



## UvA-DARE (Digital Academic Repository)

### Naar een nieuw curriculum voor de bachelor Kunstmatige Intelligentie

Visser, A.; De Jong, R.; Beks, W.; Schlobach, S.; van Rooij, R.; Homburg, A.-J.; van Someren, M.; van Maanen, L.; Sluijter, B.

**Publication date**

2017

**Document Version**

Submitted manuscript

[Link to publication](#)

**Citation for published version (APA):**

Visser, A., De Jong, R., Beks, W., Schlobach, S., van Rooij, R., Homburg, A.-J., van Someren, M., van Maanen, L., & Sluijter, B. (2017). *Naar een nieuw curriculum voor de bachelor Kunstmatige Intelligentie*. (1.9.1 ed.) UvA.

<https://staff.fnwi.uva.nl/a.visser/activities/CurriculumCommissieRapport9maart.pdf>

**General rights**

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

**Disclaimer/Complaints regulations**

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, P.O. Box 19185, 1000 GD Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

# Naar een nieuw curriculum voor de bachelor Kunstmatige Intelligentie

*versie 1.7 (23 december 2016)*

Arnoud Visser, Roan de Jong, Willemijn Beks, Stefan Schlobach, Robert van Rooij, Ale-Jan Homburg, Maarten van Someren, Leendert van Maanen, Babette Sluiter.

## 0. Management samenvatting

Dit document bevat een voorstel voor een nieuw curriculum voor de bachelor Kunstmatige Intelligentie (KI); een vakgebied dat zich op het ogenblik snel ontwikkelt. Afgestudeerden van deze opleiding moeten zich zeker bewust zijn van deze ontwikkelingen, maar vooral ook een goede basis gekregen voor eventuele vervolgstappen in hun academische carrière.

De Curriculum Commissie stelt daarom voor:

1. De leerlijn wiskunde binnen de opleiding te versterken
2. De programmeertaal Python te introduceren en zoveel mogelijk te gebruiken.
3. In het eerste jaar een representatief beeld van de opleiding te geven
4. In het tweede jaar te vervolgen met een verdieping en verbreding, waarbij de verschillende aspecten van de KI (zie Russel & Norvig) aan bod komen
5. Kennissystemen en een nieuw vak te laten geven door experts van de VU.

De commissie heeft naast kritiek ook vooral positieve geluiden over de huidige opzet gehoord, zodat het voorstel in sectie 6.3 voornamelijk aanpassingen zijn op het bestaande curriculum.

## 1. Inleiding

De taak voor deze Curriculum Commissie is het herzien van het curriculum van de Bachelor Kunstmatige Intelligentie (KI). De precieze opdracht aan de commissie is te vinden in Appendix 1. De commissie heeft haar taak opgevat als primair het verbeteren van het curriculum door enkele gesignaleerde problemen op te lossen. Daarnaast bevat dit rapport analyses en aanbevelingen voor een meer uitgebreide herziening van het curriculum.

Aanleiding voor de herziening zijn een aantal opmerkingen die naar voren komen uit evaluaties en uit ervaringen met studenten in de Master AI. Afgezien van kleine verbeteringen in vakken en het rooster is het curriculum sinds de invoering van de Bachelor-Master niet grootschalig veranderd: dit is de eerste Curriculum Commissie in afgelopen 10 jaar.

De commissie is samengesteld uit twee studenten en een aantal docenten betrokken bij de opleiding (waaronder twee hoogleraren). Er is zorggedragen dat er voldoende kennis aanwezig zou zijn voor de verschillende mogelijke leerlijnen van het programma.

Dit rapport beschrijft de context waarbinnen de Bach KI opereert (sectie 2), de resultaten van (interne) evaluaties,

## 2. Context van de opleiding

De Bachelor KI functioneert in de context van:

- instroom,
- aanpalende opleidingen
- en het “afnemend veld”: vervolgoopleidingen en de arbeidsmarkt.

### 2.1 Instroom

De opleiding laat de laatste jaren een sterke groei zien:

jaar	2011	2012	2013	2014	2015	2016
studenten	131	134	186	200	239	325

*Bron:UvAdata*

*Selectie: aantal studenten actief op 1 oktober met hoofdinschrijving*

De bovenstaande tabel zijn de studenten met hoofdinschrijving KI, deze getallen zijn nog exclusief de studenten die binnen BètaGamma en Future Planet Studies voor een tweejarige major KI kiezen (ongeveer 50 studenten).

Veel vakken binnen het curriculum vereisen enige voorkennis. Met deze aantallen moet men rekening houden met substantiële aantallen studenten die het curriculum in een andere volgorde studeren; hetgeen het gevolg kan zijn dat ze vakken niet gehaald hebben, een major of minor doen, of een selectie van keuzevakken hebben gemaakt.

Deze groei heeft geen directe consequenties voor het curriculum anders dat leerlijnen goed op elkaar moeten zijn afgestemd. Deze groei heeft natuurlijk wel consequenties voor de manier van onderwijzen.

## 2.2 Aanpalende opleidingen

De meest vergelijkbare Bachelor opleidingen in de omgeving zijn Informatica (UvA / VU), Informatiekunde (UvA), Lifestyle Informatics (VU), BètaGamma (UvA), Future Planet Studies (UvA) en de HBO opleidingen Technische Informatica van de HvA en InHolland.

Ten aanzien van deze aanpalende opleidingen heeft de Bachelor KI een duidelijke positie die wordt gekenmerkt door een breed, technische en academisch karakter:

- Informatica richt zich meer op programmeren en op computersystemen en heeft een minder breed en multidisciplinair karakter. Er zijn ook veel overeenkomsten. Veel basisvakken zijn vergelijkbaar qua inhoud en enkele zijn hetzelfde (bv lineaire algebra).
- Lifestyle Informatics en Informatiekunde richten zich minder op technische en wiskundige onderwerpen en meer op het gebruik van computers door individuen en organisaties.
- BètaGamma en Future Planet Studies zijn brede multidisciplinaire bachelors. Studenten die AI willen doen volgen de major KI en doen daarin een groot deel van het curriculum van de Bachelor KI. BètaGamma en FPS completeren dit met vakken uit de sociale en levenswetenschappen.
- De HBO opleidingen zijn sterk op de praktijk van de automatisering gericht. KI is typisch een vak binnen deze opleidingen.

Er is binnen de huidige opleiding ervaring met het delen van vakken met Informatica en Informatiekunde, maar de groei van de opleiding maakt dat organisatorisch steeds moeilijker wordt. In principe is er voor de studenten een meerwaarde in interdisciplinaire aanpak, maar in praktijk geeft het voornamelijk wrijving omdat de studenten en docenten hebben de neiging zich te identificeren met één van de deelnemende opleidingen. Het is dus zaak de voor- en nadelen van het delen van vakken per geval zorgvuldig af te wegen.

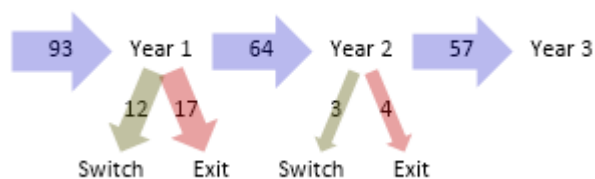
## 2.3 Vervolgopleidingen

Er zijn twee bronnen van data over wat studenten gaan doen na afronding van hun Bachelor KI:

- (a) er wordt bijgehouden wie zich opnieuw inschrijft binnen FNWI en
- (b) studenten wordt bij afstuderen gevraagd wat ze gaan doen.

Bron (a) biedt geen informatie over wat studenten gaan doen de die FNWI verlaten en (b) is afhankelijk van wat studenten zeggen op het moment van afstuderen.

Figuur 1: voorbeeld van (a) cohort 2013



Tabel 1: gegevens mbt (b)

	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16
Master AI	8	15	10	9
Master SE/SNE UvA		1	2	3
Master UU	1	2		3
Master CS UvA	1		1	1
Master IS-BIS UvA	1		2	
Master Computational S. UvA				1
Master IS-DS UvA				1
Master IS-HCM UvA			1	
Master AI Maastricht	1			
Overige Masters (TUD, UdS)				2
TOTAAL	12	18	16	20
onbekend				2
stopt/reizen/werken/tussenjaar	3	7	9	13
TOTAAL	15	25	25	35

Er is veel variatie in waar studenten heen gaan. De Bachelor KI levert een relatief klein deel van de instroom van de Master, rond de 25 à 30% (zie Tabel 2). Het is opmerkelijk dat er helemaal geen studenten zijn die doorstromen naar de Master of Logic.

Tabel 2: doorstroom van Bachelor naar Master AI UvA

	2013	2014	2015
Totale Instroom Master	23	46	53
Uit BG	0	4	4
Uit BSc KI	5	13	9

Ruw samengevat is het beeld dat  $\frac{1}{3}$  van de afstudeerders kiest voor de aansluitmaster,  $\frac{1}{3}$  kiest voor een andere master en  $\frac{1}{3}$  er voor kiest om te gaan werken/reizen.

## 2.4 Aansluiting van de Bachelor KI op vervolgoopleidingen

Er is geen systematische bron van feedback over de prestaties van studenten in vervolgoopleidingen, maar er zijn wel enkele ad hoc evaluaties. Hieronder vatten we deze samen.

### 2.4.1 Master AI UvA-VU

Binnen de Master AI van de UvA/VU bestaat de indruk dat studenten uit de Bachelor KI relatief zwak zijn in programmeren en wiskunde. Hieronder een kort overzicht van opmerkingen van docenten over wat er ontbreekt. Deze zijn niet specifiek voor Bachelor KI studenten want de docenten weten vaak niet wie welke achtergrond heeft en evenmin wie precies welke kennis mist.

- Sommige studenten missen de vaardigheid om in korte tijd eenvoudige programma's te implementeren.
- Er zijn geen specifieke wiskundige concepten die studenten niet beheersen. Het gaat om brede basiskennis. Voorbeelden van concepten waarvan docenten signaleren dat studenten die niet of onvoldoende kennen zijn:
  - gebruik van lineaire algebra: concepten zijn wel bekend maar gebruik ervan niet genoeg,
  - afgeleide van matrix / multivariate derivatives / computing gradients in vector form,
  - Multi-variate integral, Densities, Taylor expansion, convex optimization, Lagrange optimization, SVD/PCA, Eigenanalysis / diagonalization, Properties of symmetric matrices; positive-semidefiniteness, Lagrange multipliers,
  - "When talking with the students a few weeks ago, they said that in fact calculus was their biggest problem".

Hieronder enkele gegevens van de eerste helft van de cursus 'Machine Learning 1' (Master AI UvA/VU) in 2013. We vergelijken de resultaten van studenten van (a) 'Bachelor KI en BètaGamma UvA' en (b) 'anderen' op de onderdelen "lab" (programmeren) en "homework" (opgaven). De bovenste rij bevat de resultaten van (b) "anderen", de onderste die van (a) "Bachelor KI UvA en BètaGamma".

*Tabel 3: Vergelijking resultaten studenten vak Machine Learning 1 (Master AI), de bovenste rij bevat de resultaten van (b) "anderen", de onderste die van (a) "Bachelor KI UvA en Bètagamma"*

lab 1	lab 2	lab 3	hw 1	hw2	hw 3	hw 4	hw 5	midterm	exam	grade
8,6	9,5	9,1	9,6	9,4	9,7	8,5	9,4	28,2	45,1	7,1
7,0	7,2	7,1	9,0	8,2	8,4	5,2	7,9	25,0	24,9	5,4

Er is een duidelijk verschil. Het verschil zit zowel in de programmeeropgaven als in de (vooral wiskundige) huiswerkopgaven. De wiskundige en programmeer-kennis en vaardigheden van de studenten uit de Bachelor KI lijken minder dan die van de andere studenten.

### Overlap

Overlap van vakken uit de Bachelor KI met vakken uit de Master AI is een bekend probleem. Het doet zich vooral voor bij Natural Language Processing en Beeldverwerking. Docenten in de Master AI proberen overlap met vakken uit de Bachelor KI te minimaliseren. Sommige studenten vinden herhaling vervelend en anderen vinden dit juist wel prettig.

### **2.4.2 Socially Aware Computing (VU)**

Deze opleiding is een master AI die onderdeel is van het KION framework, waarmee de aansluiting met de bachelor Kunstmatige Intelligentie gegarandeerd is. Deze opleiding heeft twee tracks gekregen: *Socially Aware Computing* en *Cognitive Science*. Studenten met een diploma van de Bachelor KI worden zonder verdere eisen toegelaten.

### **2.4.3 Computer Science (UvA-VU)**

“For admission to the Computer Science programme, a Bachelor degree in Computer Science or a closely related Bachelor is required. In general, we expect the following subjects to be part of your Bachelor’s programme: Programming, Algorithms, Computer Systems, Computer Networks, Software Engineering, Logic. Any one of the following subjects will increase your chances of admission: Databases, Automata Graph Theory, Compilers, Machine Learning or Artificial Intelligence Mathematics (Linear Algebra, Discrete Mathematics, Statistics). “ Bach AI studenten missen verscheidene verplichte onderwerpen, mn. computer netwerken en software engineering. Slechts een enkele KI student volgt deze Master.

### **2.4.4 Information Systems (UvA-VU)**

Deze 1-jarige opleiding heeft Tracks met een eigen programma. Aansluiting met de tracks Human Centered Multimedia, Business Information Systems, Data Science en Game Studies is goed. Studenten met Bach KI worden zonder meer toegelaten. Geen problemen bekend. Het aantal studenten dat deze opleiding volgt is vrij klein.

#### **2.4.5 Computational Science (UvA/VU)**

Slechts een enkele student stroomt in bij Computational Science. Ingangseisen volgens de website: “We expect students to have a basic level in linear algebra and calculus, and preferably also discrete math, probability theory, and statistics. Also, we expect a basic level of programming skills, e.g. knowledge of Python, C or Matlab.” Studenten met een diploma van de Bachelor KI voldoen hieraan.

#### **2.4.6 (Research)Master Psychology, (Track Methodological and Statistical Consulting) en Research Master Brain and Cognitive Sciences**

Voor beide Research Master programma's geldt dat studenten met een diploma van de Bachelor KI in principe in kunnen stromen, mits aan algemene ingangseisen wordt voldaan (hoog cijfergemiddelde, motivatie, etc). Voor de Track Methodological and Statistical Consulting geldt een schakelprogramma. Dit schakelprogramma is nog niet uitgewerkt, maar zal hoogstwaarschijnlijk bestaan uit een vak (of videomateriaal) mbt basisbegrippen uit de Psychologie (breder dan de cognitieve psychologie). Er zijn tot nu toe geen studenten die deze Master gaan doen.

#### **2.4.7 System and Network Engineering/Software Engineering**

Ook hier geldt dat een enkele student 1 van deze 1-jarige Masters gaat volgen. Voorzover bekend geeft dit geen problemen.

#### **2.4.8 Andere AI Masters in Nederland**

Er zijn Master AI opleidingen in

- Universiteit Maastricht
- Universiteit Groningen
- Universiteit Utrecht
- Radboud Universiteit Nijmegen

Via het KION framework is afgesproken dat afgestudeerden met een Bachelor (BSc.) graad Kunstmatige Intelligentie toegang geeft tot een Masteropleiding (MSc.) Artificial Intelligence elders in het land. Bij de laatste KION vergadering in juni 2015 bleken Groningen en Amsterdam al aanvullende eisen qua motivatie en resultaten gesteld worden, vergelijkbaar met de internationale studenten. Er zijn nauwelijks studenten die elders in Nederland een Master AI gaan doen.

### 2.3.9 Internationale Masters

Één van de studenten die in het buitenland een Master is gaan doen, gaf aan dat internationaal gezien de bachelor KI diepgang miste op het vlak van Bayesian statistics en het oplossen van differentiaalvergelijkingen. Daar stond tegenover dat de ervaring in language processing en computer vision zeer gewaardeerd werd. De programmeervaardigheden bleken voldoende, de ervaring met Matlab, Java en Python kon meteen worden toegepast.

Ook was in retrospect waardering voor de onderzoeks- en schrijfvaardigheden die tijdens de bachelor aan bod zijn gekomen en de breedte van de opleiding.

## 2.5 Aansluiting bij het bedrijfsleven

Op drie bijeenkomsten heeft Arnoud Visser met bedrijven (aanwezig op de banenmarkt) gesproken over hun verwachtingen van afstudeerders van de Bachelor Kunstmatige Intelligentie:

- **TECH020** – Amsterdam World Trade Centre, 4 februari 2016
- **AWESOME IT** - De Nieuwe Liefde - Amsterdam - 8 april 2016
- **BNAIC** - Casa 400 - Amsterdam - 10 november 2016

Op TECH020 is vanuit de Bachelor KI tevens een goed bezochte workshop-sessie gehouden (zie Appendix 2).

De algemene trend was dat het bedrijfsleven goed kan leven met een brede bachelor, en de specialisatie in de master verwacht. Verder ging men uit van een zekere kennis en beheersing van wiskundige, programmeer- en academische vaardigheden, maar veel van die vaardigheden - nodig in het bedrijfsleven - kunnen juist in het bedrijfsleven verder ontwikkeld worden. Wat men vooral belangrijk vond was dat de studenten initiatief hadden getoond tot verbredende/verdiepende extra(-curriculaire) activiteiten en zich duidelijk hadden geprofileerd t.o.v. hun studiegenoten.

## 3. Interne Evaluatie Bachelor KI

In het voorgaande zetten we het curriculum af tegen de omgeving. Er kunnen ook redenen zijn in het functioneren van de huidige Bach KI die een wijziging van het curriculum wenselijk maken. Deze sectie is gebaseerd op het jaarverslag van de OC, inclusief vakevaluaties, opmerkingen van studenten, het accreditatierapport en observaties van de curriculumcommissie.

### 3.1 OC jaarverslag

De verslagen van de OC over studiejaar 2014-15 en 2015-16 (zie appendix 4) bevatten een aantal opmerkingen die we hier samenvatten. Een deel zijn opmerkingen over de manier waarop bepaalde vakken gegeven worden. Hier richten we ons op opmerkingen die het curriculum betreffen.

Vakken met problemen zijn *Kennissystemen*, *Kennisgebaseerde Media* en *Inleiding KI*.

*Kennissystemen* wordt beoordeeld als ouderwets. Studenten zien de zin van dit vak niet. O.i. is het niet helemaal duidelijk wat precies het probleem is en of dit vak niet een slechte reputatie heeft gekregen die zichzelf in stand houdt of dat het in de moeilijkheidsgraad zit. Een probleem is dat dit vak in feite los staat van de rest van het curriculum. Er is geen verband met Logica of Kennisgebaseerde Media en ook in projecten wordt de inhoud van Kennissystemen vrijwel niet gebruikt, terwijl het een vrij toegepast vak is. Het past wel in een AI opleiding, maar is toe aan modernisering.

*Kennisgebaseerde Media* wordt gegeven voor Bachelors IK en KI. Een deel van de KI studenten mist “technische” inhoud. De docent slaagt er niet voldoende in het vak te motiveren voor deze groep. Een deel van de studenten vindt het juist wel een leuk vak. In elk geval moet het niveau hoger om het vak interessanter te maken. Een mogelijkheid is om het te vervangen door een vak over Mens-Computer Interactie.

*Inleiding KI* lijkt te lijden onder onzorgvuldig gegeven onderwijs. Onderwerp en opzet van het vak zijn zinvol. Een vorm van reflectie op wat AI is, de geschiedenis, de grenzen, verhouding met Informatica en andere disciplines, verschillende benaderingen, verdient een plaats in het curriculum.

*Zoeken, sturen en bewegen* lijdt onder problemen van schaalvergroting. Het is de vraag of de huidige opzet haalbaar is met het grote aantal studenten.

Andere aanbevelingen uit het OC-jaarverslag over studiejaar 2015-2016:

- *Increase the level of mathematical skills.*
- *Coordinate the teaching and use of programming languages between the courses.*
- *The robotics courses need more preparation and should be redesigned to handle the increasing number of students.*

## 3.2 Opmerkingen van studenten

Uit ad hoc contacten met studenten en een rapport dat in 2015 is opgesteld door studenten uit de OC komen een aantal wensen/opmerkingen over het curriculum naar voren die we als volgt kunnen samenvatten:

- meer wiskunde, betere voorbereiding op de Master AI
- meer diepgang
- beter leren programmeren; meer complexe systemen bouwen
- breedte is goed
- projecten, systemen bouwen is leuk en leerzaam

## 3.4 Observaties van de curriculum commissie

Het curriculum bevat nu twee vakken die min of meer hetzelfde zijn, de projecten Leren en Beslissen en Tweedejaarsproject. In beide projecten proberen studenten een AI probleem bij een bedrijf op te lossen. In Leren en Beslissen gaat het om Data Mining problemen. In het Tweedejaarsproject gaat om AI problemen in het algemeen maar in de praktijk gaat het ook hier heel vaak om Data Mining.

Het onderwijs in programmeren maakt een wat rommelige indruk. Het is onduidelijk of studenten goed leren programmeren. Studenten zelf en docenten van de Master twijfelen daar enigszins aan. Er is nauwelijks verband tussen de vakken waarin programmeren onderwezen wordt: Logisch Programmeren, Object-georiënteerd programmeren en Datastructuren, en de vakken waarin dit gebruikt wordt. Het leren van verschillende talen is op zich een goede zaak, maar het is nodig om in 1 taal echt goed te leren om programma's van het begin tot het eind zelf te maken. Studenten gebruiken zelf het liefst Python, een taal die helemaal niet onderwezen wordt. Vakken in Bach KI gebruiken allerlei talen, omgevingen, standaarden. Tegelijkertijd is er allerlei programmeeronderwijs beschikbaar. Informatica heeft dit onlangs geherstructureerd en daarnaast is er nog de Minor Programmeren. Het lijkt beter om het programmeeronderwijs ook in de Bach KI te herstructureren. Uitgangspunten zijn dan:

- stel één taal centraal, bv Python;
- zorg dat de programmeervakken opbouwen
- streef naar “hergebruik” van vakken en docenten tussen opleidingen

Een onderwerp dat ontbreekt in het curriculum is Mens-Computer Interactie. Dit is weliswaar geen centraal onderwerp in AI maar het is wel een heel belangrijk aspect van veel AI toepassingen en het wordt steeds belangrijker door het “embedden” van AI in allerlei systemen.

## 4. Accreditatierapport en KION framework

Het accreditatierapport uit 2015 geeft voornamelijk aanbevelingen over de organisatie van het opleiding. De commissie heeft naast het eigenlijke accreditatierapport een document gemaakt met aanbevelingen voor alle Nederlandse KI-opleidingen (het QANU state-of-the-art report). De Kunstmatige Intelligentie-Opleidingen in Nederland (KION) hebben in 2006 en 2013 een Framework of Reference gepubliceerd (beschikbaar als Appendix C van het QANU state-of-the-art rapport uit 2015).

Het KION Framework definieert een duidelijk common core:

- *Autonomous systems*
- *Cognitive psychology*
- *Computational linguistics*
- *History of Artificial Intelligence*
- *Human-computer interaction*
- *Knowledge representation and reasoning*
- *Machine learning*
- *Multi-agent systems*
- *Philosophy for Artificial Intelligence*
- *Search*
- *Logic*
- *Intelligent Interfaces*

En basisvaardigheden die in elk Bachelor KI programma zouden moeten zitten:

- *Programming*
- *Data structures and algorithms*
- *Logic*
- *Calculus*
- *Probability theory*
- *Linear algebra*
- *Statistics*

Relevante aanbeveling uit het QANU state-of-the-art report voor het nieuwe UvA curriculum:

- *Add several missing topics to the common core for bachelor programmes, both in AI (e.g. search, planning and scheduling, and decision making) and in supporting discipline*

Het QANU state-of-the-art report classificeert de volgende onderwerpen als *non-core*

- *Natural Language Processing*
- *Vision*
- *Planning*
- *Robotics*
- *Neural Nets*
- *Genetic algorithms*
- *Bayesian nets*
- *Probabilistic*
- *Classifiers*
- *Control theory*
- *Constraint Processing*
- *Web & AI*

De visie van het QANU rapport is naar onze mening enigszins ouderwets, zeker in vergelijking met 2016 rapport van de *One Hundred Year Study on Artificial Intelligence* (zie volgende hoofdstuk). De bronnen waarop de visie is gebaseerd reflecteren niet de huidige situatie in het vakgebied. Probabilistische en “data-gedreven” methoden, en visuele informatie spelen bijvoorbeeld, een grotere rol dan vroeger. In de huidige literatuur spelen veel van de “non-core” onderwerpen een grotere rol dan de “core” onderwerpen..

*Conclusie:*

Onderwerpen die ontbreken in het huidige curriculum zijn:

- *Autonomous systems*
- *Human-computer interaction*
- *Multi-agent systems*

Een aantal onderwerpen die in het QANU rapport als “non-core” worden gezien zitten er wel in. Hiervoor zijn goede redenen.

## **5. Visie op KI in de literatuur**

Om het curriculum van de Bachelor KI te kunnen verbeteren is het nuttig om het huidige programma ook te bezien in het licht van publicaties over de stand van zaken in de AI.

Voor een expert opinion over de recente ontwikkelingen binnen de Kunstmatige Intelligentie kunnen we gebruik maken van het September 2016 rapport van de *One Hundred Year Study on Artificial Intelligence* (Appendix 3). Daarnaast vergelijken we het met de tekstboeken van Russell & Norvig en Neapolitan & Jiang.

**Russell & Norvig, Pearson Education, 2009**

Voor de grote lijn van de specifieke Kunstmatige Intelligentie stellen we de opzet van het boek van Russell & Norvig te volgen:

- Part I Artificial Intelligence
  - 1 Introduction
  - 2 Intelligent Agents
- Part II Problem Solving
  - 3 Solving Problems by Searching
  - 4 Beyond Classical Search
  - 5 Adversarial Search
  - 6 Constraint Satisfaction Problems
- Part III Knowledge and Reasoning
  - 7 Logical Agents
  - 8 First-Order Logic
  - 9 Inference in First-Order Logic
  - 10 Classical Planning
  - 11 Planning and Acting in the Real World
  - 12 Knowledge Representation
- Part IV Uncertain Knowledge and Reasoning
  - 13 Quantifying Uncertainty
  - 14 Probabilistic Reasoning
  - 15 Probabilistic Reasoning over Time
  - 16 Making Simple Decisions
  - 17 Making Complex Decisions
- Part V Learning
  - 18 Learning from Examples
  - 19 Knowledge in Learning
  - 20 Learning Probabilistic Models
  - 21 Reinforcement Learning
- Part VII Communicating, Perceiving, and Acting
  - 22 Natural Language Processing
  - 23 Natural Language for Communication
  - 24 Perception
  - 25 Robotics
- Part VIII Conclusions
  - 26 Philosophical Foundations
  - 27 AI: The Present and Future

Als we dit naast het curriculum leggen dan zijn de grootste verschillen:  
Het UvA curriculum bevat relatief weinig search and “classical” planning, en weinig Part IV: Probabilistic reasoning & Reinforcement Learning.

## **Contemporary Artificial Intelligence**

**Neapolitan & Jiang, CRC Press, 2012**

Minder bekend, maar iets moderner is het boek van Neapolitan, met een vergelijkbare opbouw als Russell & Norvig:

Part I Introduction to Artificial Intelligence  
History of Artificial Intelligence  
Contemporary Artificial Intelligence

Part II Logical Intelligence  
Propositional Logic  
First-Order Logic  
Certain Knowledge Representation

Part III Probabilistic Intelligence  
Probability Basics  
Uncertain Knowledge Representation  
Bayesian Networks and Markov Blankets  
Decision Trees

part IV Emergent Intelligence  
Genetic Algorithms  
Swarm Intelligence

part V Learning  
Supervised Learning  
Learning Probabilistic Model Parameters  
Learning Probabilistic Model Structure  
Unsupervised Learning  
Reinforcement Learning

Part VI Language Understanding  
Natural Language Understanding  
Semantic Interpretation  
Concept/Knowledge Interpretation

Vergeleken met deze inhoud bevat het UvA curriculum relatief weinig part III: Probabilistic intelligence en part IV Emergent Intelligence.

## **Het rapport *One Hundred Year Study on Artificial Intelligence* (Appendix 3)**

De experts van het meeste recente rapport van deze studie hebben de volgende “hot” areas of AI research geïdentificeerd:

1. **Large-scale machine learning**
2. **Deep learning**
3. **Reinforcement learning**
4. **Robotics**
5. **Computer vision**
6. **Natural Language Processing**
7. **Collaborative systems**
8. **Crowdsourcing and human computation**
9. **Algorithmic game theory and computational social choice**
10. **Internet of Things (IoT)**
11. **Neuromorphic computing**

Dit zijn opvallend genoeg veel technologie en toepassingen van kunstmatige intelligentie (één van de sterke punten van ons curriculum), zonder aan te geven hoe men hiervoor de basiskennis (op bachelor niveau) verkrijgt. Robotics, computer vision en natural language processing hebben wel een plaats in het huidige curriculum, maar de andere onderwerpen niet tot nauwelijks.

## 6. Conclusies en aanbevelingen

### 6.1 Conclusies

De voornaamste tekortkomingen van de huidige inhoud van de Bachelor KI zoals die naar voren komen uit bovenstaande analyse zijn:

1. te weinig basiswiskunde (volgens Master AI; bedrijfsleven; commentaar studenten),
2. herstructureer programmeeronderwijs (volgens Master AI; bedrijfsleven; commentaar studenten),
3. voorkom overlap vakken tussen Bachelor KI en Master AI (volgens Master AI; commentaar studenten),
4. computer netwerken en software engineering (voor Master Computer Science)

We tekenen hierbij aan dat het bij de Master AI gaat om een relatief grote groep studenten ( $\frac{1}{3}$  van het cohort) terwijl het bij andere richtingen gaat om kleine aantallen studenten en schaarse informatie. Een sterk punt dat het curriculum moet behouden is de breedte. Het bedrijfsleven hamert op algemene academische vaardigheden, maar die lijken in het huidige programma goed geborgd. Verder merken we op dat de kennissystemen als toepassing van de logica niet uit de verf komt, de vakken zijn te veel geïsoleerd.

De genoemde tekortkomingen betreffen vakken die deel uitmaken van een leerlijn. 'Programmeren' komt bijvoorbeeld terug in meerdere vakken, geclusterd tot een leerlijn programmeren. Om de gesignaleerde tekortkomingen te kunnen verbeteren moet per leerlijn gekeken worden wat een juiste aanpak is om concreet tot verbeteringen te kunnen komen.

### 6.2 Aanbevelingen

*(1) Nieuw wiskundevak als keuzevak*

Met ingang van 2016-17 is het keuzevak "Mathematical Principles of Pattern Recognition" (5082MPPR6Y) aan het curriculum toegevoegd. De inhoud hiervan is:

- probability theory;
- least squares estimation;
- multivariate Gaussians;
- Bayesian probability and statistics;
- regression methods;
- Bayesian model comparison

Dit eerste delen van dit vak, gebaseerd op de MIT-course *Introduction to Probability and Statistics*, zou de gecombineerd kunnen worden met de 3EC statistiek uit het huidige curriculum (CWenS).

(2) *Verbeteren van het niveau van de verplichte wiskundevakken*

Een deel van de studenten sluit de wiskundevakken nu af zonder dat ze het beoogde niveau hebben. Binnen het huidige curriculum maar ook binnen een herzien curriculum is het nodig dat de toetsing beter wordt.

(3) *Splits CWenS in twee vakken van elk 6 EC*

- Statistiek (6EC): vergelijkbaar met het vroeger bestaande 6EC vak, met i.h.b. ook multivariate statistiek en Bayesiaanse statistiek. Vaardigheden moeten geoefend worden aan geschikte toepassingen, zoals bij het Informatica vak *Statistisch redeneren*
- Continue wiskunde (6EC): een uitbreiding van het 3EC materiaal wat er nu is, met meer vectorcalculus, reeksen, meervoudige integraalrekening, numerieke methoden. De nadruk zou minder op een toolbox kunnen komen te liggen, met meer verdieping en tijd voor directe toepassingen bij Dynamische Systemen

De nieuwe leerlijn wiskunde zal dan bestaan uit de volgende vakken:

- Introduction to Probability and Bayesian Statistics
- Calculus
- Linear Algebra

Dit geeft beduidend meer wiskunde in het begin van de studie. Één van de drie wiskundevakken zou in jaar twee terechtkomen, hetgeen gevolgen kan hebben voor vervolgvakken zoals Leren en Beeldverwerken.

(4) *Programmeren*

Voorstel:

- Vervang “Object-georiënteerd programmeren” door “Inleiding Programmeren (in Python)”
- gebruik Python in alle vakken
- Herzien de leerdoelen en invulling van Datastructuren

Studenten en docenten van de Master klagen dat een deel van de studenten niet goed kan programmeren. Het huidige onderwijs maakt gebruik van verschillende programmeertalen. Sommige studenten vinden dit een mooie gelegenheid om kennis te maken met verschillende talen en andere vinden dat ze niet echt goed leren programmeren. De Master AI gebruikt vooral Python.

Het lijkt nodig om het programmeeronderwijs als geheel te evalueren en herstructureren. De Bach Informatica heeft dit gedaan. Het ligt voor de hand om hun oplossing over te nemen en eventueel zelfs met hen te delen. Nadeel is dat Informatica als taal C gebruikt.

Bij de Bach KI past Python beter. Een optie is om een variant van “Inleiding Programmeren” en “datastructuren” te maken die Python gebruikt.

Aan het einde van het eerste jaar zal Computersystemen als projectvak gegeven worden. Hier leren de studenten programmeren in C. In het tweede jaar zal ook ‘Datastructuren’ in Python gegeven worden. Aan het einde van het tweede jaar komt programmeren ook aan bod in ‘Leren’/‘Machine Learning’.

Naast algemene talen als Prolog en C is het ook goed als studenten KI kennis maken met een echte AI-taal zoals Prolog of LISP. *No doubt, Prolog is less relevant today than it was 20 years ago, but both the language and the kind of analytic thinking it promotes are still important for large parts of AI research (see, e.g., the recent special issue of the AI Magazine on answer set programming). In addition, teaching Prolog as first program language has didactic advantages. It greatly helps if you can assume that all students have the same background knowledge. This is the case for Prolog (no student will have any prior experience), and it is not the case for, say, Java or Python. For the latter languages, there will always be some students who are much more skilled programmers, at least superficially, than the best teacher we can hope to find. These students—potentially the ones we are most interested in—will find it difficult to respect and take seriously their teacher and university more generally, and they will likely not realise that, of course, they still can learn very much from that teacher, e.g., about structured programming or about the underlying theory.*

*Teaching a declarative programming language and then one or more imperative languages is a very well established didactic paradigm used in many of the best Computer Science programmes in the world, such as those of Imperial College (Haskell-Java-C/C++), Edinburgh (Haskell-Java-Python), Cambridge (ML-Java), Pisa (Caml-C), or Saarbrücken (ML-Java).*

In het huidige curriculum komt Prolog bij verschillende vakken terug, het voorstel is om deze rol nu aan Python te geven. Prolog zal nog wel geleerd worden, maar in de context van de implementatie van de algoritmes uit *Problem Solving* (R&S Part II).

Nieuwe leerlijn programmeren zal bestaan uit de volgende vakken:

- Python Programming
- Computersystemen
- Datastructuren in Python

In het nieuwe curriculum zullen studenten vaardig worden in Python, en kennis hebben gemaakt met C en Prolog. Vooral Python zal in meerdere vakken gebruikt worden om de vaardigheden van de studenten te verhogen. Hierdoor zullen de studenten van Kunstmatige Intelligentie enerzijds vaardig worden in de programmeertalen die voor hen het belangrijkste zijn, en anderzijds bekend worden met de relevante technieken voor hun vakgebied in de talen die daarvoor het beste werken.

- (5) Om Symbolische KI gebaseerd op Logica meer uit de verf te laten komen stellen we voor om voortbordurend op basis van de fundamentele vakken 'Introduction to Logic' (waarin automatisch bewijzen ook aan bod zal komen) en 'Problem Solving' het huidige vak 'Kennissystemen' te vervangen door een vak 'Knowledge Representation and Knowledge Based Systems' gegeven door specialisten van de VU, en waar bijvoorbeeld Description Logic aan bod komt. Daarnaast stellen we voor om het vak 'Computationale Logica' meer te laten aansluiten bij KI, door meer nadruk te leggen op KI-toepassingen van logica. In dit vak zullen voortaan de volgende onderwerpen aan bod komen: Intensionele Logica, Niet-monotoon en probabilistisch redeneren, en een introductie in de analyse van Complexiteit van algoritmen.
- (6) Verander het vak *Brein en Cognitie* in *Modellen van Cognitie*, en leg daarin de focus op het ontwikkelen/gebruik van simulatiemodellen. Dit maakt de relatie tussen AI en cognitieve psychologie duidelijker en zorgt voor kennismaking met de methodologie van simulatie.
- (7) Voeg "Leren en Beslissen" en "Tweedejaarsproject" samen tot 1 project. Dit voorkomt overlap omdat deze vakken in de afgelopen jaren sterk naar elkaar toe zijn gegroeid.
- (8) *Human-computer interaction (HCI)* blijft een KION-core vak dat niet terugkomt in ons curriculum, gedeeltelijk omdat te human centered is voor onze technische opleiding, gedeeltelijk omdat de UvA geen onderzoekers in deze richting heeft. Een mogelijke oplossing is een keuzevak aan te bieden dat gegeven kan worden door docenten van de VU.
- (9) Een vak over (Beslis- en) Speltheorie en Causaliteit zal als keuzevak worden aangeboden om de relatie tussen Symbolische en niet-Symbolische KI te vergroten, met name tussen Symbolische KI en Cognitive modelling (en eventueel Symbolische KI en Leren). Tenslotte zullen de studenten die al in een eerder stadium interesse blijken te hebben om door te stromen naar de Master of Logic tijdig worden gewezen op enkele logica vakken in de bachelor Wiskunde ('Wiskundige Logica' en 'Modal Logic'). Als studenten deze laatste vakken succesvol hebben afgerond kunnen ze zonder grote problemen doorstromen naar de MoL.

## 6.3 Voorstel curriculum

Dit is een eerste voorstel van een mogelijk 'ideaal' curriculum voor de kunstmatige intelligentie rekening houdend met de specialisaties die in Amsterdam te vinden zijn en de overwegingen zoals uitgewerkt in de leerlijnen in bovenstaande.

Behalve overwegingen van onderwerpen die al dan niet aan de orde moeten komen zijn bij het curriculum andere factoren van belang. Het moet representatief zijn en selectief (ivm BSA), afwisselend, rekening houdend met afhankelijkheden tussen vakken.

In grote lijnen volgt dit curriculum de opzet van het boek van Russell & Norvig:

<i>R&amp;S part I</i>	<i>A birdseye view on Artificial Intelligence</i>	<i>Jaar 1 - periode 1</i>
<i>R&amp;S part II</i>	<i>Problem Solving</i>	<i>Jaar 1 - periode 2</i>
<i>R&amp;S part III</i>	<i>Knowledge, reasoning &amp; planning</i>	<i>Jaar 1 - periode 5</i>
<i>R&amp;S part IV</i>	<i>Uncertain knowledge and reasoning</i>	<i>Jaar 2 - periode 2</i>
<i>R&amp;S part V</i>	<i>Learning</i>	<i>Jaar 2 - periode 4</i>
<i>R&amp;S part VI</i>	<i>Communicating, perceiving, acting</i>	<i>Jaar 2 - periode 1</i>
		<i>Jaar 2 - periode 3</i>
		<i>Jaar 2 - periode 5</i>
<i>R&amp;S part VII</i>	<i>Conclusions</i>	<i>Jaar 3 - periode 4</i>

Het eerste jaar bevat heel veel basisvakken van de KI. Vakken uit het eerste jaar (zoals taaltheorie) zijn nu naar het tweede jaar verschoven als onderdeel van R&N part VI. Toepassingen komen ook terug in periode 3 en 6 van jaar 1.

Toepassingen komen sterk terug in *R&S part VI* en de projectvakken. Probleem is dat om in een project iets zinnig te bouwen de studenten wel voldoende vaardigheden moeten hebben. Bij deze puzzel zijn ook de grootste verschuivingen te zien. Webprogrammeren, dat niet alleen scripting maar ook het gebruik van query languages onderwees, is nu vervangen door een vergelijkbaar vak dat dichter bij de KI praktijk komt, een introductie hoe men (web-)data kan manipuleren en visualiseren met behulp van Python<sup>1</sup>. Het robotica vak Zoeken, Sturen en Bewegen is lastig schaalbaar, en is vervangen door Computersystemen, dat goed in het eerste jaar gegeven kan worden.

De robots, in gesimuleerde vorm, komen nog wel terug in het projectvak Artificial Life, waarbij meteen ook Evolutie als paradigma gegeven kan worden. De twee projectvakken Leren & Beslissen en het tweedejaarsvak worden samengevoegd; gedeeltelijk omdat ze een vergelijkbare opzet hebben, met als bijkomend voordeel dat de koppeling tussen Leren en Leren & Beslissen wat minder direct wordt.

---

<sup>1</sup> Geinspireerd op het Udemu vak *Learning Python for Data Analysis and Visualization*

Het nieuwe vak *A birdseye view* is een nieuwe opzet van huidige vak Inleiding KI, hetgeen meteen de samenhang en diversiteit van de kunstmatige intelligentie aan de eerstejaars duidelijk maakt. We beginnen ook met *Problem Solving*, zodat de studenten ook een formelere aanpak van de kunstmatige intelligentie hebben gezien. Daardoor hebben ze in het eerste blok meteen al *R&S part I en II* gehad. De volgorde van de wiskundevakken is een lastige keus; door *Bayesian statistics* als eerste geven kunnen we deze kennis meteen gebruiken in het eerste projectvak en hebben Wiskunde-A studenten baat bij hun voorkennis.

Het naar voren halen van *Knowledge, reasoning & planning R&S part I en II* heeft ervoor gezorgd dat beide taalvakken nu in het tweede jaar te vinden zijn (semester I en II), hetgeen niet zo vreemd is omdat taal in zekere zin een toepassing van kunstmatige intelligentie is (*R&S part VI*).

De vakken in figuur 2 zijn gekleurd aan de hand van de leerlijnen, de meeste vakken hebben echter meerdere aspecten en kunnen in andere context anders gekwalificeerd worden. De namen in dit voorstel zijn weggelaten omdat nog niet met de betrokken personen is overlegd. De kleuren in figuur 2 hebben de volgende betekenis:

<i>Verdeling curriculum</i>	<b>EC</b>
Kunstmatige intelligentie algemeen	60+12
Keuze	30
Cognitie	12
Intelligente systemen / Robotics	18+6
Mathematische vaardigheden	18+6
Programmeer vaardigheden	18
Taal en spraak	12+6
Logica	12+6

Met *Computersystems* als projectvak is ook de leerlijn programmeervaardigheden gegarandeerd. *Machine Learning* is nu later in het curriculum, waardoor we ook wat dieper kunnen gaan. Dit vak wordt in het derde jaar nog verder uitgewerkt met *Reinforcement Learning*.

Leerdoelen voor de nieuwe voorgestelde vakken komen in Appendix 8.

Curriculum BSc KI		Version 2018-2019 - proposal Curriculum Commissie (2016 12 23)	
<b>1st year</b>			
Week 1-8	A birds-eye view on Artificial Intelligence	Week 9-16	Introduction to Programming
Week 17-20	Data Analysis and Visualization <i>project</i>	Week 21-28	Introduction to Logic
Week 29-36	Knowledge, reasoning & planning	Week 37-40	Computersystems
Week 1-8	Problem Solving and Search	Week 9-16	Introduction to Probability and Statistics
Week 17-20	Academic Skills BSc KI year 1	Week 21-28	Introduction to cognitive psychology
Week 29-36	Academic Skills BSc KI year 1	Week 37-40	Calculus & Dynamic systems
<b>2nd year</b>			
Week 1-8	Speech and Language Processing	Week 9-16	Reasoning and Uncertainty
Week 17-20	Artificial Life <i>project</i>	Week 21-28	Machine Learning
Week 29-36	Philosophical Foundations	Week 37-40	Applied Artificial Intelligence <i>project</i>
Week 1-8	Linear Algebra	Week 9-16	Datastructure and Algorithms
Week 17-20	Orientation Academic career BSc KI year 2	Week 21-28	Cognitive Modelling
Week 29-36	Orientation Academic career BSc KI year 2	Week 37-40	Statistical Natural Language Processing
<b>3rd year</b>			
Week 1-8	Free choice	Week 9-16	Free choice
Week 17-20	Free choice	Week 21-28	3D Computer Vision
Week 29-36	Free choice	Week 37-40	Graduation thesis BSc KI (18 EC)
Week 1-8	Free choice	Week 9-16	Reinforcement learning
Week 17-20	Free choice	Week 21-28	Constrained choice
Week 29-36	Free choice	Week 37-40	Constrained choice
Week 1-8	Game Theory and Causality	Week 9-16	Research methods & Academic English
Week 17-20	Autonomous Mobile Robots	Week 21-28	Research methods & Academic English
Week 29-36	Speech recognition	Week 37-40	Research methods & Academic English
Week 1-8	Mathematical Principles of Pattern Recognition	Week 9-16	Fundamentals of Fuzzy Logic
Week 17-20	Search Engines	Week 21-28	Epistemology & Ethics
Week 29-36	Search Engines	Week 37-40	Epistemology & Ethics

Figuur 2: Voorstel curriculum Bachelor KI

# Opdracht Curriculum Commissie Bachelor Kunstmatige Intelligentie

Versie 1.5, 3 Februari 2016, Arnoud Visser

## Inleiding

De Curriculum commissie “Bachelor Kunstmatige Intelligentie” heeft als opdracht het onderwijs van de bacheloropleiding Kunstmatige Intelligentie opnieuw te ontwerpen, op zo’n manier dat het een eigen plaats zal hebben in de onderwijsportfolio van de VU en de UvA. Deze vernieuwing is noodzakelijk vanwege het vernieuwde ontwerp van de gezamenlijke masteropleiding Artificial Intelligence. Het nieuwe ontwerp moet rekening houden met de laatste ontwikkelingen binnen het vakgebied, de verwachtingen van het afnemend veld (zowel de vervolgmasters als de maatschappelijke organisaties waar onze afstudeerders werk vinden) en goed aansluiten bij de specialisaties die bij de onderzoeksgroepen in Amsterdam te vinden zijn.

## Stappenplan

1. De Curriculum commissie “Bachelor Kunstmatige Intelligentie” brengt in kaart in hoeverre er op dit moment al dan niet voldaan wordt aan de verwachtingen van het afnemend veld:
  - de Master of Logic en de Master AI,
  - het bedrijfsleven / overheid / ideële instanties.
2. De Curriculum commissie “Bachelor Kunstmatige Intelligentie” geeft aan welke aanbevelingen uit het *state-of-the-art* report van de QANU overgenomen dienen te worden.
3. De Curriculum commissie “Bachelor Kunstmatige Intelligentie” verkent de mogelijkheden om gebruik te maken van de expertise van de VU om het curriculum van de bachelor Kunstmatige Intelligentie te verrijken.
4. De Curriculum commissie “Bachelor Kunstmatige Intelligentie” houdt direct bij het begin van het ontwerp rekening met de mogelijkheid van een tweejarige major en een minor van één semester (in het eerste semester).
5. De Curriculum commissie “Bachelor Kunstmatige Intelligentie” komt met aanbevelingen hoe het curriculum er op lange termijn (academisch jaar 2018-2019) uit zou kunnen zien.

## Tijdschema

- Begin februari: samenstelling en start commissie.
- Eind februari: gesprekken aansluiting Masters.
- Begin maart: gesprekken bedrijfsleven / overheid / ideële instanties via alumni netwerk.
- Eind maart: analyse aanbevelingen uit het Qanu *state-of-the-art* report.
- April: verkenning verrijking curriculum met VU expertise.
- Mei: voorstel curriculum academisch jaar 2018-2019.
- Juni: voorstel bespreken in opleidingscommissie.
- September: het voorstel wordt getoetst op roosterrandvoorwaarden, ingangseisen, inzet docenten, studeerbaarheid en uitvoerbaarheid qua reglementen/ondersteuning.

## Samenstelling commissie

- Vertegenwoordiger IvI – Maarten van Someren
- Vertegenwoordiger ILLC – Robert van Rooij
- Vertegenwoordiger KdV – Ale-Jan Homburg
- Vertegenwoordiger FMG – Leendert van Maanen
- Vertegenwoordiger VU – Stefan Slobach
- Vertegenwoordiger studenten - Willemijn Beks & Roan de Jong
- Vertegenwoordiger ondersteuning – Babette Sluijter

## Achtergrond

Nederland is uniek dat we kunstmatige intelligentie als opleiding op bachelor niveau aanbieden [1]. De opleidingen zijn recent geanalyseerd op het niveau van “state-of-the-art” [2], waar de commissie met negen aanbevelingen is gekomen, hoewel er maar één aanbeveling met de inhoud van de opleiding te maken had (“add several missing topics to the common core for bachelor programmes”).

Binnen de universiteit heeft de Master Artificial Intelligence afgelopen jaar het curriculum aangepast, omdat de opleiding nu een Joint Programme met de VU is geworden. Dit is de directe aanleiding voor de Curriculum Commissie opdracht die afgelopen november opgesteld is [3]. Echter, ook voor de bachelor Kunstmatige Intelligentie speelt de samenwerking met de VU zeer prominent. Besloten is om gezamenlijk een informatiewetenschappen opleidingen portfolio te onderhouden [4]. De bachelor Kunstmatige Intelligentie is hierbij een zeer levensvatbare opleiding met goede aansluiting bij de onderzoeksgroepen van de VU en UvA. Binnen de verkenningscommissie Informatiewetenschappen is gevraagd om de bachelor Kunstmatige Intelligentie zich met een state-of-the-art curriculum te profileren.

## Documenten

- [1] “Frame of reference Bachelor and Master programmes in Artificial Intelligence; The Dutch Perspective”, Kunstmatige Intelligentie Opleidingen Nederland (KION), januari 2013.
- [2] Tim Grant, Leon Rothkrantz *et al.* “Artificial Intelligence academic programmes in the Netherlands, A state-of-the-art report”, Quality Assurance Netherlands Universities (QANU), Utrecht, mei 2015. ([PDF](#))
- [3] Arnoud Visser, “Opdracht Curriculum Commissie Bachelor Kunstmatige Intelligentie”, versie 1.1, 18 november 2015.
- [4] Wan Fokkink, Frank van Harmelen, Kris de Jong, Guus Schreiber, Jan Bergstra, Guus Delen, Alfons Hoekstra, Marcel Worring, Andy Pimentel, “Instelling Samenwerkingsinstituut ‘Amsterdam Department of Informatics’”, november 2015.
- [5] Ruben Blom, Casper van Houten, Felicia Liu, Eva van Weel, Lotte Weerts, “Curriculum review bachelor AI”, Mei 2015 (<https://docs.google.com/document/d/1ESEpK6d830XrnkLyhlqSOTTo2S890gdoHsgYkNszoGw/edit>)

## APPENDIX 2

# TECH020

Minutes of the meeting, Amsterdam World Trade Centre, 04-02-2016

*Present from CC: Arnoud Visser, Roan de Jong, Willemijn Beks, Babette Sluijter.*

### **Who believes in 21<sup>st</sup>-century skills?**

- 21<sup>st</sup>-century skills are not for university. Programming is a science, including hacking. Programming as a science is also strong in supporting other sciences. A computer scientist will become more mathematical in the future.
- You will develop 21<sup>st</sup>-century skills in the workplace, while gaining experience, for example: a start-up company will broaden your mind, where you implement and develop all of your skills.
- At first you lack experience, and you will have to ‘fake it till you make it’. Universities could facilitate the transition to companies more, make it easier; the opportunity should be there.
- It is the 21<sup>st</sup>-century skills that get you the job, more of a holistic theme: as a computer student looking for a job you would have to be able to sell your products to others.
- [company:] “At our company we hire mostly Dutch students, from different backgrounds. Those students often did extra-curricular activities during their studies, sometimes as modest as taking a minor in a different field, but broadening your scope during your studies seems to be standard.”

## **How to deliver good qualified people for companies? Does university learn you to be creative and innovative?**

- There are boundaries, theoretical courses are strictly related to university, the background of students is important and may differ as a preference per job-vacancy.
- There is not a lot of room for creativity in the master, projects need to be down-scaled because there is not enough time, but the graduation (research) project is longer.
- TU Delft: dream-teams, that's a big experience, some students play the role of manager, some to get the money.
- [student:] "It is good to have the opportunity to specialize, I had a very broad training which made me insecure in a way, but specialization makes you more confident."
- Feeling that a more specialized training gives you more opportunity to enter a good master.
- [student:] "Although you limit your options in a way, my background is a broad bachelor, other options than AI and CS ask for extracurricular courses."
- [company:] "Common trend is more interdisciplinary, it is good when a bachelor is broad, and a master is more specialized."
- [student:] "Interdisciplinary is taking economics courses. Difference between CS and AI is not that big. That is not what is meant by interdisciplinary."
- Universities have other goals than companies.

## **How much are academic skills appreciated?**

- [company:] "These skills are important in practice, but they do not necessarily have to be on your CV."
- University is focused more on research & theory, applied science is also good but you don't have time to think about what you've done, you learn skills on the job: university could contribute more to that.

## APPENDIX 3

# ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND LIFE IN 2030

ONE HUNDRED YEAR STUDY ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE |  
REPORT OF THE 2015 STUDY PANEL | SEPTEMBER 2016

Peter Stone *et al.*

<https://ai100.stanford.edu/2016-report>

page 8-9

### What's next for AI?

The research that fuels the AI revolution has also seen rapid changes. Foremost among them is the maturation of machine learning, stimulated in part by the rise of the digital economy, which both provides and leverages large amounts of data. Other factors include the rise of cloud computing resources and consumer demand for widespread access to services such as speech recognition and navigation support.

Machine learning has been propelled dramatically forward by impressive empirical successes of artificial neural networks, which can now be trained with huge data sets and large-scale computing. This approach has been come to be known as “deep learning.” The leap in the performance of information processing algorithms has been accompanied by significant progress in hardware technology for basic operations such as sensing, perception, and object recognition. New platforms and markets for data-driven products, and the economic incentives to find new products and markets, have also stimulated research advances. Now, as it becomes a central force in society, the field of AI is shifting toward building intelligent systems that can collaborate effectively with people, and that are more generally human-aware, including creative ways to develop interactive and scalable ways for people to teach robots. These trends drive the currently “hot” areas of AI research into both fundamental methods and application areas:

**Large-scale machine learning** concerns the design of learning algorithms, as well as scaling existing algorithms, to work with extremely large data sets.

**Deep learning**, a class of learning procedures, has facilitated object recognition in images, video labeling, and activity recognition, and is making significant inroads into other areas of perception, such as audio, speech, and natural language processing.

**Reinforcement learning** is a framework that shifts the focus of machine learning from pattern recognition to experience-driven sequential decision-making. It promises to carry AI applications forward toward taking actions in the real world. While largely confined to academia over the past several decades, it is now seeing some practical, real-world successes.

**Robotics** is currently concerned with how to train a robot to interact with the world around it in generalizable and predictable ways, how to facilitate manipulation of objects in interactive environments, and how to interact with people. Advances in robotics will rely on commensurate advances to improve the reliability and generality of computer vision and other forms of machine perception.

**Computer vision** is currently the most prominent form of machine perception. It has been the sub-area of AI most transformed by the rise of deep learning. For the first time, computers are able to perform some vision tasks better than people. Much current research is focused on automatic image and video captioning.

**Natural Language Processing**, often coupled with automatic speech recognition, is quickly becoming a commodity for widely spoken languages with large data sets. Research is now shifting to develop refined and capable systems that are able to interact with people through dialog, not just react to stylized requests. Great strides have also been made in machine translation among different languages, with more real-time person-to-person exchanges on the near horizon.

**Collaborative systems** research investigates models and algorithms to help develop autonomous systems that can work collaboratively with other systems and with humans.

**Crowdsourcing and human computation** research investigates methods to augment computer systems by making automated calls to human expertise to solve problems that computers alone cannot solve well.

**Algorithmic game theory and computational social choice** draw attention to the economic and social computing dimensions of AI, such as how systems can handle potentially misaligned incentives, including self-interested human participants or firms and the automated AI-based agents representing them.

**Internet of Things (IoT)** research is devoted to the idea that a wide array of devices, including appliances, vehicles, buildings, and cameras, can be interconnected to collect and share their abundant sensory information to use for intelligent purposes.

**Neuromorphic computing** is a set of technologies that seek to mimic biological neural networks to improve the hardware efficiency and robustness of computing systems, often replacing an older emphasis on separate modules for input/output, instruction-processing, and memory.

## APPENDIX 4

# Evaluation Bachelor KI 2014-2015

### “4. Observations and recommendations

The overall impression is that the Bachelor AI is sufficient. This is consistent with the evaluation by the “Keuzegids” which reports that students rate the programme below average producing an overall score of 52 on a scale of 100. The mean over all courses is 6.8 (on a scale of 1 to 10). The courses with the best student evaluations are “Intentionele Logica en Onzekerheid”, “C++ Programmeren” (both 8.1) and “Logisch Programmeren en Zoektechnieken” (8.1). These are also best evaluated by the OC. “Intentionele Logica en Onzekerheid” and “C++ Programmeren” are specialized choice courses which partially explains the positive evaluations. The most problematic are Kennissystemen, Kennisgebaseerde Media, Discourse, Inleiding Kunstmatige Intelligentie and the version of Continue Wiskunde en Statistiek in the first year.

#### *Kennisystemen*

This course seems outdated and therefore does not appeal to students. It should be redesigned. It has consistent poor evaluations over several years. Possibilities are to collaborate with the VU or to combine the course with Kennisgebaseerde Media.

#### *Kennisgebaseerde Media*

The level and workload are very low. The course lacks technical content. This is due in part to the fact that it is also part of Informatiekunde. It could perhaps become a choice course or it could be merged with Kennissystemen.

#### *Other*

The course *Inleiding Kunstmatige Intelligentie* can be improved by improving coordination with TAs and improving the quality of the lectures. The content should reflect modern Artificial Intelligence. A possibility is to include an integrative project, maybe combining this course with a form of Zoeken Sturen en Bewegen.

*Zoeken, sturen en bewegen* suffered this year from practical and organisational problems. These problems have been occurring for several years. If the problems with the robots cannot be solved then the focus should be shifted.

(...)

#### *Programming*

As last year, here are many programming environments and languages in use: Prolog, Java, R, MATLAB. This may make it more difficult to acquire more than superficial programming skills. It may be good to formulate the objectives regarding programming in the Bachelor AI and see if the current programme achieves these. Students prefer to learn several different programming languages instead of focusing on a single language. There is an interest in learning Python. Teaching programming needs better coordination between courses.

Recommendations:

1. There are many programming environments and languages in use: Prolog, Java, R, MATLAB. This may make it more difficult to acquire more than superficial programming skills. It may be good to formulate the objectives regarding programming in the Bachelor AI and see if the current programme achieves these.
2. Introduce Python and Matlab in PAV before NTMI and Continue Wiskunde & Statistiek

### *Mathematics*

Much of modern AI is based on statistical methods. In the Master AI this plays a big role and also other Master programmes and in industry basic Mathematics is an important requirement. Calculus and Statistics are now taught outside their application in for example Machine Learning or Image Processing. Students are therefore less motivated for these courses. Also, the level offered by the current Bachelor is at or below the minimum that is needed for the Master AI.

Recommendations:

1. Replace Continue wiskunde en statistiek (6 EC) by two new courses: (1) Calculus & Dynamical Systems (6 EC) and (2) Statistics for Machine Learning (6 EC). Appoint a teacher to coordinate the courses in Mathematics and their relation.
2. Make the relevance of these courses explicit by better integrating them with courses that use Maths.
3. Coordinate the Maths courses with entrance levels required for Master AI and other Master programmes both at UvA and VU and outside.

(...)"

# Evaluation Bachelor KI 2015-2016

## 5. Recommendations

- Collaborate with the VU about the course “Kennissystemen”.
- Make “Kennisgebasseerde Media” no longer an obligatory course.
- Increase the level of mathematical skills.
- The robotics courses need more preparation and should be redesigned to handle the increasing number of students.
- Do not use the same questions in exams for multiple years, as the students have access to previous year exams.
- Coordinate the teaching and use of programming languages between the courses.
- Teach students to program better and more neat.
- Distribute the projects of the “Afstudeerproject” before the start of the course and give the grades at the final presentation. Also use a different system for distributing, not the Tenders as they are now.

## APPENDIX 5

# Opmerkingen over programma door studenten

*Bron: vragenlijst bij aanvraag diploma BSc KI*

- **Wat vond je het meest interessante in je opleiding?**
  - Allround basiskennis in AI
  - Honours
  - Afstudeeronderzoek
  - Afstudeerproject
  - Alle formele onderdelen
  - De brede keuze in vakken. Het brede vak aanbod.
  - De breedte van de aangeboden vakken
  - De combinatie van computers, taal
  - De leren en computer vision- ?
  - De projecten boden veel optie om het vakgebied te onderzoeken en toe te passen, machine learning onderdelen zijn erg interessant
  - maar helaas onderbelicht.
  - De vakken over menselijk leren en hoe dat gestimuleerd kan worden
  - Er waren een aantal onderdelen en vakken die mijn interesse in de KI vergroot hebben.
  - Het programmeren
  - Het programmeren van de algoritmes en ze in werking te zien
  - Ik vond over het algemeen de projecten interessant.
  - Logica / Filosofie / Lineaire Algebra / Beeldverwerken
  - Machine learning
  - Machine learning, en de relatie daarvan met biologische / psychologische processen
  - Mijn bachelorproject
  - Qua vakken: de projecten, filosofie & AI. En de gehele minor Inlichtingenstudies. Verder de combinatie van theorie en praktijk en de diversiteit van de verschillende onderwerpen / vakken.
  - Taalverwerking en machine learning
  
- **Wat heb je gemist in je opleiding?**
  - Werken aan grote professionele software projecten
  - chips (hardware)
  - wiskundige basis (meer statistiek)
  - De link van de theorie en "schoolpraktijk" naar de "echte wereld". Alleen bij de projecten kwam het soms voor dat je in contact kwam met de werkwereld, verder was alle praktijk puur toepassing van de theorie op opdrachten/opgaven.
  - De mogelijkheid om te verdiepen in specifiekere richting na oriëntatie
  - Een mogelijkheid tot betekenisvolle specialisatie, alle specialisatie vakken tezamen vullen het vrije onderdeel en maken het nog breder zonder diep

op onderdelen in te gaan behalve als je interesse taalverwerking is.  
Curriculum veranderde te veel om een plan te maken.

- o Er ligt erg veel nadruk op werk AI en de korte termijn winstgevende takken ervan. Ik meen dat fundamentele vragen zoals in filo & AI te veel ontbreken. De student wordt al te snel een richting op geduwd. Hierdoor zal veel talent in een roltrap richting een lokaal maximum staan.P.s. wanneer je feedback wenst, vergroot dan tenminste dit hokje.
- o Ethiek
- o Goede programmeervaardigheden in C vergaren
- o Iets meer diepte in de verschillende onderdelen
- o Meer recentere technieken, veel van de stof die wij krijgen is KI uit de beginjaren. Maar weinig ontwikkelingen van de afgelopen jaren komen aan bod, wat ik erg jammer vind in een WO opleiding.
- o Ook mis ik enige kwaliteitszorg. de opleiding heeft veel te bieden aan kennis, maar het is mogelijk de vakken met redelijk goede cijfers af te ronden zonder deze kennis volledig te vergaren. Het is gemakkelijk met weinig inzet de meeste vakken te halen.
- o Meer rigoreuze wiskunde
- o Meer statistiek en wiskunde
- o Multi-agent systems
- o Overzicht van relatie tussen vakken en hun plek in het vakgebied plus een overzicht van extraculaire opties (buitenland studie etc)
- o Programmeertalen leren vanaf de basis.
- o Robotica mocht wel wat meer

## **APPENDIX 6**

De Curriculum Commissie is op de volgende data bij elkaar gekomen:

- 18 februari 2016
- 7 maart 2016
- 9 mei 2016
- 7 juli 2016
- 8 september 2016
- 7 oktober 2016
- 28 oktober 2016
- 25 november 2016

## APPENDIX 7

Het Docententeam heeft op 12 december 2012 versie 1.6 van dit rapport besproken. Dit waren zijn hun opmerkingen en hun aanbevelingen:

- Het advies is een interessant en goed leesbaar rapport geworden.
- Programmeren is een belangrijk onderdeel van het curriculum. Bij Prolog wordt uitgegaan van het idee: laten we beginnen met een taal die ze allemaal nog niet gezien hebben, dan voorkom je dat de één de taal al beter kent dan de ander. De taal zou nu worden veranderd in het nieuwe curriculum, en andere vakken moeten kijken of ze die nieuwe taal ook kunnen (gaan) gebruiken, maar dat is niet direct een oplossing. Programmeren zou je in de context van iets academisch moeten doen, theoretisch. Af en toe doe je dan uiteraard wel iets toegepast in KI. In de praktijk is Java of Python misschien wel het belangrijkste, maar programmeren moet ook over de inhoud ipv de taal gaan. Arnoud gaat te rade bij Inge Bethke & Paul Klint. In de huidige aanpak sluit het vak wel beter aan bij de belevingswereld van de studenten tov hoe het vak een aantal jaren geleden werd gegeven (alleen maar theoretisch).
- Volgens de master AI laten de vaardigheden die bachelor-studenten leren tav programmeren ook te wensen over.
- Er mist een indicatie van tijdsbesteding en zwaarte van vakken in het rapport. De OC zou daar een overzicht van kunnen (laten) maken.
- Computer networks & computer engineering: kan de aansluiting gerepareerd worden met een keuzevak?
- Hergebruik van docenten lijkt een goed idee, maar wat wordt er precies mee bedoeld: dat behandelde onderwerpen door een bepaalde docent later terug komen in het curriculum *of* dat dezelfde docent vergelijkbare vakken bij de Bsc Informatica gaat geven?
- Er moet 6 EC aan statistiek terug komen in het curriculum, het liefst gegeven door iemand van de groep van Joris Mooij. Joris Mooij geeft Machine Learning 2.
- Er is overleg nodig tussen Leo en de docent van het bachelorvak Mathematical Principles of Pattern Recognition, tav het mastervak Machine Learning 1. Dit bachelorvak wordt wel (juist) aangeraden ter voorbereiding op de Master AI.
- Computer vision is nogal een gespecialiseerd vak: dit zou een keuzevak kunnen zijn, in periode 4 van jaar 3? Dit is wel het vak waar ze Lineaire Algebra het meest gebruiken/toepassen. Reinforcement Learning zou ook een keuzevak kunnen worden (*suggestie overgenomen*). De inhoud van deze vakken moet wel ook goed worden afgestemd met de master.
- Tweedejaarsproject BSc KI: het vak wordt altijd goed beoordeeld, maar wordt omgevormd tot Applied Machine Learning. Suggestie: noem het Applied AI, dan blijft in principe alles mogelijk (*suggestie overgenomen*).
- Programmeertalen: als er wat meer tijd is voor de studenten tussen het leren van verschillende talen, dan is er meer kans dat een taal 'beklijft' (jaar 1, semester 1). Het vak Problem Solving zou beter 'Problem Solving and Search' kunnen heten. Je zou Problem Solving en Introduction to Logic kunnen omwisselen. Beoogd boek voor Python Programming: Objectoriented programming in Python.
- Zoeken, Sturen, Bewegen: het vak gaat niet lukken als er altijd te weinig tijd voor is, er zijn ook te weinig Robotica-mensen bij het IvI.

- Waar is de AV-leerlijn gebleven in het rapport? Antwoord: Academic skills blijven zoals ze al waren.
- Een duidelijke AI-lijn, zoals bij Natuurlijke taalmodellen, is belangrijker dan cognitive modelling/de cognitie-vakken.
- In relatie tot Epistemology & Ethics: bij de Master of Logic is het vak van Jeroen van Dongen niet goed bevallen en weer vervallen, omdat het niet academisch genoeg was.
- Het nieuwe curriculum zal gefaseerd ingevoerd moeten worden.

Welke voorgestelde veranderingen in het nieuwe curriculum zouden naar voren gehaald kunnen worden?

- IKI wordt nu samengesteld door experts uit het veld, dat vergt meer overleg en afstemming dan nu gebeurt. Of je kan het vak laten geven door een AI-er.
- Studenten klagen nu dat ze per vak weer een nieuwe programmeertaal moeten leren, dat zou je voor het komend academisch jaar al kunnen aanpassen.
- Andere optie is om Kennissystemen door de VU te laten geven.
- Hoe zit het met overgangsregelingen: die hebben we zeker nodig en daar zal de ExCie mee aan de slag gaan.
- Objectoriented Programming kan komend jaar in nieuwe stijl worden ingevoerd.
- Constrained choices in het 3e jaar kunnen al worden ingevoerd, dit kan worden nagevraagd bij de beoogde docenten van de Instituten.

## APPENDIX 8 - Vakbeschrijvingen

---

### NLP1

---

#### Foundations of Natural Language Processing

Natural language theory and processing (*this is the old name, and is not bad*)

Making language computable.

Teaching language to computers.

The ability to learn language and use it to communicate with each other is one of the main features that makes us intelligent. However, while we use language effortlessly in everyday life, it is not easy to program computers to correctly process human languages such as English or Dutch. Natural Language Processing (or Computational Linguistics) is a subfield of Artificial Intelligence which aims at endowing computers with the ability to process human language.

This course focuses on core concepts and ideas drawn from computer science and linguistics used in the automatic processing of natural language. You will be introduced to the underlying regularities and computational properties of natural language, as well as some aspects of human language processing. The course includes formal language theory and grammars, probabilistic grammars, parsing algorithms, and methods for representing word and sentence level meaning.

---

### NLP2

---

Natural Language processing: models and techniques.

Automatic language learning and processing.

Towards natural language understanding.

This course focuses on quantitative and data-driven techniques for natural language processing. We will cover a number of models and algorithms widely used in language processing, such as n-gram language models, sequence models like Hidden Markov models, maximum-entropy classifiers, vector space models of meaning, and dynamic programming algorithms such as chart parsing, and the EM algorithm. Core NLP problems such as part-of-speech tagging, dependency and constituency based syntactic parsing, meaning representations and semantic analysis, as well as applications like machine translation will be addressed, with an emphasis on supervised machine learning from large corpora.

### **Inleiding Cognitieve Psychologie**

In dit vak worden de belangrijkste resultaten besproken uit een aantal domeinen binnen de cognitieve psychologie die relevant zijn voor de AI. Veel onderzoek in de AI is direct gebaseerd op of geïnspireerd door resultaten uit de cognitieve psychologie binnen deze domeinen. Denk bijvoorbeeld aan het onderzoek naar visuele waarneming. Uit cognitief psychologisch onderzoek blijkt dat waarneming een hiërarchische architectuur volgt, wat direct toegepast kan worden in machine

vision. De relatie tussen de werking van het visuele systeem en machine-perceptie is een voorbeeld van een “implementatie” van een cognitief proces.

leerdoelen:

- de belangrijkste theorieën en onderzoeksresultaten binnen een aantal verschillende domeinen van de cognitieve psychologie benoemen.
- de manier waarop de belangrijkste cognitieve processen in het brein worden gerealiseerd benoemen.

### **Modellen van Cognitie**

Voortbouwend op *Inleiding Cognitieve Psychologie* wordt in dit vak aandacht besteed aan het ontwikkelen en gebruik van cognitieve modellen, obv kennis van het cognitieve systeem. Bij elk vak is van belang om de relatie tot AI en de eerdere vakken uit de leerlijn expliciet te maken.

leerdoelen:

- theorieën en onderzoeksresultaten binnen enkele verschillende domeinen van de cognitieve psychologie en cognitieve neurowetenschappen benoemen en beschrijven.
- computationele modellen gebruiken om cognitieve processen te simuleren en toe te passen op experimentele data (computerpractica) en verslagleggen hiervan.

### **Filosofie en AI**

In *Filosofie en AI* wordt onder andere aandacht besteed aan Filosofie van de Geest. De kennis die studenten opgedaan hebben bij *Inleiding Cognitieve Psychologie* en *Modellen van Cognitie* kan als input dienen voor het grondslagendebat.

leerdoelen:

- De cursus beoogt student de kennis op het gebied van de filosofie bij te brengen die nodig is om met vrucht aan het grondslagendebat rond kunstmatige intelligentie deel te nemen.
- Er wordt expliciet aandacht besteed aan de volgende vaardigheden:- kunnen analyseren van een argumentatief betoog,- evalueren van een betoog,- opstellen van een betoog.

---

Statistics

---

The course develops the basics of probability theory and the fundamentals of statistics (estimators, statistical hypothesis testing). Treated concepts include stochastic variables, probability density function, simultaneous distributions, expectation, variance, tests such as the chi-squared test and the t-test, multivariate statistics, Bayesian statistics.

The student will learn to

- explain and use basic notions from probability and statistics;
- work out elementary applications of statistics;
- perform calculation with stochastic variability.

---

## Calculus

---

The course teaches the basics of calculus: a toolbox to study functions using notions of limit, continuity, differentiation, integration. Both functions of one and several variables are treated. The course also discusses approximations of functions using Taylor series, critical values, calculation of areas and volumes and contains an introduction to differential equations.

Applications to e.g. signal processing are planned.

The student will learn to

- perform simple calculations with functions, in particular with limits and derivatives and including multivariable calculus;
- integrate functions using integration by parts and substitution, and use these to calculate areas and volumes;
- work with critical points to solve elementary optimization problems;
- understand and use Taylor series;
- apply calculus in problems of e.g. signal processing (to be developed).

---

## Mathematical Principles of Pattern Recognition

---

This course focuses on mathematical methods, mainly from linear algebra and stochastics, that are essential for modern methods in pattern recognition and machine learning. Mathematical theory is made concrete in programming exercises.

The student will learn to

- explain the role of mathematical concepts in pattern recognition and machine learning;
- use matrix notation to describe methods in machine learning;
- use probability and statistics to study reliability of the algorithms
- develop variations on existing algorithms for machine learning and implement those.