De dronkemanswandeling

Hoe toeval ons leven bepaalt.

Auteur: Leonard Mlodinow
Jaar: 2008
ISBN: 9789057123153

Korte inhoud van het boek opgesteld door Maur Bentein op 09 december 2011.

Inhoudsopgave

De dronkemanswandeling....................1
Hoofdstuk 1 - Een blik door de bril van het toeval....................3
Hoofdstuk 2 - Wetten van waarheden en halve waarheden....................4
Hoofdstuk 3 - Je weg vinden in een ruimte van mogelijkheden....................5
Hoofdstuk 4 - Wegen naar succes....................6
Hoofdstuk 5 - Concurrerende wetten van grote en kleine aantallen....................8
Hoofdstuk 6 - Fout-positief en positief fout....................10
Hoofdstuk 7 - Metingen en foutenwet....................12
Hoofdstuk 8 - Orde in de chaos....................14
Hoofdstuk 9 - Illusies van patronen en patronen van illusie....................16
Hoofdstuk 10 - De dronkemanswandeling....................19

Hoofdstuk 1 - Een blik door de bril van het toeval

De levensloop van de ouders van de auteur – die de concentratiekampen van W.O. II hebben overleefd – toonde dat het toeval een grotere rol speelde in een mensenleven dan welk andere bewuste keuzes die je ook kunt maken.

Om toekomstige gebeurtenissen te voorspellen bestaan er strategieën (o.a. systematisch gebruik maken van de meest voorkomende gebeurtenissen), maar ze zijn niet allemaal even effectief. Soms presteren ratten beter dan mensen omdat zij geen patronen trachten te raden, maar voortgaan op de grootste waarschijnlijkheid van gebeurtenissen in het verleden.

Veelal schat de mens de oorzaak en de gevolgen van een gebeurtenis verkeerd in, omdat er geen oorzakelijk verband is, maar alles op toeval berust. Straffen en/of belonen bij slechte en/of goede prestaties is zo'n verkeerde interpretatie. Prestaties verbeteren immers slechts zeer geleidelijk na oefening. Uitschieters bij dergelijk leerproces door oefening (in goed of slechte zin) zijn het gevolg van willekeurige variaties en dus niet van bewuste acties. Schelden of belonen helpt dus niet.

Vaardigheden, goede voorbereiding en hard werken zijn factoren die bijdragen tot het vergroten van onze kansen op succes. Toeval is echter in even grote mate een factor van succes of falen. Toevallige gebeurtenissen in de sport, de actualiteit, enz. lijken alleen niet toevallig, maar precies het resultaat van een onderliggend proces. Uitzonderlijke prestaties echter kunnen wel plaatsvinden zonder dat daar uitzonderlijke oorzaken aan de basis van liggen.

Hoofdstuk 2 - Wetten van waarheden en halve waarheden

De basis waarop veel van de argumentatie in dit boek op steunt zijn de wetten van de kansrekening. Die zijn subtiel, dat bewezen o.a. de experimenten van Kahneman & Tversky. Wat de mens vergeet is dat de kans dat een gebeurtenis A én een gebeurtenis B samen geschieden altijd kleiner is dan de kans op de enkelvoudige gebeurtenis A of B. $P(A \cap B) < P(A)$ of nog $P(A \cap B) < P(B)$. Andersom is de kans op de enkelvoudige gebeurtenis A: $P(A) = P(A \cap B) + P(A \cap \text{niet-}B)$. Wat te onthouden valt is dat toevoegen van informatie aan een scenario altijd de kansen verkleint dat het scenario waar is. “Anna is feministe en hoofd van het syndicaat van het openbaar ambt” is dus minder waarschijnlijk dan “Anna is truckchauffeur”. Een goed verhaal is vaak minder waarschijnlijk dan de minder bevredigende verklaring.

Mensen hebben overigens ook een zeer slecht geheugen voor het inschatten van frequenties van gebeurtenissen. We hechten ten onrechte veel belang aan de meest levendige herinnering, de recentste, die het gemakkelijkst op te halen is. Dit noemt men de **beschikbaarheidsfout**.

Historisch gezien kenden de Romeinen reeds een vorm van waarschijnlijkheidsrekenen. Cicero schreef dat “de kansrekening de richtlijn voor het leven zelf is”. En om niet steeds met een bloederig godsgericht een zaak te moeten beslechten kenden de Romeinen vanaf de zesde eeuw ook een systeem van kwantificering van onvermijdelijke onzekerheden in hun rechtssysteem. Daarmee ontstond ook het concept van “halfbewijs” in zaken waarin geen overtuigende reden was om de bewijslast te geloven of af te wijzen. Wiskundig valide was het zeker niet, want volgens hun wet vormden twee halfbewijzen samen een volledige zekerheid. Dat dit fout is bewijst de regel voor simultane kansen. Die berekening is immers geen optelling, maar een vermenigvuldiging (weliswaar uitgaande van 2 onafhankelijke gebeurtenissen): $P(A \cap B) = P(A).P(B)$. Willen we echter weten hoe groot de kans is dat de gebeurtenis A of de gebeurtenis B plaatsvindt, dan moeten we de kansen wél optellen: $P(A \text{ U } B) = P(A) + P(B)$.

In ons moderne rechtssysteem is kansberekening en het gebruik van statistische gegevens nog maar met mondjesmaat aanwezig en dan nog worden soms flagrante fouten gemaakt, met ten onrechte veroordelingen tot gevolg. Heeft het immers zin een bewijsvoering voor een misdaad enkel en alleen te baseren op de kans van 1 op 1.000.000.000 dat het DNA van de dader identiek is aan een andere aardbewoner, terwijl de kans 1 op 100 is dat de operator die de DNA-analyses uitvoert een fout begaat?

Hoofdstuk 3 - Je weg vinden in een ruimte van mogelijkheden

Girolamo Cardano († 1576) schreef het “Boek over het dobbelspel”, het eerste boek over de theorie van het toeval. Hij was een geboren gokker en had inzicht in de kansen bij spelen die berustten op het toeval. Hij verklaarde wat nu de **wet van de steekproefruimte** wordt genoemd. “De waarschijnlijkheid van het realiseren van een gunstige uitkomst is gelijk aan de proportie van die gunstige uitkomsten. Het geheel van alle mogelijke uitkomsten wordt de steekproefruimte genoemd.” Het boek zelf werd pas in 1663 gepubliceerd, en toen waren zijn analysemethoden reeds overtroffen.

Hoofdstuk 4 - Wegen naar succes

Dat Cardano zo weinig succes had met zijn boeken was het gevolg van de tijdsgeest, waarin meer geloof werd gehecht aan mystieke bezweringen dan aan nuchtere numerieke beschrijvingen. Slechts een paar decennia na Cardano's dood voltrok zich een wetenschappelijke revolutie in Europa.

In 1583 ontdekte Galileo Galilei dat de slingerperiode van een hanglamp gelijk was, of die lamp nu een grote dan wel een kleine boog beschreef. Hij gebruikte daarvoor zijn hartslag als stopwatch. Een exacte en praktische waarneming die een nieuwe benadering betekende voor de beschrijving van fysieke fenomenen. Op aandringen van zijn beschermheer schreef hij met tegenzin een stuk over het gokspel: “Gedachten over dobbelspelen”. Om een probleem over de kansen om met 3 dobbelstenen 9 dan wel 10 ogen te gooien gebruikte Galilei een belangrijk principe: **De kans op een gebeurtenis hangt af van van het aantal manieren waarop de gebeurtenis kan plaatsvinden.** Het effect van dit principe is wel verrassend, en de berekeningen zijn soms moeilijk. Bijvoorbeeld: hoe groot moet een groep mensen zijn zodat er een kans van > 50% bestaat dat 2 leden van die groep op dezelfde dag verjaren? Het grote aantal mogelijke combinaties van 2 personen maakt dat het aantal verrassend laag is: nauwelijks 23 personen.

Op de vraag hoe je het aantal manieren waarop iets plaatsvindt berekent dacht Galilei niet verder na. Hoewel Galilei veroordeeld werd door de Inquisitie voor zijn nieuwe wetenschappelijke aanpak gingen vanaf die dag de wetenschap en de religie elk hun eigen weg. De wetenschap beantwoordde vanaf dan enkel nog de vraag HOE en niet meer het WAAROM.

Nieuwe ideeën over kansberekening – nu ook weer ontwikkeld in de context van het gokspel – waaiden vanuit Frankrijk over heel Europa. De wiskundige Blaise Pascal (° 1623) was aan zet. Op vraag van een van zijn gokverslaafde vrienden stortte hij zich op de kansberekening. Het probleem dat hij moest oplossen was het puntenprobleem: hoe bij een vroegtijdig stoppen van een kansspel de pot eerlijk te verdelen tussen twee spelers volgens de kansen op winst van iedere speler. Hij correspondeerde over het probleem met zijn vriend Pierre de Fermat. De rekenmethode die Pascal voorstelde was eenvoudiger dan deze van de Fermat en wordt nu nog de **driehoek van Pascal** genoemd.

INTERMEZZO

Twee ploegen nemen het in een toernooi tegen elkaar op in een reeks van 7 wedstrijden. Wie er 4 wint is dus eindwinnaar. Als één ploeg de eerste 2 wedstrijden wint, hoe groot is dan de kans dat de andere ploeg alsnog als eindwinnaar van het toernooi uit de bus komt? De nakomer moet dus minimum 4 van de 5 resterende partijen winnen. Het aantal manieren om 0, 1, 2, 3, 4, en 5 wedstrijden te winnen is volgens de driehoek van Pascal in rij 5: 1 - 5 - 10 - 10 - 5 - 1. Conclusie: het aantal manieren om minimum 4 (dus 4 of alle 5) wedstrijden te winnen is 5 en 1, dus in totaal 6 op in totaal 32 manieren. De kans van 6/32 is weliswaar klein, maar niet onbestaande. In het verleden zijn ploegen hier zelfs al in geslaagd.

De kansen van de tegenpartij zij dus wel degelijk groter. Zij moeten immers nog minimum 4 - 2 = 2 wedstrijden winnen. De mogelijkheden om minimum 2 wedstrijden te winnen op 5 partijen is volgens dezelfde rij: 10 en 10 en 5 en 1, ofwel 26/32.

Hoewel Pascal zich vanaf 1654 tot zijn dood in 1662 als een religieuze zonderling gedroeg en alle wiskunde afzwoer heeft hij in zijn boek “Pensées” op wiskundige manier bewezen dat vroom zijn loont (de gok van Pascal genoemd). Hij introduceerde daarbij het concept **wiskundige verwachting** (het vermenigvuldigen van de kans met de opbrengst om een beslissing te nemen). Dit concept wordt vaak aanzien als de basis van de speltheorie en het onderzoek naar optimale beslissingsstrategieën.

Hoofdstuk 5 - Concurrerende wetten van grote en kleine aantallen

Cardano, Galilei en Pascal gingen er van uit dat de kansen – voor de problemen die ze wilden oplossen – bekend waren. Maar is dat wel zo? Is de kans dat je met een dobbelsteen 2 ogen gooit werkelijk 1/6? Wat is het verband tussen de onderliggende kansen en de waargenomen uitkomsten? Wat is de werkelijke betekenis van het concept **toeval**? Veel religieuze mensen hebben problemen met het idee dat God het toeval zou laten bestaan.

De perfectie die vroeger nodig was om een volledig willekeurige reeks getallen te genereren bestond niet – althans niet op macroscopische schaal. Echt toevallige gebeurtenissen vinden op atomaire schaal plaats. Ultramoderne kwantumgeneratoren genereren wel echt toevallige gebeurtenissen. Bijvoorbeeld stelt de **wet van Benford** dat niet alle negen cijfers met dezelfde frequentie verschijnen. De lagere getallen hebben een hogere frequentie. Dit geldt vooral in de financiële wereld. Ook de Amerikaanse belastingdienst gebruikt deze wet, namelijk om belastingfraude op te sporen.

Is elektronische ruis willekeurig? Dat heeft de Rand Corporation onderzocht in de jaren '50 van vorige eeuw toen ze een grote tabel willekeurige cijfers wilde publiceren. Ze gebruikten hiervoor de Monte-Carlomethode. Het resultaat bleek willekeurig genoeg voor bepaalde toepassingen, maar bevatte toch regelmatigheden.

Het verband tussen de onderliggende kansen en de waargenomen uitkomsten werd beantwoord na de uitvinding van de integraal- en differentiaalrekening.

Hoe groot is de kans dat je met een onvolmaakte dobbelsteen 6 ogen gooit? Bernoulli zag in dat we niet moeten vertrouwen op de kansen die ons worden gegeven of voorgespiegeld, maar dat we ze moeten vaststellen via waarnemingen. Hij ging ervan uit dat, hoe meer proeven je doet, hoe nauwkeuriger de waargenomen frequenties de onderliggende kansen zullen weerspiegelen. Hij vroeg zich af hoeveel proeven nodig zijn en hoe zeker je dan was. Respectievelijk in 1684 publiceerde Gottfried Leibniz een revolutionair artikel met een uiteenzetting van de principes van de integraalrekening en in 1687 publiceerde Isaac Newton zijn eigen versie in zijn boek "Principia". Bernoulli gebruikte deze nieuwe kennis om de concepten rij, reeks en limiet verder te verfijnen. De limiet van een reeks was de kant waarnaar de rij getallen lijkt op te gaan, het eindpunt dus.

INTERMEZZO

De Griekse filosoof Zeno formuleerde een paradox. Als iemand een afstand moet afleggen, dan moet hij eerst de helft van die afstand afleggen. Voordat hij die helft aflegt, moet hij eerst de helft van de helft afleggen, enz. Hij zal dus een oneindig aantal afstanden moeten afleggen en nooit het eindpunt kunnen bereiken.
Deze paradox is dus een rij breuken: 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, ...

De paradox van Zeno kan worden herzien met de concepten rij, reeks en limiet als volgt. Per interval worden de volgende afstanden afgelegd:
1e interval ---> 1/2 afstand;
2e interval ---> 1/2 + 1/4 afstand = 3/4 afstand;
3e interval ---> 1/2 +1/4 + 1/8 afstand = 7/8 afstand.

Het patroon wordt duidelijk: na het “n-de” interval is $(2^n - 1)/2^n$ van de afstand afgelegd. De getallen neigen dus naar 1 (en niet naar oneindig, zoals Zeno zei, tenzij Zeno het had over de benodigde tijd).

Jakob Bernoulli pakte op die manier ook de relatie tussen kansen en waarnemingen aan. Het hoogtepunt van zijn twintigjarig werk noemde Bernoulli de “gouden stelling”, wat wij nu de **wet van de grote aantallen** noemen. Onafhankelijk van elkaar uitgevoerde proeven met willekeurige uitkomsten die slechts de waarden goed of fout hebben worden Bernoulli-proeven genoemd en een reeks van die proeven een Bernoulli-proces. Om de gouden stelling toe te passen moet je 2 keuzes maken: hoeveel fout wil je accepteren (+ of -1%, + of -0,00001 %, ...) en hoe zeker wil je zijn van het resultaat (99/100, 999/1000, ...). De gouden stelling zegt dat het altijd mogelijk is om genoeg proeven te doen om vrijwel zeker te zijn dat je dichtbij de onderliggende kansen zit. Ze biedt ook een numeriek formule voor het aantal proeven.

Bernouilli wilde echter dusdanig zeker zijn – hij noemde een zekerheid van 999/1000 een morele zekerheid – dat het aantal proeven in de praktijk te hoog opliep. Tegenwoordig hanteren we de term **statistische significatie** en leggen die op een fout van minder dan 5% (1 op 20). Gezien we echter in de realiteit niet altijd veel kans hebben om duizenden proeven te doen, maken we tegenwoordig veelal de omgekeerde fout. We gaan ervan uit dat een kleine reeks steekproeven voldoende representatief is voor de onderliggende situatie, terwijl de aantallen te klein zijn om betrouwbaar te zijn.

Het misverstand – of de foutieve intuïtie – dat een kleine steekproef de onderliggende kansen goed weerspiegelt werd door Kahneman en Tversky sarcastisch de **wet van de kleine aantallen** genoemd. Het is een term – geen echte wet – die de ondoordachte pogingen bedoelt om de wet van de grote aantallen toe te passen op kleine getallen. Omdat vele gebeurtenissen in het dagelijkse leven (ziek worden of niet, sterven of niet, ...) Bernoulli-processen zijn leidt onze intuïtie ertoe dat we dingen, die we zien, verkeerd interpreteren. Menselijke scores uit het verleden vertellen dus niets met zekerheid over de toekomst. Een beoordeling op de capaciteiten van een mens is beter dan een beoordeling van zijn voorbije scores.

Een andere fout wordt de **denkfout van de gokker** genoemd. Het is het idee dat de toenemende of afnemende waarschijnlijkheid op een gebeurtenis verband houdt met het feit dat die gebeurtenis onlangs nog is voorgevallen of niet. “Ik ben nu aan de beurt” is een krachtige illusie.

Het antwoord op de vraag hoe je uit gegenereerde uitkomsten de onderliggen kansen kunt afleiden heeft Nikolaus Bernoulli een paar decennia later gegeven.

Hoofdstuk 6 - Fout-positief en positief fout

Samenzweringstheorieën bestaan slechts bij de gratie van de verwarring. Ze verwarren de mogelijkheid dat rechtstreekse gebeurtenissen plaatsvinden als die het gevolg zijn van een enorme samenzwering met de andere mogelijkheid dat er sprake is van een enorme samenzwering als een reeks gebeurtenissen plaatsvindt.

Bayes' theorie heeft te maken met met het effect van de waarschijnlijkheid dat een gebeurtenis zal plaatsvinden ALS (of "gezien het feit") ander gebeurtenissen plaatsvinden. Het antwoord of de uitkomst is niet altijd intuïtief aan te voelen.

INTERMEZZO

Hoe groot is de kans dat in een gezin met twee kinderen, waarvan er één een meisje is, beide kinderen meisjes zijn?
Voor twee kinderen die in een gezin zijn geboren zijn er 4 mogelijke uitkomsten: (jongen, jongen), (jongen, meisje), (meisje, jongen), (meisje, meisje). Nu komt de voorwaarde spelen: één kind moet reeds een meisje zijn, dus de combinatie (jongen, jongen) telt hier in de berekening niet mee. Er blijven dus maar 3 mogelijke combinaties over. Slechts één van die combinaties is de "goede": (meisje, meisje). De kans is dus 1/3 (en niet 1/4, zoals je zou verwachten).

Bayes ontwikkelde zijn theorie over de voorwaardelijke kans om dezelfde vraag te beantwoorden waarmee Bernoulli zich bezig hield: hoe kunnen we uit waarnemingen de onderliggende kansen afleiden? In de werkelijkheid van iedere dag gaan we als volgt te werk. We nemen een relatief beperkte steekproef van uitkomsten waaruit we informatie afleiden en oordelen vellen over de eigenschappen die de uitkomsten hebben voortgebracht. Hoe kunnen we nu de juiste conclusies trekken?

De theorie van Bayes vertelt ons dat de kans dat A plaatsvindt als B plaatsvindt verschilt van de kans dat B plaatsvindt als A plaatsvindt. Men houdt hier vaak geen rekening mee. In juridische kringen wordt deze omdraaifout ook wel de **denkfout van de aanklager** genoemd.

INTERMEZZO

Wil een positieve Hiv-test zeggen dat je maar 1 kans op 1000 hebt dat je gezond bent?
Een statistiek zegt dat de Hiv-test een positief resultaat produceert bij 1 op 1000 bloedmonsters, terwijl het bloed niet geïnfecteerd is. Daaruit het omgekeerde besluiten is niet juist. Een andere statistiek zegt dat 1 op de 10000 geteste personen [die tot een specifieke groep behoren] wel seropositief is. Als het aantal fout-negatieve uitslagen zo goed als 0 is, dan kunnen we zeggen dat op 10000 personen ongeveer 10 personen een positieve testuitslag krijgen (= 1/1000), terwijl er maar 1 werkelijk seropositief is. Er is dus een 90% kans dat je niet besmet bent!

Thomas Bayes' werk bleef onopgemerkt, ondanks publicatie ervan in 1764. Het was Pierre-Simon Laplace die deze ideeën onder de aandacht van de wetenschappers bracht, namelijk hoe dat de kansen die aan situaties in het echte leven ten grondslag liggen kunnen worden afgeleid uit de uitkomsten die we zelf waarnemen.

Het is belangrijk hier een onderscheid te maken tussen kansberekening en statistiek. **Kansberekening** heeft te maken met **voorspellingen op basis van vaste kansen**. **Statistiek** heeft te maken met het **afleiden van de kans op basis van de waargenomen gegevens**.

Laplace zocht het antwoord op het probleem dat hij als volgt formuleerde: uitgaande van een reeks metingen, wat is de beste inschatting die je van de werkelijke waarde van de gemeten hoeveelheid kunt maken en hoe groot is de kans dat deze inschatting “dichtbij” de werkelijke waarde ligt (hoe je “dichtbij” ook formuleert). Hij startte met zijn analyse in 1774 en vervolledigde die over een tijdspanne van 40 jaar (waarbij hij de turbulente jaren van de Franse Revolutie, de Republiek, Napoleon en de terugkeer van het Koninkrijk overleefd dankzij heel wat keren het geweer van schouder te veranderen).

Met het werk van Laplace als basis schakelen we over van kansberekening op statistiek. In het raakvlak van beiden ligt een van de belangrijkste krommen van de wis- en natuurkunde: de klokkromme.

Hoofdstuk 7 - Metingen en foutenwet

Of het nu scores zijn voor schoolwerk of verkiezingsuitslagen, dat alles zijn metingen van kwaliteit of kwantiteit en derhalve onderhevig aan fouten en onnauwkeurigheden. Het achterhalen van de onnauwkeurigheid bij metingen werd belangrijk in de XVIIIe eeuw toen men de wetten van Newton over de bewegingen van de hemellichamen probeerde te controleren.

Newton was een buitenbeentje omdat hij het gemiddelde van onderling afwijkende metingen als representatief getal aanvaardde. Andere geleerden stelden een “gouden getal” voorop die – volgens hun intuïtie – de correcte waarde was om niet voor knoeier te worden verweten door verschillende uitslagen te moeten publiceren. Een andere reden voor de opkomst van de maattheorie is de nieuwe mode van de Franse rigoureuze experimentele natuurkunde van de jaren tachtig van die XVIIIe eeuw. De tijd het empirisch natuurkundig onderzoek zonder nauwgezette wetenschappelijke methodologie was gedaan. Er ontstond een beweging voor het mathematiseren van de experimentele natuurkunde en hierin speelde Laplace een belangrijke rol.

Laplace raakte geïnteresseerd in de natuurkunde door Lavoisier, de scheikundige die in 1794 onthoofd werd nadat de rechter zijn verzoek om zijn experiment voort te zetten beantwoordde met: "De Republiek heeft geen behoefte aan wetenschappers ... ". Het werk van Laplace, Lavoisier en Coulomb transformeerde de experimentele natuurkunde en introduceerde het metrisch systeem. De taak van de wiskundigen uit de eind XVIIIe en begin XIXe eeuw bestond uit het doorgronden en kwantificeren van toevalsfouten. Dit leidde tot de wiskundige statistiek. Tegenwoordig is een goed inzicht in de statistiek net zo bruikbaar in de wetenschap als in het dagelijkse leven.

Hoewel metingen altijd onzekerheid met zich meebrengen wordt daar zelden over gepraat. Dit geldt zowel voor kwantitatieve grootheden (de snelheid bij een snelheidsovertreding bijvoorbeeld) en zeker voor kwalitatieve grootheden (de examenbeoordeling of de wijnproeverij bijvoorbeeld). De vraag is steeds: hoe kun je via een beperkte reeks metingen de waarschijnlijkheid vaststellen dat de kwalificering juist is? De maattheorie geeft hierop een antwoord.

Allerbelangrijkst voor metingen is inzicht te hebben in de variatie in de gegevens door toevallige fouten. Een reeks van 21 cijfers beginnend bij 80 en telkens met stap +1 oplopend naar 100 heeft als gemiddelde 90. Een reeks van 21 cijfers die allemaal 90 zijn heeft ook als gemiddelde 90. De spreiding van de getallen is echter zeker niet dezelfde. Intuïtief zul je beamen dat de 2e reeks metingen heel wat nauwkeuriger is dan de eerste reeks. Aangezien de variatie dus zeer belangrijk is heeft men er een numeriek maat voor ontwikkeld: de **steekproefstandaarddeviatie**. Ook het kwadraat van deze variatie wordt soms als maat gebruikt: de steekproefvariantie. De mate van onzekerheid van de meting kan nu als volgt worden beoordeeld: voor een kleine steekproefstandaarddeviatie geldt een kleine onzekerheid (of een grote zekerheid) en omgekeerd. In de tweede reeks getallen met gemiddelde 90 is de steekproefstandaarddeviatie = 0. In de eerste reeks getallen is de steekproefstandaarddeviatie = 6. Dit wil zeggen dat de meeste cijfers binnen een zone van 6 punten rond het gemiddelde liggen. In dit laatste geval kunnen we enkel besluiten dat de werkelijke maat zich ergens tussen 84 en 96 bevindt.

Wetenschappers in de XVIIIe en XIXe eeuw stonden voor hetzelfde probleem van onzekerheden door meetfouten. In 1838 categoriseerde F.W. Bessel 11 klassen willekeurige fouten die plaatsvinden bij iedere telescopische waarneming. Een van de eersten die suggereerde dat verschillende verzamelingen metingen gezamenlijke kenmerken hebben was Daniël Bernoulli in 1777. Hoewel de wet die hij bedacht om de spreiding te beschrijven verkeerd was, was het inzicht wel juist. Dat de spreiding van fouten de **universele foutenwet** volgt is het centrale idee in de maattheorie. Als aan een bepaald aantal zeer algemene voorwaarden wordt voldaan, volstaat één enkele wiskundige analyse om op basis van de gemeten waarden de werkelijke waarde te achterhalen. Het maakt daarbij niet uit dat het gaat om het bepalen van de posities van planeten of het gewicht van broden. Om astronomische gegevens te analyseren formuleerden Daniël Bernoulli en Laplace gebrekkige methoden, terwijl ironisch genoeg de **klokkromme** – de juiste wiskundige formule – vele jaren eerder in London was ontdekt. De persoon in kwestie was Abraham de Moivre in 1733. Als je in de driehoek van Pascal dieper zakt worden de getallen snel groter en bij de 100e rij is de klokkromme al goed zichtbaar. En als je de kromme een beetje vloeiender maakt, dan kun je er een wiskundige uitdrukking voor schrijven. Met die formule kun je dan ook gebruiksvriendelijke en nauwkeurige schattingen maken van getallen in de lagere rijen van de driehoek van Pascal, zo ontdekte de Moivre.

De abscis van de top van de klokkromme duidt het gemiddelde aan. Op minder dan 1 standaarddeviatie van het gemiddelde liggen ongeveer 68% van de waarnemingen, op minder dan 2 standaarddeviaties ongeveer 95% en op minder dan 3 standaarddeviaties 99,7%. De grootte van de steekproef zal de nauwkeurigheid (of de foutmarge) bepalen. Als eerste vuistregel geldt dat voor de meeste doeleinden de foutmarge bij een steekproefgrootte van 100 te groot is. Een steekproef van ordegrootte 1000 geeft een foutmarge van 3%, wat meestal wel goed genoeg is. Bij herhaalde steekproeven zullen de waarnemingen variëren en dus niet steeds dezelfde resultaten opleveren. Een tweede vuistregel is dus dat de variatie binnen de foutmarge moet worden genegeerd. Hoewel bijvoorbeeld bij politieke peilingen een foutmarge van 5% niet zou geaccepteerd worden trekken we in het dagelijkse leven zeer dikwijls conclusies op basis van gegevens die nog veel onzekerder zijn. Als we ergens in investeren gaan we uit van eerdere successen (een beperkt aantal weliswaar), maar hoe zeker ben je dat deze successen zich zullen herhalen? Soms is het zelfs maar een steekproefpunt, niet meer dan dat.

Hoewel Gauss het werk van de Moivre oppikte en inzag dat dit betrekking had op astronomische metingen was het bewijs dat hij zelf ontwikkelde ongeldig. Laplace stuitte op het werk van Gauss in 1810 nadat hij de **centrale limietstelling** had bewezen. Die houdt in dat de kans het totaal van een groot aantal toevallige factoren een gegeven waarde aanneemt verspreid is volgens de **normale verdeling**. Toen Laplace het werk van Gauss las zag hij in dat de normale verdeling gelijk is aan de foutenwet.

Vandaag zijn de centrale limietstelling en de wet van de grote aantallen de twee bekendste resultaten van de theorie van het toeval.

Hoofdstuk 8 - Orde in de chaos

Hoewel de gemiddelde levensverwachting van een bevolking van een ontwikkeld land 80 jaar bedraagt, kan een individu uit deze bevolking 122 jaar worden (Frankrijk, Jeanne Calment, † 4 augustus 1997). De individuele levensduur is onvoorspelbaar, maar gegevens van groepen vertonen regelmatige patronen. Dat bleek toen wetenschappers in de XIXe eeuw op zoek gingen naar nieuwe sociale gegevens en vaststelden dat uit de chaos van het leven meetbare en voorspelbare patronen te voorschijn kwamen. En ze ontdekten dat die gegevens vaak de normale verdeling volgden. Ze wilden ook de oorzaken kennen die ervoor zorgden dat de krommen soms van plaats veranderden. Als gevolg daarvan bloeide de wiskundige statistiek op in het onderzoek naar de aard van de samenleving.

De eerste keer dat statistische gegevens werden gedocumenteerd gebeurde in de XIe eeuw in Engeland, toen Willem de Veroveraar zijn nieuwe onderdanen wilde taxeren. Het ging hem om gegevens over het land en de dieren van het land, helaas niet de mensen. Een chronologisch volgende grote telling gebeurde op verzoek van de burgemeester van London in 1603. Wekelijks wilde hij het aantal slachtoffers van de pest kennen. In het jaar 1665 trachtten John Graunt en William Petty conclusies te trekken uit die mortaliteitsgegevens en de oorzaken ervan. Ze kwamen tot de vaststelling dat hoewel London wemelde van de bedelaars er opvallend weinig stierven van honger. En dat de pest een oorzaak moest hebben omdat de schommelingen in de gegevens te groot waren om willekeurig te zijn. Het waren niet zozeer de conclusies die baanbrekend waren (ze waren soms verkeerd), maar het besef dat statistieken inzicht kunnen geven in het systeem van waaruit ze zijn afgeleid. Zo kon Graunt uit de sterftestatistieken het aantal geboorten schatten, het inwoneraantal van London, enz. Petty gebruikte statistische redeneringen om nationale kwesties te analyseren. Graunt is bekend om de levenstabel die de verwachtingen op overleven per leeftijd opgaf en die nog steeds wordt gebruikt door het WHO. Zijn werk werd in de rest van Europa toegepast bij volkstellingen e.d.m.. Graunts nalatenschap was dat hij had aangetoond dat je conclusies kunt trekken over de populatie door een nauwkeurig beperkte steekproef ervan te nemen. In afwachting van de instrumenten voor degelijke analyse (Gauss, Laplace, e.a.) bleven de meeste geheimen echter nog verborgen tot in de XIXe eeuw.

Statistiek komt overigens uit het Duits **Statistik** en hield zich bezig met Statenkunde en beschrijving ervan. De methoden van Laplace waren onderdeel geworden van deze discipline. Na Laplace was het de beurt aan Adolphe Quételet (° Gent, 22 februari 1796). Hij studeerde kansrekening en statistiek bij Fourier, en hij werd verliefd op het idee dat je de wiskundige middelen uit de astronomie ook op sociale gegevens kunt toepassen. Overal waar hij zocht vond hij de normale verdeling, behalve in de lengte van jonge Franse dienstplichtigen. De klokkromme bleek verstoord rond 1,58 m. Hij vond dat de afwijking het gevolg was van fraude (mannen kleiner dan 1,58 m moesten namelijk geen dienstplicht vervullen). Quételet had een nuttige ontdekking gedaan: de patronen van willekeur zijn zo betrouwbaar dat een afwijking ervan in de sociale gegevens kan worden opgevat als een indicatie voor een misdaad. De forensische economie steunt op dit principe. Onderzoek naar fraude met aandelenopties bij een tiental bedrijven in de VS bracht een statistische vingerafdruk van deze misdaad aan het licht. Ook fraude met basketballuitslagen kon zo worden aangetoond. “Misdaad”, zo schreef Quételet, “is als een rekening die met angstaanjagende regelmaat wordt betaald.” Hij wilde echter de “gemiddelde mens” in kaart brengen. De mens verandert als de maatschappelijke omstandigheden veranderen, en hij wilde dat bestuderen en de oorzaken opsporen. Naar analogie met de wetten van Newton wilde hij bewijzen dat het menselijk gedrag constant blijft zolang er geen verandering optreed in de maatschappelijke omstandigheden. Maar niet alles wat in de samenleving plaatsvindt wordt beheerst door de normale verdeling. In de filmwereld bijvoorbeeld haalt 20% van de films 80% van de inkomsten binnen. Het blootleggen van deze wetten lukte hem dus niet. Maar zijn methode inspireerde vele geleerden die tenslotte de biologie en de natuurkunde transformeerden.

Francis Galton (neef van Charles Darwin) introduceerde het statistisch denken in de biologie. Hij creëerde ook het nieuwe onderzoeksgebied van de eugenetica. Hij hoopte een manier te vinden om door selectieve voortplanting de mensensoort te verbeteren. De psychologen zijn er echter achtergekomen dat de **tien-jaar-regel** (succes op een gebied komt na 10 jaar hard werken, oefenen en proberen) inhoudt dat inspanning en toeval net zo belangrijk zijn als aangeboren talent. De erfelijkheidsstudies van Galton leidden ertoe dat hij twee wiskundige principes ontdekte. Grotere ouders kregen kleinere kinderen en omgekeerd. Hij noemde dit de **regressie naar het gemiddelde**. Hij besefte dat processen die geen regressie naar het gemiddelde vertonen uit de hand liepen. In de grafieken die hij opstelde van deze gegevens over de lengte van ouders en kinderen kwam naar voren dat de gegevens rond een diagonaal van 45° vanuit de oorsprong verspreid lagen. Hij bepaalde de index die de consistentie van dergelijke relatief beschrijft. Hij noemde het de **correlatiecoëfficiënt**.

Het is wel zo dat een eindige verzameling gegevens nooit een perfecte klokkromme zal opleveren. Statistici zetten de gegevens in een grafiek en observeerden de vorm ervan om te zien of deze de normale verdeling volgde. Maar hoe kwantificeer je of het precies past? Karl Pearson ontwikkelde een methode die hij de **chikwadraattoets** noemde. Daarmee kun je vaststellen of een verzameling gegevens daadwerkelijk overeenkomt met de spreiding die je in gedachten hebt. Vandaag de dag worden chikwadraattoetsen op grote schaal gebruikt.

Via Galton drong Quételets werk door tot de biologie, maar de grootste revolutie ontketende ze in de natuurkunde. Zijn theorieën inspireerden de grondleggers van de statistische natuurkunde: James Clerck Maxwell en Ludwig Boltzmann. Het is immers in de natuurkunde dat er zeer grote getallen worden gebezigd, zoals het aantal moleculen in één liter gas. Het was finaal Albert Einstein die in 1905 een revolutionair artikel schreef over statistische natuurkunde. Het werk was bedoeld om de Browniaanse beweging te verklaren. Robert Brown, een botanicus, dacht dat hij de levensenergie had gevonden doordat stuifmeelkorrels zich continu en willekeurig bewogen in water. Later echter merkte hij ook deze beweging op bij anorganische substanties. Hoewel Maxwell, Bolzmann en anderen de basis voor het inzicht in de Browniaanse beweging legden, bleven er bezwaren omdat sommige wetenschappers wiskundige problemen hadden met de theorie, anderen met het atoom zelf, dat nog nooit werd gezien. Het grootste bezwaar was dat de theorie weinig voorspellingen maakte. Einstein stelde daar paal en perk aan met zijn nieuwe theorie in 1905 en de gedetailleerde verklaring van de Browniaanse beweging. De chaotische beweging van de watermoleculen als verklaring voor het verschijnsel stuit op twee problemen: de moleculen zijn veel te licht om drijvende deeltjes als stuifmeel te beroeren en de frequentie van de botsingen op moleculair vlak is vele malen groter dan de waargenomen bewegingen. Einstein zag in dat de twee problemen elkaar ophieven. Geïsoleerde botsingen van moleculen, hoewel zeer frequent, hebben geen zichtbaar effect. Maar wanneer puur toeval een onevenredig groot aantal botsingen een bepaalde richting oplegt doet zich wel een zichtbare beweging voor. Einsteins berekeningen legden een voorspelbare relatie bloot tussen factoren als omvang, snelheid en aantal van moleculen ondanks de chaos op moleculair niveau. Hij had dus nieuwe en meetbare uitkomsten in verband gebracht met statistische natuurkunde. Veel van de orde die we in de natuur waarnemen en die een onzichtbare wanorde als grondslag heeft kan dus alleen worden begrepen door de regels van het toeval. **De dronkemanswandeling,** de chaotisch beweging van de moleculen die aan de grondslag ligt van deze ontdekking, raakte geaccepteerd als een van de meest fundamentele natuurlijke processen. In toevallige variatie vind je dus ordelijke patronen, maar die patronen hebben niet altijd betekenis.

Hoofdstuk 9 - Illusies van patronen en patronen van illusie

Een van de grootste experimentele wetenschappers, Michael Faraday, deed verschillende succesvolle experimenten om de toenmalige hype van het tafelkloppen en tafeldansen om met de geesten van overledenen te communiceren te ontkrachten. Hij erkende dat de menselijke perceptie geen direct gevolg is van de realiteit maar eerder van de verbeelding. Deze verbeelding vult de hiaten van de informatie waar de mensen in hun leven tegenaan lopen. Ook onze ogen bedriegen ons, omdat de fysieke tekortkomingen – o.a. door de blinde vlek – door onze hersenen worden opgevangen en gecorrigeerd. We gebruiken onze verbeelding ook om de hiaten in patronen van andere dan visuele gegevens in te vullen. Net als bij visuele waarnemingen trekken we conclusies op basis van onvolledige informatie omdat we trachten het plaatje te vervolledigen.

Wetenschappers beschermen zich nu tegen dergelijke waarnemingen van onjuiste patronen door statistische analysemethoden. Eén van die technieken, de **test op significantie**, werd ontwikkeld door R.A. Fisher in de jaren 1920 en 1930 . Als bepaalde gegevens een hypothese niet echt bevestigen maar ook niet helemaal ontkrachten, dan moeten we ergens een grens trekken tussen accepteren en verwerpen. De significantietest doet dit. Het is een formele procedure om de kans te berekenen dat wat we hebben waargenomen ook is wat we hebben waargenomen als de hypothese die we testen waar is. Een kleine kans verwerpt de hypothese, een grote kans accepteert ze. Heeft een afwijzingsresultaat bijvoorbeeld een significantieniveau van 3%, dan wil dat zeggen dat er een kans is van hooguit 3% dat de gegevens ons door het toeval op een dwaalspoor hebben gebracht. Toch kunnen diegenen die niet in de resultaten geloven ook sceptisch blijven. Dat is een reden waarom politieke peilingen of medische onderzoeken – vooral als het om kleine groepen gaat – eerdere peilingen soms tegenspreken. De significantietesten komen wel goed van pas als we uitvoeren op grootschalige onderzoeken. Maar in het dagelijkse leven doen we dat niet: we gaan gewoonlijk op ons gevoel af. Slechts een paar slechte aankopen doen ons besluiten dat de fabrikant niet deugt.

Soms zijn patronen zinvol, maar soms ook niet. En het kan ernstige gevolgen hebben. Mensen zoeken nu eenmaal kortere wegen – heuristieken genoemd – om patronen vast te stellen. Deze kunnen nuttig zijn, maar soms optische illusies blijken. Onderzoekers kwamen namelijk tot de conclusie dat mensen een onjuiste voorstelling hadden van toeval. Ze herkennen het niet als ze er mee te maken krijgen. Wat nog erger is, is dat ze de rol van het toeval in hun leven consequent verkeerd beoordelen en beslissingen nemen die aantoonbaar niet in hun eigen belang zijn.

Puur toeval zorgt ervoor dat je in een lange willekeurige reeks alle voorstelbare patronen vindt. De wiskundige George Spencer-Brown toonde aan dat je in een willekeurige reeks van $10^{1.000.007}$ nullen en enen ten minste 10 niet-overlappende reeksen van 1 miljoen nullen kunt verwachten. Hij argumenteerde ook dat er een verschil bestaat tussen een proces dat willekeurig is en de vraag of de uitkomst willekeurig is. Echte willekeur brengt soms herhalingen met zich mee. De filosoof Hans Riederbach merkte al in 1934 op dat mensen, die niet geschoold zijn in waarschijnlijkheid, moeite hebben om een willekeurige reeks te herkennen.

INTERMEZZO

In de reeks van meer dan 100 keer kop of munt gooien hierna zal je gemakkelijk eenvoudige patronen vinden. Die zijn er niet echt.

De dronkemanswandeling

OOOXXXXOOOXXXOOOOXXOOXOOOXXXOOXXOOOXXXXOOOXOOXOXOOOOOXOOXOO OOOXXOOXXXOXXOXOXXXXOOOXXOXOOXXXOOXOOXOXOXXOXOOOXOXOOOOXXXXO OOXXOOXOXXOOOXOOOXXOXOOXXOOOOXOOXXXXOOOOXXXOOOXOOOXXXXXXOOX XXOOXOOXOOOOXXXX

Puur door toeval zullen zullen ook sommige beursanalisten en beleggingsfondsen altijd indrukwekkende succespatronen laten zien. Onderzoek toont nochtans aan dat marktsuccessen in het verleden niets zeggen over de toekomst, maar toch vinden de meeste mensen dat deze beheerders en fondsen hun geld waard zijn. Verschillende wiskundigen onderzochten sportuitslagen op terechte of onterechte willekeur en konden uit de grote hoeveelheid voorradige cijfers nooit opmaken dat een ploeg op den duur beter scoorde dan als ze kop of munt hadden gegooid. Succesreeksen in de sport of de financiële wereld worden de “hot-hand fallacy” genoemd. Als je de begindata van die reeksen manipuleert in je voordeel kun je soms wel degelijk “beter” scoren dan een willekeurige reeks, maar dat is niet echt correct te noemen. Het is dan ook belangrijk om in het leven naar de lange termijn te kijken, en in te zien dat dat reeksen en andere patronen die niet willekeurig lijken toch door puur toeval kunnen ontstaan.

Wetenschappers weten dat grafieken en plaatjes een goede manier zijn om de betekenis van gegevens te verduidelijken en om relaties duidelijk te maken. Het nadeel ervan is soms dat we patronen zoeken en vinden die er niet zijn. Onze geest is nu eenmaal evolutionair gezien gemaakt om hiaten in gegevens zelf aan te vullen en patronen te zoeken. Zo is het gebeurd dat in W.O. II de inslagen van V2-raketten in kaart werden gebracht en dat men er clusters in zag, waaruit men ten onrechte concludeerde dat de vijand op technologisch gebied veel geavanceerder waren. In 1946 maakt R.D. Clarke een analyse van deze bombardementen en liet zien dat het algemene patroon overeenkwam met een willekeurige verdeling. Eenzelfde fouten werden begaan met het analyseren van kankergevallen in Californië. Toch weigeren mensen de verklaring te aanvaarden dat clusters willekeurige fluctuaties zijn.

Psychologen hebben onderzoek gedaan naar de oorzaken van dit soort misvattingen. Een eerste factor die meespeelt is dat **mensen graag controle uitoefenen over hun omgeving**. Dit is de reden waarom sommige personen bijvoorbeeld een halve fles sterke drank uitdrinken en rustig achter het stuur van hun auto kruipen, maar in paniek geraken wanneer het vliegtuig waarin ze zitten een klein beetje turbulente tegenkomt. Een van de beste dingen die we kunnen doen, en soms is het zelfs een overlevingsstrategie, is manieren vinden om ons het gevoel te geven controle uit te oefenen op ons leven. Overlevenden van de concentratiekampen – een zeer intimiderende omgeving – organiseerden zich zo dat bepaalde gebieden van onafhankelijk handelen intact bleven en dat ze zo controle behielden over een aantal belangrijke aspecten van hun leven. Het is nu eenmaal zo dat we geen controle hebben over toevallige situaties, dus als we wel controle hebben, dan zijn die situaties plots niet meer toevallig. Daarom botst onze noodzaak voor controle met ons vermogen om willekeurige situaties te herkennen. Bij verschillende experimenten uitgevoerd door Ellen Langer is gebleken dat bij kaartspelen of andere willekeurige spelen de proefpersonen, die ogenschijnlijk enige controle hadden over de keuzes die ze namen, hun kansen om te winnen hoger inschatten dan diegene die volledig keuzeloos werden gehouden. Zelfs hoog opgeleide mensen bewijzen wel lippendienst aan het concept toeval, maar gedragen zich alsof ze controle hebben op gebeurtenissen. De illusie van controle over toevallige gebeurtenissen wordt nog versterkt als het gaat om financiën (de bankenmanagers), sport (de coaches van ploegen) en het bedrijfsleven (de CEO's van bedrijven).

De eerste stap bij het bestrijden van de illusie van controle is de **bewustwording** ervan. Het blijft moeilijk, want eenmaal we denken aan een patroon, dan laat het ons niet meer los. Zo zal een reeks van de getallen 2, 4 en 6 een patroon kunnen oproepen van even getallen die een stijgende reeks vormen, alhoewel ook 1, 2 en 3 kunnen voldoen, als de regel “stijgende getallen” is, en niet “stijgende even getallen”. Als we eenmaal in een bepaalde illusie zitten of een nieuw idee hebben, dan gaan we niet meer op zoek naar tegenargumenten, maar proberen we te bewijzen dat we het bij het juiste eind hebben. Men noemt dit de **bevestigingsfout** (“confirmation bias”). Dit vormt een belangrijk obstakel om toeval niet steeds verkeerd te interpreteren. Erger nog, we interpreteren dubbelzinnige bewijzen ook ten gunste van onze ideeën. Gegevens zijn ook vaak dubbelzinnig, wat het probleem nog verergert. De gevolgen kunnen betreurenswaardig zijn. Als een leraar een leerling ervan verdenkt intelligenter te zijn dan de andere, dan zal hij dat door selectief bewijzen te zoeken ook trachten te bevestigen.

Onze hersenen zijn een hoogst efficiënt instrument voor patroonherkenning. De bevestigingsfout laat zien dat we meer gericht zijn op het vinden en bevestigen van patronen dan op het minimaliseren van de verkeerde conclusies. Deze handicap kan worden verholpen door onze vooroordelen te overwinnen. Je moet daarvoor enkel beseffen dat de mogelijkheid bestaat dat toevallige gebeurtenissen patronen teweeg brengen. Je moet dan wel ook nog je eigen percepties en theorieën in twijfel kunnen trekken. En tenslotte moeten we de moeite doen om even veel tijd uit te trekken voor het vinden van bewijzen dat we het mis hebben als dat we het bij het rechte eind hebben.

Hoofdstuk 10 - De dronkemanswandeling

Laplace gaf in 1814 blijk van het standpunt van determinisme, het idee dat je de toekomst kunt voorspellen aan de hand van de toestand van de wereld op een gegeven moment. Een beetje zoals je dat met de omlopen van de planeten kunt doen. Dit impliceerde een ordelijke wereld waarin alles kan worden voorzien, berekend en dus voorspeld. In de jaren 1960 probeerde de meteoroloog Edward Lorenz het idee van Laplace op het beperkte terrein van het weer uit te voeren. Hij voorzag zijn computer met de weerkundige gegevens van een bepaalde dag op aarde en berekende de weersomstandigheden van de nabije toekomst. Om de simulatie naar de toekomst verder uit te breiden en de volledige berekening niet opnieuw te moeten maken besloot hij de vorige berekening halverwege te herbeginnen. Hij merkte iets vreemds op: het weer had zich nu anders ontwikkeld. De nieuwe simulatie kopieerde niet zomaar het einde van de vorige simulatie, maar week er sterk vanaf. Het aantal afgedrukte decimalen was immers kleiner dan het aantal in het geheugen opgeslagen decimalen, dat kon een verklaring zijn. Wetenschappers gaan er immers meestal van uit dat als de aanvangscondities een klein beetje anders zijn, de resultaten ook maar een klein beetje afwijken ten opzichte van elkaar. Maar Lorenz ontdekte dat de kleine verschillen (de decimalen) tot enorme veranderingen leidden. Dit verschijnsel wordt het **vlindereffect** genoemd. Als wij in detail terugblikken naar de belangrijke momenten in ons leven, dan kunnen we ook schijnbaar onbelangrijke toevallige gebeurtenissen aantreffen die later tot grote veranderingen hebben geleid.

Het determinisme van Laplace & Co geldt dan wel voor de vastomlijnde wetten van de fysica, maar niet voor de menselijke samenleving. Menselijk gedrag is op zijn best onvoorspelbaar en soms zelfs irrationeel. En zelfs al zouden we alle wetten van het menselijke handelen kunnen achterhalen, dan nog is het onmogelijk om de omstandigheden van het leven precies te kennen of te beheersen. Het menselijke handelen en de interacties zijn immers zo complex dat we ze nooit zouden kunnen berekenen, zelfs al kennen we de wetten ervan. Determinisme is daarom een slecht model voor de menselijke ervaring. Nobelprijswinnaar Max Born schreef: “Toeval is een fundamenteler concept dan oorzakelijkheid.”

In het wetenschappelijk onderzoek naar willekeurige processen is **de dronkemanswandeling** het archetype, en tevens eens geschikt model voor ons leven. Sociale gegevens kunnen dan wel statistische regelmatigheden opleveren, de toekomst van individuele personen voorspellen is onmogelijk. Dit is ogenschijnlijk in tegenstelling tot het idee dat we na afloop van gebeurtenissen vaak denken dat we het hadden moeten zien aankomen. De zigzag-weg die een stuifmeelkorrel aflegt op een wateroppervlak is ook achteraf best te volgen, maar onmogelijk te voorspellen. Zo is het ook met de menselijke handelingen. Die wezenlijke asymmetrie is de reden waarom het verleden vaak logisch lijkt, terwijl het volstrekt onvoorspelbaar was. Zelfs in het schaakspel – dat geen expliciet willekeurige gebeurtenis is zoals het kaartspel – is er sprake van onzekerheid. De onzekerheid neemt toe naarmate je meer en meer zetten vooruit probeert te denken. Na het beëindigen van het spel kan je wel uitleggen waarom die speler precies die zetten heeft gedaan. Hetzelfde geldt voor de beurs. Mensen slagen er systematisch niet in om de rol van het toeval in het succes van hun onderneming te onderkennen. Zo gebeurde het dan ook dat Stanley O'Neal, de CEO van Merill Lynch, in het voorjaar van 2007 nog gelauwerd werd als verantwoordelijke voor het nemen van risico's die het aandeel op een hoogte van $ 95,00 bracht en zes maanden later, na het ineenstorten van de kredietmarkt, werd uitgemaakt voor cowboy en werd ontslagen. We stellen teveel vertrouwen in de overdreven exacte voorspellingen van mensen die beweren dat prestaties uit het verleden hun deskundigheid bewijzen. Historici weten beter dan wie ook dat het achteraf gemakkelijk is de gebeurtenissen die zich hebben voorgedaan te verklaren. Maar voordat de gebeurtenis plaatsvindt zijn de signalen ook voor hen duister en vol tegenstrijdigheden.

Maar het is niet omdat het voorspellen van de toekomst zo veel onzekerheid met zich meebrengt dat we gelaten de zaken op ons af moeten laten komen. We kunnen proberen onszelf te beschermen tegen fouten van onze intuïtie. We moeten leren verklaringen en voorspellingen met scepsis te benaderen. We kunnen beter ons vermogen om goed te reageren op gebeurtenissen versterken dan te vertrouwen op ons vermogen om gebeurtenissen te voorspellen. We kunnen meer belang hechten aan onze eigen indruk van mensen dan aan hun fameuze prestaties uit het verleden. Op die manier kunnen we onze neiging om een oordeel te vormen binnen een deterministisch kader weerstaan.

Het nucleaire incident op Three Mile Island was veroorzaakt door een reeks van kleine – elk op zich niet zo ernstige – foutjes en probleempjes. Socioloog Charles Perrow ontwikkelde daarop een nieuwe ongevallentheorie: binnen complexe systemen (ook binnen mensenlevens dus) kun je verwachten dat kleine factoren, die normaliter te negeren zijn, door toeval soms grote incidenten kunnen veroorzaken. Deze door hem **normale ongevallentheorie** genoemde doctrine beschrijft hoe ongelukken plaatsvinden zonder duidelijke oorzaken, zonder grove blunders of zonder incompetentie van personen. Omgekeerd verklaart de theorie ook waarom het soms tegen alle verwachtingen in goed gaat. Hoe vaak je ook faalt bij een complexe onderneming, als je het vaak genoeg blijft proberen, dan is de kans groot dat je uiteindelijk slaagt.

Dit geldt ook voor economische activiteiten, waarbij onverwachte orders en onvoorziene ontmoetingen kunnen resulteren in het feit dat een onderneming die niet uitblinkt toch zijn concurrenten soms overtroeft. Ook in de culturele industrie kun je niet verklaren waarom deze schrijver of musicus beter verkoopt dan een andere. Bioscoopgangers zullen eerder zeggen dat ze een film goed vonden als ze vooraf reeds hadden gehoord hoe goed hij wel is. Om diezelfde redenen maakt onze samenleving van rijke mensen al snel helden en van arme mensen losers. We onderschatten de rol van het toeval in de carrières van de tycoons. Sociaal psycholoog Melvin Lerner besefte dat weinig mensen veel zouden ondernemen als ze dachten dat de relatie tussen wat ze zouden ondernemen en de beloning die ze daarvoor zouden ontvangen willekeurig was. Hij kwam tot de conclusie dat de mate waarin we iemands capaciteiten afleiden uit diens successen overschatten. Iemands inkomen staat vaak borg voor zijn vermeend talent, dat is al bewezen door meerdere experimenten. Zijn mensen dan geneigd te denken dat diegenen die niet succesvol zijn of armoede lijden hun lot verdienen? Psychologische experimenten lieten zien dat hoe meer een slachtoffer leed, hoe lager de waardering voor die persoon werd. Onbewust hebben we dus een vertekend beeld van de mensen onderaan de maatschappelijke ladder. **We definiëren talent aan de hand van succes omdat we verwachten dat er een oorzakelijk verband is**.

Als het zo gemakkelijk is ten prooi te vallen aan verwachtingen, dan is het ook gemakkelijk deze te exploiteren. Dat is precies wat marketeers doen. Blindproeven met 21 dure en goedkope wodka's – die nota bene gestookt zijn voor de neutraliteit van hun smaak – uitgevoerd door de New York Times duidden één van de goedkoopste aan als de populairste. Grootschalige reclamecampagnes creëerden echter zeer hoge verwachtingen van de dure merken en mensen zijn bereid daarvoor te betalen. Ook de Londense Sunday Times deed een experiment waarbij de eerste hoofdstukken van 2 romans, die de Booker Prize hadden gewonnen (en waaronder één Nobelprijswinnaar), onder de namen van onbekende auteurs, naar 20 grote uitgevers en litteraire agenten werden gestuurd. Op één na alle reacties waren afwijzingen. Ook de uitvinder van de snaartheorie, John Schwarz, werd eerst tien jaar lang belachelijk gemaakt tot hij en zijn collega's een technische doorbraak bereikten.

Nu worden ze beschouwd als briljante fysici. Edison merkt al op dat veel mislukkelingen in het leven mensen zij die niet beseften hoe dicht ze bij het succes waren toen ze opgaven. Zoals dat geldt voor schrijvers als voor fysici zou men personen beter op hun capaciteiten beoordelen dan op hun successen. Capaciteiten vormen geen garantie voor resultaten. Maar prestatie is ook niet gelijk aan capaciteit. Daarom moet men altijd de rol van het toeval in gedachten houden. IBM-pionier Thomas Watson zei ooit: ”Als je wilt slagen, zul je je mislukkingspercentage moeten verdubbelen.”

De werkelijke kracht van **de theorie van willekeurige processen** zit hem in het feit dat we, eenmaal we de aard van deze processen begrijpen, de manier waarop we de gebeurtenissen waarnemen kunnen veranderen. Als we geconfronteerd worden met onzekerheid kunnen we onze manier van denken veranderen. We kunnen betere besluiten nemen als we bewust zijn dat vertekeningen in ons beeld leiden tot slechte beoordelingen en tot verkeerde keuzes. We kunnen streven naar een loskoppeling tussen de eigenschappen van mensen of het begrijpen van situaties enerzijds en de behaalde resultaten anderzijds. We kunnen leren beslissingen te beoordelen op alle mogelijke uitkomsten, en niet alleen op de reeds gekende uitkomsten.