

Wat is emergentie?

Theoretisch natuurkundigen beweren vaak dat zwaartekracht en ruimte emergent zijn. Maar wat is emergentie eigenlijk? In dit artikel geven we een aantal voorbeelden van emergente natuurverschijnselen.

Meer is anders

In zijn beroemde artikel [More is different](#) illustreert de Nobelprijswinnaar Phil Anderson het begrip “emergentie” aan de hand van de volgende vraag: “Waarom zijn rijke mensen anders dan arme mensen?” Antwoord: “Zij verdienen meer.” Dit klinkt als een vanzelfsprekendheid, maar Anderson wil hiermee zeggen dat grote hoeveelheden van iets (in dit geval: geld) vaak eigenschappen hebben die kleine hoeveelheden niet hebben. Deze nieuwe eigenschappen worden ook wel *emergent* genoemd. In bovenstaand voorbeeld: we noemen iemand pas “rijk” als hij heel veel geld verdient - iemand die een klein beetje geld verdient is niet een klein beetje rijk. Rijkdom is dus een emergente eigenschap. Simpel gezegd kunnen we “emergentie” samenvatten met de slogan: *Meer is anders*.

Beter geformuleerd is emergentie het proces waarbij nieuwe eigenschappen ontstaan door de interactie tussen simpele, kleine entiteiten die deze eigenschappen niet bezitten. Dit is een moeilijke zin, dus laten we dit uitleggen aan de hand van een bekend voorbeeld: de zelforganisatie van mieren. Heel veel mieren samen vertonen een collectieve intelligentie die individuele mieren niet bezitten. Zet honderd mieren bij elkaar, en ze zullen doelloos in het rond lopen. Maar een half miljoen mieren samen kunnen bijvoorbeeld een groot nest bouwen, en snel voedsel opsporen. Eigenlijk is het verbluffend dat een mierenkolonie complex gedrag vertoont, terwijl individuele mieren niet zulke slimme dieren zijn.

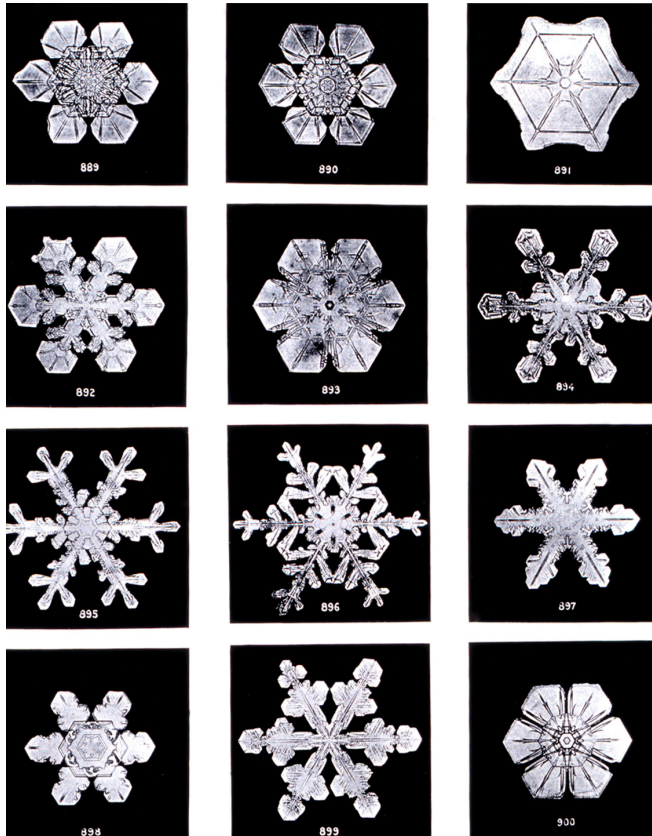
Voorbeelden in de natuurkunde

Om een beter begrip te krijgen van emergentie geven we nog een aantal voorbeelden. We beperken ons tot emergente fenomenen in de natuurkunde:

1. *Temperatuur*. Temperatuur is een maat voor de gemiddelde energie van een heleboel moleculen. We kunnen dus niet zeggen dat één molecuul een temperatuur heeft. We kunnen pas een temperatuur meten als we heel veel moleculen samennemen. Kortom, temperatuur ontstaat door de gezamenlijke interactie van moleculen, die op zichzelf genomen geen temperatuur hebben.
2. *Vloeibaarheid van water*. Op microniveau bestaat water uit H₂O-moleculen, die bij elkaar worden gehouden door waterstofbruggen. Een enkel H₂O-molecuul is uiteraard niet vloeibaar of nat. Maar door de interactie (de waterstofbruggen) tussen de moleculen vertoont water op macroniveau allerlei eigenschappen die er op microniveau niet zijn, zoals vloeibaarheid en oppervlaktespanning. Ook in dit voorbeeld zien we dat emergentie pas optreedt bij een grote hoeveelheid. Bedenk dat een glas water ongeveer 10^{24} moleculen bevat!
3. *Wrijving*. Wrijving is een emergente kracht. Elementaire deeltjes ondervinden namelijk geen wrijving. De [vier fundamentele krachten](#) tussen deeltjes behouden de (mechanische) energie, terwijl bij wrijving juist mechanische energie verloren gaat en in warmte wordt omgezet. Wrijving ontstaat wanneer twee oppervlakken van complexe materialen langs elkaar schuiven. Uit het feit dat daarbij warmte ontstaat, volgt dat wrijving zelf geen fundamentele kracht is, maar een emergent verschijnsel.
4. *Kleur*. Individuele atomen hebben geen kleur. De kleur van een object (bestaande uit een groot aantal atomen) hangt af van de eigenschappen van het oppervlak. Deze eigenschappen bepalen of het oppervlak het licht van bepaalde golflengtes absorbeert of reflecteert, waardoor een kleur zichtbaar wordt. Kleur is dus ook een emergent fenomeen.

Er zijn nog veel meer voorbeelden van emergente fenomenen. Denk aan het bewustzijn, het internet, een zwerm vogels, de kristalstructuur van sneeuwvlokken, de aandelenmarkt, het

verkeer bij een rotonde, enzovoort. Emergentie vormt een bron van inspiratie voor wetenschappers in allerlei vakgebieden. In recent onderzoek wordt zelfs gespeculeerd dat [zwaartekracht](#) en [ruimte](#) emergent zijn.



Afbeelding 1. Sneeuwvlokken.

De symmetrische kristalstructuur van sneeuwvlokken is een voorbeeld van emergentie in de natuur.

Emergentie is overal

Emergentie komt eigenlijk overal voor in de natuur (en in de maatschappij). Het wordt ook in alle takken van de wetenschap bestudeerd. Emergentie roept namelijk een interessante vraag op: hoe kunnen simpele entiteiten die via simpele regels samenwerken zich organiseren tot een collectieve, complexe eenheid? Deze vraag wordt in de natuurkunde bestudeerd in het vak *statistische fysica*. Dit vak houdt zich bezig met hoe macroscopische eigenschappen van materialen, zoals temperatuur of druk, ontstaan uit microscopische eigenschappen van atomen. Maar emergente fenomenen worden ook in andere vakgebieden bestudeerd. Bijvoorbeeld in de biologie: hoe organiseren dieren zich in een groep? In de macroeconomie en sociologie: hoe organiseren mensen zich in een maatschappij? En in de

neurowetenschap: hoe ontstaat cognitie uit de samenwerking tussen neuronen?

Zoals je kunt begrijpen heeft het begrip emergentie ook filosofische consequenties. Eigenlijk impliceert emergentie dat de werkelijkheid zelf schaalafhankelijk is. Op elke schaal treden er nieuwe natuurverschijnselen op, en dat betekent dat er voor elke schaal een andere beschrijving nodig is. Voor de atomaire schaal gebruiken we bijvoorbeeld de quantummechanica, terwijl de menselijke schaal wordt beschreven door de klassieke mechanica. Je zou dus kunnen zeggen dat er niet één beschrijving is van de werkelijkheid, maar dat er meerdere beschrijvingen zijn die allemaal op een andere schaal van toepassing zijn. Dit is ook het idee achter de emergentie van zwaartekracht: we weten dat zwaartekracht op menselijke en kosmologische schaal bestaat, maar wellicht bestaat het niet op de allerkleinste schaal. Dat zou betekenen dat zwaartekracht tevoorschijn komt vanuit een microscopische beschrijving waar zwaartekracht geen rol speelt. De zoektocht naar een theorie van [quantumzwaartekracht](#) bestaat uit het vinden van deze microscopische beschrijving.

Tot slot een interessante lezing op TEDx over emergentie:

Video 2. TEDx lezing van Jane Adams over emergentie.

De afbeelding in het blokkenschema is gemaakt door D. Dibenski.

Referentie

P.W. Anderson, *More Is Different*, *Science*, New Series, Vol. 177, No. 4047, (1972) pp. 393-396