De implementatie van kunstmatige intelligentie voor de onderbouw van het voortgezet onderwijs

Mo Hoogeveen

Cognitive and Digital Humanities

Liberal Arts and Sciences, Universiteit Utrecht

Honours Bachelor Scriptie

15 ECTS

Merel van Goch en Rianne van Lambalgen

23 april 2021

Inhoudsopgave

Inleiding....3
Sectie 1 : Theoretisch raamwerk....5
1.1 Kunstmatige intelligentie in het voortgezet onderwijs in Nederland....5
1.2 Meta-disciplinaire perspectieven op kunstmatige intelligentie....7
1.3 Onderwijskundige perspectieven op kunstmatige intelligentie....11
1.3.1 Unesco....12
1.3.2 India: *Introduction to AI*....13
1.3.3 Amerika: *AI4K12*....16
1.3.4 Onderwijskundige perspectieven samengevoegd....18
Sectie 2: Van theorie naar praktijk....20
2.1 Montessorionderwijs en constructivisme....20
2.2 Constructivistisch instructieontwerp....21
2.3 Leerdoelen....23
Discussie....26
Literatuurlijst....29
Appendix....33

Inleiding

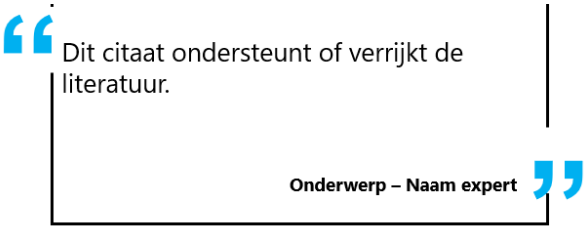
De Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen gaf in 2012 aan dat het curriculum van het voortgezet en primair onderwijs in Nederland herzien moest worden, omdat het niet meer aan zou sluiten bij de eisen van de 21ste eeuw (Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, 2012). Er zou onder andere een nieuw onderbouw-vak ontwikkeld moeten worden gerealiseerd voor het voortgezet onderwijs (VO) op havo en vwo niveau waarin digitale geletterdheid meer aandacht krijgt. Digitale geletterdheid is volgens de KNAW het vermogen om digitale informatie en communicatie verstandig te gebruiken en de gevolgen daarvan kritisch te beoordelen. In 2019 hebben de Vakvereniging Informatica en Digitale Geletterdheid (i&i), Stichting Leerplan Ontwikkeling (SLO) en de coördinatiegroep Curriculum.nu voorstellen van programma's ontwikkeld die aansluiten op de adviezen van de KNAW (Curriculum.nu, 2019; i&i, 2021; Stichting Leerplan Ontwikkeling, 2018). Digitale geletterdheid wordt als nieuw leergebied geïntroduceerd in het curriculum van het VO, dat waarschijnlijk in het schooljaar 2023/2024 geïmplementeerd wordt (Slob, 2019). In het voorstel van coördinatiegroep Curriculum.nu dat ten grondslag ligt aan deze herzieningen wordt KI genoemd als één van de onderwerpen die onderdeel zouden moeten zijn van de implementatie van het leergebied digitale geletterdheid (Curriculum.nu, 2019). KI is een technologiedomein waarin computers menselijke taken uit kunnen voeren doordat er sprake is van vorm van intelligentie is (Negnevitsky, 2005; Russell & Norvig, 2016). Daarnaast is KI de discipline waarbinnen onderzoek naar deze technologieën wordt uitgevoerd. In deze scriptie wordt onderzoek gedaan naar de implementatie van KI in het VO.

De hoofdvraag luidt: "Op welke manier moet kunstmatige intelligentie worden geïmplementeerd in het curriculum van de onderbouw van het voortgezet onderwijs in Nederland?" Het uitgangspunt van dit onderzoek is het in de praktijk brengen van een implementatie van KI als onderwerp in het curriculum van een onderbouwklas. Het antwoord op de onderzoeksvraag is daarom gericht op een implementatie van het onderwerp voor een havo of vwo onderbouwklas van een Montessorischool.
Sectie 1 is een theoretisch raamwerk waarin de positie van KI in het voortgezet onderwijs wordt beschreven. Ten eerste worden de conceptuele kenmerken van KI toegelicht. Het wordt duidelijk dat KI een veelomvattend begrip is dat wordt gevormd door perspectieven uit verschillende disciplines. De verwevenheid van disciplinaire inzichten heeft tot gevolg dat het formuleren van de disciplinaire kenmerken complex is. De verschillende perspectieven op KI hebben tot gevolg dat er verdeeldheid bestaat over het begrip van KI als technologie. De conceptualisering wordt daarom gevormd door verschillende basisprincipes die ten grondslag liggen aan deze meta-disciplinaire perspectieven. Ten

tweede wordt het theoretische raamwerk vormgegeven door onderwijskundige perspectieven op KI. Deze inzichten maken duidelijk op welke manier het onderwerp KI zich verhoudt tot het leergebied digitale geletterdheid in Nederland. Daarnaast wordt aan de hand van bestaande, niet-Nederlandse voorstellen van de implementaties KI in het onderwijs beargumenteerd welke aspecten van KI geïmplementeerd moeten worden in het curriculum van het VO in Nederland. In sectie 2 wordt de vertaalslag gemaakt naar de praktijk. Ten eerste worden onderwijskundige theorieën aangehaald die van toepassing zijn bij het implementeren van een onderwerp in het curriculum. Vervolgens worden de inzichten uit sectie 1 toegepast op deze theorieën. Het resultaat hiervan is een voorstel voor de implementatie van KI als module voor de onderbouw van het VO in Nederland. In de discussie wordt duidelijk wat de implicaties van het onderzoek zijn en welke vervolgstappen genomen kunnen worden om de implementatie van KI in het onderwijs verder uit te werken.

Het literatuuronderzoek wordt aangevuld met relevante inzichten uit de praktijk. De implementatie van KI in het curriculum is een praktijkgericht doel en perspectieven van verschillende docenten in het worden naar voren gebracht om dit doel te rechtvaardigen en vorm te geven. Deze perspectieven hebben betrekking op de theoretische invulling en de onderwijskundige vormgeving van de implementatie van KI. Ten eerste zijn de gesprekken met Hakan Akkas relevant geweest voor het onderzoek. Akkas is als informaticadocent van het Metis Montessori Lyceum betrokken bij de inrichting van het vak Informatica in de onderbouw en bij de ontwikkeling van het vakoverstijgende profiel *Coderclass* waarin wordt nagedacht over de betekenis van Informatica voor andere vakgebieden. Monique Dewanchand is de tweede deskundige uit het veld die inzichten heeft die relevant zijn voor dit onderzoek. Zij is Informaticadocente op het Metis Montessori Lyceum. De derde persoon die ideeën heeft die relevant zijn voor dit onderzoek, is Berry Nieskens. Nieskens geeft les als docent op ALASCA in de modules Informatievaardigheden, Programmeren en Research & Development. Daarnaast was Berry tot 2015 bestuurslid van de vakvereniging voor docenten en informatica en ICT-coördinatoren in het onderwijs (i&i). Als laatste heeft de filosofiedocent van het Barlaeus Gymnasium, Alexander Kauffman bijgedragen aan dit onderzoek. De citaten van deze docenten die relevant zijn voor het onderzoek, worden als aparte figuren in de tekst geplaatst waar zij de literatuur ondersteunen of verrijken. Figuur 1 is daar een voorbeeld van (zie Figuur 1).

Figuur 1
Voorbeeld Inzicht Expert



Sectie 1 : Theoretisch raamwerk

Om antwoord te geven op de hoofdvraag "hoe moet kunstmatige intelligentie worden geïmplementeerd in het curriculum van de onderbouw van het voortgezet onderwijs" moet duidelijk worden wat de positie van KI is binnen het curriculum van de onderbouw van het VO. Daarnaast is het van belang toe te lichten wat KI inhoudt en welke aspecten ervan relevant zijn voor een implementatie in het curriculum van de onderbouw van het VO. Deze sectie bevat daarom ten eerste een toelichting van de positie van KI in de voorstellen van de curriculumherzieningen voor het VO in Nederland. Ten tweede wordt een overzicht gegeven van meta-disciplinaire perspectieven op KI waarin de basisprincipes van KI worden toegelicht. Ten derde worden niet-Nederlandse onderwijskundige perspectieven op KI besproken aan de hand van voorstellen van implementaties van KI in het onderwijs. Door de meta-disciplinaire inzichten te verbinden met de onderwijskundige perspectieven op KI wordt aan het eind van deze sectie een conclusie getrokken over de theoretische invulling van de implementatie van KI in het curriculum van de onderbouw van het VO.

1.1 Kunstmatige intelligentie in het voortgezet onderwijs in Nederland

In de voorstellen die ten grondslag liggen aan de curriculumherzieningen die de komende jaren worden doorgevoerd, wordt KI als onderwerp benoemd binnen het nieuwe leergebied digitale geletterdheid door Curriculum.nu (Curriculum.nu, 2019; Slob, 2019). Curriculum.nu is een samenwerkingsverband tussen de Onderwijscoöperatie, de sectorraden, Ouders & Onderwijs, de Algemene Vereniging Schoolleiders (AVS) en het Landelijk Aktie Komitee Scholieren (LAKS). De voorstellen bouwen voort op een rapport van de KNAW waarin digitale geletterdheid als nieuw leergebied werd geïntroduceerd (Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, 2012). In dit rapport wordt benadrukt dat het curriculum een ondersteunende rol moet hebben in het voorbereiden van nieuwe generaties op de toekomst. Het KNAW geeft aan dat curriculumherzieningen die betrekking hebben op de digitale geletterdheid de nieuwe generaties moeten helpen capabele, ondernemende en verantwoordelijke burgers te worden.

Digitale geletterdheid werd in 1997 geïntroduceerd door Paul Gilster (Gilster, 1997). Hij definieerde het concept als het vermogen om informatie te begrijpen en gebruiken in verschillende vormen van een breed scala aan bronnen die via computers worden gepresenteerd. Er is maar een aantal middelbare scholen bezig met de implementatie van digitale geletterdheid en het leergebied is op dit moment geen verplicht onderdeel van het curriculum (Verheesen, 2016). In de voorstellen wordt echter benadrukt dat digitale geletterdheid voor iedereen van belang is. (i&i, 2021; Koninklijke

Nederlandse Akademie van Wetenschappen, 2012; Stichting Leerplan Ontwikkeling, 2018). Het behoort tot de basisvaardigheden van de ontwikkelde mens en is daarmee onmisbaar in de voorbereiding van scholieren op de maatschappij. Het doel van het voortgezet onderwijs wordt doorgaans omschreven als het voorbereiden of klaarstomen van jonge mensen om in de samenleving te kunnen functioneren en gelukkig te kunnen zijn (Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, 2012; Stichting Leerplan Ontwikkeling, 2018; UNESCO, 2006). De implementatie van de digitale geletterdheid laat echter nog op zich wachten en heeft negatieve gevolgen voor de digitale geletterdheid van scholieren: door een tekort aan aandacht voor digitale geletterdheid in het VO dreigen Nederlandse scholieren cruciale vaardigheden niet aangeleerd te krijgen (Stichting Leerplan Ontwikkeling, 2018).

Om digitaal geletterd te zijn, moeten mensen effectief, efficiënt en verantwoord met ICT kunnen omgaan (Kennisnet, 2016). Digitale geletterdheid is een thema dat op dit moment door Curriculum.nu wordt voorgesteld als onderdeel van een herziend curriculum voor het voortgezet onderwijs (VO) in Nederland. Door een groeiende afhankelijkheid van technologie en digitaliserende samenleving groeit de vraag naar duidelijke richtlijnen voor het doceren van digitale geletterdheid vanuit scholen (Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, 2012). De KNAW verdeelde de vaardigheid digitale geletterdheid onder in verschillende componenten die niet onafhankelijk van elkaar kunnen worden begrepen (zie Appendix, Figuur 1). Het eerste component van digitale geletterdheid is basiskennis. Digitaal geletterden moeten volgens de KNAW kennis hebben van de werking van computers en netwerken. Daarnaast wordt het belang van *computational thinking* benadrukt binnen dit component. Het doel van *computational thinking* is een probleem zodanig te kunnen formuleren dat er met behulp van een computer kan worden gezocht naar de oplossing (Barr et al., 2011; Kennisnet, 2016; Stichting Leerplan Ontwikkeling, 2018). *Computational thinking* wordt gezien als de vaardigheid om problemen op te splitsen, te herformuleren en procedureel te werk te gaan in het vinden van een oplossing. Het tweede component van digitale geletterdheid wordt door de KNAW beschreven als het gebruik van technologie. Een kritische houding tegenover informatie- en communicatietechnologieën is hierbij een kernvoorwaarde. Het derde component van digitale geletterdheid wordt beschreven als het verantwoordelijke gedrag binnen een digitale omgeving. De digitaal geletterde moet bijvoorbeeld ethische afwegingen kunnen maken en zich bewust zijn van de impact van digitale technologie op verschillende aspecten van de maatschappij.

Voortbouwend op het rapport van de KNAW heeft Curriculum.nu deze drie componenten van digitale geletterdheid onderverdeeld in zes thema's in een handboek voor digitale geletterdheid: *Veiligheid en privacy in de digitale wereld, De werking en het (creatieve) gebruik van digitale technologie, Digitale*

communicatie en samenwerking, Digitaal burgerschap en *Digitale economie* (Curriculum.nu, 2019). Dit handboek wordt beschouwd als een verdiepend advies op basis van het rapport van de KNAW (Stichting Leerplan Ontwikkeling, 2018). KI wordt in dit handboek als onderwerp genoemd binnen het derde thema omdat KI een voorbeeld is van een digitale technologie. KI wordt namelijk gedefinieerd als de toepassingen van digitale technologie die een vorm van intelligent gedrag vertonen (Curriculum.nu, 2019). Het leerdoel dat betrekking heeft tot KI, houdt in dat leerlingen kennis maken met de basisprincipes van KI en hoe deze toegepast worden. De overkoepelende vaardigheid binnen dit thema is *computational thinking*. De concrete invulling van de implementatie en behandeling van KI binnen het curriculum in Nederland ontbreekt momenteel en deze scriptie is een eerste stap in de verkenning hiervan.

> Niet alleen ouders maar ook docenten hebben de taak om leerlingen voor te bereiden op de dag van morgen. Een implementatie van basiskennis van kunstmatige intelligentie in het onderwijs is daarom onontbeerlijk.
>
> **KI in het onderwijs – H. Akkas**

1.2 Meta-disciplinaire perspectieven op kunstmatige intelligentie

Om de implementatie van KI in het curriculum van het VO te realiseren, is er een overzicht van de basisprincipes nodig die ten grondslag liggen aan het begrip KI. Hoewel een eenduidige conceptualisering van KI ontbreekt, lijkt er cohesie te bestaan over de formulering van het doel van KI (Russell & Norvig, 2016). Het doel van kunstmatige intelligentie is het creëren van machines die dingen doen waarvoor, als mensen ze zouden doen, intelligentie nodig is (McCorduck, 2004). Deze machines en algoritmes moeten taken kunnen uitvoeren waarvoor de menselijke hersenfuncties nodig zijn. Het gaat dus om het nabootsen van het menselijk gedrag en menselijk redeneren, waarbij de cognitieve taken geautomatiseerd worden (van der Vorst et al., 2019). Om dit doel te bereiken, moet ten eerste worden onderzocht wat de menselijke intelligentie inhoudt. Ten tweede is onderzoek binnen de discipline erop gericht intelligentie te creëren met behulp van technologie (Russell & Norvig, 2016). De wens om de werking van de menselijke intelligentie na te bootsen is eeuwenoud. De komst van de computer betekende slechts de beschikbaarheid van een medium om vraagstukken rondom dit thema te gaan beantwoorden (McCorduck, 2004; Negnevitsky, 2005). KI speelt door de technologische mogelijkheden van computers een steeds grotere rol in het leven van mensen. De afhankelijkheid van de technologische ontwikkelingen groeit en het is daarom voor iedereen van belang te begrijpen wat KI inhoudt (Russell & Norvig, 2016; Spyros, 2017).

> De toepassingen van informatica raken aan andere vakgebieden, dus kunstmatige intelligentie doet dat ook.
>
> **KI en disciplines – M. Dewanchand**

Er mist een eenduidige conceptualisering van KI (Russell & Norvig, 2016). Dit komt doordat de grondslagen van de discipline worden gevormd door perspectieven uit meerdere disciplines. De ontwikkelingen binnen KI worden voornamelijk begrepen als onderdeel van de computerwetenschappen (Negnevitsky, 2005; Touretzky & Gardner-McCune, n.d.). Echter, de discipline KI kenmerkt zich door de wisselwerking tussen psychologische, filosofische en wiskundige perspectieven over de manier waarop de menselijke rede kan worden omgezet in wiskundige uitspraken (McCorduck, 2004; Russell & Norvig, 2016). Deze disciplines geven verschillende definities van KI door antwoord te geven op de vraag: 'wat is intelligentie en kan het worden nagebootst in machines?' De verschillende pogingen om antwoord te geven op deze vraag worden door Stuart J. Russell en Peter Norvig gecategoriseerd (zie Figuur 2). De auteurs plaatsen de uiteenlopende definities van KI op twee verschillende assen. Het eerste onderscheid wordt gemaakt met betrekking tot de verschillende opvattingen over wat intelligentie inhoudt. Sommige mensen definiëren intelligentie in termen van gedrag, terwijl anderen intelligentie afmeten aan het denkvermogen. Het tweede onderscheid wordt gekenmerkt door perspectieven op de creatie van intelligentie. Enerzijds wordt er gesproken van KI als het gedrag of het denkvermogen menselijk is. Anderzijds wordt KI gedefinieerd als rationeel denkvermogen of gedrag. Rationeel handelen wordt bijvoorbeeld gezien als het maken van een optimale keuze, terwijl menselijk gedrag ook suboptimaal kan zijn.

Thinking Humanly	**Thinking Rationally**
"The exciting new effort to make computers think . . . *machines with minds*, in the full and literal sense." (Haugeland, 1985) "[The automation of] activities that we associate with human thinking, activities such as decision-making, problem solving, learning . . ." (Bellman, 1978)	"The study of mental faculties through the use of computational models." (Charniak and McDermott, 1985) "The study of the computations that make it possible to perceive, reason, and act." (Winston, 1992)
Acting Humanly	**Acting Rationally**
"The art of creating machines that perform functions that require intelligence when performed by people." (Kurzweil, 1990) "The study of how to make computers do things at which, at the moment, people are better." (Rich and Knight, 1991)	"Computational Intelligence is the study of the design of intelligent agents." (Poole *et al.*, 1998) "AI . . . is concerned with intelligent behavior in artifacts." (Nilsson, 1998)

Figuur 2: Categorisering Defitnities KI (Russell & Norvig, 2016).

Hoewel er verschillende manieren zijn om KI te definiëren, zijn er een aantal aspecten die ten grondslag liggen aan de definities van KI. Deze onderwerpen vormen de basisprincipes die zowel van belang zijn voor het begrijpen van de menselijke intelligentie, als voor het creëren van intelligentie.

Het eerste basisprincipe dat van belang is voor het begrip van KI, is *intelligentie.* Zoals beschreven liggen vraagstukken over de betekenis van de menselijke intelligentie ten grondslag aan perspectieven op KI. Daarnaast is dit basisprincipe ook van belang voor inzichten in het creëren van KI. Hoewel men ervan overtuigd is dat computers taken kunnen uitvoeren die mensen ook uitvoeren, is de vraag of een computer ook intelligent kan zijn. Het debat over de mogelijkheden van intelligentie in computers kenmerkt zich door verschillende posities. Enerzijds is er *strong artificial intelligence* (*strong AI*), de overtuiging dat een computer alle mogelijkheden van een menselijke geest zou kunnen waarborgen. Anderzijds wordt uitgegaan van *narrow artificial intelligence (narrow AI)* waarbij dit onmogelijk lijkt en een computer nooit intelligentie kan bereiken (Brachman & Levesque, 2004; Butz, 2021; Dreyfus, 1974; Rubin, 2019). Vanuit het perspectief van *narrow AI* is KI beperkt mogelijk, zolang erkend wordt dat intelligentie menselijke aspecten kent die niet na te bootsen zijn. Het debat rondom het begrip van intelligentie is antropologisch van aard. Dit debat kenmerkt zich door de vraag: wat maakt de mens een mens? Het lijkt erop alsof er de biologische intelligentie nog niet goed verklaard kan worden omdat bewustzijn een menselijke eigenschap die niet na te bootsen is in een computer (Butz, 2021; Dreyfus, 1974). Daarom is *narrow AI* op dit moment de meest aanvaarde theorie (Lungarella & Fumiya, 2007). De wiskundige Robert Penrose beargumenteert zelfs dat kunstmatige intelligentie vanwege dit gat in de wetenschap een onjuiste term is: kunstmatige slimheid zou een geschiktere benaming zijn voor de mogelijke implementaties van menselijke vaardigheden in computers (Busstra, 2020).

> Mensen zijn het gewend om actief om te gaan met intelligente wezens. Door KI moeten we snappen wat intelligentie inhoudt en welke verschillen en overeenkomsten er bestaan met de menselijke intelligentie.
>
> **Intelligentie – A. Kauffman**

> Zolang we nog niet weten hoe het bewustzijn werkt, kunnen we het niet repliceren in computers. Het gedrag is voorlopig dus het enige waar de intelligentie van een computer op beoordeeld kan worden.
>
> **Intelligentie - B. Nieskens**

Leren wordt gezien als één van deze menselijke vaardigheden als voorwaarde voor intelligentie en vormt het tweede basisprincipe van KI (Alpaydin, 2016). Als mensen zich aanpassen op basis van de omgeving en de ervaringen die zij opdoen, wijst dit namelijk op intelligent gedrag (Shalev-Shwartz & Ben-David, 2013). Dit basisprincipe ligt ten grondslag aan *machine learning* (Alpaydin, 2016). Deze tak van KI wordt gevormd door onderzoek naar de vaardigheid om te leren in computers. Het doel van *machine learning* is niet het nabootsen van het menselijke vermogen om te leren, maar dit vermogen juist te overstijgen (Butz, 2021). Door computers te laten leren op basis van hoeveelheden data die de mens niet zou kunnen verwerken, lijkt *strong AI* steeds realistischer.

Het derde basisprincipe van KI is *kennis*. Zoals beschreven, is het denkvermogen van de mens een belangrijk onderwerp binnen het onderzoeksgebied. Inzichten over het menselijk denkvermogen zijn gefundeerd op epistemologische overtuigingen over de aard van cognitie. De perspectieven op de aard en de betekenis van kennis spelen daarom een grote rol in het begrip van intelligentie (Lungarella & Fumiya, 2007; Papert, 1980). Daarnaast wordt onderzoek naar de creatie van intelligentie gekenmerkt door inzichten in kennisrepresentatie (Brachman & Levesque, 2004). Om een machine intelligent gedrag of redeneervermogen te laten vertonen, moet namelijk worden onderzocht welke mechanismes er nodig zijn om kennis beschikbaar te stellen. Onderzoek naar wiskundige representaties van kennis is de basis voor het gedrag dat een machine vertoont of de redeneeralgoritmen van een machine (Russell & Norvig, 2016). De algoritmen beschrijven de procedurele manipulaties van deze representaties van kennis. *Redeneren* is het basisprincipe van KI dat de brug vormt tussen kennis en acties (Brachman & Levesque, 2004; Russell & Norvig, 2016). Het menselijk redeneervermogen besluit zijn actie namelijk op basis van kennis. Deze besluitprocessen vormen daarmee een belangrijk deel van de menselijke intelligentie en het automatiseren ervan is dus een kernvoorwaarde van KI. De automatiseringen maken gebruik van symbolische representaties van regels en overtuigingen, die op basis van kennis nieuwe regels tot gevolg hebben (Brachman & Levesque, 2004). Logische talen maken het mogelijk om redeneeralgoritmes te maken die deze symbolische representaties gebruiken. Door een machine te leren denken, reflecteer je automatisch op het eigen denkvermogen (Papert, 1980).

> Mensen hebben een beleving bij een materiële waarneming. *Kennis* is daarom meer dan alleen wat in de hersenen is. Bij een computer is geen sprake van een beleving, dus wat betekent het als een computer iets *weet*?
>
> **Kennis – A. Kauffman**

Ethische vraagstukken vormen het vierde basisprincipe van KI (Papert, 1980). KI is doordrongen met ethische vraagstukken waarbij de mogelijkheden, implicaties en gevaren van KI worden bevraagd (Lungarella & Fumiya, 2007; Russell & Norvig, 2016). De effecten van KI technologieën op de samenleving zijn groot: mensen kunnen hun baan verliezen door ontwikkelingen van KI-technologieën en er ontstaan vragen over de verantwoordelijkheid van machines die als intelligent worden beschouwd (Butz, 2021). Door de ontwikkelingen van KI wordt de manier waarop mensen nadenken over bepaalde waarden op de proef gesteld (Papert, 1980). Ongeacht de overtuiging van de mogelijkheden van KI (*strong AI* of *weak AI*) is het dus van belang na te denken

> Voor veel mensen is kunstmatige intelligentie een *black box*. Niet iedereen hoeft precies te weten hoe algoritmes werken of wat neurale netwerken zijn, maar iedereen zou de impact van deze technologieën moeten begrijpen.
>
> **Ki in het onderwijs – H. Akkas**

over de ethische implicaties. Hierbij staat de vraag “is KI wenselijk?” centraal en kunnen verschillende standpunten worden ingenomen over de moraliteit van de ontwikkelingen binnen de discipline.

> De technologische mogelijkheden geven je het gevoel vrij en autonoom te kunnen handelen als subject. Maar precies deze technologische mogelijkheden objectiveren jou. Er ontstaat hier een dilemma.
>
> **Filosofisch dilemma – A. Kauffman**

Deze basisprincipes vormen een deel van het theoretisch raamwerk voor de implementatie van KI in het curriculum van de onderbouw van het VO. Om een module KI te realiseren, is het daarom van belang onderwijskundige perspectieven op de belangrijkste aspecten van KI voor het onderwijs toe te lichten en te structureren.

1.3 Onderwijskundige perspectieven op kunstmatige intelligentie

Het is duidelijk dat in Nederland nog geen concrete theoretische invulling is geformuleerd van een implementatie van KI voor de onderbouw van het VO. Dit tekort aan duidelijke richtlijnen leidt echter niet alleen in Nederland tot zorgen (Unesco, 2019). De huidige curricula in het onderwijs schieten wereldwijd structureel tekort bij de implementatie van het onderwerp. Leerlingen worden daarom niet genoeg voorbereid op een maatschappij waarin KI een grote rol speelt in ieders leven. Er is een tekort aan bijscholing voor leraren in dit onderwerp. Het implementeren van het nieuwe onderwerp in het curriculum vereist een nieuwe samenwerking tussen leraren en onderzoekers. Om les te geven in KI moeten leraren digitale vaardigheden hebben die niet vanzelfsprekend zijn en kennis hebben van de verschillende aspecten van KI.

> Er is sprake van *handelingsverlegenheid* bij docenten, bijvoorbeeld door een gebrek aan kennis. Het is daarom relevant een module KI aan te bieden waarin de basisprincipes zijn uitgewerkt.
>
> **KI in het onderwijs – B. Nieskens**

Toch wordt er in verschillende landen al geëxperimenteerd met manieren om KI te implementeren in het curriculum (Unesco, 2019). Er zijn samenwerkingen tussen onderzoekers en leraren met als doel een scholieren voldoende te informeren en voor te bereiden op een KI gedreven wereld (Touretzky et al., 2019). Door de inhoud van verschillende voorbeeldimplementaties te vergelijken met de beschreven basisprincipes kan een voorstel worden gemaakt voor een implementatie van KI in het curriculum van de onderbouw van het VO in Nederland. Vanwege de omvang van dit onderzoek is gekozen om drie onderwijskundige perspectieven op de implementatie van KI in het onderwijs te bespreken. Deze perspectieven zijn niet alleen afkomstig uit de onderwijssector van verschillende landen, maar tonen ook verschillen in de fase van implementatie. Ten eerste wordt een rapport van de *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) toegelicht. In dit rapport

worden een aantal kernprincipes en -vaardigheden voor een implementatie van KI voorgesteld. Ten tweede wordt een onderwijskundig perspectief op een implementatie van KI in het curriculum uit India toegelicht. De Central Board of Seconday Education (CBSE) heeft de implementatie uitgewerkt als lesprogramma en wordt al toegepast op scholen in India (Central Board of Secondary Education, 2019). De CBSE heeft duidelijke opvattingen over de aspecten van KI die van belang zijn voor een de implementatie in het onderwijs. Het derde perspectief op de implementatie van KI in het curriculum is uitgewerkt in een Amerikaans voorstel dat op dit moment nog in ontwikkeling is (Touretzky & Gardner-McCune, n.d.). De leeftijden van de scholieren in de doelgroepen van de voorstellen komen niet precies overeen met die van de onderbouwscholieren in het voortgezet onderwijs in Nederland. Er is daarom vooral gekeken naar de onderdelen van de verschillende perspectieven die relevant zijn voor de doelgroep binnen dit onderzoek. Daarnaast kan het niveau van onderwijs van overeenkomstige leeftijdscategorieën verschillen tussen landen (UNESCO, 2006). Gegeven het feit dat dit moeilijk te vergelijken is, is de leeftijdscategorie binnen dit onderzoek leidend. De onderwijskundige perspectieven worden vergeleken met de eerder geformuleerde meta-disciplinaire perspectieven op KI. Op basis van deze vergelijkingen worden conclusies getrokken over de inhoud van de implementatie van KI in het curriculum van de onderbouw van het VO in Nederland.

1.3.1 Unesco

Het eerste voorbeeld van een implementatie van KI in het onderwijs wordt beschreven in een rapport van de *United Nations Educational, Scientific, and Cultural* Organisation (Unesco) in 2019 (Unesco, 2019). Unesco stelt vast dat er nog geen land in de wereld voldoende voorbereid is op een toekomst die afhankelijk zal zijn van ontwikkelingen binnen dit technologische domein. Er wordt daarom beargumenteerd dat het van groot belang is om curricula wereldwijd te herzien en scholieren vaardigheden en kennis bij te brengen die noodzakelijk zijn in een KI-gedreven toekomst. Om scholieren voor te bereiden op deze KI-gedreven toekomst, moeten er volgens Unesco verschillende aspecten van digitale geletterdheid in het curriculum worden verwerkt. Volgens de organisatie is *computational thinking* de belangrijkste pijler van digitale geletterdheid die bij een implementatie van KI in het curriculum behandeld moet worden.

De belangrijkste aspecten van KI zijn volgens Unesco *leren, redeneren, probleemoplossing, perceptie* en *taal*. Hoewel de aspecten niet verder worden toegelicht, lijkt het erop alsof elk aspect vertegenwoordigd wordt door de eerder geformuleerde basisprincipes. *Leren* en *redeneren* komen overeen met twee geformuleerde basisprincipes van KI. *Probleemoplossing* wordt door Unesco als

belangrijk onderdeel van *computational thinking* beschouwd. Deze vaardigheid ligt zoals beargumenteerd ten grondslag aan het begrijpen van de basisvaardigheden van KI. *Perceptie* kan worden begrepen als een bron van kennis van de mens. Daarmee raakt dit aspect aan onderwerpen van het basisprincipe *kennis. Taal* is een voorbeeld van kennisrepresentatie. Ook dit aspect lijkt te maken te hebben met *kennis*. Ieder aspect van KI dat door Unesco wordt genoemd, wordt vertegenwoordigd door een van de basisprincipes.

1.3.2 India: *Introduction to AI*

Het tweede voorbeeld van een perspectief op een implementatie van KI in het onderwijs is afkomstig van de Central Board of Secondary Education (CBSE) in India (Central Board of Secondary Education, 2019). Het CBSE heeft KI geïntroduceerd als keuzemodule in het curriculum voor de 8^{e} en 9^{e} klas in India (Central Board of Secondary Education, 2019). De module bestaat uit een programma van vijf componenten. De leeftijd van kinderen in deze klas is overeenkomstig met kinderen in de 3^{e} of 4^{e} klas van het voortgezet onderwijs in Nederland. Het CSBE benadrukt in het programma dat KI niet alleen onvermijdelijk is om scholieren voldoende *AI-ready* te maken, maar ook dat het mogelijkheden biedt voor economische en sociale vooruitgang.

Met het oog op een programma voor de onderbouw van het voortgezet onderwijs wordt daarom gekeken naar het programma voor de 8^{e} klas, *Introduction to AI. Introduction to AI* is het eerste component voor de 8^{e} klas (zie Figuur 3). Dit vak is een introductie van KI waarin wordt ingegaan op de basiskenmerken. Voor dit onderzoek wordt dit vak daarom vergeleken met de beschreven basisprincipes. De belangrijkste vaardigheden die leerlingen opdoen tijdens de module zijn het oplossen van problemen, het creatief denken en het kritisch analyseren van data. Deze vaardigheden worden gereflecteerd in verschillende leerdoelen bij onderwerpen binnen het leerplan.

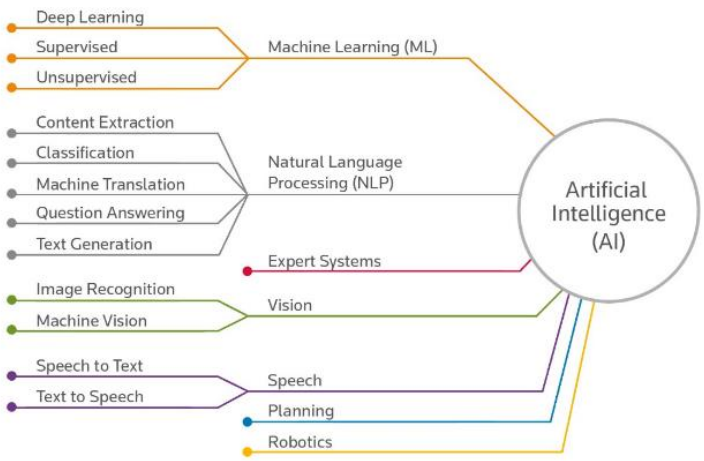
Doel van het onderwijs	Onderwerp	Leerdoel
Enthousiasmeren	Introductie	Beschrijven van de relatie met en de toepassing van KI op het dagelijks leven
	De drie domeinen van KI	Identificeren van de drie domeinen van KI
Herkenning	Slimme producten in omgeving	Herkennen van manieren waarop KI wordt toegepast
	Slimme steden en huizen	Begrijpen van de relevantie van KI
	Interactieve verhaal vertelling	Kennis over het leren toepassen op interactief verhaalschrijven
Doel van KI	Duurzame ontwikkelingsdoelen	Identificeren en ontwikkelen van bewustzijn van duurzame ontwikkelingsdoelen die gebruik maken van KI
Mogelijkheden	Toepassing van KI in verschillende onderzoeksvelden	Beschrijven van toepassingen in verschillende domeinen en industrieën
Ethiek	Bewustzijn van ethiek	Kennis maken met ethische vraagstukken van KI met betrekking tot inclusiviteit, bias en privacy

Figuur 3: Voorbeeldprogramma Implementatie KI in India.

Zoals in de onderwerpen beschreven wordt, legt het CBSE ten eerste nadruk op de toepassingen en de relevantie van KI. De basisprincipes die eerder geformuleerd zijn, liggen ten grondslag aan deze toepassingen. Het kan worden begrepen als de digitale technologieën waarover ethische vragen kunnen worden gesteld. Ten tweede wordt het doel van KI als één van de onderwerpen binnen *Introduction to AI* benoemd. Dit perspectief op het doel van KI verschilt echter van het doel dat naar voren kwam in de meta-disciplinaire perspectieven. Het doel van KI zoals beschreven in *Introduction to AI* kan worden begrepen als het doel van de toepassingen van KI. Het doel van KI zoals vanuit meta-disciplinair inzicht wordt beschreven is daarentegen gericht op het doel van KI als onderzoeksgebied. Het derde aspect van KI dat in *Introduction to AI* wordt behandeld, wordt gevormd door de mogelijkheden van KI als digitale technologie. Het beschrijven van de verschillende domeinen waar toepassingen van KI van belang zijn, ligt in lijn met de eerder beschreven samenkomst van

verschillende disciplines in dit onderzoeksgebied. Het laatste aspect wordt gevormd door ethische vraagstukken rondom KI. Het sluit aan op het basisprincipe *ethische vraagstukken* door een aantal van deze vraagstukken te specificeren.

Het CBSE heeft ook een categorisering van KI gepresenteerd (Central Board of Secondary Education, 2020). Deze categorisering wordt genoemd in een voorstel van een geïntegreerde implementatie van KI in het curriculum (zie Figuur 4).



Figuur 4: Categorisering KI volgens CBSE.

Het CBSE beargumenteert dat KI niet alleen als onderwerp moet worden geïntroduceerd in het curriculum, maar ook verbonden moet worden met andere vakken in het curriculum. Dezelfde leerdoelen uit het eerder beschreven rapport worden benoemd, al zouden ze volgens dit voorstel op geïntegreerde wijze behaald worden (Central Board of Secondary Education, 2020). Vanwege de omvang van dit onderzoek wordt alleen gekeken naar de mogelijkheden die worden geschetst die betrekking hebben op de eerste implementatie: KI als aparte module binnen het curriculum. De categorisering is echter wel van belang voor dit onderzoek. Het CBSE verdeelt KI onder in verschillende onderwerpen, die elk weer verdeeld worden in sub-onderwerpen. De onderwerpen zijn terug te herleiden naar de basisprincipes. *Machine learning* wordt vertegenwoordigd in het basisprincipe *leren*. *Natural language processing* is een onderdeel van kennisrepresentatie (Pustejovsky & Boguraev, 1993). *Expert systems* maken gebruik van kennis om beslissingen te maken en raken daarmee aan de basisprincipes *kennis* en *redeneren* (Russell & Norvig, 2016). Ook het onderwerp *vision* wordt vertegenwoordigd in de basisprincipes omdat het wederom kan worden begrepen als een vorm van kennisvergaring. *Speech* verwijst naar de toepassing van KI waarin gesproken taal kan worden omgezet naar tekst en andersom. Het vermogen om te spreken in een taal die onderhevig is aan grammaticale regels wordt als een van de voorwaarden van intelligentie beschouwd (Spyros, 2017). Dit aspect is dus

een onderdeel van het basisprincipe intelligentie. Het onderwerp *planning* sluit aan op de basisprincipes *redeneren* en *intelligentie* omdat het een categorie is van redeneeralgoritmes die een besluitvormingsproces beschrijven. Daarnaast wordt het gezien als een belangrijke voorwaarde van de menselijke intelligentie (Russell & Norvig, 2016). Het laatste onderwerp van KI dat door het CBSE wordt beschreven is *robotics*. Dit is een toepassing van KI waarin niet alleen wordt geprobeerd intelligentie na te bootsen, maar ook de belichaming van deze intelligentie te laten lijken op de mens (Rubin, 2019). *Robotics* is een onderwerp waar veel ethische vraagstukken bij worden gesteld. Het onderwerp raakt in elk geval aan de basisprincipes *intelligentie* en *ethische vraagstukken.*

1.3.3 Amerika: *AI4K12*

Het derde voorbeeld van een implementatie van KI als onderwerp in het onderwijs is AI4K12 (Touretzky & Gardner-McCune, n.d.). Dit Amerikaanse initiatief is afkomstig van de *Association for the Advancement of Artificial Intelligence* (AAAI) en de *Computer Science Teachers Association* (CSTA). Deze organisaties ontwikkelen richtlijnen en instructieplannen voor de implementatie van KI in het onderwijs. Het voorstel is gericht op scholieren die in de Amerikaanse schooljaren 1 t/m 12 zitten. Het programma is opgedeeld in 4 leeftijdscategorieën: klas 2, klas 3-5, klas 6-8 en klas 9-12. De leeftijd van scholieren in de onderbouw van het Nederlandse VO is overeenkomstig met de leeftijd van Amerikaanse scholieren in klas 6-8. Op dit moment ontwikkelt de organisatie de uitwerkingen van verschillende KI thema's voor K-12 scholieren (Touretzky & Gardner-McCune, n.d.). Vijf *Big Ideas* vormen de basis van het opgestelde leerplan. Deze onderwerpen zijn *waarneming* (*Perception*)*, representatie en redenering* (*Representation and Reasoning*), *leren* (*Learning*), *natuurlijke interactie* (*Natural Interaction*) en *maatschappelijke impact* (*Societal Impact*) (zie Appendix, Figuur 1).

Twee van de vijf thema's, *waarneming* en *leren,* zijn door AI4K12 uitgewerkt met de bijbehorende leerdoelen (zie Figuur 5). *Waarneming* raakt aan verschillende basisprincipes die op basis van de meta-disciplinaire inzichten zijn geformuleerd. Er wordt zowel aandacht besteed aan de manier waarop kennis wordt vergaard als aan de manier waarop kennis gerepresenteerd zou kunnen worden. Daarnaast wordt ingegaan op de ethische vraagstukken die kunnen ontstaan als menselijke kennis niet of verkeerd gerepresenteerd wordt. Hiermee raakt het dus aan de basisprincipes *kennis, redeneren* en *ethische vraagstukken*. Het thema *leren* vormt een van de basisprincipes. Het is duidelijk dat de inhoud van dit thema ook aansluit op de andere basisprincipes. Ten eerste wordt in dit thema de vergelijking tussen leren als menselijke vaardigheid en leren als vaardigheid van een computer behandeld. Het benoemen van overeenkomsten en verschillen tussen de mens en de computer is een belangrijk

onderwerp binnen het basisprincipe *intelligentie* dus dit thema sluit hierop aan. Ten tweede wordt benoemd dat het van belang is dat scholieren het verschil uit kunnen leggen tussen verschillende toepassingen van KI, waaronder redeneermodellen. *Redeneren* is dus ook een basisprincipe dat in dit thema naar voren komt. Ten derde wordt benadrukt dat de ethische vraagstukken die ontstaan door leermodellen een belangrijk onderdeel is binnen dit programma. Het programma gaat dus ook in op het basisprincipe *ethische vraagstukken*.

Hoewel er voor de overige drie onderwerpen van AI4K12 geen voorbeeldprogramma's beschikbaar zijn waarin de ideeën uitgewerkt zijn met de bijbehorende leerdoelen, worden de belangrijkste subonderwerpen van deze ideeën uitgewerkt in een voorpublicatie van het boek "Artificial Intelligence Thinking in K-12" (Touretzky & Gardner-McCune, z.d.). Het derde thema, *representatie en redeneren*, kenmerkt zich door de relatie tussen de representatie van kennis en redeneeralgoritmes. Volgens de ontwikkelaars is het van belang scholieren inzicht te geven in manieren waarop kennis gerepresenteerd kan worden en de procedures die gebruik kunnen maken van deze representaties: de redeneerprocedures. Daarnaast beargumenteren de auteurs dat scholieren moeten begrijpen dat representaties niet alleen gebruikt, maar ook gemanipuleerd kunnen worden door een algoritme. De auteurs noemen daarnaast een aantal onderwerpen die voor oudere scholieren geïntroduceerd zouden kunnen worden als voorbereiding op na-K-12 onderwijs. Het lijkt erop dat dit dus onderwerpen zijn die niet gericht zijn op klas 6-8, daarom worden deze onderwerpen hier niet benoemd.

Het vierde idee, natuurlijke interactie, behelst vraagstukken die betrekking hebben tot de interactie tussen mens en computer. Het eerste sub-onderwerp dat binnen dit thema wordt benoemd, is *begrip* (*understanding*). De auteurs beargumenteren dat begrip gaat over het begrijpen en betekenis geven aan taal. Hierbij wordt ingegaan op de semantiek en de syntax van taal. Het tweede sub-onderwerp betreft gezond-verstand redeneren (*common sense reasoning)*, waarbij leerlingen kennis maken met het redeneren met een niveau van kennis dat het best kan worden beschreven als het gezond verstand. Het is van belang dat scholieren de verschillen inzien tussen de een idee krijgen van het verschil tussen het hebben van deze kennis bij mensen en met betrekking tot dat niveau van kennis. Dit verschil wordt geïllustreerd aan de hand van *Artificial General Intelligence* (AGI) en sluit aan op van verschillen tussen de theorieën *narrow KI* en *strong AI.* Door deze theorieën te behandelen zullen scholieren hun idee van intelligentie in een computer nuanceren. Het derde sub-onderwerp is *affective computing*. Hierbij worden het belang van emoties bij interactie en de verschillen daarin tussen mens en computer duidelijk. Ten vierde noemen de auteurs het onderwerp *consciousness and theory of mind*, waarbij aandacht wordt besteed aan filosofische theorieën over de geest. Scholieren leren na te denken over

wat de geest is en of computers die ook kunnen hebben. Dit thema benoemt elementen van de basisprincipes *intelligentie* en *kennis.*

Als laatste introduceert AI4K12 het onderwerp maatschappelijke impact. De maatschappelijke impact van KI wordt door hen beschreven aan de hand van vier onderwerpen. Het eerste onderwerp betreft de ethische vraagstukken die voortkomen uit het gebruik van KI om beslissingen te maken over mensen. Ten tweede wordt aandacht besteed aan de gevolgen van KI voor de economie. De culturele uitdagingen die KI met zich meebrengt, kenmerken het derde onderdeel van de maatschappelijke impact. Als laatst wordt ook de rol van KI in het verbeteren van de maatschappij als geheel beschreven als onderdeel van de maatschappelijke impact. Binnen het programma hebben de ethische vraagstukken betrekking op elk thema (zie Appendix, Figuur 2). Hiermee raakt dit vijfde thema van het programma aan alle basisprincipes die geformuleerd zijn op basis van de meta-disciplinaire perspectieven.

1.3.4 Onderwijskundige perspectieven samengevoegd

De onderwijskundige perspectieven van Unesco, AAAI en CSTE en het CBSE vertonen verschillen en overeenkomsten. Unesco noemt *computational thinking* als de belangrijkste vaardigheid waar aandacht aan moet worden besteed in een implementatie van KI in het curriculum. In het rapport van Unesco wordt niet gewezen op het belang van ethische vraagstukken of het onderzoeken van het concept intelligentie. Daarom lijkt het perspectief van Unesco op deze punten tekort te schieten. De perspectieven van het CBSE lijken te raken aan alle basisprincipes die zijn geformuleerd op basis van de meta-disciplinaire perspectieven. De conceptualisering van KI door deze organisatie doet vermoeden dat de nadruk binnen dit programma vooral ligt op de technologische toepassingen van KI. AI4K12 is een zeer compleet programma waarin alle basisprincipes worden behandeld. Het is duidelijk dat de ethische vraagstukken rondom KI op elk thema van toepassing zijn en daarmee een centrale rol hebben in het programma. Het thema *maatschappelijke impact* is het thema dat op basis van reflectie alle basisprincipes met elkaar lijkt te verbinden.

De pijlers van KI zoals deze worden beschreven in het tweede rapport van CBSE komen ook terug in het voorbeeldprogramma van AI4K12. *Machine Learning* is onderdeel van het idee *leren*, NLP is onderdeel van *natuurlijke interactie*, *representatie en redeneren* zijn de fundamenten van *Expert Systems*, *Vision* is een onderdeel van *waarneming*. *Speech* komt niet alleen in *natuurlijke interactie*, maar ook in *waarnemen* terug. *Planning* is onderdeel van redeneren, en is daarom onderdeel van

representatie en redeneren. Robotics vindt als technologische toepassing zijn technische fundamenten in *representatie en redeneren*, maar wordt als onderzoeksgebied ook vormgegeven door perspectieven vanuit *natuurlijke interactie* en de maatschappelijke impact van AI. Daarnaast zijn veel toepassingen van *robotics* gebaseerd op leeralgoritmes.

Als het voorstel van AI4K12 wordt vergeleken met de beschreven perspectieven van UNESCO, wordt ten eerste duidelijk dat de keuze van onderwerpen in lijn ligt met de categorisering van KI onderwerpen die wordt voorgesteld door UNESCO. Leren, redeneren, en perceptie worden ook expliciet door AI4K12 als onderwerp benoemd. Probleemoplossing en taal zijn in het programma van AI4K12, zoals beschreven, verweven in de ideeën representatie en redeneren en natuurlijke interactie respectievelijk. Daarnaast wordt duidelijk dat de verschillende componenten van *computational thinking* die Unesco presenteert, verschillende raakvlakken heeft met de thema's van AI4K12 (zie Figuur 6).

RAAKVLAKKEN	**Thema - AI4K12**	**Component *computational thinking* - UNESCO**
Door kennis en problemen op een juiste manier digitaal te representeren, kan een algoritme (bijvoorbeeld een zoekboom) redeneren wat de oplossing (beslissing) is.	▪ Representatie en redeneren	▪ Formuleren van problemen dat computers en andere hulpmiddelen kunnen bijdragen aan de oplossing
Om een computer op basis van menselijke kennis te laten redeneren, moet kennis gevat en georganiseerd worden. Kennisrepresentatie is een onderdeel van leren. Het analyseren van data kan alleen als data gerepresenteerd is.	▪ Representatie en redeneren, leren	▪ Logisch organiseren en analyseren van data
Het representeren van data met behulp van modellen en simulaties is de kern van leeralgoritmes.	▪ Representatie en redeneren, leren	▪ Representeren van data door met modellen en simulaties te abstraheren
Een redeneeralgoritme automatiseert het menselijke redeneerproces. Er zijn verschillen tussen menselijke redeneerprocessen en algoritmische redeneerprocessen. Deze verschillen kunnen invloed hebben op de oplossing.	▪ Representatie en redeneren, natuurlijke interactie, maatschappelijke impact	▪ Automatiseren van oplossingen met behulp van algoritmisch denken
Effectiviteit en efficiëntie als kern van rationele redeneeralgoritmes. Menselijke redeneerprocessen zijn niet altijd rationeel. De interactie tussen mens en computer kenmerkt zich door het analyseren van mogelijke oplossingen.	▪ Representatie en redeneren, leren, natuurlijke interactie	▪ Identificeren, analyseren en implementeren van mogelijke oplossingen met efficiëntie en effectiviteit als doel
Bij generalisatie kunnen vraagstukken over bias/gerichtheid van een algoritme ontstaan.	▪ Representatie en redeneren, leren, maatschappelijke impact	▪ Generaliseren van een probleemoplossingsproces en toepassen ervan op een breed scala aan problemen

Figuur 6: Raakvlakken Thema's AI4K12 en computational thinking

AI4K12 lijkt zoals beschreven een zeer volledig beeld te schetsen van de belangrijkste onderwerpen binnen AI. Het programma waarborgt niet alleen alle basisprincipes die op basis van de meta-disciplinaire inzichten zijn geformuleerd, maar reflecteert ook de overtuiging dat het *computational*

thinking van groot belang is voor de implementatie van KI. Dit maakt het een geschikt startpunt om een implementatie van KI in het curriculum van de onderbouw van het VO in Nederland vorm te geven.

Sectie 2: Van theorie naar praktijk

Nu duidelijk is wat de relevantie en de inhoudelijke kenmerken van een KI implementatie in het curriculum van de onderbouw van het VO in Nederland zijn, moet worden beschreven hoe deze implementatie kan worden vormgegeven. Zoals beschreven wordt KI als onderdeel van digitale geletterdheid genoemd in de voorstellen voor de curriculumherzieningen. In het curriculum worden de kerndoelen en de inhoud van het onderwijs vastgelegd (Curriculum.nu, 2019). Dit onderzoek is in samenwerking met een montessorischool opgezet en de praktische implementatie zal ook op deze school worden getoetst. Daarom wordt het voorstel gebaseerd op onderwijskundige theorieën die binnen het montessorionderwijs van toepassing zijn. Daarom wordt ten eerste toegelicht wat de onderwijskundige theorieën zijn die de basis vormen van de ideologie van een montessorischool. Ten tweede wordt toegelicht op welke manier deze theorieën tot uiting komen in het vormgeven van een onderwerp in het curriculum. Als laatst worden de bevindingen gecombineerd met de inzichten uit sectie 1 met een module KI als resultaat. Zo vormen de inhoudelijke inzichten vanuit sectie 1 samen met onderwijskundige perspectieven een welgefundeerd voorstel voor de implementatie van KI in het onderwijs.

2.1 Montessorionderwijs en constructivisme

De kern van het gedachtegoed van het montessorionderwijs is het idee van auto-educatie waarbij de leerling centraal staat (Al et al., 2012). Dit leerproces op basis van eigen ervaringen wordt voor scholieren mogelijk gemaakt door een georganiseerd curriculum (Chattin-McNichols, 1981). De rol van de leraar is daarom faciliterend, door het materiaal te introduceren en te demonstreren maar scholieren zelf nieuwe inzichten te laten ontwikkelen. Kinderen werken vaker alleen, maar zijn aangemoedigd om te interacteren in activiteiten. Het doel van het onderwijs is kinderen helpen om competente, sociaal verantwoorde burgers te worden die zichzelf en anderen respecteren (Breithorde & Swiniarski, 1999).

> Eén van de montessorikenmerken is dat "leren" binnen en buiten de school gebeurt. KI is bij uitstek een onderwerp dat hierop aansluit, omdat het fundamenteel is voor de vorming van leerlingen.
>
> **KI in het onderwijs - H. Akkas**

Montessorionderwijs vindt haar fundamenten in het (sociaal)-constructivisme. Het constructivisme is een epistemologie over leren en over onderwijs (Breithorde & Swiniarski, 1999). Hierin wordt een duidelijk onderscheid gemaakt tussen kennis en leren en de overtuiging is dat scholieren actief betrokken worden bij het eigen leerproces om te kunnen leren. (Lucassen & Peeters, 2021). Leren is het aanpassen van betekenis op basis van ervaring (Tam et al., 2016). Deze kennisleer staat tegenover het objectivisme. Het objectivisme stelt dat kennis en waarheid buiten de geest van het individu bestaan en daarom objectief zijn (Hyun, 2006; Papert, 1980). Scholieren leren deze waarheden door de wereld tot zich te nemen en structureren de inhoud in hun geest. Vanuit een constructivistisch perspectief wordt waarheid juist als een subjectief en veranderend concept begrepen (Willis, 2000). Het leerproces bestaat daarom uit het construeren van kennis binnen een sociale context en het reflecteren op het leerproces. Dit leerproces is een actief proces, waarin reflecteren een kernbegrip is. Hoewel binnen het constructivisme de leerling centraal staat, sluit deze individualistische insteek van constructivisme samenwerking niet uit (Tam et al., 2016). Interactie met andere scholieren stimuleert namelijk het proces van kennisconstructie in een sociale context.

In de context van dit onderzoek is het belangrijk te onderzoeken wat een constructivistische benadering kan zijn van een implementatie van een onderwerp in het curriculum. Inzichten over het implementeren van onderwijskundige idealen komen vanuit het gedachtegoed van instructieontwerp. Deze discipline is gerelateerd aan onderwijskunde, en houdt zich bezig met het begrijpen en verbeteren van onderwijs. Hoewel verschillende onderwijskundige ideologieën ten grondslag kunnen liggen aan de verschillende ontwerpen, biedt een instructieontwerp altijd een raamwerk van instructiemethodes om de kennis en vaardigheden van scholieren te beïnvloeden. De ontwerpen verbinden de onderwijskundige theorie met de praktijk en kunnen worden begrepen als richtlijnen die als handvatten gebruikt kunnen worden om gewenste uitkomsten van het onderwijs te realiseren (Breithorde & Swiniarski, 1999; Reigeluth, 1983).

2.2 Constructivistisch instructieontwerp

Om een onderwijskundige theorie als het constructivisme te realiseren in het onderwijs, moet er een passende instructieset worden ontworpen die de leraar richting kan geven in het onderwijzen en de leeromgeving definieert (Biggs, 1996; Tam et al., 2016). Zoals beschreven gaat het constructivisme uit van het belang van meerdere perspectieven, context en sociale constructie en er lijkt dus op het eerste gezicht weinig ruimte voor harde richtlijnen of instructies. Echter, de constructivistische opvattingen

hebben juist meerdere perspectieven op instructieontwerpen tot gevolg die houvast kunnen bieden aan de vormgevers en uitvoerders van het onderwijs vanuit deze ideologie.

Een voorbeeld van een constructivistisch instructieontwerp is het R2D2 model van Jerry Willis, waarin drie flexibele richtlijnen worden voorgesteld (Willis, 2000). Het eerste principe is het idee dat het instructieontwerp recursief en non-lineair van aard is. Dit betekent dat alle aspecten van een vak of module, zoals leerdoelen, inhoud en activiteiten, niet allemaal vooraf bepaald zijn maar tijdens het uitvoeren ervan gevormd kunnen worden. De tweede richtlijn van het R2D2 model houdt in dat constructivistische instructieontwerpen reflectief van aard zijn. Dit betekent dat problemen niet per definitie duidelijk afgebakend, geformuleerd of opgelost kunnen worden. Ten derde is het ontwerp gebaseerd op inzichten vanuit de praktijk die elkaar kunnen aanvullen. Ervaring uit de praktijk leidt tot inzichten, en het combineren van deze inzichten draagt bij aan een betrouwbaar instructieontwerp.

Een theorie om de deze ideeën van een constructivistisch instructieontwerp in de praktijk te brengen, wordt voorgesteld door John Biggs (Biggs, 1996). *Constructive alignment* waarborgt zowel het belang van richtlijnen die binnen een constructivistisch instructieontwerp worden benadrukt als de constructivistische opvattingen over subjectiviteit en construerend leren (Biggs, 1996, 2003; Maastricht University Institute for Education, 2016). De theorie *constructive alignment* benadrukt dat de leerling zijn eigen leerproces moet vormen tijdens verschillende relevante leeractiviteiten. De rol van de leraar kenmerkt zich door het faciliteren van een omgeving waarin deze relevante activiteiten gerealiseerd kunnen worden en de werkzaamheden zijn er dus op gericht om de gewenste leerdoelen te behalen. *Constructive* refereert naar het idee dat scholieren betekenis van onderwijs ontwikkelen door het leren. *Allignment* in deze context betekent dus het parallelliseren van alle onderdelen van het onderwijs: het curriculum en de gewenste doelen ervan, de onderwijsmethode en de beoordelingstaken moeten ingericht zijn met hetzelfde doel voor ogen.

De eerste stappen die genomen moeten worden om onderwijs op basis van *constructive alignment* te realiseren, is het formuleren van leerdoelen die door leerlingen behaald zouden moeten worden tijdens het onderwijs waarin een onderwerp behandeld wordt (Maastricht University Institute for Education, 2016; Md Jani et al., 2020). Het proces van het opstellen van leerdoelen hangt af van de mate waarin dit onderwerp al is geïmplementeerd in het curriculum. Omdat er nog geen concrete implementatie van KI in het curriculum van de onderbouw van het VO in Nederland is, is het voor dit onderzoek van belang de stappen in acht te nemen die nodig zijn om leerdoelen op te stellen voor een onderwerp dat nog niet geïmplementeerd is in het curriculum.

2.3 Leerdoelen

Het formuleren van leerdoelen binnen constructivistisch gedachtegoed luistert minder nauw dan binnen andere onderwijskundige theorieën. Er is namelijk ruimte voor reflectie en aanpassing (Tam et al., 2016). Desalniettemin wordt er vanuit de theorie *constructive alignment* beargumenteerd dat deze ruimte voor reflectie wel beoogde leerdoelen vereist (Biggs, 2003). Leerdoelen bestaan uit een werkwoord dat beschrijft wat leerlingen zouden moeten kunnen na het volgen van onderwijs dat een onderwerp behandeld (Brame, 2019). Ook bevatten leerdoelen een beschrijving van de inhoud van dat onderwerp. Om leerdoelen op te stellen voor een onderwerp dat nog niet geïmplementeerd is, kan gebruik worden gemaakt van de taxonomie van Benjamin Bloom, die door David Krathwohl is herzien (Krathwohl, 2002). Deze taxonomie categoriseert de cognitieve niveaus van verschillende vaardigheden (zie Figuur 7). De cognitieve niveaus verschillen in complexiteit: *onthouden* is het laagste niveau en *creëren* wordt als meest complexe cognitieve niveau beschouwd. Met behulp van deze niveaus kan een passend leerdoel worden geformuleerd voor een component van het onderwerp dat een bepaald cognitief niveau vereist (Brame, 2019; Krathwohl, 2002). De werkwoorden die worden genoemd bij de cognitieve niveaus kunnen namelijk worden gebruikt in de formulering van het leerdoel om het bijbehorende cognitieve niveau te reflecteren.

Structure of the Cognitive Process Dimension of the Revised Taxonomy

1.0 Remember – Retrieving relevant knowledge from long-term memory.
- ***1.1 Recognizing***
- ***1.2 Recalling***

2.0 Understand – Determining the meaning of instructional messages, including oral, written, and graphic communication.
- ***2.1 Interpreting***
- ***2.2 Exemplifying***
- ***2.3 Classifying***
- ***2.4 Summarizing***
- ***2.5 Inferring***
- ***2.6 Comparing***
- ***2.7 Explaining***

3.0 Apply – Carrying out or using a procedure in a given situation.
- ***3.1 Executing***
- ***3.2 Implementing***

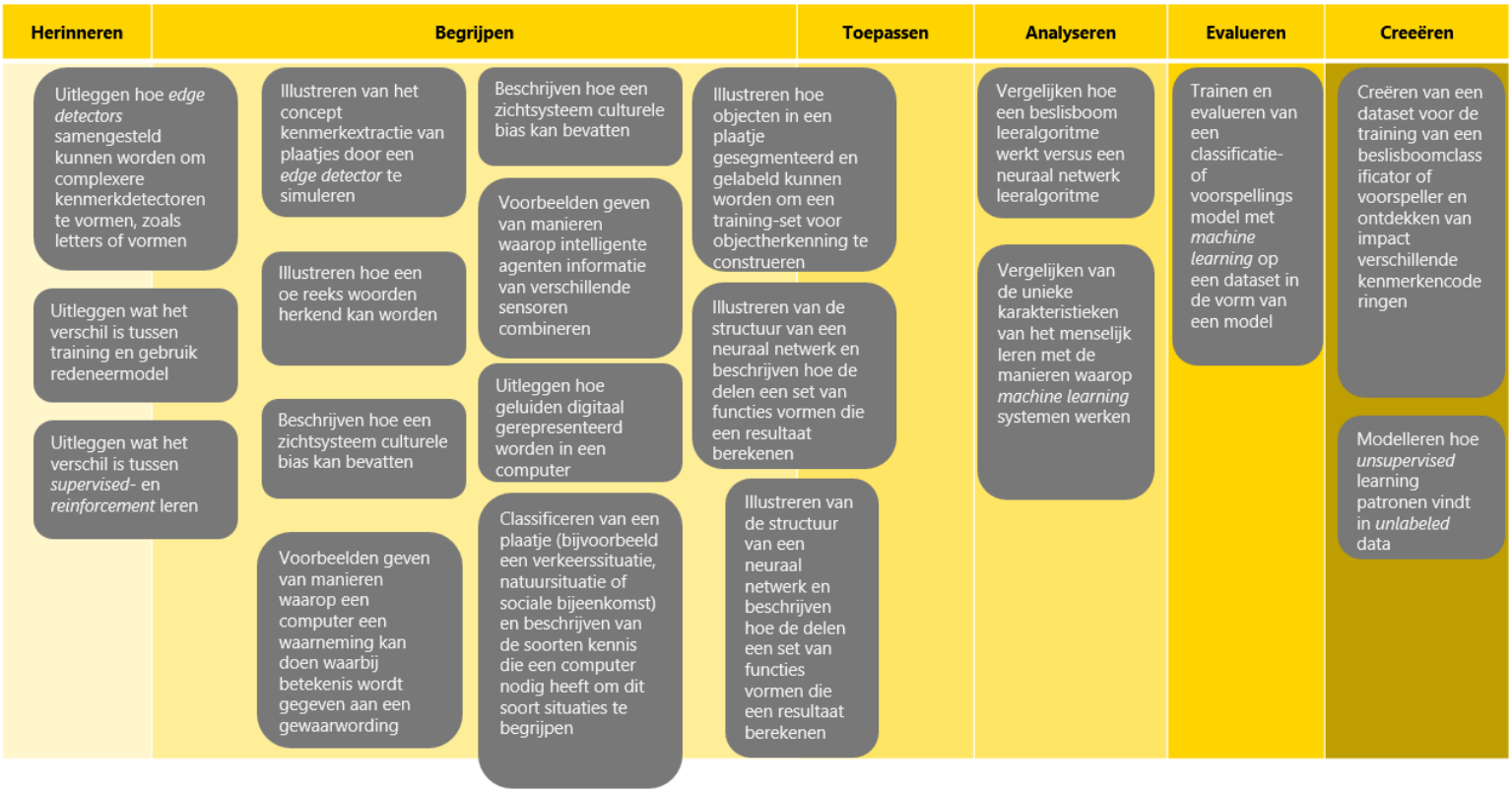
4.0 Analyze – Breaking material into its constituent parts and detecting how the parts relate to one another and to an overall structure or purpose.
- ***4.1 Differentiating***
- ***4.2 Organizing***
- ***4.3 Attributing***

5.0 Evaluate – Making judgments based on criteria and standards.
- ***5.1 Checking***
- ***5.2 Critiquing***

6.0 Create – Putting elements together to form a novel, coherent whole or make an original product.
- ***6.1 Generating***
- ***6.2 Planning***
- ***6.3 Producing***

Figuur 7: De taxonomie van cognitieve niveaus van Bloom, gereviseerd door Krathwohl (Krathwohl, 2002).

Door deze taxonomie toe te passen op de leerdoelen die in het AI4K12 programma zijn opgesteld, wordt duidelijk dat de leerdoelen binnen dit programma verschillende cognitieve niveaus reflecteren (zie Figuur 8). Hoewel de meeste leerdoelen binnen de het cognitieve niveau *begrijpen* vallen, worden alle cognitieve niveaus gerepresenteerd in de leerdoelen van AI4K12.



Figuur 8: De leerdoelen van de thema's waarneming *en* leren *toegepast op de taxonomie van Krathwohl*

Om een implementatie van KI in het curriculum van de onderbouw van het VO in Nederland te realiseren, worden er leerdoelen opgesteld voor de thema's van het programma AI4K12. Het uitgangspunt van dit onderzoek is het toepassen van de implementatie in het montessorionderwijs. Zoals beschreven, is de theorie *constructive alignment* een raamwerk waarbinnen een implementatie van KI kan worden vormgegeven die passend is voor deze onderwijsvorm. Vanuit *constructive alignment* wordt benadrukt dat er niet meer dan zes leerdoelen per onderwerp worden opgesteld als de implementatie van het onderwerp een vak betreft. De leerdoelen die in dit onderzoek worden opgesteld betreffen de vijf thema's van AI4K12. Er is daarom gekozen voor ieder thema één leerdoel op te stellen.

Om structuur en handvatten te bieden om de leerlingen uiteindelijk te kunnen beoordelen worden de leerdoelen van de implementatie van KI in het curriculum van de onderbouw van een montessorischool volgens de door Krathwohl herziene taxonomie van Bloom geclassificeerd (zie Figuur 9). Hoewel de leerdoelen van AI4K12 binnen verschillende cognitieve niveaus vallen, ligt de nadruk op het niveau *begrijpen*. Daarom bevatten de leerdoelen overwegend werkwoorden die in deze categorie vallen. Hoewel er sprake is van een complexiteitsvolgorde, hangt het kiezen van de juiste categorie van cognitieve processen af van het onderwerp (Brame, 2019).

Onderwerp	Leerdoel
Waarneming	Analyseren op welke manier gewaarwording en verwerking van met elkaar samenhangen in machines en mensen
Representatie en redeneren	Analyseren wat de relatie is tussen representatie en redeneren
Leren	Analyseren op welke manieren het menselijk leren geïmplementeerd kan worden als leermodel
Natuurlijke interactie	Evalueren van theorieën over de relatie tussen mens en machine
Maatschappelijke impact	Evalueren van maatschappelijke vraagstukken die kunstmatige intelligentie als technologie met zich meebrengt

Figuur 9: Het voorstel van de implementatie van KI met de bijbehorende leerdoelen

Discussie

Dit onderzoek is een eerste stap geweest in het formuleren van richtlijnen voor het implementeren van kunstmatige intelligentie als onderdeel van het curriculum voor het voortgezet onderwijs in Nederland. In Sectie 1 is een theoretisch raamwerk gepresenteerd waarin de inhoudelijke kenmerken van een implementatie van KI in het curriculum van het VO in Nederland zijn beschreven. In Nederland wordt KI vanuit dit perspectief als onderwerp beschouwd van het leergebied digitale geletterdheid. Ten eerste is beschreven wat de huidige invulling is van KI in de voorstellen van de curriculumherzieningen van het VO in Nederland. Ten tweede werd beschreven wat de meta-disciplinaire inzichten in KI als onderwerp inhouden. Om de basisprincipes vorm te geven, zijn verschillende theorieën over KI als discipline en KI als digitale technologie met elkaar vergeleken. Het resultaat daarvan zijn vijf basisprincipes: *intelligentie*, *leren, kennis*, *redeneren* en *ethische vraagstukken.* Het derde onderdeel van Sectie 1 beschrijft onderwijskundige perspectieven op de implementatie van KI in het onderwijs. Door deze implementaties van KI in het onderwijs te vergelijken met de eerder beschreven meta-disciplinaire perspectieven, werd duidelijk wat de implementatie van KI vanuit onderwijskundig perspectief inhoudt. Het programma AI4K12 uit Amerika leek een compleet beeld van KI te behandelen, waarin alle basisprincipes werden vertegenwoordigd. Bovendien wordt het idee dat de ethische vraagstukken van KI raken aan alle aspecten van KI gewaarborgd. Daarnaast was het in lijn met de andere onderwijskundige perspectieven. Het belang van *computational thinking* als onderdeel van de implementatie zoals door Unesco wordt benadrukt, wordt in AI4K12 bevestigd. Daarnaast komen de speerpunten van het programma van CBSE terug in AI4K12. Ook de componenten van de toepassingsgerichte conceptualisering van KI zoals werd beschreven door het CBSE worden gereflecteerd in AI4K12.

In Sectie 2 is de vertaalslag gemaakt naar de praktijk. Het uitgangspunt van dit onderzoek is een implementatie voor het montessorionderwijs. Daarom is in deze sectie ten eerste aandacht besteed aan de onderwijskundige grondslagen van een implementatie van een nieuw onderwerp in het curriculum van het montessorionderwijs. Vervolgens zijn deze inzichten uit de onderwijskunde gecombineerd met de theoretische perspectieven uit Sectie 1 en uitgewerkt in een voorstel van leerdoelen van een implementatie van KI. Door leerdoelen te formuleren die aansluiten op de theoretische fundamenten en in lijn zijn met de onderwijskundige eisen, is de eerste stap gezet het realiseren van een implementatie van KI in het curriculum van de onderbouw van het VO in Nederland.

Dit onderzoek heeft een voorstel gedaan voor de theoretische fundamenten van een implementatie van KI in het curriculum van de onderbouw van het VO. Door de implementatie om praktische redenen

te richten op het montessorionderwijs worden andere onderwijsvormen niet gerepresenteerd in het uiteindelijke voorstel. De resultaten uit Sectie 1 zouden daarom de basis kunnen vormen voor vervolgonderzoek naar de implementatie van KI in het curriculum zodat het toegepast kan worden op andere onderwijsvormen.

Daarnaast is bij het vergelijken van de onderwijskundige perspectieven op de implementatie van KI in het curriculum geen rekening gehouden met verschillende onderwijsniveaus tussen landen. Om een beter inzicht te krijgen in geschikte programma's voor verschillende onderwijsniveaus moet ten eerste meer onderzoek worden gedaan naar de resultaten van bestaande implementaties. Als er meer vergelijkingsmateriaal is, kunnen programma's steeds gerichter worden vormgegeven. In het verlengde hiervan is het limiterend geweest om de voorstellen te vergelijken op basis van de leeftijd van de doelgroepen. Als het onderwijsniveau structureel verschilt tussen landen, kunnen er ook verschillen bestaan tussen het niveau van leeftijdscategorieën. Daarom geldt wederom: meer onderzoek naar de resultaten van toepassingen van bestaande implementaties zullen bijdragen aan de doeltreffendheid van programma's waarin KI wordt behandeld.

De besproken voorbeeldprogramma's zijn nog in ontwikkeling en illustreren de schaarste en actualiteit van onderzoeken naar implementaties van KI in het onderwijs. Er worden in dit onderzoek conclusies getrokken over de onderwijskundige perspectieven op de implementatie van KI in het onderwijs op basis van deze voorstellen. De mogelijkheid bestaat dus dat deze programma's op korte termijn onderhevig zullen zijn aan veranderingen of dat er andere programma's worden ontwikkeld die een vollediger beeld geven van KI als onderwerp. Dit zou kunnen betekenen dat de conclusies in dit onderzoek onvolledig zijn of implicaties tot gevolg hebben die voortkomen uit de beperkingen van de voorbeeldprogramma's. Dit benadrukt de relevantie van het testen van bestaande implementaties.

De inzichten van de experts vanuit de praktijk zijn van groot belang geweest voor het onderzoek. Ook Unesco benadrukt, zoals beschreven, dat de rol van docenten van groot belang is in het realiseren van een implementatie van KI in het onderwijs. Het is daarom van belang dat er onderzoek wordt gedaan naar de mogelijkheden om docenten zo goed mogelijk te ondersteunen bij het vormgeven van lessen waarin KI wordt behandeld. Daarnaast is het van belang onderzoek te doen naar mogelijkheden om kennis over de praktische vormgeving van een implementatie van KI in het onderwijs uit te wisselen.

Het is van belang de resultaten van dit onderzoek toe te passen in de praktijk. Op deze manier kan het voorstel van de implementatie van KI in het curriculum van het VO worden aangepast. Daarnaast zal de uitvoering van het voorstel bijdragen aan het realiseren van de concrete invulling van digitale geletterdheid.

Dit onderzoek heeft op basis van meta-disciplinaire inzichten en onderwijskundige inzichten een theoretisch raamwerk geformuleerd waarin de speerpunten van de implementatie van KI in het curriculum van de onderbouw van het voortgezet onderwijs in Nederland worden beschreven. In deze

implementatie moeten de basisprincipes *intelligentie, leren, kennis*, *redeneren* en *ethische vraagstukken* aan bod komen. *Computational thinking* beschrijft de belangrijkste vaardigheden die in de leerdoelen van deze implementatie moeten worden gereflecteerd. Het voorstel dat door dit onderzoek is gepresenteerd bouwt voort op een voorbeeldprogramma uit Amerika en formuleert per thema de passende leerdoelen. Dit voorstel kan de basis vormen voor verder onderzoek naar de concrete richtlijnen van de implementatie van KI in het curriculum van de onderbouw van het voortgezet onderwijs in Nederland.

Literatuurlijst

Al, S., Sari, R. M., & Kahya, N. C. (2012). A Different Perspective on Education: Montessori and Montessori School Architecture. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *46*(2003), 1866–1871. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.05.393

Alpaydin, E. (2016). *Machine Learning: The New AI*. MIT Press.

Barr, D., Harrison, J., & Conery, L. (2011). Computational Thinking: A Digital Age Skill for Everyone. *Learning and Leading with Technology*, *38*(6), 20–23. http://quijote.biblio.iteso.mx/wardjan/proxy.aspx?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ehh&AN=59256559&lang=es&site=eds-live%5Cnhttps://content.ebscohost.com/ContentServer.asp?T=P&P=AN&K=59256559&S=R&D=ehh&EbscoContent=dGJyMMTo50Sep6

Biggs, J. (1996). Enhancing teaching through constructive alignment. *Higher Education*, *32*, 347–364. https://doi.org/10.11405/nisshoshi1964.98.330

Biggs, J. (2003). Aligning teaching for constructing learning. *Education*, *94*(11), 112106. http://egusdsecondaryed.pbworks.com/f/aligning_teaching_for_constructing_learning.pdf

Brachman, R. J., & Levesque, H. J. (2004). Knowledge Representation and Reasoning. In *Knowledge Representation and Reasoning*. Morgan Kaufmann.

Brame, C. J. (2019). Writing Learning Objectives Using Bloom's Taxonomy. In *Science Teaching Essentials* (pp. 29–34). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814702-3.00025-1

Breithorde, M. Lou, & Swiniarski, L. (1999). Constructivism and Reconstructionism: Educating teachers for world citizenship. *Australian Journal of Teacher Education*, *24*(1). https://doi.org/10.14221/ajte.1999v24n1.1

Busstra, H. (2020). *Technologie als Religie*. VPRO Tegenlicht. https://www.vpro.nl/programmas/tegenlicht/kijk/afleveringen/2020-2021/technologie-als-religie.html#472ad771-2e7c-4c79-8dc6-f4038efe2767

Butz, M. V. (2021). Towards Strong AI. *KI - Künstliche Intelligenz*. https://doi.org/10.1007/s13218-021-00705-x

Central Board of Secondary Education. (2019). *Artificial Intelligence Curriculum*. http://cbseacademic.nic.in/web_material/Curriculum20/AI_Curriculum_Handbook.pdf

Central Board of Secondary Education. (2020). *Artificial Intelligence Integration across Subjects*. http://cbseacademic.nic.in/web_material/Curriculum20/AI_Integration_Manual.pdf

Chattin-McNichols, J. P. (1981). The Effects of Montessori School Experience. *Young Children*, *36*(5), 49–66. https://www.jstor.org/stable/42642922

Curriculum.nu. (2019). *Leergebied Digitale Geletterdheid*. https://www.curriculum.nu/voorstellen/digitale-geletterdheid/

Dreyfus, H. L. (1974). Artificial Intelligence. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, *412*, 21–33. https://www.jstor.org/stable/1040396

Gilster, P. (1997). *Digital Literacy*. Wiley Computer Publisher.

Hyun, E. (2006). Influences in Modern Early Childhood: Curriculum and Teaching. *Counterpoints*, *297*, 33–52. https://www.jstor.org/stable/42978983

i&i. (2021). *Curriculum: De visie op Digitale Geletterdheid van de vakvereniging van informaticadocenten in het Voortgezet Onderwijs*. https://ieni.org/curriculum

Kennisnet. (2016). *Computational thinking in het Nederlandse onderwijs*. 1–48. https://www.kennisnet.nl/fileadmin/kennisnet/publicatie/Computational_Thinking_in_het_Nederlandse_onderwijs.pdf

Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen. (2012). *Digitale geletterdheid in het voortgezet onderwijs*. https://www.knaw.nl/nl/actueel/publicaties/digitale-geletterdheid-in-het-voortgezet-onderwijs

Krathwohl, D. R. (2002). A Revision of Bloom's Taxonomy. *Theory Into Practice*, *41*(4), 212–219. https://www.jstor.org/stable/1477405

Lucassen, M., & Peeters, W. (2021). Deze leertheorieën moet je kennen. *Www.Vernieuwenderwijs.Nl*. https://www.vernieuwenderwijs.nl/onderwijstheorieen-die-je-moet-kennen/?utm_source=TTVL&utm_medium=content&utm_campaign=tipuitteachertapp

Lungarella, M., & Fumiya, I. (2007). *50 Years of Artificial Intelligence* (J. Bongard & R. Pfeifer (Eds.)). Springer Berlin Heidelberg.

Maastricht University Institute for Education. (2016). *The UM Handbook for Constructive Alignment*. https://constructivealignment.maastrichtuniversity.nl/wp-content/uploads/2017/04/Constructive_Alignment_Handbook_EDLAB.pdf

McCorduck, P. (2004). *Machines Who Think*.

Md Jani, M. D. Bin, Latif, A. B. A., Talib, R. B., & Is, N. B. M. (2020). The implementation of constructive alignment at the teachers education institute using rasch analysis. *Journal of Critical Reviews*, *7*(11), 659–665. https://doi.org/10.31838/jcr.07.11.120

Negnevitsky, M. (2005). *Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems*. Pearson Education.

Papert, S. (1980). *Mindstorms: children, computers and powerful ideas*. Basic Books, Inc.

Pustejovsky, J., & Boguraev, B. (1993). Lexical knowledge representation and natural language processing. *Artificial Intelligence*, *63*(1–2), 193–223. https://doi.org/10.1016/0004-3702(93)90017-6

Reigeluth, C. M. (1983). *Instructional Design Theories and Models: An Overview of Their Current*

Status. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers.

Rubin, C. T. (2019). *Robotic Souls*. *57*(57), 75–82.

Russell, S., & Norvig, P. (2016). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson Education Limited.

Shalev-Shwartz, S., & Ben-David, S. (2013). Understanding machine learning: From theory to algorithms. In *Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms* (Vol. 9781107057). https://doi.org/10.1017/CBO9781107298019

Slob, A. (2019). *Kabinetsreactie op adviezen voor verbetering van het curriculum voor het primair en voortgezet onderwijs (Curriculum.nu)[Kamerbrief]*. https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/toekomst-onderwijs/documenten/kamerstukken/2019/12/09/kabinetsreactie-op-adviezen-voor-verbetering-van-het-curriculum-voor-het-primair-en-voortgezet-onderwijs

Spyros, M. (2017). *The Forthcoming Artificial Intelligence (AI) Revolution: Its Impact on Society and Firms*. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.03.006

Stichting Leerplan Ontwikkeling. (2018). *Leerlijnen voor 21e eeuwse vaardigheden* (Issue november). https://www.slo.nl/documenten/@7551/slo-2018-03-05/

Tam, M., Journal, S., & April, N. (2016). *International Forum of Educational Technology & Society Constructivism , Instructional Design , and Technology : Implications for Transforming Distance Learning Published by : International Forum of Educational Technology & Society Linked references are a*. *3*(2), 50–60.

Touretzky, D., & Gardner-McCune, C. (n.d.). Artificial Intelligence Thinking in K-12. In S.-C. Kong & H. Abelson (Eds.), *Computational Thinking in K-12: Artificial Intelligence Literacy and Physical Computing*. MIT Press.

Touretzky, D., Gardner-McCune, C., Martin, F., & Seehorn, D. (2019). Envisioning AI for K-12 : What Should Every Child Know about AI ? *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 9795–9799. https://doi.org/https://doi.org/10.1609/aaai.v33i01.33019795

Unesco. (2019). Artificial intelligence in education: challenges and opportunities for sustainable development. *Working Papers on Education Policy*, *7*, 46. https://en.unesco.org/themes/education-policy-

UNESCO. (2006). *Cross-national studies of the quality of education : planning their design and managing their impact* (K. N. Ross & I. Jürgens Genevois (Eds.)). International Institute for Educational Planning.

van der Vorst, T., Jelicic, N., de Vries, M., & Albers, J. (2019). *De (on)mogelijkheden van kunstmatige intelligentie in het onderwijs*. https://www.dialogic.nl/wp-content/uploads/2019/04/Dialogic-De-onmogelijkheden-van-kunstmatige-intelligentie-in-het-onderwijs-v1.0.116.pdf

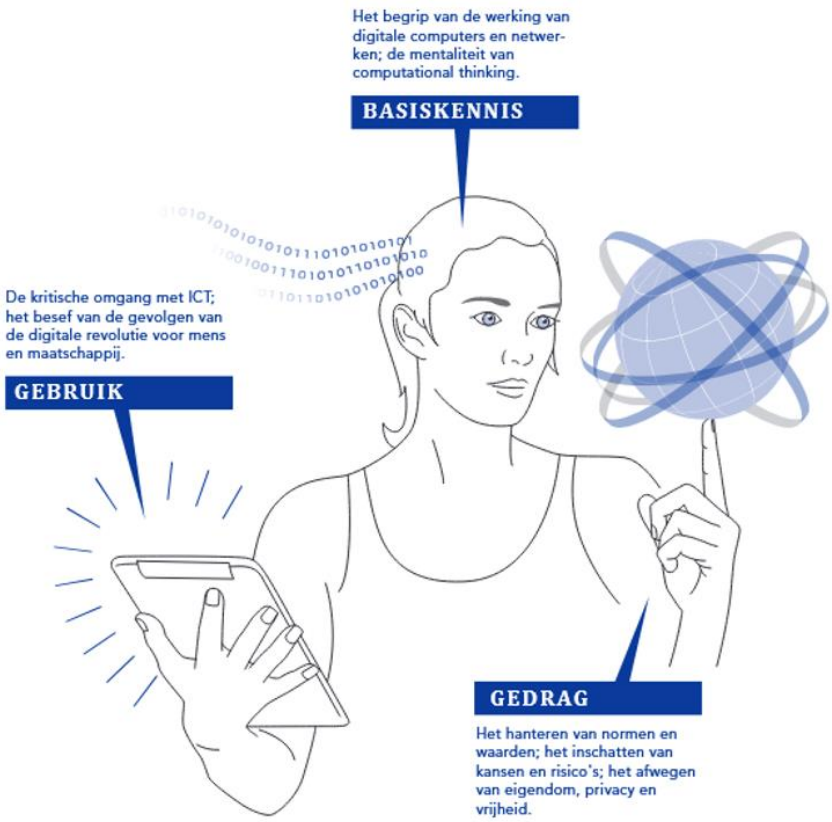
Verheesen, L. (2016). *Voorlopers in digitale geletterdheid*.

https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/352597/Lex Verheesen - Voorlopers in digitale geletterdheid - Thesis - DEF.pdf?sequence=1

Willis, J. (2000). The Maturing of Constructivist Instructional Design: Some Basic Principles That Can Guide Practice. *Educational Technology*, *40*(1), 5–16. http://www.jstor.org/stable/44428576

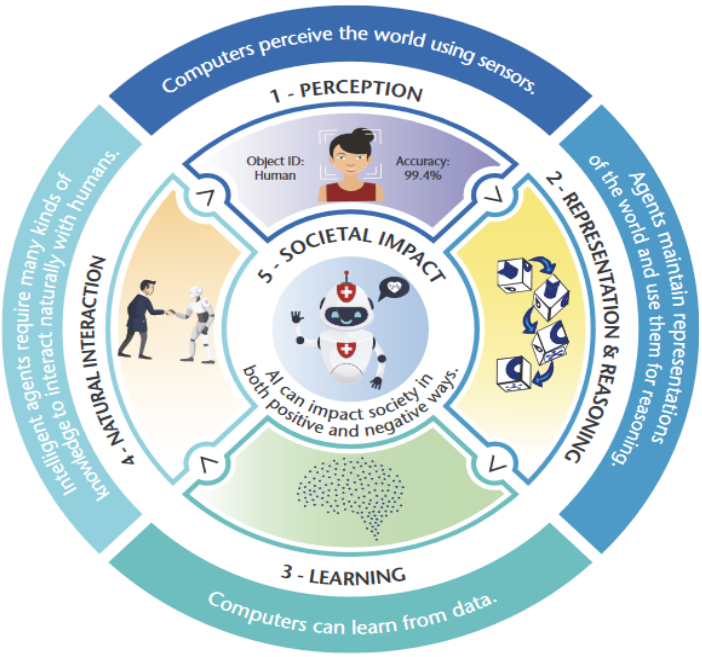
Appendix

Figuur 1.



Figuur 1: Componenten Digitale Geletterdheid (KNAW, 2012).

Figuur 2.



Figuur 2: Thema's AI4K12 (Touretzky et al., 2019).