

Donald Schon en John Holland

Over toegepast onderzoek in drassige gronden

Inleiding

Het kenniscentrum Duurzame HavenStad van Hogeschool Rotterdam heeft als belangrijkste taak om toegepast onderzoek aan de Hogeschool naar een hoger plan te tillen, waarbij de aandacht voornamelijk uitgaat naar de inzet van vernieuwende technologie in de Rotterdamse stad en haven, en algemener, de Nederlandse delta. Met in het achterhoofd een ontwikkeling waarin veertig procent van de wereldbevolking momenteel binnen 200 km van een kustlijn woont, hetgeen in 2050 tot 60 procent zal zijn toegenomen ('UN Atlas of the Oceans - Press Release', n.d.), is de Nederlandse delta bij uitstek een ideale locatie voor experimenten met de slimme omgang met water. Dit krijgt in het licht van een rijzende zeespiegel en globale opwarming ook een urgent karakter (Jonkman, 2012; Topsector Water, 2015).

Toegepast onderzoek bij het kenniscentrum waar ik als lector werk is daarom in de meest letterlijke zin gericht op de *swampy lowlands*, of 'drassige gronden' die Donald Schon in zijn invloedrijke werk uit 1989, *'the Reflective Practitioner'*, beschreef als het werkveld van de professional (Schon, 1984). In dit werk zag hij de grenzen opdoemen van de 'technologische rationaliteit', die sinds de tweede wereldoorlog (en ver daarvoor) het wetenschappelijke denken had bepaald. Het bleek dat professionals – en het onderwijs voor deze professionals- hier steeds minder goed mee uit de voeten konden. Deze kennis kwam van de 'hoge gronden', waar de praktijk werd buitengesloten door de muren van laboratoria, de begrenzingen van theoretische kaders, en de randvoorwaarden van de experimenten die werden bedacht (Latour, 2007). Schon hield zich bij het Massachusetts Institute of Technology (MIT) bezig met de vraag hoe kennis zich ontwikkelt bij professionals in hun dagelijkse werkzaamheden. Hierdoor zat hij dicht tegen deze hoogcultuur van technologische rationaliteit aan, waardoor hij zich hiervan een scherp beeld kon vormen.

Ook binnen de natuurwetenschappen zelf werden inmiddels vragen gesteld over de 'puurheid' en 'exactheid' van de eigen methoden en theorieën. In de Twintiger jaren van de vorige eeuw werd door Kurt Gödel aangetoond dat de wiskunde zelf ambigu kon zijn (Godel, 1927; Hofstadter, 1999; du Sautoy 2016). In dezelfde periode ontwikkelde de natuurkunde de kwantummechanica waarin 'onzekerheid' en 'onbepaaldheid' methodologische kreten werden (Lindley, 2008). Mede door de ontwikkeling en de inzet van computers in de wetenschap drongen fractalen, niet-lineariteit en zelf-referentialiteit door in de wetenschapsmethodologie (Gleick, 1988), een ontwikkeling die uiteindelijk zou leiden tot het onderzoek naar *complex systems* en complexiteit (Lewin, 2000; Waldrop, 1992). John Holland was op dit terrein een pionier die belangrijke bijdragen zou leveren naar het onderzoek van kunstmatige intelligentie en complexe systemen (J. Holland, 1996; J. H. Holland, 1992, 1999). In 1989, toen Schon zijn beroemde boek publiceerde, was Holland's meesterwerk "*Adaptation in Natural and Artificial Systems*" uit 1975 toe aan een tweede druk (J. H. Holland, 1992). In dit boek werd zijn onderzoek naar de universele grondslagen van een *complex adaptief systeem* uit de doeken gedaan. Door de stevige, wiskundige stof die dit boek rijk is, is het vaak moeilijk te doorgronden, zelfs door kenners. Bij het lezen van dit werk kan ik niet aan de indruk ontkomen dat het onderzoek van Holland en Schon veel overeenkomsten kennen.

De these die ik hier wil verdedigen is dat Holland de drassige gronden van Schon's empirische

observaties met de kennis en positivistische houding van de technologische rationaliteit te lijf ging, en hier een paar behoorlijke stappen in wist te zetten! Echter, vooral in het vervolgonderzoek dat door anderen werd opgepakt bleek het gelijk van Schon wanneer hij wijst op een fundamenteel epistemologisch tekort om de wereld voorbij de 'hoge gronden' exact te kennen:

"Between 1963 and 1982, however, both the general public and the professionals have become increasingly aware of the flaws and the limitations of the professions. [...] the professions have suffered a crisis of legitimacy rooted both in their perceived failure to live up to their own norms and in their perceived incapacity to help society achieve its objectives and solve its problems. Increasingly we have become aware of the importance to actual practice of phenomena – complexity, uncertainty, instability, uniqueness and value conflict- which do not fit the model of Technical Rationality."(Schon, 1984, p. 39)

Bovenstaand citaat legt een duidelijke relatie met het onderzoek naar complexe systemen, en de grenzen waar de technologische rationaliteit aan liep. Er is echter ook nog een tweede bron van conflict zien, namelijk de afwezigheid van *normen* en *waarden* in het (techno-) positivistische wereldbeeld. Een wetenschap waarin een 'objectieve', 'waardenvrije' kijk ontwikkeld kan worden van onze leefwereld heeft per definitie een moeizame verhouding met normen en waarden. Vanuit een door complexiteit geïnformeerde methodologische kijk op zo'n wetenschap, is niet zozeer sprake van 'pure' wetenschap, maar eerder van het 'wegredeneren' van normen en waarden. Overigens impliceert 'puurheid' in dit kader natuurlijk ook al een norm (Schon, 1984, pp. 21–30).

De kritiek op de technologische rationaliteit heeft ook al een lange geschiedenis, die met de opkomst van postmodernisme in vooral de mens- en geesteswetenschappen op scherp werd gezet. In het kielzog van Kuhn's inzicht van paradigma's (Kuhn, 1970), en vooral de historische verschuivingen van wat men op een bepaald moment voor 'waar' aanneemt, riep Feyerabend op tot een vrolijk anarchistisch verzet tegen 'de wetenschappelijke methode' (Feyerabend, 1993; Vries, 1984). Dit bleek een opmaat te zijn voor de zogenaamde 'Science Wars' tussen postmoderne opvattingen van de wetenschap en die van de technologische rationaliteit (Butler, 2003; Dawkins, 2004; Lyotard, 1984).

In de loop van de Negentiger jaren, en vooral het eerste decennium van de 21^{ste} eeuw, werden pogingen ondernomen om normen en waarden, gesitueerdheid en perspectivisme in verband te brengen met het doorgaande onderzoek naar complexiteit en complexe systemen. Onder leiding van Harry Kunneman werd in Nederland op de Universiteit voor Humanistiek het *kritisch complexiteitsdenken* ontwikkeld, dat poogde om de ethiek en esthetiek van het professionele handelen te verenigen met de meer instrumentele kanten daarvan (Derkx & Kunneman, 2013; van Ewijk & Kunneman, 2013). Vooral de samenwerking met de Zuid-Afrikaanse ingenieur en filosoof Paul Cilliers bleek handvatten te bieden om kritiek van postmoderne denkers te betrekken op het technologische rationele 'taalspel', waarbij inzichten vanuit complexe systemen als 'linking pin' kon dienen (Cilliers, 1998, 2001, 2006).

Ik heb zelf het voorrecht gehad om deze spannende tijd van nabij mee te maken, waarin het complexiteitsdenken in kleine kring een brug wist te slaan tussen de natuur- en menswetenschappen. Mijn promotieonderzoek naar de mogelijkheden om vanuit het complexiteitsdenken een overbruggingstaal te ontwikkelen, werden in nauwe samenwerking met zowel Kunneman als Cilliers uitgevoerd, waarbij laatstgenoemde zelfs een jaar lang in Utrecht te gast was. In deze jaren werd ik me meer bewust hoe mijn eigen technische achtergrond mijn kijk op de

wereld had medebepaald; stevig verankerd in het objectiverende wereldbeeld van de technologische rationaliteit, maar wel met een pragmatische verhouding daartoe door jarenlange ervaring in een weerspanning werkveld, hetgeen vrij kenmerkend is voor een ingenieur. De praktijk onderwerpt zich niet zonder slag of stoot aan de theorieën van de hoge gronden. Een van de stellingen die tijdens mijn onderzoek naar boven kwam drijven was dan ook dat:

“De praktijk de beste vriend is van theorie; diegene die durft te zeggen wat de ander niet wil horen” (C. P. Pieters, 2010b)

Mijn verpozen in de humanistiek heeft voeding gegeven aan een steeds kritischer houding naar een, in mijn ogen, naïef objectiverend wereldbeeld dat blind is voor de eigen impliciete normatieve stellingnamen (C. Pieters, 2013). Dit laat echter onverlet dat de critici van het wereldbeeld van de technologische rationaliteit vaak erg makkelijk voorbij gaan aan de vraag waarom dit kader zo ongelooflijk goed heeft gewerkt binnen de natuurwetenschappen en de technologie, en dit voor veel gebieden nog onverminderd het geval is!

De implicatie voor het hoger beroepsonderwijs

In mijn huidige functie als lector is het onderscheid tussen theorie en praktijk weer stevig op de agenda gezet. Vanzelfsprekend gaat in de meest concrete zin om de inhoudelijke vraag hoe het praktijkgericht onderzoek zich verhoudt tot de kennis van de ‘hoge gronden’. Er is echter een zekere urgentie aan gekoppeld, omdat veel van de onderzoeksprogramma’s die we opstarten uiteindelijk om innovaties gaan, en het steeds meer onderkend wordt dat bij innovatietrajecten er geen sprake is van een tamelijk recht toe, recht aan omzetting van theorie naar producten of diensten. Veel theorie sneuvelt in deze vertaalslag, waardoor de vraag geëigend is of het ‘toegepaste’ van praktijkgericht onderzoek meer is dan het louter omzetten van theorie naar de toepassing daarvan, of dat dit een fundamenteel andere tak van sport is. Vandaar dat deze vraag uitermate belangrijk is geworden voor het hoger beroeps onderwijs.

Onderzoek in het Hoger Beroepsonderwijs is een redelijk recent verschijnsel en veel hogescholen worstelen met de vraag wat zij kunnen bijdragen aan het academisch debat waar ze deel van uit zijn gaan maken. Grofweg zijn er twee bewegingen te onderscheiden, waarvan één naar streeft om het HBO een afgeleide te maken van de universiteiten. Een andere beweging respecteert de ambachtelijke tradities van het HBO en haar wortels in de Middeleeuwse gilden en werkplaatsen, en gaat een kritische dialoog aan met inzichten die momenteel in het academisch debat worden geformuleerd (P. R. Sennett, 2009). Mijn voorkeur gaat uit naar de tweede ‘ambachtelijke’ optie, omdat het hoger beroepsonderwijs in Nederland nou eenmaal professionals opleidt die moeten werken in Schon’s drassige gronden. Academische theorievorming en methodologie blijkt zich met de onderkenning van complexiteit echter ook steeds meer deze richting op te bewegen (Nowotny, Scott, & Gibbons, 2001). , In deze bijdrage wil ik aan de hand van twee tekstfragmenten van twee denkers over de ‘drassige gronden’— Schon en Holland- laten zien hoe ‘toegepast onderzoek’ de dialoog aan kan gaan met kennis van de hoge gronden.

Schon’s drassige gronden

Emerging Awareness of the limits of Technical Rationality(Schon, 1984, pp. 37–49)

Het probleem van Schon’s ‘drassige gronden’ wordt het meest helder beschreven in zijn aanloop

naar de centrale these van zijn boek; het vermogen van de professional om 'reflectie in actie' toe te passen tijdens haar of zijn werk. Aan de hand van een kritiek op technische rationaliteit laat hij zien dat de toepasbaarheid van fundamentele theorie 'van de hoge gronden' het in toenemende mate laat afweten in de praktijk, en hij betoogt dat dit niet zozeer een tekort van de wetenschap zelf is, maar veeleer gezocht moet worden in de dominantie van het technologisch rationaliteitsdenken in velden waar deze manier van denken gedeeltelijk of geheel ongeschikt voor is (Schon, 1984, pp. 47–49).

Schon legt met name de nadruk op het feit dat een professional in een praktijksituatie niet zozeer bezig is met het *oplossen* van bepaalde problemen, maar veel meer tijd besteedt aan het *bepalen* en zelfs *construeren* van een probleem (*problem setting*) (Schon, 1984, p. 40). Een aantal voorbeelden uit de medische praktijk maakt dit inzichtelijk als iemand bij een huisarts komt met een lichamelijke klacht die goed te plaatsen is in welbekende categorieën (*mapping*), kan de aanpak zoals voorgeschreven door de technologische rationaliteit prima werken (Schon, 1984, p. 41). Echter, wanneer de klacht onbekend is, deze een ongewone bijwerking heeft op de patiënt, of deel uit maakt van een groter palet van klachten, wordt een arts gedwongen de symptomen te koppelen aan de categorieën die ze heeft geleerd, waardoor er feitelijk een connectie moet worden *ontworpen* van de specifieke klachten naar de bekende categorieën, voordat een bepaalde behandeling voorgeschreven kan worden. Dit ontwerpproces neemt vaak veel meer tijd in beslag dan het uitschrijven van de behandeling als de diagnose eenmaal is vastgesteld.

Deze probleemstellingsvraag wordt groter naar mate de onzekerheden, de complexiteit en specificiteit van het werkveld groter zijn. De professional wordt gedwongen eerst een probleem te bepalen of construeren voordat ook maar begonnen kan worden met de oplossing hiervan, en de keuzen die de professional maakt zijn vaak allesbehalve 'objectief' of 'rationeel' in de zin zoals deze volgens de technologische rationaliteit voorgeschreven worden. Dit geldt ook voor de wetenschapsbeoefenaar. De keuze van een onderzoekshypothese, het gekozen 'theoretisch raamwerk' en de aanpak worden ook vaak beïnvloed door de specifieke universiteit, de hoogleraar en de cultuur binnen een onderzoeksgroep. Met andere woorden, men kan stellen dat de uitkomsten van wetenschappelijk onderzoek al impliciet gestuurd worden door de specifieke omstandigheden waarin de probleemstellingsvraag wordt geconstrueerd. Volgens Schon heeft dit tot gevolg dat een 'rigoureuze' wetenschappelijke aanpak vaak in de praktijk zo goed als irrelevant is, terwijl voor de praktijk relevante wetenschap vaak een legitimiteitsprobleem heeft als het gelegd wordt langs de maatstaf van technologische rationaliteit;

"This dilemma of 'rigor or relevance' arises more acutely in some areas of practice than in others. In the varied topography of professional practice, there is a high, hard ground where practitioners can make effective use of research-based theory and technique, and there is a swampy lowland where situations are confusing 'messes' incapable of technical solution" (Schon, 1984, p. 42).

Vervolgens laat Schon zien dat men in de praktijk het gat tussen theorie en de weerspannige praktijk op *normatieve* wijze probeert te dichten, door discrepanties met de theorie weg te redeneren als 'details', de praktijk in een keurslijf te dwingen zodat deze zich op een gewenste wijze gaat gedragen,¹ of uitsluiting van 'lastige' gevallen.

¹ Voor een schokkende uiteenzetting hiervan verwijs ik naar Naomi Klein (Klein, 2008)

Schon is zich er bewust van dat de kloof tussen 'strengheid en relevantie' breed onderkend wordt, en voert drie andere denkers op die zich hier mee bezig hebben gehouden. Hij laat vervolgens zien dat elk van deze denkers allemaal op hun eigen manier proberen om de praktijk weer in overeenstemming te krijgen met het wereldbeeld van technologische rationaliteit. Vooral Herbert Simon krijgt in dit kader lof voor het helder maken van het verband tussen

"[...] the predicament of professional knowledge to the historical origins of the Positivist epistemology of practice" (Schon, 1984, p. 46)

Simon ziet een kracht in de oude ambachtelijke tradities, die minder nadruk legden op 'waarheidsbevinding', en zich meer bezig hielden met *ontwerpvraagstukken*;

"Simon believes that all professional practice is centrally concerned with what he calls 'design', that is, with the process of 'changing existing situations into preferred ones'. But design in this sense is precisely what the professional schools do not teach. The older schools have a knowledge of design that is 'intellectually soft, intuitive, informal and cookbooky', and the newer ones, more absorbed into the general culture of the modern university, have become schools of natural science." (Schon, 1984, p. 46)

Schon merkt hierbij op dat Simon hierbij ontwerp vragen koppelt aan *optimalisatievraagstukken*, doordat bestaande situaties worden omgezet naar 'gewenste' situaties. Het zal duidelijk zijn deze stellingname van Simon raakt aan de ontwikkelingen die het hoger beroepsonderwijs in Nederland de afgelopen jaren heeft doorgemaakt!

Zoals eerder vermeld draait Schon vervolgens weg van Simon, omdat laatstgenoemde nog steeds praktijken wil verenigen met het wereldbeeld van technologische rationaliteit. Voor de doelstellingen hier vormt Simon echter een interessante 'linking pin' naar de tweede naam in de titel van dit betoog, namelijk John Holland.

Optimalisatie volgens Holland

Adaptation in Natural and Artificial Systems (1..19)(J. H. Holland, 1992, pp. 1–19) m.u.v par 4.
--

Als men bedenkt dat Herbert Simon een van de invloedrijke denkers is geweest in het opkomende veld van kunstmatige intelligentie (*artificial intelligence* of AI), zal het geen verwondering wekken dat er makkelijk een overgang is te maken naar een van de pioniers in dit gebied, John Holland (Simon, 1996). Hoewel de vroege AI, die zich grofweg tot in de Tachtiger jaren van de vorige eeuw ontwikkelde, de grote vragen rondom (menselijke en kunstmatige) intelligentie en bewustzijn niet schuwde, draaide het in de praktijk voornamelijk om optimalisatievraagstukken, waarin een computer de beste oplossing moest zien te vinden voor een complex probleem. Een complex probleem werd meestal gedefinieerd als een probleem waar het niet mogelijk was om binnen een redelijke tijd alle mogelijke oplossingen door te rekenen (C. P. Pieters, 2010a). Een 'optimale' oplossing is dan ook een zo goed mogelijke, die binnen de grenzen van deze tijd gevonden wordt.

Holland laat er bij zijn introductie geen twijfel over bestaan dat hij een poging wil wagen om een *universele theorie voor adaptatie* te vinden. Adaptatie is hier het vermogen van een systeem of organisme (een *agent*) om zich aan te passen aan veranderende omstandigheden, op zo'n manier

dat deze verandering volgens een bepaald criterium 'beter' is, of een bepaald voordeel oplevert. In dat opzicht lijkt deze definitie sterk op die van Simon. De aanpak van Holland daarentegen was vele malen rigouzeuzer en omvat een knap staaltje wiskunde. Dit werk zou uiteindelijk leiden tot een zeer populair optimalisatiestrategie binnen het veld van AI, namelijk de genetische algoritmen (Michalewicz, 1998).

Eenarmige Bandieten

Holland ziet optimalisatie als een proces waarbij steeds iets (een zogenaamde populatie) uit een bepaald probleemgebied wordt gehaald (*selectie*), wat vervolgens wordt gewaardeerd met een hoge of een lage score (*mapping*), waarna een bepaalde strategie op deze selectie wordt losgelaten die bepaald welke volgende populatie uit het probleemgebied geselecteerd gaat worden voor de volgende ronde. Dit proces blijft doorgaan totdat er een populatie overblijft die een voldoende hoge waardering hebben om te zeggen dat een 'goed genoeg' oplossing is bereikt. In formele termen gesteld, *convergeert* het proces naar steeds betere oplossingen. De processen zelf worden *iteratieve* processen genoemd, omdat de convergentie plaats vindt in een aantal ronden (iteraties) van (Hassoun, 1995, p. 87; J. H. Holland, 1992, pp. 6–9):

selectie → mapping → evaluatie → selectie

Het essentiële inzicht van Holland in *Adaptation* is dat er in de natuur vaak meerdere processen tegelijkertijd actief zijn. Evolutieer is een goed voorbeeld hiervan; volgens deze theorie zijn allerlei organismen voortdurend bezig 'niches' te vinden die hun kans op reproductie verhogen, waardoor er door mutaties steeds nieuwe leefvormen ontstaan (Darwin, 2006; Dennett, 1996). In *Adaptation* abstraherde Holland dit idee tot een casino waar meerdere eenarmige bandieten staan opgesteld. Sommige van deze eenarmige bandieten hebben een iets grotere kans om een prijs uit te keren dan anderen en het is de opdracht om met een beperkt startbudget een strategie – een *adaptief plan* (*adaptive plan*)- te ontwerpen dat uiteindelijk de meest gunstige eenarmige bandieten weet te vinden. Holland bewees vervolgens langs wiskundige weg dat een optimale aanpak eerst willekeurige bandieten uitprobeert, om vervolgens exponentieel meer tijd te besteden aan eenarmige bandieten die bovengemiddeld succesvol zijn (J. H. Holland, 1992, pp. 75–88). Een adaptief plan bestaat daarom uit :

1. Een initiële selectie van een aantal eenarmige bandieten (*populatie*)
2. Voor elk van deze bandieten wordt vervolgens een strategie bepaald voor wat vervolgens met hen gedaan wordt. Hieruit wordt de volgende populatie bepaald.
3. Dit proces blijven herhalen, zodat er steeds meer bovengemiddeld presterende bandieten komen bovendrijven.

De consequentie is wel dat er steeds minder ruimte is om nieuwe eenarmige bandieten uit te proberen, waardoor de kans afneemt om nog beter presterende eenarmige bandieten te vinden naar mate de tijd verstrijkt.

Omdat gedurende de uitvoering van het adaptieve plan steeds per iteratie dezelfde hoeveelheid bandieten worden gekozen –de populatie-, kun je ook stellen dat de opeenvolging van gekozen bandieten over de tijd gekoppeld zijn door een afstammingsrelatie met hun voorgangers. Immers, de keuze om een nieuwe bandiet te selecteren ligt verankerd in het gedrag van de huidige selectie.

Deze afstammingsrelatie wordt een *schema* genoemd. Met andere woorden, in plaats van een populatie van een x-aantal eenarmige bandieten, blijken er een x-aantal schema's aan het werk zijn, die elk een eenarmige bandiet aan het uitproberen zijn. Om in de metafoor van de casino te blijven; als de muntjes verdeeld worden over een aantal deelnemers die elk volgens een bepaald, onderling verschillend voorschrift de eenarmige bandieten moeten uitproberen, steeds een per persoon per keer, dan is een schema gelijk aan een dergelijk voorschrift.

Volgens de regels van het adaptieve plan zouden de schemata ook steeds betere resultaten moeten boeken, waardoor er een relatie moest bestaan tussen de eenarmige bandieten die in opeenvolgende beurten door een dergelijk schema waren geselecteerd. De *schemata theorie* trachtte dit verband inzichtelijk te maken en Holland trachtte deze meteen te koppelen aan de bouwsteen van het leven, het DNA. Volgens Holland worden er bij seksuele reproductie op genetisch niveau drie schema's uitgevoerd. Op basis van het genetisch materiaal van twee (succesvolle) ouders zou een volgende generatie geboren worden door:

1. Mutatie: er wordt een willekeurige verandering in het DNA doorgevoerd
2. Reproductie: succesvol genetisch materiaal wordt overgedragen naar een volgende generatie
3. Recombinatie: genetisch materiaal van twee partners worden gemengd

Deze schema's waren volgens Holland voldoende om *elk* type optimalisatieprobleem aan te pakken, en omdat ze gezamenlijk voldeden aan het bewijs van de eenarmige bandiet, bleek Moeder Natuur een *universele optimalisatie strategie* te hebben ontdekt. Door deze strategie te abstraheren en inzetbaar te maken voor toepassing in een computer zou er dus een kunstmatige variant beschikbaar te komen, waarmee de computer een groot scala van optimalisatieproblemen zou kunnen oplossen. Dit leidde tot een apart onderzoeks- en toepassingsveld binnen de kunstmatige intelligentie, namelijk dat van de *genetische algoritmen*.

De nasleep van Adaptation

Aanvankelijk kon het werk van John Holland zich verheugen op een grote belangstelling, maar er rezen steeds meer twijfels over het universele karakter van de genetische algoritmen, en optimalisatie oplossingen in het algemeen. Al vrij snel bleken genetische algoritmen in de praktijk steeds ingesteld te moeten worden om een bepaald probleem adequaat aan te pakken. Dit 'tweaken' was feitelijk al in tegenspraak met de universele claims die Holland nastreefde. Daarnaast ontwierp Kenneth Dejong een aantal wiskundige probleemgebieden waar de meeste optimalisatie strategieën in vast liepen, inclusief Holland's genetische algoritmen (Jong, 1975; Potter & de Jong, 1994, 2000). Inmiddels zijn er zelfs speciale optimalisatieproblemen ontworpen die geautomatiseerde optimalisatiemethoden 'verleiden' om naar verkeerde oplossing te zoeken (*deceptive functions*) (Horn & Goldberg, 1994). Het bleek steeds meer dat een goede optimalisatiestrategie gebruik maakt van kenmerken van het probleemgebied die aanwijzingen geven over de plek waar een optimum (waarschijnlijk) gevonden kan worden. Als deze kenmerken niet aanwezig zijn of herkend worden door de gekozen strategie, zal deze niet goed functioneren. Dit heeft geleid tot de 'no free lunch theorems' (NFL), genoemd naar de beroemde uitspraak van de Amerikaanse econoom Milton Friedman (Friedman, 1975), die stelt dat een optimalisatievraagstuk die goed werkt in een gebied, niet noodzakelijkerwijs goed zal werken in een ander (Igel & Toussaint, 2003; Wolpert & Macready, 1997).

Ook het formele bewijs van de eenarmige bandiet krijgt inhoudelijk tegenwind (Rudolph, 1998). Het blijkt dat elk adaptief plan dat bij elke nieuwe poging een beter resultaat *garandeert*, voldoet aan het criteria van een optimale zoekstrategie (C. P. Pieters, 2006). Hiermee treedt in wezen een omkering van de bewijslast op. Holland trachtte in *Adaptation* aan te tonen dat er een universele strategie was die zich altijd optimaal zou gedragen, maar nu bleek dat een universele strategie bij elk type optimalisatieprobleem aantoonbaar in de tijd betere oplossingen moet zien te vinden. Het is hoogst twijfelachtig dat er een strategie is die dit gegarandeerd voor elk type probleem kan uitvoeren! Hiermee wordt ook een beperking van exponentiële curves duidelijk; als je maar lang genoeg wacht totdat er een betere oplossing komt, en deze zich gemiddeld genomen regelmatig aandienen, is er vrijwel altijd sprake van een exponentiële curve! De groei hiervan kan echter bijzonder traag zijn als de betere oplossingen zich niet snel aandienen. Ook is de vraag dan gerechtvaardigd of deze betere oplossingen onderling gekoppeld zijn door een bepaald verband of patroon, of dat er gewoon af en toe toevallig een betere oplossing wordt gevonden. Deze discussie is vooral bij innovatievragen actueel geworden, zoals bijvoorbeeld bij de (kritiek op de) zogenaamde 'Singularitarians' (Kelly, 2006; Kurzweil, 2006; C. Pieters, 2011).

Het wordt ook steeds meer duidelijk dat bij een iteratief, convergerend proces de initiële waarden bepalend zijn voor het verloop van het proces. Als het systeem begint met een andere populatie, dan kunnen de uiteindelijke uitkomsten ook anders zijn (du Sautoy, 2016). Ook dient opgemerkt te worden dat deze processen fundamenteel al een norm injecteren in het probleemgebied; de *probleemstellingsvraag* is door de uitvoerend onderzoeker al bepaald, alsmede ook vaak de keuze, de karakteristieken en de randvoorwaarden van het probleemgebied. Men zou kunnen stellen dat bij deze processen de waarneming van het probleemgebied al een norm impliceert (C. P. Pieters, 2010b; van Ewijk & Kunneman, 2013). Door deze begrenzings is er daarom altijd sprake van 'als-dan kennis'; pas *als* we bepaalde begrenzings, normen en randvoorwaarden accepteren, *dan* kan een proces van convergentie worden opgestart. We kunnen dit nog scherper stellen als we 'waarheid' als het onomstotelijke eindpunt van een proces van convergentie beschouwen; de hele redenering die aan deze waarheid voorafgaat is begrensd door de initiële aannamen (in de wiskunde de axioma's) en de regels waaraan het proces van convergentie moet voldoen. Dit gegeven druist echter in tegen de vaak universalistische pretenties van de technologische rationaliteit. Daarbij is het ook nog eens zo dat de praktijk zich in het algemeen weinig aantrekt van dergelijke begrenzings, waardoor de uitspraken van 'als-dan' kennis hooguit een uitsnede maken van de werkelijkheid, en de 'waarheden' die hier gevonden worden altijd begrensd zijn.

Het patroon van optimalisatie in AI

Het is niet vreemd dat de vragen die Schon stelt over de grenzen van technologische rationaliteit een aanvulling krijgt in het veld van kunstmatige intelligentie. Deze discussie wordt ook hier gevoerd, en wordt vaak verwoord als een (goedmoedige) strijd tussen de *neats* en de *scruffs*, een terminologie dat in de mid-zeventiger jaren door Roger Schanks voor het eerst werd beschreven in het onderzoeksveld dat zich bezig hield met het verwerken van (natuurlijke) taal (Minsky, 1991). De 'neats' ('nette' wetenschappers) volgen hier het principe dat theorie in het veld van AI formeel bewijsbaar moet zijn en met wiskundige precisie beschreven dient te worden. Zij zijn daarmee de hogepriesters van de hoge gronden. De 'scruffs' (aanrommelaars) daarentegen geloven dat sommige complexe problemen niet op deze wijze aangepakt kunnen worden en prefereren het experiment, trial-and-error, en in gestructureerd doormodderen (Russell & Norvig, 2002, pp. 25–26).

Binnen de AI is het echter wel opvallend dat de *scruffs* in het algemeen diepe bewondering kunnen hebben voor het werk van de 'neats', terwijl het omgekeerde veel minder het geval is. Voor de neats is experimenteerwerk eerder een noodzakelijk kwaad totdat de theorie van de 'hoge gronden' de opgedane kennis onomstotelijk heeft verankerd. Hier zit ook vaak een deel van de legitimering van de geproduceerde kennis; iets is pas 'ontdekt' als het formeel is bewezen en alleen de wetenschappers die dit voor elkaar krijgen zijn het waard om herinnerd te worden.

Het zal duidelijk zijn dat ook hier weer een norm in de methodologie wordt geïnjecteerd! Men kan stellen dat de optimalisatiestrategie die John Holland in *Adaptation* beschreef, ook opgeld doet in het wetenschappelijk onderzoek. Men begint vaak met experimenteren en naar mate meer kennis en ervaring wordt opgedaan naar een bepaald verschijnsel, lukt het in meer of mindere mate om hier een formele verklaring voor te vinden, waardoor dat verschijnsel naar de 'hoge gronden' getild kan worden. De *scruffs* accepteren deze gang van zaken – en ook dat het soms niet mogelijk blijkt te zijn om deze slag te maken-, terwijl de *neats* geneigd zijn dit als een zwaktebod te zien. Echter, ook de *neats* hebben een neiging om in dit opzicht binnen de veilige grenzen van het 'fundamentele onderzoek' te blijven, waardoor de onzekerheid, instabiliteit, waarde-conflict en complexiteit van de praktische toepassing buiten schot blijft. De 'neats' blijken, precies zoals Schon beschrijft, ook een normatieve begrenzing aan te brengen van de categorieën die zich moeilijk door formalismen laten beschrijven.

Het werk van John Holland en het onderzoek dat er op volgde, blijkt een *structurele* onderbouwing te geven voor de voornamelijk *empirische* observaties van Schon's betoog. In allerlei praktijken, – die van de wetenschap inclusief – is sprake van een *patroon* van optimalisatie dat begint met 'trial-and-error' en, met wisselend succes, in de tijd convergeert naar 'hoge gronden kennis' (C. P. Pieters, 2010b, 2010c). Ook in de wetenschap zelf lijkt dit empirisch aantoonbaar te zijn; de formele kennis van de technologische rationaliteit lijkt vooralsnog beter inzetbaar te zijn in de natuurwetenschappen dan in de mens- en geesteswetenschappen, en er zijn steeds meer aanwijzingen dat er een direct verband is met de complexiteit van het probleemgebied dat onderzocht wordt (C. P. Pieters, 2013).

De betekenis van *Adaptation* voor optimalisatievraagstukken;

De rol van *Adaptation* voor de ontwikkeling van onze kennis over optimalisatieproblemen kan niet worden onderschat. Holland werkte vanuit de methoden die stevig verankerd zijn in het wereldbeeld van technologische rationaliteit¹ en wilde met deze methoden aantonen dat een stukje universeel toepasbare kennis te ontdekken viel door middel van een formeel bewijs vanuit de wiskunde. Het bleek echter dat zijn werk zou bijdragen om de fundamentele *beperkingen* van optimalisatievraagstukken bloot te leggen en dat gesitueerdheid en lokale omstandigheden noodzakelijk zijn om 'vanuit een gegeven situatie naar een gewenste situatie te bewegen'. Men zou, in metaforische zin, kunnen stellen dat Holland een queeste begon om Schon's drassige gronden met een formele, wiskundige aanpak in kaart te brengen en door middel van de meest zuivere bijdragen van technologische rationaliteit naar de hoge gronden te brengen, maar dat dit uiteindelijk onomstotelijk aantoonde dat de drassige gronden precies de aanpak vragen die, volgens Schon, succesvolle professionals in de praktijk uitvoeren:

¹ Waarmee overigens niet gezegd wordt dat Holland dit wereldbeeld zelf actief uitdraagt

"There are those who choose the swampy lowlands. They deliberately involve themselves in messy but crucially important problems and, when asked to describe their methods of inquiry, they speak of experience, trial and error, intuition and muddling through."(Schon, 1984, p. 43)

Via het werk van John Holland, en het onderzoek dat hierop volgde binnen het veld van AI, kunnen we zien waarom Schon afstand moest nemen van de inzichten van Herbert Simon, die immers poogde om professioneel handelen te verenigen met de uitgangspunten van technologische rationaliteit. Mijn betoog is echter dat de technologische rationaliteit *zelf* deze grenzen heeft blootgelegd; er is - althans op dit moment- binnen het wereldbeeld van technologische rationaliteit geen gulden regel die naar gegarandeerde oplossingen leidt in omgevingen waar onzekerheid, uniekheid, instabiliteit en waarde conflicten aan de orde van de dag zijn. Immers, als de beperkingen van optimalisatievraagstukken al zichtbaar worden in experimenten die binnen de kaders van technologische rationaliteit vallen, dan zullen ze zich in veel groter en heviger mate aandienen in die gebieden waar de professional zich volgens Schon bevinden!

Omgekeerd betekent dit niet dat technologische rationaliteit daardoor overbodig is geworden, maar dat dit wereldbeeld, wil het volgens zijn eigen regels 'objectief' blijven, de begrenzings van zijn eigen methoden met dezelfde chirurgische precisie in kaart moet brengen, moet bewijzen *en* communiceren. Hier blijkt echter ook dat de begrenzings van de cultuur, publicatiedruk en status tot een zekere bias leiden, die Schon ook al signaleerde (Bollen, 2006; Rassin, 2007). Ook is het zo dat in de vertaalslag van wetenschap via persberichten en popularisering van de resultaten vaak deze begrenzings uit beeld verdwijnen.

Schon, Holland en praktijkgericht onderzoek

Het zal geen verwondering wekken dat ik een 'scruff' ben. Mijn jarenlange ervaring in de industrie en software bedrijven hebben me overtuigd dat ervaring, uitproberen, Intuïtie en gestructureerd aanmodderen vaak de beste praktijken zijn om van een bepaalde situatie naar een gewenste te bewegen. Zeker in het extreem dynamische veld van informatietechnologie waarin ik als lector werk, waarin robotica en autonomie steeds zwaarder op de agenda worden gezet, ontstaat een interessante parallel tussen de robots, de teams van studenten die hierin opdrachten uitvoeren, en de organisatie daaromheen die de kennislijnen uitzetten en bewaken. Op elk schaalniveau komen de optimalisatievragen terug. Wat is de beste manier van een autonome boot om tussen het scheepvaartverkeer te manoeuvreren? Wat is de beste manier om studenten in een multidisciplinair team binnen de gestelde tijd tot een succesvol resultaat te brengen, zowel in opgeleverde producten als in de leerervaring? Hoe kunnen wij een werkomgeving inrichten dat bijdraagt aan de Rotterdamse Haven als innovatieve *hub* voor kennis waar in de toekomst vraag naar is (C. P. Pieters, 2015a)?

Ik ben een scruff die nog steeds diep respect kan hebben voor de genialiteit van de neats, welke voor niet-ingewijden vaak onzichtbaar blijft. Hierdoor lukte het mij om tijdens mijn promotieonderzoek slim te laveren tussen de technisch-rationele en postmoderne inzichten van de denkers waarmee ik mijn onderzoek voedde, en mij hielpen om complexiteit grijpbaar te maken. In eerste instantie de ontdekking van complexe, niet-lineaire systemen van het Santa Fe instituut waar John Holland deel van uit maakt (Gleick, 1988; Lewin, 2000), en vandaar uit naar nog complexere netwerken waar normen en waarden, ons menszijn en andere levensbeschouwelijke en

zingeingsvragen een belangrijke rol in spelen (Cilliers, 1998; Gershenson, 2008; Maturana & Varela, 1992; Morin, 2008). Vanuit deze achtergrond bezien, kan men stellen dat John Holland weliswaar meerdere processen van optimalisatie tegelijkertijd liet functioneren, maar dat het normatieve kader van deze optimalisaties enkelvoudig en statisch was; er is slechts een doel waarnaar geoptimaliseerd moet worden, en deze blijft onveranderd zolang de optimalisatie duurt. De optimalisaties van de professional die Schon beschreef hebben daarentegen vaak een multi-normatief karakter, ze wijzigen voortdurend en ze beïnvloeden elkaar (C. P. Pieters, 2010a). Bovendien zijn er de interacties met andere systemen en het ecosysteem, elk met hun eigen dynamiek en normatieve kadrering. In dit hoogst dynamische speelveld ondervinden theoretische, methodologische en fundamentele “waarheden” straffe tegenspraak. De professional moet in deze dialoog tussen theorie en praktijk voortdurend afwegingen maken tussen het een of het ander. Vandaar dat mijn voorkeur voor het begrijpen van deze processen eerder ligt bij het onderzoek naar de praktijken van de professional, zoals dit door Schon of Richard Sennett is opgepakt (P. R. Sennett, 2009; R. Sennett, 2012).

Opvallend genoeg heeft deze observatie ook een technologische pendant die momenteel aan actualiteit wint. Binnen de maritieme sector is er momenteel veel interesse in de ontwikkeling van ‘unmanned vessels’, of (semi-) autonome schepen. De retoriek die deze ontwikkeling moet staven gaat er meestal van uit dat de mens aan boord van deze schepen de zwakste schakel is en omdat elk falen een boel geld kost, loont het om deze bron van ellende van de schepen af te halen. Nog los van de singuliere normativiteit van deze argumentatie, waarin elke maatschappelijke relevantie – werkgelegenheid, de inrichting van onze maatschappij op de lange termijn, enzovoorts- ondergeschikt wordt gemaakt aan het verdienen van geld, zal het duidelijk zijn dat de technologie hier met veel verve op springt. Momenteel wordt er steeds meer kunstmatige intelligentie aan boord van deze schepen ingezet om de vermeende tekorten van de mens op te vangen. De technologische bijdragen van de neats neigen ertoe om elke mogelijke situatie tot microscopische precisie ‘exact’ uit te rekenen, waarna het onbemande schip een beslissing kan nemen over de uit te voeren acties. Echter, als zo’n systeem nog volop aan het rekenen is om in te schatten wat het tegemoetkomend verkeer gaat doen, en onderwijl door een tegenligger wordt overvaren die inmiddels op ramkoers is komen te liggen, dan zijn deze ‘exacte’ berekeningen weinig waardevol. Een globale, snelle ‘goed genoeg’ oplossing, gekoppeld aan een sensitiviteit voor de relevante leefomgeving van het schip is dan te prefereren, en deze ‘goed genoeg’ oplossing wordt steeds minder ‘exact’ bepaalbaar naar mate de variabelen waarmee rekening gehouden moet worden toeneemt. Intuïtie en slimme heuristieken – ik pleeg deze ‘geprogrammeerd boerenverstand’ te noemen- blijken dan vaak bijzonder effectief te zijn. Deze heuristieken monitoren continu hun onmiddellijke omgeving en reageren daar op dynamische wijze op. In zekere zin passen ze daarom Schon’s ‘reflectie in actie’ toe, zij het op een zeer rudimentaire wijze.

Dit streven naar ‘goed genoeg’ oplossingen is wat we met praktijkgericht onderzoek in het hoger beroepsonderwijs kunnen realiseren, waarbij opvalt dat we met deze benadering de theoretische bijdragen eerder aanvullen dan dat er sprake is van een onderlinge strijd. Het netwerk van academische kennisinstellingen rondom het kenniscentrum staat hier in het algemeen ook voor open, ook omdat de valorisatie-eisen voor onderzoek steeds verder worden aangescherpt. De theorie van de hoge gronden draagt bij door het speelveld van de professional –en andere autonome ‘agents’- te verkennen en af te bakenen. Om voldoende harde ‘stepping stones’ in het moeras zichtbaar te maken of neer te leggen, waardoor het aanmodderen van de professional

gerichter is en voorbij de willekeur komt.

Maar vooral van belang is het instellen van innovatiegemeenschappen waarin onderzoek, onderwijs en ondernemingen, overheden en de omgeving een stem krijgen in de onderzoekslijnen die gezamenlijk worden opgestart (Bosma et al., 2015; C. P. Pieters, 2015b). In deze gemeenschappen wordt de dialoog tussen theorie en praktijk vormgegeven en onderhouden, en blijken de gerealiseerde producten die onze studenten aan het eind van hun projecten opleveren niet alleen een proeve van bekwaamheid van hun ontwikkeling als toekomstig professional, maar zeker ook een weerslag van het continue optimalisatieproces dat door deze dialoog wordt gevoed.

Literatuur

Beard, T., Ford G., Koutsy T., Spiwak L.J (2009), *A Valley of Death in the innovation sequence: an economic investigation*. Research Evaluation

Bollen, M. (2006). *Tunnelvisie als bedrijfsrisico*. Kluwer.

Bosma, A. (2015). *Handreiking Innoverend Leren*. RDM Centre of Expertise. Retrieved from <http://www.rdmcoe.nl/innoverendleren>

Butler, C. (2003). *Postmodernism: A Very Short Introduction*. Oxford University Press, USA.

Cilliers, P. (1998). *Complexity and Postmodernism: Understanding Complex Systems* (1st ed.). Routledge.

Cilliers, P. (2001). Boundaries, Hierarchies and Networks in Complex Systems. *International Journal of Innovation Management (IJIM)*, 5(2), 135–147.
<http://doi.org/http://www.worldscinet.com/ijim/05/0502/S1363919601000312>

Cilliers, P. (2006). On the importance of a certain slowness. *Emergence: Complexity & Organization*, 8(3), 105–112.

Darwin, C. (2006). *On the Origin of Species: By Means of Natural Selection*. Dover Publications.

Dawkins, R. (2004). *A Devil's Chaplain: Reflections on Hope, Lies, Science, and Love*. Mariner Books.

Dennett, D. C. (1996). *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life*. Simon & Schuster.

Derkx, P., & Kunneman, H. (2013). *Genomics and Democracy: Towards a 'Lingua Democratica' for the Public Debate on Genomics*. Amsterdam: Rodopi.

Feyerabend, P. (1993). *Against Method* (3rd ed.). Verso.

Friedman, M. (1975). *There's No Such Thing As a Free Lunch*. Open Court Pub Co.

Gershenson, C. (2008). *Complexity: 5 Questions*. Automatic Press / VIP.

Gleick, J. (1988). *Chaos: Making a New Science*. Penguin (Non-Classics).

Godel, K. (1930). *Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systemen*. Monatshefte für Mathematik

- Hassoun, M. H. (1995). *Fundamentals of Artificial Neural Networks*. The MIT Press.
- Hofstadter, D. R. (1999). *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid* (20 Anv). Basic Books.
- Holland, J. (1996). *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*. Basic Books.
- Holland, J. H. (1992). *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. The MIT Press.
- Holland, J. H. (1999). *Emergence: From Chaos To Order*. Basic Books.
- Horn, J., & Goldberg, D. E. (1994). Genetic Algorithm Difficulty and the Modality of Fitness Landscapes. In *Foundations of Genetic Algorithms 3* (pp. 243–269). Morgan Kaufmann.
- Hudson J. & Khazragui H. F. (2013). *Into the valley of death: research to innovation*. Drug Discovery Today.
- Igel, C., & Toussaint, M. (2003). Recent Results on No-Free-Lunch Theorems for Optimization. *cs/0303032*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/cs/0303032>
- Jong, K. A. D. (1975). *An analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems*. University of Michigan. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=907087>
- Jonkman, B. (2012, December). Werken aan een veilige delta. *Magazine Nationale Veiligheid En Crisisbeheersing*.
- Kelly, K. (2006, February 15). The Singularity Is Always Near. Retrieved from http://www.kk.org/thetechnium/archives/2006/02/the_singularity.php
- Klein, N. (2008). *The Shock Doctrine: The Rise of Disaster Capitalism* (1st ed.). Picador.
- Kuhn, T. (1970). *The Structure of Scientific Revolutions, second edition, enlarged*. University of Chicago Press, 1970.
- Kurzweil, R. (2006, March). Reinventing Humanity: The Future of Machine–Human Intelligence. *The Futurist*, 40(2), 39–48.
- Latour, B. (2007). *Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network-Theory*. Oxford University Press, USA.

- Lewin, R. (2000). *Complexity: Life at the Edge of Chaos* (1st ed.). University Of Chicago Press.
- Lindley, D. (2008). *Uncertainty: Einstein, Heisenberg, Bohr, and the Struggle for the Soul of Science*. Anchor.
- Lyotard, J.-F. (1984). *The Postmodern Condition: A Report on Knowledge*. University of Minnesota Press.
- Maturana, H. R. & Varela, F. (1992). *Tree of Knowledge* (Rev Sub). Shambhala.
- Michalewicz, Z. (1998). *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. Springer.
- Minsky, M. L. (1991). Logical Versus Analogical or Symbolic Versus Connectionist or Neat Versus Scruffy. *AI Magazine*, 12(2), 34–51.
- Morin, E. (2008). *On Complexity*. Hampton Press.
- Nowotny, H., Scott, P., & Gibbons, M. (2001). *Re-Thinking Science: Knowledge and the Public in an Age of Uncertainty*. Polity.
- Pieters, C. (2011, June 22). So What's The Deal With The Singularity Again? Retrieved from http://www.science20.com/thinking_about_complexity/so_what%E2%80%99s_deal_singularity_again-80267
- Pieters, C. (2013). Complexiteit en professionaliteit. Het spook van de impliciete norm. In *Praktijken van normatieve professionalisering* (pp. 399–422). Amsterdam: SWP.
- Pieters, C. P. (2006). Effective Adaptive Plans. In *Advances in Systems, Computing Sciences and Software Engineering* (pp. 277–282). Retrieved from http://dx.doi.org/10.1007/1-4020-5263-4_44
- Pieters, C. P. (2010a). Computation in Complex Environments. In *Computational Intelligence in Optimization-Applications and Implementations* (Vol. 7). Springer.
- Pieters, C. P. (2010b). *Into Complexity: A Pattern-oriented Approach to Stakeholder Communications*. Dissertation.Com.
- Pieters, C. P. (2010c). Patterns, Models, Complexity; Notes on Mapping Patterns in Analysis of Complexity. *Emergence: Complexity & Organization (E:Co)*, 12(4), 57–77.

Pieters, C. P. (2013). Engineering, Humanistics and the Lingua Democratica; on Cross-Disciplinary

Communications between 'Strange Bedfellows'. In *Genomics and democracy: towards a lingua democratica for the public debate on* (pp. 81–104). [S.l.]: Rodopi.

- Pieters, C. P. (2015a). *Informatierevolutie in de delta*. Rotterdam University of Applied science Press.
- Pieters, C. P. (2015b). Innovatie is vooral succesvol zonder eigendomsrechten. *Sophie*, 5(5), 10–15.
- Potter, M. A., & de Jong, K. A. (1994). A cooperative coevolutionary approach to function optimization. *PPSN*, 249–257. <http://doi.org/10.1.1.119.2706>
- Potter, M. A., & de Jong, K. A. (2000). Cooperative Coevolution: An Architecture for Evolving Coadapted Subcomponents. *Evolutionary Computation*, 8(1), 1–29. <http://doi.org/10.1162/106365600568086>
- Rassin, E. (2007). *Waarom ik altijd gelijk heb*. Scriptum Psychology.
- Rudolph, G. (1998). Reflections on Bandit Problems and Selection Methods in Uncertain Environments. *Sonderforschungsbereich (SFB) 531*.
- Russell, S., & Norvig, P. (2002). *Artificial Intelligence: A Modern Approach (2nd Edition)* (2nd ed.). Prentice Hall.
- Sautoy, M. de (2016). *What We Cannot Know*. Harper Collins
- Schon, D. A. (1984). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think In Action* (1st ed.). Basic Books.
- Sennett, P. R. (2009). *The Craftsman*. Yale University Press.
- Sennett, R. (2012). *Together: The Rituals, Pleasures and Politics of Cooperation* (1st ed.). Yale University Press.
- Simon, H. A. (1996). *The Sciences of the Artificial - 3rd Edition* (3rd ed.). The MIT Press.
- Topsector Water. (2015). Deltatechnologie | Topsector Water. Retrieved 16 September 2015, from <http://www.topsectorwater.nl/home/delta-technologie/>
- UN Atlas of the Oceans - Press Release. (n.d.). Retrieved 18 March 2015, from http://www.oceansatlas.org/html/docs/pr_e.html
- van Ewijk, H., & Kunneman, H. (2013). *Praktijken van Normatieve Professionalisering*. SWP Amsterdam.
- Vries, G. de. (1984). *De ontwikkeling van wetenschap: Een inleiding in de*

wetenschapsfilosofie. Wolters-Noordhoff.

Waldrop, M. M. (1992). *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos* (1st ed.).

Simon & Schuster.

Wolpert, D. H., & Macready, W. G. (1997). No free lunch theorems for optimization. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, 1(1), 67–82. <http://doi.org/10.1109/4235.585893>