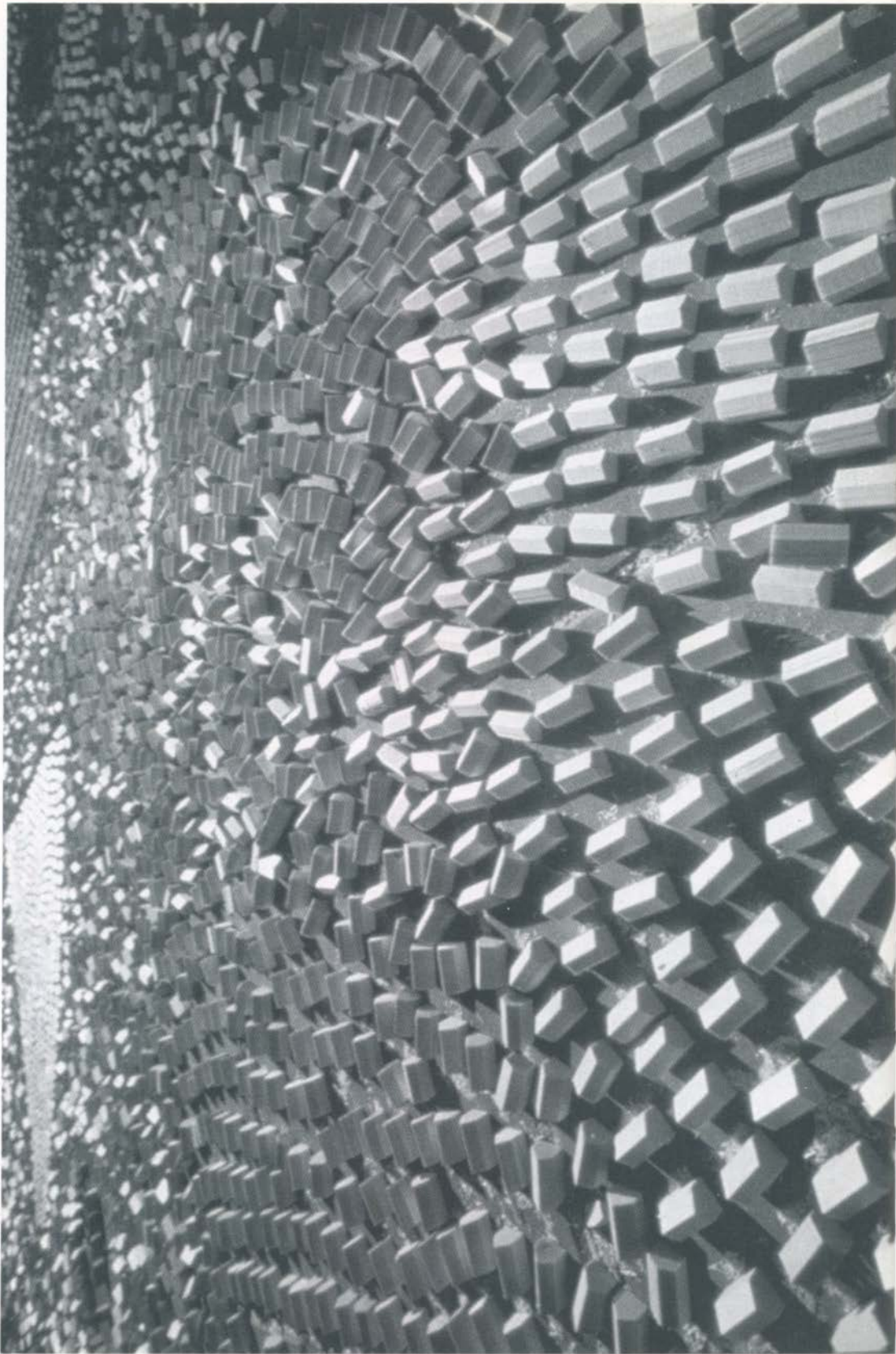


'Een zee van huizen', West 8



Kevin Kelly

Zwermen en net- werken Swarms and networks

De bijenkorf onder mijn kantoorraam ademt rustig wolken bedrijvige beestjes uit en in. Als de zon op zomermiddagen door de bomen filtert en ik de korf met tegenlicht bekijk, zoeven de naderende, door de zon verlichte bijen als lichtspoor kogels met een bocht de donkere opening in. Ik zit nu naar ze te kijken, terwijl ze de laatste schraapsels nectar binnenhalen uit de laatste manzanita-bloesems van het jaar. Weldra komt de regentijd en dan houden de bijen zich verborgen. Ik zal nog steeds naar buiten kijken en zij zullen nog steeds vlijtig werken, maar dan in hun donkere huis. Alleen op de zachtste dagen zal er ik duizenden in de zon mogen aanschouwen.

In mijn jaren als imker heb ik geprobeerd bijenvolken uit gebouwen en bomen te verhuizen als een goedkope manier om thuis een nieuw bijenvolk te starten. Eens haalde ik in het najaar een bijenboom leeg die een buurman had omgehakt. Met een kettingzaag ging ik de gevelde oude tupelo te lijf. De arme boom was verkankerd met bijenraten. Hoe verder ik zaagde in het binnenste van de boom, des te meer bijen trof ik aan. De insecten namen een holte in beslag die zo groot was als ikzelf. Het was een koele grijze herfst dag en alle bijen waren thuis, en raakten nu geagiteerd door de ingreep. Uiteindelijk stak ik mijn hand in de warboel van raten. Het was warm! Minstens 35 graden. Met de dicht opeengepakte 100.000 koudbloedige bijen was de korf een warmbloedig organisme geworden. De verwarmde honing vloeiende als dun, warm bloed. Ik had het gevoel alsof ik mijn hand in een stervend dier had gestoken.

Het idee van het collectieve volk als organisme had lang op zich laten wachten. De Grieken en Romeinen waren beroemde bijenhouders, die aanzienlijke hoeveelheden honing vergaarden uit zelf-gemaakte korven, maar hun 'kennis' van bijen was op bijna alle punten een misvatting. Laten we dit maar toeschrijven aan de duistere samenzwering van het bijenbestaan, een geheim dat wordt bewaakt door tienduizend uitermate loyale, gewapende soldaten.

Democritus dacht dat bijen dezelfde oorsprong hadden als maden. Xenophon ontdekte de koningin, maar schreef haar abusievelijk leidinggevende verantwoordelijkheden toe die ze niet heeft. Aristoteles krijgt een pluim, want hij had het op veel punten goed, zoals de redelijk accurate observatie

The beehive beneath my office window quietly exhales legions of busybodies and then inhales them. On summer afternoons, when the sun seeps under the trees to backlight the hive, the approaching sunlit bees zoom into their tiny dark opening like curving tracer bullets. I watch them now as they haul in the last gleanings of nectar from the final manzanita blooms of the year. Soon the rains will come and the bees will hide. I will still gaze out the window as I write; they will still toil, but now in their dark home. Only on the balmiest day will I be blessed by the sight of their thousands in the sun.

Over years of beekeeping, I've tried my hand at relocating bee colonies out of buildings and trees as a quick and cheap way of starting new hives at home. One fall I gutted a bee tree that a neighbor felled. I took a chain saw and ripped into this toppled old tupelo. The poor tree was cancerous with bee comb. The further I cut into the belly of the tree, the more bees I found. The insects filled a cavity as large as I was. It was a gray, cool autumn day and all the bees were home, now agitated by the surgery. I finally plunged my hand into the mess of comb. Hot! Ninety-five degrees at least. Overcrowded with 100,000 cold-blooded bees, the hive had become a warm-blooded organism. The heated honey ran like thin, warm blood. My gut felt like I had reached my hand into a dying animal.

The idea of the collective hive as an animal was an idea late in coming. The Greeks and Romans were famous beekeepers who harvested respectable yields of honey from homemade hives, yet these ancients got almost every fact about bees wrong. Blame it on the lightless conspiracy of bee life, a secret guarded by ten thousand fanatically loyal, armed soldiers.

Democritus thought bees spawned from the same source as maggots. Xenophon figured out the queen bee but erroneously assigned her supervisory responsibilities she doesn't have. Aristotle gets good marks for getting a lot right, including the semiaccurate observation that 'ruler bees' put larva in the honeycomb cells. (They actually start out as eggs, but at least he corrects Democritus's misguided direction of maggot origins.) Not until the Renaissance was the female gender of the queen bee proved, or

dat 'heerserbijen' larven in de raten stoppen. (In werkelijkheid beginnen ze hun leven als een ei, maar hij rekende tenminste af met de misvatting van Democritus dat ze voortkwamen uit maden.) Pas in de Renaissance werd het bewijs geleverd dat de koningin een vrouwtje was, en dat de bijenwas een afscheiding was van het onderlijf van bijen. Vóór de moderne erfelijkheidsleer had niemand een idee dat een bijenvolk een radicaal matriarchaat en een zusterschap is: met uitzondering van een paar nutteloze darren zijn alle bijen vrouwtjes en zussen. De bijenkorf was een net zo ondoordringbaar mysterie als de zonsverduistering.

Ik heb zonsverduisteringen en bijenzwermen gezien. Zonsverduisteringen bekijk ik slechts met lauwe belangstelling, voornamelijk uit plichtsbefef denk ik, vanwege hun zeldzaamheid en uit traditie, zoals ik bijvoorbeeld ook een parade op 4 juli (Onafhankelijkheidsdag) bijwoon. Bijenzwermen daarentegen roepen een ander soort ontzag op. Ik heb al heel wat volken gezien die gingen zwermen, en steevast sta ik – en iedereen die het ziet met mij – aan de grond genageld.

Een bijenvolk dat op het punt staat te zwermen, is bezeten. Het volk wordt zichtbaar geagiteerd rond het vluchtgat. Het volk gonst in een middelpuntsloos luid gezoem dat de omgeving in trilling zet. De korf begint massa's bijen uit te spuwen, alsof het niet alleen zijn ingewanden, maar ook zijn ziel uitstort. Een poltergeist-achtige storm of minuscule wille-tjes krijgt gestalte boven de korf. Deze groeit tot een kleine donkere doelbewuste wolk, ondoorzichtig van leven. Aangedreven door een gigantische zoe-mende heksenketel stijgt de geest langzaam op naar de hemel, de lege korf en kalme verbijstering achterlatend. De Duitse theosoof Rudolf Steiner schrijft helder in zijn anderszins ietwat verknijpte *Nine Lectures on Bees*: 'Zoals de menselijke ziel het lichaam verlaat... zo zien we in de vliegende zwerm werkelijk een beeld van de vertrekkende menselijke ziel.'

Jarenlang had Mark Thompson, een imker bij mij in de buurt, de bizarre aandrang om een actieve 'Live-In Hive' te bouwen: een bijenkorf waar je je hoofd in kon steken. Op zekere dag was hij aan het werk op zijn erf toen een bijenkorf een zwerm bijen uitspuwde 'als een zwarte lavastroom die zich oploste en opsteeg'. De zwarte wolk van 30.000 bijen versmolt tot een zwarte halo van 6 meter door-

beeswax shown to be secreted from the undersides of bees. No one had a clue until modern genetics that a hive is a radical matriarchy and sisterhood: all bees, except the few good-for-nothing drones, are female and sisters. The hive was a mystery as unfathomable as an eclipse.

I've seen eclipses and I've seen bee swarms. Eclipses are spectacles I watch halfheartedly, mostly out of duty, I think, to their rarity and tradition, much as I might attend a Fourth of July parade. Bee swarms, on the other hand, evoke another sort of awe. I've seen more than a few hives throwing off a swarm, and never has one failed to transfix me utterly, or to dumbfound everyone else within sight of it.

A hive about to swarm is a hive possessed. It becomes visibly agitated around the mouth of its entrance. The colony whines in a centerless loud drone that vibrates the neighborhood. It begins to spit out masses of bees, as if it were emptying not only its guts but its soul. A poltergeist-like storm of tiny wills materializes over the hive box. It grows to be a small dark cloud of purpose, opaque with life. Boosted by a tremendous buzzing racket, the ghost slowly rises into the sky, leaving behind the empty box and quiet bafflement. The German theosophist Rudolf Steiner writes lucidly in his otherwise kooky *Nine Lectures on Bees*: 'Just as the human soul takes leave of the body... one can truly see in the flying swarm an image of the departing human soul.'

For many years Mark Thompson, a beekeeper local to my area, had the bizarre urge to build a Live-In Hive – an active bee home you could visit by inserting your head into it. He was working in a yard once when a beehive spewed a swarm of bees 'like a flow of black lava, dissolving, then taking wing'. The black cloud coalesced into a 20-foot-round black halo of 30.000 bees that hovered, ufo-like, six feet off the ground, exactly at eye level. The flickering insect halo began to drift slowly away, keeping a constant six feet above the earth. It was a Live-In Hive dream come true.

Mark didn't waver. Dropping his tools he slipped into the swarm, his bare head now in the eye of a bee hurricane. He trotted in sync across the yard as the swarm eased away. Wearing a bee halo, Mark

snee die als een UFO ongeveer 1,80 m boven de grond zweefde, precies op oogniveau. De flikkerende halo van insecten begon langzaam weg te zweven, precies 1,80 m boven de grond. De droom van de Live-In Hive was werkelijkheid geworden.

Mark aarzelde geen seconde. Hij liet zijn gereedschap uit zijn handen vallen en schoot in de zwerm, met zijn blote hoofd in het oog van de bijencycloon. Hij draafde gelijk met de wegzwevende zwerm over het erf. Met een bijenhalo rond zijn hoofd sprong Mark over de heining, en de volgende heining. Hij moest nu rennen om het voortrazende beest in wiens buik zijn hoofd zich bevond, bij te houden. Het geheel stak de weg over en snelde door een open veld waar hij weer over een heining sprong. Hij werd moe, de bijen niet. Zij gingen steeds sneller. De zwermdrager gleed een heuvel af een moeras in. Het koppel leek nu een moerasduivel uit een andere wereld, die zich zoemend, zwevend, ploeterend door de moeraswalmen bewoog. Mark ploeterde wild door de modder om het bij te houden. Opeens, na een zeker signaal, gingen de bijen nog sneller. De halo liet Mark nat, hijgend en in euforische verwondering achter. De zwerm zweefde – nog steeds op ooghoogte – door het landschap, totdat zij als een ontketende geest verdween in een donker pijnbos aan de andere kant van de autoweg.

'Waar is "die geest van de korf"... waar zit die precies?', vroeg de schrijver Maurice Maeterlinck reeds in 1901. 'Wat heerst daar, vaardigt bevelen uit, voorziet de toekomst?' We weten nu zeker dat het niet de koningin is. Wanneer een zwerm uit de sleuf van de korf naar buiten golft, kan de koningin slechts volgen. Haar dochters zorgen dat er gekozen wordt waar en wanneer de zwerm zich vestigt. Vijf, zes anonieme werksters verkennen mogelijke locaties in holle bomen of spouwmuren. Zij rapporteren hun bevindingen aan de rustende zwerm door te dansen op het zich samentrekkende oppervlak ervan. Hoe theateraler een verkenner danst bij dit verslag, des te beter is de locatie waarvoor zij pleit. Afgezanten controleren vervolgens de diverse aangeduide locaties volgens de intensiteit van de dans, en sluiten zich bij de verkenner aan in haar gedraai. Dit is voor nog meer volgers aanleiding om de potentiële locaties te inspecteren en mee te doen met het spektakel door in de 'uitvoering' van hun keuze te springen.

Met uitzondering van de verkenners zijn er

hopped over one fence, then another. He was now running to keep up with the thundering animal in whose belly his head floated. They all crossed the road and hurried down an open field, and then he jumped another fence. He was tiring. The bees weren't; they picked up speed. The swarm-bearing man glided down a hill into a marsh. The two of them now resembled a superstitious swamp devil, humming, hovering, and plowing through the miasma. Mark churned wildly through the muck trying to keep up. Then, on some signal, the bees accelerated. They unhaloed Mark and left him standing there wet, 'in panting, joyful amazement'. Maintaining an eye-level altitude, the swarm floated across the landscape until it vanished, like a spirit unleashed, into a somber pine woods across the highway.

'Where is "this spirit of the hive"... where does it reside?', asks the author Maurice Maeterlinck as early as 1901. 'What is it that governs here, that issues orders, foresees the future?' We are certain now it is not the queen bee. When a swarm pours itself out through the front slot of the hive, the queen bee can only follow. The queen's daughters manage the election of where and when the swarm should settle. A half-dozen anonymous workers scout ahead to check possible hive locations in hollow trees or wall cavities. They report back to the resting swarm by dancing on its contracting surface. During the report, the more theatrically a scout dances, the better the site she is championing. Deputy bees then check out the competing sites according to the intensity of the dances, and will concur with the scout by joining in the scout's twirling. That induces more followers to check out the lead prospects and join the ruckus when they return by leaping into the performance of their choice.

It's a rare bee, except for the scouts, who has inspected more than one site. The bees see a message, 'Go there, it's a nice place.' They go and return to dance/say, 'Yeah, it's really nice.' By compounding emphasis, the favorite sites get more visitors, thus increasing further visitors. As per the law of increasing returns, them that has get more votes, the have-nots get less. Gradually, one large, snowballing finale will dominate the dance-off. The biggest crowd wins.

slechts weinig bijen die meer dan één locatie gaan bekijken. De bijen zien een boodschap: 'Ga daarheen, dat is een goede plek.' Ze gaan en komen terug om te dansen/zeggen: 'Inderdaad, het is een heel goede plek.' De nadruk op de favoriete locaties wordt zo steeds meer versterkt, ze krijgen meer bezoekers, wat leidt tot nog meer bezoekers. Zoals met de wet van het toenemend rendement krijgen degenen die al veel stemmen hebben, meer stemmen, en die weinig stemmen hebben, minder. Ten slotte wordt de uitslag van de danswedstrijd bepaald door het sneeuwbal-effect van één grote finale. De grootste menigte wint.

Het is een verkiezingszaal van idioten, voor idioten en door idioten, en het werkt prachtig. Dit is de ware aard van de democratie en alle decentraal bestuur. Als het doek valt over de keuze van de burgers, loodst de zwerm de koningin razend in de richting die wordt aangegeven door de stem van het gepeupel. De koningin volgt, nederig. Als ze kon denken, zou ze zich herinneren dat ze maar gewoon een boerenmeisje is, een bloedeigen zuster van de voedsterbij die (van wie?) de instructie kreeg om haar larve – een gewone larve – uit te kiezen en groot te brengen op een dieet van koninginnegelei, waardoor Assepoester in de koningin veranderde. Door welke karma wordt de larve voor een prinses gekozen? En wie beslist wie er kiest?

'Het volk kiest', is het ontwapenend antwoord van William Morton Wheeler, een natuurfilosoof en entomoloog van de oude school, en grondlegger van het vakgebied 'sociale insecten'. Wheeler schreef in 1911 een essay dat insloeg als een bom ('The Ant Colony as an Organism' in het *Journal of Morphology*). Hierin beweerde hij dat een insectenkolonie niet slechts vergelijkbaar was met een organisme, maar echt een organisme was, in elke belangrijke en wetenschappelijke betekenis van het woord. Hij schreef: 'Evenals een cel of persoon gedraagt deze kolonie zich als één geheel, dat zijn identiteit in de ruimte behoudt, en zich verzet tegen ontbinding... geen ding, en geen concept, maar een voortdurende flux of voortdurend proces.'

Het was een menigte van 20.000 verenigd in één zijn.

It's an election hall of idiots, for idiots, and by idiots, and it works marvelously. This is the true nature of democracy and of all distributed governance. At the close of the curtain, by the choice of the citizens, the swarm takes the queen and thunders off in the direction indicated by mob vote. The queen who follows, does so humbly. If she could think, she would remember that she is but a mere peasant girl, blood sister of the very nurse bee instructed (by whom?) to select her larva, an ordinary larva, and raise it on a diet of royal jelly, transforming Cinderella into the queen. By what karma is the larva for a princess chosen? And who chooses the chooser?

'The hive chooses', is the disarming answer of William Morton Wheeler, a natural philosopher and entomologist of the old school, who founded the field of social insects. Writing in a bombshell of an essay in 1911 ('The Ant Colony as an Organism' in the *Journal of Morphology*), Wheeler claimed that an insect colony was not merely the analog of an organism, it is indeed an organism, in every important and scientific sense of the word. He wrote: 'Like a cell or the person, it behaves as a unitary whole, maintaining its identity in space, resisting dissolution... neither a thing nor a concept, but a continual flux or process.'

It was a mob of 20.000 united into oneness.

The collective intelligence of a mob

In a darkened Las Vegas conference room, a cheering audience waves cardboard wands in the air. Each wand is red on one side, green on the other. Far in back of the huge auditorium, a camera scans the frantic attendees. The video camera links the color spots of the wands to a nest of computers set up by graphics wizard Loren Carpenter. Carpenter's custom software locates each red and each green wand in the auditorium.

Tonight there are just shy of 5.000 wandwavers. The computer displays the precise location of each wand (and its color) onto an immense, detailed video map of the auditorium hung on the front stage, which all can see. More importantly, the computer counts the total red or green wands and uses that value to control

De collectieve intelligentie van een menigte

In een donker gemaakte vergaderkamer in Las Vegas zwaait een juichend publiek met kartonnen staafjes. Elk staafje is rood aan de ene kant en groen aan de andere. Helemaal achter in de gigantische zaal scant een camera de hectische deelnemers. De videocamera verbindt de kleurstippen van de staafjes met een nest computers dat is opgezet door graphics-wizard Loren Carpenter. De speciale software van Carpenter lokaliseert alle rode en groene staafjes in het publiek.

Deze avond zijn er iets minder dan 5000 mensen die met staafjes zwaaien. De computer geeft de exacte plaats van elk staafje – en de kleur – weer op een heel grote, gedetailleerde plattegrond van de zaal op een videoscherm dat op het voorpodium hangt, voor iedereen zichtbaar. En wat nog belangrijker is: de computer telt het totaal aantal rode of groene staafjes en stuurt met die waarde de software. Terwijl het publiek met zijn staafjes zwaait, geeft het scherm een zee van lichtjes weer die gek in het donker dansen, als dolgedraaide fakkeloptocht. Het publiek ziet zichzelf op de plattegrond, in de vorm van een rode of groene pixel. Door hun staafjes om te draaien kunnen ze de kleur van de pixels ogenblikkelijk veranderen.

Loren Carpenter start het oude videospelletje Pong op het gigantische scherm. Pong was het eerste commerciële videospelletjes dat doordrong tot het algemene bewustzijn. Het is een minimalistisch geheel: een witte stip gaat heen en weer in een vierkant; twee beweegbare rechthoeken aan weerszijden fungeren als virtuele slaghoutjes; elektronisch ping-pong kortom. In deze versie gaat het slaghout naar boven op vertoon van de rode zijde van het staafje, en naar beneden bij groen. Preciezer gezegd: het Pong-slaghout beweegt naarmate het gemiddelde aantal rode staafjes in het publiek toe- of afneemt. Uw staafje is slechts één stem.

Carpenter hoeft niet veel uit te leggen. Al deze deelnemers uit deze conferentie van computergraphic-experts zijn waarschijnlijk ooit verslaafd geweest aan Pong. Door de luidspreker galmt zijn stem door de zaal 'Oké mensen. De mensen links in de zaal bedienen het linkerslaghout. En de mensen rechts in de zaal het rechter. Als je denkt dat je aan de linkerkant zit, dan is dat ook zo. Oké? Starten maar!'

software. As the audience wave the wands, the display screen shows a sea of lights dancing crazily in the dark, like a candle-light parade gone punk. The viewers see themselves on the map; they are either a red or green pixel. By flipping their own wands, they can change the color of their projected pixels instantly.

Loren Carpenter boots up the ancient video game of Pong onto the immense screen. Pong was the first commercial video game to reach pop consciousness. It's a minimalist arrangement: a white dot bounces inside a square; two movable rectangles on each side act as virtual paddles. In short, electronic ping-pong. In this version, displaying the red side of your wand moves the paddle up. Green moves it down. More precisely, the Pong paddle moves as the average number of red wands in the auditorium increases or decreases. Your wand is just one vote.

Carpenter doesn't need to explain very much. Every attendee at this 1991 conference of computer graphic experts was probably once hooked on Pong. His amplified voice booms in the hall, 'Okay guys. Folks on the left side of the auditorium control the left paddle. Folks on the right side control the right paddle. If you think you are on the left, then you really are. Okay? Go!'

The audience roars in delight. Without a moment's hesitation, 5.000 people are playing a reasonably good game of Pong. Each move of the paddle is the average of several thousand players' intentions. The sensation is unnerving. The paddle usually does what you intend, but not always. When it doesn't, you find yourself spending as much attention trying to anticipate the paddle as the incoming ball. One is definitely aware of another intelligence online: it's this hollering mob.

The group mind plays Pong so well that Carpenter decides to up the ante. Without warning the ball bounces faster. The participants squeal in unison. In a second or two, the mob has adjusted to the quicker pace and is playing better than before. Carpenter speeds up the game further; the mob learns instantly.

'Let's try something else', Carpenter suggests. A map of seats in the auditorium appears on the screen. He draws a wide circle in white around the center. 'Can you make a green "5" in the circle?' he asks the

Het publiek joelt van verrukking. Zonder een moment te aarzelen spelen 5000 mensen een redelijk spelletje Pong. Elke beweging van het slaghout is de gemiddelde intentie van enkele duizenden spelers. De sensatie is ontstellend. Het slaghout doet doorgaans wat je wilt, maar niet altijd. En als het niet doet wat je wilt, dan merk je dat je je net zo sterk concentreert om de beweging van het slaghout te anticiperen als die van de inkomende bal. Je bent je beslist bewust van een andere intelligentie online: die schreeuwende menigte.

De groep-'geest' speelt zo goed Pong, dat Carpenter besluit het iets moeilijker te maken. Zonder waarschuwing gaat de bal sneller. De deelnemers brullen in koor. Binnen een, twee seconden heeft de menigte zich aangepast aan het hogere tempo en wordt er nog beter gespeeld dan voorheen. Carpenter versnelt het spel nogmaals; de menigte leert onmiddellijk.

'Laten we eens iets anders proberen', stelt Carpenter voor. Een plattegrond van de stoelen in de zaal verschijnt op het scherm. Hij tekent een grote witte cirkel rond het midden. 'Kunt u een groene "5" in deze cirkel maken?', vraagt hij het publiek. Het publiek staart naar de rijen rode pixels. Dit heeft wel iets van een poging om met borden in een stadion een beeld te creëren, maar nu zijn er geen kant en klare orders, slechts een virtuele spiegel. Bijna direct verschijnen wiebelende vlekjes groene pixels die lukraak groeien, wanneer degenen die menen dat hun plaats in de '5' ligt, hun staafjes op groen draaien. Een vaag cijfer verschijnt. Het publiek begint collectief een '5' te onderscheiden in de ruis. Als de '5' eenmaal te onderscheiden is, wordt hij snel heel duidelijk. De mensen aan de vage rand van het cijfer besluiten aan welke kant ze horen, en opkomende '5' wordt scherper. Het cijfer bouwt zich op.

'En nu een vier!', galmt de stem. Binnen enkele ogenblikken verschijnt een '4'.

'Drie.' Een '3' verschijnt in een oogwenk. En dan snel achter elkaar, 'Twee... Een... Nul.' Het opkomende ding is niet te stuiten.

Loren Carpenter start een vluchtsimulator op het scherm. Zijn instructies zijn zeer beknopt: 'De mensen rechts beheersen de horizontale beweging; de mensen links de verticale. Als het vliegtuig naar iets interessants wijst, vuur ik een raket af.' Het vliegtuig vliegt. De piloot bestaat uit... 5000 begin-

audience. The audience stares at the rows of red pixels. The game is similar to that of holding a placard up in a stadium to make a picture, but now there are no preset orders, just a virtual mirror. Almost immediately wiggles of green pixels appear and grow haphazardly, as those who think their seat is in the path of the '5' flip their wands to green. A vague figure is materializing. The audience collectively begins to discern a '5' in the noise. Once discerned, the '5' quickly precipitates out into stark clarity. The wand-wavers on the fuzzy edge of the figure decide what side they 'should' be on, and the emerging '5' sharpens up. The number assembles itself.

'Now make a four!' the voice booms. Within moments a '4' emerges.

'Three.' And in a blink a '3' appears. Then in rapid succession, 'Two... One... Zero.' The emergent thing is on a roll.

Loren Carpenter launches an airplane flight simulator on the screen. His instructions are terse: 'You guys on the left are controlling roll; you on the right, pitch. If you point the plane at anything interesting, I'll fire a rocket at it.' The plane is airborne. The pilot is... 5.000 novices. For once the auditorium is completely silent. Everyone studies the navigation instruments as the scene outside the windshield sinks in. The plane is headed for a landing in a pink valley among pink hills. The runway looks very tiny.

There is something both delicious and ludicrous about the notion of having the passengers of a plane collectively fly it. The brute democratic sense of it all is very appealing. As a passenger you get to vote for everything; not only where the group is headed, but when to trim the flaps.

But group mind seems to be a liability in the decisive moments of touchdown, where there is no room for averages. As the 5.000 conference participants begin to take down their plane for landing, the hush in the hall is ended by abrupt shouts and urgent commands. The auditorium becomes a gigantic cockpit in crisis. 'Green, green, green!' one faction shouts. 'More red!' a moment later from the crowd. 'Red, red! REEEEEED!'

The plane is pitching to the left in a sickening way. It is obvious that it will miss the landing strip and arrive wing first. Unlike Pong, the flight simulator entails long delays in feedback from lever to

ners. Ditmaal is de zaal muisstil. Iedereen bestudeert de navigatie-instrumenten terwijl het landschap buiten de ruit doordringt. Het vliegtuig stevent af op een landing in een roze dal in roze heuvels. De landingsbaan lijkt heel minuscuul.

Het heeft iets verrukkelijks, en tegelijk iets belachelijks om een vliegtuig te laten besturen door een collectief van passagiers. Het brute democratische idee is heel aantrekkelijk. Als passagier heb je complete inspraak, niet alleen over de bestemming van de groep, maar ook wanneer de landingskleppen uit moeten.

Maar de groep-'geest' lijkt een nadeel in de beslissende momenten van de landing, waar geen plaats is voor gemiddelden. Terwijl de conferentie van 5000 deelnemers aanstuurt op de landing, wordt de stilte in de zaal onderbroken door abrupt geschreeuw en dringende bevelen. De zaal wordt een gigantische cockpit in crisis. 'Groen, groen, groen!', roept de ene roep. 'Meer rood!', hoor je een ogenblik later. 'Rood, rood! ROOOD!'

Het vliegtuig helt akelig naar links. Het zal duidelijk de landingsbaan missen en met een vleugelpunt de grond raken. In tegenstelling tot Pong is de vertraging tussen de hendelbediening en het effect lang, het duurt even voordat het gaat hellen wanneer je op het rolroer tikt. De latente signalen zijn verwarrend voor de groep-'geest'. Deze raakt gevangen in slingeringen van overcompensatie. Het vliegtuig slingert wild. Maar op een of andere manier geeft de menigte de landing op en trekt het vliegtuig op, een verstandige maatregel. Ze keren om het opnieuw te proberen.

Hoe keerden ze? Niemand besloot of ze linksom of rechtsom zouden keren, of dát ze überhaupt zouden keren. Niemand had de leiding. Maar als door één man bestuurd, helt het vliegtuig en maakt een grote boog. En men probeert opnieuw te landen. En weer komt het scheef aan. De menigte besluit in harmonie zonder laterale communicatie – als een zwerm vogels die opstijgt – om opnieuw op te trekken. In zijn vlucht omhoog draait het vliegtuig. En draait nog een beetje meer. Op een bepaald magisch moment worden 5000 hoofden tegelijkertijd aangestoken door dezelfde sterke gedachte: 'Ik vraag me af of we een draai van 360 graden kunnen maken...'

Zonder een woord te wisselen blijft het collectief het vliegtuig wenden. Het was niet te stuiten.

effect, from the moment you tap the aileron to the moment it banks. The latent signals confuse the group mind. It is caught in oscillations of overcompensation. The plane is lurching wildly. Yet the mob somehow aborts the landing and pulls the plane up sensibly. They turn the plane around to try again.

How did they turn around? Nobody decided whether to turn left or right, or even to turn at all. Nobody was in charge. But as if of one mind, the plane banks and turns wide. It tries landing again. Again it approaches cockeyed. The mob decides in unison, without lateral communication, like a flock of birds taking off, to pull up once more. On the way up the plane rolls a bit. And then rolls a bit more. At some magical moment, the same strong thought simultaneously infects five thousand minds: 'I wonder if we can do a 360?'

Without speaking a word, the collective keeps tilting the plane. There's no undoing it. As the horizon spins dizzily, 5.000 amateur pilots roll a jet on their first solo flight. It was actually quite graceful. They give themselves a standing ovation.

The conferees did what birds do: they flocked. But they flocked self-consciously. They responded to an overview of themselves as they co-formed a '5' or steered the jet. A bird on the fly, however, has no overarching concept of the shape of its flock. 'Flockness' emerges from creatures completely oblivious of their collective shape, size, or alignment. A flocking bird is blind to the grace and cohesiveness of a flock in flight.

At dawn, on a weedy Michigan lake, ten thousand mallards fidget. In the soft pink glow of morning, the ducks jabber, shake out their wings, and dunk for breakfast. Ducks are spread everywhere. Suddenly, cued by some imperceptible signal, a thousand birds rise as one thing. They lift themselves into the air in a great thunder. As they take off they pull up a thousand more birds from the surface of the lake with them, as if they were all but part of a reclining giant now rising. The monstrous beast hovers in the air, swerves to the east sun, and then, in a blink, reverses direction, turning itself inside out. A second later, the entire swarm veers west and away, as if steered by a single mind. In the seventeenth century, an anonymous poet wrote: '... and the thousands of fishes

De horizon draaide duizelingwekkend, terwijl 5000 amateurpiloten een jet op haar eerste solovlucht draaiden. Het ging eigenlijk vrij elegant. Ze gaven zichzelf een staande ovatie.

De deelnemers aan de conferentie deden wat vogels doen: ze vormden een zwerm. Maar ze deden dit zelfbewust. Ze reageerden op een overzicht van zichzelf toen ze samen een '5' vormden of het vliegtuig bestuurden. Maar een vliegende vogel heeft geen overkoepelend concept van de vorm van zijn zwerm. De zwermneiging ontstaat uit schepsels die zich in het geheel niet bewust zijn van hun collectieve vorm, grootte, of de lijn waarin ze elkaar volgen. Een zwermdende vogel is blind voor de elegantie en de samenhang van een vliegende zwerm.

In de ochtendstemering op een bijna dichtgegroeid meer in Michigan worden tienduizend eenden onrustig. In de zachte ochtendgloed snateren de eenden, slaan hun vleugels uit en dompelen onder voor hun ontbijt. Overal zijn eenden. Plotseling, alsof hiertoe een onmerkbaar signaal wordt gegeven, stijgen duizend vogels als één 'man' op. Ze verheffen zichzelf met veel lawaai in de lucht. En terwijl ze opstijgen, trekken ze nog eens duizend vogels van het oppervlak van het meer mee, alsof ze alle deel uitmaakten van een liggende reus die zich nu verhief. Het monstrueuze beest zweeft in de lucht, draait naar de zon in het oosten keert weer terug, waarbij het zichzelf binnenstebuiten keert. Een seconde later zwenkt de hele zwerm naar het westen weg, alsof zij door één geest werd bestuurd. In de zeventiende eeuw schreef een anonieme dichter: '... en de duizenden vissen bewogen zich als een gigantisch beest, dat het water doorkliefde. Ze leken verenigd, onverbiddelijk verbonden door een gemeenschappelijk lot. Hoe ontstaat deze eenheid?'

Een zwerm is geen grote vogel. Wetenschappelijk verslaggever James Gleick schrijft: 'Niets in de beweging van een individuele vogel of vis – hoe vloeiend ook – vormt een aanwijzing voor de aanblik van een hemel vol spreeuwen die over een maïsveld wentelen, of een miljoen witvisjes die zich met een schok tot een strak gepolariseerd arrangement schikken... High-speed filmopnames [van zwermen die roofvogels proberen te ontwijken] laten zien dat de wending zich als een golf door de zwerm beweegt, met een snelheid van ongeveer eenzeventiende seconde van vogel tot vogel. Dat is een stuk

moved as a huge beast, piercing the water. They appeared united, inexorably bound to a common fate. How comes this unity?'

A flock is not a big bird. Writes the science reporter James Gleick, 'Nothing in the motion of an individual bird or fish, no matter how fluid, can prepare us for the sight of a skyful of starlings pivoting over a cornfield, or a million minnows snapping into a tight, polarized array... High-speed film [of flocks turning to avoid predators] reveals that the turning motion travels through the flock as a wave, passing from bird to bird in the space of about one-seventieth of a second. That is far less than the bird's reaction time.' The flock is more than the sum of the birds.

In the film *Batman Returns* a horde of large black bats swarmed through flooded tunnels into downtown Gotham. The bats were computer generated. A single bat was created and given leeway to automatically flap its wings. The one bat was copied by the dozens until the animators had a mob. Then each bat was instructed to move about on its own on the screen following only a few simple rules encoded into an algorithm: don't bump into another bat, keep up with your neighbors, and don't stray too far away. When the algorithmic bats were run, they flocked like real bats.

The flocking rules were discovered by Craig Reynolds, a computer scientist working at Symbolics, a graphics hardware manufacturer. By tuning the various forces in his simple equation – a little more cohesion, a little less lag time – Reynolds could shape the flock to behave like living bats, sparrows, or fish. Even the marching mob of penguins in *Batman Returns* were flocked by Reynolds's algorithms. Like the bats, the computer-modeled 3-d penguins were cloned en masse and then set loose into the scene aimed in a certain direction. Their crowdlike jostling as they marched down the snowy street simply emerged, out of anyone's control.

So realistic is the flocking of Reynolds's simple algorithms that biologists have gone back to their hi-speed films and concluded that the flocking behavior of real birds and fish must emerge from a similar set of simple rules. A flock was once thought to be a decisive sign of life, some noble formation only life could achieve. Via Reynolds's algorithm it is now seen as an adaptive trick suitable for any distributed vivisystem, organic or made.

sneller dan de reactietijd van de vogel. De zwerm is meer dan de som van de vogels.

In de film *Batman Returns* zwermde een schare grote, zwarte vleermuizen door de overstromde tunnels het centrum van Gotham binnen. De vleermuizen waren door een computer gegenereerd. Er werd één vleermuis gecreëerd die naar hartelust met zijn vleugels mocht flapperen. Die ene vleermuis werd tientallen malen gekopieerd, totdat de animatoren een hele menigte hadden. Vervolgens kreeg elke vleermuis de instructie zich zelfstandig over het scherm te bewegen met slechts enkele eenvoudige regels die waren verwerkt in een algoritme: bots niet tegen een andere vleermuis, houd gelijke tred met je burens, ga niet te ver van de andere vandaan. Toen de algoritmische vleermuizen werden 'losgelaten', zwermden ze net als echte vleermuizen.

De zwermregels werden ontdekt door Craig Reynolds, een computerwetenschapper bij Symbolics, een fabrikant van graphicshardware. Door de diverse krachten in deze eenvoudige vergelijking iets te variëren – iets meer samenhang, iets minder vertraging – kon Reynolds zorgen dat de zwerm zich gedroeg als echte vleermuizen, mussen of vissen. Zelfs de marcherende menigte pinguïns in *Batman Returns* zwermden volgens de algoritmen van Reynolds. Evenals de vleermuizen werden de driedimensionale computerpinguïns massaal gekloond en vervolgens in een bepaalde richting losgelaten. Hun massale gedrag ontstond gewoon toen ze de besneeuwde straat uit marcheerden, niemand had er greep op.

Het zwermen van de eenvoudige algoritmen van Reynolds is zo realistisch dat biologen de high-speed films nog eens bekeken en concludeerden dat het zwermgedrag van echte vogels en vissen moest voortkomen uit een soortgelijke stel eenvoudige regels. Men meende ooit dat een zwerm een doorslaggevend teken van leven was, een edele formatie die alleen door het leven bereikt kon worden. Door het algoritme van Reynolds wordt het nu beschouwd als een aanpassingstruc die geschikt is voor elk decentraal vivisysteem, organisch of door mensenhanden gemaakt.

Wheeler, the ant pioneer, started calling the bustling cooperation of an insect colony a 'superorganism' to clearly distinguish it from the metaphorical use of 'organism'. He was influenced by a philosophical strain at the turn of the century that saw holistic patterns overlaying the individual behavior of smaller parts. The enterprise of science was on its first steps of a headlong rush into the minute details of physics, biology, and all natural sciences. This pell-mell to reduce wholes to their constituents, seen as the most pragmatic path to understanding the wholes, would continue for the rest of the century and is still the dominant mode of scientific inquiry. Wheeler and colleagues were an essential part of this reductionist perspective, as the 50 Wheeler monographs on specific esoteric ant behaviors testify. But at the same time, Wheeler saw 'emergent properties' within the superorganism superseding the resident properties of the collective ants. Wheeler said the superorganism of the hive 'emerges' from the mass of ordinary insect organisms. And he meant emergence as science—a technical, rational explanation—not mysticism or alchemy.

Wheeler held that this view of emergence was a way to reconcile the reduce-it-to-its-parts approach with the see-it-as-a-whole approach. The duality of body/mind or whole/part simply evaporated when holistic behavior lawfully emerged from the limited behaviors of the parts. The specifics of how superstuff emerged from baser parts was very vague in everyone's mind. And still is.

What was clear to Wheeler's group was that emergence was a common natural phenomena. It was related to the ordinary kind of causation in everyday life, the kind where A causes B which causes C, or $2 + 2 = 4$.

Ordinary causality was invoked by chemists to cover the observation that sulfur atoms plus iron atoms equal iron sulfide molecules. According to fellow philosopher C. Lloyd Morgan, the concept of emergence signaled a different variety of causation. Here $2 + 2$ does not equal 4; it does not even surprise with 5. In the logic of emergence, $2 + 2 = \text{apples}$. 'The emergent step, though it may seem more or less saltatory [a leap], is best regarded as a

De mierenpionier Wheeler noemde als eerste de bedrijvige samenwerking van een insectenkolonie een 'superorganisme', om duidelijk het onderscheid met het metaforisch gebruik van 'organisme' aan te geven. Hij werd beïnvloed door een filosofiestroming rond de eeuwwisseling, die holistische patronen onderscheidde welke het individueel gedrag van kleinere onderdelen bepalen. De wetenschap deed de eerste overijlde stappen in de kleinste details van fysica, biologie en alle natuurwetenschappen. Dit gedrang om een geheel terug te brengen tot zijn samenstellende delen – dat werd beschouwd als de meest pragmatische methode om het geheel te begrijpen – zou de rest van de eeuw voortduren en is nog steeds de dominante modus van wetenschappelijk onderzoek. Wheeler en zijn collega's speelden een essentiële rol bij het ontstaan van dit reductionistische perspectief, getuige zijn vijftig monografieën over specifiek esoterisch mierengedrag. Maar tegelijk zag Wheeler 'emergente eigenschappen' binnen het superorganisme voorrang nemen op de eigenschappen die in de individuele mieren aanwezig waren (residente eigenschappen). Volgens Wheeler ontstond het superorganisme van de kolonie uit de massa van gewone insectorganismen. En hij bedoelde emergentie als een wetenschap – een technische, rationele verklaring van het opkomen van eigenschappen in een collectief die in de individuen niet tot uiting komen – geen mystiek of alchemie.

Wheeler meende dat zijn idee van emergentie een manier was op de benadering van 'opsplitsing in delen' te verzoenen met de benadering van 'als een geheel bekijken'. De dualiteit van lichaam/geest of geheel/onderdeel vervloog gewoon, wanneer holistisch gedrag legitiem ontstond uit het beperkte gedrag van de delen. Hoe het superbe nu precies ontstond uit lagere onderdelen, dat was voor iedereen nog heel vaag. En dat is het nog steeds.

Het was de groep van Wheeler wel duidelijk dat emergentie een veel voorkomend natuurverschijnsel was. Het was verwant aan het gewone soort oorzaak/gevolgrelatie uit het dagelijks leven, het soort waarbij A leidt tot B, leidt tot C, of $2 + 2 = 4$.

Chemici beroepen zich op het principe van gewone oorzaak-gevolgrelaties om de observatie te

qualitative change of direction, or critical turning-point, in the course of events', writes Morgan in *Emergent Evolution*, a bold book in 1923. Morgan goes on to quote a verse of Browning poetry which confirms how music emerges from chords: *And I know not if, save in this, such gift be allowed to man*
That out of three sounds he frame, not a fourth sound, but a star.

We would argue now that it is the complexity of our brains that extracts music from notes, since we presume oak trees can't hear Bach. Yet 'Bachness' – all that invades us when we hear Bach – is an appropriately poetic image of how a meaningful pattern emerges from musical notes and generic information.

The organization of a tiny honeybee yields a pattern for its tinier one-tenth of a gram of wing cells, tissue, and chitin. The organism of a hive yields integration for its community of worker bees, drones, pollen and brood. The whole 50-pound hive organ emerges with its own identity from the tiny bee parts. The hive possesses much that none of its parts possesses. One speck of a honeybee brain operates with a memory of six days; the hive as a whole operates with a memory of three months, twice as long as the average bee lives.

Ants, too, have hive mind. A colony of ants on the move from one nest site to another exhibits the Kafkaesque underside of emergent control. As hordes of ants break camp and head west, hauling eggs, larva, pupae – the crown jewels – in their beaks, other ants of the same colony, patriotic workers, are hauling the trove east again just as fast, while still other workers, perhaps acknowledging conflicting messages, are running one direction and back again completely empty-handed. A typical day at the office. Yet, the ant colony moves. Without any visible decision making at a higher level, it chooses a new nest site, signals workers to begin building, and governs itself.

The marvel of 'hive mind' is that no one is in control, and yet an invisible hand governs, a hand that emerges from very dumb members. The marvel is that more is different. To generate a colony organism from a bug organism requires only that the bugs be multiplied so that there are many, many more of them, and that they

beschrijven dat zwavelatomen plus ijzeratomen ijzersulfidemoleculen zijn. Volgens collega-filosoof C. Lloyd Morgan wees het concept op een ander soort oorzaak/evolgrelaties. Hier geldt niet $2 + 2 = 4$; en zelfs niet een verrassende 5. In de logica van emergentie, $2 + 2 =$ appels. 'De emergente stap lijkt misschien min of meer op een sprong, maar kan het best worden beschouwd als een kwalitatieve verandering van richting, of een cruciaal keerpunt in de loop der gebeurtenissen', schrijft Morgan in *Emergent Evolution*, een gedurfd boek uit 1923.

Morgan citeert vervolgens twee regels uit een gedicht van Browning, die bevestigen hoe muziek ontstaat uit akkoorden:

*En ik weet niet of, behalve hier, de mens nog zo'n gave wordt toegestaan,
Dat hij uit drie geluiden niet een vierde maakt, maar een ster.*

Tegenwoordig zouden we zeggen dat de complexiteit van onze hersenen muziek destilleert uit noten, aangezien we ervan uitgaan dat eiken Bach niet kunnen horen. Maar 'Bach-heid' – alles wat zich van ons meester maakt als we Bach horen – is een adequaat poëtisch beeld van de wijze waarop een zinnig patroon vol betekenis ontstaat uit muzieknoten en generieke informatie.

De 'opzet' van een kleine honingbij biedt een patroon voor het minuscule eentiende gram van vleugelcellen, weefsel en chitine. Het organisme van een kolonie biedt integratie voor zijn gemeenschap wersters, darren, stuifmeel en broedsel. Het hele bijenvolk van ruim twintig kilo ontstaat met zijn eigen identiteit uit de kleine bij-onderdelen. Het volk heeft veel eigenschappen die zijn delen niet hebben. Een stip bijenhersenen heeft een geheugen van zes dagen; het volk als geheel heeft een geheugen van drie maanden, driemaal zo lang als de levensduur van de gemiddelde bij.

Ook mieren hebben een 'koloniegeest'. Een mierenkolonie die op pad is van de ene nestlocatie naar de andere vertoont het Kafkaëske nadeel van emergente leiding. Terwijl horden mieren opbreken en naar het westen gaan, met eieren, larven en poppen – de kroonjuwelen – tussen hun kaken, zeulen mieren van dezelfde kolonie patriottische werkers de schat weer even snel naar het oosten. Weer andere werkers – misschien in reactie op strijdige boodschappen – rennen zonder iets te vervoeren heen

communicate with each other. At some stage the level of complexity reaches a point where new categories like 'colony' can emerge from simple categories of 'bug.' Colony is inherent in bugness, implies this marvel. Thus, there is nothing to be found in a beehive that is not submerged in a bee. And yet you can search a bee forever with cyclotron and fluoroscope, and you will never find the hive.

This is a universal law of vivisystems: higher-level complexities cannot be inferred by lower-level existences. Nothing – no computer or mind, no means of mathematics, physics, or philosophy – can unravel the emergent pattern dissolved in the parts without actually playing it out. Only playing out a hive will tell you if a colony is immixed in a bee. The theorists put it this way: running a system is the quickest, shortest, and only sure method to discern emergent structures latent in it. There are no shortcuts to actually 'expressing' a convoluted, nonlinear equation to discover what it does. Too much of its behavior is packed away.

That leads us to wonder what else is packed into the bee that we haven't seen yet? Or what else is packed into the hive that has not yet appeared because there haven't been enough honeybee hives in a row all at once? And for that matter, what is contained in a human that will not emerge until we are all interconnected by wires and politics? The most unexpected things will brew in this bionic hivelike supermind.

een weer. 'Een normale dag op het werk.' Maar toch verplaatst de kolonie zich. Zonder enige zichtbare besluitvorming op hoog niveau kiest zij een nieuwe nestplaats, geeft zij het signaal dat werkers moeten gaan bouwen en bestuurt zij zichzelf.

Het wonder van 'koloniegeest' is dat niemand de leiding heeft, en dat toch een onzichtbare hand bestuurt, een hand die ontstaat uit hele domme leden. Het wonder is dat 'meer = anders'. Om een kolonieorganisme te genereren uit een insect-organisme hoeven de insecten zich slechts voort te planten, zodat er veel, veel meer van komen; verder moeten ze met elkaar communiceren. Op een gegeven moment bereikt het complexiteitsniveau een punt waar nieuwe categorieën – zoals kolonie – kunnen ontstaan uit eenvoudige categorieën zoals 'insect'. De kolonie is inherent aan het 'insectenschap', zo impliceert dit wonder. Zo kunnen we in een bijenvolk niets aantreffen dat niet 'onderhuids' in een bij aanwezig is. Maar hoe lang je een bij ook onderzoekt met een cyclotron en fluoescop, je zult nooit de kolonie vinden.

Dit is een universele wet van vivisystemen: de complexiteiten van hogere niveaus kunnen niet worden afgeleid uit het bestaan op lagere niveaus. Niets – geen computer of menselijke geest, geen mathematische, fysische of filosofische middelen – kunnen het emergente patroon ontrafelen dat is opgelost in de delen, zonder dat het in deze delen tot uiting komt. Alleen als je een volk zich laat ontplooien, blijkt of er een kolonie is vevat in een bij. De theoretici formuleren het als volgt: een systeem laten 'afspelen' is de snelste, kortste en enige zekere manier om de emergente structuren die daarin latent zijn vevat, te onderscheiden. Er zijn geen snellere methoden om werkelijk een ingewikkelde, niet-lineaire vergelijking haar uitdrukking te laten vinden, om erachter te komen wat zij doet. Te veel van haar gedrag is verborgen.

Dit roept de vraag op wat er nog meer in een bij is vevat, dat we nog niet hebben gezien. Of wat er nog meer in een volk is vevat dat nog niet is verschenen, omdat er niet genoeg bijenkorven op een rij zijn gezet. En wat is er eigenlijk vevat in een mens dat pas zal opkomen, als we allemaal zijn verbonden door kabels en politiek? De meest onverwachte zaken zullen ontstaan in deze bionische bijenkorfachtige supergeest.

A sink brims with water. You pull the plug. The water stirs. A vortex materializes. It blooms into a tiny whirlpool, growing as if it were alive. In a minute the whirl extends from surface to drain, animating the whole basin. An ever changing cascade of water molecules swirls through the tornado, transmuting the whirlpool's being from moment to moment. Yet the whirlpool persists, essentially unchanged, dancing on the edge of collapse. 'We are not stuff that abides, but patterns that perpetuate themselves', wrote Norbert Wiener.

As the sink empties, all of its water passes through the spiral. When finally the basin of water has sunk from the bowl to the cistern pipes, where does the form of the whirlpool go? For that matter, where did it come from?

The whirlpool appears reliably whenever we pull the plug. It is an emergent thing, like a flock, whose power and structure are not contained in the power and structure of a single water molecule. No matter how intimately you know the chemical character of H_2O , it does not prepare you for the character of a whirlpool. Like all emergent entities, the essence of a vortex emanates from a messy collection of other entities; in this case, a pool of water molecules. One drop of water is not enough for a whirlpool to appear in, just as one pinch of sand is not enough to hatch an avalanche. Emergence requires a population of entities, a multitude, a collective, a mob, more.

More is different. One grain of sand cannot avalanche, but pile up enough grains of sand and you get a dune that can trigger avalanches. Certain physical attributes such as temperature depend on collective behavior. A single molecule floating in space does not really have a temperature. Temperature is more correctly thought of as a group characteristic that a population of molecules has. Though temperature is an emergent property, it can be measured precisely, confidently, and predictably. It is real.

It has long been appreciated by science that large numbers behave differently than small numbers. Mobs breed a requisite measure of complexity for emergent entities. The total number of possible

Je hebt een gootsteen tot aan de rand gevuld met water. Je haalt de stop eruit. Het water beweegt, en er ontstaat een draaiing. Deze groeit uit tot een kleine draaikolk, alsof hij leefde. Binnen een minuut gaat de kolk van de oppervlakte naar het gat, en brengt de hele bak tot leven. Een steeds veranderende cascade van watermoleculen kolkte door de tornado, en vormt het wezen van de kolk van moment tot moment om. Maar de kolk blijft bestaan, in wezen onveranderd, dansend op de rand van de instorting. 'We zijn geen materie die blijft, maar patronen die zichzelf voortzetten', schreef Norbert Wiener.

Terwijl de gootsteen leegloopt, passeert al het water dat erin zat door de spiraal. Waar gaat de vorm van de kolk heen als al het water uiteindelijk in de afvoer verdwenen is? En waar kwam de vorm eigenlijk vandaan?

De kolk verschijnt steevast als we de stop eruit trekken. De kolk ontstaat gewoon, zoals een zwerm, waarvan de kracht en de structuur niet vevat zijn in de kracht en structuur van één watermolecuul. Hoe goed je ook de chemische eigenschappen van H_2O kent, je vindt daarin geen aanwijzing voor het karakter van de kolk. Evenals alle emergente entiteiten, komt het wezen van de kolk voort uit een chaotische verzameling andere entiteiten, in dit geval een bak watermoleculen. Een druppel water is niet voldoende om een kolk te doen verschijnen, zoals een snuijje zand ook geen lawine in zich heeft. Emergentie vereist een populatie van entiteiten, een menigte, een collectief, een schare, méér...

Meer is anders. Eén korrel zand kan onmogelijk een lawine vormen, maar als je genoeg zandkorrels opstapelt, krijg je een duin dat lawines kan losmaken. Bepaalde fysieke kenmerken, zoals temperatuur, berusten op collectief gedrag. Eén enkel molecuul dat door de ruimte zweeft, heeft niet echt een temperatuur. We kunnen temperatuur beter zien als een groepeigenschap van een populatie moleculen. Hoewel temperatuur een emergente eigenschap is, kan zij precies, voorspelbaar en betrouwbaar worden gemeten. Temperatuur is echt.

In de wetenschap beseft men reeds lang dat grote aantallen zich anders gedragen dan kleine aantallen. Menigten vormen een vereiste mate van complexiteit voor emergente entiteiten. Het totaal aantal mogelijke interacties tussen twee of meer

interactions between two or more members accumulates exponentially as the number of members increases. At a high level of connectivity, and a high number of members, the dynamics of mobs takes hold. More is different.

Advantages and disadvantages of swarms

There are two extreme ways to structure 'moreness.' At one extreme, you can construct a system as a long string of sequential operations, such as we do in a meandering factory assembly line. The internal logic of a clock as it measures off time by a complicated parade of movements is the archetype of a sequential system. Most mechanical systems follow the clock.

At the other far extreme, we find many systems ordered as a patchwork of parallel operations, very much as in the neural network of a brain or in a colony of ants. Action in these systems proceeds in a messy cascade of interdependent events. Instead of the discrete ticks of cause and effect that run a clock, a thousand clock springs try to simultaneously run a parallel system. Since there is no chain of command, the particular action of any single spring diffuses into the whole, making it easier for the sum of the whole to overwhelm the parts of the whole. What emerges from the collective is not a series of critical individual actions but a multitude of simultaneous actions whose collective pattern is far more important. This is the swarm model.

These two poles of the organization of moreness exist only in theory because all systems in real life are mixtures of these two extremes. Some large systems lean to the sequential model (the factory); others lean to the web model (the telephone system).

It seems that the things we find most interesting in the universe are all dwelling near the web end. We have the web of life, the tangle of the economy, the mob of societies, and the jungle of our own minds. As dynamic wholes, these all share certain characteristics: a certain liveliness, for one.

We know these parallel-operating wholes by different names. We know a swarm of bees, or a cloud of modems, or a network of brain neurons, or a food web

leden stijgt exponentieel, wanneer het aantal leden toeneemt. Met een hoge mate van connectiviteit, en een groot aantal leden, ontstaat de dynamiek van de menigten. Meer is anders.

Voordelen en nadelen van zwermen

Er zijn twee extreme manieren om 'meerheid' te structureren. Het ene uiterste is dat je een systeem opbouwt als een lange reeks opeenvolgende activiteiten, zoals we dat doen in een kronkelende lopende band van een fabriek. De interne logica van een klok die de tijd afmeet met een gecompliceerde mechanische parade, is het archetype van een sequentieel systeem. De meeste mechanische systemen volgen de klok.

Aan het andere uiterste zien we een groot aantal systemen dat geordend is als een lappendeken van parallelle activiteiten, in een sterke gelijkenis met het neurale netwerk van de hersenen of een mierenkolonie. In deze systemen geschiedt de handeling in een chaotische cascade van onderling afhankelijke gebeurtenissen. In plaats van de afzonderlijke tikken van oorzaak en gevolg die een klok doen lopen, proberen duizend klokveren tegelijk een parallel systeem te laten lopen. Aangezien er geen hiërarchische structuur is, vervliegt de handeling van één enkele veer in het geheel, waardoor het totaal de delen gemakkelijker kan overweldigen. Uit het collectief ontstaat niet een reeks cruciale individuele handelingen, maar een menigte gelijktijdige handelingen waarvan het collectieve patroon veel belangrijker is. Dit is het zwermmodel.

Deze twee polen van de organisatie van 'meer' komen alleen in theorie voor, want alle werkelijk bestaande systemen zijn combinaties van deze twee uitersten. Sommige grote systemen neigen naar het sequentiële model (de fabriek); andere meer naar het webmodel (het telefoonnet).

Alles wat we het interessantste vinden in het heelal lijkt zich aan de webzijde van het spectrum te bevinden. We hebben het web des levens, de wirwar van de economie, de menigte in samenlevingen en de jungle van onze eigen geest. Als dynamisch geheel hebben ze alle bepaalde kenmerken gemeen: een bepaalde levendigheid, om er slechts één te noemen.

We kennen deze parallel opererende gehelen

of animals, or a collective of agents. The class of systems to which all of the above belong is variously called: networks, complex adaptive systems, swarm systems, vivisystems, or collective systems. I use all these terms in this book.

Organizationally, each of these is a collection of many (thousands) of autonomous members. 'Autonomous' means that each member reacts individually according to internal rules and the state of its local environment. This is opposed to obeying orders from a center, or reacting in lock step to the overall environment.

These autonomous members are highly connected to each other, but not to a central hub. They thus form a peer network. Since there is no center of control, the management and heart of the system are said to be decentrally distributed within the system, as a hive is administered.

There are four distinct facets of distributed being that supply vivisystems their character:

- The absence of imposed centralized control
- The autonomous nature of subunits
- The high connectivity between the subunits
- The webby nonlinear causality of peers influencing peers.

The relative strengths and dominance of each factor have not yet been examined systematically.

One theme of this book is that distributed artificial vivisystems, such as parallel computing, silicon neural net chips, or the grand network of online networks commonly known as the Internet, provide people with some of the attractions of organic systems, but also, some of their drawbacks. I summarize the pros and cons of distributed systems here:

Benefits of swarm systems

- Adaptable. It is possible to build a clockwork system that can adjust to predetermined stimuli. But constructing a system that can adjust to new stimuli, or to change beyond a narrow range, requires a swarm – a hive mind. Only a whole containing many parts can allow a whole to persist while the parts die off or change to fit the new stimuli.
- Evolvable. Systems that can shift the

onder verschillende namen. We kennen een zwerm bijen, of een wolk modems, of een netwerk hersenneurons, of een voedselketen van dieren, of een collectief van factoren. De categorie systemen waartoe al deze bovenstaande behoren, krijgen ook verschillende namen: netwerken, complexe adaptieve systemen, zwermssystemen, vivisystemen, of collectieve systemen. Ik gebruik hier al deze termen.

In organisatorisch opzicht zijn dit verzamelingen van vele (duizenden) autonome leden. 'Autonoom' betekent dat elk lid individueel reageert volgens de interne regels en de staat van zijn plaatselijke omgeving. Dit in tegenstelling tot 'gehoorzamen aan orders van een centrale', of in een strak patroon reageren op de algehele omgeving.

Deze autonome leden zijn intensief verbonden met elkaar, maar niet met een centrale spil. Ze vormen dus een netwerk van gelijken. Aangezien er geen leidingcentrum is, zegt men dat de leiding en het hart van het systeem decentraal in het systeem zijn gedistribueerd, zoals een bijenvolk wordt bestuurd.

Er zijn vier afzonderlijke facetten van decentraal 'zijn' waaraan vivisystemen hun karakter ontleen:

- de afwezigheid van een opgelegde centrale leiding;
- de autonome aard van subeenheden;
- intensieve verbindingen tussen de subeenheden;
- een webachtige, niet-lineaire oorzaak/gevolgrelatie van gelijken die gelijken beïnvloeden.

De relatieve kracht en dominantie van deze factoren zijn nog niet systematisch onderzocht.

Eén thema van dit boek is dat decentrale, kunstmatige vivisystemen – zoals parallel computing, neurale netchips van silicium, of het grootse netwerk van online netwerken dat algemeen bekend is als internet ons een aantal aantrekkelijke kanten van organische systemen opleveren, maar ook enkele nadelen. Ik geef hier een overzicht van de voor- en nadelen van decentrale systemen:

Voordelen van zwermssystemen

- Aanpassingsvermogen. Het is mogelijk om een mechanisch systeem te bouwen dat zich kan aanpassen aan van tevoren bepaalde prikkels. Maar er is een zwerm, een 'koloniegeest' voor nodig om een systeem te bouwen dat zich kan aanpassen aan

locus of adaptation over time from one part of the system to another (from the body to the genes or from one individual to a population) must be swarm based. Noncollective systems cannot evolve (in the biological sense).

– Resilient. Because collective systems are built upon multitudes in parallel, there is redundancy. Individuals don't count. Small failures are lost in the hubbub.

Big failures are held in check by becoming merely small failures at the next highest level on a hierarchy.

– Boundless. Plain old linear systems can sport positive feedback loops – the screeching disordered noise of PA microphone, for example. But in swarm systems, positive feedback can lead to increasing order. By incrementally extending new structure beyond the bounds of its initial state, a swarm can build its own scaffolding to build further structure. Spontaneous order helps create more order. Life begets more life, wealth creates more wealth, information breeds more information, all bursting the original cradle. And with no bounds in sight.

– Novelty. Swarm systems generate novelty for three reasons: 1. They are 'sensitive to initial conditions' – a scientific shorthand for saying that the size of the effect is not proportional to the size of the cause – so they can make a surprising mountain out of a molehill. 2. They hide countless novel possibilities in the exponential combinations of many interlinked individuals. 3. They don't reckon individuals, so therefore individual variation and imperfection can be allowed. In swarm systems with heritability, individual variation and imperfection will lead to perpetual novelty, or what we call evolution.

Apparent disadvantages of swarm systems

– Nonoptimal. Because they are redundant and have no central control, swarm systems are inefficient. Resources are allotted higgledy-piggledy, and duplication of effort is always rampant. What a waste for a frog to lay so many thousands of eggs for just a couple of juvenile offspring! Emergent controls such as prices in free-market economy – a swarm if there ever was one – tend to dampen inefficien-

nieuwe prikkels, of dat verder kan veranderen dan een smal bereik. Alleen wanneer een geheel bestaat uit vele delen, kan dit geheel blijven bestaan, terwijl de delen afsterven of veranderen in overeenstemming met de nieuwe prikkels.

– Vatbaarheid voor ontwikkeling. Systemen die de plaats van aanpassing in de loop der tijd kunnen verschuiven van een deel van het systeem naar een ander (van het lichaam naar de genen of van één individu naar een populatie) berusten op het zwermprincipe. Niet-collectieve systemen kunnen niet evolueren (in de biologische betekenis).

– Veerkracht. Aangezien collectieve systemen berusten op zeer grote parallele aantallen, is er overtoligheid. Individuen tellen niet. Kleine storingen gaan in het tumult verloren. Grote storingen blijven binnen de perken, doordat ze op het volgende niveau in de hiërarchie slechts kleine storingen worden.

– Grenzenloosheid. In gewone oude lineaire systemen zien we ook positieve terugkoppelingslusen: het gekrijs van de microfoon van geluidsinstallaties bijvoorbeeld. Maar in zwermssystemen kan positieve terugkoppeling leiden tot grotere orde. Door in toenemende mate nieuwe structuur uit te bouwen buiten de grenzen van zijn aanvankelijke staat kan een zwerm zijn eigen steigers bouwen om meer structuur te creëren. Spontane orde helpt meer orde creëren. Leven produceert meer leven, rijkdom genereert meer rijkdom, informatie brengt meer informatie voort, die alle uit de oorspronkelijke wieg barsten. En nergens zijn grenzen te bekennen.

– Nieuwheid. Zwermssystemen genereren nieuwheid om drie redenen: 1. Ze zijn 'gevoelig voor aanvangsomstandigheden' – een wetenschappelijk steno dat wil zeggen dat de omvang van het gevolg in geen verhouding staat tot de omvang van de oorzaak: in zulke systemen wordt een mug vaak een verrassende olifant. 2. Ze verbergen talloze nieuwe mogelijkheden in de exponentiële combinaties van een groot aantal onderling verbonden individuen. 3. Ze houden geen rekening met individuen, en dus zijn individuele variatie en onvolkomenheid toegestaan. In zwermssystemen waar erfelijkheid een rol speelt, leiden individuele variatie en onvolkomenheid tot voortdurende nieuwheid, oftewel evolutie.

cy, but never eliminate it as a linear system can.

– Noncontrollable. There is no authority in charge. Guiding a swarm system can only be done as a shepherd would drive a herd: by applying force at crucial leverage points, and by subverting the natural tendencies of the system to new ends (use the sheep's fear of wolves to gather them with a dog that wants to chase sheep). An economy can't be controlled from the outside; it can only be slightly tweaked from within. A mind cannot be prevented from dreaming, it can only be plucked when it produces fruit. Wherever the word 'emergent' appears, there disappears human control.

– Nonpredictable. The complexity of a swarm system bends it in unforeseeable ways. 'The history of biology is about the unexpected', says Chris Langton, a researcher now developing mathematical swarm models. The word emergent has its dark side. Emergent novelty in a video game is tremendous fun; emergent novelty in our airplane traffic-control system would be a national emergency.

– Nonunderstandable. As far as we know, causality is like clockwork. Sequential clockwork systems we understand; nonlinear web systems are unadulterated mysteries. The latter drown in their self-made paradoxical logic. A causes B, B causes A. Swarm systems are oceans of intersecting logic: A indirectly causes everything else and everything else indirectly causes A. I call this lateral or horizontal causality. The credit for the true cause (or more precisely the true proportional mix of causes) will spread horizontally through the web until the trigger of a particular event is essentially unknowable. Stuff happens. We don't need to know exactly how a tomato cell works to be able to grow, eat, or even improve tomatoes. We don't need to know exactly how a massive computational collective system works to be able to build one, use it, and make it better. But whether we understand a system or not, we are responsible for it, so understanding would sure help.

– Nonimmediate. Light a fire, build up the steam, turn on a switch, and a linear system awakens. It's ready to serve you. If it stalls, restart it. Simple collective systems can be awakened simply. But complex swarm systems with rich hierarchies

Blijkbare nadelen van zwermssystemen

– Niet optimaal. Aangezien de overtolligheid inherent is aan zwermssystemen, en ze centrale leiding ontberen, zijn ze inefficiënt. De middelen worden op chaotische wijze toegekend, en er wordt ontzettend veel dubbel werk verricht. Wat een verspilling, zo'n kikker die zoveel duizenden eitjes legt voor slechts enkele nakomelingen! Emergente controlemechanismen zoals prijzen in een vrije markteconomie – als je iets een zwerm kunt noemen dan dit wel – beperken de inefficiency enigszins, maar kunnen deze nooit zo elimineren als een lineair systeem dit kan.

– Niet beheersbaar. Er is niemand die de leiding heeft. Men kan een zwermstelsel slechts 'loodsen' zoals een herder zijn kudde leidt: door op cruciale punten kracht toe te passen en door de natuurlijke neigingen van het systeem te gebruiken voor 'oneigenlijke' nieuwe doeleinden (schapen zijn bang voor wolven; we drijven ze bijeen met behulp van een hond die de schapen wil najagen). Een economie kan niet van buitenaf worden geleid. Zij kan slechts van binnenuit enigszins worden bijgestuurd. Men kan de geest er niet van weerhouden te dromen, men kan slechts de vruchten plukken als die ontstaan. Waar het woord 'emergent' verschijnt, verdwijnt de menselijke controle.

– Niet voorspelbaar. Door de complexiteit van een zwermstelsel kan dit zich op onvoorspelbare wijze ontwikkelen. 'De geschiedenis van de biologie is een relaas van het onverwachte', aldus Chris Langton, een onderzoeker die momenteel bezig is met de ontwikkeling van wiskundige zwermmodellen. Het woord 'emergent' heeft zijn duistere kant.

Emergente nieuwigheid is ontzettend leuk in een videospelletje; emergente nieuwigheid in ons luchtverkeersleidingssysteem kan een nationale ramp betekenen.

– Niet begrijpelijk. Voorzover we weten is oorzake-lijkheid mechanisch. Sequentiële mechanische systemen kunnen we begrijpen; niet-lineaire web-systemen zijn een onvervalst mysterie. Deze laatste zwemmen in de paradoxale logica die ze zelf creëren. A leidt tot B, B leidt tot A. Zwermssystemen zijn oceanen van zich kruisende logica: A leidt indirect tot al het andere en al het andere leidt indirect tot A. Ik noem dit laterale of horizontale causaliteit. De werkelijke oorzaak (of preciezer gezegd, de verhou-

take time to boot up. The more complex, the longer it takes to warm up. Each hierarchical layer has to settle down; lateral causes have to slosh around and come to rest; a million autonomous agents have to acquaint themselves. I think this will be the hardest lesson for humans to learn: that organic complexity will entail organic time.

The tradeoff between the pros and cons of swarm logic is very similar to the cost/benefit decisions we would have to make about biological vivisystems, if we were ever asked to. But because we have grown up with biological systems and have had no alternatives, we have always accepted their costs without evaluation.

We can swap a slight tendency for weird glitches in a tool in exchange for supreme sustenance. In exchange for a swarm system of 17 million computer nodes on the Internet that won't go down (as a whole), we get a field that can sprout nasty computer worms, or erupt inexplicable local outages. But we gladly trade the wasteful inefficiencies of multiple routing in order to keep the Internet's remarkable flexibility. On the other hand, when we construct autonomous robots, I bet we give up some of their potential adaptability in exchange for preventing them from going off on their own beyond our full control.

As our inventions shift from the linear, predictable, causal attributes of the mechanical motor, to the crisscrossing, unpredictable, and fuzzy attributes of living systems, we need to shift our sense of what we expect from our machines. A simple rule of thumb may help:

For jobs where supreme control is demanded, good old clockware is the way to go. Where supreme adaptability is required, out-of-control swarmware is what you want.

For each step we push our machines toward the collective, we move them toward life. And with each step away from the clock, our contraptions lose the cold, fast optimal efficiency of machines. Most tasks will balance some control for some adaptability, and so the apparatus that best does the job will be some cyborgian hybrid of part clock, part swarm.

The more we can discover about the mathematical properties of generic swarm processing, the better our understanding

dingen binnen de mix van oorzaken) verspreidt zich horizontaal door het web totdat de factor die een bepaalde gebeurtenis op gang bracht, in wezen niet gekend kan worden. Dingen gebeuren nu eenmaal. We kunnen een tomaat kweken, eten of zelfs verbeteren zonder precies te weten hoe een tomatencel werkt. We hoeven niet precies te weten hoe een gigantisch collectief computersysteem werkt, om er een te bouwen, te gebruiken of te verbeteren. Of we een systeem nu begrijpen of niet, we zijn er toch verantwoordelijk voor, dus inzicht is wel een voordeel.

– Niet direct. Als u een vuur opstookt, de stoomdruk opbouwt, een schakelaar aanzet, wordt een lineair systeem op gang gebracht. Het is klaar om u te dienen. Als het hapert, start u het opnieuw. Eenvoudige collectieve systemen kunnen eenvoudig worden opgewekt. Maar er is tijd voor nodig om complexe zwarmsystemen met rijke hiërarchieën op te starten. Hoe complexer het systeem, des te langer duurt het voordat het is opgewarmd. Elke hiërarchische laag moet 'tot rust komen'; laterale oorzaken moeten rondzwalken alvorens te 'bezinken'; een miljoen autonome 'spelers' moeten elkaar leren kennen. Volgens mij is dit de moeilijkste les voor mensen: dat met organische complexiteit ook organische tijd is gemoeid.

De afweging van de voor- en nadelen van zwermlogica lijkt sterk op de kosten/batenbeslissingen die we zouden moeten nemen over biologische vivisystemen, als dit ooit van ons werd gevraagd. Maar omdat we zijn opgegroeid met biologische systemen – en ook geen andere keuze hadden – hebben we de kosten ervan altijd geaccepteerd zonder deze te evalueren.

We verruilen bijvoorbeeld een zwakke neiging tot merkwaardige storingen in een instrument in ruil voor superbe prestaties. In ruil voor een – als geheel onwonderbaar – zwarmsysteem van 17 miljoen computerknooppunten op Internet krijgen we een terrein waarop kwaadaardige computerwormen ontspruiten, of onverklaarbare plaatselijke storingen uitbreken. Maar voor de opmerkelijke flexibiliteit van Internet nemen we de verspillende inefficiency van meervoudige routering op de koop toe. Wanneer we daarentegen autonome robots bouwen, wil ik erom wedden dat we een deel van de potentiële flexibiliteit opgeven, opdat ze niet helemaal uit de hand lopen.

will be of both artificial complexity and biological complexity.

Swarms highlight the complicated side of real things. They depart from the regular. The arithmetic of swarm computation is a continuation of Darwin's revolutionary study of the irregular populations of animals and plants undergoing irregular modification. Swarm logic tries to comprehend the out-of-kilter, to measure the erratic, and to time the unpredictable. It is an attempt, in the words of James Gleick, to map 'the morphology of the amorphous' – to give a shape to that which seems to be inherently shapeless. Science has done all the easy tasks – the clean simple signals. Now all it can face is the noise; it must stare the messiness of life in the eye.

The network is the icon of the twentyfirst century

Zen masters once instructed novice disciples to approach zen meditation with an unprejudiced 'beginner's mind.' The master coached students, 'Undo all preconceptions'. The proper awareness required to appreciate the swarm nature of complicated things might be called hive mind. The swarm master coaches, 'Loosen all attachments to the sure and certain.'

A contemplative swarm thought: The Atom is the icon of twentieth-century science.

The popular symbol of the Atom is stark: a black dot encircled by the hairline orbits of several other dots. The Atom whirls alone, the epitome of singleness. It is the metaphor for individuality: atomic. It is the irreducible seat of strength. The Atom stands for power and knowledge and certainty. It is as dependable as a circle, as regular as round.

The image of the planetary Atom is printed on toys and on baseball caps. The swirling Atom works its way into corporate logos and government seals. It appears on the back of cereal boxes, in school books, and stars in tv commercials.

The internal circles of the Atom mirror the cosmos, at once a law-abiding nucleus of energy, and at the same time the concentric heavenly spheres spinning in the galaxy. In the center is the animus, the It, the life force, holding all to their appropri-

Wanneer onze uitvindingen verschuiven van de lineaire, voorspelbare, oorzakelijke kenmerken van de mechanische motor naar de warrelige, onvoorspelbare, *fuzzy* kenmerken van levende systemen, moeten we ook onze verwachtingen ten aanzien van onze machines bijstellen. Een eenvoudige vuistregel helpt daarbij misschien:

Voor taken waarvoor opperste beheersing vereist is, biedt een lineair systeem de beste oplossing. Wanneer een zeer sterk aanpassingsvermogen vereist is, heb je een onbeheersbaar zwermachtig systeem nodig.

Met elke stap die we onze machines in de richting van het collectieve duwen, brengen we hen dichterbij het leven. En met elke stap die ze van het mechanische verwijderd raken, raken onze apparaten ook iets kwijt van de koude, snelle, optimale efficiency van machines. Voor de meeste taken zal men zoeken naar een evenwicht tussen beheersing en aanpassingsvermogen, en het optimale apparaat voor de taak wordt een cyborgachtige hybride, deels mechanisch, deels zwerm. Hoe meer we aan de weet kunnen komen over de wiskundige eigenschappen van generieke zwermverwerking, des te groter is ons inzicht in zowel kunstmatige complexiteit als biologische complexiteit.

Zwermen benadrukken de gecompliceerde kant van de werkelijkheid. Ze kijken af van het reguliere. De rekenkunde achter zwemberekeningen is een voortzetting van Darwins onderzoek naar de evolutie van afwijkende populaties van dieren en planten die een afwijkende wijziging ondergaan. Zwermlogica probeert het verwarde te bevatten, het grillige te meten en het tijdstip van het onvoorspelbare te bepalen. Het is – om met James Gleick te spreken – een poging tot morfologie van het amorse, oftewel: een vorm geven wat inherent vormloos lijkt. De wetenschap heeft alle gemakkelijke taken gedaan, de zuivere, eenvoudige signalen. Nu ziet zij slechts ruis. En zij moet het chaotische van het leven onder ogen zien.

Het netwerk is het symbool van de eenentwintigste eeuw

Zen-meesters instrueerden ooit beginnende leerlingen om zen-meditatie te benaderen met een onbevooroordeelde 'beginnersgeest'. De meester instru-

ate whirling stations. The symbolic Atoms' sure orbits and definite interstices represent the understanding of the universe made known. The Atom conveys the naked power of simplicity.

Another Zen thought: The Atom is the past. The symbol of science for the next century is the dynamical Net.

The Net icon has no center – it is a bunch of dots connected to other dots – a cobweb of arrows pouring into each other, squirming together like a nest of snakes, the restless image fading at indeterminate edges. The Net is the archetype – always the same picture – displayed to represent all circuits, all intelligence, all interdependence, all things economic and social and ecological, all communications, all democracy, all groups, all large systems. The icon is slippery, ensnaring the unwary in its paradox of no beginning, no end, no center. Or, all beginning, all end, pure center. It is related to the Knot. Buried in its apparent disorder is a winding truth. Unraveling it requires heroism.

When Darwin hunted for an image to end his book *Origin of Species* – a book that is one long argument about how species emerge from the conflicting interconnected self-interests of many individuals – he found the image of the tangled Net. He saw 'birds singing on bushes, with various insects flitting about, with worms crawling through the damp earth'; the whole web forming 'an entangled bank, dependent on each other in so complex a manner'.

The Net is an emblem of multiples. Out of it comes swarm being – distributed being – spreading the self over the entire web so that no part can say, 'I am the I.' It is irredeemably social, unabashedly of many minds. It conveys the logic both of Computer and of Nature – which in turn convey a power beyond understanding.

Hidden in the Net is the mystery of the Invisible Hand – control without authority. Whereas the Atom represents clean simplicity, the Net channels the messy power of complexity.

The Net, as a banner, is harder to live with. It is the banner of noncontrol. Wherever the Net arises, there arises also a rebel to resist human control. The network symbol signifies the swamp of psyche, the tangle of life, the mob needed for individuality.

eerde de pupillen: 'Ontdoe je van al je vooroordelen'. Het juiste besef dat vereist is om de zwermaard van alle gecompliceerde zaken te beseffen zou je een 'koloniegeest' kunnen noemen. De zwermmeester instrueert: 'Verbreek alle gehechtheid aan het zekere'.

Een zwermoverpeinzing: het atoom is het symbool van de wetenschap van de twintigste eeuw.

Het symbool van het atoom is sterk: een zwarte stip met diverse andere stippen daaromheen in een baan. Het atoom wervelt alleen, het toppunt van 'alleenheid'. Het is een zinnebeeld voor individualiteit: atomair. Het is de niet tot kleinere delen te terug te voeren zetel van kracht. Het atoom staat voor kracht en kennis en zekerheid. Het is zo betrouwbaar als een cirkel, zo regelmatig als rond.

Het beeld van het planetaire atoom wordt afgedrukt op speelgoed en honkbalpetjes. Het wervelende atoom dringt door tot bedrijfslogo's en overheidszegels. Het verschijnt achterop ontbijtgraanverpakking, in schoolboeken en in tv-spots.

De interne cirkels van het atoom weerspiegelen de kosmos, zowel een aan wetten gehoorzame kern van energie, als de concentrische hemelse sferen die ronddraaien in de melkweg. In het middelpunt bevindt zich de animus, het Het, de levenskracht die hen alle in hun juiste baan houdt. De zekere banen en de exacte tussenruimte in het symbolische atoom staan voor het inzicht in het doorgronde universum. Het atoom symboliseert de naakte kracht van de eenvoud.

Nog een Zen-gedachte: het atoom is het verleden. Het symbool van de wetenschap voor de volgende eeuw is het dynamische net.

Het symbool van het net heeft geen middelpunt, het is een stel stippen verbonden met andere stippen, een spinnenweb van pijlen die in elkaar overlappen, ineenkronkelen als een nest slangen, het rusteloze beeld dat vaag uitloopt in onbepaalde randen. Het net is het archetype – altijd hetzelfde beeld – dat staat voor alle schakelsystemen, alle intelligentie, alle onderlinge afhankelijkheid, alle economische, sociale en ecologische zaken, alle communicatie, alle democratie, alle groepen en grote systemen. Het symbool is verraderlijk, en verstrikt de onoplettende in zijn paradox van geen begin, geen eind, geen midden. Of geheel begin, geheel eind, zuiver midden. Het is verwant aan de knoop. In de ogenschijnlijke wanorde is een kronkelende

The inefficiencies of a network – all that redundancy and ricocheting vectors, things going from here to there and back just to get across the street – encompasses imperfection rather than ejecting it. A network nurtures small failures in order that large failures don't happen as often. It is its capacity to hold error rather than scuttle it that makes the distributed being fertile ground for learning, adaptation, and evolution.

The only organization capable of unprejudiced growth, or unguided learning, is a network. All other topologies limit what can happen.

A network swarm is all edges and therefore open ended any way you come at it. Indeed, the network is the least structured organization that can be said to have any structure at all. It is capable of infinite rearrangements, and of growing in any direction without altering the basic shape of the thing, which is really no outward shape at all. Craig Reynolds, the synthetic flocking inventor, points out the remarkable ability of networks to absorb the new without disruption: 'There is no evidence that the complexity of natural flocks is bounded in any way. Flocks do not become "full" or "overloaded" as new birds join. When herring migrate toward their spawning grounds, they run in schools extending as long as 17 miles and containing millions of fish.' How big a telephone network could we make? How many nodes can one even theoretically add to a network and still have it work? The question has hardly even been asked.

There are a variety of swarm topologies, but the only organization that holds a genuine plurality of shapes is the grand mesh. In fact, a plurality of truly divergent components can only remain coherent in a network. No other arrangement – chain, pyramid, tree, circle, hub – can contain true diversity working as a whole. This is why the network is nearly synonymous with democracy or the market.

A dynamic network is one of the few structures that incorporates the dimension of time. It honors internal change. We should expect to see networks wherever we see constant irregular change, and we do.

A distributed, decentralized network is more a process than a thing. In the logic of the Net there is a shift from nouns to

waarheid verborgen. Er is heldenmoed voor nodig om deze te ontwarren.

Toen Darwin zocht naar een symbool om zijn boek *Origin of Species* te besluiten – in feite één lange verhandeling over de ontstaanswijze van soorten uit het strijdige, onderling verbonden eigenbelang van een groot aantal individuen – vond hij dit in het verwarde net. Hij zag 'vogels die zongen in een struik, terwijl insecten in het rond vlogen en wormen door de vochtige aarde kropen'; het hele web dat 'een onontwarbare voorraad vormde die op zo complexe wijze van elkaar afhankelijk was'.

Het net is een embleem van veelvouden. Hieruit komt het 'zwermszijn' – decentraal zijn – dat zijn 'ik' over het hele web verspreidt, zodat geen deel kan zeggen: 'Ik ben het IK.' Het net is onverbetterlijk sociaal, het heeft er geen moeite mee door velen te zijn voortgebracht. Het symboliseert de logica zowel van de computer als van de natuur – die op hun beurt een kracht symboliseren die het begrip te boven gaat.

Verborgen in het net is het mysterie van de onzichtbare hand – leiding zonder gezag. Terwijl het atoom zuivere eenvoud vertegenwoordigt, kanaliseert het net de chaotische kracht van complexiteit.

Het net als vaandel is moeilijker te accepteren. Het is het vaandel van anti-beheersing. Waar het net opkomt, komt ook een rebel op die zich verzet tegen menselijke beheersing. Het symbool van het netwerk staat voor het moeras van psyche, de warboel van het leven, de menigte die nodig is voor individualiteit.

De inefficiency van een netwerk – al die overtolligheid en al die heen en weer kaatsende vectoren, dingen die alle kanten op en weer terug gaan alleen om de straat over te steken – stoot onvolkomenheid niet uit maar omsluit deze. Een netwerk cultiveert kleine storingen, zodat grote storingen niet zo vaak plaatsvinden. Het vermogen van het netwerk om fouten te bevatten zonder te gronde te gaan, maakt dit decentrale wezen vruchtbare bodem voor leren, aanpassing en evolutie.

De enige organisatie die in staat is tot onbevooroordeelde groei, of ongeleid leren, is een netwerk. Alle andere topologieën beperken wat er kan gebeuren.

Een netwerkzwerm bestaat geheel uit randen en is daarom open, van welke kant je hem ook benadert. Het netwerk is de minst gestructureerde orga-

verbs. Economists now reckon that commercial products are best treated as though they were services. It's not what you sell a customer, it's what you do for them. It's not what something is, it's what it is connected to, what it does. Flows become more important than resources. Behavior counts.

Network logic is counterintuitive. Say you need to lay a telephone cable that will connect a bunch of cities; let's make that three for illustration: Kansas City, San Diego, and Seattle. The total length of the lines connecting those three cities is 3.000 miles. Common sense says that if you add a fourth city to your telephone network, the total length of your cable will have to increase. But that's not how network logic works. By adding a fourth city as a hub (let's make that Salt Lake City) and running the lines from each of the three cities through Salt Lake City, we can decrease the total mileage of cable to 2.850 or 5 percent less than the original 3.000 miles. Therefore the total unraveled length of a network can be shortened by adding nodes to it! Yet there is a limit to this effect. Frank Hwang and Ding Zhu Du, working at Bell Laboratories in 1990, proved that the best savings a system might enjoy from introducing new points into a network would peak at about 13 percent. More is different.

On the other hand, in 1968 Dietrich Braess, a German operations researcher, discovered that adding routes to an already congested network will only slow it down. Now called Braess's Paradox, scientists have found many examples of how adding capacity to a crowded network reduces its overall production. In the late 1960s the city planners of Stuttgart tried to ease downtown traffic by adding a street. When they did, traffic got worse; then they blocked it off and traffic improved. In 1992, New York City closed congested 42nd Street on Earth Day, fearing the worst, but traffic actually improved that day.

Then again, in 1990, three scientists working on networks of brain neurons reported that increasing the gain – the responsivity – of individual neurons did not increase their individual signal detection performance, but it did increase the performance of the whole network to detect signals.

nisatie waarvan je nog kunt zeggen dat het enige structuur heeft. Het kan zich eindeloos herschikken en in elke richting groeien zonder dat de elementaire vorm ervan verandert. Deze vorm is niet echt een vorm naar buiten toe. Craig Reynolds, de uitvinder van synthetisch zwermen, wijst op het opmerkelijk vermogen van netwerken om zonder ontwrichting het nieuwe te absorberen: 'Er zijn geen tekenen dat de complexiteit van natuurlijke zwermen op een of andere manier begrensd is. Zwermen raken niet "vol" of "overbelast" wanneer zich nieuwe vogels erbij voegen. Als haringen naar hun paaigronden trekken, zwemmen ze in scholen van maar liefst 30, 35 kilometer lang, die miljoenen vissen omvatten.' Hoe groot kunnen we een telefoonnet maken? Hoeveel knooppunten kunnen we zelfs in theorie toevoegen aan een netwerk zodat het toch nog werkt? De vraag is zelfs bijna nooit gesteld.

Er zijn diverse zwermtopologieën, maar de enige organisatie die een ware meervoudigheid van vormen omvat, is het grote maaswerk. Een meervoudigheid van werkelijk divergente componenten kan in feite alleen coherent blijven in een netwerk. Geen andere schikking – keten, piramide, boom, cirkel, spil – kan werkelijke diversiteit omvatten die als één geheel werkt. Daarom is het netwerk bijna synoniem met democratie of de markt.

Een dynamisch netwerk is een van de weinige structuren waarin de dimensie van tijd is vervat. Het respecteert interne verandering. We zouden mogen verwachten netwerken tegen te komen waar we voortdurende afwijkende verandering zien, en zo is het ook.

Een gedistribueerd decentraal netwerk is veeleer een proces dan een ding. In de logica van het net is er een verschuiving van zelfstandige naamwoorden naar werkwoorden. Economen zijn nu van mening dat commerciële producten het best worden behandeld alsof het om diensten gaat. Het gaat er niet om wat je aan een klant verkoopt, maar wat je voor hem doet. Het gaat er niet om wat iets is, maar waarmee het verbonden is, wat het doet. Stromen worden belangrijker dan middelen. Het is gedrag dat telt.

Netwerklogica druist tegen de intuïtie in. Stel dat je een telefoonkabel moet leggen die enkele steden met elkaar verbindt, drie bijvoorbeeld: Kansas City, San Diego en Seattle. De totale kabellengte die deze drie steden verbindt is 5100 km. Volgens ons 'gezond verstand' neemt de totale lengte van de

Nets have their own logic, one that is out-of-kilter to our expectations. And this logic will quickly mold the culture of humans living in a networked world. What we get from heavy-duty communication networks, and the networks of parallel computing, and the networks of distributed appliances and distributed being is Network Culture.

Alan Kay, a visionary who had much to do with inventing personal computers, says that the personally owned book was one of the chief shapers of the Renaissance notion of the individual, and that pervasively networked computers will be the main shaper of humans in the future. It's not just individual books we are leaving behind, either. Global opinion polling in real-time 24 hours a day, seven days a week, ubiquitous telephones, asynchronous e-mail, 500 TV channels, video on demand: all these add up to the matrix for a glorious network culture, a remarkable hivelike being.

The tiny bees in my hive are more or less unaware of their colony. By definition their collective hive mind must transcend their small bee minds. As we wire ourselves up into a hivish network, many things will emerge that we, as mere neurons in the network, don't expect, don't understand, can't control, or don't even perceive. That's the price for any emergent hive mind.

kabel toe als we een vierde stad toevoegen aan het netwerk. Maar zo werkt netwerklogica niet. Door een vierde stad toe te voegen als spil (bijvoorbeeld Salt Lake City) en de kabels van de drie andere steden via Salt Lake City te laten lopen, kunnen we de totale kabellengte terugbrengen tot 4845 oftewel 5 procent minder dan de oorspronkelijke 5100 km. Daarom kan de totale ontwarde lengte van een netwerk worden verkort door er knooppunten aan toe te voegen! Maar er zijn grenzen aan dit effect. Frank Hwang en Ding Zhu Du bewezen in 1990 in hun werk bij Bell Laboratories dat de beste besparingen die konden worden bereikt door nieuwe punten toe te voegen aan het net, hun top bereikten bij ongeveer 13 procent. Meer is anders.

Aan de andere kant ontdekte Dietrich Braess, een Duits *operations*-onderzoeker, in 1968 dat je een reeds verstopt netwerk alleen maar trager maakt door er routes aan toe te voegen. Dit verschijnsel wordt nu de paradox van Braess genoemd, en wetenschappers hebben een groot aantal voorbeelden gevonden van de reductie van de algehele productie door de toevoeging van capaciteit aan een reeds druk bezet netwerk. Eind jaren 1960 probeerden de planologen van Stuttgart de verkeersdruk in het centrum te verlichten door een straat toe te voegen. En wat gebeurde: het verkeersprobleem werd erger. Vervolgens sloten zij de straat af en de situatie verbeterde weer. In 1992 sloot New York City de verstopte 42nd Street op Earth Day en vreesde het ergste, maar in feite was de verkeerssituatie beter die dag.

Aan de andere kant rapporteerden drie wetenschappers die zich bezighielden met netwerken van hersenneuronen in 1990 dat een toename van de 'winst' – het reactievermogen – van individuele neuronen niet hun individuele prestaties op het gebied van signaaldetectie verhoogden, maar wel de prestatie van het hele netwerk in dit opzicht verbeterde.

Netwerken hebben hun eigen logica, die afwijkt van onze verwachtingen. En deze logica zal snel de cultuur van mensen die in een door netwerken verbonden wereld leven, bepalen. Wat leveren die krachtige communicatienetwerken op, en netwerken van parallel computergebruik, en de netwerken van gedistribueerde apparaten en decentraal 'zijn'? Het antwoord is: een netwerkkultuur.

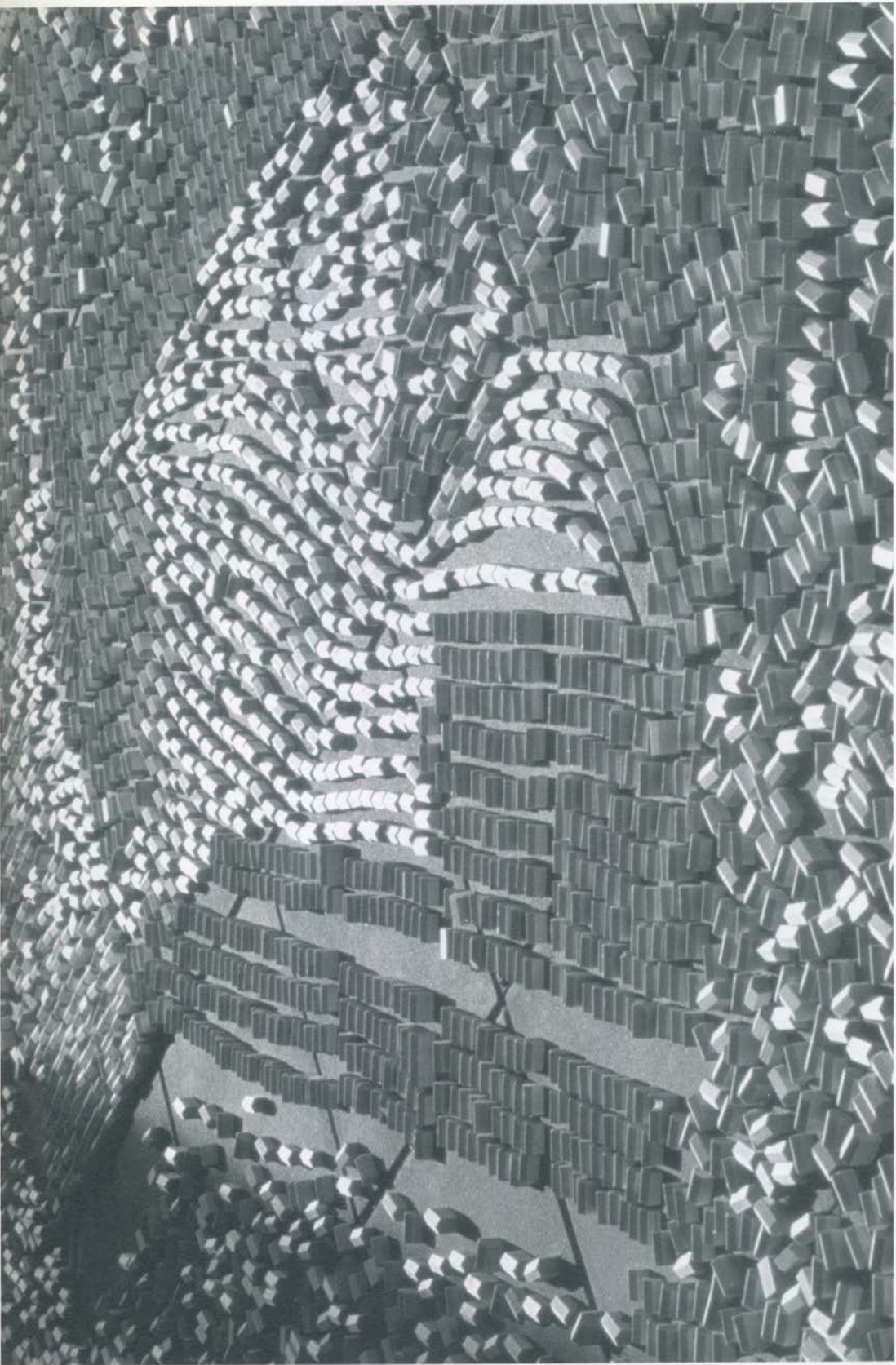
Alan Kay, een visionair die een grote bijdrage

leverde aan de uitvinding van personal computers, zegt dat persoonlijk eigendom van het boek een van de belangrijkste vormende factoren van de Renaissance-idee van het individu was en dat intensief genetwerkte computers als geen andere factor de mens van de toekomst zullen bepalen. En het zijn ook niet alleen maar individuele boeken die wij achterlaten.

Mondiale opiniepeilingen in real-time, 24 uur per dag, zeven dagen per week, overal telefoons, asynchrone e-mail, 500 tv-kanalen, video on demand: bij elkaar vormen deze de matrix voor een glorieuze netwerkcultuur, een opmerkelijk kolonieachtig wezen.

De minuscule bijen in mijn korf hebben weinig of geen besef van hun kolonie. Per definitie overstijgt hun collectieve groeigeest hun kleine individuele bijengeest. Wanneer we onszelf aansluiten tot een kolonieachtig netwerk, zullen veel dingen opkomen die we als nederige neuronen in het netwerk niet verwachten, niet begrijpen, niet kunnen beheersen, of zelfs niet eens opmerken. Dat is de prijs voor elke emergente koloniegeest.

Vertaling: Tymen Roozenboom



'Een zee van huizen', West 8

Nederzetting met landingsbaan / Homestead with air landing strip

