

H1. De wetenschappelijke revolutie

Het ontstaan van de moderne wetenschap

Klassiek wereldbeeld: Aristotelisch

1. Geocentrisch
2. Stilstaande aarde (in centrum van universum [natuurlijke plaats])
3. Bolvormige hemellichamen
4. Uniforme (constante snelheid) en perfecte (cirkelvormig) beweging
5. Bovenmaanse bestaat uit ether, ondermaanse uit 4 elementen
6. Zwarte lichamen vallen sneller dan lichte lichamen
7. Lichamen hebben externe invloed nodig om in beweging te komen

Combinatie van speculatie en observatie. Wiskundige ontwikkeling gedaan door Ptolemaeus (87-150), reguliere cirkels voor verklaren retrograde beweging niet genoeg: *epicykels*. Algemeen geaccepteerd wereldbeeld tot ca. 17^e eeuw.

Verandering door ontwikkelingen in de astronomie, mede door uitvinding van telescoop en microscoop. Copernicus (1473-1543) stelde het heliocentrisme voor om de retrograde beweging van hemellichamen op te lossen, echter veronderstelde hij nog volmaakte sferische hemellichamen en cirkelvormige banen. Kepler (1571-1630) bepaalde echter dat de planeten zich in een ellips rond de zon bewegen, de zon niet in het centrum van de baan staat en de beweging niet uniform is. Hierna stelde Galilei (1564-1642) dat de zon en maan geen perfecte hemellichamen waren. Ook verwierp hij de twee mechanische stellingen van het klassieke wereldbeeld, 6 en 7, en pleitte hij voor het gebruik van experimenten en wiskunde voor de studie van de aardse lichamen.

De ontkrachting van het klassieke wereldbeeld ging niet zonder weerstand, gezien katholieke autoriteiten een synthese van dat wereldbeeld en de bijbel hanteerden (via het Thomisme). Met Newton (1643-1727) sneuvelde het definitief, wanneer het onderscheid tussen aarde en hemel verdween. Hij ontwikkelde drie wetten voor beweging, wist hieruit de wetten van Galilei en Kepler af te leiden en zorgde voor vooruitgang in de wiskunde door de differentiaal/integraalrekening te ontwikkelen.

De mechanisering van het wereldbeeld

Aristoteles: *natuur* is het geheel van de dingen die **uit zichzelf** een beweging of een proces van verandering op gang kunnen brengen. Het doel van de *fysica* was om die bewegingen en veranderingen te verklaren. De mechanica hield zich bezig met het **tot stand brengen** van bewegingen of veranderingen, dus was geen deel van de fysica.

In de moderne fysica staat de mechanica centraal: overgang van *organisch* naar *mechanistisch* wereldbeeld. Bacon (1561-1626) heeft een duidelijke bijdrage geleverd aan deze ommekeer, hij wijst het verschil tussen verklaren en tot stand brengen van fenomenen af:

“Om de natuur te bevelen moet men zich eraan onderwerpen”

De kunst (techniek) doet namelijk niets anders dan de natuurlijke beweging in een bepaalde richting te leiden, en daarmee is er ook geen onderscheid tussen natuurlijke en tegennatuurlijke bewegingen. Het ‘kunstmatige’ experiment heeft in dit geval verklarende kracht en haalt het fenomeen uit haar natuurlijke context:

“De natuur van de dingen verraadt zich sneller onder de dwang van de kunst dan in hun natuurlijke vrijheid.”

Geleidelijk aan vervalft het onderscheid tussen wetenschap van de natuur aan de ene kant en techniek en technologie aan de andere kant. Zie voorbeeld van de scheikunde: natuurlijke verbinding ≈ kunstmatige verbinding (tegenwoordig)

Universele wiskunde

Viète (1540-1603) bracht de verklarende kracht van de algebra naar nieuwe hoogten door grootheden door symbolen te vervangen, die dezelfde rekenregels gebruiken als de getallen. Hierdoor was de analyse van de wiskunde niet meer afhankelijk van de beschouwing van bijzondere figuren of getallen. Descartes (1596-1650) erkende de voordelen van de nieuwe algebra en ontwikkelde de analytische meetkunde, waar een figuur nu als bewegingswet kon fungeren door het te duiden als een punt dat een bepaald traject volgt (en dit in een vergelijking te vatten), en pleitte voor de *mathesis universalis*, een op alles toepasbare wiskunde methode.

Een nieuwe wetenschap van de natuur (verschillen in verklaringsmethode)

Natuurkundige wetten, zoals die van Galilei en Newton, worden nu in wiskundige symbolen weergegeven (i.t.t. Aristoteles). Daarnaast zijn de wetten experimenteel geconfirmeerd, vooraf gegaan door mathematische deductie waar testbare (voorspellende) hypothesen uitrollen. Daarnaast wordt de plaats en beweging van iets niet meer bepaald door de natuurlijke plaats, maar door krachten die erop inwerken.

H2. Inleiding: wetenschappelijk redeneren

Argumenten

(DEF) een **bewerende zin** is een zin die waar of onwaar is.

(DEF) een **argument** is een verzameling van bewerende zinnen, welke aangeduid worden als premissen of als de conclusie.

Argumenten kunnen verschillende *indicatoren* hebben waaraan je ze kan herkennen, die tegelijkertijd ook een premisse (aangezien, omdat, want, ...) of conclusie (daarom, dus, bijgevolg, ...) aanduiden.

Deductie, inductie, abductie

Er zijn drie types van wetenschappelijk redeneren (argumenten):

1. **Deductie:** Universeel → Specifiek; studieobject van de logica, onderzoek naar *geldigheid* (asa het onmogelijk is dat de premissen allemaal waar zijn terwijl de conclusie onwaar is); 1-2-3.
2. **Inductie:** Specifiek → Universeel; Kwaliteit van het argument wordt beter naarmate de conclusie meer waarschijnlijk is gegeven de premissen dan op zichzelf (hoe meer overeenstemmende gevallen hoe beter); 2-3-1.
3. **Abductie:** gegeven een aantal premissen en alternatieve verklaringen voor de (hypothetische) waarheden uitgedrukt in de premissen, concludeer dat de verklaring die de beste verklaring biedt voor de (hypothetische) waarheden uitgedrukt in de premissen zelf waar is; 3-1-2.

Voorbeeldredenering:

1. Alle mensen zijn sterfelijk
2. Socrates is een mens
3. Socrates is sterfelijk

2 en 3 zijn niet-deductief (en daarmee niet logisch geldig). Daarnaast is de beste verklaring in een abductie overduidelijk niet de enige verklaring. Er wordt ook gesteld dat abductieve argumenten parasitair zijn op inductieve argumenten omdat ze gebaseerd zijn op inductief verworven waarheden.

Wetenschapsidealen: 1. De axiomatische methode

De verschillende vormen van redeneren zijn ook vormen van wetenschappelijk redeneren, omdat ze nauw verbonden zijn met verschillende belangrijke wetenschapsidealen.

In de *axiomatische methode* van Euclides (±350-250 v.C.) leidt men deductief geldige argumenten af door enkele van de vijf door hem als vanzelfsprekend waar gepostuleerde axioma's als premissen te gebruiken, waarna die argumenten weer als premissen in vervolgartumenten gebruikt

kunnen worden. Zo leiden deductief geldige argumenten tot nieuwe waarheden. Deze methode is inmiddels algemeen aanvaard in de wiskunde.

Twee bedenkingen:

1. De syllogistiek, ontwikkeld door Aristoteles, volstond niet voor de formele studie van argumenten die Euclides voor ogen had. Pas met Frege, Russell en Whitehead was de logica sterk genoeg om wiskundige redeneringen te bestuderen.
2. Er zitten deductieve gaten in de axioma's van Euclides, niet alle stellingen volgen deductief uit de selectie. Hilbert zorgde voor een betere axiomatisering en toonde hij aan dat sommige axioma's onafhankelijk van andere zijn, waardoor men in staat was om de mate van vanzelfsprekendheid van de axioma's te testen.

De Euclidische meetkunde was eeuwenlang hét wetenschappelijk ideaal (deductie uit axioma's & inductie voor rechtvaardiging van axioma's), maar na de wetenschappelijke revolutie is de wetenschap steeds meer gemathematiseerd.

Newton over experimentele filosofie

Newton reflecteerde ook op de wetenschappelijke praktijk die hij bedreef in zijn *Mathematical Principles of Natural Philosophy* (1687). Hij poneerde vier regels:

1. No more causes of natural things should be admitted than are both true and sufficient to explain their phenomena. As the philosophers say: nature does nothing in vain, and more causes are in vain when fewer suffice. For nature is simple and does not indulge in the luxury of superfluous causes.
2. Therefore, the causes assigned to natural effects of the same kind must be, so far as possible, the same. Examples are the cause of respiration in man and beast, or of the falling of stones in Europe and America, or of the light of a kitchen fire and the Sun or of the reflection of light on our Earth and the planets.
3. The quality of bodies, which admit neither intension nor remission of degrees, and which are found to belong to all bodies within the reach of our experiments, are to be esteemed the universal qualities of all bodies whatsoever.
4. In experimental philosophy we are to look upon propositions collected by general induction from phaenomena as accurately or very nearly true, notwithstanding any contrary hypotheses that may be imagined, till such time as other phaenomena occur, by which they may either be made more accurate, or liable to exceptions.

Principe 1 en 2 spreken over abductie ('explain'); afleiding naar de beste verklaring (1) en gevolg (2). 3 en 4 spreken over inductie. Newton heeft zijn eigen regels uiteraard toegepast op zijn eigen werk, en zelfs de axiomatische methode: de *Principia Mathematica* waaruit de hele *Philosophiae Naturalis* afgeleid kan worden.

H3. Deductie

Zie cursus: 3.1 & 3.2; GEEN EXAMENSTOF!

Directe verificatie en falsificatie

Ook al zijn wetenschappelijke hypotheses geen logische waarheden, toch is het mogelijk om logica te gebruiken om op basis van observaties te bepalen dat een wetenschappelijke hypothese waar of onwaar is. Een *observatiezin* is een zin waarmee een mogelijke observatie kan worden beschreven (vb: "het boek ligt op de tafel"), en fungeert brug tussen observaties en wetenschappelijke hypotheses.

- (1) *Directe verificatie* verifieert de existentiële generalisatie. Het komt erop neer, dat je door een enkele ware observatie te doen, namelijk x , direct de existentie van x in het algemeen kan verifiëren.
- (2) *Directe falsificatie* falsifieert de universele generalisatie. Het komt erop neer, dat je door een enkele ware observatie te doen, namelijk $\neg x$, direct de universaliteit van x in het algemeen kan falsifiëren. Door een enkele observatie die het tegendeel van een theorie laat zien, vervalt gelijk de gehele (universele) theorie.

Voorbeelden:

- (1) Dit is een witte zwaan. Als dit een witte zwaan is, dan bestaat er een witte zwaan. Dus er bestaat een witte zwaan.
- (2) Dit is een zwarte zwaan. Als dit geen witte zwaan is, dan zijn niet alle zwanen wit. Niet alle zwanen zijn wit.

(DEF) **Directe verificatie:** Een niet-lege, eindige, consistente verzameling Γ van observatiezinnen verifieert een zin ϕ direct als en slechts als $\Gamma \models \phi$.
(DEF) **Directe falsificatie:** Een niet-lege, eindige, consistente verzameling Γ van observatiezinnen falsificeert een zin ϕ direct als en slechts als $\Gamma \models \neg\phi$.

De bovenstaande definities zijn breder dan de eerder gegeven karakterisering met slechts één observatie, want het is mogelijk om meerdere, verschillende observaties te hebben. Dus als alle observaties zin ϕ impliceren, is ϕ geverifieerd, en als ze $\neg\phi$ impliceren, is ϕ gefalsificeerd.

Opmerkingen bij definities:

- * ‘niet-lege’: we zijn geïnteresseerd in **empirische** verificatie en falsificatie
- * ‘eindige’: we zijn niet in staat om oneindig veel observaties te doen
- * ‘consistente¹ verzameling’: uit een inconsistente verzameling volgt alles
- * ‘verzameling van observaties’: meestal zijn er meerdere observaties nodig om een hypothese te toetsen
- * ALGEMEEN: verificatie/falsificatie \neq waarheid/onwaarheid

Beperkingen:

1. Existentiële generalisaties zijn niet direct falsificeerbaar, want een positieve instantie blijft altijd mogelijk ondanks dat er tot nu toe alleen maar negatieve instanties zijn geobserveerd.
2. Universele generalisaties zijn niet direct verifieerbaar, want een negatieve instantie blijft altijd mogelijk ondanks dat er tot nu toe alleen maar positieve instanties zijn geobserveerd.
3. Niet alle existentiële generalisaties zijn direct verifieerbaar (namelijk, met geneste kwantoren), want dan ga je op zoek naar een ware observatie van “voor alle geldt...”, wat niet volgt uit een eindig aantal instantiaties.
4. Niet alle universele generalisaties zijn direct falsificeerbaar (namelijk, met geneste kwantoren), want dan ga je op zoek naar een ware observatie van “er is geen...”, wat niet volgt uit een eindig aantal instantiaties.

Voorbeelden van beperkingen:

1. “Er is een man met een baard”, observatie: “X, Y, Z, ... heeft geen baard”
2. “Alle mannen hebben baarden”, observatie: “X, Y, Z, ... heeft een baard”
3. “Er is iemand van wie iedereen houdt” ($\exists x \forall y Hxy$)
4. “Voor iedereen is er iemand waarvan wie hij of zij houdt” ($\forall x \exists y Hxy$)

Indirecte falsificatie en het Quine-Dunham probleem

Als er in de logische afleiding van een hoofdhypothese uit observaties één of meerdere extra hypothesen nodig zijn, dan worden deze extra hypothesen *hulphypothesen* genoemd. Het afleiden via hulphypothesen is een indirecte methode:

(DEF) **Indirecte verificatie:** Een eindige, consistente verzameling Γ van observatiezinnen verifieert een zin ϕ relatief ten opzichte van een consistente verzameling hulphypothesen Δ als en slechts als $\Gamma \cup \Delta \models \phi$.

¹ Intern samenhangend en niet tegenstrijdig, een verzameling proposities of beweringen is consistent als daar geen tegenspraak uit kan worden afgeleid

(DEF) **Indirecte falsificatie:** Een eindige, consistente verzameling Γ van observatiezinnen falsifieert een zin ϕ relatief ten opzichte van een consistente verzameling hulphypotheses Δ als en slechts als $\Gamma \cup \Delta \models \neg \phi$.

Door een logische afleiding (zie cursus) volgt het *Quine-Dunham probleem*. Uit indirecte falsificatie van de hoofdhypothese volgt alleen dat de disjunctie van de hoofdhypothese, hulphypothese(s) en observatiezin(nen) onwaar is, maar we kunnen niet precies duiden welke van de drie (want het is een zwakke disjunctie)

Een hypothese is *ad hoc* als en slechts als ze enkel en alleen naar voren wordt geschoven om bij de indirecte falsificatie van een hoofdhypothese te kunnen concluderen dat minstens één hulphypothese fout is. Ze dienen alleen om een theorie tegen falsificatie te beschermen, en leveren verder geen nieuwe empirische voorspellingen. Karl Popper staat hier zeer negatief tegenover, anderen minder (zie verder in hoofdstuk 6)

Grenzen aan deductie

Deductie heeft zijn grenzen, want uit de beperkingen van directe verificatie en falsificatie volgt dat existentiële generalisaties niet direct falsifieerbaar zijn en universele generalisaties niet direct verifieerbaar zijn. Hiervoor moet een andere vorm van redeneren aan te pas komen: inductie.

H4. Inductie en waarschijnlijkheid

Twee problemen in verband met inductie

Volgens Hume zijn er twee soorten redeneringen (de **vork van Hume**):

1. *Deductieve bewijzen* op basis van a priori waarheden of deductieve afleidingen daarvan
2. *‘Waarschijnlijke redeneringen’* op basis van observaties in het verleden (=inductief)

De tweede redeneersoort vertrekt volgens Hume van de aanname dat de natuur uniform is, d.w.z. dat het ongeobserveerde in de relevante aspecten lijkt op het geobserveerde (bijv. verwachting dat een toekomstige observatie gelijk gaat zijn aan zijn overeenkomstige soortgenoot in het verleden). Deze aanname is volgens Hume ongerechtvaardigd, en daarom is er geen reden om waarde te hechten aan inductieve redeneringen. Zijn argument gaat als volgt (samengevat):

1. Als de natuur uniform is (NU), hebben we reden om waarde hechten aan conclusies van inductieve redeneringen.
2. Uit deductie kunnen we niet afleiden dat NU, want \neg NU is logisch consistent (dus NU is inconsistent)
3. Uit inductie kunnen we niet afleiden dat NU, want dat is circulair
4. Als we NU niet kunnen afleiden uit deductie of inductie, dan hebben we geen reden om waarde hechten aan conclusies van inductieve redeneringen.

Goodman zal d.m.v. een raadsel aantonen dat zelfs als men aanneemt dat de natuur uniform is, inductie nog steeds raadselachtig is.

Als gevolg van de volgende (aannemelijke) inductieve redenering, “Alle tot nu toe waargenomen smaragden zijn groen, dus alle smaragden zijn groen” voert Goodman een nieuw predikaat in, ‘grue’. Een object is grue asa:

1. het voor het eerst waargenomen voor het jaar 2100 groen is, of
2. het voor het eerst waargenomen vanaf het jaar 2100 blauw is.

Op basis hiervan, aangezien het jaar 2100 nog niet aangebroken is, is de volgende redenering ook aannemelijk: “Alle tot nu toe waargenomen smaragden zijn grue, dus alle smaragden zijn grue”. Dit zou echter incompatibele gevolgen hebben, gezien het tweede deel van de conclusie, namelijk “Alle smaragden voor het eerst waargenomen vanaf het jaar 2100 zijn blauw”, ongerechtvaardigd is.

Inductie en confirmatie

Inductieve redeneringen vertrekken vaak van observationele vaststellingen en leiden tot theoretische conclusies, maar even vaak werkt het in de wetenschap andersom: men vertrekt van een theorie en leidt daar observationele gevolgen van af. Hier ligt het verschil tussen verificatie en *confirmatie*, waar bij de eerste de observatiezinnen zijn en de hypothese de conclusie, en bij de tweede precies andersom. Disconfirmatie en falsificatie zijn echter wel hetzelfde. De notie van confirmatie staat ons dus toe om inductieve redeneringen opnieuw te bekijken vanuit het omgekeerde standpunt, namelijk dat de observaties de theorie bevestigen:

(THEORIE) **De hypothetisch-deductieve theorie van (dis)confirmatie (HDTC):** Stel dat Γ een niet-lege, eindige, consistente verzameling Γ van observatiezinnen is, Δ een consistente verzameling van hulphypotheses en ϕ een zin. Dan:

1. wordt ϕ geconfirméerd door Γ relatief ten opzichte van Δ als en slechts als $\{\phi\} \cup \Delta \models \psi$ voor alle $\psi \in \Gamma$;
2. wordt ϕ gedisonfirméerd door Γ relatief ten opzichte van Δ als en slechts als $\Gamma \cup \Delta \models \neg\phi$.

Het Quine-Dunhem probleem doet zich nog steeds voor (want disconfirmatie = falsificatie) en de eerdergenoemde problemen met inductie van Hume en Goodman gelden ook nog steeds. Er komen echter nog twee problemen bij, waarbij de HDTC onvolledig is:

- * Veel wetenschappelijke theorieën gebruiken de notie van kans, en statistische hypothesen zijn moeilijk te confirmeren of disconfirmeren, gezien een observatie niet noodzakelijk logisch inconsistent is met de theorie. Er is altijd een kans dat een tegensprekende observatie optreedt.
- * De theorie laat geen ruimte voor gradaties in (dis)confirmatie; het is een kwalitatieve theorie en geen kwantitatieve. Meervoudige confirmatie via experimenten is sterker dan enkelvoudige. Ofwel, waarschijnlijkheid speelt ook een belangrijke rol in inductie.

Interpretatie van waarschijnlijkheid

We zijn exclusief geïnteresseerd in interpretaties van waarschijnlijkheid waarmee inductie en confirmatie beter begrepen worden. De belangrijkste eis van een theorie van waarschijnlijkheid is dat ze de axioma's van Kolmogorov waarmaakt. Een beperkte, ontoereikende interpretatie is de *frequentistische*, welke waarschijnlijkheid opvat als de frequentie dat een eigenschap A in een eindige verzameling B optreedt (referentieklassé). Dit is problematisch, want afhankelijkheid van feitelijke observaties is niet voldoende om de waarschijnlijkheid van een toekomstig optreden van een gebeurtenis wilt bepalen (want die is niet feitelijk en zit niet in de referentieklassé), en de theorie geeft hele hoge waarschijnlijkheden aan unieke gebeurtenissen (want dan is de referentieklassé klein of gelijk aan 1).

Een andere interpretatie is de *klassieke* interpretatie van waarschijnlijkheid, ontwikkeld door Laplace. Het gaat als volgt: reduceer alle gelijksoortige gebeurtenissen tot een aantal 'in dezelfde mate mogelijke' gevallen (C_n) en bepaal het aantal ondersteunende gevallen (C_a) voor de specifieke gebeurtenis waarvan we de waarschijnlijkheid zoeken (P_a). Dan wordt de kans gegeven door:

$$P_a = \frac{C_a}{C_n}$$

Er zijn twee problemen met deze interpretatie. Enerzijds wordt mogelijkheid gezien als een niet-graduele notie (dus: wel of niet mogelijk) en anderzijds is de interpretatie circulair als 'in dezelfde mate mogelijk' wordt opgevat als 'even waarschijnlijk'.

Een uit de klassieke interpretatie volgend principe dat niet ten prooi valt aan de bovengenoemde problemen is de volgende:

(THEORIE) **Het principe van onmogelijkheid:** Stel dat er $n > 1$ (met $n \in \mathbb{N}$) mogelijk ware zinnen zijn en

1. de zinnen kunnen niet tegelijkertijd waar zijn (m.a.w., de mogelijkheden zijn exclusief);

2. minstens één van de zinnen moet waar zijn (m.a.w., de mogelijkheden zijn exhaustief);
 3. vooraf hebben we geen informatie over welke van die zinnen waar is;
- dan is de waarschijnlijkheid van elk van die zinnen gelijk aan $1/n$.

We kunnen ook een algemenere variant opstellen door de tweede voorwaarde weg te laten, dan luidt de conclusie: “dan is de waarschijnlijkheid van elk van die zinnen gelijk aan de waarschijnlijkheid van de andere zinnen” en zijn de mogelijkheden in dit geval alleen exclusief. In dit geval zijn de kansen op elk van de zinnen nog steeds gelijk, maar omdat het niet nodig is dat er minstens één waar is, tellen de kansen niet op tot 1 (want het kan zo zijn dat de ware uitspraak er niet bij zit).

De interpretatie van waarschijnlijkheid die volgt uit het principe is dat waarschijnlijkheid afhankelijk is van informatie/kennis (zie voorwaarde 3). Echter legt het niet uit hoe we waarschijnlijkheid moeten interpreteren bij zekere kennis; alleen bij gebrek aan informatie is het toepasbaar. Het lost ook het probleem van unieke gebeurtenissen op, gezien we bij gebrek aan informatie eerder lage waarschijnlijkheden zullen toekennen dan hoge.

Het principe heeft echter ook zijn eigen problemen. Het eerste probleem is dat er situaties denkbaar zijn waar op basis van onverschilligheid het mogelijk is om meerdere verschillende kansen toe te kennen aan één geval, afhankelijk van hoe je de situatie interpreteert. Het tweede probleem is dat wanneer er oneindig veel individueel exclusieve en gezamenlijk exhaustieve mogelijkheden zijn, de kans op een optie gelijk is aan 0 (waardoor alle kansen samen niet meer optellen tot 1).

Nog een andere interpretatie is de *subjectieve* interpretatie van waarschijnlijkheid, waar waarschijnlijkheid afhankelijk is van de graad van overtuiging die een persoon heeft over een gegeven. Deze interpretatie lost de problemen van het onverschilligheidsprincipe enigszins op, maar men kan gelijk nieuwe bedenkingen erbij plaatsen. Ten eerste, is een persoon wel in staat tot het bepalen van een precieze graad van overtuiging? En heeft een persoon wel een graad van overtuiging over alle zinnen? Ten tweede, een persoon hoeft niet volledig overtuigd te zijn van een logisch ware zin (als deze bijvoorbeeld te complex is). Ten derde, personen wijken bij de toekenning van waarschijnlijkheden wel eens af van de Kolmogorov axioma's.

De volgende theorie, die als standaard confirmatietheorie wordt gezien, volgt uit de subjectieve interpretatie.

Bayesiaanse confirmatietheorie

De Bayesiaanse theorie bestaat uit twee principes. De eerste, *synchronische coherentie*, spreekt voor zich, namelijk dat op elk tijdstip onze graden van overtuiging moeten beantwoorden aan Kolmogorov's axioma's. De tweede, *diachronische coherentie*, vergt iets meer werk om uit te leggen, omdat het meerdere tijdstippen bevat. Het komt hierop neer:

Stel dat de graden van overtuiging van een subject op tijdstip t_1 gerepresenteerd wordt door de waarschijnlijkheidsfunctie Pr_1 . Op tijdstip t_2 , verandert het subject zijn overtuiging in E naar 1 (note: het gaat er volgens mij om dát de graad van overtuiging überhaupt verandert). Dan worden de graden van overtuiging van het subject op t_2 gerepresenteerd door de waarschijnlijkheidsfunctie Pr_2 die alleen verschilt van Pr_1 doordat $Pr_2(H) = Pr_1(H|E)$ (als $Pr_1(E) > 0$ voor alle zinnen H).

Dit houdt dus in dat er een conditionele kans ontstaat: gegeven de kans op overtuiging E, wat is de kans op H? Even een stapje terug; we hebben twee dingen nodig om dit goed te begrijpen: het coördinatieprincipe en de stelling van subjectieve totale waarschijnlijkheid. Zie alvast de relevantie voor inductie: gegeven deze observaties, wat is de kans dat de hypothese waar is?

(THEORIE) **Coördinatieprincipe:** Als een hypothese H stelt dat de proportie van E gelijk is aan x, dan stellen we onze graad van overtuiging in E gegeven H gelijk aan x.

(STELLING) **Subjectieve totale waarschijnlijkheid:** Als ψ_1, \dots, ψ_n paarsgewijs logisch inconsistente verzameling vormen en als $Pr(\psi_1 \vee \dots \vee \psi_n) = 1$, dan

$$Pr(\varphi) = (Pr(\varphi | \psi_1) \times Pr(\psi_1)) + \dots + (Pr(\varphi | \psi_n) \times Pr(\psi_n)).$$

Als men dit combineert met de stelling van Bayes², is het mogelijk om conditionele kansen te berekenen en complexe problemen op te lossen. De bayesiaanse theorie is ook een (dis)confirmatie theorie, en lost het statistische (dis)confirmatieprobleem van de HDTC op:

(DEF) **Probabilistische confirmatie:** Stel dat $\Pr(E) > 0$. Dan confirmeert E H als $\Pr(H|E) > \Pr(H)$.
 (DEF) **Probabilistische disconfirmatie:** Stel dat $\Pr(E) > 0$. Dan confirmeert E H als $\Pr(H|E) < \Pr(H)$.

De HDTC is zelfs een speciaal geval van de Bayesiaanse confirmatietheorie (BCT). Hier wordt een hypothese relatief t.o.v. een hulphypothese ge(dis)confirméerd door (de negatie van) een observatiezin die er logisch uit volgt, tenminste indien aan twee voorwaarden voldaan zijn (2 en 3). Merk op: in voorwaarde 1 wordt E geverifieerd (dus niet gefalsifieerd), maar kan er wel disconfirmatie uit voortkomen

(STELLING) HDTC is speciaal geval van BCT: Als

1. $H, A \models E$ (waarbij we A gebruiken voor een hulphypothese) en
2. $1 > \Pr(H|A) > 0$ en
3. $1 > \Pr(E|A) > 0$,

dan

1. $\Pr(H|E \wedge A) > \Pr(H|A)$ en
2. $\Pr(H|\neg E \wedge A) < \Pr(H|A)$.

Waarschijnlijkheid en inductie

Nu kunnen we met de BCT aantonen dat de graad van overtuiging van een inductieve redenering stijgt wanneer een hypothese geconfirméerd wordt door een observatie. Noch de hypothese noch de observatie hoeven een overtuigingsgraad van 100% te hebben. We kunnen nu het volgende kwantitatief aantonen: gegeven observatiezin $\phi[t/v]$, geldt $\Pr(\forall v \phi \mid \phi[t/v]) > \Pr(\forall v \phi)$. De kans dat de universele conclusie van een inductieve redenering klopt, is hoger na een observatie, en zal blijven stijgen naarmate er meer confirmerende observaties volgen. De subjectieve graad van overtuiging zal blijven stijgen met deze kans. Zelfs het probleem van Goodman kan enigszins aangepakt worden op deze manier. Hume blijft nog steeds een vorm van fundamentele twijfel. Zie het voorbeeld van de raven in de cursus voor een uitgewerkte analyse.

H5. Abductie en verklaringen

Verklaringen

Wat is een verklaring?

(THEORIE) **Deductief-nomologische theorie van verklaringen (DNTV):** Een verklaring is een argument, waarbij de premissen het explanans (d.w.z., dat wat verklaart) vormen en de conclusie het explanandum (d.w.z., dat wat verklaard moet worden), dat aan de volgende voorwaarden voldoet:

1. Het argument is correct (=geldig en ware premissen);
2. Ten minste één van de premissen moet een algemene wet zijn en die premisse moet essentieel zijn (d.w.z., dat het argument zonder die premisse niet langer geldig is).

Men kan deductief-nomologische verklaringen geven van zowel particuliere als algemene feiten. Er is ook sprake van een zekere mate van idealisatie (=een 'ideaal geval' veronderstellen, en dan de theorie bouwen op dat geval) in de DNTV. Weet je namelijk ten alle tijden of de premissen en aannames waar zijn (bijv. Newton's aannames)? Ze sluit ook twee belangrijke vormen van verklaren uit. De eerste is de *elliptische verklaring*, waar geen of niet alle relevante wetten aangehaald worden (niet nomologisch)

² $\Pr(\phi \mid \psi) = \Pr(\psi \mid \phi) \times \frac{\Pr(\psi)}{\Pr(\phi)}$

of waarbij bepaalde particuliere feiten weggelaten worden (niet deductief, want sprong in de redenering). De tweede is de *partiële verklaring*, een verklaring van een breder fenomeen waaronder het explanandum valt (niet deductief).

De DNTV gaat samen met een these aangaande de relatie tussen verklaringen en voorspellingen:

(THEORIE) **Identiteitstheorie**: De structuur van een voorspelling is dezelfde als die van verklaring, d.w.z., dat het beide deductieve argumenten zijn. Het verschil tussen de twee heeft te maken met de tijd: een verklaring is post-factum terwijl een voorspelling ex ante factum is.

Maar: centraal in de DNTV staat de algemene wet. Maar wat is dan een wet? Een populaire karakterisatie is: een wet is een universele generalisatie die empirisch waargenomen regelmatigheden zonder uitzonderingen uitdrukken. Deze formuleringen levert echter twee problemen op. Ten eerste, accidentele generalisaties zijn mogelijk die geen wet lijken te zijn. Ten tweede, het laat geen ruimte voor *ceteris paribus-wetten*, welke wetten zijn waarop uitzonderingen bestaan. Een oplossing voor deze twee problemen wordt gegeven door de volgende karakterisatie:

(THEORIE) **Beste-systeem-analyse van wetten (BSAW)**: Een wet is een universele generalisatie die een stelling is in een theorie, die aan de volgende voorwaarden voldoet:

1. Alle stellingen van de theorie zijn waar;
2. De theorie biedt een optimale combinatie van eenvoud en kracht.

De theorie betreft een afweging tussen kracht en eenvoud; tussen de mate van empirische uitspraken die deductief uit de theorie kunnen worden afgeleid en de complexiteit (of simpliciteit) van de theorie.

Volgens Hempel is causaliteit is een speciaal geval van een deductief-nomologische verklaring, die Hume als volgt karakteriseert:

(THEORIE) **De regulariteitsanalyse van causaliteit (RAC)**: Gebeurtenis x is een oorzaak van gebeurtenis y as:

1. Gebeurtenis x voorafgaat in de tijd aan gebeurtenis y (*temporele prioriteit*);
2. Alle gebeurtenissen van hetzelfde type als x gevolgd worden door gebeurtenissen van hetzelfde type als y (*regulariteit*)

Hempel zegt dat in een causale verklaring ten minste één algemene wet bevat die een regulariteit uitdrukt, en dat deze wet een essentiële rol speelt in de verklaring. Er zijn echter nog andere typen van deductief-nomologische verklaringen die niet causaal zijn, namelijk verklaringen van *simultane verbanden* (gelijktijdige verandering) of van *algemene feiten* (geen gebeurtenis). Deze twee varianten voldoen niet aan voorwaarde 1 van Hume. De DNTV, BSAW en RAC zijn complementair en vormen samen een mooi systeem van verklaringen, maar ook zij hebben hun problemen.

Naast idealisatie is de DNTV soms ook te permissief, er zijn argumenten die voldoen aan de voorwaarden voor verklaringen, maar dat intuïtief niet zijn. Er zijn twee problemen.

Het eerste probleem is het *probleem van symmetrie*: D-N verklaringen zijn vaak symmetrisch, in de zin dat het explanans en explanandum omgewisseld kunnen worden en de verklaring nog steeds geldig is. Dit is mogelijk bij vergelijkingen (identiteitsuitpraken). Vaak gaat het echter ook om het verschil tussen verklaren en voorspellen: een stijging in temperatuur verklaart de stijging van de kwik in de thermometer, andersom geeft de thermometer geen verklaring voor de temperatuurstijging, slechts een voorspelling.

Het tweede probleem is het *probleem van irrelevantie*: men kan op basis van irrelevante empirische generalisaties toch een correct argument opstellen, maar dat maakt het nog geen verklaring. Bijvoorbeeld: "Geen man die anticonceptiepillen neemt, wordt zwanger".

Een poging om het probleem van irrelevantie op te lossen is de volgende:

(DEF) **Probabilistische relevantie:** Zin θ is probabilistisch relevant voor zin ϕ relatief ten opzichte van zin ψ als en slechts als $\Pr(\phi | (\psi \wedge \theta)) \neq \Pr(\phi | \psi)$.

Het probleem van symmetrie wordt echter niet opgelost, want probabilistische relevantie is ook symmetrisch. Veel filosofen menen echter dat het symmetrieprobleem opgelost kan worden door beroep te doen op de notie van causaliteit. Causaliteit is vaak namelijk asymmetrisch (zowel qua veroorzakingsrichting en temporele prioriteit), en men kan dan stellen: deze universele generalisatie is irrelevant omdat ze factoren aanhaalt die geen causale impact hebben. Maar deze uitspraak geldt niet altijd; er zijn nog steeds irrelevante universele generalisaties mogelijk die nog steeds een regulariteit zijn. Het uitblijven van zwangerschap bij mannen die anticonceptiepillen slikken is hier een voorbeeld van. Het probleem van irrelevantie is dus nog niet opgelost.

Hume heeft echter nog een andere theorie van causaliteit die wellicht soelaas zal bieden. Het onderscheid tussen twee soorten voorwaardelijke zinnen, indicatief en tegenfeitelijk, is hiervoor relevant. *Indicatieve* voorwaardelijke zinnen hebben de volgende vorm: ‘als x het geval is, dan is y het geval’. *Tegenfeitelijke* voorwaardelijke zinnen hebben echter deze vorm: ‘als x het geval was geweest, dan zou y het geval geweest zijn’. Lewis heeft de tegenfeitelijke analyse van causaliteit uitgewerkt, en die gaat als volgt:

(THEORIE) **Causale afhankelijkheid:** Wanneer C en E twee verschillende gebeurtenissen zijn, dan is E causaal afhankelijk van C asa:

1. Als C voorgevallen was, dan zou E ook voorgevallen zijn;
2. Als C niet voorgevallen was, dan zou ook E niet voorgevallen zijn.

Het probleem van symmetrie wordt wederom opgelost, want Lewis stelt dat tegenfeitelijke zinnen *non-backtracking* zijn, wat inhoudt dat als we willen nagaan of zo’n zin waar is, we moeten voorstellen dat het verleden tot het antecedent ongewijzigd blijft en dat er dan iets tegenfeitelijks gebeurt waardoor het antecedent waar wordt. Dit werkt dus alleen in de natuurlijke richting van de tijd. Interessanter nog, het probleem van irrelevantie wordt ook opgelost. Een zin is irrelevant als hij niet causaal afhankelijk is, en dus minstens één van de twee voorwaarden onwaar is. Als men dit test op het eerder gebruikte voorbeeld van de mannelijke zwangerschap, blijkt dit te gelden.

Beste verklaringen

Nu we wat inzicht hebben in het debat omtrent de definitie van een verklaring, kunnen we ons nu gaan bezighouden met hoe men een verklaring behoort te beoordelen. Kuhn stelde een lijst op van 5 theoretische deugden waaraan men theorieën kan beoordelen, we zullen hieruit vertrekken en elke deugd hieronder kort bespreken. Deze deugden zijn ook toepasbaar op verklaringen.

Empirische accuraatheid kan men toeschrijven aan een theorie asa, de logische implicaties van de theorie in overeenstemming zijn met de reeds uitgevoerde experimenten en reeds gedane observaties.

Voor *eenvoud* zijn meerdere criteria mogelijk. Aristoteles stelde dat een deductieve afleiding van een conclusie die vertrekt uit minder premissen superieur is dan een afleiding met dezelfde conclusie, maar meer premissen. ‘Het scheermes van Ockham’ is een ander voorbeeld: men moet het aantal gepostuleerde entiteiten niet zonder noodzaak vermenigvuldigen; Newton zal dit beamen.

De *reikwijdte* van een theorie wordt bepaald door de hoeveelheid van feiten die met de theorie verklaard kunnen worden. Grotere reikwijdte is hier uiteraard beter.

De *vruchtbaarheid* van een theorie wordt gemeten in termen van de hoeveelheid nieuwe feiten die de theorie voorspelt.

De *interne consistentie* gaat over de logische consistentie van de theorie zelf, terwijl *externe consistentie* de logische consistentie met andere theorieën betreft.

Kuhn identificeert zelf enkele problemen met zijn deugden: de criteria zijn enigszins vaag en daardoor is het moeilijk om een eenduidige score te bepalen, maar zelfs als men dat kon dan zou men nog steeds geconfronteerd worden met het probleem van vergelijking: welk criterium is het belangrijkste? Wat geeft de doorslag in de keuze van een theorie? Kuhn zegt zelf dat empirische

accuraatheid het zwaarste zou moeten wegen, maar andere wetenschappelijke stromingen zouden hier een andere mening over kunnen hebben.

Abductie, deductie en waarschijnlijkheid

Laten we reflecteren op de initiële karakterisatie van abductie, gegeven in H2. Er wordt gesproken dat een abductieve inferentie leidt naar de waarheid van de beste verklaring, maar dit is deductief vreemd gezien waarheid een absoluut gegeven is. Het is dan beter om, net als bij inductie, te spreken over waarschijnlijkheid.

(I.K. 2) **Abductie:** Gegeven een aantal premissen en alternatieve verklaringen V_1, \dots, V_n voor de (hypothetische) waarheden uitgedrukt in de premissen, concludeer dat de verklaring V_i (met $1 \leq i \leq n$) die de beste verklaring biedt voor de (hypothetische) waarheden uitgedrukt in de premissen zelf *waarschijnlijk* waar is.

Het probleem met deze karakterisatie is echter dat we niet spreken over **alle** verklaringen en het dus perfect mogelijk is dat er geen goede verklaring in de selectie zit, waardoor we niet kunnen concluderen dat de conclusie (waarschijnlijk) waar is. We kunnen dit oplossen door uit te gaan van alle verklaringen, maar dat is onrealistisch, wat leidt tot de volgende aanpassing:

(KARAKTERISERING) **Abductie:** Gegeven een aantal premissen en alternatieve verklaringen V_1, \dots, V_n voor de (hypothetische) waarheden uitgedrukt in de premissen, concludeer dat de verklaring V_i (met $1 \leq i \leq n$) die de beste verklaring biedt voor de (hypothetische) waarheden uitgedrukt in de premissen zelf *meer waarschijnlijk* is dan de andere V_j (met $1 \leq j \leq n$).

Dit lost het probleem van absolute waarheid op, gezien de waardering van verklaringen nu relatief aan de selectie gebeurt. De vraag rest nog waar waarom een meer waarschijnlijke abductieve inferentie een goede inferentie is. En hoe bepalen we dit? Via Bayes kunnen we dit als volgt doen: Om de waarschijnlijkheid van een hypothese H gegeven empirisch bewijsmateriaal E ($\Pr(H|E)$) te bepalen moet met $\Pr(H)$, de initiële waarschijnlijkheid van H weten, en de *likelihood*, $\Pr(E|H)$. Men kan verschillende waarden aan de twee voorwaardelijke kansen geven, maar dit is tot een bepaalde hoogte arbitrair. Men kan bijvoorbeeld aan eenvoudige verklaringen een hogere initiële waarschijnlijkheid toewijzen, maar ook dit hangt aan de aanname dat het universum eenvoudig is. Is dat gegron?

H6. Wat is wetenschap?

(I.K.) **Pseudowetenschap:** Een theorie is pseudowetenschappelijk asa:

1. Het een niet-wetenschappelijke theorie is,
 2. En door voorstanders als een wetenschappelijke theorie gepresenteerd wordt.
-

Een *demarcatiecriterium* is een noodzakelijke en voldoende voorwaarde om een theorie wetenschappelijk te maken. Er bestaan enkelvoudige en meervoudige varianten. Het bekendste enkelvoudige falsifieerbaarheids criterium van Popper.

(THEORIE) **Falsifieerbaarheids criterium:** Een theorie is wetenschappelijk asa ze falsifieerbaar is (d.w.z. dat er een eindige, consistente verzameling van observatiezinnen is die inconsistent is met de theorie).

Deze theorie is gebaseerd op Popper's negatieve waarderingen van Freud en Marx, wiens theorieën geen inconsistente waarnemingen toelaten. De fundamentele principes van Freud's theorie waren te algemeen of te vaag, en bij Marx werd falsifieerbaarheid tegengewerkt door middel van ad hoc hypothesen. Ofwel: consistentie met alle mogelijke observaties is geen deugd, maar consistentie met alle actuele observaties wel.

Ter evaluatie van Poppers' demarcatiecriterium kunnen we twee vragen stellen. De eerste: zijn er onfalsifieerbare wetenschappelijke theorieën? Het Quine-Dunham probleem is hier relevant: hulphypothesen moeten dienen om een hypothese testbaar te maken en niet om de theorie af te schermen tegen falsificatie. In geval een negatieve uitkomst van een empirisch onderzoek moeten niet zomaar de (ad hoc) hulphypothesen de schuld krijgen, maar moet er vooraf bepaald worden wat het kritieke punt in de theorie zou kunnen zijn.

Lakatos merkte echter op dat het soms waardevol kan zijn om een theorie enigszins af te schermen voor falsificatie, en niet meteen de prullenbak in te gooien, zolang er nog geen betere theorie gevonden is. Hij kiest voor selectie op basis van relatieve falsifieerbaarheid (hoe meer, hoe beter).

De tweede vraag is: zijn er falsifieerbare niet-wetenschappelijke theorieën? Het antwoord is ja. Astrologie is een voorbeeld, en veel uitspraken die aangenomen worden op basis van bijgeloof zijn zeker te weerleggen op basis van tegenstrijdige observaties (bv. "wie de ander niet aankijkt bij het proosten zal zeven jaar slechte seks ervaren"). Aanhangers van Popper hebben ook benadrukt dat het ook belangrijk is of men de theorie actief probeert te weerleggen en of men weerleggingen zou accepteren.

Het is dus nodig om aanvullende demarcatiecriteria op te stellen. Een voorbeeld hiervan zijn de kenmerken van de wetenschap, opgesteld door Ruse:

(THEORIE) Belangrijkste kenmerken van de wetenschap - Ruse:

1. Wetenschap zoekt naar *wetten* (regelmatigheden zonder uitzonderingen).
 2. Een substantieel deel van de *wetenschappelijke praktijk* bestaat uit (1) het verklaren van empirische gegevens op basis van wetten en, (2) het voorspellen van empirische fenomenen op basis van wetten.
 3. Wetenschappelijke theorieën moeten *toetsbaar* zijn: het moet mogelijk zijn om er een voorspelling uit af te leiden en die voorspelling moet confirmeerbaar of falsifieerbaar zijn.
 4. Wetenschap is *tentatief*: wetenschappers moeten uiteindelijk bereid zijn om een theorie te verwerpen op basis van empirische vaststellingen, hoewel men dat niet onmiddellijk moet doen.
 5. Wetenschappers moeten *integer* of intellectueel eerlijk zijn.
-

De kenmerken moeten volgens Ruse niet opgevat worden als individueel noodzakelijke en gezamenlijk voldoende voorwaarden. Indien echter een theorie en haar aanhangers aan geen enkele van die kenmerken voldoet, gaat het zeker niet om een wetenschap.

H7. Wetenschappelijk realisme

Wetenschappelijk realisme en antirealisme

Wetenschappelijke theorieën postuleren het bestaan van allerlei onobserveerbare entiteiten en eigenschappen (naast observeerbare entiteiten). Twee stromingen, het realisme en antirealisme, nemen verschillende standpunten in over onobserveerbare entiteiten en eigenschappen.

(KARAKTERISERING) Wetenschappelijk realisme: Het doel van wetenschappelijke theorieën is:

1. Om te stellen wat er bestaat (incl. Onobserveerbare entiteiten en eigenschappen),
 2. En ware uitspraken te doen over wat er bestaat (incl. De onobserveerbare realiteit).
-

Realisten zullen ook stellen dat hun theorieën en anthologieën **bij benadering** waar zijn (en dit houdt dus niet in dat het doel volledig bereikt moet zijn).

(KARAKTERISERING) Agnostisch antirealisme:

1. Over onobserveerbare entiteiten en eigenschappen moeten we agnostisch blijven, d.w.z. dat we noch weten of ze bestaan noch dat ze niet bestaan.
2. Over de waarheidswaarde van uitspraken over de onobserveerbare realiteit moeten we agnostisch blijven, d.w.z. dat we noch weten of ze waar zijn noch of ze onwaar zijn.

Het antirealisme spreekt niet over waarheid, slechts over *empirische adequaatheid*. Hoe meer de theorie overeenstemt met de waarnemingen, hoe beter de theorie.

Het antirealisme hangt enerzijds samen met het *instrumentalisme*, waar gesteld wordt dat postulaten met betrekking tot het bestaan van bepaalde onobserveerbare entiteiten en eigenschappen en de hypothesen daaromtrent niet meer zijn dan handige instrumenten om tot ware uitspraken te komen. Anderzijds hangt het samen met het empirisme: omdat de zintuiglijke waarneming is, dan vallen kenbaarheid en observeerbaarheid samen, en is het niet mogelijk om de waarheidswaarde van onobserveerbare entiteiten en eigenschappen te bepalen.

Onobserveerbaarheid

Volgens Maxwell is het moeilijk om een strikt onderscheid te maken tussen observeerbaarheid en detecteerbaarheid (=observatie van effecten via instrumenten).

Ten eerste, er lijken veel tussengevallen te zijn. Wat is bijvoorbeeld het verschil tussen door een bril naar iets kijken en door een raam? Van Fraassen, een antirealist, reageerde door erop te wijzen dat, ondanks het vage onderscheid, er wel duidelijke gevallen van enerzijds observatie en anderzijds detectie zijn. Wat moeilijke overganggevallen betreft, zijn er ook entiteiten die deels observeerbaar en deels detecteerbaar zijn. Onder welke categorie moeten we deze dan scharen?

Ten tweede, de grens is afhankelijk van onze fysiologische capaciteiten die ook veranderbaar zijn (bv. lasercorrectie of mutatie) en persoonsafhankelijk.

Vervolgens duidt Maxwell het onderscheid ook als onbelangrijk. Het focust te veel op de (hedendaagse) mens, terwijl de mens met zijn fysiologische capaciteiten en beperkingen in het licht van de kosmos en de geschiedenis geen bijzondere plaats inneemt.

Waarheidsbenadering

Wat betekent het om de waarheid te benaderen? Niemand in de wetenschap (zowel realisten als antirealisten) denkt tenslotte dat zelfs onze beste theorieën absoluut waar zijn. Popper heeft hier een theorie voor geformuleerd, op basis van de relatie van deelverzameling-zijn:

(THEORIE) **Waarheidsbenadering volgens Popper:** Theorie A is dichter bij de waarheid dan theorie B als:

1. $B_T \subset^* A_T$ en $A_F \subseteq^{**} B_F$; of
2. $A_F \subset B_F$ en $B_T \subseteq A_T$.

*= strikte deelverzameling, $A \neq B \wedge A \neq \emptyset$, dus A heeft minder elementen dan B

**= willekeurige deelverzameling, dus ook mogelijk dat elk element van B ook in A zit ($A=B$)

In woorden uitgedrukt, A benadert de waarheid meer dan B als:

1. Er minder of net zoveel waarheden in B zitten als in A, en er **strikt** minder onwaarheden zitten in A zitten dan in B; of
2. Er minder of net zoveel onwaarheden in B zitten als in A, en er **strikt** minder waarheden zitten in B dan in A.

Er is echter een belangrijk probleem met de theorie van Popper. Dit is een zeer technisch probleem, waar aangetoond wordt dat als men twee willekeurige onware theorieën neemt, waarvan de één meer waarheden bevat dan de ander, door logische gevolgtrekking de twee voorwaarden niet vervuld kunnen worden (omdat de strikte deelverzamelingen doorbroken worden). Het is aan te tonen dat $A_F \subseteq B_F$ en $B_T \subseteq A_T$. Dit is gebaseerd op de vooronderstelling dat een theorie een verzameling zinnen is die gesloten is onder logische gevolgtrekking (d.w.z., elke zin die logisch volgt uit de theorie behoort ook tot de theorie). Voor de gehele afleiding, zie sectie 7.3 in de cursus.

Mirakels en mislukkingen

Een sterk argument **vóór** het wetenschappelijk realisme is het (abductieve) ‘*geen mirakelen*’-argument. Het argument kan als volgt samengevat worden:

1. Veel wetenschappelijke theorieën die het bestaan van onobserveerbare entiteiten en eigenschappen postulieren en daaromtrent uitspraken doen, zijn empirisch succesvol.
2. Diezelfde theorieën hebben veel technologische toepassingen.
3. Een zeer goede verklaring voor het empirische succes en de technologische toepasbaarheid is dat de theorieën bij benadering waar zijn en dat de gepostuleerde anthologieën bij benadering correct zijn.
4. Een verklaring die stelt dat theorieën empirisch succesvol en technologisch toepasbaar zijn zonder bij benadering waar te zijn en zonder een bij benadering correcte ontologie te hebben, zijn miraculeus.
5. Dus (naar gevolg van de afleiding tot beste verklaring) is het waarschijnlijk waar dat theorieën bij benadering waar zijn en hun anthologieën bij benadering correct zijn.

Sidetrack: er bestaat ook een probabilistische versie van het ‘geen mirakelen’-argument, gezien de conclusie van *waarschijnlijke* waarheden van theorieën:

1. $\Pr(\text{Sh}) \gg 0$
2. $\Pr(\text{Sh}|\text{Th}) \gg 0$
3. $\Pr(\text{Sh}|\neg\text{Th}) \ll 1$
4. $(\Pr(\text{Th}) \gg 0)$
5. Dus $\Pr(\text{Th}|\text{Sh}) \gg 0$

Sh = ‘theorie h is succesvol’, Th = ‘theorie h is (bij benadering) waar’, \gg/\ll = ‘is veel groter/kleiner dan’.

Reacties van antirealisten:

- * Pragmatisch succes van een theorie impliceert niet dat een verklaring waar is
- * Empirische adequaatheid is de enige niet-pragmatische deugd van een theorie, de rest dat wel (en wordt gebruikt om het **nut** van een theorie te bepalen).

Antirealisten kijken vaak ook kritisch naar de vierde premisse van het argument. Hun bedenkingen zijn gebaseerd op het *meta-inductie argument*:

1. Historisch gezien waren er veel wetenschappelijke theorieën die onobserveerbare entiteiten en eigenschappen postuleerden en die empirisch succesvol waren.
2. Niettemin bleken de anthologieën van die theorieën foutief te zijn.
3. Dus het is waarschijnlijk dat theorieën onwaar zijn zelfs als ze empirisch succesvol zijn.

Als men kijkt naar de geschiedenis, is hun standpunt helemaal niet zo miraculeus en komt het zelfs regelmatig voor.

Twee reacties van realisten op het meta-inductie argument: (1) verfijnen van notie van empirisch succes en inperking van klasse van relevante theorieën (bv. alleen nieuwe voorspellingen, gefocust op ongeaccepteerde feiten); (2) alleen theorieën uit mature wetenschap beschouwen, niet uit de prille wetenschap.

Onderdeterminatie

(DEF) **Onderdeterminatie:** Een hypothese wordt ondergedetermineerd door een consistente verzameling van observatiezinnen asa er minstens één andere hypothese is die logisch inconsistent is met de gegeven hypothese maar die net als de gegeven hypothese consistent is met de observatiezinnen.

Onderdeterminatie vormt de basis voor een groep van belangrijke argumenten voor het antirealisme. Men kan een onderscheid maken tussen enerzijds *zwakke* onderdeterminatie, waar twee onderlinge inconsistente hypothesen consistent zijn met alle observatierapporten tot nu toe, en anderzijds *sterke* onderdeterminatie, als de onderling inconsistente hypothesen zelfs consistent zijn met alle observatierapporten die zullen of kunnen hebben.

Het argument uit zwakke onderdeterminatie (ZO) gaat als volgt:

1. Elke wetenschappelijke theorie die onobserveerbare entiteiten en/of eigenschappen postuleert, is zwak ondergedetermineerd. Dus er bestaat een alternatieve wetenschappelijke theorie die zwak empirisch equivalent is, d.w.z. dat de voorspellingen tot nu toe even goed zijn en dat ze alle empirische vaststellingen tot nu toe ook kan verklaren.
2. Er is geen reden om de voorkeur te geven aan de ene theorie over de andere indien beide theorieën zwak empirisch equivalent zijn.
3. Daarom weten we niet of de gegeven theorie waar is en of haar ontologie juist is.

Het argument uit sterke onderdeterminatie (SO) verschilt slechts in de eerste premisse (en vervang het woordje 'zwak' in de tweede:

1. ... is sterk ondergedetermineerd. Dus er bestaat een alternatieve wetenschappelijke theorie die sterk empirisch equivalent is, d.w.z. dat er geen enkele observatie is die consistent is met de ene theorie maar inconsistent met de andere theorie, of, met andere woorden, dat ze dezelfde empirische gevolgtrekkingen hebben.

Om de argumenten te vergelijken introduceren we de volgende terminologie:

(DEF) **Logisch sterkere zin:** Neem twee zinnen A en B. Indien B logisch volgt uit A maar niet omgekeerd, dan is A logisch sterker dan B.

Als we dit toepassen op de argumenten, zien we:

- * De 1^e premisse van het SO-argument is logisch sterker dan die van het ZO-argument.
- * De 2^e premisse van het ZO-argument is logisch sterker dan die van het SO-argument.

Een logisch sterker argument vereist meer rechtvaardiging. Gezien de sterkte van de premissen gemiddeld gelijk is, is het ene argument niet overtuigender dan de ander.

Als men in het geval van zwakke onderdeterminatie geen rationele basis voor theoriekeuze heeft, leidt dit tot scepticisme. In het geval van meerdere hypotheses die afgeleid kunnen worden uit dezelfde observaties, is er geen reden om een onderscheid te maken tussen verschillende hypotheses, die weliswaar allemaal niet geobserveerd maar wel observeerbaar zijn. Het probleem van inductie is een vorm van het probleem van zwakke onderdeterminatie. Ook sterke onderdeterminatie kan leiden tot scepticisme, denk aan Descartes: "het zou **kunnen** dat een malin genie onze perceptie en cognitie manipuleert".

De realist die probeert om de argumenten te weerleggen, richt zijn pijlers op de tweede premisse van beide argumenten (met name SO). Zie dit trucje om een zwakke/sterke empirische rivaal te definiëren:

- * Laat T' de theorie zijn die stelt dat alle (1) *geobserveerde* (ZO)/ (2) *observeerbare* (SO) consequenties van T waar zijn in combinatie met de stelling dat geen enkel van de onobserveerbare entiteiten gepostuleerd door T bestaan.

De realist zal zeggen dat T'₁ een kleinere empirische inhoud (= moeilijker te falsifiëren) heeft dan T, en dat T'₁ en T'₂ geen goede verklaring bieden omdat het geen echt *systematische* theorieën zijn. Zij pleiten voor eenvoudige theorieën met externe coherentie, omdat daar beter mee te werken valt dan met sceptische, incompatibele theorieën.

Excursus: wetenschappelijke evolutie

Popper: een kritisch perspectief op de wetenschap

De logisch empiristen stellen bij reflectie op de wetenschap vaak de vraag: Welke redenen hebben we om te geloven in de waarheid van een wetenschappelijke theorie? Popper wilt dit rechtvaardigheidsperspectief vervangen door een kritisch perspectief. Wetenschappelijke wetmatigheden zijn volgens hem algemene uitspraken [$\forall x(\varphi(x) \rightarrow \psi(x))$] die reiken over een potentieel oneindige hoeveelheid objecten, terwijl we slechts een eindig aantal waarnemingen kunnen doen.

Hypothesen kunnen volgens hem geen waarschijnlijkheid hebben, alleen gebeurtenissen hebben dat. Geen enkele eindige hoeveelheid observaties kunnen een waarneming confirmeren, echter kan één waarneming een hypothese wel falsifiëren.

Twee complicaties:

1. Theorie-geladen observaties: als alle observaties doordrongen zijn van theorie, is het falsificatieproces in de praktijk niet onfeilbaar (want de theorie kan onjuist zijn).
2. Quine/Dunham these: om empirische predicties af te leiden uit hypothesen en beschrijvingen van initiële voorwaarden heb je hulphypothesen nodig. Wanneer we dan in tegenspraak komen met onze observaties, is het niet duidelijk of de schuld ligt bij de hoofdhypothese of hulphypothesen.
3. Statistische hypothesen lijken onfalsificeerbaar, want elke eindige rij observaties is compatibel met elke hypothese.

Repliek van Popper op complicaties:

1. De observatierapporten, omdat ze zelf van theorie doordrongen kunnen worden, kunnen zelf ook aan kritiek onderworpen worden. Dit brengt wel met zich mee dat falsificatie een potentieel oneindig proces is.
2. Hulphypothesen moeten tot doel hebben om hypothesen en theorieën testbaar te maken, niet om wetenschappelijke theorieën tegen mogelijke disconfirmatie te beschermen. Indien er dan alsnog een conflict optreedt met de observaties, dan moet de hoofdhypothese verworpen worden.
3. Hoewel elke eindige rij observaties compatibel is, betekent dit niet dat elke rij even waarschijnlijk is, gegeven de waarheid van de statistische hypothese. Als men in gerepliceerd onderzoek systematische afwijkingen van de voorspelde waarschijnlijkheid worden gevonden, dan kan men de empirische hypothese verwerpen.

Popper introduceert de notie van *corroboratie*, welke de weerbarstigheid van een theorie tegen weerleggingspogingen tot nu toe meet. Dit zegt echter niets over het resultaat van toekomstige weerleggingspogingen.

De wetenschap moet volgens Popper als volgt te werk gaan. Eerst zoekt men naar een *tentatieve hypothese*, een voorlopige verklaring voor een probleem. Deze hypothese dient *empirisch riskant* te zijn, wat betekent dat ze naast het probleem zo veel mogelijk andere empirische fenomenen moet pogen te voorspellen. Vervolgens moeten de wetenschappers de hypothese aan zo streng mogelijke toetsen onderwerpen die de grenzen van het onwaarschijnlijke gaan opzoeken (i.p.v. bevestigen van de waarschijnlijke uitkomst). Als de hypothese de test doorstaat, krijgt ze een bepaalde mate van corroboratie. Als de theorie (later) weerlegd wordt, hebben we een nieuwe probleemsituatie, waar men gaat zoeken naar een nieuwe, betere theorie die de empirische successen van de oude theorie moet incorporeren. Zo begint de cyclus weer opnieuw.

Het vinden van een theorie is een zaak van 'trial and error'; er is geen vooraf bepaald algoritme voor, maar toch is het een uiterst rationele, logische bezigheid. Daartegenover staat dat de evolutie van empirische theorieën geen continu of cumulatief proces is. Geen enkele theorie is veilig en kan op elk moment volledig vervangen worden door een andere. Er is wel sprake van wetenschappelijke vooruitgang, want latere theorieën zullen wel een hoger waarheidsgehalte hebben, en de waarheid steeds dichterbij benaderen.

Enkele kritische kanttekeningen:

- * Zijn wetenschappelijke hypothesen wel altijd universele, algemene uitspraken? Er zijn bijvoorbeeld ook existentiële uitspraken, en combinaties van (geneste) kwantoren mogelijk. In het eerste geval is verificatie bijvoorbeeld wel mogelijk, en in het tweede geval is het noch mogelijk om zulke uitspraken te verifiëren noch falsifiëren.
- * [ad-hoc hypothesen] (zie H3)
- * [pseudo-wetenschap] (zie H6)

- * Popper's notie van corroboratie kan de betrouwbaarheid van een theorie niet verklaren, gezien het ons niet toestaat om vertrouwen te hebben in toekomstige voorspelingen van de desbetreffende theorie. Corroboratie is immers slechts gericht op het verleden.

Kuhn: een descriptief perspectief op de wetenschap

Kuhn biedt een historisch perspectief op de evolutie van de wetenschappen; meer beschrijvend, minder normatief, gebaseerd op wetenschapshistorisch onderzoek.

Volgens Kuhn spelen *modelprestaties* een centrale rol in de evolutie van de wetenschap. Een prestatie kan zo gekarakteriseerd worden als het voldoet aan de volgende voorwaarden: (i) spectaculariteit, (ii) plasticiteit (=kneedbaarheid) en flexibiliteit (uitbreidbaar naar zoveel mogelijk klassen van problemen) en (iii) ze vormen de basis bij de training van nieuwe studenten in het onderzoeksdomein.

Ter uitdieping van de derde voorwaarde: een student leert een theorie niet beheersen door het aanleren van een reeks expliciete regels, maar door een gedeeltelijk onbewust proces van interiorisering van heuristische regels en probleemoplossingsstrategieën. Het is niet eens nodig om de theorieën te kunnen expliciteren. Het gaat hier dus om grotendeels impliciete kennis.

De normale wetenschapspraktijk, een systematische benadering van open problemen, wordt mogelijk gemaakt door het plastische karakter van modelprestaties. Dit gebeurt door de bestaande modelprestaties toe te passen op andere problemen uit het onderzoeksgebied. Deze praktijk noemt Kuhn een *paradigma*. De wetenschapper is vanaf zijn opleiding ondergedompeld in het paradigma en kan er geen afstand van nemen; het is als een bril waardoor men naar het onderzoeksdomein kijkt. Het is dus ook moeilijk om het paradigma te bekritisieren, maar aan de andere kant creëert het ook sociale cohesie en eensgezindheid. Het grondslagenonderzoek zal ook eerder de vorm aannemen van het uitklaren van basisconcepten dan het scherp bekritisieren ervan.

Wetenschappen waarin nog nooit een modelprestatie heeft bestaan, noemt Kuhn *pre-paradigmatische wetenschappen*. Dit type van wetenschap dient nochtans als volwaardige wetenschap te worden beschouwd, maar verschilt structureel van paradigmatische wetenschappen. Er zal meer sprake zijn van schoolvorming (minder cohesie en eensgezindheid), men zal het niet eens zijn over de onderzoeksmethoden en objecten en er zal een ruimere plaats zijn voor grondslagenonderzoek.

Naarmate een paradigma verder wordt uitgediept en uitgebreid, worden de verwachtingen waaraan probleemoplossingen moeten voldoen steeds preciezer en vorder weerbarstige problemen steeds gemakkelijker identificeerbaar. Deze problemen noemt Kuhn *anomalieën*, welke niet alleen van empirische, maar ook van conceptuele aard kunnen zijn. Zodra duidelijk wordt dat meerdere anomalieën niet binnen het huidige paradigma opgelost kunnen worden, zullen onderzoekers gebruik maken van radicaal vernieuwende onderzoeksmethoden (afwijkend van het theoretische begrippenapparaat van het paradigma) om deze anomalieën op te lossen. Dit gaat gepaard met hevig verzet van de voorstanders van het paradigma (de oude generatie van gevestigde wetenschappers).

Wanneer het heersende paradigma wordt uitgedaagd volgt een periode van crisis, vergelijkbaar met het pre-paradigmatische stadium. In deze periode is het niet mogelijk om een rationele discussie te voeren om potentiële nieuwe paradigma's te vergelijken, omdat dit een onderliggend, bestaand paradigma veronderstelt. In de strijd om het nieuwe heersende wereldbeeld van het onderzoeksdomein te zijn, spelen naast rationele ook sociale, retorische en economische factoren een rol.

Na de periode van crisis zijn er twee mogelijke uitkomsten: of het heersende paradigma slaagt erin om de anomalieën te incorporeren, of een nieuwe onderzoekslijn slaagt erin om (grotendeels) de reikwijdte van problemen van het oude paradigma te verklaren, alsmede de anomalieën. In het tweede geval zal de nieuwe onderzoekslijn het nieuwe heersende paradigma worden. Men spreekt dan van een wetenschappelijke revolutie, waarna men als gevolg alle literatuur die voorheen als waar geacht werd zal moeten gaan herschrijven, om als het ware het oude paradigma in het geheugen van de wetenschappers te vervangen door het nieuwe paradigma. Dit is ook een van de redenen waarom natuurwetenschappers vaak weinig besef hebben van de geschiedenis van hun onderzoeksdiscipline.

Periodes van crisis en de heerschappij van een (beter) paradigma blijven elkaar opvolgen, waardoor men kan spreken van de wetenschap als een cumulatieve praktijk. Kuhn zal echter zeggen dat men niet van vooruitgang in de wetenschap kan spreken omdat elkaar opvolgende paradigma's door hun compleet verschillende begrippenapparaat onvergelijkbaar zijn. Een later paradigma is ook zeker

niet reduceerbaar tot het vroegere paradigma, omdat de begrippen radicale betekenisveranderingen hebben ondergaan. Kuhn lijkt hier een relativistische positie te verdedigen, omdat elk paradigma zijn eigen 'waarheid' lijkt te hebben, maar zelf heeft hij hier afstand van genomen.

Twee kleine kritieken op Kuhn zijn de volgende:

- * Nieuwe technologische ontwikkelingen kunnen ook een rol spelen in het doorbreken van een nieuw paradigma.
- * Er kan ook pluralisme bestaan in de wetenschap, wanneer een periode van crisis uitmondt in de splitsing van een wetenschap in deeldomeinen.

Module 2: Zijn biologische soorten natuurlijke soorten?

Een diersoort is een voorbeeld van een onobserveerbare entiteit die in de wetenschap zeer relevant is. Men kan zich de filosofische vraag stellen of de soorten die in de biologie vastgelegd zijn ook daadwerkelijk natuurlijke soorten zijn, d.w.z., of de indeling in soorten samenvalt met de natuurlijke indeling van organismen.

Als we bepaalde dingen indelen, gebeurt dat tot op een zekere hoogte op een arbitraire wijze (bv. als ik alle metalen dingen op mijn bureau in een categorie indeel, wat duidelijk geen natuurlijke indeling is). Biologische soorten lijken dit wel te zijn. Een *natuurlijke soort* wordt gedefinieerd als een groepering van organismen, waarbij de groepering niet arbitrair of antropocentrisch is, maar gebaseerd op objectieve eigenschappen. Deze eigenschappen zijn elk noodzakelijk en samen voldoende om tot een bepaalde soort te behoren.

Plato stelde de filosofische vraag van de natuurlijke soorten als eerst aan de orde. In zijn ogen zijn een aantal van dergelijke groeperingen inderdaad natuurlijk, en het is de taak van de wetenschapper/filosoof om definities te ontwerpen die de natuurlijke indelingen vatten. De eenheid van een soort ontstond volgens hem door een participatie van de particuliere organismen in een eeuwige essentie of vorm (de soort), en dat deze vorm ongewijzigd en eeuwig bestonden. Deze opvatting is inmiddels weerlegd door Darwin, die aantoonde dat soorten wel veranderlijk waren. Darwin maakt naast het bovennatuurlijke karakter, ook korte metten met het bestaan van natuurlijke soorten. Natuurlijke selectie werkt namelijk op basis van *individuele variatie*, wat variatie binnen een populatie vergelijkbare organismen is, die na meerdere generaties kan resulteren in grote verschillen tussen (voormalig vergelijkbare) populaties. Dit hele proces is gradueel, dus er is niet een expliciet moment dat men kan zeggen dat er een overgang plaatsvindt van individuele variatie naar een soort.

Andere wetenschappers zijn er wel van overtuigd dat soorten, ondanks de evolutietheorie, wel degelijk kunnen bestaan. Maar hoe bestaan soorten dan wel?

De beschrijving van soorten is meestal gericht op de afbakening van sterk gelijkende soorten. Maar 'gelijkenis' of 'verschil' zijn volgens de meeste filosofen moeilijk objectiveerbaar op een manier die het soortendebat op een bevredigende wijze zou oplossen. Twee moeilijkheden:

1. Er zijn maar weinig individuen van een soort absoluut identiek
2. De eigenschappen die ervoor zorgen dat we soort X als X determineren en niet Y, zijn zelden essentiële eigenschappen (er zijn altijd afwijkende instanties van een soort, bv. door mutaties).

Ghiselin en Hull probeerden de soortbepaling door essentie te vervangen door soortbepaling door individuen. Soorten zijn in dat geval geïntegreerde en samenhangende entiteiten met een beperkte tijdsruimtelijke locatie. Het zijn niet de zichtbare of onzichtbare eigenschappen die bepalen of een individu tot een bepaalde soort behoort, maar wel het geïntegreerd zijn in een samenhangend geheel dat zowel tijdelijk als ruimtelijk continu is.

Hier rijst dan wel de vraag: wat constitueert dan de samenhang? Ernst Mayr's *biologische soortconcept* kan hier een verklaring voor bieden. Volgens Mayr behoren individuen tot eenzelfde soort als ze zich met elkaar kunnen voortplanten en vruchtbaar nageslacht kunnen voortbrengen. Het voordeel aan deze verklaring is dat ze geen gebruik maakt van het concept van gelijkenis. Er zijn echter drie grote problemen met deze samenhangsverklaring:

1. Er bestaan organismen die zich niet seksueel voortplanten

2. Er zijn voorbeelden van boomsoorten die met elkaar kruisen maar toch als aparte soorten worden beschouwd
3. Er bestaan zogenaamde ringsoorten, wat een biologische soort is bestaande uit meerdere variëteiten die geografisch een ring vormen, waarbij ten minste twee variëteiten onderling niet meer kunnen voortplanten.

Een alternatief voor het biologisch soortconcept is het *fylogenetisch soortconcept*, waarbij een organisme tot een bepaalde soort behoort als het organisme tot eenzelfde patroon van afstamming en ouderschap behoort als andere organismen die tot de soort worden gerekend. Men kan de soortvorming als een soort vertakking zien vanuit een gemeenschappelijke oorsprong, waar over de tijd steeds meer afsplitsingen ontstaan. Problemen:

1. Wat veroorzaakt een vertakking? Dit leidt wederom tot een arbitrair afsplitsingscriterium.
2. Wat onderscheidt soorten van families en genera? Deze hebben allen immers een gelijke fylogenetische oorsprong.

Waarin bestaat de relevantie van het bestaan van natuurlijke soorten? Veel biologen pleiten dat het wel of niet bestaan ervan weinig verschil zou maken. Voor bepaalde biologische onderzoeksdomein geldt dit ongetwijfeld, zoals celbiologie, maar voor andere disciplines maakt dit wel een verschil. In de conservation biology speelt het concept 'biodiversiteit' een grote rol en is het soortconcept dus van zeer groot belang omdat het aantal soorten afhankelijk ervan is. Het van kracht worden van een bepaald soortconcept heeft bijvoorbeeld onmiddellijk implicaties voor de mate waarin een soort bedreigd is. Er zijn echter geen wetenschappelijke tests voorhanden om te kiezen welke van de soortconcepten het juiste/beste is en dat betekent dat het uiteindelijk een filosofische keuze betreft. Een consistente keuze is echter wel van belang, omdat anders verschillende wetenschappers binnen hetzelfde onderzoeksdomein aan verschillende wetenschap zouden doen en op deze manier de vergelijkbaarheid van resultaten zouden ondermijnen.