



# Wetenschapsoriëntatie bij informatica in de tweede fase vwo

SLO • nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling

slo





# **Wetenschapsoriëntatie bij informatica in de tweede fase vwo**

Oktober 2017

**slo**

nationaal  
expertisecentrum  
leerplan-  
ontwikkeling

Verantwoording



**2017 SLO (nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling), Enschede**

Mits de bron wordt vermeld, is het toegestaan zonder voorafgaande toestemming van de uitgever deze uitgave geheel of gedeeltelijk te kopiëren en/of verspreiden en om afgeleid materiaal te maken dat op deze uitgave is gebaseerd.

**Auteurs:** Eelco Dijkstra

**Met bijdragen van:** Natasa Grgurina, Emily Niël

**Redactie:** Maarten Pieters

**Informatie**

SLO

Afdeling: tweede fase

Postbus 2041, 7500 CA Enschede

Telefoon (053) 4840 840

Internet: [www.slo.nl](http://www.slo.nl)

E-mail: [tweedefase@slo.nl](mailto:tweedefase@slo.nl)

**AN:** 3.7403.733

# Inhoud

<b>1.</b>	<b>Inleiding</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>De positie van informatica in de wetenschap</b>	<b>7</b>
2.1	Informatica als hulpwetenschap en als co-wetenschap	7
2.2	Informatica als zelfstandige wetenschap	7
<b>3.</b>	<b>Het examenprogramma informatica</b>	<b>9</b>
3.1	Kernprogramma	10
3.2	Keuzethema's	11
<b>4.</b>	<b>Wetenschapsoriëntatie in informatica</b>	<b>13</b>
4.1	Academische vaardigheden	13
4.2	Wetenschapsfilosofische vragen	15
4.3	Overzichtskennis	17
<b>5.</b>	<b>Voorbeelden van opdrachten</b>	<b>19</b>
5.1	Eigen onderzoek	19
5.2	Thema: wetenschap en samenleving	20
5.3	Thema: computational science	21
5.4	Thema: hoe werkt wetenschap?	25
5.5	Thema: netwerk-wetenschap	26
5.6	Thema: data science en big data	27
5.7	Thema: de grens tussen mens en computer	27
<b>6.</b>	<b>Bronnen</b>	<b>29</b>
6.1	Documenten	29
6.2	Websites	29



# 1. Inleiding

Het wetenschappelijk gehalte van het vwo houdt menige school bezig. De aansluiting op het wetenschappelijk onderwijs is nog steeds voor verbetering vatbaar. Her en der slaan vwo-scholen en universiteiten daar de handen voor ineen. Het wo zet zich daarbij in voor intensievere en meer interactieve studievoorziening; het vwo voor meer academische vorming, bijvoorbeeld via een leerlijn onderzoeksvaardigheden, of voor meer wetenschapsfilosofische voorbereiding. We vatten de opties die vwo-scholen hebben voor voorbereiding op het wo samen in de term *wetenschapsoriëntatie*.

Een aanbod wetenschapsoriëntatie op school hoeft zich niet in één vak te concentreren, er zijn juist veel vakken die er iets in te bieden hebben, en waaraan, omgekeerd, wetenschapsoriëntatie iets te bieden heeft. Het arrangeren van bijdragen uit verschillende vakken vraagt onderzoek en discussie op schoolniveau. SLO helpt scholen bij die discussie met documentatie, informatie en vragen op de site [www.wetenschapsorientatie.slo.nl](http://www.wetenschapsorientatie.slo.nl).

*Wetenschapsoriëntatie bij informatica* benadert wetenschapsoriëntatie van één kant: de aansluiting bij het vak informatica. De publicatie laat die aansluiting op drie niveaus zien: dat van de eindtermen, dat van wetenschap als context voor het vak, en dat van de toetsopdrachten. Ze bevat geen uitgewerkte lesvoorbeelden, al is het een logische volgende stap om die te ontwikkelen. Binnen de begrensde tijd was daar tot nu toe geen mogelijkheid voor. Uiteraard kunt u de toetsopdrachten als lesmateriaal gebruiken, al dan niet in gewijzigde vorm. Ook voor andere vakken is op de website [www.wetenschapsorientatie.slo.nl](http://www.wetenschapsorientatie.slo.nl) materiaal te vinden.

Wetenschapsoriëntatie omvat drie domeinen: academische vaardigheden, wetenschapsfilosofische inzichten en wetenschappelijke overzichtskennis. We typeren die domeinen als volgt.

- A. Academische vaardigheden, zoals:
  - a. onderzoeken en ontwerpen
  - b. informatievaardigheden
  - c. argumenteren
  - d. presenteren
  - e. evalueren
  - f. reflecteren
  - g. samenwerken en interdisciplinariteit
- B. Wetenschapsfilosofische vragen
  - a. hoe komt wetenschappelijke kennis tot stand?
  - b. Hoe wordt wetenschappelijke kennis gebruikt?
  - c. Hoe bepaal je de betrouwbaarheid van wetenschappelijke kennis?
  - d. Hoe beïnvloeden samenleving en wetenschap elkaar?
  - e. Mag alles wat kan?

### C. Overzichtskennis

- a. De grote verhalen van de informatica
- b. Binnen de informatica actuele thema's met een mogelijke bijdrage aan de maatschappij
- c. Binnen de samenleving actuele thema's waaraan de informatica een bijdrage kan leveren.

Bij de academische vaardigheden wordt hier naast onderzoeken ook ontwerpen genoemd: in de eerste plaats omdat dit bij informatica, als constructieve wetenschap, een centrale rol speelt. Maar ook voor andere wetenschappen, in het bijzonder de technische, is ontwerpen een belangrijke vaardigheid. Een andere vaardigheid die hier in het bijzonder genoemd wordt is *samenwerken en interdisciplinariteit*. Dit is voor informatica, en veel andere wetenschappen, van groot belang: vrijwel alle onderzoek wordt in samenwerking met andere onderzoekers gedaan. Deze samenwerking heeft vaak een interdisciplinair en vakoverstijgend karakter.

Kan het vak informatica vwo-leerlingen mede voorzien de kennis en vaardigheden uit deze drie domeinen die, ook vanuit hun toekomstperspectief, van hen verwacht mogen worden? Zo ja, welke leerstof en (toets)opdrachten lenen zich daar dan het beste voor?

Hoofdstuk 2 beschrijft de positie van informatica in de wetenschappen. Wetenschapsoriëntatie vanuit informatica betekent voor vwo-leerlingen kennismaking met informatica als wetenschap en met informatica in andere wetenschappen. Hoofdstuk 3 behandelt het examenprogramma, dat bestaat uit een kernprogramma en keuzethema's. Hoofdstuk 4 beschrijft de mogelijkheden voor het gebruik van wetenschap als context voor het vak informatica. Hoofdstuk 5 presenteert voorbeelden van (toets)opdrachten.



## 2. De positie van informatica in de wetenschap

Informatica is een jonge wetenschap. Ze is tot ontwikkeling gekomen vanaf het midden van de vorige eeuw, samen met de ontwikkeling van ICT (technologie en toepassingen). In deze periode heeft de ICT een essentiële positie in de maatschappij gekregen. Informatica heeft daardoor een grote invloed op individu en maatschappij.

Het domein van de informatica betreft de fundamentele concepten van informatie en informatieverwerking. Deze komen vooral in uitdrukking in de ICT. Het maken en analyseren van digitale (ICT-)artefacten: hardware, systeemsoftware, toepassingen, speelt in de informatica een grote rol. Al deze artefacten zijn gebaseerd op algemeen geldende regels en principes voor informatie en informatieverwerking. Veel van deze artefacten, zoals de hardware en de systeemsoftware, hebben bovendien een universeel karakter, en staan los van een toepassingsdomein. Dit universele karakter van informatie en informatieverwerking staat centraal in de informatica als zelfstandige wetenschap.

### 2.1 Informatica als hulpwetenschap en als co-wetenschap

In veel wetenschappen wordt ICT gebruikt als instrumentarium, waarvan het belang nog steeds toeneemt. Informatica is in dat geval een *hulpwetenschap*, te vergelijken met de rol die wiskunde speelt in veel wetenschappen. In sommige gevallen groeit de samenwerking tussen informatica en een andere wetenschap uit tot een nieuw wetenschapsdomein op de grens van deze wetenschappen. Zo'n domein noemen we een *grenswetenschap*. De positie van informatica en de andere wetenschappen in een dergelijke grenswetenschap noemen we hier *co-wetenschap*. In de natuurwetenschappen vormt het rekenen aan modellen (modellieren en simuleren) een manier van valideren en ontdekken, naast bewijzen en experimenteren. In de grenswetenschap *computational science* gaan dit natuurwetenschappelijk rekenen (voor sterrenkunde, natuurkunde, chemie, biologie) hand in hand met ontwikkelingen binnen de informatica. Een ander voorbeeld van een grenswetenschap is *data science*, gericht op de analyse van grote verzamelingen gegevens (data), wat voor veel wetenschappen, inclusief de economische en menswetenschappen, nieuwe mogelijkheden voor onderzoek biedt. Deze grenswetenschap, waarin naast informatie en informatieverwerking de statistiek een belangrijke rol speelt, staat nog aan het begin van zijn ontwikkeling. In de bio-informatica gaat het onder andere om de analyse en de werking van DNA: een biologisch informatiesysteem. Ook op het gebied van hersenen, intelligentie en lerende systemen (neurocomputing) begint een grenswetenschap te ontstaan, met psychologie, hersenwetenschappen en informatica als co-wetenschappen.

In het vak informatica kun je aan de relatie met andere wetenschappen vorm geven door middel van projecten die eventueel samen met andere vakken opgezet worden. In dat geval wordt de andere wetenschap gebruikt als context voor het informatica-onderwijs.

### 2.2 Informatica als zelfstandige wetenschap

Informatica als *zelfstandige wetenschap* betreft de universele aspecten van informatie en informatieverwerking. Informatica is gericht op het maken (ontwerpen en ontwikkelen) van digitale artefacten: software en hardware, op een systematische manier. Deze artefacten moeten voldoen aan kwaliteitseisen op het gebied van correctheid, bruikbaarheid, efficiëntie, veiligheid, enzovoort. Essentiële middelen voor het beheersen van de complexiteit van deze systemen zijn *abstractie* en *separation of concerns* – de scheiding tussen specificatie (gebruikseisen) en implementatie (uitvoering). Dit zijn ingrediënten van *computational thinking*.

Wetenschappelijke kennis in de informatica geeft vaak antwoorden op hoe-vragen, bijvoorbeeld: hoe kun je uit een formele beschrijving van een programmeertaal een ontleedprogramma construeren dat efficiënt is en altijd werkt (correct is)? De bijdrage van de theorie aan de dagelijkse praktijk is erg groot: veel van de algoritmen die in de praktijk gebruikt worden, zijn het resultaat van wetenschappelijk onderzoek.

In het vak informatica kan het verband tussen de theorie (wetenschappelijke kennis) en het gebruik daarvan duidelijk gemaakt worden aan de hand van een aantal voorbeelden. Ook het gebruik van abstractie en separation of concerns vormt in het vak een belangrijk thema. Informatica ontleent op zijn beurt zijn denk- en werkwijzen in belangrijke mate aan drie funderende wetenschapsdomeinen: wiskunde/logica, natuurkunde/fysische technologie, en menswetenschappen zoals economie, psychologie, sociologie. Onderzoek aan de fundamentele van de informatica op de grensvlakken met deze wetenschappen werkt inspirerend aan beide zijden. Voorbeelden hiervan zijn: *homotopy type theory* (dit betreft zowel de grondslagen van de informatica als die van de wiskunde), *quantum computing* en neurocomputing (op de grens van natuurlijke en kunstmatige intelligentie).

Een diepgaande behandeling van de actuele onderwerpen in deze domeinen gaat te ver voor het vak informatica, maar een aantal van de fundamentele vragen leent zich wel voor de behandeling in een project, zo mogelijk in samenwerking met het vak wiskunde, natuurkunde of biologie.

# 3. Het examenprogramma informatica

Het keuzevak informatica kent alleen een schoolexamen, er is geen centraal examen. Het examenprogramma bestaat uit een basisprogramma dat voor alle leerlingen (van alle profielen) verplicht is, en een aantal keuzethema's voor verdere verdieping, waarbij aansluiting gevonden kan worden bij het profiel en de interesse van de leerling. Deze keuzethema's lenen zich ook voor de aansluiting bij een vervolgstudie.

Een uitgangspunt bij het examenprogramma is dat informatica een maak-vak is. In de uitvoering zal het maken van digitale artefacten en werken aan praktische opdrachten, vaak in projectvorm, een groot deel van de tijd in beslag nemen. Dit leent zich goed als oefening in het toepassen van de genoemde academische vaardigheden. Bij een dergelijk project komen vaardigheden als ontwerpen, samenwerken, argumenteren, en presenteren vanzelfsprekend aan bod.

Het programma is opgezet volgens de concept-contextbenadering: de exameneisen beschrijven voornamelijk de concepten, en er is voorgeschreven dat er bij de uitvoering gebruik gemaakt wordt van betekenisvolle contexten. De contexten zelf zijn niet voorgeschreven: de keuze daarvan is vrij. In een aantal gevallen kunnen hiervoor wetenschappelijke contexten uit verschillende vakgebieden gekozen worden. In het volgende hoofdstuk gaan we in op die mogelijkheden.

In dit hoofdstuk bespreken we het examenprogramma informatica, en identificeren die domeinen en eindtermen die bijdragen aan wetenschapsoriëntatie. Het programma bestaat uit drie delen: vaardigheden (domein A), kernprogramma (domein B t/m F), en keuzethema's (G t/m Q).

Domein A maakt onderscheid tussen algemene vaardigheden, wetenschappelijke vaardigheden, en informatica-gerichte vaardigheden. De algemene vaardigheden omvatten informatievaardigheden, communiceren, reflecteren op leren, en studie en beroep. De wetenschappelijke vaardigheden: onderzoeken, modelleren, en waarderen en oordelen. Als informatica-specifieke vaardigheden worden genoemd: ontwerpen en ontwikkelen, informatica in perspectief, samenwerken en interdisciplinariteit, informatica-instrumentarium. De overlap met de algemene vaardigheden voor wetenschapsoriëntatie is groot.

De oriëntatie op de wetenschap komt expliciet aan de orde in de eindterm Werken met contexten: *De kandidaat kan de in domein A genoemde vaardigheden en de in domeinen B tot en met F, en in de gekozen domeinen uit G tot en met Q, genoemde concepten ten minste gebruiken in wetenschappelijke contexten (vwo), in beroepscontexten en in maatschappelijke contexten.* Dit kan in samenwerking met andere vakken, zie de eindterm Samenwerken en interdisciplinariteit: *De kandidaat kan bij het ontwerpen en ontwikkelen van digitale artefacten op een gestructureerde wijze samenwerken in een team, en samenwerken met mensen afkomstig uit een toepassingsgebied.* Dit laatste is ook te lezen als *afkomstig uit een ander wetenschapsdomein.*

In het volgende hoofdstuk gaan we dieper in op de mogelijkheden voor wetenschappelijke contexten.

### 3.1 Kernprogramma

In het kernprogramma leggen domeinen B, C, en D de logisch/wiskundige basis. Domein E maakt de stap naar praktische systemen, waarbij naast de logisch/wiskundige basis de fysisch/technologische aspecten van belang zijn. Domein F betreft de aspecten die met het gebruik door mensen te maken hebben.

**Grondslagen (domein B):** algoritmen, datastructuren, automaten, en talen.

Deze grondslagen vormen de basis voor het maken van digitale artefacten, voor het analyseren daarvan en het redeneren (argumenteren) hierover. Bijvoorbeeld: *(B1) De kandidaat kan een oplossingsrichting voor een probleem uitwerken tot een algoritme, daarbij standaardalgoritmen herkennen en gebruiken, en de correctheid en efficiëntie van digitale artefacten onderzoeken via de achterliggende algoritmen.*

Bij dit onderdeel kan de relatie tussen theorie en praktijk aan de orde komen. De vraag *hoe* je een bepaald resultaat kun verkrijgen is van belang bij het maken; een deel van de theorie is gericht op het beantwoorden van dergelijke hoe-vragen. Een voorbeeld is de vraag hoe je uit de beschrijving van een (programmeer)taal een programma kunt krijgen dat zinnen in deze taal (programma's) kan ontleden en controleren (parser). Hiervoor is theorie beschikbaar die direct van toepassing is in de praktijk. Dit is een voorbeeld van het gebruik van wetenschappelijke kennis. De inspiratie voor het onderzoek waaruit deze kennis voortkomt, komt direct uit de praktijk.

**Informatie (domein C):** doelstellingen, identificeren, representeren, standaardrepresentaties en gestructureerde data. Dit domein legt de fundamentele basis voor het gebruik van informatie, in samenhang met het verwerken hiervan. De vorm (representatie) van de informatie speelt daarbij een belangrijke rol. Relevante eindtermen: *(C1) De kandidaat kan doelstellingen voor informatie- en gegevensverwerking onderscheiden, waaronder 'zoeken' en 'bewerken'. (C5) De kandidaat kan een informatiebehoefte vertalen in een zoekopdracht op een verzameling gestructureerde data.*

De keuze voor een representatie is in de informatica van groot belang, omdat de bewerking plaatsvindt op die representatie. Een eenvoudig voorbeeld is het rekenen met getallen: er zijn allerlei representaties mogelijk, en de eigenschappen van getallen ("is 997 priem?") zijn onafhankelijk van de representatie. Maar het vermenigvuldigen van getallen met een romeinse notatie is vrijwel ondoenlijk: in het ergste geval zet je het getal eerst om in een binaire of decimale vorm, voert de bewerking uit, en zet het resultaat weer om in romeinse notatie. Een vergelijkbare situatie doet zich voor bij vrijwel alle vormen van informatieverwerking.

**Programmeren (domein D):** ontwikkelen, inspecteren en aanpassen. Dit domein is gericht op het maken en aanpassen van programma's. Samenwerken speelt hierbij een belangrijke rol. Net als in de wetenschap bouw je bij dit programmeren voort op de resultaten van anderen, en moet je eigen werk weer door anderen als basis gebruikt kunnen worden. De manier van werken hierbij, bijvoorbeeld om betrouwbare resultaten te krijgen, lijkt sterk op die in de wetenschap, met elementen als publiceren van programmacode en peerreview. Voor het vak informatica kan hierbij dankbaar gebruik gemaakt worden van open source software: niet alleen de software zelf is publiek, maar ook alle documentatie, en alle communicatie tussen de makers. Overigens neemt de wetenschap hierbij ook het nodige over van de ICT-praktijk, zoals het gebruik van volledige openheid van data en van publicaties (open science), geïnspireerd op het succes van open source software.

**Architectuur (domein E):** compositie, security.

Architectuur maakt de stap naar praktische systemen, waarbij ook fysische aspecten een rol spelen. *Abstractie* en *separation of concerns* (de scheiding tussen gebruikseisen en uitvoering) zijn essentieel om de complexiteit van deze systemen te beheersen.

Voor het gebruik van deze systemen is de veiligheid (security) van belang: *De kandidaat kan enkele security-bedreigingen en veelgebruikte technische maatregelen benoemen en relateren aan architectuurelementen (E2)*. Deze eindterm legt de relatie met het gebruik, en de maatschappelijke gevolgen.

Bij dit onderdeel gaat het om de integratie van de verschillende aspecten tot een werkend systeem: je kunt een computer niet alleen als een wiskundig/logisch systeem beschouwen, je moet ook iets weten van de fysische eigenschappen daarvan. Dit is een voorbeeld van het gebruik van wetenschappelijke kennis in de praktijk: daar zijn de wetenschapsdomeinen niet volledig gescheiden, maar heb je altijd te maken met een combinatie van meerdere domeinen. Soms zijn daarbij diepe wetenschappelijke inzichten van belang, en soms praktische kennis (boerenverstand).

**Interactie (domein I):** usability, maatschappelijke gevolgen, privacy, security.

Dit domein betreft het gebruik van deze systemen door mensen, en de gevolgen daarvan voor mens en maatschappij. Relevante eindtermen: *(F2): De kandidaat kan de invloed van digitale artefacten op sociale interactie en persoonlijke levenssfeer herkennen en in historisch perspectief plaatsen. (F3) De kandidaat kan redeneren over de gevolgen van de veranderende mogelijkheden van digitale artefacten op de persoonlijke vrijheid. (F4) De kandidaat kan enkele security-bedreigingen en veelgebruikte socio-technische maatregelen benoemen en deze relateren aan sociale en menselijke factoren.*

Er is een heel direct verband tussen de wetenschappelijke kennis en het gebruik ervan in de toepassingen. De vraag of alles wat kan ook mag, raakt direct de leefwereld van de leerling, bijvoorbeeld in de manier waarop toepassingen als Google en Facebook gebruik maken van persoonlijke gegevens. Het gaat daarbij niet alleen om privacy, maar ook om het beïnvloeden van het gedrag van de gebruikers op een manier die niet altijd transparant is, en die ook niet altijd in het belang van deze gebruikers of van de maatschappij is.

Niet alle aspecten van wetenschapsoriëntatie worden in dit kernprogramma expliciet benoemd. Dit geldt onder meer voor: hoe komt wetenschappelijke kennis tot stand, hoe bepaal je de trouwbaarheid van wetenschappelijke kennis, de 'grote verhalen' van de informatica en actuele thema's in de informatica en samenleving. Deze lacune kan worden opgevuld door onder andere het gebruik van wetenschap als context en door de hieronder genoemde keuzethema's.

### 3.2 Keuzethema's

De onderstaande keuzethema's leveren een significante bijdrage aan wetenschapsoriëntatie. In de volgende hoofdstukken gaan we dieper in op de manieren om deze thema's in te zetten voor wetenschapsoriëntatie..

De volgende keuzethema's sluiten aan bij informatica als zelfstandige wetenschap: (G) Algoritmiek, berekenbaarheid en logica; (H) Databases; (I) Cognitive computing; (J) Programmeerparadigma's; (K) Computerarchitectuur.

Voor de aansluiting van informatica bij andere wetenschappen zijn de volgende keuzethema's geschikt: (Q) Computational science (modelleren en simuleren), relevant voor de meeste bèta-vakken; (M) Physical computing (o.a. meten en aansturen), voor experimentele natuurwetenschappen; (K) Computerarchitectuur, voor technische wetenschappen; (H) Databases, voor alle wetenschappen.



# 4. Wetenschapsoriëntatie in informatica

Dit hoofdstuk behandelt de vragen en onderwerpen van wetenschapsoriëntatie door wetenschap en wetenschapsoriëntatie te gebruiken als *context* bij het vak informatica. De concept-contextbenadering van het vak geeft de docent vrijheid in de keuze van de context. Hierbij zal de context vaak leidend zijn voor de organisatie van het onderwijs, in plaats van de conceptuele indeling van het examenprogramma in domeinen en keuzethema's. Met het oog op de positionering van informatica als maak-vak (zie het examenprogramma) ligt het voor de hand een significant deel van het onderwijs in te richten als projecten. Een project kan opgezet worden met externe partners, bijvoorbeeld bedrijven of vervolgopleidingen. Zo'n project biedt vaak een rijke context voor meerdere van de eindtermen uit verschillende domeinen. Als zo'n project samen met een wo-opleiding opgezet wordt, kan het een bijdrage vormen aan wetenschapsoriëntatie. De opleiding kan de probleemstelling en de context bepalen, en daarmee de oriëntatie op de eigen wetenschap. Onder meer het keuzethema computational science (zie ook paragraaf 5.3) is hiervoor zeer geschikt. Dergelijke projecten kunnen ook samen met (docenten van) andere vakken opgezet worden: het vak informatica biedt daarvoor ruimte. Leerlingen kunnen in dergelijke projecten verschillende rollen vervullen, waardoor tegemoet gekomen kan worden aan de verschillen in profiel, interesse, en schooltype.

## 4.1 Academische vaardigheden

De onderstaande vaardigheden worden bij vrijwel alle informaticaprojecten geoefend.

### Onderzoeken en ontwerpen

Onderzoeken behoort in het examenprogramma tot de wetenschappelijke en technische vaardigheden (A5). Een specifieke invulling hiervan is modelleren (A6). Meer specifiek komen deze onderzoeksvaardigheden aan de orde in de eindtermen voor de keuzethema's Computational science (modelleren en simuleren ten dienste van onderzoek), Maatschappelijke en individuele invloed van informatica (onderzoeken van deze invloed), en User experience (gebruikersonderzoek met betrekking tot gebruikersinterfaces).

Ontwerpen, om op een systematische manier tot een digitaal artefact te komen, is een centraal thema in de informatica. Een eerste aspect hiervan is de scheiding tussen specificatie (gebruikseisen) en implementatie (uitvoering). Deze separation of concerns komt in de informatica op alle niveaus voor, en is één van de fundamenteën van *computational thinking*. Een tweede aspect is het kunnen evalueren van verschillende alternatieven bij de uitvoering. Ontwerpen in de informatica gaat vrijwel altijd hand in hand met het ontwikkelen van software. Het resulterende artefact moet gevalideerd kunnen worden ten opzichte van de specificatie. Naast testen kunnen daarbij logisch/wiskundige redeneringen gebruikt worden, bijvoorbeeld voor de correctheid of de efficiëntie.

Een speciale vaardigheid in het onderzoeken is de experimentele cyclus: het opstellen van een hypothese, het bedenken van een experiment om deze hypothese te toetsen, het uitvoeren van het experiment, en het evalueren van het resultaat - wat kan leiden tot het bijstellen van de hypothese, en een volgend experiment. Deze vaardigheid kan geoefend worden in het kader van het foutzoeken (debugging) in een programma. Een dergelijke systematische aanpak heeft ook in dit geval grote voordelen.

### **Informatievaardigheden**

Informatievaardigheden komen op twee manieren voor in het informaticaprogramma: onder algemene vaardigheden (A1), en onder informatica-gerelateerde vaardigheden (A12): het beheersen van het informatica-instrumentarium. Dit instrumentarium is voor veel wetenschappen relevant als instrumentarium voor onderzoek: voor het verwerven en verwerken van gegevens, en voor het rekenen aan modellen en theorieën. Het gebruik van dit instrumentarium wordt onder meer geoefend bij de praktische opdrachten (informatica als maak-vak).

Het beheersen van de basisconcepten op het gebied van informatie en informatieverwerking, en het kunnen toepassen daarvan, staat tegenwoordig bekend als *computational thinking*. Dit is relevant voor veel wetenschappen. De basis hiervoor wordt gelegd in de domeinen (B) Grondslagen, (C) Informatie, en (D) Programmeren.

### **Argumenteren**

Voor het programmeren, en voor het redeneren over programma's is een goede kennis van de logica nodig, zowel van boolese algebra, propositielogica als predicatenlogica. Ook bij het formuleren van zoekvragen voor databases is beheersing van logica nodig. In het geval van *cognitive computing* speelt het automatisch redeneren een belangrijke rol, zowel logisch als statistisch (Bayes). Deze vormen van redeneren zijn ook buiten de informatica relevant.

### **Presenteren**

Bij de afronding van een project hoort het presenteren van het resultaat. Vaak zijn ook tussentijdse presentaties mogelijk. Het resultaat kan soms ook voor een deel ook gepresenteerd worden als een website.

### **Evalueren**

Bij ontwerpen speelt evalueren een grote rol: je moet alternatieven afwegen met betrekking tot eisen als efficiëntie, betrouwbaarheid en bruikbaarheid. Dit betekent dat je deze alternatieven ook moet kunnen evalueren met betrekking tot een aantal criteria. Zie ook: (A7) Waarderen en oordelen; (A8) Ontwerpen en ontwikkelen. Het eindresultaat van een project moet geëvalueerd worden met betrekking tot de gestelde eisen.

### **Reflecteren**

Bij een project georganiseerd via de veel gebruikte *Scrum*-aanpak is regelmatige reflectie een vast onderdeel. Dit kan zowel gaan om een reflectie op de eigen manier van werken, als op het leren in het kader van het project (zie ook: (A3) Reflecteren op leren.) In het algemeen werkt dergelijke reflectie beter als het een vast onderdeel is van de manier van werken, en als hierop feedback gegeven wordt.

### **Samenwerken en interdisciplinariteit**

In de wetenschap vragen praktische problemen vaak om een interdisciplinaire aanpak en om samenwerking tussen experts van verschillende domeinen. Een dergelijke interdisciplinaire samenwerking vraagt een goede beheersing van de eigen discipline en het vermogen om met experts van andere domeinen samen te werken. Hiervoor is een gemeenschappelijke basis nodig, met enige kennis van deze andere domeinen en van de manier van denken en de manier van werken in die domeinen.

Een informaticaproject biedt een goede context om te oefenen in samenwerken: leerlingen leren dat ze met een team meer kunnen bereiken dan alleen. Een project rond een praktisch probleem heeft vaak een interdisciplinair karakter. Dit biedt leerlingen de mogelijkheid om een rol te krijgen die past bij hun profiel en interesse. Daarnaast is het een kans om met docenten van andere vakken samen te werken. Om goed te kunnen samenwerken en communiceren in



een dergelijk verband is een gemeenschappelijke basis nodig en enige kennis van de andere betrokkenen domeinen.

## 4.2 Wetenschapsfilosofische vragen

### Hoe komt wetenschappelijke kennis tot stand?

Wetenschappelijke kennis komt tot stand door een combinatie van processen op twee niveaus. Op het onderste niveau doen wetenschappers, alleen of in teamverband, onderzoek. De vraagstelling van dit onderzoek wordt bepaald door de nieuwsgierigheid van de wetenschappers of vanuit een maatschappelijke context. Deze wetenschappers delen de resultaten van hun onderzoek door middel van publicaties, workshops en conferenties met hun collega-wetenschappers in hetzelfde domein. Op dit tweede niveau ontstaat door kritische evaluatie van onderzoeksresultaten en door het gebruik van deze resultaten door andere wetenschappers, langzamerhand consensus over de kennisbasis van het domein. Onderzoeksresultaten inspireren vaak tot nieuwe vragen, die door dezelfde of door andere onderzoekers opgepakt kunnen worden.

Bij het onderzoek in de natuurwetenschappen spelen vanouds observatie, experimenten en bewijzen een belangrijke rol bij het tot stand komen en valideren van wetenschappelijke kennis. Bij elk van deze aspecten spelen informatica en ICT tegenwoordig een grote rol. Een aanvullende methode vormt *modelleren en simuleren*. Door het rekenen (simuleren) aan een model kunnen eigenschappen van een theorie bepaald worden die niet door experimenten of bewijzen te verkrijgen zijn. Een voorbeeld hiervan is het simuleren van veel-deeltjes systemen (N-body systems). De deeltjes kunnen uiteenlopen van atomen tot sterrenstelsels, die zelf ook weer als veel-deeltjes systeem beschouwd kunnen worden. Naast de natuurwetenschappen maken ook de economische en sociale wetenschappen gebruik van modellen waar uitgebreid aan gerekend wordt. In de computational science wordt deze aanpak onderzocht en ontwikkeld, in samenwerking met informatica.

### Hoe wordt wetenschappelijke kennis gebruikt?

ICT (technologie en toepassingen) vormt de belangrijkste en directe toepassing van wetenschappelijke kennis uit de informatica. Er is een directe relatie tussen ICT en informatica: problemen uit de technologie en toepassingen worden in informatica onderzocht, en wetenschappelijke kennis uit informatica wordt vaak direct in ICT toegepast. Hiervan zijn veel voorbeelden te geven aan de hand van het examenprogramma:

- internet en web (begonnen als wetenschappelijk onderzoek, eerst toegepast in de wetenschappelijke wereld, nu niet meer weg te denken uit de wereld van de leerlingen);
- grammatica's en automaten: het omzetten van programma's van een hogere programmeertaal naar hardware-instructies is gebaseerd op de resultaten van onderzoek naar ontleden (parsing), typering, en codegeneratie;
- operating systems: de algoritmen en protocollen voor de coördinatie van processen voor het delen van resources en voor de samenwerking tussen deze processen zijn gebaseerd op fundamenteel wetenschappelijk onderzoek. Wiskundige redeneringen zijn hierbij essentieel voor de betrouwbaarheid.

### Hoe bepaal je de betrouwbaarheid van wetenschappelijke kennis?

Bij de genoemde processen van onderzoek en het delen van resultaten worden complementaire methodes gebruikt om de betrouwbaarheid van de resultaten en van de wetenschappelijke kennis te vergroten. In de eerste plaats zullen de onderzoekers er zelf alles aan doen om hun voorgenomen publicaties te baseren op betrouwbare resultaten. Afhankelijk van het soort onderzoek worden experimenten, wiskundige bewijzen en simulaties gebruikt om de betrouwbaarheid te vergroten. Tegenwoordig wordt daarbij ook vaak *data science* gebruikt, om

statistische berekeningen te doen op grote verzamelingen data. In de tweede plaats vindt er controle op een voorgenomen publicatie plaats door andere onderzoekers, in de vorm van peerreview. Pas na het akkoord van deze 'peers' wordt het resultaat gepubliceerd. Daarna kan er nog publieke discussie in de wetenschappelijke gemeenschap plaatsvinden over de resultaten, en kunnen deze door andere wetenschappers gebruikt worden in hun eigen onderzoek - wat ook extra mogelijkheden voor controle op de betrouwbaarheid kan leveren. Er is een grote overeenkomst tussen validatie van wetenschappelijke resultaten en kennis, en die van digitale artefacten in informatica en ICT .

Bij de constructie van digitale artefacten gebruik je in de eerste plaats een logisch/wiskundige manier van redeneren. Maar voor grote en complexe systemen is er in de praktijk meer nodig. Een eerste stap om de betrouwbaarheid van resultaten te vergroten is om volledige openheid te geven, en om anderen (peers) te vragen de resultaten kritisch te inspecteren en waar mogelijk de experimenten te herhalen. Een voorbeeld hiervan is open source software: de broncode is openbaar en mag door anderen gebruikt worden. Deze combinatie helpt om fouten te vinden en te verbeteren. Voor het onderzoeken van een oplossing die veilig moet zijn (security) is deze openheid erg belangrijk, om de degelijkheid van de oplossing te onderzoeken, maar ook om te bepalen of er geen achterdeuren ingebouwd zijn die de veiligheid kunnen ondermijnen. Bij de standaardisatie van het internet is in de eerste plaats volledige openheid rond een voorstel nodig, maar ook een werkende implementatie, die door anderen in verschillende omgevingen geprobeerd kan worden. Het *Internet Standards Process — Revision 3 (RFC 2026)*, <https://tools.ietf.org/html/rfc2026> schrijft het zo voor: "*A candidate specification must be implemented and tested for correct operation and interoperability by multiple independent parties and utilized in increasingly demanding environments, before it can be adopted as an Internet Standard*".

In veel wetenschappen speelt tegenwoordig het streven naar *open data*, om experimenten te kunnen herhalen, en om deze data in andere contexten te kunnen hergebruiken.

Bij de uitvoering van informaticaprojecten kan gebruik gemaakt worden van open source software en van de bijbehorende 'spelregels'. Leerlingen kunnen bestaande open source projecten bestuderen: niet alleen de broncode is openbaar, maar ook de hele communicatie eromheen. Ditzelfde geldt ook voor de internetstandaarden.

### **Hoe beïnvloeden samenleving en wetenschap elkaar?**

Zoals hierboven beschreven, heeft informatica via ICT een grote invloed op de samenleving. Een deel van deze invloed is bedoeld, we noemen het eerst-orde-effecten. Veel tweede- en derde-orde-effecten effecten zijn nauwelijks te voorspellen. We noemen ze 'emergent', een aanduiding voor eigenschappen en effecten die ontstaan door interactie tussen systemen. Deze beperkte voorspelbaarheid geldt al sinds de introductie van de eerste computers, waarbij sommigen dachten dat een stuk of zes computers wereldwijd meer dan voldoende zouden zijn voor alle rekenwerk.

Het gebruik van ICT heeft ook weer gevolgen voor de wetenschappelijke agenda in informatica. Een voorbeeld vormt de kwetsbaarheid van de huidige ICT-systemen: wetenschappelijk onderzoek naar security dient een groot belang in de samenleving. In het examenprogramma komt dit naar voren bij domein (E) Architectuur (subdomein Security) en (F) Interactie (subdomein Security), en bij de keuzethema's (L) Netwerken (subdomein Netwerksecurity) en (N) Security.

Meer in het algemeen komt de invloed van ICT aan de orde bij domein (P) Individuele en maatschappelijke invloed van informatica, met subdomeinen Maatschappelijke invloed, Juridische aspecten, Privacy, en Cultuur. De relatie met informatica als wetenschap wordt in het examenprogramma niet genoemd, maar kan in de uitvoering wel aan de orde komen

(bijvoorbeeld: de relatie tussen fundamentele eigenschappen van informatiesystemen en de wetgeving).

### **Mag alles wat kan?**

In het examenprogramma komt deze vraag aan de orde in domein F Interactie (subdomeinen Maatschappelijke aspecten, Privacy en Security), en in keuzethema (P) Maatschappelijke en individuele invloed van informatica.

Het maken van digitale artefacten die bedoeld zijn voor gebruik door mensen heeft altijd gevolgen voor mens en maatschappij. Vaak is er wel een analyse gemaakt van de mogelijke eerste orde-effecten, maar de omvang hiervan is lastig van te voren in te schatten. Daarnaast hebben het gebruik van deze artefacten en de verdere ontwikkeling daarvan hun eigen dynamiek, met grote tweede en derde orde-effecten, zowel positief als negatief. Hierbij spelen ook de interactie en combinatie van verschillende artefacten een rol.

In een aantal gevallen is het belangrijk om in een vroeg stadium deze vraag te stellen.

Een voorbeeld is de toepassing van kunstmatige intelligentie (artificial intelligence) en robotica, in het bijzonder voor autonome wapensystemen. Vooraanstaande wetenschappers waarschuwen voor deze toepassing van de technologie, die ze vergelijken met atoomwapens en biologische wapens. (<http://futureoflife.org/open-letter-autonomous-weapons/>)

Een ander voorbeeld is de afweging tussen privacy en security, bijvoorbeeld bij het bewaren van gegevens over het internetverkeer door de overheid of het afluisteren van dit verkeer. Voor een goede inhoudelijke discussie hierover is het nodig om de aard van de technische oplossingen te begrijpen, om te zien wat wel of niet kan en wat de onbedoelde gevolgen van bepaalde (politieke) beslissingen kunnen zijn. Daarnaast blijven ethische en politieke afwegingen nodig.

## **4.3 Overzichtskennis**

### **De grote verhalen van de informatica**

Enkele voorbeelden van grote verhalen uit de ontwikkeling van de informatica, die voor alle leerlingen van belang zijn:

- het idee van een universele rekenmachine, zoals ontwikkeld door Babbage, waarbij Ada Lovelace als 'programmeur' hiervan de grote mogelijkheden voorzag;
- de fundamentele mogelijkheden en beperkingen van een universele rekenmachine, zoals uitgewerkt door Turing;
- de ontwikkelingen van het internet en van het web, eerst in een onderzoeksomgeving, later in het publieke internet;
- de ontwikkeling van open source software, en van de bijbehorende manieren van samenwerken; een groot deel van de ICT-infrastructuur is hiermee opgebouwd;
- wikipedia: het open source model toegepast op de encyclopedie; hoe krijg je dit betrouwbaar?
- exponentiële ontwikkeling: zowel de technologie (Moore's Law) als de vraag naar toepassingen ontwikkelen zich razendsnel.

Deze ontwikkelingen maken duidelijk dat informatica mensenwerk is, en dat hierin niet alleen individuen, maar ook samenwerkingsverbanden steeds meer een grote rol spelen.

Deze verhalen worden bij voorkeur in samenhang met de concepten en de actuele technologie behandeld. Daarbij kan duidelijk gemaakt worden dat er sprake is van een doorgaande ontwikkeling met uitdagingen voor de toekomst, waarin ook leerlingen een bijdrage kunnen leveren. Een mogelijke bron voor de verhalen is een publicatie van Walter Isaacson: *De uitvindes: hoe een groep hackers, genieën en nerds de digitale revolutie ontketende*.

### **Binnen de samenleving actuele thema's - met een mogelijke inbreng van de informatica**

Informatica en ICT kunnen bij veel actuele thema's van de samenleving een belangrijke rol spelen. Enkele thema's die zich lenen voor een project zijn:

- de overgang van centrale naar decentrale elektriciteitsopwekking
- het gebruik van slimme apparaten (bijvoorbeeld de slimme meter) om zo goed mogelijk gebruik te maken van pieken en dalen in het aanbod van en de vraag naar elektriciteit.

### **Binnen de informatica actuele thema's - met gevolgen voor de maatschappij**

Bij projecten in deze context kan een toepassing ontworpen worden, kunnen de onderliggende concepten behandeld worden, en kunnen de maatschappelijke gevolgen aan de orde komen.

Voorbeelden:

- het *internet of things (IoT)*: het verbinden van dingen in het internet - ook als die geen eigen stroomvoorziening of 'intelligentie' hebben.
- *cognitive computing*: het gebruik van kunstmatige intelligentie voor bijvoorbeeld de ondersteuning van experts bij besluitvorming over complexe vraagstukken.

## 5. Voorbeelden van opdrachten

Er zijn veel opdrachten te bedenken die die een bijdrage leveren aan zowel informatica als aan wetenschapsoriëntatie. Leerlingen kunnen aan de slag met een eigen (zelf gekozen) onderzoeksopdracht of met een opdracht op het gebied van een vooraf bepaald thema.

### 5.1 Eigen onderzoek

Bij een eigen-onderzoeksopdracht kiezen de leerlingen zelf een onderwerp waarin ze zich willen verdiepen door er iets voor te bouwen of er een onderzoek in te doen. De docent kan de leerlingen vragen om op bepaalde wetenschapsfilosofische aspecten in te gaan, die ook in hun verslag en een presentatie aan de orde moeten komen. Met name kan daar ook de (toekomstige) invloed van hun onderwerp op de maatschappij bij horen.

De leerlingen werken in zo'n opdracht aan veel van de academische vaardigheden (o.a.

onderzoeken, informatie zoeken en verwerken, argumenteren, presenteren, samenwerken).

Tegelijk draagt de opdracht bij aan hun overzichtskennis van informatica, door verdieping in hun eigen onderdeel en doordat zij elkaar in de presentaties kennis laten maken met een groot aantal onderwerpen.

Hieronder elementen voor een mogelijke opdracht aan leerlingen.

Maak een keuze uit een van onderstaande *Voorbeelden van onderwerpen*, of stel een vergelijkbaar onderwerp voor aan je leraar. Je werk over dat onderwerp resulteert in een groot *product* met bijbehorende documentatie of een *verslag* over een actueel onderwerp in informatica/ICT. De documentatie of het verslag bevat de volgende onderdelen:

- Een inleiding met motivatie: hier leg je uit waarom je voor dit onderwerp kiest, waarom dat relevant is en wat je wilt leren (2 pagina's).
- Een uitwerking. Voor een product is dat de gebruikelijke documentatie. Voor een verslag is dit jouw verdieping/uitwerking/uitleg van je onderwerp (10 – 12 pagina's).
- Slotwoord: hier geef je aan wat heb je geleerd, of je je doelen hebt gehaald en wat je nog meer over dit onderwerp wilt leren (2 pagina's).

Daarnaast maak je een presentatie van 5 tot 7 dia's die je gebruikt om je opdracht in de klas te presenteren.

Overleg vooraf uitgebreid met de docent over de mogelijkheden en over de benodigde documentatie, literatuur en eventuele andere bronnen.

*Voorbeelden van onderwerpen.*

- Je maakt een game in Python ([www.pygame.org](http://www.pygame.org)).
- Je bespreekt de implementatie van *machine learning*, uitgaande van <https://medium.com/@ageitgey/machine-learning-is-fun-80ea3ec3c471#.5jd1irfi7>.
- Je bespreekt de ontwikkelingen van machine learning en gevolgen daarvan op de privacy, uitgaande van <https://backchannel.com/an-exclusive-look-at-how-ai-and-machine-learning-work-at-apple-8dbfb131932b#.v88z24gg5>
- Je maakt een ontwerp voor een smart home, inclusief aansturing. Je doet dat bijv. met behulp van [IFTTT.com](http://IFTTT.com).
- Je verdiept je in een nieuwe programmeertaal, en ontwerpt daarmee een programma. Voorbeelden van programmeertalen zijn Prolog, Haskell, Ruby.
- Je schrijft een tutorial *HCI voor dummies*.

## 5.2 Thema: wetenschap en samenleving

### Poseidon-project

Het door IBM opgezette Poseidon-project<sup>1</sup> heeft als doel het verminderen van het waterverbruik in de land- en tuinbouw. Het project heeft het karakter van een experimenteel onderzoek waarbij een plant in een gesloten doos opgekweekt wordt. De omgeving van de plant wordt door een computer gemonitord: de temperatuur, luchtdruk, luchtvochtigheid en vochtigheid van de bodem worden gemeten. De computer regelt ook de toevoer van licht en van water. Deze computer is via het internet verbonden met het cloudplatform Bluemix, voor het uitwisselen van gegevens. Dit is te beschouwen als een toepassing van het IoT: dingen – in dit voorbeeld planten – hebben een directe koppeling met het internet, en kunnen via het internet gemonitord en bestuurd worden. Naast de informatica-aspecten spelen hierbij ook biologische vragen zoals: wat is een goed groeimodel voor een dergelijke plant? Wat is de invloed van de watertoevoer op de opname van voedingsstoffen? Wat is een geschikt lichtregime? Is dit afhankelijk van het groeistadium van de plant?

Een voorbeeld van een opdracht voor leerlingen is de volgende.

Het internationale *Poseidon Project* probeert het watergebruik in de wereld terug te dringen. Ga naar <https://www.ibm.com/developerworks/cloud/library/cl-poseidon1-app/> en doe het volgende:

1. Lees de PDF die bovenaan genoemde websitepagina aanklikbaar gemaakt is, zodat je een goed idee krijgt van de mogelijkheden van en vereisten voor het Poseidon-project. Beslis dan, evt. samen met je biologieleerbaar, of dit voor jullie school een haalbaar en betaalbaar project is.
2. Vraag aan je biologieleerbaar of hij wil meewerken aan dit project waarbij planten via IoT van voldoende licht en water worden voorzien, zodat ze optimaal kunnen groeien. Je leraar moet uiteraard ook de PDF lezen, zodat zij of hij zich een idee kan vormen van de bedoeling.
3. Koop de benodigde attributen (Raspberry Pi, plant, sensoren; het kost allemaal niet zo veel en de hardware kan ook voor andere projecten gebruikt worden).
4. Meld je aan bij dit project op de site van IBM.
5. Installeer de plant en programmeer je Raspberry Pi volgens de handleiding.
6. Zorg er ook voor dat Bluemix zo nu en dan tweets stuurt met gegevens naar een account naar keuze.
7. In deze opstelling speelt kennis uit zowel de biologie als de informatica een rol; geef van elk twee voorbeelden.
8. Beschrijf hoe de biologie kan profiteren van deze samenwerking van biologie en informatica:
  - a. zijn er nu biologische onderzoeksmethodes mogelijk die er zonder informatica niet waren?
  - b. is er nieuw biologisch inzicht te verwachten dat zonder informatica niet mogelijk zou zijn?
9. Welke technologische mogelijkheden zijn door deze combinatie van biologie en informatica ontstaan?
10. Welke van deze mogelijkheden vind je gewenst, welke ongewenst?

<sup>1</sup> <http://www.ibm.com/developerworks/cloud/library/cl-poseidon1-app/>

### 5.3 Thema: computational science

In computational science wordt modelleren en simuleren gebruikt om wetenschappelijke resultaten te verkrijgen die niet door experimenten of door wiskundige analyse verkregen kunnen worden.

Dergelijke simulaties vragen vaak veel rekenwerk. Het gebruik van de snelste computers vormt een deel van de oplossing, daarnaast worden verschillende computers parallel ingezet en gebruikt men efficiënte algoritmen. Dit betekent dat de analyse van de wiskundige complexiteit van algoritmen in dit domein relevant is. Voor de betrouwbaarheid van de resultaten van dit rekenwerk is de correctheid van de gebruikte programma's essentieel.

#### N-body problem

Een voorbeeld van computational science is onderzoek naar het gedrag van veel-deeltjes-systemen (N-body systems<sup>2</sup>), waarbij de 'deeltjes' uiteen kunnen lopen van atomen tot complete sterrenstelsels (die zelf weer een veel-deeltjessysteem vormen). Het gedrag van de deeltjes in een dergelijk systeem wordt bepaald door de wetten van Newton, maar deze kunnen we alleen voor een systeem met twee deeltjes analytisch oplossen. Voor meer deeltjes moeten we gebruik maken van simulatie. De theorie van deze simulaties wordt onder andere beschreven in: [http://www.artcompsci.org/kali/vol/n\\_body\\_problem/title.html](http://www.artcompsci.org/kali/vol/n_body_problem/title.html) (Piet Hut en Jun Makino).

De NetLogo-omgeving<sup>3</sup> laat hier een eenvoudige versie van zien. Aan de hand van dit model kunnen leerlingen spelen met verschillende parameters van het model, om de effecten daarvan te bestuderen. De beschrijving van het model bevat hiervoor een aantal suggesties. U kunt ook de programmatekst inspecteren en eventueel veranderen om te zien wat daarvan de effecten zijn.

Een voorbeeld van een opdracht voor leerlingen is de volgende.

Ga naar <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/WolfSheepPredation>. Het model dat je aangeboden krijgt gaat na welke mate van stabiliteit er bestaat in een ecosysteem waarin roofdieren en prooidieren samenleven (in dit geval wolven en schapen). Het systeem is onstabiel als een van beide de overhand krijgt of verdwijnt (uitgeroeid wordt). Stabiel is het als er een evenwicht ontstaat tussen roof- en prooidieren. Download de NetLogo-applicatie waarin dit probleem opgenomen is (je moet voor gebruik even wat gegevens invullen). Ga op zoek naar parameters die evenwicht opleveren of die het evenwicht verstoren. Rapporteer je gegevens.

Beschrijf aan de hand van dit voorbeeld hoe de computer onderzoek mogelijk maakt dat anders niet mogelijk was geweest.

Zoek nog een paar andere voorbeelden van dit soort (computational) onderzoek naar populaties van planten en/of dieren.

<sup>2</sup> Zie bijvoorbeeld [https://en.wikipedia.org/wiki/N-body\\_problem](https://en.wikipedia.org/wiki/N-body_problem)

<sup>3</sup> <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/N-Bodies>

## Mierenkolonie

De NetLogo-bibliotheek bevat nog veel andere geschikte voorbeeldmodellen, voor verschillende wetenschapsdomeinen. Een biologievoorbeld is de mierenkolonie<sup>4</sup>. Dit voorbeeld laat gedrag van een systeem (de mierenkolonie) zien op grond van de regels voor de onderdelen (de mieren), waarbij het systeem zich anders gedraagt dan de individuele onderdelen, we noemen dat emergent gedrag.

Een voorbeeld van een opdracht voor leerlingen is de volgende.

Ga naar <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Ants> om het Mierenkolonie-probleem aan te pakken. Lees goed wat je in deze simulatie kunt wijzigen en bespreek met elkaar de resultaten van je ingrepen. Je kunt dit probleem ook vinden in het menu van de NetLogo-software, via File -> Models Library -> Biology -> Ants.

Misschien kun je zelf voorbeelden bedenken, maar ga het anders bij je leraar biologie, natuurkunde of scheikunde na: welke voorbeelden van systemen kun je nog meer vinden die gedrag of eigenschappen vertonen die de onderdelen van het systeem (bijvoorbeeld deeltjes, onderdelen van een lichaam, individuele organismen) zelf niet hebben? Wordt de computer inderdaad gebruikt voor onderzoek naar dat emergente gedrag of die emergente eigenschappen?

## Praktische opdracht computational science

Hieronder geven we een voorbeeld van een opdracht voor leerlingen. Elke deelopdracht kan desgewenst afgesloten worden met het invullen van een formulier in Google Form.

In deze praktische opdracht ga je de wetenschappelijke methode toepassen op het modelleren van een verschijnsel. Volg de aanwijzingen voor het uitwerken van deze praktische opdracht en lever regelmatig en op tijd de vereiste documentatie in.

### *Groepjes vormen en casus kiezen*

Vorm groepjes. De docent geeft aan met hoeveel leerlingen je een groepje vormt. Kies een casus uit onderstaande lijst. Eventueel kun je in overleg met je docent zelf een casus bedenken.

### *Voorbeelden van casussen waaruit je er een kunt kiezen*

- **rotonde**

Bij een kruispunt met stoplichten ontstaan regelmatig files tijdens het spitsuur. De gemeente overweegt om dat kruispunt te vervangen door een rotonde. Zou dat de doorstroming van het verkeer ten goede komen?

- **wachtrij**

Een bank wil een nieuw filiaal openen. Met het oog op de klantvriendelijkheid wil men de service in dit filiaal zo organiseren dat de wachttijden van de klanten zo klein mogelijk zijn. Bij een balie kan men verschillende soorten zaken doen. Sommige daarvan zijn vrij snel klaar (bijvoorbeeld saldo opvragen, geld storten) en duren maximaal vijf minuten. Andere zaken duren wat langer (bijvoorbeeld rekening openen of opheffen) en dat duurt tussen drie en tien minuten. Ten slotte zijn er zaken die lang duren en waarvoor men twee keer moet komen (bijvoorbeeld een lening of hypotheek regelen): elk bezoek aan de balie duurt tussen vijf en twintig minuten.

<sup>4</sup> <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Ants>



Hoe kunnen de verschillende soorten zaken het beste over de balies verdeeld worden? En aan welke balies kunnen de verschillende soorten klanten het beste worden toegewezen?

- **kaaspakhuis**

Kaas wordt na de productie opgeslagen in kaaspakhuizen om te rijpen en te wachten op verkoop. Hoe ouder de kaas<sup>5</sup>, des te meer hij opbrengt, maar het bewaren in een pakhuis brengt ook kosten met zich mee.

Een kleine kaasproducent wil zijn verkoopstrategie optimaliseren, dat wil zeggen: zijn winst maximaliseren. Op zijn boerderij worden elke maand 25 boerenkazen geproduceerd en in zijn pakhuis heeft hij ruimte voor 400 kazen. Als het pakhuis vol is, kan hij kiezen: een aantal kazen aan een goed doel geven, of de productie stopzetten. Voor de verkoop kan hij kiezen uit een aantal verkoopkanalen: hij kan leveren aan een biologische winkel waar hij langlopende contracten mee kan sluiten, of aan een streekmarkt met maandelijks contracten waar hij hogere prijzen kan rekenen.

Hoe zit de verkoopstrategie die de meeste winst oplevert eruit?

- **aardappels**

Een biologische aardappelteler wil zijn winst maximaliseren. Daartoe moet hij rekening houden met kosten die hij maakt voor pootgoed, mest, het verwijderen van aangetaste planten enz., maar ook met plagen en ziekten die zich makkelijk verspreiden als aardappels te dicht bij elkaar zijn geplant. Hij kan alleen aardappels van goede kwaliteit verkopen, de rest gooit hij weg.

Wat is de meest winstgevende strategie voor het planten en telen van aardappels?

- **brand op school**

Bij brand in een school of een ander gebouw waar zich veel mensen bevinden, is het belangrijk dat mensen tijdig gealarmeerd kunnen worden en snel het gebouw kunnen verlaten. Mensen die niet op tijd naar buiten kunnen komen lopen gevaar om te stikken of te verbranden. De leiding van jouw school heeft advies nodig over het aantal en de plaatsing van alarmen en nooduitgangen om de begane grond goed te kunnen evacueren. Idealiter wordt er ook rekening gehouden met het evacueren van mensen in een rolstoel.

Welk advies geef jij je schoolleiding?

#### *Casus en onderzoeksvraag*

Beschrijf wat je gaat modelleren en met welk doel je dat gaat doen, aan de hand van de volgende vragen:

1. Wat weet je van dit fenomeen? Voer eventueel de benodigde onderzoek uit.
2. Welke (deel van) fenomeen wil je modelleren?
3. Wat hoop je achter te komen met behulp van dit model?

#### *Model ontwerpen*

Ontwerp je model aan de hand van de onderstaande vragen. Geef steeds aan welke overwegingen en keuzes je hebt gemaakt.

1. Wat zijn de voornaamste soorten *agents* die betrokken zijn in dit fenomeen?
2. In wat voor omgeving functioneren deze agents? Zijn er ook omgevingsagents aanwezig?
3. Wat voor eigenschappen hebben de agents? (Beschrijf per type agent)
4. Wat voor gedrag hebben de agents? (Beschrijf per type agent)
5. Wat voor interacties hebben de agents onderling of met de omgeving?
6. Als je dit fenomeen in discrete tijdseenheden zou beschrijven, wat gebeurt er in elke tijdseenheid (d.w.z. bij elke tik van de klok) en in welke volgorde?

<sup>5</sup> <http://www.vankaastotz.nl/contents/nl/d24.html>

### *Model implementeren*

Beschrijf in detail (eventueel met pseudocode) eigenschappen, gedrag en interacties van alle (omgevings)agents. Beschrijf hoe de tijd verloopt in het model en wat de volgorde van gebeurtenissen is (met andere woorden, geef aan hoe de SETUP en GO procedures eruit zullen zien.)

Implementeer je model in NetLogo. Schrijf de code stukje voor stukje en blijf testen!

### *Model valideren*

Valideer je model aan de hand van de volgende vragen:

- Microvalidatie: in hoeverre komt het gedrag van de agents overeen met het gedrag dat in werkelijkheid wordt geobserveerd? Als het niet (helemaal) overeenkomt, zijn de verschillen dan relevant voor je onderzoeksvraag?
- Macrovalidatie: in hoeverre komt het gedrag van de het systeem als geheel in onze model overeen met het gedrag dat in werkelijkheid wordt geobserveerd. Als het niet (helemaal) overeenkomt, zijn de verschillen dan relevant voor je onderzoeksvraag?

### *Experiment, analyse en conclusie*

Gebruik je model om het antwoord op je onderzoeksvraag te vinden aan de hand van de volgende punten:

1. Beschrijf gedetailleerd hoe het experiment er uitziet. Als je gebruik maakt van *behavior space*, beschrijf dan hoeveel experimenten er worden uitgevoerd en met welke parameters.
2. Vermeld je uitkomsten op een geschikte manier (beschrijvend, in een tabel, in een grafiek, enz.).
3. Analyseer de uitkomsten.
4. Beantwoord je onderzoeksvraag.

### *Reflectie*

Reflecteer op het modelleringsproces aan de hand van de volgende vragen:

1. Wat ging goed, wat kon beter?
2. Heb je bepaalde aannames gedaan die je toch anders wil hebben? Zijn er aspecten van het model die je wilt veranderen?
3. Heb je in het begin van bepaalde agents of bepaald gedrag afgezien terwijl je nu denkt dat je ze toch moet meenemen in het model? Maak een verlanglijst van de zaken die je in een volgende versie van het model zou willen toevoegen, verwijderen en/of wijzigen.

### *Model inleveren*

Lever je NetLogo programma in. Je docent vertelt je hoe je dat precies moet doen.

## 5.4 Thema: hoe werkt wetenschap?

Het doel van de opdracht hieronder is, leerlingen te laten werken met Google Scholar, op een manier die past bij wetenschappelijk literatuuronderzoek. Bovendien maken leerlingen kennis met het begrip *open science*.

### Zoeken met Google Scholar

Wetenschappelijke resultaten zijn altijd het werk van meer mensen. Soms werken ze samen in een groep, soms bouwen ze in de tijd voort op elkaars werk. Ze kunnen elkaar op ideeën brengen, maar via de literatuur kunnen ze elkaar ook controleren. De computer helpt wetenschappers kennis van elkaars werk te nemen door grote bestanden van literatuur te ontsluiten.

De leuze van Google Scholar is: 'Staan op de schouders van reuzen'. Onderzoekers bouwen voort op de resultaten van anderen, daarom is het belangrijk dat zij weten wat er al bekend is over het onderwerp. In sommige gevallen zal blijken dat een onderzoeksvraag al door iemand anders is beantwoord. In andere gevallen zijn er resultaten waarmee zij verder kunnen gaan.

Literatuuronderzoek is een belangrijk onderdeel van elk wetenschappelijk onderzoek. Google Scholar is een bruikbaar hulpmiddel bij het zoeken naar literatuurverwijzingen. Alleen: wie verwijzingen naar geschikte artikelen gevonden heeft, moet die artikelen vervolgens ook kunnen lezen. En daar kan het vast lopen, want veel wetenschappelijke artikelen zijn alleen tegen betaling beschikbaar. Gelukkig eisen tegenwoordig steeds meer financiers van onderzoek dat de resultaten publiek toegankelijk zijn, zonder kosten. De *open science*-beweging probeert deze manier van publiceren te stimuleren.

Google Scholar is in de volgende opzichten anders dan de normale zoekmachine<sup>6</sup>:

- het helpt wetenschappers zoeken naar wetenschappelijke publicaties en resultaten waarop ze verder kunnen bouwen. Daarbij is onder meer van belang hoe betrouwbaar en geaccepteerd een resultaat (publicatie) is, en soms hoe recent.
- het helpt wetenschappers te vinden wat de stand van zaken in een bepaald domein is, om te voorkomen dat ze een onderzoek doen waarvan de resultaten al bekend zijn.
- het zoekt alleen in officieel gepubliceerde resultaten (publicaties in tijdschriften en conferenties).

Google Scholar kun je direct gebruiken vanuit Google Docs (Tools->Research). Je krijgt de verwijzingen naar de publicaties direct in het formaat zoals dat in publicaties gebruikelijk is (voor verschillende populaire formaten). Deze kun je zo in je eigen documenten kopiëren.

1. Kies een onderwerp dat je interesseert en dat relevant is in het kader van het vak informatica. Zoek daar literatuur bij.
2. Lees de handleiding voor het gebruik van Google Scholar:  
<https://scholar.google.nl/intl/nl/scholar/help.html>
3. Zoek als oefening
  - a. het oorspronkelijke artikel van E.W. Dijkstra over zijn kortste-pad algoritme,
  - b. het verband tussen 'flow' (wat is dat?) en computer games,
  - c. de relatie tussen 'storytelling' en computer games,
  - d. de resultaten van sommige chatbots voor de Turingtest,
  - e. het begrip *lifestyle informatics*,

<sup>6</sup> Zie: <https://scholar.google.nl/intl/nl/scholar/about.html>

- f. het begrip computational thinking.
4. Vergelijk de resultaten van een zoekopdracht in Google Scholar met die van dezelfde zoekopdracht in de normale Google zoekmachine. Beschouw in beide gevallen alleen de eerste twintig resultaten.
    - a. welke relevante resultaten vind je in Google Scholar, en niet in de normale zoekmachine?
    - b. welke relevante resultaten vind je in de normale zoekmachine, en niet in Google Scholar?
    - c. krijg je in een van de omgevingen of in beide uitgelegd wat de zoektermen inhouden? Verklaar de verschillende uitkomsten
  5. Welke van de artikelen die je gevonden hebt zijn direct en publiek beschikbaar (open science)? Welke artikelen zijn relevant, maar niet publiek (alleen toegankelijk na betaling)?
  6. Voor het lezen van resultaten van wetenschappelijk onderzoek moet vaak nog flink betaald worden aan de uitgevers van de tijdschriften waarin die resultaten gepubliceerd zijn, in de vorm van artikelen. Een alternatief is dat die artikelen gratis voor alle belangstellenden beschikbaar zijn. Noem twee redenen waarom die gratis beschikbaarheid gewenst en redelijk is. Noem ook een reden waarom er wél voor wetenschappelijke publicaties betaald zou moeten worden.

## 5.5 Thema: netwerk-wetenschap

In de informatica spelen netwerken een grote rol. Dit begrip komen we ook in andere wetenschappen tegen, zoals biologie, economie, sociale wetenschappen. Er is, onder andere door de probleemstelling in de informatica, een nieuwe (grens)wetenschap van netwerken ontwikkeld die relevant is voor veel wetenschappen.

Het doel van de onderstaande opdrachten is leerlingen kennis te laten maken met de wetenschap van netwerken en met het gebruik daarvan in verschillende toepassingen. Het is een voorbeeld van een *crosscutting* concept dat op allerlei plaatsen in de wetenschap opduikt.

Referenties:

- Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Network\\_science](https://en.wikipedia.org/wiki/Network_science)
- Barabási, Albert-László & Frangos, Jenifer. *Linked: the new science of networks science of networks*. Basic Books, 2014.
- Barabási, Albert-László. *Network Science*. Cambridge University Press, 2016. (Ook online: <http://barabasi.com/networksciencebook/>)

Gebruik voor de onderstaande vragen het NetLogo-model *Preferential attachment*, zie <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/PreferentialAttachment>. Dit model laat de groei van een netwerk zien volgens de preferential attachment-regel: als je een knoop aan het netwerk toevoegt, verbind je deze bij voorkeur met een knoop die al veel verbindingen heeft. Anders gezegd: de kans voor de nieuwe verbinding met een partnerknoop in het netwerk is evenredig met het aantal bestaande verbindingen van die partner-knoop. Een netwerk dat op deze manier groeit heet wel een 'schaalvrij netwerk'.

1. Voer de NetLogo-simulatie uit tot je een netwerk krijgt van ongeveer 100 nodes, en beantwoord.
  - Hoeveel nodes zijn *hubs*, dat wil zeggen knopen met een groot aantal verbindingen?
  - Hoeveel knopen hebben maar een paar verbindingen?
  - Wat is de maximale afstand tussen twee knopen?

2. Breid het netwerk uit tot 200 knopen.
  - Hoe veranderen de antwoorden op de bovenstaande vragen?
3. Schakel het tekenen van het netwerk (lay-out) uit, en ga door tot je 1000-2000 knopen hebt.
  - In hoeverre benadert de verdeling van de knopen volgens hun graad (aantal verbindingen) op de log-log-schaal een rechte lijn?
  - Wat betekent dit?
4. Zoek in de literatuur naar praktijkvoorbeeld van schaalvrije netwerken.

## 5.6 Thema: data science en big data

In de wetenschap en in de praktijk van ondernemingen heb je te maken met steeds grotere hoeveelheden data. Deze worden bijvoorbeeld verzameld uit het gedrag van gebruikers in winkels, op het internet, of uit het gedrag van 'dingen' waar sensoren op bevestigd zijn. Het analyseren van deze data op zo'n manier dat je hier betekenis aan toe kunt kennen, en dat je betere beslissingen kunt nemen aan de hand van deze data, is het domein van data science, populair ook wel big data genoemd.

### Big data

Ondernemingen analyseren big data om feiten te ontdekken die voorheen niet bekend waren. Mede onder invloed van de economische recessie van de laatste jaren, zijn bepaalde analytische modellen aan herziening onderhevig, vooral als ze te maken hebben met massaconsumptie. Je begrijpt dat bij voldoende gegevens en goede analyses van allerlei soorten data (tekst plus multimedia) commercieel interessante prognoses opgesteld kunnen worden.

1. Wat verstaan we onder big data?
2. Ga naar <http://www.emerce.nl/achtergrond/vier-manieren-waarop-big-data-ecommerce-verandert> en leg kort uit welke vier manieren genoemd worden om handel te veranderen.
3. Op de Nederlandse site <http://www.frankwatching.com/archive/2013/06/09/de-duistere-kanten-van-big-data/> kun je acht waarschuwingen lezen die te maken hebben met big data analyse. Welke zijn dat?
4. Zou je in het onderwijs ook nuttig gebruik kunnen maken van big data? Zo ja, op welk vlak en hoe?

## 5.7 Thema: de grens tussen mens en computer

Waar ligt de grens tussen mens en computer? Kunnen computers denken? Kunnen computers een bewustzijn hebben? In plaats van deze bijna metafysische vragen bedacht Alan Turing een experimentele opzet om na te gaan of een computer te onderscheiden is van een mens: de Turingtest. Een praktische situatie die daar veel op lijkt is de webchat: hierbij vraag je je soms af of je met een mens of met een computer te maken hebt.

Als computers op een autonome manier steeds meer taken van mensen kunnen overnemen, rijst de vraag wat een zinvolle rolverdeling tussen mens en computer is. Welke bedreigingen en kansen biedt de voortschrijdende automatisering en robotisering voor de maatschappij, in het bijzonder voor de arbeidsmarkt? (Went, Kremer, & Knottnerus, 2015.) In welke omgevingen accepteren we autonome robots? Moeten we een wereldwijd verbod hebben op de inzet van autonome *killer robots*, zoals we dat ook hebben voor de inzet van biologische en chemische wapens? (Future of Life institute: *Autonomous Weapons: an open letter from AI & Robotics Researchers.* )

Voorbeelden van opdrachten voor leerlingen zijn de volgende.

### **Chatbots en de Turingtest**

Hoe kun je bij een chat nagaan of je te maken hebt met een mens of met een chatbot? Dit is een voorbeeld van de Turingtest.

1. Zoek uit wat de Turingtest is, en wat actuele voorbeelden hiervan zijn.
2. Wat zijn geschikte vragen zijn om bij een chat na te gaan of je met een mens of met een chatbot te maken hebt? Houd er rekening mee dat de mens of chatbot mogelijk niet altijd de waarheid spreekt.
3. In wat voor situaties vind je het geoorloofd als een computer zich voordoeft als een mens, in wat voor situaties niet?
4. En omgekeerd: als een mens zich voordoeft als een computer?

### **De robot de baas**

In de verkenning van de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid: *De robot de baas. De toekomst van werk in het tweede machinetijdperk*, staat de vraag naar een zinvolle rolverdeling tussen mens en computer (c.q. robot) centraal. Bespreek naar aanleiding van dit rapport de volgende vragen.

1. Geef voorbeelden hoe beroepen in je directe omgeving ondersteund kunnen worden met computers of robots. Wat zijn daarvan de voor- en nadelen?
2. Geef voorbeelden van beroepen in je directe omgeving die geheel of voor een groot deel door computers of robots uitgevoerd kunnen worden.
3. Op welke manier denk jij in je latere beroep gebruik te maken van of samen te werken met computers of robots?

Referentie: Went, Robert, Kremer, Monique & Knottnerus, André (2015). *De robot de baas*. Amsterdam: Amsterdam University Press. (WRR-verkenning 31 van de Wetenschappelijke Raad voor Regeringsbeleid.)

### **Autonome wapens en Artificial Intelligence (AI) onderzoek**

In de open brief *Autonomous Weapons: an open letter from AI & Robotics Researchers*, vragen vooraanstaande wetenschappers om een wereldwijd verbod (of moratorium) op de ontwikkeling en de inzet van autonome robots op het slagveld.

1. Bespreek deze brief; welke argumenten voor of tegen kun je bedenken?
2. Op welke manieren zou je een dergelijk verbod kunnen afdwingen?

Zie: <http://futureoflife.org/open-letter-autonomous-weapons/>

# 6. Bronnen

## 6.1 Documenten

Abelson, H., Ledeen, K., & Lewis, H. (2008). *Blown to bits: your life, liberty, and happiness after the digital explosion*. Addison-Wesley.

Dit is een goede bron voor de invloed van informatica en ict op de maatschappij. Dit boek is ook beschikbaar via <http://www.bitsbook.com>.

Barabási, A.L. & Frangos, J. (2014). *Linked: the new science of networks science of networks*. Basic Books.

Barabási, A.L. (2016). *Network Science*. Cambridge University Press, 2016. (Ook online: <http://barabasi.com/networksciencebook/>)

Examenprogramma informatica havo/vwo. Te vinden op <https://www.examenblad.nl/examen/informatica-vwo/2018>

Harel, D. & Feldman, Y.A. (2004). *Algorithmics: the spirit of computing*. Pearson Education. Dit boek behandelt de berekenbaarheid en complexiteit van algoritmen en algoritmische problemen wordt op een toegankelijke manier.

Isaacson, W. (2014). *De uitvinders: hoe een groep hackers, genieën en nerds de digitale revolutie ontketende*. Utrecht: Spectrum.

Went, R., Kremer, M., & Knottnerus, A. (2015). *De robot de baas: De toekomst van werk in het tweede machinetijdperk*. Den Haag, Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid WRR.

## 6.2 Websites

- <http://bjc.berkeley.edu/>  
The Beauty and Joy of Computing Computer Science voor niet-informatica-studenten van Berkeley University. Elk college begint met twee voorbeelden van de invloed van informatica op de maatschappij, een positieve en een negatieve, vaak aan de hand van het bovengenoemde boek *Blow to bits*
- <http://ccl.northwestern.edu/netlogo>.  
De bibliotheek van NetLogo bevat een schat aan voorbeelden van modellen en simulaties voor computational science, van wiskunde tot scheikunde, en van biologie tot sociale wetenschappen. De programmatekst van het model en van de simulatie is vaak eenvoudig aan te passen. Daarnaast zijn er veel mogelijkheden om de parameters van het model in te stellen, en om de simulatie te monitoren.







Als landelijk kenniscentrum leerplanontwikkeling richt SLO zich op de ontwikkeling van het curriculum in het primair, speciaal en voortgezet onderwijs in Nederland. We werken met het onderwijsveld aan de doelen, kaders en instrumenten waarmee scholen hun opdracht vanuit een eigen visie kunnen vervullen.

We brengen praktijk, beleid, maatschappelijke ontwikkelingen en onderzoek samen en stellen onze expertise beschikbaar aan onderwijs en overheid, bijvoorbeeld in de vorm van leerplannen, tools, voorbeeldesmaterialen, conferenties en rapporten.



**Hoofdlocatie**  
Piet Heinstraat 12  
7511 JE Enschede

**Nevenlocatie**  
Aidadreef 4  
3561 GE Utrecht

**Postadres**  
Postbus 2041  
7500 CA Enschede

T 053 484 08 40  
E [info@slo.nl](mailto:info@slo.nl)  
[www.slo.nl](http://www.slo.nl)

 [company/slo](https://www.linkedin.com/company/slo)

 [SLO\\_nl](https://twitter.com/SLO_nl)