bij het aantal openstaande vacatures op de arbeidsmarkt, is vergroting van de instroom in AI- en AI-gerelateerde opleidingen één van de kernoplossingen voor de in deze nota beschreven problematiek. Zowel op nationaal als internationaal niveau zijn inspanningen noodzakelijk. Daarnaast is winst te behalen bij het bereiken van studenten en professionals die niet als AI-expert opgeleid zijn of worden, maar die binnen hun domein wel met AI te maken krijgen en/of het juiste profiel hebben voor om- of bijscholing.

Omdat AI-ontwikkelingen daarnaast implicaties hebben voor vrijwel de hele maatschappij, is het essentieel dat de groep mensen die aan AI werkt divers is. De verschillende perspectieven dragen tijdens het ontwikkelproces bijvoorbeeld bij aan het signaleren van AI-oplossingen die bepaalde groepen binnen de maatschappij benadelen. De werkgroep constateert dat veel meer mannelijke dan vrouwelijke studenten momenteel AI-gerelateerd onderwijs volgen, wat mogelijk te wijten is aan een imagoprobleem van deze opleidingen en beroepsgroep.

[14]Onderwijsincijfers.nl
[15]Duo.nl
[16]Nuffic (2020). Fields of Study. Geraadpleegd via https://www.nuffic.nl/en/subjects/facts-and-figures/fields-study

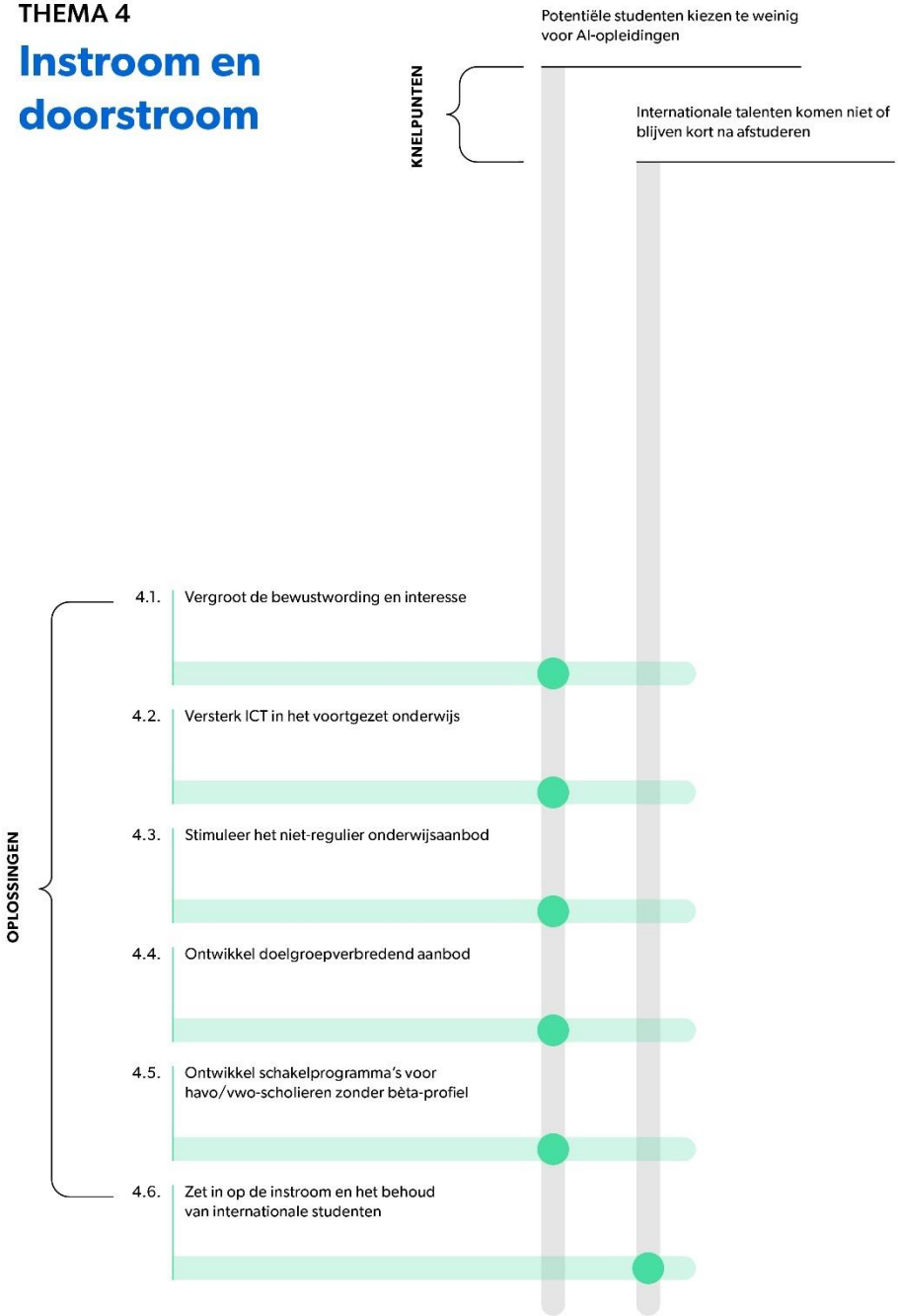
Doorstroom (internationale) studenten
Om de tekorten op de Nederlandse arbeidsmarkt op te lossen, is het belangrijk dat investeringen in Nederlands AI-onderwijs zich ook uitbetalen in de vorm van doorstroming naar de nationale arbeidsmarkt. Dit is van belang voor Nederlandse studenten, maar speelt met name bij internationale studenten die hier worden opgeleid. Het opheffen van knelpunten die deze specifieke groep ervaart draagt hieraan bij.

Studenten die van buiten de EU komen en in Maastricht hun universitaire bacheloropleiding volgen, zeggen verschillende hobbels te ervaren als zij door willen stromen naar een Nederlandse masteropleiding of baan. Dit heeft vooral te maken met complicerende regelgeving voor (potentiële) werkgevers en hoge collegegelden voor masteropleidingen. Ook de taalbarrière speelt een rol wat betreft de informatievoorziening: veel informatie vanuit bijvoorbeeld gemeentes wordt alleen in het Nederlands verstrekt.

Knelpunt- en oplossingsmatrix

THEMA 4

Instroom en doorstroom



*Deze matrix koppelt de geïdentificeerde knelpunten aan oplossingsrichtingen. De knelpunten staan gerangschikt van links naar rechts (meest – minst urgent) en de oplossingen van boven naar beneden (hoge – lage impact op de belangrijkste knelpunten).

Toelichting bij de voorgestelde oplossingen

4.1. Vergroot de bewustwording en interesse

Middelbare scholieren zijn, net als hun docenten en decanen, nog onvoldoende bekend met het belang, de toekomstige impact en scholingsmogelijkheden op het terrein van AI. De activiteiten van het Techniekpact hebben aangetoond dat een programmamatige aanpak op dit domein werkt.

Best practice: Techniekpact
Sinds 2013 werken onderwijs, bedrijfsleven en overheid samen in het Techniekpact. Het structureel verbeteren van de aansluiting van het onderwijs op de arbeidsmarkt in de technieksector staat hierbij centraal, om daarmee het tekort aan technisch personeel terug te dringen. Een fijnmazige samenwerking in de provincies, deelregio's en gemeenten draagt bij aan het succes van het Techniekpact. Het aantal havo- en vwo-scholieren dat een Natuur & Techniek-profiel koos steeg tussen 2014 en 2018.

De doelstellingen van de samenwerking liggen op de volgende terreinen: *"Kiezen voor techniek: techniek en technisch talent al jong ontdekken, deskundige docenten voor inspirerend funderend onderwijs"*, *"Leren in de techniek: opleiden van de technische vakmensen voor de toekomst"* en *"Werken in de techniek: technische vakkrachten behouden en talent benutten voor de techniek"*.[17]

Om diversiteit binnen de instroom te vergroten, is het ook van belang om de marketing en communicatie rondom AI en AI-opleidingen af te stemmen op doelgroepen die in de instroom ondervertegenwoordigd zijn.

4.2. Versterk ICT in het voortgezet onderwijs

Het vak Informatica wordt op veel middelbare scholen zeer beperkt aangeboden. Dat komt met name door het tekort aan bevoegde docenten. Het project Co-teach Informatica (zie kader) laat zien hoe deze problematiek aangepakt kan worden door een combinatie van gastlessen door experts, de inzet van studenten en de ontwikkeling van online modules. Bij de ontwikkeling van online aanbod voor middelbare scholieren kan de Nationale AI-Cursus als vertrekpunt dienen.

Best practice: Co-teach Informatica (voortgezet onderwijs)
Middelbare scholen hebben zo'n nijpend tekort aan bevoegde Informatica-docenten dat het vak op veel scholen al niet meer wordt aangeboden. De VSNU, VO-Raad en NL Digital (de brancheorganisatie voor ICT-bedrijven - voorheen ICT Nederland) werken samen aan een project waarmee informatica-onderwijs op middelbare scholen dankzij een innovatieve methode wél kan worden aangeboden aan leerlingen.

In het project wordt het vak Informatica op een andere manier aangeboden. Online modules rondom het eindexamenprogramma worden gecombineerd met projectonderwijs onder begeleiding van gastdocenten uit onder andere het bedrijfsleven. Naast gastdocenten uit het bedrijfsleven kunnen ook universitaire studenten met voldoende kennis van Informatica worden ingezet (bijvoorbeeld studenten met een minor programmeren). Gastdocenten krijgen vooraf een basiscursus pedagogiek en didactiek van een universitaire lerarenopleiding en worden op school

[17] Techniekpact (2020). Nationaal Techniekpact 2020: inzet 2016 – 2020. Geraadpleegd via https://www.techniekpact.nl/cdi/files/79249382edede8833a36963cd0272812c85312c9.pdf

begeleid door anders-bevoegde docenten (bijvoorbeeld een docent Wiskunde). Met deze combinatie worden de komende vier jaar naar verwachting 3000 tot 4000 extra scholieren naar het Informatica-eindexamen begeleid. Het project start in het schooljaar 2020/2021. Naar verwachting beginnen de eerste gastdocenten in de eerste maanden van 2021 op de scholen. Co-teach Informatica start in drie regio's: Utrecht, Amsterdam en Twente.

Best practice: 4 vmbo(t)-leerlingen van het IJburg College (voortgezet onderwijs)
In samenwerking met Waag Society is er op het IJburg College in Amsterdam in 2019 een AI-project geweest voor leerlingen uit 4 vmbo(t). De leerlingen gingen aan de slag met het ontwerpen en implementeren van een AI-applicatie om het leven van mensen beter te maken. Hiervoor werd de blokjestaal Cognimates gebruikt. Cognimates is een platform gebaseerd op Scratch, waarmee het mogelijk wordt om AI-systemen te koppelen aan hardware zoals speakers, webcams of de microbit.

Het programma bestond uit vier dagdelen, waarvan er twee plaatsvonden in de maakplaats van de Openbare Bibliotheek van Amsterdam. De sessies werden afgesloten met een presentatie van de gemaakte prototypes. Aan bod kwamen zowel de maatschappelijke effecten van AI (positief en negatief) als de technische aspecten van AI, zoals het leren van het systeem door middel van data en het gebruik van sensoren.

4.3. Verbeter aansluiting en doorstroming in de onderwijsketen

Een goede doorstroom van scholieren/studenten tussen verschillende niveaus is van groot belang. Dit vergt een combinatie van twee oplossingsrichtingen die al eerder in deze beleidsnota aan bod zijn gekomen: het inzichtelijk maken van opleidingsaanbod op alle niveaus, compleet met instroomeisen (oplossingsrichting 2.4) en het stimuleren en agenderen van ketensamenwerking (oplossingsrichting 3.9).

4.4. Ontwikkel doelgroepverbredend aanbod

De discrepantie tussen vraag en aanbod op de arbeidsmarkt is dusdanig dat IT-opleidingen alleen niet in staat zullen zijn om dit gat te dichten. Het ontwikkelen van opleidingsaanbod gericht op andere doelgroepen dan de traditionele IT-student moet leiden tot een verbreding en vergroting van de instroom. Hieronder vallen bijvoorbeeld de eerder besproken oplossingen om het AI-onderwijsdeel in niet-AI-opleidingen te vergroten (2.2) en het stimuleren van het bij- en omscholingsaanbod (2.3). Ook moeten nieuwe vormen van onderwijs verkend worden.

Naast de in thema 2 genoemde oplossingen om het onderwijsaanbod beter te laten aansluiten op de arbeidsmarkt, dient ook aandacht te worden gegeven aan het ontwikkelen (en aan de relevante doelgroepen presenteren) van een divers en inclusief onderwijsaanbod. Dit leidt tot een betere afspiegeling van de maatschappij binnen het AI-veld. Denk hierbij bijvoorbeeld aan aanbod gericht op het vergroten van de instroom van vrouwen en minderheidsgroepen. Om de genderbalans te verbeteren kan bijvoorbeeld worden gekeken naar de didactische methoden. Informatica-onderwijs is vaak gebaseerd op uitproberen en ontdekken (*inquiry-based learning*), terwijl vooral jongens daar baat bij hebben[18] en meisjes minder goed voorbereid zijn op open opdrachten[19]. Verder kan het

[18]Bando, R., Näslund-Hadley, E., & Gertler, P. (2019). Effect of inquiry and problem based pedagogy on learning: Evidence from 10 field experiments in four countries (No. w26280). National Bureau of Economic Research. Geraadpleegd via https://www.nber.org/papers/w26280
[19]Wieselmann, J. (2019). Student Participation in Small Group, Integrated STEM Activities: An Investigation of Gender Differences. Geraadpleegd via https://conservancy.umn.edu/handle/11299/209027

bijvoorbeeld helpen om gevarieerde AI-contexten en -voorbeelden aan te bieden, in plaats van vooral technische te kiezen.

4.5. Ontwikkel schakelprogramma's voor havo/vwo-scholieren zonder bèta-profiel

Momenteel is AI-onderwijs in hoger en wetenschappelijk onderwijs hoofdzakelijk toegankelijk voor scholieren met een bèta-profiel. De instroom kan verder verbreed worden door schakelprogramma's voor het voortgezet onderwijs te ontwikkelen, die zich met name richten op scholieren die niet voor een bèta-profiel kiezen.

4.6. Zet in op de instroom en het behoud van internationale studenten

Om de internationale instroom te vergroten, dient de positie van Nederland op het terrein van *emerging technologies* benadrukt te worden in internationale communicatie. Dit kan zowel door individuele onderwijsinstellingen als via collectieve kanalen als Nuffic.

Het aantrekken en behouden van AI-talent moet verder worden bevorderd door de regelgeving voor bijbanen en zoekjaren voor niet-EER afstudeerders te versoepelen. Daarnaast kan het vestigingsklimaat voor expats verbeterd worden, bijvoorbeeld door de uitbreiding van belastingmaatregelen zoals de 30%-regeling en door het wegnemen van barrières op het gebied van taal- en regelgeving in de omgang met publieke instanties.

In het algemeen is het is van wezenlijk belang dat de aansluiting tussen opleiding en de (regionale) arbeidsmarkt versterkt wordt. Dit vraagt om initiatieven die de samenwerking tussen onderwijsinstellingen en regionale organisaties stimuleren, zodat studenten al vroeg in hun opleiding kennismaken met de regionale arbeidsmarkt.

Best practice: KE@Work bij de Universiteit Maastricht (wo)

Het honoursprogramma KE@Work is in 2014 van start gegaan bij de Universiteit Maastricht. De beste studenten van de bacheloropleiding Data Science and Artificial Intelligence werken gedurende heel hun tweede en derde opleidingsjaar halftijds aan een innovatieve AI- of Data Science-uitdaging bij een bedrijf of organisatie in de regio. Daarbij wordt elke student bijgestaan door twee begeleiders: één vanuit de universiteit en één vanuit het bedrijf.

Het KE@Work-programma is momenteel uniek voor Nederland. In de regio Zuid-Limburg draagt het bij aan het intensiveren van de *triple helix*-samenwerking met een wo-instelling, omdat diverse projecten ook een duidelijke maatschappelijke component hebben. Deelnemende bedrijven ervaren de kracht van AI-technieken, hetgeen ook leidt tot meer contractonderzoek op het gebied van AI. Bovendien kan de opleiding dankzij de banden met het bedrijfsleven met de actualiteit meegroeien.

In vijf jaar tijd zijn meer dan 100 projecten opgestart met meer dan 30 bedrijven, variërend van startups en mkb's tot overheidsinstellingen en multinationals. Slechts 18% van de studenten in KE@Work komt uit Nederland. 22% komt van buiten de EU en doet hier op deze wijze relevante werkervaring op. Dit programma biedt daarmee mogelijkheden om internationaal AI-talent uitgebreid te laten kennismaken met de Nederlandse arbeidsmarkt en daar een toekomst op te bouwen. KE@Work zou in vergelijkbare vorm ook voor AI-opleidingen in andere regio's kunnen worden uitgerold, en evengoed ook op hbo- en mbo-niveau geïmplementeerd kunnen worden.

Advies

De reeks knelpunten die deze nota uiteenzet, hangen allemaal samen. Daarom is het van belang om te kijken naar oplossingen die de gehele keten van onderwijsaanbod, -organisatie en -instroom in acht nemen. Omdat wetenschappelijke ontwikkelingen op AI-gebied snel gaan en vele sectoren raken, is het voor de concurrentiepositie van Nederlandse bedrijven essentieel dat Nederland niet alleen bijblijft met AI-ontwikkelingen, maar ook leiding geeft.

Nieuwe initiatieven rondom publiek-private samenwerkingen zijn hiervoor essentieel. Ecosystemen waarin onderwijs, overheid en bedrijfsleven samenwerken zijn van belang om AI-onderwijs naar een hoger niveau te tillen. Het voornaamste advies van de werkgroep Scholing en Onderwijs is daarom: trek samen op. Dit vergt zowel regionale als nationale inspanningen.

Een tweede algemeen advies heeft betrekking op dataverzameling en -analyse. Cijfers over AI-onderwijs en de AI-arbeidsmarkt zijn momenteel vaak onderdeel van andere analyses, bijvoorbeeld van het ICT-veld of techniekonderwijs, terwijl AI als vakgebied daar niet volledig onder te scharen is. Verder merkt de werkgroep dat het overzicht van Nederlandse AI-activiteiten van bron tot bron verschilt. Dit maakt het lastig om bronnen te vergelijken en bijvoorbeeld de benodigde opleidingscapaciteit te becijferen.

Omdat dergelijke analyses dienen als basis voor besluitvorming en beleid, is het noodzakelijk om AI in toekomstige analyses te beschouwen als eigen veld. Eigen statistieken zijn daar onderdeel van, net als beter zicht op de AI-initiatieven die zich in Nederland ontplooien.

Aanvullend op de oplossingsrichtingen die in deze nota worden toegelicht, benadrukt de werkgroep de volgende adviezen voor de overheid, het onderwijs en het bedrijfsleven:

Overheid

- De behoefte aan AI-specialisten en domeinexperts met AI-vaardigheden is enorm. Investeer daarom in het vergroten van de publieke en private opleidingscapaciteit zodat voldoende mensen kunnen worden opgeleid, bijgeschoold en omgeschoold. Maak dat ook aantrekkelijker en laagdrempeliger.
- Vergroot ook de aantrekkingskracht van AI-posities in Nederland en investeer in het aantrekken en behouden van internationaal talent.
- Stimuleer samenwerking tussen onderwijsinstellingen en tussen onderwijsinstellingen en het bedrijfsleven.
- De diversiteit aan knelpunten, mogelijkheden en oplossingen vraagt om een evenwichtige verdeling van middelen. De oplossingsrichtingen in dit rapport kunnen dienen als vertrekpunt voor investeringen.

Onderwijs

- Ontwikkel AI-specialistisch onderwijs op alle niveaus. Verlies daarbij aandacht voor de ethische, juridische en maatschappelijke aspecten niet uit het oog, evenals de vaardigheden die nodig zijn om AI-oplossingen in samenwerking met andere domeinexperts naar de maatschappij te brengen.

- Zet tegelijkertijd in op AI-onderwijs in de breedte, zodat in vrijwel alle onderwijsprogramma's studenten in aanraking komen met AI.
- Let op de wisselwerking met de arbeidsmarkt: waar is behoefte aan? Samenwerking met het bedrijfsleven, bijvoorbeeld in de vorm van hybride docentposities en het betrekken van studenten bij publiek-private partnerschappen, kan daar richting aan geven.
- Zoek ook samenwerking met andere onderwijsinstellingen. Met name het ontwikkelen van doorlopende leerlijnen en het delen van onderwijsmateriaal is belangrijk.
- Let bij het ontwikkelen van nieuw lesmateriaal op schaalbaarheid, en op het maken van lesmateriaal wat eventueel ook te gebruiken is door docenten die zelf een (nog) weinig relevante achtergrond hebben.
- Stel een divers en inclusief onderwijsaanbod samen. Durf te onderzoeken welke didactische methoden hieraan bijdragen.
- Neem studenten en leerlingen mee in AI-ontwikkelingen om ze bewust te maken en de instroom te stimuleren. Begin vroeg met het stimuleren en interesseren van toekomstige studenten; dat start al op de basisschool en in het voortgezet onderwijs.

Bedrijfsleven

- Wees uitgesproken over de mogelijkheden van AI. Maak dit concreet naar de maatschappij, en dus naar mogelijke studenten, omscholers en bijscholers.
- Denk als een ecosysteem. Zoek samenwerking met de overheid en het onderwijs om het tekort aan geschikt personeel zo samen aan te pakken.

Samenvatting

Computerprogramma's die zich intelligent gedragen, oftewel Artificiële Intelligentie (AI), veranderen Nederland en de rest van de wereld. AI levert een belangrijke bijdrage aan maatschappelijke vraagstukken op het gebied van bijvoorbeeld de gezondheidszorg, het milieu, de energietransitie, landbouw en veiligheid. Daarnaast kan het de Nederlandse economie en onze welvaart en welzijn verbeteren.

Doorbraken in computerkracht, de beschikbaarheid van grote hoeveelheden gegevens en nieuwe wetenschappelijke inzichten hebben het grootschalig gebruik van AI-technieken in de 21e eeuw mogelijk gemaakt. AI neemt dan ook een centrale rol in binnen de informatie- en communicatietechnologie (ICT). Menselijk kapitaal staat echter centraal bij het succes van AI. Mensen met zowel computationele denkvaardigheden als relevante domeinkennis zijn nodig om nieuwe AI-technieken te ontwikkelen, te implementeren en te gebruiken, maar ook om de maatschappelijke en juridische aspecten ervan te begrijpen. Onderwijs en scholing spelen daarbij een cruciale rol.

De beleidsnota 'AI is mensenwerk' is afkomstig van de werkgroep Scholing en Onderwijs, een onderdeel van de Human Capital-werkgroep van de Nederlandse AI Coalitie (NL AIC). De werkgroep Scholing en Onderwijs analyseert in deze nota vier aan elkaar gerelateerde thema's: de Nederlandse ICT- en AI-arbeidsmarkt, het AI-onderwijsaanbod, de onderwijsorganisatie en de instroom en doorstroom van studenten en professionals. Voor elk van deze thema's worden de belangrijkste knelpunten geïdentificeerd en gekoppeld aan concrete oplossingsrichtingen. Ook geeft de beleidsnota enkele inspirerende voorbeelden uit de praktijk.

Thema 1: Arbeidsmarkt
De behoefte aan werknemers met computationele denkvaardigheden is groot. Dit is duidelijk zichtbaar in de ICT-sector: de sector met de krapste arbeidsmarkt van Nederland. Al vanaf 2016 classificeert het UWV deze arbeidsmarkt als krap tot zeer krap. Aan het eind van ieder kwartaal staan tussen de 11.400 en 18.400 vacatures open. De vraag is achtereenvolgens het grootst naar hbo-, mbo- en wo-geschoold personeel. Door deze tekorten ervaart 40% van de werkgevers een belemmering van hun zakelijke activiteiten. De behoefte aan ICT'ers bestaat echter in alle sectoren. Steeds meer beroepsgroepen buiten de ICT-sector vereisen ICT-vaardigheden, zoals bijvoorbeeld zorgberoepen.

De arbeidsmarkt vraagt niet alleen om meer mensen, maar ook om passender opgeleid personeel. Er is behoefte aan AI-experts met de juiste kennis en vaardigheden om AI-oplossingen in de praktijk te brengen. Andersom groeit ook de behoefte aan werknemers die, vanuit hun specifieke domein of sector, dankzij AI-kennis de verbinding kunnen maken met voor hen relevante AI-oplossingen.

Als belangrijkste doelstelling ziet de werkgroep het vergroten van het aantal instromers op de arbeidsmarkt met de juiste kennis en vaardigheden. Dit kunnen zowel AI/ICT-specialisten zijn als domeinspecialisten met AI-kennis. Deze oplossingen zijn grotendeels terug te voeren op het onderwijs- en scholingsaanbod en de organisatie daarvan. Naast het vergroten van de opleidingscapaciteit binnen het regulier onderwijs, spelen het niet-regulier onderwijs en private opleiders een belangrijke rol als het gaat om het bij- en omscholen van de huidige generatie werknemers.

Thema 2: Onderwijs- en scholingsaanbod
Het basisonderwijs richt zich op digitale geletterdheid van kinderen en kijkt daarbij naar ICT-basisvaardigheden, informatievaardigheden, mediawijsheid en computationeel denken. AI is nog geen op zichzelf staand onderdeel van digitale geletterdheid. AI-onderwijs is eveneens beperkt in het voortgezet onderwijs. Bij het vmbo is geen structurele aandacht voor AI-onderwijs. Binnen havo en vwo past AI-onderwijs bij een van de twaalf keuzethema's van het examenvak Informatica, namelijk het thema *Cognitive Computing*.

AI is in het regulier middelbaar en hoger onderwijs momenteel hoofdzakelijk verankerd in AI/ICT-specifieke opleidingsprogramma's. Over het AI-onderwijs binnen andere opleidingen is minder bekend. Op universiteiten kunnen studenten AI-onderwijs volgen in specifieke AI-opleidingen of in informaticaopleidingen op zowel bachelor- als masterniveau. Hiernaast bieden een aantal universiteiten ook AI-minoren aan. Het hbo biedt AI-onderwijs vooral aan in de sector Hoger Technisch en Natuurkundig onderwijs, in het bijzonder in de domeinen HBO-i, Creative Technologies en Engineering. Hoewel binnen het mbo een divers scala aan ICT-opleidingen bestaat, is er geen structurele aandacht voor AI.

De enorme vraag naar AI-geschoold personeel biedt ook een voedingsbodem voor private opleidingsinitiatieven, al dan niet in samenwerking met publieke partners of het bedrijfsleven. De opleidingen onderscheiden zich op basis van inhoud en aanpak, maar ook met opzet, opleidingsduur, instroomeisen en kosten. Een belangrijk deel van deze opleidingen beschikt niet over een onderwijsaccreditatie maar werkt soms met bedrijfs-, software- of trainingsaccreditatie.

Knelpunten en oplossingen liggen op het vlak van de inhoud van opleidingen, die beter kan aansluiten bij de vraag van de arbeidsmarkt. AI-experts moeten op alle niveaus worden opgeleid en meer vaardigheden krijgen om AI in de praktijk te brengen, waar ook interdisciplinair werken en het omgaan met juridische en ethische randvoorwaarden bij horen. Meer en intensiever samenwerken met bedrijven kan hier een betekenisvolle bijdrage aan leveren.

Anderzijds moet het AI-onderwijsdeel in andere opleidingen vergroot worden. Daaronder vallen opleidingen op het vlak van bijvoorbeeld geneeskunde of economie, maar ook de basisschool en het voortgezet onderwijs. Mensen maken zo al vroeg kennis met AI, wat bijdraagt aan de digitale geletterdheid en kan leiden tot het vergroten van de instroom. Op het gebied van niet-regulier en privaatonderwijs is behoefte aan inzicht en accreditatie van het aanbod, om tegemoet te komen aan de grote vraag naar bij- en omscholing van uiteenlopende beroepsgroepen.

Thema 3: Onderwijsorganisatie
Het onderwijs heeft moeite om de vraag naar AI-afgestudeerden bij te benen. In 2018 formuleerde AINED een versnellingsdoel voor de nationale AI-strategie: een verdubbeling van het aantal opleidingsplekken binnen 5 jaar. Tussen 2018 en 2019 stagneerde de instroom echter. De vraag naar AI-opleidingen is zo groot dat een aantal wo-programma's noodgedwongen een numerus fixus heeft ingevoerd. Tegelijkertijd vraagt de arbeidsmarkt over de volle breedte om meer mensen dan momenteel opgeleid worden. De werkgroep ziet het tekort aan AI-docenten als grootste belemmering bij het vergroten van de onderwijscapaciteit. Door de krappe ICT-arbeidsmarkt is het ook voor onderwijsinstellingen moeilijk om docenten te vinden. Deze docenten zijn ook nodig voor het integreren van AI in onderwijscurricula.

Efficiëntie is een tweede punt van zorg, waarvan de urgentie wordt onderstreept door het personeelstekort. Veel van het huidige onderwijsaanbod is ontwikkeld voor een specifieke context, waardoor het moeilijk in te zetten is voor grote aantallen studenten. Structurele samenwerking (op het gebied van bijvoorbeeld aansluiting in de onderwijsketen, aansluiting van curricula en het delen van onderwijsmateriaal) kan ook bijdragen aan efficiëntie, maar is nog onvoldoende op gang gekomen.

Om het docenttekort tegen te gaan, is het noodzakelijk om het aantal aanstellingen te vergroten, de aanstellingsmogelijkheden te diversificeren en het vestigingsklimaat voor docenten te verbeteren. Behalve concurreren op de arbeidsmarkt ziet de werkgroep ook een oplossing in het samenwerken met bedrijven, bijvoorbeeld door het creëren van hybride docentschappen. Dit versterkt ook de gewenste verbintenis tussen het onderwijs en het bedrijfsleven. Daarnaast zijn breed toegankelijke om- en bijscholingstrajecten voor (aanstaande) docenten nodig, en kan worden gekeken naar initiatieven waar minder of zelfs geen docenten bij betrokken zijn.

Andere belangrijke oplossingsrichtingen zijn het vermeerderen en verbeteren van initiatieven voor de opschaling van AI-onderwijs, zoals online leervormen en oplossingen voor het efficiënt toetsen van grote groepen. Om opleidingen beter aan te laten sluiten en doorlopende leerlijnen te realiseren is meer samenwerking nodig. Dat moet niet alleen aan onderwijsinstellingen zelf worden overgelaten: (keten)samenwerking dient actief gestimuleerd en geagendeerd te worden.

Thema 4: Instroom en doorstroom

Het laatste aandachtsgebied richt zich op iedereen met de potentie om het AI-(gerelateerd) onderwijs in te stromen en de Nederlandse arbeidsmarkt op te gaan. Binnen deze groep mensen is diversiteit essentieel, omdat AI-ontwikkelingen implicaties hebben voor vrijwel iedereen in de maatschappij. Daarnaast is het van belang om de instroom te vergroten wanneer ook de opleidingscapaciteit en de kwaliteit van het aanbod omhoog gaat. Tot slot is het belangrijk dat nationaal én internationaal AI-talent dat in Nederland opgeleid wordt, behouden blijft voor de Nederlandse arbeidsmarkt.

De AI-gerelateerde hogere opleidingen richten zich op havo- en vwo-scholieren met een Natuur & Techniek-profiel. Het aantal scholieren met een dergelijk profiel nam tussen 2014 en 2018 toe. In dezelfde periode steeg het aantal inschrijvingen voor hbo- en wo-masteropleidingen procentueel gezien nog veel sneller. Het percentage internationale instroom ligt momenteel op ongeveer een kwart. Vijf jaar na afstuderen verblijft tussen de 10% en 43% van de internationale hbo- en wo-techniekstudenten nog in Nederland. Wat diversiteit betreft, valt het de werkgroep op dat momenteel veel meer mannen dan vrouwen een AI-opleiding volgen. Dit is mogelijk te wijten aan een imagoprobleem van deze opleidingen en beroepsgroep, maar kan ook te maken hebben met de didactische methoden die veel worden ingezet binnen het ICT-onderwijs.

De werkgroep ziet een oplossing in het vergroten van de inspanningen om scholieren te inspireren en enthousiasmeren voor AI-opleidingen. Daarbij moet speciale aandacht worden geschonken aan methoden die divers en inclusief zijn. De werkgroep merkt op dat dit proces al jong moet beginnen, namelijk op de basisschool en in het voortgezet onderwijs. Het streven naar een divers en inclusief onderwijsaanbod dient verder in alle lagen van het onderwijs terug te komen. Doorstroom wordt bevorderd door betere aansluiting en meer samenwerking binnen de onderwijsketen, en een schakelprogramma voor scholieren met een alfa- of gamma-profiel kan de instroom verder vergroten en verbreden. Het realiseren van een onderwijsaanbod op het mbo en hbo, gericht op een brede doelgroep, moet bijdragen aan het accommoderen van deze grotere instroom. Tot slot moet aandacht worden geschonken aan het aantrekken en behouden van internationale studenten, door obstakels

weg te nemen op het gebied van regelgeving en taalbarrières en door ze vroegtijdig kennis te laten maken met de Nederlandse arbeidsmarkt.

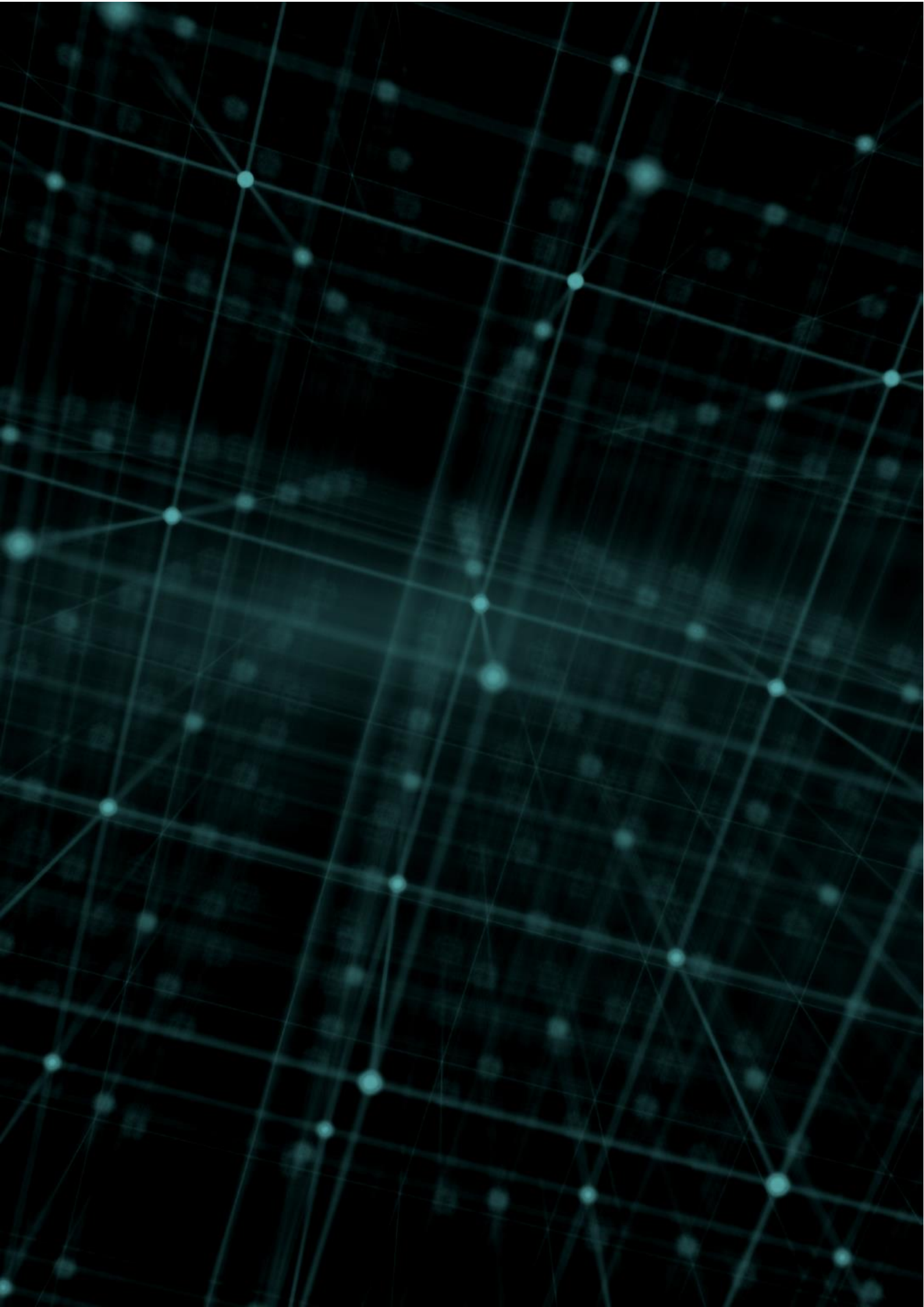
Advies
In aanvulling op de knelpunten en oplossingen richt de beleidsnota adviezen specifiek aan de overheid, het onderwijs en het bedrijfsleven. Daarnaast zijn twee algemene adviezen opgenomen.

Algemeen advies I: betere cijfers geven nog beter zicht
De werkgroep constateert dat cijfers over AI-onderwijs en de AI-arbeidsmarkt veelal onderdeel zijn van totaalanalyses van bijvoorbeeld het ICT-veld of techniekonderwijs. Daarnaast gebruiken verschillende bronnen verschillende overzichten van Nederlandse AI-activiteiten, wat het moeilijk maakt om cijfers te vergelijken en behoeften concreet te maken. Dergelijke analyses vormen echter vaak de basis van besluitvorming en beleid. Daarom is het belangrijk om AI in toekomstige analyses als eigen veld te onderzoeken. Belangrijke voorwaarden daarvoor zijn AI-specifieke cijfers en beter zicht op Nederlandse AI-initiatieven.

Algemeen advies II: trek samen op, bouw aan ecosystemen
De knelpunten die deze nota uiteenzet, hangen vrijwel allemaal samen. Het is daarom van belang om naar oplossingen te kijken die de hele keten van instroom tot arbeidsmarkt in acht nemen. De diversiteit aan knelpunten én oplossingen vergt een doelmatige en evenwichtige verdeling van middelen.

De huidige uitdagingen vragen om nieuwe initiatieven op het gebied van publiek-private samenwerking. Ecosystemen waarin onderwijs, overheid en verschillende sectoren uit het bedrijfsleven samenwerken, zijn essentieel voor het doeltreffend opleiden en scholen van studenten en reeds werkzame mensen. Een dergelijke aanpak kan AI-onderwijs naar een hoger niveau tillen en zo bijdragen aan een gezonde arbeidsmarkt, die de Nederlandse AI-ambities waar kan maken. Hiervoor zijn nationale en regionale inspanningen nodig.

De NL AIC Human Capital-werkgroep gaat hier in samenwerking met partners werk van maken, en roept iedereen die het AI-onderwijs en de Nederlandse AI-ambities steunt op om zich aan te sluiten bij de oplossingsrichtingen in deze beleidsnota.



Bijlagen

Bijlage 1: De NL AIC Human Capital-subwerkgroep Scholing en Onderwijs 50

Bijlage 2: Literatuur- en verkennend onderzoek 52

Bijlage 2.1: Analyse bij thema Arbeidsmarkt.....52

Bijlage 2.2: Analyse bij thema Onderwijs- en scholingsaanbod 58

Bijlage 2.3: Analyse bij thema Onderwijsorganisatie 64

Bijlage 2.4: Analyse bij thema Instroom en doorstroom 66

Bijlage 2.5: Referentielijst 69

Bijlage 3: Lijst met veelgebruikte afkortingen.....73

Bijlage 4: Competentieprofielen hbo.....74

Bijlage 5: Overzichten vanuit het wo 79

5.1 Overzicht vier categorieën van kennis in de universitaire bacheloropleidingen volgens KION ...79

5.2 Cijfers wo-instroom in ICT, waaronder AI.....80

5.3 Cijfers behaalde wo-diploma's, waaronder AI 82

Bijlage 1: De NL AIC Human Capital-subwerkgroep Scholing en Onderwijs

De NL AIC Human Capital-subwerkgroep Scholing en Onderwijs wordt voorgezeten door Willem-Paul Brinkman van de TU Delft. Over een periode van bijna een jaar hebben werkgroepdeelnemers uit bedrijven en onderwijsinstellingen om de twee weken met elkaar gesproken over AI-onderwijs en -scholing in Nederland. Aan de hand van gesprekken en onderzoek maakte de werkgroep een initiële inventarisatie van knelpunten.

Deze lijst van knelpunt heeft de werkgroep vervolgens opgedeeld in vier knelpuntthema's:

- Arbeidsmarkt
- Onderwijs- en scholingsaanbod
- Onderwijsorganisatie
- Instroom en doorstroom

Knelpuntweging
De werkgroepleden is tegen het einde van het proces gevraagd om anoniem en fictief 100 euro te verdelen over de knelpunten binnen elk thema. Welk deel van het geld zouden ze in welk knelpunt investeren? Dit is door 18 van de 28 werkgroepleden gedaan. De weging die daaruit volgde (Tabel 2) is gebruikt om de knelpunten te ordenen van meest naar minst urgent in de knelpunt- en oplossingsmatrices in deze nota.

Auteurs en schrijfproces
Deze beleidsnota is tot stand gekomen door een actieve bijdrage van de volgende werkgroepleden:

Frank Peters, Breda University of Applied Sciences
Frank Thuijsman, Universiteit Maastricht
Katrien de Witte, Hogeschool van Amsterdam
Krijn Hoogendorp, MBO College Amstelland (ROC van Amsterdam)
Myrna van de Water, Hogeschool Rotterdam
Nieke Campagne, VSNU
Niels Taatgen, Rijksuniversiteit Groningen
Renate van Oosten- van Hout, Fontys Hogescholen
Roos Peters, Codam Coding College
Willem-Paul Brinkman, TU Delft

De conceptversie van deze nota is gedeeld met een brede achterban van de werkgroep. De feedback die hieruit volgde is tijdens een revisieronde waar mogelijk overgenomen. De eindredactie is gedaan door Dieudonnée van de Willige en Claire van Doorn (beiden Universiteit Maastricht).

Thema 1: Arbeidsmarkt		
1.	Tekort aan goed geschoolde AI-specialisten	31
2.	Tekort aan niet-AI-specialisten met AI-kennis	22
3.	Tekort aan bestuurders, managers, beleidsmakers met AI-kennis	19
4.	Tekort aan AI-specialisten met domein kennis en ondernemersvaardigheden	18
5.	Opgeleide AI-specialisten kunnen AI-kennis nog niet goed toepassen in een bedrijf	10
Thema 2: Onderwijsaanbod		
1.	Weinig mogelijkheden om AI-kennis en vaardigheden te ontwikkelen in niet-AI gerelateerde onderwijsprogramma's	21
2.	Beperking onderwijsplekken in aanbod	17
3.	Weinig transparantie in reguliere AI-onderwijs aanbod	16
4.	Weinig aandacht voor toepassen van AI-kennis en vaardigheid in organisaties	15
5.	Weinig transparantie en bekendheid van niet-reguliere AI-onderwijs aanbod (LLO Leven Lang Ontwikkelen), inclusief kwaliteit en standaardisatie	13
6.	Weinig aandacht voor interdisciplinair werken binnen AI-opleidingen	10
7.	Weinig aandacht voor ethisch, juridisch, en maatschappelijke aspect van AI in het onderwijs	8
Thema 3: Onderwijsorganisatie		
1.	Tekort aan docenten die AI kunnen doceren in voortgezet onderwijs (HAVO, VWO), middelbaar beroepsonderwijs (MBO), en hoger onderwijs (HBO, WO)	37
2.	Weinig AI-curricula-afstemming tussen onderwijsinstellingen in de hele onderwijsketen	20
3.	Tekort aan schaalbaar onderwijs om onderwijs aan grote studenten aantal aan te bieden	17
4.	Weinig kennisuitwisseling en samenwerking in de onderwijsketen	15
5.	Tekort aan lesmateriaal over AI	10
Thema 4: Instroom (studenten en leerlingen)		
1.	Imagoprobleem, weinig meisjes en vrouwen die AI-gerelateerde opleiding kiezen	65
2.	Internationale talenten komen niet of blijven kort na afstuderen	35

Tabel 2. Relatieve weging van knelpunten per thema naar aanleiding van de uitvraag bij de werkgroep.

Noot. De hiergenoemde knelpunten zijn de oorspronkelijk geformuleerde knelpunten. De knelpunten die in de beleidsnota zijn opgenomen, werden in een latere fase aangescherpt aan de hand van feedback. Daardoor zijn sommige knelpunten anders geformuleerd of onder een ander thema geschaard en komen ze dus niet meer volledig overeen. Bij het ordenen van de knelpunt- en oplossingsmatrices is de oorspronkelijke weging zoveel mogelijk overgenomen.

Bijlage 2: Literatuur- en verkennend onderzoek

Deze bijlage beschrijft de huidige situatie, op basis van de AI-arbeidsmarkt en vacatures, het onderwijsaanbod op het gebied van AI, de huidige vraag naar AI-onderwijs en de huidige knelpunten en uitdagingen. Op basis van deze analyse identificeren we in deze beleidsnota mogelijkheden en kansen om het tekort aan AI-personeel te verminderen.

Bijlage 2.1: Analyse bij thema Arbeidsmarkt

De huidige ICT-arbeidsmarkt
In 2019 waren in totaal 520.000 ICT'ers werkzaam in Nederland. Dit is ongeveer 5,8% van de beroepsbevolking, waarbij het grootste deel (58%) werkt in de ICT-sector zelf. De meeste ICT'ers hebben een hbo- (34%) of een wo-vooropleiding (29%), en een kleinere groep heeft mbo (21%) of basis/voortgezet onderwijs (16%) als vooropleiding. Bij 73% van de wo-opgeleiden betreft dit geen ICT-vooropleiding, in verhouding tot 54% bij hbo-opgeleiden en 46% bij mbo-opgeleiden. [4]

De behoefte aan ICT-specialisten is groot: het UWV geeft aan dat in 2018 er bijna 57.000 ICT-vacatures waren.[6] De meest gevraagde beroepscategorieën zijn applicatieprogrammeurs, systeembeheerders, systemanalisten, leidinggevende functies op ICT-gebied en ICT-technici voor gebruikersondersteuning.[20] In het tweede kwartaal van 2019 geeft 24% van werkgevers aan belemmering te ervaren in hun zakelijke activiteiten door een tekort aan personeel, in tegenstelling tot werkgevers in de ICT-dienstverlening, waar dit percentage op 40% zit. Deze krapte is merkbaar in alle regio's in Nederland. Waar in 2018 de zeer krappe ICT-arbeidsmarkt zich vooral openbaarde in midden-Nederland (rondom de grote steden), heeft dit zich in 2019 uitgebreid naar alle regio's in Nederland.[6] Krapte aan ICT'ers is niet alleen een Nederlands probleem. In 2017 heeft meer dan de helft van bedrijven in de EU problemen met het vervullen van vacatures voor ICT-specialisten.[21]

De huidige AI-arbeidsmarkt
Er is op dit moment nog geen informatie beschikbaar over het aantal mensen dat werkzaam is in een AI-beroep. Pr-eDICT heeft wel informatie beschikbaar kunnen stellen over vacatures in AI. Zij hebben hierbij gekozen om AI en Data Science samen te nemen, omdat volgens hen het onderscheid niet altijd even goed te maken is. In 2017 waren er 3.891 vacatures in AI- en Data Science binnen de ICT. In 2018 is dit aantal verder gestegen naar 4.397. In 2019 stond dit aantal op 4.386.[10]

Waar krapte aan ICT-personeel al jarenlang een vraagstuk is, is het tekort aan AI-personeel een vraagstuk van de laatste jaren.

De huidige vraag naar ICT- en AI-opgeleiden
Om goed in kaart te kunnen brengen wat de huidige vraag is naar ICT- en AI-opgeleiden, maken we gebruik van een zevental bronnen, te weten:

A. Het adviesrapport "Wissels om" van de Adviescommissie Bekostiging Hoger Onderwijs en Onderzoek (2019);

[20]CA-ICT (2020) Expertisecentrum Digitalisering ICT. *Vacatures.* Geraadpleegd via https://pr-edict.nl/ict-vacatures#
[21]Eurostat (2018). *ICT specialists - statistics on hard-to-fill vacancies in enterprises.* Geraadpleegd via https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=ICT_specialists_-_statistics_on_hard-to-fill_vacancies_in_enterprises

B. Cijfers van het Techniekpact;
C. Informatie van het Research Centre for Education and Labour Market (ROA);
D. UWV-cijfers;
E. Onderzoek door LinkedIn;
F. Informatie van de vacaturesite Indeed.nl;
G. Het Brainport Future Skills-onderzoek 2020.

Deze bronnen tonen een toenemende mate van detaillering: van vraag naar technisch opgeleiden (bron A), via vraag naar ICT-mensen (bron B, C en D) naar vraag naar data- en AI-specialisten (bron E en F). Het beroepsprofiel van ICT'ers vereist zowel meer kennis als vaardigheden op gebied van AI (Bron G).

A. De Adviescommissie Bekostiging Hoger Onderwijs en Onderzoek

De Adviescommissie Bekostiging Hoger Onderwijs en Onderzoek schrijft in hun rapport dat de arbeidsmarktvraag naar bètatechniek groot is, en dat de behoefte aan hoger opgeleide technici in deze sector de komende jaren alleen maar verder zal toenemen. In het rapport wordt benoemd dat er een mismatch is tussen de vraag naar afgestudeerden en de lage uitstroom van bèta-technisch opgeleiden: "*Tot 2020 is de arbeidsmarktvraag naar hoger opgeleiden in de bètatechniek bijna twee keer zo groot als de uitstroom van bètatechniek opleidingen. In de periode 2018-2022 is er in wo-techniek een tekort van bij 34.000 bètatechniekstudenten, in het hbo-techniek een tekort van rond de 64.000 studenten. In zowel hbo als wo is techniek de grootste tekortsector.*" Volgens de Adviescommissie is zijn deze tekorten slecht voor de Nederlandse economie.[22]

Daarnaast refereert het rapport aan een onderzoek van het Rathenau Instituut[23], waaruit blijkt dat Nederland ten opzichte van andere landen een uitzonderlijk laag aantal afgestudeerden en gepromoveerden in bètatechniek kent: *"Nederland laat met 11,5 op 1000 alleen Luxemburg achter zich op de lijst met referentielanden*."

B. Cijfers van het TechniekPact

De Techniekpactmonitor bevestigt de arbeidsmarkttekorten in de technieksector: "*Tussen 2013 en 2018 is het aantal personen met een ict baan met 81.000 gestegen; daarvan zijn er 62.000 software- en applicatieontwikkelaars. Het percentage personen met een ict-beroep onder de totale werkzame beroepsbevolking is toegenomen van 3,8% in 2013 tot 4,6% in 2018. Het aantal ict-vacatures is tussen het eerste kwartaal van 2016 en laatste kwartaal van 2018 toegenomen van ongeveer 11.100 tot 15.000, een stijging van 36%.*"[24]

C. Informatie van het Research Centre for Education and Labour Market (ROA)

In het rapport dat opgesteld is door het Researchcentrum voor Onderwijs en Arbeidsmarkt (ROA) wordt gesteld dat de perspectieven voor 2019-2024 voor recent gediplomeerden over het algemeen goed zijn, ondanks dat de economische groei stabiliseert. Daarin geeft het ROA wel aan dat er tussen de verschillende opleidingsniveaus en -richtingen grote verschillen zijn, waarbij meestal geldt dat de arbeidsmarktperspectieven voor hogere opleidingsniveaus beter zijn. Specifiek hebben afgestudeerden

[22] Adviescommissie Bekostiging Hoger Onderwijs en Onderzoek (2019). *Wissels om, Naar een transparante en evenwichtige bekostiging, en meer samenwerking in hoger onderwijs en onderzoek.* Geraadpleegd via https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2019/05/01/bekostiging-hoger-onderwijs-en-onderzoek-wissels-om
[23] Rathenau Instituut (2018). Aantal gediplomeerden bèta en techniek in het hoger onderwijs internationaal vergeleken: Factsheet. Geraadpleegd via https://www.rathenau.nl/nl/wetenschap-cijfers/output/promoties-en-masters/aandeel-gediplomeerden-beta-en-techniek-het-hoger
[24] Techniekpactmonitor (2019). *Highlights 2019.* Geraadpleegd via https://www.techniekpact.nl/cdi/files/3a8c587b3fbb8b0367fccbd8801efbaf44258878.pdf

op het gebied van techniek en ICT, onderwijs en gezondheidszorg op bachelor- en masterniveau de beste vooruitzichten. Deze positieve vooruitzichten zijn toe te schrijven aan de toenemende digtalisering van deze sectoren.[25]

Daarnaast wordt in dit rapport ook de verwachting uitgesproken van een jaarlijkse groei van werkgelegenheid: *"Een grote groei wordt verwacht voor […] informatie en communicatie (3,1% tot 2024, was 1,4% tot 2022) […] De groei voor de komende zes jaar ligt op hetzelfde niveau als het langjarige gemiddelde, namelijk op 0.9%, ditmaal met de zorg en welzijn beroepen bovenaan de lijst van sterkste groeiers (2,2%), gevolgd door de creatieve en taalkundige beroepen (1,6%) en de ICT-beroepen (1,3%)"*. Het rapport trekt de conclusie dat ook voor ICT-beroepen geldt dat, voor meer dan 80% van de onderliggende vraag, grote tot zeer grote knelpunten worden verwacht. Dit geldt dan voornamelijk voor de (hoger geschoolde) beroepen zoals software- en applicatieontwikkelaars en databank-netwerkspecialisten.[25]

ROA-cijfers met betrekking tot het ICT-arbeidsmarktperspectief[26] kunnen als volgt worden samengevat:

- De uitbreidingsvraag naar hbo- en wo-afgestudeerden met een informatica-achtergrond is hoog;
- De vervangingsvraag is gemiddeld, het ROA geeft als verklaring de gemiddeld lage leeftijd van deze beroepsgroep;
- Het ROA meldt over de periode 2019-'24 een verwachting van ca. 29.100 vacatures voor hoger (hbo- en wo-)opgeleide informatici tegenover slechts 23.400 afstudeerders. Daarmee zou ruim 20% van die vacatures niet ingevuld kunnen worden. Knelpunten in de personeelsvoorziening worden daarom door het ROA als groot aangeduid, de arbeidsmarktsituatie in 2024 als goed;
- In deze cijfers zijn geen ontwikkelingen meegenomen als de opkomst van Artificiële Intelligentie;
- Het tekort op de arbeidsmarkt kan nog versterkt worden door het tekort aan wo'ers: invullen van deze vacatures door hbo'ers lijkt voor werkgevers een logisch alternatief. Bovendien stroomt een deel van de bachelor-afgestudeerden door naar een wo-master.

Bovendien concluderen Fouarge, Bakens, & Bijlsma op basis van diverse onderzoeken dat schoolverlaters met een technische achtergrond vaak werkzaam zijn in andere beroepen dan in de technische- of ICT-sector.[27] Om die reden is de schatting van het toekomstige tekort aan ICT-personeel waarschijnlijk aan de conservatieve kant.

D. UWV-cijfers

In de factsheet ICT-beroepen 2019 wordt beschreven dat de tekorten in ICT-beroepen verder toenemen. In 2018 stonden bijna 57.000 ict-vacatures open, een stijging van 7% ten opzichte van 2018. Het aantal vacatures voor 2019 zal naar verwachting nog hoger uitkomen. Geen enkele andere beroepsgroep kent zo'n sterke mate van krapte.[6]

De krapte is volgens het rapport met name zichtbaar op hogere niveaus: *"78% van de moeilijk vervulbare vacatures is gericht op hbo'ers."* Volgens het UWV wordt deze behoefte aan hoogopgeleide ICT'ers bevestigd door een analyse van Dialogic: *"In 70% van de ict-vacatures in 2018 was minimaal*

[25] Bakens, J., Bijlsma, I., Dijksman, S. & de Lombaerde, M.B. (2019). *De arbeidsmarkt naar opleiding en beroep tot 2024.* Geraadpleegd via https://cris.maastrichtuniversity.nl/en/publications/de-arbeidsmarkt-naar-opleiding-en-beroep-tot-2024
[26] Researchcentrum voor Onderwijs en Arbeidsmarkt (z.d.). *AIS tot 2024.* Geraadpleegd via http://roastatistics.maastrichtuniversity.nl/AIS/prognoseOPL.aspx
[27] Fouarge, D., Bakens, J., & Bijlsma, I. (2018). *Aansluiting Technisch Onderwijs en de Arbeidsmarkt. Research Centre for Education and the Labour Market.* Geraadpleegd via https://cris.maastrichtuniversity.nl/en/publications/aansluiting-technisch-onderwijs-en-de-arbeidsmarkt

hbo als opleidingseis opgenomen. Zo'n 20% van de vacatures was geschikt voor mbo'ers en in 10% van de vacatures werd gevraagd naar een kandidaat met een wo-diploma."[6]

In het rapport 'Moeilijk vervulbare vacatures: landelijk overzicht van beroepen' wordt geconstateerd: *"Organisaties worden daarnaast steeds meer 'data-driven' in hun contacten met klanten of gebruikers en in hun bedrijfsprocessen. Er wordt steeds meer data verzameld en omgezet in onder andere managementinformatie. Dit leidt tot een grote vraag naar datawarehouse ontwikkelaars, data-scientists of BI-specialisten".* Het rapport benoemt daarbij dat het tekort aan hoogopgeleide ICT'ers voorlopig nog niet is opgelost: "*Tot 2022 verwacht het ROA (zeer) grote knelpunten in de personeelsvoorziening voor software- en applicatieontwikkelaars en databank- en netwerkspecialisten. Hoewel het aantal studenten informatica de laatste jaren stijgt, is dit nog onvoldoende om de gaten op te vullen.*" [28]

Het UWV concludeert dat de vereiste kennis in de ICT vaak heel specifiek is. Er wordt van ICT'ers verwacht dat ze zich kunnen aanpassen aan de snel veranderende arbeidsmarkt. Daarnaast moeten zij hun kennisniveau continu op peil houden en worden algemene kennis en sociale vaardigheden steeds relevanter. UWV stelt: *"In de ICT tekent zich een duidelijke kwalitatieve mismatch af. Zoals gezegd is de vereiste kennis in de ict vaak specialistisch. Tegelijkertijd is er behoefte aan ict'ers met inzicht in bedrijfsprocessen, en communicatieve en sociale vaardigheden."*[6]

E. LinkedIn onderzoek

LinkedIn publiceert jaarlijks de lijst 'The skills companies need most'. Dit is een ranking die vastgesteld wordt door te kijken naar vaardigheden die veel gevraagd zijn (uit een lijst van 50.000) in verhouding tot hun aanbod. In de lijst van 2020 staat *Artificial Intelligence* op de vierde plek van meest gevraagde *hard skills*.[9] In 2019 stond AI nog op de tweede plek.[8]

F. Informatie van de vacaturesite Indeed.nl

De zoekopdrachten "Artificial Intelligence", "Data Scientist" en "Data Engineer" op de vacaturesite van Indeed op 5-11-2019 leverde respectievelijk 753, 989 en 3.437 vacatures op. Een tweede bezoek op 12-11-2019 leverde respectievelijk 86, 111 en 380 nieuwe vacatures op. Een analyse van een vijftigtal van deze vacatures leert dat slechts in een beperkt aantal gevallen (13/50) een wo-opleiding vereist is, overige functies kunnen ook door juist opgeleide hbo'ers ingevuld worden.

G. Brainport Future Skills Onderzoek 2020

Het Brainport Future Skills-onderzoek laat zien dat ICT-beroepen inhoudelijk aan verandering onderhevig zijn en dat artificial intelligence een vast onderdeel wordt van het zogenaamde beroeps DNA van ICT'ers. Ook voor andere beroepen worden steeds vaker digitale kennis en vaardigheden gevraagd, zoals voor zorgberoepen.[7]

Het onderzoek beveelt ook aan om leerlingen in het voortgezet onderwijs al vroeg kennis te laten maken met programmeren, om ze zo voor te bereiden op de behoeften van de arbeidsmarkt.

De toekomstige AI-arbeidsmarkt

Het is nog niet volledig duidelijk welk effect AI de komende jaren op de arbeidsmarkt zal hebben. In het rapport 'The economics of artificial intelligence: Implications for the future of work' stelt de International Labour Organization dat de komst van AI zowel angst als positieve hoop creëert. Mensen zijn angstig dat AI banen gaat innemen, maar tegelijkertijd zien zij ook de positieve effecten van AI,

[28]UWV (2019). Moeilijk vervulbare vacatures – landelijk overzicht van beroepen. Geraadpleegd via https://www.uwv.nl/overuwv/Images/moeilijk-vervulbare-vacatures-2019.pdf

zoals het verminderen van administratieve taken.[29] De verwachte impact van AI is groot: Zuid-Holland verwacht bijvoorbeeld dat 100.000 banen beïnvloed zullen worden door het toepassen van AI in de Nederlandse topsectoren.[30]

60% van de Nederlandse bedrijven is ervan overtuigd dat AI een (zeer) groot effect gaat hebben op zowel hun *core business* als de ontwikkeling van nieuwe marktsegmenten, toont de rapportage 'Artificial Intelligence in Europe: The Netherlands. Outlook for 2019 and beyond' van EY aan.[12] EY onderscheidt acht kerncompetenties die nodig zijn om op deze impact van AI in te kunnen spelen, waarbij *advanced analytics* en *data management* als meest belangrijke competenties gezien worden.

Daarnaast beveelt EY bedrijven aan *"to hire new skills ahead of the curve or focus relentlessly on training existing talent"* om op de impact van AI in te kunnen spelen. [12] Anders lopen zij het risico dat zij te laat zijn om de juiste capaciteiten in huis te halen.

Specifieke aandacht is verder nodig voor het bijscholen van managers op het gebied van AI. De survey onder 269 bedrijven, waaronder 22 in Nederland, laat zien dat AI een belangrijk onderwerp is van strategisch tot op operationeel managementniveau. Vooral op Executive managementniveau speelt de behoefte: op dit niveau stond AI bij 73% van ondervraagde bedrijven op de agenda.[12] Omdat managers sturing geven aan AI initiatieven in de organisatie is het van belang dat zijn kennis hebben over AI. De vraag naar managers met ICT-vaardigheden neemt toe. In de regio Eindhoven werden in 2010 werden gemiddeld zo'n 1,4 ICT-vaardigheden gevraagd in managementvacatures. In 2019 nam dit toe tot net geen 2 ICT-vaardigheden.[7]

De vraag naar AI-professionals zal ook in de toekomst blijven toenemen
Het Strategisch Actieplan Artificiële Intelligentie, opgesteld door het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, stelt dat: *"Zelfs als alle capaciteitsproblemen van dit moment worden opgelost en het aantal afgestudeerden doorgroeit, zal niet kunnen worden voldaan aan de enorme vraag naar AI-deskundigen en dataprofessionals."* Het rapport stelt dat aanvullende maatregelen nodig zijn, waaronder "*het stimuleren van jongens en meisjes om te kiezen voor ICT-opleidingen, het aantrekken van buitenlands talent en het omscholen van werknemers uit krimpsectoren. Ook bedrijven kunnen helpen door mee te investeren en capaciteit vrij te maken voor het onderwijs".*[31]

Het rapport 'Strategische Agenda Hoger Onderwijs en Onderzoek' bevestigt deze toenemende behoefte aan mensen met technische vaardigheden (digitale vaardigheden, data analyse en onderzoeksvaardigheden). Volgens het rapport zal deze behoefte tot 2030 nog sterk toenemen.[1]

Ook AINED herkent de gesignaleerde behoefte in het rapport 'AI voor Nederland: Vergroten, versnellen, verbinden': "*Het merendeel van de Nederlandse bedrijven herkent de potentiële impact van AI op hun eigen activiteiten en geeft aan dat de inzet van AI prioriteit moet krijgen. We zien dat een aantal Nederlandse bedrijven serieus inzetten op AI. Daarentegen bevinden de AI-activiteiten zich bij de meeste bedrijven nog in de plannings- of pilotfase, en meer in de periferie dan in de kern."*

---

[29] Ernst, E., Merola, R., & Samaan, D. (2018). *The economics of artificial intelligence: Implications for the future of work.* Geraadpleegd via: https://www.researchgate.net/publication/328353684_The_economics_of_artificial_intelligence_Implications_for_the_future_of_work
[30] Franken, T. (2020). *AI-rapport: groeiende impact AI op de Nederlandse economie.* Geraadpleegd via https://www.innovationquarter.nl/ai-rapport-groeiende-impact-ai-in-nederland-zuid-holland-speelt-belangrijke-rol/
[31] Ministerie van Economische Zaken (2019). Het Strategisch Actieplan Artificiële Intelligentie. Geraadpleegd via https://www.rijksoverheid.nl/documenten/beleidsnotas/2019/10/08/strategisch-actieplan-voor-artificiele-intelligentie

AINED concludeert hierbij dat het bedrijfsleven kan worden geholpen met meer kennis, meer talent, bruikbaardere data, en met heldere en behulpzame regelgeving.[2]

Kanttekeningen bij het onderwijs- en scholingsaanbod
AINED rapporteert verder dat het onderwijs- en scholingsaanbod niet voldoende aansluit bij de vraag vanuit de arbeidsmarkt. Het rapport 'AI voor Nederland: Vergroten, versnellen verbinden'[2] constateert dat

- Diepgaand bijscholingsaanbod op het gebied van AI amper bestaat;
- Het profiel van academische afstudeerders onvoldoende aansluit op de vraag vanuit bedrijven, namelijk om mensen die AI-kennis koppelen aan businessmodellen.

Bijlage 2.2: Analyse bij thema Onderwijs- en scholingsaanbod

Om een goed beeld te krijgen van de huidige uitdagingen binnen het AI-onderwijs in Nederland, is het van belang om in kaart te brengen wat het huidige aanbod van AI-onderwijs in Nederland is. Dit kan vervolgens worden vergeleken met de huidige vraag naar AI-onderwijs. In deze bijlage wordt een beschrijving gegeven van het huidige AI-onderwijsaanbod per onderwijssoort.

Huidig aanbod AI-onderwijs in Nederland (per niveau)

Basisonderwijs
Volgens Kennisnet ligt de focus binnen het basisonderwijs op 'digitale geletterdheid' van kinderen, wat op te splitsen is in vier digitale vaardigheden: ICT-basisvaardigheden, informatievaardigheden, mediawijsheid en computationele denkvaardigheden (een verzameling denkprocessen zoals logisch redeneren, systematisch denken en patroonherkenning).[32]

AI is geen onderdeel van digitale geletterdheid, maar deze vaardigheden zijn wel essentieel om AI te ontwikkelen, te begrijpen en ermee om te gaan. Met andere woorden: digitale geletterdheid legt het fundament dat nodig is om in het beroeps- en hoger onderwijs meer studenten op te leiden om te werken met AI. In het najaar van 2019 heeft het kabinet het curriculum voor het primair en voortgezet onderwijs herzien en heeft daarin digitale geletterdheid opgenomen. De wettelijke verankering hiervan is voorzien voor 2021.[31] Daarnaast werkt de digitaliseringsagenda voor het primair en voortgezet onderwijs aan meer en betere ondersteuning van het onderwijs bij digitaliseringsvraagstukken door het bedrijfsleven op vijf speerpunten: innovatief vermogen, digitaal geletterde leraren en leerlingen, digitale leermiddelen, infrastructuur en ethiek.[31]

Voortgezet Onderwijs: vmbo
Hoewel de meeste scholen ICT hoog op de agenda hebben staan, blijkt uit onderzoek dat er in de lespraktijk (zowel in het primair als in het voortgezet onderwijs) slechts beperkte structurele aandacht bestaat voor digitale vaardigheden.[33] Uit onderzoek blijkt dat vmbo-leerlingen significant lager scoren op digitale geletterdheid dan havo/vwo-leerlingen.[34] Uit datzelfde onderzoek blijkt ook dat leerlingen uit groep 7 en groep 8 met een vmbo-prognose significant slechter scoren dan bassischoolleerlingen met havo/vwo-prognose. Dit betekent dat deze groep leerlingen al in het basisonderwijs op achterstand staat.

Naast onderwijs in digitale geletterdheid, kent het vmbo(t)/mavo het schoolexamenvak ITTL *(Informatietechnologie)*. ITTL bereidt leerlingen voor op een toekomst waarin deskundig gebruik van informatiesystemen, applicaties en media een grote rol speelt. Per 1 augustus 2016 is het vak ITTL een officieel keuzevak in het vrije deel van het examen voor de gemengde en theoretische leerweg van het vmbo. Inhoudelijk biedt het vakkennis en vaardigheden waarmee leerlingen de beginselen van programmeren en toepassing van ICT-programma's leren. Leerlingen leren onder meer websites en applicaties bouwen en omgaan met programma's als SketchUp en Arduino. Het examenprogramma voor ITTL bestaat uit zeven exameneenheden: Oriëntatie op leren en werken, Professionele

[32]Pijpers, R. (2019, 11 juli). Werken aan digitale geletterdheid: van visie naar praktijk. Geraadpleegd van https://www.kennisnet.nl/publicaties/werken-aan-digitale-geletterdheid-van-visie-naar-praktijk/
[33]Thijs, A., Fisser, P., & Hoeven, M. van der (2014). 21e eeuwse vaardigheden in het curriculum van het funderend onderwijs: een conceptueel kader. Enschede: SLO.
[34]Kennisnet (2020). Leerlingmonitor Digitale Geletterdheid. Geraadpleegd via https://www.kennisnet.nl/app/uploads/kennisnet/publicatie/Kennisnet-Leerlingmonitor-Digitale-Geletterdheid.pdf

vaardigheden, ICT-vaardigheden, Maatschappij en innovatie, Hardware, Media ontwerpen en IT ontwerpen. Bij IT/7 *(IT ontwerpen)* moeten leerlingen een eigen eenvoudig computerprogramma ontwikkelen.

Voortgezet onderwijs: havo/vwo
Net als in het basisonderwijs en op het vmbo, is ook op havo/vwo digitale geletterdheid een belangrijk onderwerp. In 2019 is het nieuwe Informatica-examenprogramma geïntroduceerd in de vierde klassen voor havo en vwo. Het vak Informatica bestaat uit een kernprogramma (verplicht voor alle leerlingen*)* en keuzethema's, die naar inzicht van de school, docent of de leerling kunnen worden gekozen. Deze keuzethema's bieden scholen de ruimte om informaticaonderwijs naar eigen visie vorm te geven, en daarnaast biedt het leerlingen de mogelijkheid om thema's van hun keuze te volgen. In totaal zijn er 12 keuzethema's. AI past binnen het keuzedeel Cognitive Computing (domein I). Onderdeel van dit keuzethema (domein I) is intelligent gedrag*,* kenmerken van cognitive computing en het toepassen van cognitive computing.[35] De bedoeling is dat havo-leerlingen twee keuzethema's kiezen en vwo-leerlingen vier. Als gevolg komt AI niet per definitie aan bod bij het schoolvak Informatica.

Mbo
Binnen het mbo is een divers scala aan ICT-opleidingen te vinden, die zich vaak richten op een specifieke discipline binnen de ICT, zoals bijvoorbeeld Software Developer, Cybersecurity of Netwerkbeheerder.

Momenteel is er op het mbo geen structurele aandacht voor AI. Het wordt niet genoemd in het Kwalificatie Dossier voor de opleiding Software Development en er is momenteel geen goedgekeurd keuzedeel over AI of Machine Learning.

Hbo
Het hbo ziet een tweeledige rol voor het opleiden van studenten en voor de praktijk: enerzijds het opleiden van de meer technische AI-experts, die een AI-model kunnen ontwerpen en integreren in een praktijkoplossing, en anderzijds het opleiden van de domeinexpert die kennis heeft van AI.

Binnen de sector Hoger Technisch en Natuurkundig Onderwijs (HTNO) van het CROHO zijn een drietal domeinen met name relevant voor het opleiden van de AI-expert, te weten HBO-i, Creative Technologies en Engineering. Er is nog een beperkt aanbod wat zich specialiseert in AI-expertonderwijs. Anders dan in het wo hebben deze opleidingen geen eigenstandige positie naast opleidingen Informatica.

Voor elk van de genoemde domeinen is recent een competentieprofiel beschreven: voor HBO-i in 2018[36], Engineering in 2016[37] en Creative Technologies[38] in 2014. Competentieprofielen voor opleidingen binnen deze domeinen (met uitzondering van Communication & Multimedia Design, 2019) zijn recent niet meer opgeleverd.

---

[35] Barendsen, E., & Tolboom, J. (2016). Advies examenprogramma informatica havo/vwo: inhoud en invoering. Geraadpleegd via https://www.slo.nl/publicaties/@4491/advies-0/
[36] https://www.vereniginghogescholen.nl/system/profiles/documents/000/000/242/original/HBO-i-domeinbeschrijving_2018.pdf?1563200208
[37]https://www.vereniginghogescholen.nl/system/profiles/documents/000/000/033/original/domeinprofiel.bachelor_of_engineering.2016.pdf?1463570795
[38]https://www.vereniginghogescholen.nl/system/profiles/documents/000/000/171/original/domein_creative_technologies.pdf?1547544852

Voor het opleiden van de domeinexpert met AI-kennis ontstaan nu op de verschillende Hogescholen programma's (onderzoek en onderwijs) en worden de eerste ontwikkelstappen genomen in aanpassing van het curriculum.

De genoemde domeinen gebruiken allen een vergelijkbare niveauaanduiding van competenties. Naast het eindniveau van een pas afgestudeerde bachelor (niveau III), zijn er nog een aantal lagere niveaus geformuleerd, namelijk 0, I en II, waarvan niveau 0 het pre-hbo-niveau is (ook wel instroomniveau genoemd).

In Tabel 3 worden deze niveaus nader toegelicht. De volgende factoren zijn van invloed op deze niveaus:

1. Omvang en complexiteit van de taak;
2. Complexiteit van de professionele situatie;
3. Mate van zelfstandigheid en verantwoordelijkheid.

Tabel 3 werkt deze factoren verder uit, waarbij opgemerkt wordt dat niveau I in het hbo het eindniveau van een havo- of mbo-opleiding overstijgt. Als richtlijn geldt dat voor het bereiken van een niveau minimaal twee van de drie factoren dat niveau moeten hebben, bijv. de 'aard van de taak' en de 'mate van zelfstandigheid'.

Niveau		Aard van de taak	Aard van de context	Mate van zelftandigheid
0	*Instroomniveau (havo-5 / mbo-4 eindniveau)*			
I		Eenvoudig, gestructureerd, past bekende methoden direct toe volgens vaststaande normen	Bekend; eenvoudig, monodisciplinair	Sturende begeleiding
II		Complex, gestructureerd, past bekende methoden aan wisselende situaties aan	Bekend; complex, monodisciplinair, in de praktijk onder begeleiding	Begeleiding indien nodig
III		Complex, ongestructureerd, verbetert methoden en past normen aan de situaties aan	Onbekend; complex, multidisciplinair in de praktijk	Zelfstandig

Tabel 3. Definitie van competentieniveaus

Bijlage 4 zet de competentieprofielen van de hbo-domeinen HBO-i, Creative Technologies en Engineering verder uiteen.

Hbo-masterprogramma's ('professional masters')

Professional masterprogramma's die zich volledig richten op AI ontbreken in het aanbod van het hbo. Verschillende Hogescholen zijn een master AI nu aan het ontwikkelen (o.a. HvA master Applied AI; beoogde startdatum 1 sept 2022).

Er zijn verschillende domeinspecifieke professional masters ontwikkeld waarbij AI onderdeel van het curriculum is (Tabel 4).

Master (hbo)	HvA HU Hanze Hanze	Digital Drive Business Data Drive Business Data Science for Live Sciences Smart Systems Engineering

Tabel 4: Hbo masters waarbij AI onderdeel is van het curriculum

Naast dat verschillende Hogescholen bezig zijn met het ontwikkelen van een professional AI-master, werkt de Vereniging Hogescholen (VH) aan een sectorplan voor hbo-masters met als doel om het aanbod van de hbo-masters beter aan te laten sluiten op de toekomstige arbeidsmarkt en bij te dragen aan de innovatie van de beroepspraktijk. In dat sectorplan wordt gemikt op de ontwikkeling van vijf tot tien brede hbo-masters, die vrijgesteld kunnen worden van de toetsing van de CDHO. Daarmee richten zij zich primair op innovatieve en cross-over opleidingen die binnen de bestaande kaders en regels moeilijk van de grond komen, maar waarvoor we in de samenleving juist een toenemende arbeidsmarktvraag verwachten.

Er wordt ook een voorbeeldcasus uitgewerkt om zo samen met OCW af te stemmen op welk detailniveau de opleiding uitgewerkt dient te zijn en de arbeidsmarktvraag beschreven dient te worden om voor vrijstelling in aanmerking te komen. Hiermee wordt een werkwijze ontwikkeld die vervolgens voor andere thema's van toepassing kan zijn. AI lijkt op het eerste oog een kansrijk thema en leent zich daarom mogelijk als een goed voorbeeld. Deze hbo-master richt zich op een brede groep afgestudeerde bachelors, juist ook uit niet-technische opleidingen. De afgestudeerden van deze nieuwe master zouden in staat moeten zijn als een vertaler op te treden tussen enerzijds een specifiek werkveld/beroepspraktijk en anderzijds de technische AI-specialist/expert.

Wo

Binnen het universitaire onderwijs in Nederland is er al aanbod te vinden op het gebied van AI sinds de jaren '90. Bij de invoering van de bachelor-masterstructuur in het academisch onderwijs (rond 2000) ontstond de behoefte tussen de zes toenmalige AI-opleidingen (RUG, RU, UU, VU, UvA, UM) om een gemeenschappelijk kader te definiëren voor wo-bacheloropleidingen, met als doel toelating tot elkaars wo-masterprogramma mogelijk te maken. Afspraken hiervoor zijn gemaakt in het KION (Kunstmatige Intelligentie Opleidingen Nederland)-verband. De laatste versie hiervan verscheen in 2018.[39] Op dat moment waren zes bacheloropleidingen en acht masteropleidingen in Nederland aangesloten bij KION. Dit betekent niet dat dit het enige aanbod is op het gebied van universitaire AI-opleidingen in Nederland; dit zijn respectievelijk zes en acht opleidingen specifiek op het gebied van AI.

Een belangrijke kanttekening bij de programma's is dat AI benaderd wordt uit een interdisciplinair perspectief, dus niet als onderdeel van informatica, maar als samenwerking tussen informatica, wiskunde, neuroscience, taalkunde, cognitieve psychologie en filosofie. Het KION-document[39] maakt onderscheid in vier categorieën van kennis in de BSc, waarvan de eerste drie verplicht: kernvakken Artificial Intelligence, support vakken, academische vaardigheden en keuzevakken (zie bijlage 5.1 voor verdere definiëring van deze vier categorieën).

In toevoeging hierop hebben we universitair informatica-onderwijs in Nederland. De informatica-opleidingen vormen een groot deel van het AI-gerelateerde wo-onderwijs in Nederland. Bij deze opleidingen leren studenten software te ontwerpen en te implementeren, maar ook te kijken naar

[39] van der Meulen, A., Kwisthout, J., ten Teije, A., Schlobach, S., van Splunter, S., Winands, M., … Dignum, F. (2018). Frame of Reference - Bachelor's and Master's Programmes in Artificial Intelligence: The Dutch Perspective. Kunstmatige Intelligentie Opleidingen Nederland (KION).

nieuwe manieren waarop computers en software kunnen worden gebruikt. Denk hierbij aan de verwerking van *big data* en de ontwikkeling van robots. Het leren ontwikkelen van efficiënte computeroplossing voor problemen is fundamenteel bij de informatica-opleidingen.

Een algemeen erkend curriculumkader voor Informatica bachelor- en masteropleidingen is de ACM/IEEE computer Science Curricula 2013.[40] Het kader identificeert 18 kennisgebieden (Tabel 5) waarbinnen studenten hun fundamentele competenties moeten ontwikkelen. Artificial intelligence speelt een essentiële rol bij veel van deze kennisgebieden. Het kennisgebied *Algorithms and Complexity* richt zich bijvoorbeeld op het bijbrengen van concepten en vaardigheden voor het ontwikkelen, implementeren en analyseren van algoritmen voor het automatisch oplossen van problemen. Algoritmen spelen vooral een essentiële rol bij de meer gevorderde gebieden van Informatica, in het bijzonder bij AI.

Algorithms and Complexity	Networking and Communications
Architecture and Organization	Operating Systems
Computational Science	Platform-based Development
Discrete Structures	Parallel and Distributed Computing
Graphics and Visualization	Programming Languages
Human-Computer Interaction	Software Development Fundamentals
Information Assurance and Security	Software Engineering
Information Management	Systems Fundamentals
Intelligent Systems	Social Issues and Professional Practice

Tabel 5. Kennisgebieden van het ACM/IEEE Computer Science curriculumkader.

Met kennisgebied Intelligent Systems (Tabel 6) identificeert het ACM/IEEE-kader artificial intelligence ook als zelfstanding kennisgebied. Hierbij worden onderwerpen aangemerkt zoals zoekstrategieën, machine learning, kennisrepresentatie en redeneren.[37]

Search strategies	Agents
Knowledge representation and reasoning	Natural language processing
Machine learning	Robotics
Reasoning under uncertainty	Perception and computer Vision

Tabel 6. Kennisgebied Intelligent Systems.

Niet-regulier/privaatonderwijs

Het enorme tekort aan AI-geschoold personeel biedt een voedingsbodem voor private opleidingsinitiatieven. In Nederland zijn talrijke mooie voorbeelden van private omscholingsinitiatieven, al dan niet in samenwerking met publieke partners of het bedrijfsleven. De opleidingen onderscheiden zich op basis van inhoud en aanpak maar ook door middel van opzet, opleidingsduur, instroomvereisten en kosten.

Een belangrijk deel van de private AI-opleidingen beschikt niet over een onderwijsaccreditatie maar werkt al dan niet met ander type accreditatie, zoals bedrijfs-, software- of trainingsaccreditatie. Op deze manier tonen aanbieders de kwaliteit en impact van de opleiding. Het geeft deelnemers echter niet dezelfde status als studenten aan geaccrediteerde onderwijsinstellingen. Dat betekent dat zij

[40]Association for Computing Machinery & IEEE-Computer Society (2013). *Computer Science Curricula 2013 Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Science.* Geraadpleegd via https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/cs2013_web_final.pdf

geen aanspraak kunnen maken op studiefinanciering via DUO en een ov-reisproduct: steun die belangrijk is om de toegankelijkheid van het privaatonderwijs te waarborgen.

Accreditatie van niet-regulier en privaatonderwijs
Voor de accreditatie is het belangrijk dat er een mechanisme is om de kwaliteit en maatschappelijke status van organisaties te beoordelen en te keuren. Er moet een mechanisme of proces zijn dat organisaties keurt op hun interne processen en of dat deze in lijn zijn met de standaard van de Accreditatie.

De benodigdheden hiervoor zijn:

1) Beleid omtrent de eisen van de accreditatie, zowel organisatiegeneriek als onderwerpspecifiek;
2) De kennis en de capaciteit om consequent en onpartijdig de processen van de organisatieprocessen te keuren en de kennis en het competentieniveau van deze organisatie te beoordelen;
3) Een systematiek om bovenstaande uit te voeren.

Internationaal bestaan er verschillende (professionele) AI-certificeringen. Binnen Nederland zijn er twee geaccrediteerde certificeringen: de *EXIN Artificial intelligence certification* van The British Computer Society en het *I.AMDIGITAL Artificial Intelligence Foundation Examen* (AIFE).

Voor het accrediteren van opleidingen of trainingen moet het accreditatie en certificeringsorgaan een onafhankelijke partij zijn. Deze partij kan en mag geen trainingsorganisatie zijn, of een zusterorganisatie hebben die de trainingen faciliteert. Verder moet het orgaan transparant zijn en voldoen aan markteisen op het gebied van accreditatie en certificering (zoals de ISO170024). Er kan en mag geen voorkeursbehandeling plaatsvinden voor trainingsorganisaties. Verder moet het product, de certificering, voldoende uitdaging geven voor kandidaten en dus niet te makkelijk zijn. Idealiter zit het slagingspercentage rond de 77%. Het inhoudelijke product moet verder uiteraard voldoende meerwaarde hebben.

Huidige vraag naar AI-onderwijs in Nederland
In het AINED-rapport 'AI voor Nederland: Vergroten, versnellen, verbinden' wordt opgemerkt dat het huidige opleidingsaanbod niet volledig het juiste profiel heeft: "*Daarnaast zien we dat academisch afgestudeerden niet altijd voldoen aan het profiel dat bedrijven zoeken. Bedrijven zoeken mensen die AI-kennis kunnen koppelen aan hun businessmodel. Sommige bedrijven lossen dit op met trainingstrajecten. ING is bijvoorbeeld van plan om 3000 medewerkers intern op te leiden op het gebied van AI.*"[2]

Ook spelen capaciteitsproblemen: de vraag is groter dan het aanbod. De capaciteitsproblemen worden verder uiteengezet in thema 3 en bijlage 2.3.

Bijlage 2.3: Analyse bij thema Onderwijsorganisatie

Op basis van de voorgaande thema's kan gesteld worden dat Nederland voor een grote uitdaging staat om meer AI-personeel op te leiden. Om in deze vraag te kunnen voorzien, is het van belang dat de organisatiestructuur en capaciteit op orde zijn en dat de juiste onderwijsmaterialen voorhanden zijn. In deze bijlage wordt een beschrijving gegeven van de huidige opleidingscapaciteit binnen Nederland, het lesmateriaal en de mate van schaalbaarheid.

Het becijferen van de precieze kloof tussen het aantal diploma's en het aantal openstaande vacatures is lastig. Cijfers over AI-onderwijs en de AI-arbeidsmarkt zijn momenteel vaak onderdeel van andere analyses, bijvoorbeeld van het ICT-veld, terwijl AI als vakgebied daar niet volledig onder te scharen is.

Aantal uitgegeven ICT-diploma's ten opzichte van het aantal vacatures
In 2019 gaven mbo-, hbo- en wo-instellingen gezamenlijk rond de 16.000 ICT-diploma's uit.[41] Volgens Pr-eDICT ontstonden in datzelfde jaar meer dan 82.000 nieuwe ICT-vacatures. Niet alle vacatures zijn geschikt voor recent afgestudeerden: in 2019 maakte zo'n 35% van de vacatures (met aanduiding van functieniveau) zich expliciet kenbaar als juniorfunctie.[20] Tegelijkertijd stromen ook niet alle ICT-gediplomeerden direct de ICT-arbeidsmarkt op. Er is bijvoorbeeld sprake van doorstroming naar een vervolgopleiding of een baan buiten de ICT-sector.

Het ROA verwacht dat het tekort aan informatici de komende jaren in ieder geval zal blijven aanhouden. Zij melden over de periode van 2019 tot 2024 een verwachting van circa 29.100 vacatures voor hoger opgeleide (hbo- en wo-)informatici tegenover slechts 23.4000 afstudeerders. Dit betekent dat ruim 20% van de vacatures op dit niveau niet ingevuld zou kunnen worden.[26]

Hoewel het precieze verschil tussen het aantal uitgegeven AI-diploma's en het aantal beschikbare AI-vacatures uit deze cijfers lastig te duiden is, is wel duidelijk dat de vraag vanuit de arbeidsmarkt groot is en in de toekomst waarschijnlijk alleen maar toeneemt (zie thema 1 van deze beleidsnota).

Opleidingscapaciteit
Het AINED-rapport 'AI voor Nederland: Vergroten, versnellen, verbinden' constateert dat er een toegenomen vraag is naar AI-gerelateerde opleidingen, maar dat een systeembrede aanpak om aan deze toenemende vraag te voldoen ontbreekt.[2] Ook het Strategische Actieplan Artificiële Intelligentie stelt dat de populariteit van AI- en Computer Science-opleidingen is toegenomen, maar dat universiteiten moeite hebben deze groei te accommoderen. Daarom hebben verschillende universiteiten een numerus fixus ingesteld voor hun bacheloropleiding in AI per studiejaar 2019-2020.[31]

Het Strategische Actieplan Artificiële Intelligentie benoemt dat universiteiten niet de financiële middelen hebben om op deze sterke groei in te spelen. Het rapport geeft hiervoor twee oorzaken: "*De eerste oorzaak is de teruglopende bekostiging per student. De tweede oorzaak is dat gevorderd AI-onderwijs gegeven moet worden door wetenschappers. De achterblijvende onderzoeksbudgetten voor AI beperken daardoor indirect de onderwijscapaciteit.*"[31]

[41]CA-ICT (2020) Expertisecentrum Digitalisering ICT. *ICT-onderwijs.* Geraadpleegd via https://pr-edict.nl/ict-onderwijs

Op basis van het rapport van het Ministerie van Economische Zaken moet de capaciteit van het onderwijs dus vergroot worden. Dit komt overeen met een van de versnellingsdoelen geformuleerd door AINED: Nederland moet de capaciteit van het AI-onderwijs verhogen, met als gewenste impact *"verhoging van het huidige groeipercentage van 13% per jaar, leidend tot in ieder geval een verdubbeling in opleidingsplekken binnen 5 jaar."*[2]

Gegeven de grote krapte op arbeidsmarkt is het zorgwekkend dat de door AINED beoogde groei in 2019 niet over de gehele linie doorzette. Dit is vooral te zien bij de hbo-instroom, die tussen 2018 en 2019 afnam van 8.842 studenten naar 8.576. De mbo-instroom bleef gelijk met 7.135 instromers in 2018 en 7.134 in 2019.[13] Bij wo-bacheloropleidingen is beperkte groei te zien (van 3.532 studenten in 2018 naar 3.687 in 2019), waarbij wel moet worden opgemerkt dat de instroom tussen 2017 en 2018 met 20% toenam (zie bijlage 5.2). Het aantal eerstejaars wo-masterstudenten dat op 1 oktober voor de opleiding ingeschreven stond is licht toegenomen (van 2.166 in 2018 naar 2.283 in 2019; bijlage 5.2 toont over 2018 de totale instroomcijfers inclusief na-instroom, die voor 2019 nog niet beschikbaar zijn).

Tot slot erkent ook de Adviescommissie Bekostiging Hoger Onderwijs en Onderzoek in hun rapport[22]

1) dat er een structureel tekort is aan bètatechnisch opgeleiden;
2) dat de bestaande opleidingscapaciteit onvoldoende aansluit bij de arbeidsmarktvraag.

Lesmaterialen

Voortgezet onderwijs: havo/vwo
Momenteel bestaat er nog geen SLO-lesmateriaal voor Cognitive Computing/AI. Wel is er materiaal van Uitgeverij Fundament.

Mbo
Uitgeverij Boom Beroepsonderwijs is bezig met het ontwikkelen van mbo-lesmateriaal over AI. Het op de markt brengen van dit materiaal is afhankelijk van de afzetmogelijkheden; hiervoor is het ontwikkelen van een AI-keuzedeel essentieel.

Bijlage 2.4: Analyse bij thema Instroom en doorstroom

Deze bijlage geeft een overzicht van de instroom en doorstroom van leerlingen en studenten op het gebied van ICT en AI. Daarnaast zoomt deze bijlage in op de internationale AI-studenten in Nederland.

Instroom
De Adviescommissie Bekostiging Hoger Onderwijs en Onderzoek schrijft: *"Om de instroom in de bètatechniek te verhogen zijn in het Techniekpact afspraken gemaakt. Dit heeft er, in combinatie met de goede arbeidsmarktperspectieven, toe geleid dat in de afgelopen jaren het aantal inschrijvingen in de bètatechniek zeer fors en snel is gestegen."* Tussen 2011 en 2018 groeide het aantal (EER-) bètatechniekstudenten zowel in het hbo (33% toename tegenover 1% toename van niet-bètatechniekstudenten) als in het wo (50% toename tegenover 3,4% toename van niet-bètatechniekstudenten).[22]

De Adviescommissie verwacht dat het aantal studenten in zowel het hbo als wo vooral zal blijven toenemen in de opleidingsgebieden natuur, landbouw en techniek. Daarnaast kiezen steeds meer havisten en vwo'ers voor een profiel Natuur en Techniek.[22]

Profielkeuzen havo/vwo
Uit de cijfers van de website onderwijsincijfers.nl van de Rijksoverheid blijkt dat[14]

1) De keuze voor het profiel Natuur & Techniek onder havisten tussen 2014 en 2018 is gestegen van 13.700 naar 14.900, een stijging van 8,8%;
2) Deze tendens nog sterker is in het vwo: een stijging van 23.500 naar 29.700 (26,4%).

Het Centraal Bureau voor de Statistiek rapporteert dat hoewel het aantal vwo'ers dat voor het hbo kiest daalt, dit in 2016 nog steeds 8,6% betreft.[42]

Op basis van deze cijfers kunnen we concluderen dat de vijver waarin AI-opleidingen vissen in omvang toeneemt.

Instroom hoger onderwijs
Dit blijkt ook uit cijfers van Techniekpactmonitor.nl: *"Het aandeel bèta-technische studenten binnen het totaal aantal studenten in het hoger onderwijs is de afgelopen tien jaar bijna continu gestegen: van 22% (2008/09) naar 29% (2018/19). Op het hbo ligt het aandeel studenten dat kiest voor bètatechniek met 24% nog wel een stuk lager dan op het wo (35%)."*[43]

Ook de Commissie van Rijn ziet deze tendens. In 2008 lag het aantal hbo-studenten in de techniek nog iets boven de 60.000. Tien jaar later, in 2018, ligt dit aantal op bijna 100.000 hbo-studenten.[22]

Deze tendensen zien we verder terug in het aantal eerstejaars hbo-studenten in de DUO-database (Tabel 7).[15] Uit deze cijfers blijkt dat:

1) Het aantal inschrijvingen in het hbo voor niet-verwante opleidingen de afgelopen 5 jaar constant is gebleven (indexcijfer = 100);

[42] CBS (2017). *Minder vwo'ers naar het hbo.* Geraadpleegd via https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2017/36/minder-vwo-ers-naar-het-hbo
[43]https://www.techniekpactmonitor.nl/hoger-onderwijs

2) Het aantal inschrijvingen voor hbo-i opleidingen is toegenomen met 34% over vier jaar;
3) Het aantal inschrijvingen voor verwante opleidingen met 27% toenam, ondanks het teruglopen van inschrijvingen voor met name Creative Media and Game Technologies.

	2014	2015	2016	2017	2018
B HBO-ICT	3073	3110	3487	3965	3891
B Informatica	685	776	929	1018	1049
B Technische Informatica	155	154	202	274	311
Totaal hbo-ICT	**3913**	**4040**	**4618**	**5257**	**5251**
B Technische Bedrijfskunde	1046	1062	1202	1330	1368
B Toegepaste Wiskunde	151	205	239	210	223
Totaal Engineering (verwant)	**1197**	**1267**	**1441**	**1540**	**1591**
B Communication and Multimedia Design	1540	1326	1641	1812	1806
B Creative Media and Game Technologies	535	529	481	561	463
Totaal Creative Technology (verwant)	**2075**	**1855**	**2122**	**2373**	**2269**
Totaal verwante opleidingen	**7185**	**7162**	**8181**	**9170**	**9111**
Niet verwante bachelor htno	11962	11629	12056	11927	11934
Totaal	**19147**	**18791**	**20237**	**21097**	**21045**

	2014	2015	2016	2017	2018
B HBO-ICT	100	101	113	129	127
B Informatica	100	113	136	149	153
B Technische Informatica	100	99	130	177	201
Totaal hbo-ICT	**100**	**103**	**118**	**134**	**134**
B Technische Bedrijfskunde	100	102	115	127	131
B Toegepaste Wiskunde	100	136	158	139	148
Totaal Engineering (verwant)	**100**	**106**	**120**	**129**	**133**
B Communication and Multimedia Design	100	86	107	118	117
B Creative Media and Game Technologies	100	99	90	105	87
Totaal Creative Technology (verwant)	**100**	**89**	**102**	**114**	**109**
Totaal verwante opleidingen	**100**	**100**	**114**	**128**	**127**
Niet verwante bachelor htno	100	97	101	100	100
Totaal	**100**	**98**	**106**	**110**	**110**

Tabel 7. Ontwikkeling eerstejaars inschrijvingen AI-gerelateerde hbo-opleidingen (Bron: DUO, eerste tabel: absolute aantallen, tweede tabel indexcijfers, met 2014=100)

De omvang van de belangstelling voor AI- en Data Science-opleidingen wordt tevens aangetoond door het verloop van het aantal eerstejaars inschrijvingen in het wo, waar al wel specialistische Data science/AI-opleidingen bestaan. Bijlage 5.2 laat zien dat het aantal inschrijvingen, ondanks het instellen van een numerus fixus door diverse opleidingen, tussen 2014 en 2018 fors is toegenomen.

AINED stelt op basis van DUO Open Onderwijsdata dat Nederlandse studenten zich steeds vaker interesseren voor opleidingen op het gebied van Computer Science and Artificial Intelligence: *"In de afgelopen vijf jaar is het aantal eerstejaarsstudenten in deze velden op universiteiten en hbo's jaarlijks met meer dan 10 procent gegroeid. Ter vergelijking: in dezelfde periode groeide het totaalaantal eerstejaarsstudenten met 4 procent per jaar."* Daarnaast stijgt ook de vraag naar AI- en Computer Science-keuzevakken en minoren. Dezelfde trend is wereldwijd zichtbaar.[2]

Verwacht wordt dat de instroom van eerstejaars studenten in Computer Science en Artificial Intelligence de komende jaren verder zal toenemen. AINED noemt hiervoor twee oorzaken: de stimuleringscampagnes gericht op bèta- en techniekvakken en het goede baanvooruitzicht.[2]

Doorstroom
Om aan de vraag naar AI-kennis tegemoet te komen is het niet alleen van belang om nieuwe studenten op te leiden, maar ook noodzakelijk om te zorgen dat zij er na hun opleiding voor kiezen om in Nederland te blijven werken. De internationale ICT-markt biedt alumni veel mogelijkheden in het buitenland. Daarnaast moeten studenten worden opgeleid met de juiste competenties om aan de vraag van de arbeidsmarkt tegemoet te komen.

Ook AINED stelt dat het belangrijk is om (internationaal) talent te behouden. Als er meer AI-talent in Nederland werkzaam is, zou dit kunnen zorgen voor een zelfversterkend mechanisme: bedrijven zullen eerder geneigd zijn AI-activiteiten op te zetten in Nederland, waardoor eigen talent wordt behouden en weer meer buitenlands talent wordt aangetrokken. Dit mechanisme "buigt de dreigende braindrain om in een braingain."[2]

Positie van internationale AI-studenten na afstuderen
Voor buitenlandse studenten zijn er na voltooiing van hun studie in Nederland diverse hobbels op het pad naar een baan in ons land. Uit recent verkennend onderzoek van de VSNU onder studenten en bedrijven die deelnemen aan het Maastrichtse KE@Work programma kwamen de volgende punten naar voren m.b.t. de niet-EU-studenten:

1. Voor het volgen van een masteropleiding moet een hoog collegegeld betaald worden, terwijl de mogelijkheden om naast de studie te werken, zeer beperkt zijn. Dit leidt ertoe dat studenten voor de masteropleiding Nederland toch vaak weer verlaten.
2. Een werkgever die een niet-EU-student na afstuderen wil aanstellen, moet daar een vergunning voor aanvragen. Bovendien gelden er voor niet-EU-werknemers minimumeisen t.a.v. de hoogte van het salaris.

Dit alles maakt dat de drempel voor sommige werkgevers te hoog is om iemand ook daadwerkelijk in dienst te nemen. Daarnaast merken internationale studenten in Nederland dat veel wet- en regelgeving, alsook gemeentelijke informatie nog vaak alleen in het Nederlands verstrekt wordt.

Bijlage 2.5: Referentielijst

Alle online bronnen zijn geraadpleegd tussen januari 2020 en november 2020.

[1]Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (2019). *Strategische agenda hoger onderwijs en onderzoek Houdbaar voor de toekomst.* Geraadpleegd via https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2019/12/02/bijlage-1-strategische-agenda-hoger-onderwijs-en-onderzoek-houdbaar-voor-de-toekomst

[2]AINED (2018). *AI voor Nederland: Vergroten, versnellen, verbinden*. Geraadpleegd via https://www.vno-ncw.nl/sites/default/files/aivnl_20181106_0.pdf

[3]UWV (2020). *Spanningsindicator Arbeidsmarkt*. Geraadpleegd via https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMmIyMWE0NWUtNTNjMS00YWFhLThhMWUtODBjN2EyYzY2MzY2IiwidCI6IjY0ODRkNGI2LWI0MTMtNGE1NS1hN2FlLWI4ODBmMjYwODY4MSIsImMiOjh9

[4]CA-ICT (2020) Expertisecentrum Digitalisering ICT. *Arbeidsmarkt voor ICT'ers en ICT-gediplomeerden.* Geraadpleegd via https://pr-edict.nl/ict-arbeidsmarkt#

[5]UWV (z.d.). *Dashboard Arbeidsmarkt.* Geraadpleegd via https://www.werk.nl/arbeidsmarktinformatie/cijfers/arbeidsmarktdashboards/

[6]UWV (2019). *ICT-beroepen. Factsheet Arbeidsmarkt.* Geraadpleegd via https://www.uwv.nl/overuwv/Images/factsheet-ict-beroepen-2019.pdf

[7]Brainport Eindhoven (2020). *Brainport Future Skills Onderzoek.* Geraadpleegd via https://brainporteindhoven.com/fileadmin/user_upload/Onderwijs/Brainport_Future_Skills_Onderzoek_2020.pdf

[8]LinkedIn (2019). *The Top Skills Companies Need Most in 2019—And How to Learn Them.* Geraadpleegd via https://www.linkedin.com/business/learning/blog/top-skills-and-courses/the-skills-companies-need-most-in-2019-and-how-to-learn-them

[9]LinkedIn (2020). *The Top Skills Companies Need Most in 2020—And How to Learn Them.* Geraadpleegd via https://www.linkedin.com/business/learning/blog/top-skills-and-courses/the-skills-companies-need-most-in-2020and-how-to-learn-them

[10]CA-ICT (2020) Expertisecentrum Digitalisering ICT. *Themarapportages: AI en Data Science.* Geraadpleegd via https://pr-edict.nl/themarapportages/ai-data-science

[11]Centraal Planbureau (2019). *De economische effecten van internationalisering in het hoger onderwijs en mbo.* Geraadpleegd via *https://www.cpb.nl/de-economische-effecten-van-internationalisering-het-hoger-onderwijs-en-mbo-0*

[12]Møller, T.H., Czaika, E., Reich, M., & Van der Steen, E. (2019). *Artificial Intelligence in Europe: The Netherlands. Outlook for 2019 and beyond.* Geraadpleegd via: https://info.microsoft.com/rs/157-GQE-382/images/EN-CNTNT-eBook-NETHERLANDS.pdf

[13]CA-ICT (2020) Expertisecentrum Digitalisering ICT. *Instroom ICT-onderwijs.* Geraadpleegd via https://pr-edict.nl/ict-onderwijs/instroom-ict

[14]www.onderwijsincijfers.nl

[15]DUO.nl

[16]Nuffic (2020). *Fields of Study.* Geraadpleegd via https://www.nuffic.nl/en/subjects/facts-and-figures/fields-study

[17]Techniekpact (2020). *Nationaal Techniekpact 2020: inzet 2016 – 2020.* Geraadpleegd via https://www.techniekpact.nl/cdi/files/79249382ededе8833a36963cd0272812c85312c9.pdf

[18]Bando, R., Näslund-Hadley, E., & Gertler, P. (2019). *Effect of inquiry and problem based pedagogy on learning: Evidence from 10 field experiments in four countries* (No. w26280). National Bureau of Economic Research. Geraadpleegd via https://www.nber.org/papers/w26280

[19]Wieselmann, J. (2019). *Student Participation in Small Group, Integrated STEM Activities: An Investigation of Gender Differences.* Geraadpleegd via https://conservancy.umn.edu/handle/11299/209027

[20]CA-ICT (2020) Expertisecentrum Digitalisering ICT. *Vacatures.* Geraadpleegd via https://pr-edict.nl/ict-vacatures#

[21]Eurostat (2018). *ICT specialists - statistics on hard-to-fill vacancies in enterprises.* Geraadpleegd via https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=ICT_specialists_-_statistics_on_hard-to-fill_vacancies_in_enterprises

[22]Adviescommissie Bekostiging Hoger Onderwijs en Onderzoek (2019). *Wissels om, Naar een transparante en evenwichtige bekostiging, en meer samenwerking in hoger onderwijs en onderzoek.* Geraadpleegd via https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2019/05/01/bekostiging-hoger-onderwijs-en-onderzoek-wissels-om

[23]Rathenau Instituut (2018). Aantal gediplomeerden bèta en techniek in het hoger onderwijs internationaal vergeleken: Factsheet. Geraadpleegd via https://www.rathenau.nl/nl/wetenschap-cijfers/output/promoties-en-masters/aandeel-gediplomeerden-beta-en-techniek-het-hoger

[24]Techniekpactmonitor (2019). *Highlights 2019.* Geraadpleegd via https://www.techniekpact.nl/cdi/files/3a8c587b3fbb8b0367fccbd8801efbaf44258878.pdf

[25]Bakens, J., Bijlsma, I., Dijksman, S. & de Lombaerde, M.B. (2019). *De arbeidsmarkt naar opleiding en beroep tot 2024.* Geraadpleegd via https://cris.maastrichtuniversity.nl/en/publications/de-arbeidsmarkt-naar-opleiding-en-beroep-tot-2024

[26]Researchcentrum voor Onderwijs en Arbeidsmarkt (z.d.). *AIS tot 2024.* Geraadpleegd via http://roastatistics.maastrichtuniversity.nl/AIS/ prognoseOPL.aspx)

[27]Fouarge, D., Bakens, J., & Bijlsma, I. (2018). *Aansluiting Technisch Onderwijs en de Arbeidsmarkt. Research Centre for Education and the Labour Market.* Geraadpleegd via https://cris.maastrichtuniversity.nl/en/publications/aansluiting-technisch-onderwijs-en-de-arbeidsmarkt

[28]UWV (2019). *Moeilijk vervulbare vacatures – landelijk overzicht van beroepen.* Geraadpleegd via https://www.uwv.nl/overuwv/Images/moeilijk-vervulbare-vacatures-2019.pdf

[29]Ernst, E., Merola, R., & Samaan, D. (2018). *The economics of artificial intelligence: Implications for the future of work.* Geraadpleegd via: https://www.researchgate.net/publication/328353684_The_economics_of_artificial_intelligence_Implications_for_the_future_of_work

[30]Franken, T. (2020). *AI-rapport: groeiende impact AI op de Nederlandse economie.* Geraadpleegd via https://www.innovationquarter.nl/ai-rapport-groeiende-impact-ai-in-nederland-zuid-holland-speelt-belangrijke-rol/

[31]Ministerie van Economische Zaken (2019). Het Strategisch Actieplan Artificiële Intelligentie. Geraadpleegd via https://www.rijksoverheid.nl/documenten/beleidsnotas/2019/10/08/strategisch-actieplan-voor-artificiele-intelligentief

[32]Pijpers, R. (2019, 11 juli). *Werken aan digitale geletterdheid: van visie naar praktijk.* Geraadpleegd van https://www.kennisnet.nl/publicaties/werken-aan-digitale-geletterdheid-van-visie-naar-praktijk/

[33]Thijs, A., Fisser, P., & Hoeven, M. van der (2014). *21e eeuwse vaardigheden in het curriculum van het funderend onderwijs: een conceptueel kader*. Enschede: SLO.

[34]Kennisnet (2020). *Leerlingmonitor Digitale Geletterdheid.* Geraadpleegd via https://www.kennisnet.nl/app/uploads/kennisnet/publicatie/Kennisnet-Leerlingmonitor-Digitale-Geletterdheid.pdf

[35]Barendsen, E., & Tolboom, J. (2016). *Advies examenprogramma informatica havo/vwo: inhoud en invoering.* Geraadpleegd via https://www.slo.nl/publicaties/@4491/advies-0/

[36]https://www.vereniginghogescholen.nl/system/profiles/documents/000/000/242/original/HBO-i-domeinbeschrijving_2018.pdf?1563200208

[37]https://www.vereniginghogescholen.nl/system/profiles/documents/000/000/033/original/domeinprofiel.bachelor_of_engineering.2016.pdf?1463570795

[38]https://www.vereniginghogescholen.nl/system/profiles/documents/000/000/171/original/domein_creative_technologies.pdf?1547544852

[39]van der Meulen, A., Kwisthout, J., ten Teije, A., Schlobach, S., van Splunter, S., Winands, M., … Dignum, F. (2018). *Frame of Reference - Bachelor's and Master's Programmes in Artificial Intelligence: The Dutch Perspective.* Kunstmatige Intelligentie Opleidingen Nederland (KION).

[40]Association for Computing Machinery & IEEE-Computer Society (2013). *Computer Science Curricula 2013 Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Science.* Geraadpleegd via https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/cs2013_web_final.pdf

[41]CA-ICT (2020) Expertisecentrum Digitalisering ICT. *ICT-onderwijs.* Geraadpleegd via https://pr-edict.nl/ict-onderwijs

[42]CBS (2017). *Minder vwo'ers naar het hbo.* Geraadpleegd via https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2017/36/minder-vwo-ers-naar-het-hbo

[43]https://www.techniekpactmonitor.nl/hoger-onderwijs

[44]CMD (2018). *Beroeps- en competentieprofiel Communication & Multimedia Design.* Geraadpleegd via https://www.veniginghogescholen.nl/system/profiles/documents/000/000/232/original/communication__and_multimedia_design.bcp.2018.pdf?1547544977

[45]HBOstart (2020). Opleiding HBO Creative Media and Game Technologies. Geraadpleegd via https://www.hbostart.nl/cultuurenkunst/creativemediaandgametechnologies/

[46]Vereniging Hogescholen (2014). *Body of knowledge and skills* voor de HBO-opleiding Toegepaste wiskunde (Mathematical Engineering). Geraadpleegd via https://www.veniginghogescholen.nl/system/profiles/documents/000/000/201/original/toegepaste_wiskunde.boks.2014.pdf?1464948260

[47]Vereniging Hogescholen (2015). *Body of knowledge and skills voor de HBO-opleiding Technische bedrijfskunde.* Geraadpleegd via https://www.veniginghogescholen.nl/profielenbank/b-technische-bedrijfskunde

Bijlage 3: Lijst met veelgebruikte afkortingen

Afkorting	Betekenis
AI	Artificiële Intelligentie
BoKS	Body of Knowledge and Skills
CDHO	Commissie Doelmatigheid Hoger Onderwijs
CROHO	Centraal Register Opleidingen Hoger Onderwijs
DUO	Dienst Uitvoering Onderwijs
EER	Europese Economische Ruimte
Havo	Hoger algemeen voortgezet onderwijs
Hbo	Hoger beroepsonderwijs
THNO	Hoger Technisch en Natuurkundig Onderwijs
ICAI	Innovation Center for Artificial Intelligence
ICT	Informatie- en Communicatietechnologie
IPN	ICT-Research Platform Netherlands
KION	Kunstmatige Intelligentie Opleidingen Nederland
Mbo	Middelbaar beroepsonderwijs
NVAO	Nederlands-Vlaamse Accreditatieorganisatie
Po	Primair onderwijs
ROA	Researchcentrum voor Onderwijs en Arbeidsmarkt
ROC	Regionaal opleidingencentrum
SLO	Stichting Leerplan Ontwikkeling
UWV	Uitvoeringsinstituut Werknemersverzekeringen
VH	Vereniging Hogescholen
Vmbo	Voorbereidend middelbaar beroepsonderwijs
VSNU	Vereniging van Universiteiten
Vo	Voortgezet onderwijs
Vwo	Voorbereidend wetenschappelijk onderwijs
Wo	Wetenschappelijk onderwijs

Bijlage 4: Competentieprofielen hbo

Deze bijlage zet de competentieprofielen van de hbo-domeinen HBO-i, Creative Technologies en Engineering uiteen. De competenties worden beschreven in termen van de competentieniveaus in tabel 3, die in bijlage 2.2 geïntroduceerd zijn:

Niveau		Aard van de taak	Aard van de context	Mate van zelftandigheid
0	*Instroomniveau (havo-5 / mbo-4 eindniveau)*			
I		Eenvoudig, gestructureerd, past bekende methoden direct toe volgens vaststaande normen	Bekend; eenvoudig, monodisciplinair	Sturende begeleiding
II		Complex, gestructureerd, past bekende methoden aan wisselende situaties aan	Bekend; complex, monodisciplinair, in de praktijk onder begeleiding	Begeleiding indien nodig
III		Complex, ongestructureerd, verbetert methoden en past normen aan de situaties aan	Onbekend; complex, multidisciplinair in de praktijk	Zelfstandig

Tabel 3. Definitie van competentieniveaus.

Binnen het domein HBO-i zijn een drietal relevante opleidingen te onderscheiden:

1. Hbo-ict
2. Informatica
3. Technische informatica

Binnen het domein Creative Technologies houden de volgende opleidingen zich bezig met

1. (data)interfaces:
2. Communication & Multimedia Design
3. Creative Media & Game Technologies

In het domein Engineering bestaan de volgende opleidingen:

1. Technische bedrijfskunde
2. Toegepaste wiskunde

A. HBO-i-competenties

In het domeinprofiel HBO-i zijn competenties beschreven op een viertal dimensies:

1. Beroepstaken: analyseren, adviseren, ontwerpen, realiseren, manage & control;
2. Architectuurlagen: gebruikersinteractie, organisatieprocessen, infrastructuur, software, hardware interfacing.
3. Professional skills: doelgericht interacteren, persoonlijk leiderschap, onderzoekend, probleemoplossend, toekomstgericht organiseren.
4. De hierboven beschreven beheersingsniveau 's waaraan niveau 4 is toegevoegd, het professional masterniveau.

Binnen dit framework hebben opleidingen en leerroutes de vrijheid op elk van de "kruispunten" keuzes te maken met betrekking tot het te realiseren niveau.

De AI-competenties zijn in het competentieprofiel van het hbo-i domein opgenomen onder niveau 4: het professional masterniveau. Als gevolg van het ontstaan van online libraries heeft de complexiteit van de implementatie van AI-applicaties de neiging terug te lopen en zijn goedgetrainde professionals op niveau 3 (het bachelor niveau) in staat werkzaamheden uit te voeren, wanneer deze betrekking hebben op het implementeren van elders ontwikkelde kennis en algoritmes in de context van bedrijven en instellingen. Dit blijkt ook uit een analyse van Indeed-vacatures: in veel gevallen wordt geen wo- of masterniveau gevraagd.

Er is een klein aantal hogescholen die een bachelor aanbiedt die artifical intelligence als studierichting kent (Tabel 8).

Hogeschool	Naam opleiding	ECTS
Fontys	HBO-ICT ICT & Artificial Intelligence	240
Hogeschool Utrecht	HBO-ICT richting & Artificial Intelligence	240

Tabel 8. Opleidingen AI binnen het hbo

Diverse hogescholen bieden binnen het HBO-i domein keuzevakken, minoren en afstudeervarianten aan. Het "Kies op maat"-programma, een database met minoren die voor alle studenten toegankelijk is, biedt onder andere de volgende minoren op het domein van AI (Tabel 9).

Hogeschool	Minor	ECTS
Avans	AI track	30
Avans	Meaningful data design	30
Fontys	Data driven business lab	30
Haagse Hogeschool	Applied data science	30
HAN	Data science	30
HAN	Internet of Things	30
HvA	Minor sensor technology	30
HvA	Minor Applied AI	30
HvA	Minor Data science	30
HR	Data Engineering	30
HR	Data Science	30
HR	Data Design	30
HR	AI Deep learning	30
HR	Natuur Mens & Technologie	30
HR	Security Lab	30
HR	Innovative Logistics+ IT	30
Hogeschool Zeeland	Applied data science	30
NHL/Stenden	Computer vision & data science	30
Windesheim	Minor digital transformation	30
Zuyd	Data science	30
Zuyd	Business Intelligence	30
Zuyd	Internet of Things	30

Tabel 9. Minoren AI binnen het hbo

B. Creative Technologies-competenties

De aanpak van het domein Creative Technologies, bestaande uit opleidingen Communication & Multimedia Design (CMD), Creative Media- & Game Technologies (CMGT) en Fashion & Textile Technologies (FTT) is vergelijkbaar met die van de domeinen HBO-i en Engineering: er wordt een reeks van brede competenties benoemd en per opleiding wordt een onderscheid naar beheersingsniveau gemaakt. Zie Tabel 10 voor het overzicht van het domein.

	Competentie	CMD	CM&GT
I	1. Technische kennis en analyse	2	3
	2. Ontwerpen en Prototypen	2	3
	3. Testen en implementeren	2	3
II	4. Onderzoek en analyse	3	2
	5. Conceptualiseren	3	2
	6. Vormgeven	3	2
III	7. Ondernemende houding	3	3
	8. Ondernemende vaardigheden	2	2
	9. Projectmatig werken	2	2
	10. Communicatie	3	3
IV	11. Lerend en reflecterend vermogen	3	3
	12. Verantwoordelijkheid	3	3
		31	**31**

Tabel 10. Beheersingsniveau competenties Creative Technologies (FTT niet meegenomen)

Toelichting verschillen per opleiding:

Communication & Multimedia Design
Volgens het competentieprofiel CMD beweegt het profiel zich rond technologie, business, design en humanities, waarbij CMD-competenties zich richten op oriënteren en begrijpen, conceptualiseren, voorbeelden en prototyperen en evalueren. Weliswaar geeft het competentieprofiel aan dat data een belangrijke nieuwe uitdaging vormen, maar gezien de conceptuele aard van de opleiding is hier geen diepgaande aanpassing van het curriculum richting AI en/of Data Science aanwezig. Het competentieprofiel bevat dan ook geen aanwijzingen hiertoe.[44]

Opmerkingen:
- Aandacht voor (big) Data Science ontbreekt momenteel in de opleiding CMD;
- Er is geen expliciete aandacht voor AI, AI-engineering en de hierbij gebruikelijke programmeertalen en algoritmes.

Creative Media & Game Technologies
Een opleidingscompetentieprofiel voor de opleiding CM&GT ontbreekt. Volgens HBOstart is CM&GT *"een opleiding voor creatieveling met een hang naar de IT-wereld en is daarom minder creatief dan*

[44] CMD (2018). *Beroeps- en competentieprofiel Communication & Multimedia Design.* Geraadpleegd via https://www.verenigingghogescholen.nl/system/profiles/documents/000/000/232/original/communication__and_multimedia_design.bcp.2018.pdf?1547544977

bijvoorbeeld cmd. Je kunt gaan werken op plekken waar creatie en ICT elkaar kruisen en dan kom je al snel uit bij het ontwikkelen van games". [45]

Lacunes op het terrein van AI/Data zijn vergelijkbaar met die van de opleiding CMD:

- Aandacht voor (big) Data Science ontbreekt momenteel in de opleiding CM>
- Er is geen expliciete aandacht voor AI, AI-engineering en de hierbij gebruikelijke programmeertalen en algoritmes.

C. Engineering-competenties

Het profiel van het domein Engineering omvat acht domeincompetenties. Analoog aan de HBO-i-competenties zijn deze in zeer algemene termen beschreven. Voor elke opleiding die onderdeel uitmaakt van het domein Engineering is het minimumniveau van de acht domeincompetenties beschreven. De som van de acht competentieniveaus dient minimaal 18 te zijn. Zie Tabel 11 voor het competentieprofiel voor de opleidingen Toegepaste wiskunde en Technische bedrijfskunde.

Competentie	Toegepaste Wiskunde	Technische bedrijfskunde
1. Analyseren	3	3
2. Ontwerpen	3	2
3. Realiseren	2	2
4. Beheren	1	2
5. Managen	1	2
6. Adviseren	2	2
7. Onderzoeken	3	2
8. Professionaliseren	3	3

Tabel 11. Beheersingsniveau competenties Engineering

Toelichting verschillen per opleiding binnen dit domein:

Toegepaste Wiskunde

De opleiding toegepaste wiskunde richt zich op het gebruik van wiskundige methodieken bij het oplossen van problemen uit de praktijk: het vinden voor de juiste modellen voor het ontwikkelen van algoritmes is het doel. De BoKS (zogenaamde 'body of knowledge and skills') van Toegepaste Wiskunde richt zich dan ook in grote mate op wiskundige bewerkingen.[46]

Technische bedrijfskunde

Zoals de verdeling van beheersingsniveaus suggereert is technische bedrijfskunde een zeer brede opleiding. De BoKS van Technische Bedrijfskunde bevat elementen van bedrijfseconomie, ICT, marketing, organisatiekunde, techniek en veranderkunde.[47]

[45] HBOstart (2020). Opleiding HBO Creative Media and Game Technologies. Geraadpleegd via https://www.hbostart.nl/cultuurenkunst/creativemediaandgametechnologies/

[46] Vereniging Hogescholen (2014). *Body of knowledge and skills* voor de HBO-opleiding Toegepaste wiskunde (Mathematical Engineering). Geraadpleegd via https://www.verenigingh ogescholen.nl/system/profiles/documents/000/000/201/original/toegepaste_wiskunde.boks.2014.pdf?1464948260

[47] Vereniging Hogescholen (2015). *Body of knowledge and skills voor de HBO-opleiding Technische bedrijfskunde.* Geraadpleegd via https://www.verenigingh ogescholen.nl/profielenbank/b-technische-bedrijfskunde

Verbeterpunten:

- Data Science is niet in grote diepgang aanwezig in de opleiding;
- Artificial Intelligence wordt niet expliciet genoemd, software engineering wordt slechts aangeraakt.

Op AD-niveau ontbreken opleidingen op het terrein van AI.

Bijlage 5: Overzichten vanuit het wo

5.1 Overzicht vier categorieën van kennis in de universitaire bacheloropleidingen volgens KION

Kernvakken Artificial Intelligence

- Cognitive Science
- Computational Linguistics
- Context of Artificial Intelligence (History, Philosophy, Ethics)
- Intelligent Autonomous Agents and Multi-Agent Systems
- Interaction (Perception, Human-Computer Interaction, Communication)
- Knowledge Representation and Reasoning
- Machine Learning
- Problem Solving (Search, Decision Making, Optimalisation)

Support vakken

- Programmeren: basis en algoritmen en datastructuren
- Logica: propositie en predikaatlogica
- Wiskunde: Calculus, Lineaire Algebra, Discrete Wiskunde, Waarschijnlijkheidsrekening, Statistiek

Academische Vaardigheden

- Analytische vaardigheden
- Empirische methoden
- Modelleren
- Teamwork
- Geschreven en gesproken communicatie, presentatie en argumentatie

Keuzevakken

- Architectures of Cognition and Cognitive Modelling
- Computational and Cognitive Neuroscience
- Computational Intelligence
- Computer Vision
- Data Mining
- Deep Learning
- ELSA (Ethical, Legal and Social Aspects of AI)
- Evolutionary Algorithms (Genetic Algorithms, Evolutionary Computing)
- Language and Speech Technology
- Neural Networks
- Perception (Computational and Natural)
- Reasoning under Uncertainty
- Reinforcement Learning
- Robotics
- Text Mining and Information Retrieval
- Virtual Reality and Gaming
- Web and Artificial Intelligence

5.2 Cijfers wo-instroom in ICT, waaronder AI

Deze bijlage geeft een overzicht van de instroom in ICT-onderwijs in Nederland op wo-niveau. Deze cijfers zijn aangeleverd door de VSNU, met uitzondering van de cijfers voor de masteropleidingen van Maastricht University (UM). Deze vallen formeel onder de transnationale Universiteit Limburg (tUL).

Opleidingsnaam	Universiteit	2013-'14	2014-'15	2015-'16	2016-'17	2017-'18	2018-'19	2019-'20
B Artificial Intelligence	RU					182	130	157
	VU							229
B Business Information Technology	UT	39	37	40	51	62	102	101
B Cognitive Science and Artificial Intelligence	TiU							250
B Computing Science	RU						176	192
B Data Science (joint degree)	TUE/TiU				55	85	118	141
B Data Science and Knowledge Engineering (vanaf '20-'21 *Data Science and Artificial Intelligence*)	UM	63	48	92	65	113	157	143
B Informatica	LEI	94	100	115	123	156	163	232
	RU	81	101	97	101	109		
	RUG	66	73	104	93	116	109	190
	UU	197	192	206	214	186	220	230
	UVA	85	94	103	109	106	129	151
B Informatiekunde	RUG	46	43	54	48	24	30	46
	UU	112	114	158	142	133	132	142
	UVA	83	65	84	77	88	99	113
B Kunstmatige intelligentie	RU	84	74	113	157			
	RUG	100	112	126	131	152	210	136
	UU	54	41	88	98	188	228	112
	UVA	87	78	99	171	201	110	97
B Lifestyle Informatics	VU	62	53	36	43	54	82	
B Technical Computer Science	UT							298
B Technische informatica	TUD	206	245	260	300	467	919	457
	TUE	151	217	270	361	350	215	270
	UT	77	76	72	136	161	203	
Totaal		**1687**	**1763**	**2117**	**2475**	**2933**	**3532**	**3687**

Tabel 12. Instroom in wo-bacheloropleidingen in ICT. Hoofd- en neveninschrijvingen per 1 oktober 2019.

		Totaalinstroom*						
Opleidingsnaam	**Universiteit**	**2013-'14**	**2014-'15**	**2015-'16**	**2016-'17**	**2017-'18**	**2018-'19**	**2019-'20***
M Artificial intelligence	RU	17	33	29	39	36	54	41
	RUG	19	15	21	28	29	66	44
	UU	31	32	37	63	70	103	78
	UVA	27	54	53	87	147	196	111
	VU	27	27	28	29	50	55	82
	UM/tUL	36	15	23	15	25	41	40
M Brain and cognitive sciences (research)	UVA	50	49	53	51	49	47	39
M Business information systems	TUE	23	22	43	32	27		
M Business information technology	UT	18	16	25	40	27	27	30
M Computational Science	UVA	17	33	44				
M Computational Science (joint degree)	UVA/VU				35	53	65	80
M Computer engineering	TUD	20	19	34	24	33	26	24
M Computer science	LEI	28	35	31	52	59	66	87
	TUD	89	100	122	184	200	197	182
	UT	42	37	56	67	78	85	79
	VU	52	37	46	1			
M Computer science and engineering	TUE	73	79	81	114	134	170	220
M Computing Science	RU		104	56	73	72	91	82
	RUG	19	23	24	22	39	51	33
M Data Science and Entrepreneurship (joint degree)	TUE/TiU				28	49	116	58
M Data Science for Decision Making	UM/tUL	10	11	8	20	26	40	34
M Embedded systems	TUD	37	48	70	60	71	81	51
	TUE	41	67	77	64	87	66	60
	UT	14	25	20	36	34	30	31
M Ict in business and the public sector	LEI	42	45	50	46	32	35	33
M Industrial and applied mathematics	TUE	25	40	45	55	42	56	44
M Informatica	RU	38						
	UU	83	103	90	89	81	127	85
M Information management	TiU	71	81	115	120	133	131	59
M Information sciences	RU	24	15	23	23	26	23	26
	UU	44	33	48	68	80	89	92
	VU	33	31	58	40	40	48	50
M Information studies	UVA	127	126	134	158	188	201	186
M Internet Science and Technology	UT	1	3	1	6	4	5	
M Security and network engineering	UVA	30	27	31	26	28	28	42
M Software engineering	UVA	34	44	34	45	50	44	32
M Systems and Control	TUD	57	66	115	102	136	119	108
	TUE	31	33	32	53	41	43	55
	UT	7	15	11	24	23	38	30
Totaal		**1337**	**1543**	**1768**	**2019**	**2299**	**2660**	**2328**

Tabel 13. Instroom in wo-masteropleidingen in ICT (hoofdinschrijvingen, neveninschrijvingen en na-inschrijvingen). * Voor het academisch jaar 2019-'20 is de na-instroom niet volledig. De totaalinstroom van het academische jaar 2019-'20 is dientengevolge niet vergelijkbaar met die van andere academische jaren.

5.3 Cijfers behaalde wo-diploma's, waaronder AI

Deze bijlage geeft een overzicht van het aantal behaalde bachelor- en masterdiploma's in wo-ICT-opleidingen, waaronder AI. Deze cijfers zijn aangeleverd door de VSNU, met uitzondering van de cijfers voor de masteropleidingen van Maastricht University (UM). Deze vallen formeel onder de transnationale Universiteit Limburg (tUL).

Opleidingsnaam	Universiteit	2013-'14	2014-'15	2015-'16	2016-'17	2017-'18	2018-'19
B Artificial Intelligence	RU					51	56
	VU						23
B Business Information Technology	UT	14	15	31	27	20	22
B Computing Science	RU						43
B Data Science (joint degree)*	TUE/TiU						14
B Data Science and Knowledge Engineering (vanaf '20-'21 *Data Science and Artificial Intelligence*)	UM	12	18	31	29	41	37
B Informatica	LEI	25	32	41	64	52	58
	RU	19	12	28	32	44	
	RUG	15	26	20	28	46	37
	UU	92	107	110	96	120	120
	UVA	21	32	58	47	54	57
B Informatiekunde	RU	4	11	5			
	RUG	7	8	7	23	28	26
	UU	32	37	49	77	101	116
	UVA	18	30	42	35	60	60
B Kunstmatige intelligentie	RU	27	19	29	47		
	RUG	16	27	33	33	57	62
	UU	21	21	22	33	33	47
	UVA	25	31	37	49	43	56
B Lifestyle Informatics	VU	18	28	30	22	30	
B Technical Computer Science	UT						25
B Technische informatica	TUD	76	80	66	144	116	139
	TUE	54	60	63	95	111	187
	UT	33	37	44	44	46	22
Totaal		**529**	**631**	**746**	**925**	**1053**	**1207**

Tabel 14. Behaalde wo-bachelordiploma's in ICT-opleidingen.

* Diploma's voor joint degrees worden aan beide universiteiten behaald. In dit overzicht zijn de dubbeltellingen niet meegenomen.

Opleidingsnaam	Universiteit	2013-'14	2014-'15	2015-'16	2016-'17	2017-'18	2018-'19
M Artificial intelligence	RU	6	13	10	25	22	27
	RUG	10	4	12	12	16	21
	UU	13	13	17	17	44	45
	UVA	17	23	26	36	49	108
	VU	18	13	25	22	19	28
	UM/tUL	14	26	13	20	15	19
M Brain and cognitive sciences (research)	UVA	30	52	42	39	44	40
M Business information systems	TUE	22	20	28	29	25	28
M Business information technology	UT	19	27	16	18	19	31
M Computational Science	UVA	5	8	14	18	10	3
M Computational Science (joint degree)*	UVA/VU				7	17	29
M Computer engineering	TUD	10	12	9	17	23	21
M Computer science	LEI	16	17	23	28	19	42
	TUD	67	47	64	96	117	140
	UT	36	44	30	39	45	63
	VU	35	37	29	17	9	9
M Computer science and engineering	TUE	53	53	68	55	66	110
M Computing Science	RU		27	37	25	38	44
	RUG	16	18	18	14	27	23
M Data Science and Entrepreneurship (joint degree)*	TUE/TiU					10	25
M Data Science for Decision Making	UM/tUL	13	10	13	2	14	16
M Embedded systems	TUD	22	26	28	36	53	66
	TUE	32	23	54	47	55	72
	UT	16	10	17	15	20	19
M Ict in business and the public sector	LEI	37	36	43	42	25	36
M Industrial and applied mathematics	TUE	21	17	29	29	36	38
M Informatica	RU	22					
	UU	78	71	66	63	79	75
M Information management	TiU	58	64	84	87	113	136
M Information sciences	RU	15	15	15	22	15	14
	UU	44	45	30	27	48	64
	VU	33	28	37	40	40	44
M Information studies	UVA	92	109	108	125	184	172
M Internet Science and Technology	UT	10	3	4		1	2
M Security and network engineering	UVA	34	28	33	21	26	13
M Software engineering	UVA	46	37	35	33	48	38
M Systems and Control	TUD	29	38	39	65	68	92
	TUE	7	15	17	33	32	40
	UT	1	10	12	7	9	19
Totaal		**997**	**1039**	**1145**	**1228**	**1500**	**1812**

Tabel 15. Behaalde wo-masterdiploma's in ICT-opleidingen. * Diploma's voor joint degrees worden aan beide universiteiten behaald. In dit overzicht zijn de dubbeltellingen niet meegenomen.

Colofon

Auteur(s) *Deze beleidsnota is tot stand gekomen door een actieve bijdrage van de volgende werkgroepleden*:

Frank Peters, Breda University of Applied Sciences

Frank Thuijsman, Universiteit Maastricht

Katrien de Witte, Hogeschool van Amsterdam

Krijn Hoogendorp, MBO College Amstelland (ROC van Amsterdam)

Myrna van de Water, Hogeschool Rotterdam

Nieke Campagne, VSNU

Niels Taatgen, Rijksuniversiteit Groningen

Renate van Oosten- van Hout, Fontys Hogescholen

Roos Peters, Codam Coding College

Willem-Paul Brinkman, TU Delft

Contact Nederlandse AI Coalitie

Coalitiedesk – info@nlaic.com

www.nlaic.com

Uitgave November 2020

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van de Nederlandse AI Coalitie.