

Aspekter af liv, information, virkelighed og fysik

Af Steen Rasmussen, Center for Fundamental Living Technology (FLinT), Institut for Fysik og Kemi, Syddansk Universitet og Santa Fe Institute, Santa Fe New Mexico, USA

I denne artikel diskuteres nogle grundlæggende spørgsmål, som uundgåeligt opstår i vores forsøg på at forstå, hvad liv er. Det er overraskende, at disse forsøg konfronterer os med både grundlagsproblemer i fysik og med filosofiske spørgsmål om definition af virkeligheden.

Indledning

Vi nærmer os systematisk det tidspunkt, hvor mennesket kan skabe levende systemer ud fra ikke-levende materialer. Der er imidlertid ikke generel enighed om, hvad liv er, hvilket gør diskussion om kunstigt liv kompliceret. I dag er der dog videnskabelig enighed om, at liv er en fysisk proces, der opstår som følge af særlige vekselvirkninger mellem de materielle komponenter, som et levende system er opbygget af. Denne opfattelse er imidlertid af nyere dato. Vi ved at mennesket indtil ca. midten af det 19. århundrede troede, at liv også havde en iboende vital metafysisk kraft, der ikke kunne beskrives ved hjælp af naturlovene. Denne opfattelse kan dokumenteres helt tilbage til oprindelsen af Hindu medicin for ca. 5000 år siden og er sandsynligvis meget ældre.

John von Neumann, faderen til den moderne computer, var i 1950'erne en af de første til at påpege, at hvis liv er en fysisk proces, bør det også være muligt at realisere levende processer i andre materialer, for eksempel ved hjælp af en helt anden kemi end moderne biokemi, eller i robotter eller computere. Dette perspektiv vinder i disse år hurtigt indpas i mange videnskabelige og ingeniørmæssige kredse, selvom der forståeligt nok stadig er en sund skepsis overfor denne temmeligt radikale idé.

Forskningen på FLinT centret i Odense fokuserer i store træk på at skabe liv fra grunden i fysisk-kemiske systemer ved at benytte ikke-biologiske (dvs. ikke-levende) materialer som byggeklodser. En aktuell diskussion af dette arbejde på dansk, findes fx i [1] og [2], eller på vores hjemmeside [3], hvor henvisninger til de videnskabelige detaljer også kan findes. De samfundsmæssige, miljømæssige, sikkerhedsmæssige, etiske og religiøse konsekvenser af anvendelserne af kunstigt liv, i levende teknologi kan findes under sektionen "Living technology" på hjemmesiden for Initiativet for Videnskab, Samfund og Policy [4]. Desuden har Teknologirådet og Etisk Råd udgivet et relevant discussionsoplæg [5], der handler om syntetisk biologi, dvs. potentielle nye biologiske systemer eller andre fysisk-kemisk baserede livsformer.

¹ *Ontologi* er den gren af filosofien (eller mere specifikt: metafysikken), der beskæftiger sig med de grundlæggende måder, noget kan være til på. Ontologiske spørgsmål handler altså om hvad der kan eksistere.

1. Baggrund

I denne artikel diskuteres jeg nogle grundlæggende spørgsmål, som uundgåeligt opstår i vores forsøg på at forstå hvad liv er. Disse fundamentale spørgsmål bliver mest klart sat i relief, hvis vi ser på levende processer implementeret på computere og internettet. Sådanne levende processer bliver stadig mere relevante dels fordi en traditionel styring ikke er mulig af vores hurtigt voksende netværk af kommunikerende, intelligente "devices" (mobiltelefoner, ipads, computere, og internettet), men må baseres på selvorganisering og adaptive algoritmer, der i stigende grad minder om levende processer. Stadigt mere avancerede computervira og medfølgende netværkssikkerhed peger i samme retning, og denne trend kan også tydeligt ses for automatiserede, industrielle produktionsprocesser, der i stadig højere grad bliver styret af kontrolsystemer, der undergår evolutionsprocesser. Jeg tror ikke der kan herske tvivl om, at vores teknologi bliver mere og mere levende. For en diskussion af konsekvenserne af den fremvoksende levende teknologi, se fx [6].

Men nu til essensen af liv: Følgende betragtninger stammer i al væsentlighed fra en videnskabelig artikel jeg publicerede i 1991 [7], hvilket er fra den periode, hvor det for alvor gik op for mig, hvad liv er. Jeg var på dette tidspunkt en ung forsker ansat på Los Alamos National Laboratory og Santa Fe Institutet i New Mexico, USA, hvor mine opgaver bl.a. bestod i at konstruere levende processer på computernetværk. Originale referencer findes i artiklen.

Det var dengang overraskende for mig, at disse forsøg på at skabe liv på computernetværk konfronterede mig med både grundlagsproblemer i fysik og med filosofiske spørgsmål om definitionen af virkeligheden. En del af mine opfattelser ligner John Wheelers idéer [8], [9] om "Meaning Circuits" og om præ-geometri [10]. Disse ligheder eksisterer til trods for, at både det centrale problem vi søger at besvare og den aktuelle kontekst er meget forskellige. Følgende argumenter kan derfor give en ny vinkel på diskussionen af nogle af grundlagsproblemerne i fysik såvel som nogle af vore klassiske erkendelsesteoretiske problemer. De nye ontologiske¹ spørgsmål er omformuleringer af klassiske

problemer, og de vedrører spørgsmål om hvorvidt der eksisterer en virkelighed uafhængigt af os, såvel som aspekter af problemet om det fremmedpsykiske². Disse ontologiske spørgsmål er imidlertid forankret i en ny eksperimentel og teknologisk kontekst, som giver os mulighed for ikke blot at stille disse spørgsmål på en ny måde, men også at drage nogle nye konklusioner baseret på eksperimenter. Denne nye vinkel til grundlagsproblemerne i fysikken samt de filosofiske problemer er foranlediget af udviklingen og brugen af digitale computere. Det er fremkomsten af dette nye værktøj, der har gjort det muligt for os at se disse problemer i et nyt perspektiv, og som tvinger os til at revidere vores opfattelse af forholdet mellem information, liv, virkelighed, og fysik.

Følgende tekst er med vilje gjort så kort som mulig, så idéerne ikke forsvinder i forbehold og diskussioner. Det betyder, at meget af den relevante diskussion samt mange vigtige spørgsmål og referencer er udeladt. Jeg opstiller postulater, kommenterer disse postulater, stiller spørgsmål og drager logiske konklusioner. Jeg fremlægger argumenter for at se, hvad der følger af postulatene og søger dermed at begrunde en nærmere undersøgelse af holdbarheden af disse postulater. Bemærk, at jeg ikke per se hævder, at alle postulater er sande; jeg udforsker i første omgang de logiske konsekvenser af dem, hvis de antages at være sande.

2. Information og liv

Postulat 1. *En universel computer på Turing-maskineniveau kan simulere enhver fysisk proces* (Fysisk "Church-Turing"-tesen³).

Da vi kan konstruere universelle computere, ved vi, at vores fysik understøtter universelle beregninger. Eftersom vi indtil nu har været i stand til at simulere transformationsreglerne for enhver fysisk mekanisme, hvor disse regler er kendte (at kende og formulere reglerne er den svære del af dette), er det fristende at påstå, at fysiske processer selv kan ses som "beregninger". Denne idé er diskuteret i detaljer af Fredkin [11] og kan være en god arbejdshypotese. Men vi ved ikke, om Naturen er i stand til at understøtte en mere kraftfuld og generel form for informationsbehandling, end der understøttes af en universel computer af Turing-klassen.

Postulat 2. *Liv er en fysisk proces.*

Denne idé blev fremhævet af John von Neumann [12], og den er senere blevet opdateret af Christopher Langton [13], hvorved den var med til at starte den moderne forskning i kunstigt liv. Liv er forbundet med den funktionelle organisation af de forskellige dele af en organisme. Detaljer af en sådan funktionel

organisation vil naturligvis være bestemt af de aktuelle materialer, men disse detaljer er ikke centrale for liv som en proces, fordi funktionerne også kunne være skabt ved brug af andre materialer. Bemærk, at i princippet bør enhver form for "hardware" kunne implementere levende processer.

Korollar 1. *Ifølge postulat 1 og 2 bør det være muligt at simulere levende processer på en universel computer. Men en simulering af en levende proces er ikke det samme som den levende proces selv.*

Postulat 3. *Der findes kriterier, ifølge hvilke vi er i stand til at skelne levende fra ikke-levende processer.*

Det er svært at opstille objektive kriterier, med hvilke vi kan definere liv, og jeg har endnu ikke set en tilfredsstillende definition. Uanset hvor præcist vi forsøger at definere liv, synes der altid at være en gråzone mellem det ikke-levende og det levende, hvor det er vanskeligt at afgøre, om en givet proces er i levende eller ej. Den operationelle definition, som mange forskere benytter inden for kunstigt liv, siger: Et levende system skal kunne omdanne ressourcer til byggestene, så systemet kan vokse og dele sig, hvor en arvelig information delvis kontrollerer denne vækst og delingsproces. Den arvelige information skal kunne ændres lidt fra den ene generation til den anden, så en evolution kan ske gennem en selektion mellem forskellige vækst- og delingsprocesser forårsaget af forskellige informationer. Der er en omfattende litteratur om, hvilke egenskaber livet skal have, se fx diskussionen i bogen om "Protoceller" [14].

Selv om der ikke er formel enighed om dette spørgsmål, har vi alle en intuitiv opfattelse af, hvad der er i live og hvad der ikke er. Af hensyn til argumentet antager vi, at Postulat 3 i princippet er muligt.

Korollar 2. *Fra postulat 3 bør det for eksempel være muligt at afgøre, om potentielle computerprocesser er levende eller ej.*

3. Liv og virkelighed

Postulat 4. *En kunstig organisme må opfatte en virkelighed ('R' for 'reality') R2, som for den er ligeså virkelig som vores 'virkelige' virkelighed, R1, er for os (R1 og R2 kan være den samme).*

Et af kriterierne for, at en proces kan være i live, indebærer en aktiv organisme-miljø vekselvirkning, der som minimum består af et stofskifte: Dvs. indtagelse af ressourcer og omdannelse af ressourcerne til byggesten vha. fri energi fra miljøet, samt udskillelse af stofskifteaffald til miljøet. Organismen kan derudover have et

²Problemet om det "fremmedpsykiske" vedrører den manglende mulighed for det enkelte menneske at have direkte adgang til oplevelser, som andre mennesker eller andre levende væsener måtte have af sig selv og deres virkelighed.

³Church-Turing-tesen er en hypotese om computeres opførsel. Tesen påstår, at enhver mulig udregning kan udføres af en algoritme på en computer, givet at der er tilstrækkelig meget tid og lagerplads til rådighed. Tesen kan ikke bevises matematisk. Den bliver nogle gange brugt som en definition på en computer.

utal af mere sofistikerede vekselvirkninger, fx hvis organismerne har sanser og kan flytte til mere opportune steder i miljøet eller er intelligent og derved mere aktivt kan manipulere miljøet. Dette indebærer, at selv det simpleste levende objekt, for eksempel en proces implementeret på en computer, har en primitiv intern model eller opfattelse af sig selv og det omgivende miljø. I den mest primitive forstand, betyder "en intern model af omgivelserne", at det har et stofskifte, der fungerer i miljøet. Uden denne interne spejling eller repræsentation af miljøet ville organismen simpelt hen ikke kunne eksistere. Denne stofskifte-repræsentation indebærer eksistensen af en intern model af verden. Ved at strække dagligsproget lidt, kan vi sige at organismen ved denne interne miljørepræsentation "opfatter" den virkelighed, den eksisterer i. Det er klart, at en intelligent organisme, dvs. en organisme der fx kan lære og modificere sin adfærd afhængigt af hvad der sker i omgivelserne, har en mere sofistikeret opfattelse af sin virkelighed, som rækker langt ud over dens stofskifteindretning. For en grundlæggende diskussion af denne organisme-miljø repræsentation, se fx Denner (2005) [15].

Vi antager, at en tilstrækkelig betingelse for eksistensen af en virkelighed er eksistensen af liv. Der er en omfattende filosofisk litteratur om, hvad virkeligheden er, som jeg ikke vil gå ind på. Her skal jeg henvise til John Wheelers "Meaning Circuit" [8], [9]. Den grundlæggende idé bag dette koncept er, at verden eksisterer som et selv-syntetiserende system. På den ene side giver fysik midlerne til kommunikation (energi, materialer, lys, lyd, osv.). Virkelighed kan dermed erhverve sin 'mening' gennem en opfattelse af verden, fx via en organisation af de oplysninger, vi får fra vores vekselvirkninger med resten af verden. På den anden side giver fysik også anledning til kemi og biologi, og gennem dem en observerende deltagelse, nemlig fremkomsten af liv og senere udviklingen af mennesket.

Postulat 5. *Virkelighederne R1 og R2 har samme ontologiske status.*

Antager vi, at R2 findes i en computer, kan dens egenskaber være meget forskellige fra egenskaberne af R1. Fra et logisk synspunkt er det muligt at skabe samspil med R2, som ikke på nogen direkte måde adlyder fysikken i R1. Vi kan derved skabe en mere almen fysik i vores computere end den fysik vi kender. Sådan en uafhængighed eksisterer, selv om R2 er indlejret i R1 materielt. På grund af den fysiske forankring kan vi påvirke R2 fra R1 ved 'at trække stikket' eller via en omprogrammering af koden, der understøtter R2. Imidlertid kan R2 i princippet også påvirke R1, da muligheden for selv-programmering eksisterer i R2, og dermed er en omprogrammering af interface-systemer, dvs. kontakten mellem R1 og R2, også være mulig fra 'undersiden' (fra R2). Man kunne hypotetisk tænke sig, at hvis levende processer i R2 vil have adgang til flere ressourcer, end de umiddelbart har, kunne det ske

gennem en sådan interface-omprogrammering. Derved manipulerer livet fra R2 'ud' i R1. Flere berømte og ikke særlig realistiske Hollywood film handler om denne mulighed.

I Postulat 4 fremførte vi, at en virkelighed får sin betydning i kraft af eksistensen af en observatør. Da R2 bliver opfattet, ligesom R1 bliver opfattet, opnår virkeligheden R2 samme ontologiske status som R1, når R2 har en levende observatør. Hvorfor skulle den ene virkelighed have fortrinsret frem for den anden?

Bemærk, at alle R2 processer har en fysisk (materiel) implementering i R1. Den fysiske implementering af en computerproces er primært elektroner der flytter rundt i halvledere i R1 bestemt af processerne i R2.

Vi kan nu benytte postulat 5 til at omformulere korollar 1 og sige, at den ontologiske status af en levende proces er uafhængig af den hardware, der bærer den. Dette perspektiv fjerner problemet med begrebet 'simulere' og betyder, at processer foregår i 'et eller andet' hardware. Da de to processer har samme ontologiske status kan den ene ikke være mere virkelig end den anden.

Korollar 3. *Virkeligt liv på et digital computernetværk er dermed muligt.*

4. Virkelighed og fysik

Antagelserne og logikken fra afsnit 3 (Liv og virkelighed) viser, at hvis der eksisterer levende computerprocesser, eksisterer der også computerprocessgenererede virkeligheder forbundet med disse levende processer. Dette åbner op for følgende postulat:

Postulat 6. *Det er muligt at lære noget om de grundlæggende egenskaber ved virkeligheder i almindelighed, og af R1 i særdeleshed, ved at studere detaljerne af forskellige R2'er. Eksempler på sådanne egenskaber er virkelighedens fysik og biologi.*

Vi er nu i stand til at drage nogle interessante konklusioner. Den sunde fornuft siger os, at der eksisterer en fysisk verden, en absolut fysisk virkelighed, der er uafhængig af os, og hvor geometrien af denne virkelighed har lighed med en meget stor 'tredimensionel kasse', indenfor hvilken alle begivenheder indtræffer. Dette kaldes også den Newtonske opfattelse af virkeligheden. Vi ved imidlertid fra moderne fysik ('geometrodynamic'), at fx stof og geometri er koblet, og at det er umuligt at definere det ene uden det andet. Det tog mange år for fysikken at indse dette. Den informationsmæssige tilgang, vi har fulgt, viser, at man umiddelbart kan nå til denne konklusion, og at man endda kan gå et skridt videre: Stof såvel som geometri kan udledes af informations-vekselvirkninger. I de computerprogrammer vi konstruerer, er det ikke muligt at adskille de topologiske (geometriske) og funktionelle egenskaber (vedrørende stoffet: partikler, kræfter, reaktioner) fra hinanden. Intet enkelt stykke computerkode definerer kun topologien eller kun de

funktionelle enheder. Koder for det ene indeholder med logisk nødvendighed også implicit komponenter af det andet. At betragte geometri, og dermed rum, på den måde jeg her gør, har visse ligheder med Ernst Machs [16] syn på rum, nemlig som den samlede øjeblikkelige afstand mellem alle materielle punkter. Både geometrien og kræfterne i disse R2-universer er skabt gennem det logiske og informationsmæssige samspil mellem software og hardware på computeren. Vi ender dermed med en forestilling, der ligger meget tæt på Wheelers idéer om præ-geometri: Bearbejdning af logiske udsagn som grundlag for alt. Ifølge Wheeler ligger præ-geometri forud for fysikken, ligesom logiske regler for funktionelt samspil ligger forud for enhver egenskab vores computersystemer har. Jeg er imidlertid ikke klar over, hvor langt denne analogi mellem vores fysik og vores simuleringssystemer vil holde. At vi i stadig større udstrækning lærer væsentlige aspekter om R1 ved at opstille computersimuleringer af fysiske og biologiske fænomener er indlysende, og dette kan verificeres ved at følge den senere tids videnskabelige udvikling. Det er imidlertid endnu ikke klart om en dybere fortolkning af nogle af disse processer, som værende i stand til at generere R2'er, kan hjælpe os med en bedre forståelse af vores verden.

Konklusion

Det er mit håb, at denne artikel kan klargøre grundlaget for diskussionen omkring kunstigt liv, og om hvad liv er i andre medier. Specielt håber jeg at teksten kan hjælpe med til at belyse hvilke kontroversielle logiske og eksistentielle problemstillinger kunstigt liv konfronterer os med.

I dag støttes konklusionerne i afsnit 2 (Information og liv) af de fleste forskere inden for mit område. Konklusionerne i afsnit 3 (Liv og virkelighed) er stadig kontroversielle, og det er min vurdering, at der er delte meninger mellem forskerne om hvorvidt R1 og R2 kan have samme ontologiske status. Mine professionelle erfaringer med emnet gennem de sidste 20 år har imidlertid styrket min tro på postulaterne og derved konklusionerne i afsnit 3. Tilbage i 1991 var disse tanker meget kontroversielle.

Afsnit 4 (Virkelighed og fysik) er jeg mest usikker på, idet jeg ikke har fulgt udviklingen omkring fysikkens grundlagsproblemer på så nært hold i de sidste mange år. Det er også min opfattelse, at både højenergifysikken og kosmologien, som kunne tage disse spørgsmål op på den mest kompetente måde, har haft mere end nok at gøre med at løse andre vigtige mysterier om vores virkelighed.

Tak

Jeg takker Philipp Löffler og Svend E. Rugh for kritisk og konstruktiv gennemlæsning og kommentering af denne danske omarbejdede tekst. Jeg takker også for konstruktive tilbagemeldinger fra to årgange af studenter fra vores kursus i "Assembly of minimal living systems" (KE819) på SDU, hvor grundlagsproblemer

for liv diskuteres. Den oprindelige artikel fra 1991 var aldrig blevet til uden støtte fra mange af mine kollegaer i efteråret 1989 og foråret 1990 både på Los Alamos og på Santa Fe Institutet. Jeg er især taknemmelig for, at William Wootters i første omgang gav direkte henvisninger til relevant litteratur om præ-geometri og tog sig tid til at drøfte disse emner med mig. Jeg er også taknemmelig for, at Mark Bedau, Jeffery Davitz, Doyne Farmer, Rasmus Feldberg, Stuart Hameroff, Carsten Knudsen, Chris Langton, og Warner Miller, kritisk har gennemgået tidligere versioner af den oprindelige artikel.

Litteratur

- [1] Nielsen, P.L. og Rasmussen, S., *Kasketot*, Biologiforbundets Tidsskrift, bind **15**, februar 2011, s. 12-15.
- [2] Svandeborg, C., Albertsen, A. og Rasmussen, S., Fra syntetisk liv til levende teknologi, *Aktuel Naturvidenskab*, (i print) 2011.
- [3] <http://www.sdu.dk/flint>
- [4] <http://www.science-society-policy.org>
- [5] Teknologirådet, 2011: <http://www.teknologidebat.dk/issue/it-og-nye-læringstilgange/article/syntetisk-biologi>
- [6] Bedau, M.A., Hansen, P.G., Parke E. and Rasmussen, S., (eds.) *Living Technology: 5 Questions*, Automatic Press (2010).
- [7] Rasmussen, S. (1991), Aspects of information, life, reality and physics, *Artificial Life II, SFI Studies in the Sciences of Complexity*, bind **X**, edited by C. C. Langton, C. Taylor, J. D. Farmer, and S. Rasmussen, Addison-Wesley (1991) s. 767-773.
- [8] Wheeler, J. A., World as System Self-Synthesized by Quantum Networking, *IBM Journal of Research and Development* **32(1)** (1988): 4-16.
- [9] Wheeler, J. A., Information, Physics, Quantum: The Search for Links, i Complexity, Entropy, and the Physics of Information, redigeret af W. H. Zurek. *Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity*, bind **VIII**, 3-28. Redwood City, CA: Addison-Wesley, 1990.
- [10] Misner, C., K. Thorne, og J. Wheeler, Beyond the End of Time, kap. 44 i *Gravitation*, Freeman, 1973.
- [11] Fredkin, E (1990), Digital Mechanics, *Physica D* **45** (1990): 254-270.
- [12] von Neuman, J., Theory of Self-Reproducing Automata (redigeret og afsluttet af A. W. Burks), Urbana: University of Illinois Press, 1966.
- [13] Langton, C (1989), Artificial Life, i *Artificial Life*, redigeret af C. Langton, *Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity*, bind **VI**, 1-47. Redwood City, CA: Addison-Wesley, 1989.
- [14] Rasmussen, S., Bedau, M.A., Chen, L., Krakauer, D., Packard, N., and Stadler, P. (eds.), *Protocells: Transitions from nonliving to living matter*, Cambridge: MIT Press, 2009.
- [15] Dennet D., *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life*, Simon and Schuster (1995).
- [16] Mach, E. *The Science of Mechanics, A Critical and Historical Account of its Development*, (engelsk oversættelse af T. McCormack), La Salle, ILL: Open Court Publications, 1960. (Original: *Die Mechanik in Ihrer Entwicklung Historische Kritisch Drage stellt*, Brockhaus, Lipzig, 1912).



Steen Rasmussen er professor i fysik og centerleder for Center for Fundamental Living Technology (FLinT) co-sponsoreret af Grundforskningsfonden og SDU.