

University of Groningen

Interventies en conceptuele veranderingen

Romeijn, J.W.

Published in:
Algemeen Nederlands tijdschrift voor wijsbegeerte

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:
2008

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):
Romeijn, J. W. (2008). Interventies en conceptuele veranderingen. *Algemeen Nederlands tijdschrift voor wijsbegeerte*, 100(2), 121-128.

Copyright

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

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

1. Een wetenschapsfilosofische karikatuur

In een denkbeeldige karikatuur van de analytische wetenschapsfilosoof draagt deze een bril zo groot dat het gezichtsvermogen er evenveel door wordt belemmerd als verscherpt. Het beeld van wetenschap dat in die bril opduikt is weliswaar helder, buiten het montuur van de wetenschappelijke methode en de structuur van wetenschappelijke theorieën wordt weinig of niets gezien. Bovendien is de analytische wetenschapsfilosoof, althans volgens de karikatuur, uit op een al te abstracte rechtvaardiging van theorie en methode, meestal door beide uit te schrijven in een formele theorie over structuren of redeneringen. En ten slotte is het bronmateriaal, zowel voor methode als theorie, uiterst beperkt. Het wordt aangeleverd door geijkte wetenschappelijke tekstboeken, vaak de boeken die de wetenschapsfilosoof in kwestie zelf gebruikte toen zij of hij nog een vakwetenschap studeerde.

Natuurlijk heeft deze kritische karikatuur voor een groot deel haar oorsprong in de feiten. Er blijft inderdaad veel buiten het gezichtsveld van de analytisch wetenschapsfilosoof. Het is allereerst kenmerkend voor de logisch-empiristen, voor Popper, en voor veel analytisch wetenschapsfilosofen na hen, dat de twee centrale wetenschapsfilosofische problemen, die van demarcatie en die van inductie, worden opgelost onder verwijzing naar de wetenschappelijke methode, en naar de structuur van wetenschappelijke theorieën. Die concentratie op methode en structuur wordt ook in veel hedendaagse wetenschapsfilosofie in ere gehouden, en daarmee blijven de historische, culturele, en institutionele aspecten aan wetenschap buiten beeld.

Daarnaast bedienen veel hedendaagse wetenschapsfilosofen zich bij het rechtvaardigen van wetenschappelijke kennis inderdaad van nogal abstracte formele methoden. Waar wetenschapsfilosofen in het verleden vaak terugvielen op de klassieke deductieve logica, wordt tegenwoordig wel gebruik gemaakt van waarschijnlijkheidstheoretische logica, en dan met name van de zogenaamde Bayesiaanse theorie. Er gaat een grote aantrekkingskracht uit van de rechtvaardiging die door zulke formele systemen aan wetenschappelijke redeneringen kan worden verleend. Uit psychologisch onderzoek is echter gevoeglijk bekend dat mensen, en dus ook wetenschappers, slecht overweg kunnen met logische redeneringen, of die nu probabilistisch of klassiek logisch opgeschreven zijn. Daarmee komt de aansluiting tussen de abstracte wetenschapsfilosofische modellen en de psychologische werkelijkheid van het onderzoek in het gedrang.

Maar met betrekking tot het laatste element uit de karikatuur, de beperking tot het wetenschappelijke eindproduct van tekstboeken, moeten we iets voorzichtiger zijn. Sinds de jaren zestig en zeventig hebben wetenschapsfilosofen wel degelijk studie gemaakt van de wording van wetenschappelijke theorieën. Dat geldt uiteraard voor de leerlingen van Kuhn, Lakatos, en Feyerabend, maar het geldt niet minder voor formeel georiënteerde wetenschapsfilosofen. Enkele leerlingen van Hintikka, waaronder Niiniluoto en Tuomela (1979), formuleerden logische systemen waarin ruimte werd gegeven aan conceptuele veranderingen; de formele theorie van overtuigingsherziening (*belief revision*) werd ontworpen door, onder andere, Gaerdenfors (1988); en er was aandacht voor het inherent dynamische begrip van waarheidsbenadering, onder andere in Kuipers (1987). Rond dezelfde tijd ontwikkelden Langley, Simon en anderen (1987) en Thagard (1992) in de cognitieve kunstmatige intelligentie (CKI) ook systemen voor theorieontwikkeling en abductie.

Deze laatstgenoemde voorbeelden van een verruimde analytische-filosofische blik op wetenschap suggereren dat de beperking tot het wetenschappelijke eindproduct helemaal niet hoeft te volgen uit een beperking tot methode, structuur, rechtvaardiging, en formele middelen. Er

is een onderzoekstraditie waarin op een analytische manier naar wetenschapsontwikkeling wordt gekeken.

2. Formele modellen van conceptuele ontwikkeling

Het onderzoek dat ik in het kader van mijn Veni-beurs uitvoer, is in grote lijn een vervolg op deze traditie: het is gericht op een beter analytisch, wetenschapsfilosofisch begrip van de conceptuele veranderingen in de wetenschap, via een formele analyse van de wetenschappelijke methode. Maar ik schrijf “in grote lijn”, omdat ik op bepaalde punten ook sterk afwijk van de bekende formele traditie.

Het is immers niet voor niets dat de beperking tot het wetenschappelijke eindproduct deel uitmaakt van de karikatuur. De goede bedoelingen zijn er, maar in de ogen van veel wetenschapshistorici, wetenschapssociologen en antropologen van de wetenschap, zoals Latour (1987) en Galison (1987), bestaat in de analytische wetenschapsfilosofie veel te weinig aandacht voor de ruwe en chaotische werkelijkheid van het wetenschappelijk onderzoek. Daarmee in verband staat dat het analytische en het sociologische kamp in deze zogenaamde ‘science wars’ er radicaal andere opvattingen over kennis op nahouden. Hoe, zo vragen de historisch en sociologisch georiënteerde wetenschapsfilosofen aan hun analytisch georiënteerde vakbroeders, wordt recht gedaan aan het inzicht, zo sterk verdedigd door Foucault, dat ons conceptuele kader deels bepaalt wat wij kunnen denken? Hoe komt in jullie analyse tot uiting dat alle theorievorming ook machtsuitoefening is?

In mijn onderzoek hoop ik enigszins tegemoet te komen aan zulke kritieken, en wel met de volgende middelen. Allereerst beperkt ik mij tot een onderzoek naar wetenschappelijke experimenten, vooral omdat ik daar ruimte zie voor andere visies op wetenschappelijke kennis. Daarnaast verwacht ik dat de formele modellen uit mijn onderzoek dichter tegen de wetenschappelijke praktijk aan zullen staan dan eerdere modellen uit de wetenschapsfilosofie en de CKI. Ik gebruik betrekkelijk nieuwe formele hulpmiddelen bij het modelleren van experimentatie, en ik laat me bij de constructie van die modellen informeren door bevindingen uit de cognitieve- en ontwikkelingspsychologie. In het nu volgende zal ik al deze keuzes verder toelichten. Ik sluit af met een vooruitblik op de eventuele toepassingen van de onderzoeksresultaten.

3. Experimenteerfilosofie

Allereerst wil ik hier de beperking tot experimenteel wetenschappelijk onderzoek bespreken. Zoals overtuigend wordt beargumenteerd door experimenteerfilosofen, bijvoorbeeld Chang (2004), Franklin (1986), Hacking (1983), Radder (2003) en Steinle (2002), is de context van het laboratorium het schouwtoneel bij uitstek voor conceptuele ontwikkeling in de wetenschap: verrassende resultaten nodigen uit tot herziening van de schema’s waarmee de experimenten zelf worden herbegrepen. En zoals te lezen is in de prachtige studie van van Dyck (2005), behelzen die schema’s niet alleen de naamkaartjes die op de componenten en gebeurtenissen in een proefopstelling worden geplakt. Veranderde begrippen leiden ertoe dat de gebeurtenissen en componenten in een ander licht worden gezien, om uiteindelijk tot andere fenomenen worden gesmeed. In deze analyse van experimenten wordt dus recht gedaan aan de kenniskritiek uit de ‘science wars’. De kennis van experimenten is inherent dynamisch, en de experimenten leggen tot op zekere hoogte een structuur aan de gebeurtenissen op.

Aan dit veranderde perspectief op kennis kan met enige fantasie nog een tweede perspectiefverandering worden toegevoegd, die bovendien een voorzichtig verband aanbrengt tussen wetenschapsfilosofie en psychologie. Sinds de jaren negentig is vanuit de CKI, met Brooks (1991) en Clark (1997), en vanuit de psychologie, met onder anderen Smith en Thelen (1993) en Keijzer (2001), het idee op gang gekomen dat niet alle kennis representationeel is. Sommige kennis is eerder ‘belichaamd’ of, met andere woorden, inherent aan het gedrag en derhalve nooit als

expliciet begrip in het bewustzijn aanwezig. Een kind leert bijvoorbeeld niet lopen vanuit een bedachtzame en bewuste coördinatie van de beenspieren; eerder is het zo dat de benen en het brein een dynamische interactie aangaan om tot het gewenste effect te komen. De kennis van het lopen, als daarvan al gesproken kan worden, is verdeeld over de ledematen en het brein.

Dit idee nu van belichaamde en verdeelde kennis kan bijna onmiddellijk worden toegepast op experimenteel onderzoek: de proefopstelling belichaamt in zekere zin een deel van de kennis van de onderzoeker. Zoals gezegd, voor deze gedachte is enig verbeeldingsvermogen nodig, maar eenmaal aangenomen leidt zij wel tot een interessant nieuw perspectief op kennis. In de wijsgerige verwerking van het idee van belichaamde kennis is vaak de nadruk gelegd op de veranderde status van subject en object in de kennisrelatie. In plaats van een epistemisch geïsoleerd subject dat empirische berichten ontvangt van een verder onzichtbaar object, lopen subject en object min of meer vloeiend in elkaar over. Vertaald naar een wetenschapsfilosofische analyse van het experiment houdt dat in dat in het contact tussen proefopstelling en onderzoeker de strikte scheiding tussen empirie en theorie vervaagt. En dat sluit natuurlijk goed aan op het idee dat experimenten bijdragen aan de vorming van theoretische concepten!

4. Experimenten als Bayesiaanse netwerken

Tot zover over veranderingen in de analytische visie op wetenschappelijke kennis. Hierboven sprak ik ook de verwachting uit dat de formele modellen uit mijn onderzoek dichter tegen de wetenschappelijke praktijk aan zullen staan dan eerdere wetenschapsfilosofische modellen. Een deel van de reden daarvoor is gelegen in de beperking tot experimenten, maar daarnaast speelt een rol dat ik gebruik zal maken van nieuwe formele technieken. In deze sectie zal ik dat verder toelichten.

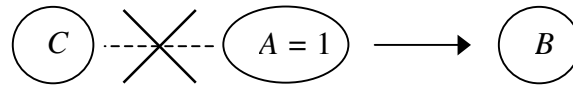
In de informatica zijn vanaf begin jaren negentig zogenaamde Bayesiaanse netwerken tot ontwikkeling gekomen. Aanvankelijk dienden zij enkel maar als hulpstuk bij het rekenen met waarschijnlijkheidsfuncties. Zulke functies kunnen namelijk nogal bewerkelijk zijn. Voor de specificatie van een waarschijnlijkheidsfunctie over de drie binaire variabelen A , B , en C , geschreven als $P(A, B, C)$, zijn $2^3 - 1 = 7$ reële getallen tussen 0 en 1 nodig. Een Bayesiaans netwerk is in eerste instantie niets anders dan een grafische representatie van alle onafhankelijkheidsrelaties die in een waarschijnlijkheidsfunctie te vinden zijn. Het kan bijvoorbeeld zijn dat de waarschijnlijkheidsfunctie $P(A, B, C)$ te vereenvoudigen is tot het product $P(A, B, C) = P(C) P(A | C) P(B | A)$, met het daarbij horende netwerk:



De verbindingen in het netwerk zijn dus gebaseerd op hoe de variabelen voorkomen in de gefactoriseerde waarschijnlijkheidsfunctie. Maar in plaats van de specificatie van 7 waarschijnlijkheden voor $P(A, B, C)$ kunnen we nu toe met één waarschijnlijkheid voor $P(C)$, en twee voor $P(A | C)$ en $P(B | A)$, dus in totaal 5 waarschijnlijkheden. Van 7 naar 5 is misschien niet heel indrukwekkend, maar voor grotere aantallen variabelen wordt de winst al snel aanzienlijk.

Het netwerk hierboven is alleen nog maar een handige grafische representatie van een waarschijnlijkheidsfunctie. Maar zoals uitgewerkt in Pearl (2000), Spirtes, Glymour en Scheines (2003), en Woodward (2005), kunnen we de pijlen in zo'n netwerk ook van een causale interpretatie voorzien. In de literatuur over zogenaamde causale Bayesiaanse netwerken wordt overtuigend betoogd dat, bij wijze van voorbeeld, de causale structuur tussen de gebeurtenissen A , B en C die door de afbeelding gesuggereerd wordt, leidt tot een waarschijnlijkheidsfunctie over de variabelen zoals die door de theorie over Bayesiaanse netwerken wordt voorgeschreven. Zoals uitgewerkt in de groep van Glymour op de Carnegie Mellon universiteit, en zoals recent weer

door Korb en Nyberg (2005) betoogt, zijn deze netwerken bovendien zeer geschikt voor het modelleren van interventies op causale situaties. Onder de aanname dat de pijlen inderdaad naar causale relaties verwijzen, leveren de causale Bayesiaanse netwerken het recept om van een gegeven waarschijnlijkheidsfunctie over variabelen te komen tot de waarschijnlijkheidsfunctie die te verwachten is als één van de variabelen per interventie op een bepaalde waarde wordt gezet:



Fixeren we bijvoorbeeld van buitenaf de waarde van de variabele $A = 1$, dan weten we op basis van het causale Bayesiaanse netwerk wat we voor de variabelen B en C kunnen verwachten.

Door de toevoeging van een causale interpretatie en de mogelijkheid tot interventies worden de Bayesiaanse netwerken zeer geschikt voor het representeren van theorieën waarin causale relaties de hoofdrol spelen. Daarmee komt ook het representeren van experimentele situaties binnen een formeel handbereik. Bekende en goed gedocumenteerde hoofdstukken uit de geschiedenis van het experimentele onderzoek, zoals bijvoorbeeld de experimenten met electromagnetisme van Faraday, kunnen aan de hand van Bayesiaanse netwerken in een formeel model worden gereconstrueerd. Maar het doel van het onderzoek is daarmee nog niet bereikt. Het was immers de bedoeling om via een formeel model van experimentatie begrip te krijgen van conceptuele veranderingen in de wetenschap. En tot nu toe stellen de formele middelen ons vooral in staat om begrip te krijgen van het toetsen van een wetenschappelijke theorie met behulp van experimentele interventies. De uitdaging is om de theorie van causale Bayesiaanse netwerken uit te breiden met de formele middelen die ons grip geven op conceptuele veranderingen.

Met dat laatste heb ik het afgelopen jaar enige voortgang geboekt. Ten eerste kan binnen de theorie over Bayesiaanse netwerken handig gebruik worden gemaakt van een statistische techniek die in de psychometrie al langer bekend is, de zogenaamde exploratieve factoranalyse. Zoals in Romeijn (2008) en in Romeijn en Williamson (manuscript) beargumenteerd wordt, kan deze techniek op verschillende manieren worden ingezet om in een causaal Bayesiaans netwerk op een gecontroleerde manier variabelen, en dus causale factoren, toe te voegen. Ten tweede is in de CKI al langer bekend dat het mogelijk is om over netwerken een waarschijnlijkheidsverdeling te definiëren, waaruit vervolgens een informatiemaat over netwerken is af te leiden. Tong en Koller (2001) gebruiken deze maat om een uitdrukking af te leiden voor de verwachte informativiteit van een interventie. Die maat kan in mijn onderzoek worden ingezet om interventiebeslissingen in een experiment te rationaliseren.

Een laatste idee is nauw met het bovenstaande idee verbonden. Door gebruik te maken van waarschijnlijkheidsverdelingen over zogenaamde *credal networks*, in wezen generalisaties van Bayesiaanse netwerken, waarover meer te lezen is in Haenni *et al* (manuscript), kunnen ook radicale veranderingen in de netwerkstructuur, die meer dan alleen de toevoeging van een enkele variabele behelzen, worden gemodelleerd. Maar deze wiskundige ontwikkeling staat helaas nog geheel in de kinderschoenen.

5. Cognitieve ontwikkelingspsychologie

Met Bayesiaanse netwerken hebben we, getuige het bovenstaande, een mooi formeel instrument in handen om experimenten, interventies, en uiteindelijk conceptuele veranderingen te modelleren. Zoals gezegd hoop ik daarmee een betere aansluiting te maken op de praktijk van het wetenschappelijke onderzoek, minstens beter dan dat die aansluiting in eerder formeel werk over theorieveranderingen werd gemaakt. Ik kom nu op een tweede reden voor de verbeterde

aansluiting op de wetenschappelijke praktijk, die gelegen is in het feit dat ik voor het onderzoek ook gebruik zal maken van inzichten uit de cognitieve psychologie, in het bijzonder de ontwikkelingspsychologie. Het leidende idee is dat experimentele wetenschappers vergeleken kunnen worden met kinderen die spelenderwijs begrip krijgen van de causale structuur van de hen omringende wereld.

Misschien verrassend, maar deze parallel kan vrij letterlijk worden opgevat. Uit verschillende psychologische experimenten waarin systematisch naar het onderzoeks- en experimenteelgedrag van proefpersonen, zowel volwassenen als kinderen, is gekeken, blijkt dat wij *natural born researchers* zijn. Zo laten Gopnik *et al* (2004) zien dat kinderen van drie jaar al in staat zijn om uit samenhangende gebeurtenissen bepaalde oorzakelijke relaties af te leiden, als zij maar getuige zijn van de ingrepen die de proefleider op de gebeurtenissen pleegt. Uiteraard zijn de koters niet in staat om de causale relaties verbaal samen te vatten; hun begrip wordt afgeleid uit het feit dat zij de juiste acties ondernemen wanneer hen gevraagd wordt bepaalde gebeurtenissen te laten plaatsvinden. Uit verder onderzoek, bijvoorbeeld van Krynski en Tenenbaum (2007), volgt dat vergelijkbare maar verder reikende conclusies te trekken zijn over het natuurlijke talent voor experimenteel onderzoek in volwassenen.

In de theorievorming rondom al dit psychologisch onderzoek wordt overigens volop gebruik gemaakt van de Bayesiaanse netwerken waarover ik in de vorige sectie sprak. Het gedrag van de proefpersonen wordt bijvoorbeeld gepast op de statistische modellen van causaal begrip die door de Bayesiaanse netwerken worden vastgelegd. Circulair is dat trouwens niet: er zijn, zoals hierboven uitgelegd, onafhankelijke redenen om in de netwerken en de daarbij horende statistische modellen een adequate representatie van causaliteit te zien. De rappe verspreiding van de Bayesiaanse netwerken in de psychologie is mede te danken aan de eerder genoemde groep van de Carnegie Mellon universiteit, die zich actief met dit onderzoek bemoeit heeft en ook softwarepakketten voor het werken met Bayesiaanse netwerken aanbiedt. In het zeer leesbare boek met de titel *The Mind's Arrows* van Glymour (2001) wordt het psychologische onderzoek in één adem met de Bayesiaanse technieken geïntroduceerd.

Een enkele keer stopt het psychologisch onderzoek niet bij de voor de hand liggende toepassingen van Bayesiaanse netwerken. Zo onderzoeken Steyvers *et al.* (2003) de interventiebeslissingen van volwassen proefpersonen in een betrekkelijk ingewikkelde situatie, waarin nog een groot aantal causale relaties mogelijk zijn. In het bijzonder kijken zij naar de verwachte informativiteit van de interventies, zoals die door Tong en Koller (2001) is gedefinieerd. En daaruit blijkt dan dat de proefpersonen in staat zijn de meest informatieve interventies te kiezen. Een opzienbarend resultaat, vooral omdat uit veel ander psychologisch onderzoek blijkt hoe beroerd mensen doorgaans in abstract redeneren zijn. De stroom aan resultaten over Wasons kaarttaak, goed samengevat in Stenning en van Lambalgen (2001), laat zien dat deductief logisch redeneren niet vanzelf komt, en de resultaten van Kahneman, Slovic en Tversky (1982) geven aan dat hetzelfde geldt voor redeneren met waarschijnlijkheden. De *logic of discovery* daarentegen lijkt ons met de paplepel ingegoten.

6. Een blik vooruit

Allemaal heel mooi, maar wat kun je nu eigenlijk met al deze formele middelen en wetenschappelijke verantwoordingen? In eerste instantie hoop ik natuurlijk dat de theorie op zichzelf kan staan, en als zodanig al inzicht verschaft in de methodologie en epistemische status van het wetenschappelijke experiment. Maar ik wil heel in het kort ook iets zeggen over de toepassingen die de formele modellen misschien kunnen hebben, zowel in de wetenschapsfilosofie alsook in de wetenschap zelf.

In het bovenstaande gaf ik al kort aan dat een waarschijnlijkheidstheoretisch model van het experiment mogelijk kon worden toegepast op episodes uit de wetenschapsgeschiedenis. In zekere zin geldt een dergelijke toepassing als de strenge toets van elke wetenschapsfilosofische

theorie. Gelukkig is het niet nodig om al het historische voorwerk voor deze studies zelf te leveren. De experimenten van Galileo, Newton, Fresnel, Faraday, Mendel, en veel anderen zijn zorgvuldig gedocumenteerd door wetenschapshistorici. Een deel van het probleem is nu natuurlijk dat deze historici geen principiële onderscheid aanbrenge(n) tussen twee verschillende zaken: enerzijds dat wat de interne dynamiek van het experiment kan worden genoemd, en waarin de empirische bevindingen de conceptuele ontwikkeling sturen, en anderzijds dat wat tot de culturele en institutionele context van het experiment behoort. Het is voor mijn onderzoek een grote uitdaging om een historisch zinvolle scheiding tussen beide aan te brengen, en een overtuigend formeel model te leveren van het interne gedeelte.

Mocht dit alles hopeloos falen, dan is het ook nog mogelijk om de wetenschapsfilosofische ideeën die in dit stuk naar voren zijn gebracht, op hun waarde voor de wetenschap zelf te toetsen. In de medische en biologische wetenschappen worden onderzoekers vaak geconfronteerd met een overdaad aan gegevens, waarin op het eerste gezicht nauwelijks structuur aan te brengen is. De formele technieken die in dit stuk zijn gepresenteerd, worden voor een deel al ingezet om de vermoedelijke causale structuur in bijvoorbeeld de symptomen en eigenschappen van een ziekte of een ecologisch fenomeen geautomatiseerd in kaart te brengen. Het ligt voor de hand om de resultaten van mijn onderzoek te gebruiken om deze automatische zoekalgoritmes op grote wetenschappelijke databanken te verbeteren. Welke onderzoeker wil er nu geen voorgeprogrammeerde Faraday, die tijdens de koffiepauze geheel geautomatiseerde experimenten nabootst op de al aanwezige data?

Wie interesse heeft in de voortgang van mijn onderzoek of bijvoorbeeld graag een Faraday-module op haar eigen data wil draaien, is uitgenodigd om af en toe een kijkje te nemen op mijn website: <http://www.philos.rug.nl/~romeyn>. Daar plaats ik mijn lezingen en ook de nog ongepubliceerde manuscripten, waarnaar ik in dit stuk verwezen heb.

7. Referenties

- Brooks, R. A. (1991) "Intelligence Without Representation", *Artificial Intelligence Journal* 47, pp. 139–159.
- Chang, H. (2004) "Inventing Temperature: Measurement and Scientific Progress", Oxford University Press, New York.
- Clark, A. (1997) "Being There: Putting Brain, Body and World Together Again", MIT Press, Cambridge (MA).
- Dyck, M. van (2004) "The Paradox of Conceptual Novelty and Galileo's Use of Experiments", *Philosophy of Science*, 72 (2005), pp. 864–875.
- Franklin, A. (1986) "The Neglect of Experiment", Cambridge University Press, Cambridge.
- Gaerdenfors, P. (1988) "Knowledge in Flux: Modeling the Dynamics of Epistemic States", MIT Press, Cambridge (MA).
- Galison, P. (1987) "How experiments end", University of Chicago Press, Chicago.
- Glymour, C. (2001) "The mind's arrows. Bayes nets and graphical causal models in psychology", MIT Press, Cambridge (MA).
- Gopnik, A., *et al* (2004) "A Theory of Causal Learning in Children: Causal Maps and Bayes Nets", *Psychological Review* 111 (1), pp. 3–32.
- Hacking, I. (1983) "Representing and Intervening", Cambridge University Press, Cambridge.
- Haenni, R., *et al* (manuscript) "Probabilistic Logics and Probabilistic Networks".
- Kahneman, D., Slovic, P. en Tversky A. (eds.) (1982), "Judgement under Uncertainty", Cambridge University Press, Cambridge.
- Keijzer, F. (2001) "Representation and behaviour", MIT press, Cambridge (MA).
- Korb, K. B. en E. Nyberg (2006) "The power of intervention", *Minds and Machines* 16(3), pp. 289–302.

- Kuipers, T.A.F. (1987) "What is closer-to-the-truth?", *Pozan Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities*, Vol. 10.
- Langley, P., *et al* (1987) "Scientific Discovery: Computational Explorations of the Creative Processes", MIT Press, Cambridge (MA).
- Latour, B. (1987) "Science In Action: How to Follow Scientists and Engineers Through Society", Harvard University Press, Cambridge (MA).
- Niiniluoto, I. en R. Tuomela, eds. (1979) "The Logic and Epistemology of Scientific Change", *Acta Philosophica Fennica* 30, North-Holland Publishers, Amsterdam.
- Pearl, J. (2000) "Causality: Models, Reasoning and Inference", Cambridge University Press, New York.
- Radder, H. (ed.) (2003) "The Philosophy of Scientific Experimentation", University of Pittsburgh Press, Pittsburgh.
- Romeijn, J.W. (2008) "The all too flexible abductive method", *Journal of Clinical Psychology*, forthcoming.
- Romeijn, J.W. en J. Williamson (manuscript) "Estimation, interventions, and theory generation".
- Spirtes, P., C. Glymour, en R. Scheines (2000) "Causation, Prediction and Search" (2nd ed.). MIT Press, Cambridge (MA).
- Steinle, F. (2002) "Experiments in History and Philosophy of Science", *Perspectives on Science* 10(4), pp. 408–432.
- Stenning, K en M. van Lambalgen (2001) "Semantics as a Foundation for Psychology: A Case Study of Wason's Selection Task", *Journal of Logic, Language and Information* 10, pp. 273–317.
- Steyvers, M. *et al* (2003) "Inferring causal networks from observations and interventions", *Cognitive Science* 27, pp. 453–489.
- Thagard, P. (1992) "Conceptual revolutions", Princeton University Press, Boston.
- Krynski, T. R. en J.B. Tenenbaum (2007) "The role of causality in judgment under uncertainty", *Journal of Experimental Psychology: General* 136(3), pp. 430–450.
- Smith, L. B. en E. Thelen eds. (1993) "A Dynamic Systems Approach to Development", MIT Press, Cambridge (MA).
- Tong, S. en D. Koller (2001) "Active Learning for Structure in Bayesian Networks", *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Morgan Kaufman, San Francisco, pp. 863–69.
- Woodward, J. (2003). "Making things happen: A theory of causal explanation", Oxford University Press, New York.