



WAAROM NIEMAND KWANTUM BEGRIJPT

Frank
Verstraete

Céline
Broeckaert

EN IEDEREEN ER
TOCH IETS OVER
MOET WETEN

Lannoo

De wereld der atomen:
niemand die het ziet.
Hoe ontoereikend zijn onze dromen
als zelfs de verbeelding tekortschiet.
Kwantum was ooit een noviteit
en samen met onze onzekerheid
levert zij thans het bewijs:
de mens die verder kijkt
ziet
meer dan wat in steen gebeiteld staat,
iets wat veel verder reikt.

INHOUD

	Voorwoord van de fysicus	9
	Voorwoord van de schrijfster	11
	Hoe dit boek te lezen	14
I	Wiskunst	17
1	De onredelijke werkzaamheid van de wiskunde	19
1.1	Hoe Aristoteles van zijn sokkel werd gestoten	20
1.2	Wiskunde is de taal van de natuur.....	24
1.3	Je herkent de leeuw aan zijn klauwen.....	26
1.4	Algebracadabra.....	32
2	Symmetrie	39
2.1	De orde van de chaos.....	40
2.2	Als de symmetrie breekt	44
2.3	Groepen: de structuur achter symmetrieën	48
2.4	Drums en atomen	53
II	Kwantum	59
3	De (on)waarschijnlijkheid van een deeltje	65
3.1	De nagel op de kop.....	66
3.2	Licht: golf én deeltje.....	75
3.3	De eerste atoommodellen	82
3.4	Over deeltjes en golfpakketjes	88
3.5	Twee spleetjes: het experiment	92
3.6	De microscoop van Heisenberg	95

4	De eerste kwantumrevolutie	99
4.1	Golven vergoelijkt.....	100
4.2	Informatiegolfs 105	105
4.3	Twee spleetjes: de theorie.....	107
4.4	Kwantum-tunneling.....	110
4.5	Matrixmechanica.....	111
4.6	Schoonheid is waarheid, waarheid is schoonheid.....	114
4.7	De spin wordt een qubit.....	122
5	Kwantumfilosofie	131
5.1	Kwantumquatsch.....	132
5.2	Verstrengelingen.....	133
5.3	Niels vs. Albert.....	135
5.4	De EPR-paradox.....	138
5.5	Schrödinger stuurt zijn kat.....	143
5.6	Wie de kat de Bell aanbindt.....	146
5.7	Contextualiteit.....	152
6	Eén, twee, veel	157
6.1	De ononderscheidbaarheid van deeltjes.....	159
6.2	Hotel Hilbert.....	162
6.3	Atomen en moleculen.....	172
6.4	De harde materie.....	188
6.5	Kwantumkleur.....	194
6.6	Over Bose, Einstein en lasers.....	197
7	Pudding en kwark	207
7.1	Subatomaire fysica: de experimenten.....	208
7.2	Subatomaire fysica: de theorie.....	226
7.3	We zijn allen gemaakt uit sterren.....	242
8	Meer is Anderson	249
8.1	Emergentie.....	250
8.2	Renormaliseren.....	258
8.3	Supergeleiding.....	260
8.4	De ontdekking van de perfectie.....	265

9	De tweede kwantumrevolutie	273
9.1	Kwantummeetkunst.....	275
9.2	Kwantumsimulatie.....	277
9.3	Kwantuminformatie.....	280
9.4	Kwantumcomplexiteit.....	284
9.5	Kwantumcomputers.....	291
9.6	Kwantum in de fout.....	294
9.7	Kwantum herdacht: verstrengelde deeltjes.....	298
 Epiloog		 312
Dankwoord		317
Verklarende woordenlijst		318
Aanvullende literatuur		323
Index		325

HOE DIT BOEK TE LEZEN

Wat volgt is geen fysicaboek. Het is een boek óver kwantumfysica. De essentie van kwantumfysica is immers niet de wiskunde. Belangrijker zijn de achterliggende ideeën. We hebben ons verhaal daarom zo veel mogelijk ont-cijferd, in de zin van: van formules en wiskunde ontdaan. Je moet niet alles wat hier staat geschreven begrijpen. Staar je niet blind op de complexiteit van bepaalde passages. De kwantumlogica is heel tegenintuïtief en soms onmogelijk te vatten. Ze is geen voorwaarde om het bredere plaatje te begrijpen, noch om de schoonheid van de wetten van de natuur te appreciëren. Weet dat zelfs kwantumfysici de kwantumfysica niet helemaal begrijpen. Maar ze leren er wel mee werken en leven. Laat je meevoeren door de golven. Beeld je in dat je naar muziek luistert. Ieder hoofdstuk ontwikkelt een variatie op het kwantummotief. Muziek begrijp je ook nooit helemaal, maar je kunt er wel van genieten.

De structuur van het boek

Dit boek handelt over de kwantumfysica en over haar ontstaan, begin twintigste eeuw; over hoe ze evolueerde tot de grootste revolutie ooit in onze pogingen om alle materie op aarde en in het heelal te doorgronden; over hoe ze vorm geeft aan een groot deel van onze moderne technologie. Echter, net als elk domein in de wetenschappen is de kwantumfysica een hoofdstuk in een verhaal zonder einde en zonder echt begin. Want hoe ver moet je teruggaan in de geschiedenis om de eerste aanzet te vinden tot deze natuurwetenschap? Wij kozen ervoor om ons verhaal te laten aanvangen in de zestiende eeuw, met Simon Stevin van Brugghe, de eerste die wetenschappelijke dogma's overboord gooide omdat experimenten hem op andere, tegenintuïtieve waarheden wezen. De kwantumfysica is ontstaan door de kennis die, sinds Stevin, estafettegewijs werd doorgegeven, generatie op generatie, om zo vorm te krijgen en zich gaandeweg onmisbaar te maken in tal van dagelijkse toepassingen. Dat is de rode draad.

Naast de hoofdtekst bevat het boek nog twee soorten kaderstukjes:

Voor de goede orde: dit zijn de stukjes tekst met een verticale streep naast. Ze laten hier en daar wat frisse wind door de lectuur waaien.

Voor de aficionado's: dit zijn de omkaderde stukjes tekst. Voor wie toch een beetje dieper wil graven en zich graag door cijfers en formules laat bedwelmen. Wees gerust, deze zijn niet noodzakelijk om de hoofdtekst te kunnen volgen.

**DEEL
1**

WISKUNST

Hoofdstuk 1

in een notendop:

- Een theorie staat of valt met experimenten.
- Wiskunde is de taal van de natuur (en is onredelijk werkzaam).
- Fysica gaat over concepten en ideeën (niet over wiskunde).
- Hoofdpersonages: Simon Stevin, Galileo Galilei, Isaac Newton, William Hamilton.

HOOFDSTUK 1

DE ONREDELIJKE WERKZAAMHEID VAN DE WISKUNDE

1.1 Hoe Aristoteles van zijn sokkel werd gestoten



Simon Stevin

Het begon allemaal met een ogenschijnlijk onbenullig experiment, uitgevoerd door twee mannen die in de zestiende eeuw de klokkentoren van Delft waren opgeklauterd. Hun valproef luidde het begin in van een ongeziene en alles ontwrichtende wetenschappelijke revolutie. Daarbij viel niet alleen Aristoteles van zijn sokkel, maar ook het duizenden jaren oude en ongenaakbare geloof in de stelling dat zware objecten sneller neervallen dan hun lichtere soortgenoten.

Het tafereel in Delft voltrok zich als volgt: twee visionaire koppen, Simon Stevin van Brugghe (1548-1620, Bruggeling, wiskundige, fysicus, ingenieur avant la lettre en meester-twijfelaar) en zijn vriend Jan Cornets de Groot ('vlietichste ondersoucker der Naturens verborghentheden¹') begaven zich anno 1586 richting de top van de toren van de Nieuwe Kerk, voorzien van twee loden ballen, 'd'een thienmael grooter en swaerder als d'ander'. De ballen lieten ze, 'van 30 voeten hoog', tegelijk naar beneden vallen. Over wat er vervolgens gebeurde met hun 'loyen cloten' noteerde Stevin 'dat de lichtste bal niet tien keer langer onderweg is dan de zwaarste, maar dat ze tegelijkertijd op de grond vallen'.

1 Omschrijving door Simon Stevin. Uit *Anhang van de weeghconst, inde welcke onder anderen weerleydt worden etliche dwalinghe ghedaenten*.

Hun derde man, die met beide voeten op de grond was blijven staan en met de primitieve daad van het observeren tevens de belangrijkste opdracht kreeg toebedeeld, stelde met zijn eigen ogen en oorschelpen vast dat de ‘loyen cloten’ simultaan op de houten plank vielen. Er was duidelijk maar één ‘clop’ te horen. Delft of geen Delft, dit zaakje liet Stevin niet blauwblauw. Tegen dat hij, badend in het zweet, de trappen weer was afgestormd, lag zijn oordeel klaar: ‘Aristoteles voornomde everednheyt is onrecht.’ Het experiment was onverbiddelijk. Sinds Aristoteles, dus bijna tweeduizend jaar lang, hadden wetenschappers het bij het verkeerde eind gehad. Het was onomstotelijk en voor altijd bewezen: zware objecten vallen even snel als lichtere objecten.² Hier vangt ons verhaal aan. Sinds Stevin werd, in ruim drie eeuwen tijd, de weg geplaveid, de rede verlicht, en werden de geesten gekneed om in een rechte lijn af te stevenen op de geboorte van de kwantumfysica.

Op de nieuwe kerk stond hij met zijn *clooten*
 het wonder van de val te vergroten;
 d’een viel (doch tien keer zo zwaar)
 gelijk neer – ‘t maakt ‘t wonder zo raar;
 thans had hij Aristoteles van zijn troon gestoten.

Stevin, de ‘Da Vinci van de Lage Landen’, maakte van de gelegenheid gebruik om fijntjes te wijzen op het gewicht van het experiment: hoe mooi, logisch – of romantisch, zo je wilt – een theorie ook mag lijken, en hoezeer die theorie ook mag beantwoorden aan de intuïtie, als ze niet klopt (*clop!*) dan is ze waardeloos. Daarmee werd de wereld van de ideeën vriendelijk verzocht om plaats te maken voor het empirisch onderzoek, de realiteit. Vandaag lijkt dat vrij vanzelfsprekend, maar in die tijd betekende het een

2 Voorwaarde is wel dat er abstractie wordt gemaakt van bepaalde details die ons afleiden van de essentie. De objecten die naar beneden worden gekieperd moeten zwaarder zijn dan de lucht, maar ze mogen ook weer niet te snel vallen, want anders speelt de luchtweerstand een te grote rol. Met een heliumballon zou het alleszins niet lukken, die valt naar boven. In het luchtledige daarentegen valt alles hoe dan ook even snel op de grond.

enorme breuk met de traditie. Het verklaart ook waarom er aanvankelijk stevig in het verweer werd gegaan tegen dat soort balorige standpunten. Akkoord, je kunt alleen maar testen als je daarvoor de nodige instrumenten in huis hebt. Dat de wetenschap in de zeventiende eeuw in een stroomversnelling belandde, was een logisch gevolg van uitvindingen zoals de telescoop en de microscoop. Hoe preciezer er kon worden gemeten, hoe vaker experimenten tot nieuwe inzichten leidden en de theorieën van wel-
eer ondergroeven.

Het zal de rode draad vormen van dit hele verhaal. De geschiedenis van de wetenschap is een voortdurend gepingpong tussen theorie en experiment, tussen denken en testen. En uiteindelijk zijn het altijd weer de experimenten, en niet de rede of het buikgevoel, die bepalen of een nieuwe theorie nodig is. Een wetenschapper laat zich niet in met de vraag wie iets als eerste ontdekte. De vraag waarvoor hij zijn slaap laat, luidt: welke wetenschappelijke wet kan verklaren wat ik met mijn eigen ogen zie? En kan ik met deze wet de uitkomst van nieuwe experimenten voorspellen? Dat is de basis van de wetenschappelijke methode, en de enige juiste manier om aan wetenschap te doen. Uiteindelijk is onze intuïtie ook maar ‘gewoon’ gebaseerd op onze dagelijkse ervaring met het relatief grote – het zichtbare, zeg maar – en is die intuïtie onbetrouwbaar zodra we ons in de wereld van het microscopisch kleine begeven. Een atoom, opgebouwd uit, grof gesteld, een kern met daarrond elektronen, is totaal iets anders dan een miniatuurversie van een zon met daarrond de planeten. Wat natuurlijk niet wil zeggen dat een goed begrip van het macroscopische niet kan helpen om meer inzicht te krijgen in het microscopische, en omgekeerd.

Willen we aan kwantum doen, dan moeten we ons dus de radicale geest van Stevin aanmeten. Het is vanuit diezelfde geest dat de pioniers van de kwantumfysica, 350 jaar na Stevin, de hele fysicawereld door elkaar hebben geschud. Aangezien er bepaalde experimenten en mysteries waren die met de beste wil van de wereld, doch niet met de klassieke fysica, konden worden ontcijferd, ontwikkelden Werner Heisenberg en Erwin Schrödinger op een heel onbevangen manier een nieuwe theorie, eentje die wél antwoorden bood. En zo leidde de stroomversnelling waarin de wetenschap was terechtgekomen tot een resem nieuwe vragen, stomme verbazing, gedurfde aannames en, uiteindelijk, tot de basiswetten van

de kwantumfysica. Die kwantumfysica moest de mensheid ervan overtuigen dat deeltjes in feite ook golven zijn en dat die deeltjes op de koop toe overal en nergens tegelijk zitten. Het hangt er maar van af hoe je naar iets kijkt, en wat en hoe je meet.

Voorts zal het snel duidelijk worden dat het de kwantumfysica niet ontbreekt aan paradoxen. Maar. In ruil krijgen we er wel heel veel voor terug: een theorie die het gedrag van de materie en alle kleinste deeltjes verklaart, die ons in staat stelt om de wereld opnieuw – of eerder: op een andere manier – te ontdekken, en die essentieel was voor de technologische revolutie van de twintigste eeuw.

Niemand anders dan Simon Stevin kon en mocht dit boek openen. Omdat hij de grootvader is van de wetenschappelijke methode, en omdat hij het Nederlands (en bij uitbreiding: de omgangstaal) beschouwde als de taal bij uitstek om aan wetenschap te doen. Daarom kunnen ook wij het best teruggrijpen naar het Nederlands, willen we onze ambitie waarmaken om de kwantumfysica te ontdoen van haar mystieke karakter en de basisbeginselen ervan uitleggen aan een breed publiek. Tot slot openen we met Stevin omdat de protagonist van de volgende paragraaf, Galileo Galilei, onmiskenbaar schatplichtig is aan deze Bruggeling. Ere wie ere toekomt.

TASTEN IN HET DUISTER

Er was eens een man die laveloos over straat laveerde in het licht van een straatlantaarn, op zoek naar zijn sleutels. Een passant had dit zien gebeuren en hielp broederlijk met zoeken. Omdat de zoektocht niets opleverde, vroeg de passant of de man wel zeker was dat hij zijn sleutels op deze plek was kwijtgeraakt. Waarop de dronkenman, schouderophalend, lispelde: 'Nee. Maar hier is er tenminste licht.'³ Met andere woorden: de natuur mag ons overladen met mysteries zo veel ze wil, het is aan ons om de wetten, de sleutels, te vinden waarmee we ze allemaal kunnen ontcijferen. Het is een heel logische reflex om te zoeken waar het licht schijnt, omdat dat het enige is wat we kunnen zien, maar steeds meer zal duidelijk worden dat we ook in het duister moeten tasten.

1.2 Wiskunde is de taal van de natuur

Er was eens een jongeman die graag studeerde, maar niet graag naar de kerk ging. Terwijl deze Galileo Galilei (1564-1642) verondersteld werd braafjes psalmen mee te prevelen, werd op een dag zijn aandacht opgeëist door een heen en weer slingerende lamp die met een ketting aan het plafond van de kathedraal van Pisa was vastgemaakt.⁴ Bij gebrek aan een chronometer deed hij een beroep op zijn hartslag om te meten hoelang het object van zijn nieuwsgierigheid erover deed om van het ene naar het andere uiterste te slingeren. Met deze lumineuze zweefproef slaagde Galilei erin om de tegenintuïtieve wetmatigheid te ontrafelen die schuilgaat achter een slingerend object: hoe groot de uitwijking van een slinger ook is, de tijd die hij nodig heeft om zijn zwaaibeweging te maken, is altijd identiek.

**Dat Galilei daar dat lampje zag zwiepen
deed hem zich in de materie verdiepen
en hij draaide slag om slinger
alle wetten om zijn vinger.
De intuïtie kon 'm nu wel piepen.**

Galileo Galilei zou Galileo Galilei niet zijn geweest als hij zich niet rijkelijk had laten inspireren door zijn tijdgenoot. Met zijn 'valproef 2.0' ging de vader van de moderne wetenschappen echter nog een stap verder dan Stevin. Hij richtte zijn wetenschappelijke pijlen op het concept van tijd en tijdsintervallen. Het probleem was: hij kreeg het niet uitgelegd. Het enige waarnaar hij kon teruggrijpen om het mechanisme achter zoiets abstracts als 'tijd' te kunnen vatten, was de wiskunde. (Nota bene: 'wiskunde' is, net als 'natuurkunde' en 'meetkunde', een door Simon Stevin geïntroduceerd woord, afgeleid van 'wis const' of 'de kunst van het wijze': alles wat gebaseerd is op cijfers en zekerheden.)

4 Moderne biografen stellen de authenticiteit van deze anekdote in vraag, aangezien het mogelijk is dat die bewuste lamp pas twee jaar later (in 1585) in de Dom werd opgehangen.

Tijdens een heldere sterrennacht, ergens tussen de cipressen van het idyllische Pisa, werd Galilei gesterkt in zijn vermoeden. Turend door zijn al even revolutionaire uitvinding – de telescoop – begon het hem plots te dagen. Wat als, bedacht hij, ik nu een andere beschaving in het vizier krijg? In welke taal moet ik die mensen dan in 's hemelsnaam aanspreken? Met het Nederlands van Stevin zou het alleszins voor geen meter zijn gelukt. *E allora...? Matematica!* En hoewel hij daarmee nog altijd niet de formule had voor zijn zwiepende objecten, was het inzicht dat wiskunde de sleutel was om de natuur te beschrijven (en om met buitenaardse wezens te communiceren) op zich minstens even revolutionair. 'Het boek [lees: de natuur] [is] geschreven in de taal van de wiskunde [...] en zonder die [kennis] is het onmogelijk ook maar een enkel woord [van het boek] te begrijpen.'

Waar het op neerkomt is dit: de natuurwetten bestaan onafhankelijk van ons. Het is niet de mens die de wiskunde heeft uitgevonden om de natuur te kunnen verklaren, wiskunde is gewoon de taal van de natuur. En experimenten dwingen wetenschappers ertoe om nu en dan het vocabulairum van die taal uit te breiden. Dat verklaart ook waarom de uitkomst van een experiment objectief en onveranderlijk is, en altijd en overal tot hetzelfde resultaat zal leiden. Zowel op aarde als op mars. Een wiskundig model van de wereld stelt ons namelijk in staat om voorspellingen te doen en die voorspellingen op hun beurt te falsifiëren⁵ aan de hand van experimenten. En dat is, per definitie, fysica.

Galilei 'verwiskundigde' de fysica en koppelde ze los van filosofie en religie, zichzelf daarmee de woede van de kerk en andere sceptici op de hals halend. Kwantumfysica werd daar, eeuwen later, een extreme toepassing van. Enkel dankzij de (zeer) abstracte wiskunde kan zo goed als alles in de natuur worden voorspeld en verklaard. Alles in de wereld wordt omschreven door wiskundige functies. Het geluid dat je oren binnen sijpelt: functies! Het licht dat op je oogbol valt: functies! Het traject dat een deeltje aflegt in de tijd: functies! De warmte die zich verspreidt in een veel te klein

5

In de fysica kun je niet bewijzen dat een theorie juist is. Je kunt alleen aantonen dat ze fout is. Dat is wat we bedoelen met 'falsifiëren'. Het is namelijk niet omdat een experiment klopt dat je daarmee kunt garanderen dat je theorie juist is. Ze kan ook gewoon toevallig juist zijn.

café: functies! De waarschijnlijkheid dat je bij een meting die ene oplossing zult krijgen: functies! De invloed van vlindergeflapper in het Amazonewoud op het weer in Oostakker: functies! Functies beschrijven de wereld. Alles bestaat in functie van zijn afhankelijkheid van iets anders. En dat terwijl we de wiskunde alleen maar kunnen begrijpen en hard maken in termen van woorden. Want uiteindelijk gaat fysica over ideeën, niet over wiskunde. En achter elk sterk idee staat een mens – zeg maar gerust: een reus. De volgende reus in ons rijtje is Isaac Newton.

1.3 Je herkent de leeuw aan zijn klauwen

Het jaar was 1665. Een pandemie legde Europa lam, universiteiten sloten de deuren en Isaac Newton (1642-1727), prille twintiger en Cambridge-student, trok zich noodgedwongen in quarantaine terug in zijn ouderlijk landhuis in Woolsthorpe, zo'n honderd kilometer boven de stad. In die periode van isolement beleefde Newton een heus *annus mirabilis*. Nooit heeft iemand op zo'n korte tijd zo veel nieuwe begrippen geïntroduceerd en inzichten verworven in de fysica als Newton – een man die trouwens nooit verder is gereisd dan Londen, zelfs niet om de zee te zien (ondanks zijn enorme fascinatie voor golven); een man die nooit enige liefde zou hebben ontvangen van een vrouw, zelfs niet van, en misschien ook wel omwille van zijn moeder, die hem op driejarige leeftijd achterliet bij zijn grootmoeder om door haar te worden opgevoed. Naar verluidt had Newton zelf ook een rotkarakter, maar dat doet hier eigenlijk niet ter zake.

Het grootste probleem uit de fysica waar wetenschappers op dat moment hun hoofd over braken, was de manier waarop de banen van de planeten konden worden omschreven. Of eerder: het gebrek aan een manier om dat te doen. Met de wiskunde van die tijd lukte het alleszins niet. *Too bad*, dacht Newton, en hij vond dan maar zelf een nieuwe wiskunde uit (iemand moest het doen): de calculus, beter bekend als differentiaal- of integraalrekenen. Ken je de positie en snelheid van deeltjes en de krachten ertussen, dan kun je aan de hand van de calculus achterhalen hoe alles er ooit heeft uitgezien en er ooit zal uitzien. Want uiteindelijk kun je in de wereld alles herleiden tot beweging of verandering. Alles beïnvloedt elkaar en alles verandert in functie van de tijd: de tijd die tikt, het gras dat



Isaac Newton

groeit, planeten die draaien, elektronen die spinnen, katten die springen. Met de calculus loste Newton het grootste probleem uit de fysica van toen op. Met een en dezelfde formule slaagde hij erin om zowel de banen van de planeten te beschrijven als te verklaren hoe de spreekwoordelijke appel niet ver van de boom valt. Beide fenomenen konden worden verklaard met precies dezelfde wetten. En dat was behoorlijk spectaculair, want tot voor Newton was de wetenschap van alles wat zich afspeelde boven onze hoofden een totaal andere wetenschap dan de wetenschap die zich bekommerde om alle leven op aarde. Zelfs het zweef- en vliegwerk van Stevin en Galilei kon dankzij de calculus (eindelijk!) in wiskundige termen worden gegoten. En zo deed Newton datgene waar Galilei zelf niet in was geslaagd: de wiskunde aanwenden om er het gedrag van versnellende lichamen mee te beschrijven.

**Er waren eens een haas en een schildpad
en Zeno's paradox die illustreert dat
wie zijn limieten niet kent
de beweging ontkent
en Newtons calculus onderschat.**

www.lannoo.com

Registreer u op onze website en we sturen u regelmatig een nieuwsbrief met informatie over nieuwe boeken en met interessante, exclusieve aanbiedingen.

Tekst: Frank Verstraete en Céline Broeckaert

Illustraties: Céline Broeckaert

Omslagontwerp en vormgeving: Studio Lannoo (Nele Reyniers)

Dertiende, geactualiseerde druk, 2025

© Uitgeverij Lannoo nv, Tielt, 2023 en Céline Broeckaert, Frank Verstraete

D/2023/45/439 – ISBN 9789401492355 – NUR 910

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch of op enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever heeft ernaar gestreefd de auteursrechten volgens de wettelijke bepalingen te regelen. Zij die menen nog zekere rechten te kunnen doen gelden, kunnen zich tot de uitgever wenden. Tekst- en datamining van (delen van) deze uitgave zijn uitdrukkelijk niet toegestaan.

All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training and similar technologies