


Kontinuiteit en diskontinuiteit in die fisika en biologie

**Author:**Danie F.M. Strauss¹ **Affiliation:**¹Department of Philosophy, North-West University, South Africa**Corresponding author:**Danie Strauss,
dfms@cknet.co.za**Dates:**

Received: 09 Feb. 2017

Accepted: 05 June 2017

Published: 24 July 2017

How to cite this article:Strauss, D.F.M., 2017, 'Kontinuiteit en diskontinuiteit in die fisika en biologie, *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* 36(1), a1438. <https://doi.org/10.4102/satnt.v36i1.1438>**Copyright:**© 2017. The Authors.
Licensee: AOSIS. This work is licensed under the Creative Commons Attribution License.

Hoewel die mening van die klassieke fisici was dat die natuur geen spronge maak nie – dit is kontinu en oneindig verder verdeelbaar – sou die 20ste-eeuse fisici spoedig besef dat daar ondeelbare elementêre deeltjies (kwanta) bestaan en dat die fisiese ruimte nie kontinu en derhalwe ook nie oneindig verder verdeelbaar is nie. Hierdie toedrag van sake word verder belig deur die dualiteit van golf en deeltjies. Selfs vir Einstein was die kontinuïteit van die mikrostruktuur van 'space-time' nog 'n ope vraag. Daarom kan die siening dat fisiese verskynsels letterlik kontinu is, bevraagteken word. Dit is daarom treffend dat die geskiedenis van die nadenke oor die aard van materie sowel tot 'n 'atomisitiese' as 'n 'kontinuiteitsopvatting' gelei het. Getrou aan die moderne nominalisme aanvaar die (neo-) Darwinisme geen universaliteit buite die menslike gees nie. Plante en diere word bloot met behulp van willekeurige name in 'n kontinuum geplaas. Hierdie kontinuïteitspostulaat – bekend as 'gradualisme' – is egter van meet af gekonfronteer deur die dominante stasispatroon van die paleontologiese rekord: 'n tipe verskyn abrupt, bly vir miljoene jare konstant en verdwyn dan ewe abrupt. Gevolglik kan die vermeende 'imperfection' van die paleontologiese rekord bevraagteken word. Prominente biologiese denkers worstel met die probleem van kontinuïteit en diskontinuiteit. Een van hierdie outeurs stel dat die verhale met dieselfde grondleggende valstrik begin en dan voortgaan op 'n soortgelyke foutiewe wyse. Daar word begin met die gevaarlikste mentale valstrik, die verborge aanname wat as vanselfsprekend aanvaar word, indien dit hoegenaamd erken word, naamlik 'n basiese definisie van evolusie as kontinue vloei.

Continuity and discontinuity in physics and biology. Although classical physicists believed that nature does not make leaps – it is continuous and infinitely divisible – 20th century physicists soon realised that there are indivisible elementary particles (quanta) and that physical space is therefore not continuous and also not infinitely divisible. This state of affairs is also underscored by the duality of particle and wave. Even for Einstein the continuity of the microstructure of 'space-time' was still an open question. Therefore considering physical phenomena as literally continuous could be questioned. Moreover it is striking that reflection on the nature of matter gave birth both to an 'atomistic' and a 'continuity' conception. Faithful to modern nominalism (neo-)Darwinism accepts no universality outside the human mind. Plants and animals are simply positioned in a continuum with the aid of arbitrary names. This continuity postulate – known as 'gradualism' – is, nonetheless, confronted from the outset with the dominant stasis pattern of the paleontological record: a type appears abruptly, remains constant for millions of years and then disappears equally abruptly. As a consequence the assumed 'imperfection' of the fossil record could be questioned. Prominent biological thinkers still wrestle with the problem of continuity and discontinuity. One of them explains that these stories begin from the same foundational fallacy and then proceed in an identically erroneous way. They start with the most dangerous of mental traps: a hidden assumption, depicted as self-evident, if recognised at all, namely, a basic definition of evolution as continuous flux.

Oriënterende opmerking

Uit die ontleding van die wisselende rol van diskontinuiteit en kontinuïteit in die (geskiedenis van die) filosofie en die wiskunde het dit geblyk dat getal en ruimte (diskreetheit en kontinuïteit) unieke, maar tegelyk wederkerig samehangende verklaringswyses aan teoretiese denke bied. In hierdie artikel word ewe seer by die stand van sake in die fisika en biologie, asook die geskiedenis van hierdie twee vakwetenskappe, stilgestaan. Die bedoeling is nie alleen om aan te toon dat die aard van kontinuïteit en diskontinuiteit onvermydelik 'n rol in die fisika en biologie as vakwetenskappe vervul nie, maar om ook aan te toon dat die verhouding tussen

Read online:

Scan this QR code with your smart phone or mobile device to read online.

kontinuiteit en diskontinuiteit uiteenlopend beklemtoon word wanneer gelet word op verskillende denkrigtings in hierdie akademiese dissiplines.

Die fisika

Die relasie tussen kontinuiteit en diskontinuiteit (diskreetheid) het nie alleen 'n sleutelrol in die geskiedenis van die filosofie en wiskunde gespeel nie, want dit het ook in die fisika en biologie deurgewerk. Tereg merk Fraenkel et al. (1973) op dat:

[T]hough the arguments have changed, the gap between discrete and continuous is again the weak spot – an eternal point of least resistance and at the same time of overwhelming scientific importance in mathematics, philosophy, and even physics. (pp. 212–213)

Longo (2001) vind hierdie twee tendense ook in die fisika:

Physics is also torn between these two tendencies. [O]n one hand it makes sense to say that every process should be continuous, or even two times differentiable. On the other hand we could affirm that the world is discrete: think about the atoms, the elementary particles, the quanta. Even within quantum mechanics, where we might expect to find only discrete representations, we find the two schools. (p. 19)¹

Leef ons in 'n ruimte-tydkontinuum?

Die algemeen bekende opmerking dat ons in 'n 'space-time continuum' leef, is problematies, want enersyds verwys dit na wiskundige opvattinge oor kontinuiteit en andersyds na die diskrete kant van die fisiese werklikheid. Maddy vermeld hierdie onderskeiding implisiet:

But it is also true that the appearance of, say, a continuous manifold in our best description of space-time does not seem to be regarded as establishing the continuity of space-time; the microstructure of spacetime remains an open question. (Maddy 2005:455 – also note Maddy 1997:143–146)

Sy wys ook daarop dat selfs Einstein 'the inventor of gravitational theory sees no compelling evidence for the continuity of its underlying space-time' (Maddy 1997:151). En op die volgende bladsy skryf sy: '... but I think that what we've seen here is enough to cast serious doubt on the existence of any physical phenomena that are literally continuous'.

Meganistiese reduksie en die moderne fisika

Wanneer Stegmüller 'n blik werp op 2000 jaar se besinning oor die aard van materie, tree daar volgens hom twee kontrasterende grondopvattinge na vore, naamlik die 'atomistiese opvatting' en die 'kontinuum-opvatting' (die 'atomistische Auffassung' en die 'Kontinuumsauffassung') (Stegmüller 1987:91). Waar hierdie opvattinge diskreetheid en kontinuiteit respektiewelik eensydig beklemtoon, sou die moderne ontwikkeling vanaf Newton tot by die

1. Longo verwys na die bespreking van hierdie debat in Salanskisk en Sinaceur (1992). Bykomend merk hy op dat die wiskundige logika simboliese tale met diskrete inferensies eksklusief as die uiteindelike fundering van die wiskunde benut – selfs in die wiskundige analise van die kontinuum.

twintigste-eeuse fisika twee nuwe verklaringsbeginsels ontgin, naamlik *beweging* en *energiewerking*. Planck en Einstein wys egter daarop dat die meganiese natuuropvatting alle natuurprosesse tot *beweging* wou herlei ('alle Vorgänge in der Natur auf Bewegung zurückzuführen') (Planck 1910:53). Hierdie poging om *kontinuiteit* tussen die kinematiese en fisiese aspekte te konstrueer, d.w.s. om die 'gaping' (diskontinuiteit) tussen beide te 'oorbrug', sou egter vasloop in die onomkeerbaarheid van fisiese prosesse, want vanuit 'n kinematiese perspektief gesien, is alle natuurprosesse immers *omkeerbaar*. Einstein wys daarom tereg op die verskil tussen meganiese omkeerbaarheid en termodinamiese onomkeerbaarheid. Wat termodinamies gesien, onomkeerbaar is, is vanuit 'n 'molekulêr meganiese gesigspunt' omkeerbaar. Planck vermeld dat die ontdekking van Boltzmann, naamlik dat entropie ekwivalent aan 'waarskynlikheid' is, tot die insig gelei het dat die verloop van natuurgebeure in termodinamiese sin onomkeerbaar is:

Through this insight he [Planck] recognized the nature of courses of events which, in the sense of thermodynamics, are 'irreversible'. Seen from the molecular-mechanical point of view, however, all courses of events are reversible. (Einstein 1959:43)

Met ander woorde, die onomkeerbaarheid van fisiese gebeurtenisse dui op die *onherleibaarheid* van die fisiese aspek. Ook Foucault wys op die impasse van die klassieke bewegingsreduksie in die fisika: 'When it had at last become clear that it was impossible to fit the entire world into the laws of rectilinear movement ...' (Foucault 2003:139).

Leibniz: *Natura non facit saltus*

Die kontinuiteitsopvatting wat nog in die klassieke bewegingsreduksie aanwesig is, sou veral sedert die ontstaan van die kwantumteorie (Max Planck – 1900) daartoe bydra dat die klassieke opvatting van die *lex continui* van Leibniz – die natuur maak geen spronge nie ['*natura non facit saltus*'] – bevraagteken is. In sy voordrag oor die oneindige² vermeld Hilbert die 'atomistiek' van die materie en die 'atomistiek' van elektrisiteit (atome respektiewelik energiekwanta). Hy stel dat die probleem naamlik is dat:

... 'n homogene kontinuum wat voortgesette verdeling toelaat en sodoende die oneindige in die klein toelaat, nérens in die werklikheid aangetref word nie. Die oneindige deelbaarheid van 'n kontinuum is slegs 'n operasie wat in ons gedagtes voorhande is, slegs 'n idee wat deur ons waarneming van die natuur en die ervaringe van die fisika en chemie weerlê word. (Hilbert 1925:164)

Golf en deeltjie

Natuurlik roep die onderskeiding tussen *golf* en *deeltjie* soortgelyke vrae op, onder meer omdat fisiese entiteite afwisselend as golwe of as deeltjies beskryf kan word. Die ondersoekinge van Born, Jordan en Dirac het aangetoon dat die matrikse wat die posisie en momentum van 'n elektron verteenwoordig, nie kommuteer (*commute*) nie (vgl. Born, Pymont & Biem 1967–1968).

2. Dit het op 4 Junie 1925 tydens 'n byeenkoms van die Westfälischen Mathematischen Gesellschaft in Münster plaasgevind ter nagedagtenis aan Weierstrass en dit is later daardie jaar in die *Mathematische Annalen* gepubliseer.

Dit is merkwaardig dat Ostwald se 'Energetik' (energie-teorie) nie 'n blywende invloed op die 20ste-eeuse fisika uitgeoefen het nie, vermoedelik omdat dit alle klem op *kontinuiteit* geplaas het en 'n *atomistiese* benadering (*diskreetheid*) afgewys het. Hy het selfs die bestaan van atome bevraagteken (sien Vogel 1961:35).

Heisenberg verwys na Einstein se siening van die deeltjies-struktuur van ligstrale. Hierdie deeltjies (fotone) is energiedraend, omgekeerd eweredig tot die golflengte daarvan. Volgens Heisenberg het hierdie situasie skielik 'n beduidende verleentheid vir fisici geskep:

... naas die totaliteit van interferensie- en krommingsverskynsels, wat toon dat lig uit golwe bestaan, staan die foto-elektriese effek en resent ontdekte verskynsels wat toon dat lig deur deeltjies (fotone) gekonstitueer word. (Heiseng 1956:124)

Die enigste weg uit hierdie swarigheid is om 'die golfbeskouing van lig en die deeltjiebeskouing daarvan as twee komplementêre beskouings van dieselfde werklikheid te onderken' (Heisenberg 1956:124). Heisenberg praat van the 'golfaspek' en die 'deeltjieaspek' van straling (Heisenberg 1958:40).

Born, Pyrmont en Biem meen dat fisici ten onregte hier van 'n dualisme praat. Volgens hulle word dit immers toenemend duidelik dat die 'natuur nóg as deeltjies alleen, nóg uitsluitlik as golwe verstaan kan word' omdat 'n 'behoorlike verstaan' nie kan wipplank ry tussen 'n 'deeltjiebeeld' en 'n 'golfbeeld' nie. Om reg te laat geskied aan 'n eenheidsbeeld van fisiese sisteme te midde van verskillende wyses (aspekte of modi) van verklaring, praat hierdie outeurs van die gelyktydige aanwesigheid van drie verskillende 'Darstellungen' (posisionerings of voorstellings), naamlik 'n 'Ortsdarstellung' (ruimtelike posisie), 'n 'Wellendarstellung' (impulse of snelhede – kinematiese modus van verklaring) en van 'n 'Energiedarstellung' (die fisiese modus van verklaring) (Born et al. 1967–1968:416–417).

Fisiese ruime en matematiiese ruimte

Die fisika ontmoet in hierdie onderskeidinge voorbeelde van 'aspekanalogieë' – in die sin dat twee aspekte ooreenstem in dié opsig waarin hulle verskil. Wanneer Hilbert opmerk dat die 'eerste naïewe indruk wat die natuurgebeure en materie laat, is dat hulle duursaam, en kontinu is' (Hilbert 1925:163), blyk dit dat hoewel beide ruimte in oorspronklike sin en fisiese ruimte *uitgebreid* is (die ooreenkoms tussen die ruimte-aspek en die fisiese aspek), daar 'n belangrike verskil is, want waar matematiiese ruimte beide kontinu en oneindig verder verdeelbaar is, is fisiese ruimte nie kontinu nie en derhalwe ook nie oneindig verder verdeelbaar nie (die huidige ondeelbare 'kwanta' staan as 'quarks' bekend). Ons sou ook kon sê dat *in* die element van ooreenkoms – uitgebreidheid – die *verskil* tussen hierdie twee aspekte tot openbaring kom of dat twee aspekte derhalwe ooreenstem in dié opsig waarin hulle verskil.

Die frase 'fisiese ruimte' belig gevolglik 'n *ruimte-analogie* in die struktuur van die fisiese aspek van die werklikheid. Wat ons vroeër oor die oneindige verdeelbaarheid van 'n kontinuum uitgelig het, dui eweneens op 'n analogie van die oorspronklike aritmetiese sin van opeenvolging (die suksessief oneindige) binne die struktuur van die ruimte-aspek.

Die dualiteit en komplementariteit van *deeltjie* (wat die diskrete sin van getal weerspieël) en *golf* (wat die kontinuiteit van eenparige beweging belig) hoef daarom nie as 'n *dualisme* gesien te word nie, want dit appelleer bloot op die gesamentlike aanwesigheid van verskillende verklaringsmodi (aspekte as verklaringswyses) wat uniek samehangend *gelyktydig* verdiskonteer moet word.

Analogieë van getal en ruimte kom uiteraard ook in die biotiese aspek voor.

Kontinuiteit en diskontinuiteit in die biologie

Hoe seer 'n vakwetenskap daarop sou wou aanspraak maak dat dit 'eksak' of 'standpuntloos' is, vertel die *geskiedenis* van elke vakwetenskap 'n verhaal wat die teendeel wys. Dat die filosofiegeskiedenis uiteenlopende denkstrominge en standpunte herberg, word gewoonlik as vanselfsprekend aanvaar, maar dit is veral in die sogenaamde 'eksakte' natuurwetenskappe waar ons nie sou verwag dat daar ook beduidende alternatiewe standpunte aangetref word nie.³

Waarop ons in hierdie gedeelte die aandag wil vestig, is nie alleen dat daar sedert (en selfs voor) Darwin uiteenlopende biologiese standpuntnames bestaan (het) nie, maar dat belangrike elemente daarvan juis met die probleem van *kontinuiteit* en *diskontinuiteit* verband hou.

Die invloed van Leibniz se kontinuiteitspostulaat op die moderne denke

Hoewel daar dus voor en na die verskyning van Darwin se *The origin of species* uiteenlopende standpunte in die moderne biologie aanwesig is, beklee die (neo-)Darwinisme sekerlik 'n

3. Let bloot op die woorde van L.E.J. Brouwer insake die verskil tussen die *klassieke wiskunde* en die *intuisionistiese wiskunde*:

As a matter of course also the languages of the two mathematical schools diverge. And even in those mathematical theories which are covered by a neutral language, i.e. by a language understandable on both sides, either school operates with mathematical entities not recognized by the other one: there are intuitionist structures which cannot be fitted into any classical logical frame, and there are classical arguments not applying to any introspective image. Likewise, in the theories mentioned, mathematical entities recognized by both parties on each side are found satisfying theorems which for the other school are either false, or senseless, or even in a way contradictory. In particular, theorems holding in intuitionism, but not in classical mathematics, often originate from the circumstance that for mathematical entities belonging to a certain species, the possession of a certain property imposes a special character on their way of development from the basic intuition, and that from this special character of their way of development from the basic intuition, properties ensue which for classical mathematics are false. A striking example is the intuitionist theorem that a full function of the unity continuum, i.e. a function assigning a real number to every non-negative real number not exceeding unity, is necessarily uniformly continuous. (Brouwer 1964:79)

dominante posisie in hierdie geskiedenis.⁴ Teen 1942 is die 'moderne sintese' deur Huxley in samewerking met R.A. Fisher, Theodosius Dobzhansky, J.B.S. Haldane, Sewall Wright, E.B. Ford, Ernst Mayr, Bernhard Rensch, Sergei Chetverikov, George Gaylord Simpson, en G. Ledyard Stebbins ontwikkel.

Die merkwaardige gegewe is egter dat Leibniz se kontinuïteitsopvatting (uit die 17de eeu) gelei het tot die alleroorheersende basiese (filosofiese) aanname van die (neo-)Darwinisme. Dit word naamlik onderlê deur die *nominalistiese* oortuiging dat daar geen universaliteit, geen universele *orde vir* of *ordelikheid van* dinge buite die menslike gees bestaan nie. Die werklikheid bestaan uit 'n onoorsigtelike menigvuldigheid van dinge wat in 'n struktuurlose kontinuum opgeneem is.

Wanneer Simpson sê '[O]rganisms are not types and they do not have types' (Simpson 1969:8–9), verdedig hy 'n (tipiese!) *nominalistiese* siening. Darwin het reeds pertinent gestel dat '[N]o line of demarcation can be drawn between species' (Burrow 1968:n.d.). Dertien bladsye verder trek hy die implikasies van hierdie *nominalistiese* oriëntering: 'In short, we shall have to treat species in the same manner as those naturalists treat genera, who admit that genera are merely artificial combinations made for convenience' (Burrow 1968:n.d.).

Die kragtige invloed van hierdie *nominalistiese* erfenis is nog steeds sigbaar in die wysgerige oriëntasie van 'n filosoof wat oor die 'orde van dinge' nagedink het. Foucault merk op dat in 'n epistemologiese sin die sisteem en metode van die klassieke benadering op kennis van '*empirical individuals*' berus wat slegs verkry kan word '*from the continuous, ordered and universal tabulation of all possible differences*' (Foucault 2003:157). Dieselfde *nominalistiese* oriëntasie kom in die woorde van Bonnet wat Foucault (2003) aanhaal, na vore:

There are no leaps in nature: everything in it is graduated, shaded. If there were an empty space between any two beings, what reason would there be for proceeding from the one to the other? (p. 160)

Op dieselfde bladsy trek Foucault die konklusie: '*Consequently, our divisions into species and classes "are purely nominal"*'.

Die filosofiese agtergrond van hierdie opvatting is in die *lex continui* (kontinuïteitswet) van Leibniz te vind. In *The origin of species* tref ons immers die slagspreuk van Leibniz se kontinuïteitspotulaat – *natura non facit saltum* – vier keer aan. Darwin verklaar onder meer:

As natural selection acts solely by accumulating slight, successive, favourable variations, it can produce no great or sudden modifications; it can act only by short and slow steps. Hence, the canon of '*Natura non facit saltum*', which every fresh

4. Ons kan hier aan (relatief wederkerig uitsluitende) standpunte dink – soos die klassieke meganistiese benadering (Eisenstein), die fisikalisme (neo-Darwinisme – Huxley, Simpson, Dawkins, Bennett), die neo-vitalisme (Driesch, Reiner-Schubert Saldern, Sinnott, Heitler, Haas, Overhage, Stephen Meyer), die organisemiese biologie (Von Bertalanffy en sy sisteem-teoretiese navolgers), die holisme (Smuts, Adolf-Meyer Abich), die panpsigisme (Theillard de Chardin, Bernard Rensch), en die emergensie-evolusionisme (C. Lloyd-Morgan, Alexander, Richard Woltereck, Bernhard Bavinck, Michael Polanyi, Jaap Klapwijk).

addition to our knowledge tends to confirm, is on this theory. [simply – Burrow 1968:n.d.] intelligible (Darwin 1872:n.p.)

Vroeër skryf hy: 'Natuurlike seleksie werk slegs deur die bewaring en akkumulering van (infinitesimale – Burrow 1968:n.d.) klein, oorgeërfde modifikasies' (Burrow 1968:n.d.). Wat nie uit die oog verloor moet word nie, is dat die Leibniziaanse kontinuïteitsopvatting van Darwin en die neo-Darwinisme nog steeds met die *diskontinuiteit* tussen 'lewe' en 'nielewend' worstel. Hierdie *diskontinuiteit* kan nie deur die idee van *natuurlike seleksie* verklaar word nie. Simpson het immers reeds daarop gewys dat aangesien 'n molekule nie lééf nie, dit kontradiktories is om van *molekulêre biologie* te praat: '*Since biology is the study of life and molecules, as such, are not alive, the term "molecular biology" is selfcontradictory*' (Simpson 1969:6). Hierdie uitspraak werp bykomend lig op 'n diskussieopmerking wat Dobzhansky by geleentheid na aanleiding van 'n voordrag wat Schramm gemaak het, naamlik dat '*[P]re-biological natural selection is a contradiction in terms*' (Dobzhansky 1973:310 in Schram 1973).

In die sentrum van hierdie spanningsveld tussen *kontinuiteit* en *diskontinuiteit* in die kontemporêre biologie moet ook vlugtig verwys word na die *diskontinuiteit* wat tussen (makro-)molekule enersyds en die gespesifiseerde inligting van lewende dinge andersyds bestaan. Meyer (2013) som die huidige situasie op wanneer hy skryf:

The type of information present in living cells – that is, 'specified' information in which the sequence of characters matters to the function of the sequence as a whole – has generated an acute mystery. No undirected physical or chemical process has demonstrated the capacity to produce specified information starting 'from purely physical or chemical' precursors. For this reason, chemical evolutionary theories have failed to solve the mystery of the origin of first life – a claim that few mainstream evolutionary theorists now dispute. (p. vi)

Die beroep op vermeende gemeenskaplike '*ancestral genes*' het intussen op genomstudies uitgeloop wat die filogenetiese prentjie gekompliseer het. Verskillende organismes lewer nou honderdduisende gene op wat geen betekenisvolle ooreenkoms met die reeks van enige ander, bekende gene vertoon nie. Dit handel oor ORFans – waar *ORFans* verwys na '*open reading frames of unknown origin*'. Meyer wys daarop dat *ORFan-gene* skielik orals opduik:

[It] turned up in every major group of organisms, including plants and animals as well as both eukaryotic and prokaryotic one-celled living entities. In some organisms, as much as one half of the entire genome comprises *ORFan genes*. (Meyer 2013:216)

Aangesien *ORFan-gene* per definisie geen homoloë het nie, kan dit nie aan voorvaderlike gene verbind word nie – 'n feitlike gegewe wat deur 'n toenemende getal Darwinistiese bioloë erken word (Meyer 2013:216). Dat neo-Darwinistiese bioloë van *de novo*-ontstaan praat en na prosesse verwys wat tans glad nie meer bestaan nie, neig in die rigting van 'n erkenning van die *diskontinuiteit* tussen nielewende en lewende dinge. Dit hang sekerlik saam met die misterieuse

verskyning van dierlike stamtipes gedurende die Kambriese periode wat nou toegeskryf word aan informasie wat nie in gene gestoor word nie, want dit betref *epigenetiese* informasie.⁵

Gegewe die materialistiese fisikalistiese oriëntering van Dawkins is dit verbasend dat hy die *immateriële* vlak van kultuuroordrag betree. Hy doen dit deur analoog aan die aard van gene binne die *'soup of human culture'* 'n 'kulturele geen' aan te dui wat as 'n *'meme'* beskryf moet word. Voorbeelde van *'memes'* is *'tunes, ideas, catch-phrases, clothes fashions, ways of making pots or of building arches'* (Dawkins 2006:192). Prakties besit al hierdie *'memes'* 'n immateriële kant. Dit is vir hom nie problematies nie, want hy herinner ons daaraan dat *'genetic evolution ... is only one of many possible kinds of evolution'* (Dawkins 2006:194).

Hierdie siening van hom weerspreek die leidinggewende rol van sy algemene kontinuïteitsgeloof, want dit herberg 'n element van *diskontinuiteit* – gegee in die sprong van *materieel* na *immaterieel*. Die voorbeelde van *'memes'* wat Dawkins noem, verskyn almal binne die domein van menslike sinbeleving wat nie alleen genormeerd is nie,⁶ maar wat tegelyk ook in die tipiese aard van *ontwerp* en van menslike *doelstellinge* (*'purposes'*) ingebed is – iets wat hy andersins radikaal afwys:

The universe we observe has precisely the properties we should expect if there is, at bottom, no design, no purpose, no evil and no good, nothing but blind, pitiless indifference. (Dawkins 1995:155)

Die invloed van die kontinuïteitspostulaat op die interpretasie van die paleontologiese rekord

Hierdie filosofiese aanname rakende die vermeende oneindig klein [kontinue] oorgange is weliswaar van meet af gekonfronteer met die diskontinuiteite in die paleontologiese rekord. Darwin het hierdie probleem eerlik onderken wanneer hy opmerk: *'Geology assuredly does not reveal any such finely-graduated organic chain; and this, perhaps, is the most obvious and serious objection which can be urged against the theory'* (Burrow 1968:n.d.). Leidinggewende neo-Darwiniste wys reeds sedert die 1970's daarop dat die dominante patroon van die paleontologiese rekord *stasis* (*konstansie / onveranderde kontinuïteit*) is.

5. Terloops kan daarop gewys word dat die Kambriese 'ontploffing', wat aanvanklik na raming 20 tot 40 miljoen jaar geduur het, tans op 5 tot 6 miljoen jaar bereken word. Volgens Erwin en Davidson (2002) kan geen enkele bekende evolusieteorie hiervan rekenskap gee nie. Voeg hierby die probleem van die ontstaan van biotiese informasie wat aan die wortel van talle ander erkende probleme geleë is:

from the origin of new body plans to the origin of complex structures and systems such as wings, feathers, eyes, echolocation, blood clotting, molecular machines, the amniotic egg, skin, nervous systems, and multicellularity, to name just a few. (Meyer 2013 – Prologue p. ix)

6. Dink aan kontrêre teenstellinge soos logies – onlogies; vriendelik – onbeskof; spaarsaam – vermorsend; en mooi – lelik. Die onderliggende teenstelling tussen *normgehoorsaam* en *antinormatief* veronderstel toepaslike norme (beginsels) en beliggaam telkens verskillend gespesifiseerde voorbeelde van die goed-kwaadteenstelling.

As tussenopmerking moet ons daarop wys dat die kontinuïteitswet van Leibniz die biochemikus F.R. Jevons reeds in die 1960s tot die volgende ideaal geïnspireer het:

The task of bridging across the intermediate levels is perhaps the major challenge facing contemporary biochemistry. It forms a sort of *leitmotif* through the remainder of this book ... The continuity of the hierarchy offers hope that by systematic, stage by stage comparisons the gap between molecules and large animals can be bridged. (Jevons 1964:97)

Reeds in 1974 skryf die paleontoloog D.B. Kitts in die neo-Darwinistiese tydskrif *Evolution: 'Evolution requires intermediate forms between species and paleontology does not provide them'* (Kitts 1974:467 – compare Gould & Eldredge 1977). Ooreenstemmend hiermee skryf een van die bekendste 'New Synthesis'-bioloë in 1991:

Paleontologists had long been aware of a seeming contradiction between Darwin's postulate of gradualism ... and the actual findings of paleontology. Following phyletic lines through time seemed to reveal only minimal gradual changes but no clear evidence for any change of a species into a different genus or for the gradual origin of an evolutionary novelty. Anything truly novel always seemed to appear quite abruptly in the fossil record. (Mayr 1991:138; compare McGarr 2006:242 et seqq)

En byna 'n dekade later verklaar Jones (1999):

The fossil record – in defiance of Darwin's whole idea of gradual change – often makes great leaps from one form to the next. Far from the display of intermediates to be expected from slow advance through natural selection, many species appear without warning, persist in fixed form and disappear, leaving no descendants. (p. 252)

'Continuous flux' staan meer sentraal in Darwin se denke as natuurlike seleksie

Gould beklemtoon dat hierdie *kontinuïteitswet* in Darwin se denke selfs meer sentraal staan as die idee van *natuurlike seleksie*. Hy sê: *'We often fail to recognize how much of the Origin presents an exposition of gradualism, rather than a defense of natural selection'* (Gould 2002:151). Hy verbind die verleentheid wat die idee van vooruitgang (*'progress'*) vir die Darwinisme geskep het (binne die toevalsverhaal van mutasie en natuurlike seleksie is daar geen ruimte vir doelgerigheid, teleologie of vooruitgang nie) aan die a priori-verbintenis tot die kontinuïteitspostulaat van Leibniz. Gould merk op dat die stories wat ons hoor 'met dieselfde grondleggende valstrik begin en dan in 'n identiese en foutiewe wyse voortgaan' (Gould 2002:913). Dit begin met die gevaarlikste van alle mentale valstrikke: *'a hidden assumption, depicted as self-evident, if recognized at all— namely, a basic definition of evolution as continuous flux'* (Gould 2002:913).

'n Verdere agterliggende wysgerige aanname word deur Sterelny uitgelig wanneer hy stel dat Dawkins die *'epistemic ideal of Enlightenment rationality'* aanhang – *'according to which the scientific description of the universe is "true ... beautiful and complete"'* (soos Sterelny dit stel – 2007:14). In die lig daarvan

dat Dawkins tegelyk 'n navolger van die *kontinuiteitspostulaat* is, is dit nie verbasend dat hy na die 'imperfectie' van die fossielrekord verwys nie. Ironies genoeg, maak hy terselfdertyd 'n opmerking oor die *diskontinuiteit* wat deur die verskyning van groepe ongewerwelde diere geopenbaar word:

And we find many of them already in an advanced state of evolution the very first time they appear. It is as though they were just planted there, without any evolutionary history. (Dawkins 1987:229)

Die bioloog wat egter goed begryp het dat Darwin se stellingname in 1859 geen kontinue vooruitgang ('progress') toelaat nie, is Stephen Gould. Hy wys selfkrities op die onverantwoorde kombinasie van natuurlike seleksie, vooruitgang en toenemende kompleksiteit – gesamentlik ingekapsel in die onderliggende kontinuiteitsgeloof:

I believe that the most knowledgeable students of life's history have always sensed the failure of the fossil record to supply the most desired ingredient of Western comfort: a clear signal of progress measured as some form of steadily increasing complexity for life as a whole through time. The basic evidence cannot support such a view, for simple forms still predominate in most environments, as they always have. Faced with this undeniable fact, supporters of progress (that is, nearly all of us throughout the history of evolutionary thought) have shifted criteria and ended up grasping at straws. (Gould 1996:166–167)

The problem that spawns this confusion within the Darwinian tradition may be simply stated as a paradox. The basic theory of natural selection offers no statement about general progress, and supplies no mechanism whereby overall advance might be expected. Yet both Western culture and the undeniable facts of a fossil record that started with bacteria alone, and has now exalted us, cry out in unison for a rationale that will place progress into the center of evolutionary theory. (Gould 1996:136)

'Imperfectie' of stasis?

Hierdie 'verborge aanname' verklaar waarom die dominante stasiepatroon van die paleontologiese rekord (duursaamheid op die basis van abrupte verskyning en verdwyning – diskontinuiteit) toegeskryf word aan die vermeende 'imperfectie' daarvan. Nogtans merk Gould op:

Despite this strong belief in geological gradualism, Darwin knew perfectly well – as all paleontologists always have – that stasis and abrupt appearance represent a norm for the observed history of most species. (Gould 2002:757)

In navolging van sy mentor, Charles Lyell, het Darwin tewens hierdie 'striking discordance between theoretical expectation and actual observation' toegeskryf aan die 'extreme imperfectie of the fossil record' (Gould 2002:757).

Wanneer abrupte verskyning a priori as 'tekens van 'n onvolledige empiriese rekord' gesien word, ontstaan die wetenskapsteoretiese vraag: hoe kan gradualisme van binne-uit weerlê word? Bedink hierby:

... a species at a large number of horizons well spread over several million years, and if these samples record no net change, with beginning and end points substantially the same ... then a

conclusion of stasis rests on the presence of data, not on absence! (Gould 2002:759)

Gould vra tereg dat wanneer stasis nie weggedeneer kan word as ontbrekende informasie nie, hoe gradualisme hierdie 'prominentste teken van die fossielere rekord' tegemoet tree. Die antwoord hierop ontbloom 'n verleentheidsperspektief vir die onderliggende kontinuiteitspostulaat waarop gradualisme berus. Gould skryf: '... gradualism occurs too rarely to generate enough cases for calculating a distribution of rates' (Gould 2002:761–762).

Teksboekvoorbeelde

As alternatief het paleontoloë egter met die 'valse metode' van 'toeligting aan die hand van enkele voorbeelde' gewerk. Dit kom daarop neer dat geldigmaking deur middel van een of twee 'teksboekgevalle' geskied, aangenome dat die voorbeelde wat gekies is 'genoegsaam oortuigend' is. 'Maar selfs hier, op hierdie minimale vlak van dokumentasie, het die metode gefaal'. 'n Paar voorbeelde het toegang tot die literatuur gevind waar dit eindeloos herhaal is kragtens die eeu-oue praktyk van teksboekkopiering in opeenvolgende publikasies. Gould tipeer die ironiese uitkoms van hierdie praktyk treffend: 'But, in a final irony, almost all these famous exemplars turned out to be false on rigorous restudy' (Gould 2002:762).

Volledigheidshalwe vermeld ons twee van die klassieke voorbeelde, die 'peppered moths' uit die industriële omwenteling in Engeland en die 'paradeperd' (veral deur Simpson beskryf).

Die eerste 'teksboekvoorbeeld' wat ons vermeld, betref die wit 'peppered moths' wat tydens die industriële revolusie weens lugvervuiling makliker sigbaar vir die voëls op die donker stamme van bome was. In terme van natuurlike seleksie sou hierdie situasie die swart motte se kans op oorlewing begunstig. Indien hierdie verhaal waar was, sou dit egter nog nie makro-evolusie kon ondersteun nie, aangesien die swart-wit motte nog steeds tot dieselfde spesie behoort. Verdere ondersoek het egter aangetoon dat dit op 'n foutiewe aanname berus, naamlik dat die motte inderdaad normaalweg op die stamme van bome sit. Teen 1980 het dit duidelik geword dat die motte veral op die dun takkies in die nok van bome sit. Daarom wys Sargent et al. daarop dat die hele motverhaal mank gaan aan grondige gebreke (vgl. Sargent, Millar & Lambert 1998; Majerus 1998). Wells vermeld dat die meeste teksboekvoorbeelde per hand op die stamme geplaas is: '[most] textbook pictures of peppered moths show specimens that have been manually placed on tree trunks' – en hieruit konkludeer hy dan dat 'the classical example of natural selection is actually an example of unnatural selection!' (Wells 1999:n.p.).

Die tweede teksboekvoorbeeld betref die evolusie van die perd. Simpson bied 'n grootliks vereenvoudigde voorstelling van die filogenie van die *Equidae* (Simpson 1961:261), maar wys nogtans krities daarop dat die vermeende voorsaat van

die perd, die eohippus, *nie* 'n perd was nie (Simpson 1961:345). Gould haal Prothero en Shubin aan wat oor die vermeende evolusie van die perd navorsing gedoen het en die standaardopvatting as 'n *mite* beskou. Let daarop dat die kruks van die opvatting wat hulle kritiseer, handel oor '*gradualistically varying parts of a continuum*' en dat daarop gewys word dat daar duidelike afgrensinge bestaan wat oor miljoene jare 'staties' gebly het:

This is contrary to the widely held myth about horse species as gradually varying parts of a continuum, with no real distinctions between species. Throughout the history of horses, the species are well-marked and static over millions of years. (Gould 1996:68 – compare with Gould as well 2002:846–847)

Raup merk op:

We actually may have fewer examples of smooth transitions than we had in Darwin's time, because some of the old examples have turned out to be invalid when studied in more detail. (Johnson 1991:171)

Ondanks die dominante (*diskontinue*) patroon van die paleontologiese rekord, is die kontinuïteitspostulaat oorheersend by diegene wat glo aan die '*imperfection*' van die fossielrekord. Darwin se eie belydenis is treffend eerlik:

But I do not pretend that I should ever have suspected how poor was the record in the best preserved geological sections, had not the absence of innumerable transitional links between the species which lived at the commencement and close of each formation, pressed so hardly on my theory. (Burrow 1968:n.d.)

Gesien vanuit die hoek van diskreetheid en kontinuïteit kan ons nog steeds 'n verbindingslyn met die geskiedenis van hierdie probleem sien, want in Darwin se benadering is beide elemente duidelik aanwesig. Te midde van die algehele oorheersing wat van die kontinuïteitspostulaat uitgaan, beklemtoon Darwin nogtans die diskrete perspektief van die stryd tussen individuele lewende entiteite. Gould stel dit kernagtig:

First, and foremost, we grasp the theoretical centrality of Darwin's conclusion that natural selection works through a struggle among individual organisms for reproductive success. (Gould 2002:125)

Biodiversiteit

Uiteraard hou die probleem van diskreetheid en kontinuïteit ook verband met biodiversiteit (diskreet) soos wat dit tans bestaan (ook bekend as die 'natuurlike sisteem'), sowel as met die diskontinue verskyning van fossiele.

In die denke van een van die gesaghebbende neo-Darwinistiese denkers duik hierdie probleem ook op. Coyne verwys na diskrete klusters lewende dinge as *spesies* en stel dan die probleem van diskreetheid en kontinuïteit:

And at first sight, their existence looks like a problem for evolutionary theory. Evolution is, after all, a continuous process, so how can it produce groups of animals and plants that are discrete and discontinuous, separated from others by gaps in appearance and behavior? (Coyne 2009:184)

Die bogemelde nominalistiese struktuurbegrip wat Darwin gebruik, is volkome in die greep van die moderne kontinuïteitspostulaat – sistematiese onderskeidings is volgens hierdie opvatting volkome arbitrêre (willekeurige) name (*nomina*). Dit verwys na 'n struktuurlose kontinuum buite die menslike gees – 'organismes is nie tipes nie en dit besit ook nie tipes nie' ('*Organisms are not types and do not have types*' [Simpson 1969:8–9]).

Hoewel Coyne saam met Darwin aan die kontinuïteitspostulaat vashou, verskil hy egter op hierdie punt van die *nominalistiese* beskouing van Darwin. Gevolglik verdedig hy die oortuiging dat die diskontinuïteite van die natuur nie arbitrêr nie, maar 'n objektiewe feit is. ('... *the discontinuities of nature are not arbitrary, but an objective fact*' [Coyne 2009:184]). Op hierdie punt kies Coyne derhalwe 'n *realistiese* stellingname – klaarblyklik sonder om te besef dat die teenstelling tussen die *realisme* en die *nominalisme* sy ontstaan in die Griekse filosofie het nie. Coyne is byvoorbeeld oortuig spesies besit '*an objective reality and are not simply arbitrary human constructs*' (Coyne 2009:186).

Gould wys op die grondleggende rol wat gradualisme in die denke van Darwin speel – wat die rol van 'n lewensbeskouing vervul:

... gradualism stood prior to natural selection in the core of his beliefs about the nature of things. Natural selection exemplified gradualism, not vice versa – and the various forms of gradualism converged to a single, coordinated view of life that extended its compass far beyond natural selection and even evolution itself. (Gould 2002:154–155)

Wat hier op die spel is, is die moderne natuurwetenskapsideaal wat sedert die Renaissance en in die besonder in die gewaad van Leibniz se kontinuïteitspostulaat 'n rigtinggewende invloed onder meer op die moderne biologie sou uitoefen. Saam met diskreetheid omspan hierdie twee pole van die belangrikste kontoere waarbinne sowel die filosofie as die verskillende vakwetenskappe na die sewentiende eeu ontwikkel het.

Dit is opvallend dat die emergensie-evolutionisme tegelyk beide opsies verkies, naamlik *kontinuïteit* in afstamming en *diskontinuïteit* in bestaan. Lloyd-Morgan, Whitehead, Alexander, Bavinck en Woltereck het hierdie siening reeds gedurende die eerste helfte van die vorige eeu verdedig, terwyl Polanyi in die tweede helfte van die 20ste-eeu op die problematiese aard van die emergensie-evolutionisme sou wys. Hy skryf:

We have reached the point at which we must confront the unspecifiability of higher levels in terms of particulars belonging to lower levels, with the fact that the higher levels have in fact come into existence spontaneously from elements of these lower levels. How can the emergent have arisen from particulars that cannot constitute it. (Polanyi 1968:393)

Afstammingskontinuïteit versus bestaansdiskontinuïteit

Wanneer Dobzhansky hierdie probleem verduidelik met verwysing na die opvattinge van S. Wright (1964) kom die

probleem van 'afstammingskontinuiteit' in die sentrum te staan. Om byvoorbeeld die aard van 'mind' te 'red' kan daar geen *diskontinuiteit* tussen die verskillende vlakke van die afstammingsverhaal bestaan nie. Die gepostuleerde *kontinuiteit* vereis dat wat aan die einde na vore tree, van meet af reeds ingekapsel moes gewees het. Reeds die Duitse dierkundige, Bernard Rensch, het op grond van die veronderstelde kontinuiteit aangeneem dat selfs die materie 'protopsigiese' eienskappe besit – hy praat van 'protopsihiese "Materie"' (Rensch 1991:213).

Wright (1964) begin met 'n probleemstelling: 'As "mind" in die nielewende wêreld volkome afwesig is ... hoe het "mind" dan verskyn?' Die vermeende *emergensie* van 'mind' uit 'hoognaamd geen mind' is volgens hom 'sheer magic'.

The only satisfactory solution of these dilemmas would seem to be 'that mind is universal, present not only in all organisms and in their cells but in molecules, atoms, and elementary particles' (quoted by Dobzhansky 1967:28).

Die kontinuiteitspostulaat vereis eenvoudig dat wat uiteindelik verskyn, vanuit die staanspoor reeds teenwoordig moet wees, want anders word 'oorgegee' aan *diskontinuiteit*, soos die skielike verskyning van 'lewe', 'bewussyn' of 'mind'.

Tog relatiewe Dobzhansky die benadering van Wright (1964) enigins wanneer hy verduidelik dat as 'die potensialiteit van "mind" in die eier en die saad en in die DNS-molekule aanwesig moet wees', dit nie daaruit volg dat 'that eggs and sperms themselves have minds' (Dobzhansky 1967:30).

Ten slotte verwys ons vlugtig na die ontwikkeling in die denke van Denton wat in 1986 sy werk *Evolution: A theory in crisis* (eerste druk 1985) gepubliseer het en dertig jaar later 'n opvolgwerk die lig laat sien het: *Evolution: Still a theory in crisis* (2016).

In 1985 wou hy argumenteer 'that nature is fundamentally discontinuous'. Hy het daarop gewys dat die hoof-taksadefiniërende eienskappe, soos hare in die geval van die soogdiere en vere in die geval van die voëls, 'are not led up to from putative ancestral forms via long series of functional intermediates (which I termed "continuums of functional forms")' (Denton 2016:11). Onderaan dieselfde bladsy beklemtoon hy dat sy tipologiese siening die 'taxa' of tipes as werklik bestaande ('ontologically real') beskou, as 'distinct components of the world order, as was widely believed in the nineteenth century before Darwin'.

Denton tipeer sy geskrif in 1985/86 as 'n 'full frontal' kritiek 'of the standard Darwinian model': 'It implied that the natural system is a natural discontinuum rather than the functional continuum that Darwinian biologists claim' (Denton 2016:11).

Die grondoortuiging wat in beide sy werke aangetref word, vat hy soos volg saam:

Nature is in fact a fundamental discontinuum of distinct Types and not the functional continuum maintained by Darwinian orthodoxy. (Denton 2016:219)

In die lig van die voorafgaande gegewens wat ons aan die orde gestel het, is dit derhalwe duidelik dat ook die moderne biologie nie aan die probleem van diskreetheid (diskontinuiteit) en kontinuiteit ontkom het nie.

Samevatting

Te midde van opeenvolgende en afwisselend teëgestelde beklemtonings het dit geblyk dat alternatiewe sienings op die aard en verhouding van diskreetheid en kontinuiteit in die filosofie, sowel as in natuurwetenskappe soos die wiskunde, fisika en biologie, 'n grondleggende rol speel. Daarmee is die onvermydelikheid van die gebruik van beide getal en ruimte as teoretiese verklaringswyses in hierdie dissiplines toereikend bevestig, terwyl bykomend aangetoon is dat alternatiewe standpunte in hierdie vakwetenskappe ook 'n wisselende gewig aan hierdie twee verklaringsperspektiewe toegeken het. Hoewel dit eintlik voor die hand liggend is, is dit tog verbasend dat die moderne natuurwetenskappe (wiskunde, fisika en biologie) nie die volgende alternatiewe benadering oorweeg het nie (in wysgerige terme gestel, betref dit die alternatief van 'n *nie-reduksionistiese ontologie*): aanvaar enersyds die uniekheid en onherleibaarheid van getal, ruimte, beweging, asook die fisiese en biotiese aspekte, en belig andersyds hul onverbreeklike wederkerige samehang (vgl. ten opsigte van getal en ruimte Figuur 1 in Strauss 2017:7). Hierdie oorkoepelende perspektief is uniek in die moderne natuurwetenskappe en hul geskiedenis.

Erkenning

Mededingende belange

Die outeur verklaar dat hy geen finansiële of persoonlike verhoudings het wat hom op 'n onvanpaste wyse in die skryf van hierdie artikel kon beïnvloed nie.

Literatuurverwysings

- Born, M., Pyrmont, B. & Biem, W., 1967–1968, 'Dualismus in der Quantentheorie', *Philosophia Naturalis* 10, 411–418.
- Brouwer, L.E.J., 1964, 'Consciousness, philosophy, and mathematics', in P. Benacerraf & H. Putnam (Red.), *Philosophy of mathematics, selected readings*, pp. 78–83, Basil Blackwell, Oxford.
- Burrow, J.W. (ed), 1968, *On the origin of species by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life*, Penguin Books, Harmondsworth.
- Coyne, J.A., 2009, *Why evolution is true*, University Press, Oxford.
- Darwin, C., 1872, *On the origin of species*, in *The Secular Web*, viewed on 29 October 2005, from https://infidels.org/library/historical/charles_darwin/origin_of_species/Intro.html
- Dawkins, R., 1987, *The blind watchmaker*, W.W. Norton Co., New York.
- Dawkins, R., 1995, *River out of Eden a Darwinian view of life*, Phoenix, London.
- Dawkins, R., 2006, (30th anniversary edn.), *The selfish gene*, Oxford University Press, Oxford.
- Denton, M., 1986, *Evolution: A theory in crisis*, Adler & Adler publishers, New York.
- Denton, M., 2016, *Evolution: Seattle: Still a theory in crisis*, Discovery Press, Seattle, WA.
- Dobzhansky, T., 1967, *The biology of ultimate concern*, New American Library, New York.
- Dobzhansky, T., 1973, 'Discussion of G. Schramm's Paper', in S. W. Fox (ed.), *The origins of prebiological systems and of their molecular matrices*, pp. 309–315, Academic, 1965, New York.
- Einstein, A., 1959, 'Autobiographical notes', in P.A. Schilpp (ed.), *Albert Einstein, philosopher-scientist*, (1–94), Harper Torchbooks, New York.
- Erwin, D.H. & Davidson, E., 2002, 'The last common bilaterian ancestor', *Development* 129, 3021–3032.

- Foucault, M., 2003, *The order of things: An archaeology of the human sciences*, Routledge, New York.
- Fraenkel, A., Bar-Hillel, Y., Levy, A. & Van Dalen, D., 1973, *Foundations of set theory*, 2nd ed. North Holland, Amsterdam.
- Gould, S.J., 1996, *Life's grandeur*, Vintage (Random House), London.
- Gould, S.J., 2002, *The structure of evolutionary theory*, The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Gould, S.J. & Eldredge, N., 1977, 'Punctuated equilibria: The tempo and mode of evolution reconsidered', *Paleobiology* 3(2 Spring), 115–151.
- Heisenberg, W., 1956, *Das Naturbild der heutigen Physik*, Rowohlt, Hamburg.
- Heisenberg, W., 1958, *Physics and philosophy. The revolution in modern science*, Harper Torchbooks, New York.
- Hilbert, D., 1925, 'Über das Unendliche', *Mathematische Annalen* 95, 161–190. <https://doi.org/10.1007/BF01206605>
- Jevons, F.R., 1964, *The biochemical approach to life*, George Allen & Unwin Ltd., London.
- Johnson, P.E., 1991, *Darwin on trial*, InterVarsity Press, Downers Grove, IL.
- Jones, A. (Red.), 1998, *Science in faith, A Christian perspective on teaching science*, Romford, Essex.
- Kitts, D.B., 1974, 'Paleontology and evolutionary theory', *Evolution* 28, 458–472. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1974.tb00767.x>
- Longo, G., 2001, *The mathematical continuum: From intuition to logic*, viewed on 14 Mei 2011, from <ftp.di.ens.fr/pub/users/longo/PhilosophyAndCognition/the-continuum.pdf>
- Maddy, P., 1997, *Naturalism in mathematics*, Clarendon Press, Oxford.
- Maddy, P., 2005, 'Three forms of naturalism', *Shapiro* 2005, 437–459. <https://doi.org/10.1093/0195148770.003.0013>
- Majerus, M.E.N., 1998, *Melanism: Evolution in action*, Oxford University Press, Oxford.
- Mayr, E., 1991, *One long argument: Charles Darwin and the genesis of modern evolutionary thought*, Harvard University Press, Cambridge.
- McGarr, P., 2006, *The richness of life, the essential Stephen Jay Gould*, Jonathan Cape, with an introduction by Steven Rose, London.
- Meyer, S., 2013, *Darwin's doubt*, Harper Collins, New York.
- Planck, M., 1910, 'Die Stellung der neueren Physik zur mechanischen Naturanschauung (Vortrag gehalten am 23. September 1910 auf der 82. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Königsberg i. Pr.)', *Max Planck* 1973, 52–68.
- Polanyi, M., 1968, *Personal knowledge; towards a post-critical philosophy*, University of Chicago Press, Chicago, IL (electronic edition 2003).
- Rensch, B., 1991, *Das Universale Weltbild, Evolution und Naturphilosophie*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- Salanskisk, J.M. & Sinaceur, H., 1992, *Le Labyrinthe du Continu*, Springer, Berlyn.
- Sargent, T.D., Millar, C.D. & Lambert, D.M., 1998, 'The "Classical" explanation of industrial melanism: Assessing the evidence', *Evolutionary Biology* 30, 299–322. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1751-5_8
- Schram, F.R., 1973, 'Pseudocoelomates and a Nemertine from the Illinois Pennsylvanian', *Journal of Paleontology* 47, 985–989.
- Simpson, G.G., 1961, *The major features of evolution*, Columbia University Press, New York.
- Simpson, G.G., 1969, *Biology and man*, Harcourt, New York.
- Sinnott, E.W., 1963, *The problem of organic form*, Yale University Press, London.
- Stegmüller, W., 1987, *Hauptströmungen der Gegenwartsphilosophie*, vol. 3, Alfred Kröner Verlag, Stuttgart.
- Sterelny, K., 2007, *Dawkins vs. Gould. Survival of the fittest*, Icon Books, Cambridge.
- Strauss, D.F.M., 2017, 'Die wisselende rol van kontinuïteit en diskontinuïteit in die geskiedenis van die filosofie en die wiskunde', *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* 36(1), a1388. <https://doi.org/10.4102/satnt.v36i1.1388>
- Vogel, H., 1961, *Zum Philosophischen Wirken Max Plancks. Seine Kritik am Positivismus*, Akademie-Verlag, Berlin.
- Wells, J., 1999, 'Second thoughts about peppered moths', in *The Scientist*, viewed n.d., from <http://www.the-scientist.com/?articles.view/articleNo/19443/title/Second-Thoughts-about-Peppered-Moths/>
- Wright, S., 1964, 'Biology and the philosophy of science', *The Monist* 48, 265–290. <https://doi.org/10.5840/monist196448215>