

LIV

Utomjordiskt
Syntetiskt
Artificiellt



Jessica Abbott & Erik Persson (red.)



LIV

Utomjordiskt, Artificiellt och Syntetiskt



Jessica Abbott & Erik Persson (red.)

Pufendorfinstitutet, Lund 2017

© Pufendorfinstitutet, Lund 2017

Skriftseriens redaktör: Eva Persson

Formgivning: Jessica Abbott

Omslag: Jessica Abbott, Bengt Pettersson & Eva Persson

Tryck: MediaTryck, Lund 2017

ISBN 978-91-984394-0-3

Innehåll

<i>Förord</i> (Erik Persson & Jessica Abbott)	7
DEL 1: LIV I OLIKA FORMER	11
<i>Fascinationen för liv</i> (Mats Johansson)	13
<i>Vad är liv? Jakt på en ny definition av liv</i> (Jessica Abbott & Erik Persson)	21
Olika slags definitioner	22
Andra definitioner inom biologin	23
Vad kännetecknar liv? Problem och lösningar	24
Jobba hårdare	25
Avvakta	27
Acceptera att det inte finns en definition	28
Familjelikheter	30
<i>Molekylära uppvaknanden</i> (Petter Persson)	35
Livets molekylära komplexitet	38
Molekylär evolution	47
Nya horisonter - från syntetisk biologi till biomimetik	54
Molekylär astrobiologi	56
Sammanfattande reflektioner och utblick	61
DEL 2: UTOMJORDISKT LIV	63
<i>Liv långt ute i rymden?</i> (Dainis Dravins)	65
Redan i avlägsen forntid: Australiens aboriginer	65
Nyare tid: Naturvetenskapens intåg	66
1800-talets populärvetenskap och Camille Flammarion	66
Sent 1800-tal: Giovanni Schiaparelli	68
Tidigt 1900-tal: Kanaler på Mars!	70
1900-talets mitt: Livsbetingelser på Mars?	71
Orson Welles och ”Världarnas Krig”	72
Årstidsväxlingar och tänkbar växtlighet på Mars	72
Harry Martinson: Aniara	73
1900-talets slut: Första rymdsonderna till Mars och Venus	74

Livsbetaingelser i solsystemets utkanter?	78
Planeter kring andra stjärnor	81
Biologiska markörer hos exoplaneter?	82
Letandet efter utomjordiska civilisationer	84
Men vet vi vad vi letar efter?	86
Färdas till andra stjärnor?	87
Om vi hade en annan sol?	88
Astrobiologins mål?	89
<i>Livstecken: Sökandet efter liv i främmande världar</i> (David Dunér)	91
Det mångtydiga livet	92
Jordtvillingar	94
Främmande berg och dalar	96
Nyfikenhet och dåliga ögon	100
Venus atmosfär	102
Kanalerna på Mars	106
Livstecknet och det levande	110
Bilder av liv	111
Livets pekfinger	115
Det levandes symboler	121
Om vi en dag upptäcker liv	124
<i>Att presentera människan för utomjordingar</i> (Klára Anna Čápová)	129
Den interstellära grottmålningen	131
Voyagers flaskpost	132
The Golden Record	134
Skapande av liv: Voyagers berättelse	136
Berättelsen fortsätter: Samhälle, natur och teknologi	138
Interstellära slaggers: Ljud på jorden	140
Livets skapelse: Adam och Eva i rymdåldern	141
Den ideala mottagaren	143
Talar man verkligen för alla?	144
DEL 3: ARTIFICIELL INTELLIGENS	149
<i>Nästan levande: robotar och androider</i> (Christian Balkenius)	151
Turingtestet	151
Eliza och Parry	153
Geminoider	155
Kroppens betydelse	155
Humanoider	157
Kusliga dalen-fenomenet (不気味の谷現象)	158

Att imitera liv	159
<i>Artificiell intelligens som livsform: Om autonoma vapensystems rättsliga ställning</i>	161
(Markus Gunneflo)	162
Varför autonoma vapensystem inte är vapen	163
Varför autonoma vapensystem inte är kombattanter	165
Nytt ”liv” – Ny lag	
<i>Artificiell intelligens: Vems ansvar?</i> (Maria Hedlund)	169
Expertis och demokrati	172
Ansvar	173
Politiska initiativ om robotik och artificiell intelligens	174
AI och ansvar	176
AI och etik	179
AI och demokrati	180
”AI tar över” eller ”här och nu”	182
Slutdiskussion	183
DEL 4: SYNTETISK BIOLOGI	187
<i>Är syntetisk biologi moraliskt otillåtet?</i> (Anders Melin)	189
Den syntetiska biologins etiska utmaningar	191
Vi skadar människor eller andra kännande varelser	192
Människan överskrider en otillåten gräns	193
Framställandet av syntetiska mikroorganismer skadar dessa org-	196
anismer	200
Slutsatser	
<i>Synen på människan som skapare av (o)mänskligt liv: Exemplet Mary Shelleys</i>	203
<i>Frankenstein, eller den moderne Prometheus</i> (Anna Cabak Rédei)	
Frankenstein, och hans Varelse	205
Nya vetenskapsideal växer fram under Upplysningen	206
Frankenstein och den moderna vetenskapen	207
Mary Shelleys Frankenstein och filmen	210
Frankenstein som metafor?	214
<i>Skapat liv och livets värde</i> (Erik Persson)	219
Livets originalitet	219
Livets uppkomst	226
Livets mystik	229
Livets naturlighet	232
Livets autonomi	234

Slutord	236
<i>Bildkällor</i>	239
<i>Medverkande författare</i>	241

Förord

Den här boken handlar om liv, inte minst liv som vi ännu inte känner till, i vissa fall för att det finns väldigt långt bort – utomjordiskt liv – och i vissa fall för att det ännu inte finns – konstgjort liv. Man kan förstås fråga sig hur vi kan skriva en bok om liv som vi inte känner till. Saken är emellertid den att trots att vi inte känner till detta liv och därför inte kan uttala oss om det i detalj, så kan vi vara tämligen säkra på att när det väl dyker upp så kommer det att få ett enormt inflytande på våra eller våra efterkommandes liv. Livet som vi ännu inte känner väcker alltså en mängd frågor som det är hög tid att börja fundera över, inte minst eftersom själva funderandet kring dessa frågor idag kommer att ha betydelse för hur vi väljer att förhålla oss till själva sökandet och skapandet. Hur och var vi väljer att söka efter liv på andra världar beror till exempel till stor del på vad vi menar med liv och hur vi väljer att reglera forskningen och utvecklingen av syntetisk biologi och artificiell intelligens beror till stor del på hur vi ser på risker och fördelar med dessa tekniker.

Denna bok är ett resultat av ett projekt i vilket författarna till boken har undersökt och diskuterat dessa frågor. Projektet gick under namnet *A Plurality of Lives* ("En mångfald av liv") och finansierades av Pufendorfinstitutet vid Lunds universitet, som också var värdar för projektet. Deltagarna i projektet kom från 12 olika ämnen. Ämnesbredden möjliggjorde dels att vi kunde identifiera en bred uppsättning olika frågor och dels att vi kunde genomlysna frågorna från många olika perspektiv. Detta märks också i boken där varje kapitel illustrerar någon liten del av projektet. Kapitlen utgör alltså nerslag i projektets forskning men kan också med fördel läsas fristående för den som bara är intresserad av någon särskild fråga.

Det första kapitlet presenterar ett smörgåsbord av filosofiska frågor. Några av dessa kommer att gå igenom mer detaljerat i de följande kapitlen medan andra lämnas åt läsaren och framtida forskning att fundera kring. Det följande kapitlet handlar om den grundläggande frågan vad liv egentligen är. Idag finns det ingen allmänt accepterad definition av liv, vilket på sätt och vis inte är så konstigt med tanke på hur mångfacetterat livet är. Författarna vill försöka råda bot på avsaknaden av definition genom att kombinera ett filosofiskt begrepp från mitten av förra århundradet med det senaste i form av matematisk modellering. Efter det följer ett kapitel som presenterar livets kemi. Vi vet inte om allt liv måste vara baserat på kemi. Kanske kommer framtida liv att ta formen av mekaniska/elektriska system. Vad vi vet är emellertid att allt liv som vi känner det på jorden idag är baserat

på kemi. På senare tid har vår förståelse av livets kemi tagit flera stora steg framåt. Det finns emellertid en hel del frågor som fortfarande är obesvarade.

Därefter följer tre kapitel om utomjordiskt liv. Det första av dessa kapitel handlar om sökandet efter utomjordiskt liv och ger en både historisk och vetenskaplig bakgrund till sökandet. Det därpå följande kapitlet handlar om det som kallas biosignaturer, det vill säga frågan om vad som egentligen räknas som bevis, eller åtminstone en indikation på att man har funnit liv. I det tredje kapitlet om utomjordiskt liv presenteras olika försök att skicka meddelanden som kanske i en avlägsen framtid kommer att läsas av livsformer långt från jorden, långt efter att den civilisation som sände iväg meddelandena själv har försvunnit.

Efter denna utflykt i universum följer tre kapitel som handlar om Artificiell Intelligens (AI), det vill säga om försöken att skapa intelligenta maskiner. Det första av dessa kapitel diskuterar försöken att skapa robotar som på olika sätt liknar oss, antingen till utseendet eller till sättet att tänka, eller bådadera. Det andra kapitlet på detta tema tar upp frågan om så kallade autonoma vapensystem, det vill säga vapen som kan fatta egna beslut. Vad säger internationell lagstiftning om sådana vapen? Är de överhuvudtaget vapen eller är de i själva verket stridande med rättigheter och skyldigheter? Det tredje kapitlet handlar om hur frågor om artificiell intelligens hanteras och diskuteras politiskt i Sverige, EU och USA. Särskilt diskuteras frågan om hur man kan fatta demokratiska beslut i ett så pass tekniskt komplicerat ämne utan att all makt egentligen hamnar hos några få experter, och frågan om vem som skall ta ansvar för beslut som fattas av intelligenta maskiner.

Den sista delen av boken handlar om försöken att skapa liv i laboratoriet – så kallat syntetiskt liv. I det första kapitlet i den delen ställs frågan om det är omoraliskt att skapa liv och vem det i så fall är vi felar mot? Är det de skapade livsformerna, redan existerande livsformer (vi och andra kännande varelser) eller är det rent av Gud? Det här med att skapa liv i laboratoriet är för övrigt något som också har problematiserats inom litteratur och film. Det mest kända exemplet torde vara Frankenstein och hans ”monster”. Den historien och dess inflytande på debatten diskuteras i det andra kapitlet om skapat liv. Det sista kapitlet handlar om livets värde och hur det kommer att påverkas om vi tillägnar oss förmågan att skapa liv. Kommer det skapade livet att betraktas som mindre värdefullt än ”originalet” för att det är skapat, eller kommer själva förmågan att skapa liv att leda till att allt liv sjunker i värde? Detta är naturligtvis en fråga som bör diskuteras innan vi kommer så långt att vi faktiskt börjar skapa liv.

Naturligtvis finns det också en massa andra frågor som kan och bör diskuteras. De frågor som tas upp här får ses som en introduktion och kanske i vissa fall som en provokation med syfte att få till en levande debatt om hur vi bör förhålla oss till livet som vi ännu inte känner det men som en dag kommer att få ett stort inflytande på alltifrån hur vi definierar liv till hur våra egna eller våra efterkommandes liv kommer att gestalta sig.

Den som är intresserad av att veta mer kan läsa om projektet på Pufendorfinstitutets hemsida: (http://www.pi.lu.se/sites/pi.lu.se/files/tv_a_plurality_of_lives_info_0.pdf) eller anmäla sig till projektets facebookgrupp här: <https://www.facebook.com/groups/364382563686049/>

Lund 6 oktober 2017

Erik Persson och Jessica Abbott

DEL 1: Liv i olika former



Fascinationen för liv

Mats Johansson

Detta kapitel tar sin utgångspunkt i den mänskliga fascinationen för liv. Utifrån fyra teman – utomjordiskt liv, skapat liv, levande maskiner och livets värde – görs ett antal filosofiska nedslag. I fokus är det intresse, de farhågor samt de förhoppningar som nytt och främmande liv väcker. Någon uttömmande eller strukturerad analys är det inte frågan om. Inte heller mynnar reflektionen ut i handfasta slutsatser. I den mån det alls går att tala om ett resultat består detta i en ökad genomlysning av vårt förhållningsätt till liv, samt av vad vår fascination för liv säger om oss själva.

I dag riktar astronomer sin uppmärksamhet mot avlägsna solsystem. Med hjälp av kraftfulla instrument söker man bebodda världar och snart även tecken på liv. I den mån man finner sådana tecken, kommer det att röra sig om indikationer eller indirekt evidens. Hade det varit möjligt skulle upptäckten av en enda utomjordisk skalbagge räcka för att skapa sensation. En fantastisk och epokgörande upptäckt, skulle man säga. Förstasidesstoff! Skulle man därmed sätta punkt för sökandet, stänga anläggningen och gå hem? Knappast. Snart skulle man leta efter fler och mer avancerade livsformer, på samma position och på andra platser. Nya frågor skulle omedelbart ställas. Att sluta leta ligger inte för oss.

Är det bättre att finna tecken på utomjordiskt liv än att inte göra det? Vetenskapen som sådan ger inga svar. Den förser oss med teorier, metoder och fakta, inte med mål och önskningar. Majoriteten föredrar dock nog ett sådant fynd framför frånvaron av detsamma. Men varför? Upptäckarna själva skulle skriva in sig i historieböckerna och för oss andra skulle världen bli än mer intressant. Upptäckten av främmande liv skulle troligen även slå an en närmast existentiell sträng. Gäller detsamma frånvaron av liv?

Frånvaron av liv kan förvisso bekräftas – gång på gång – men någon epokgörande upptäckt kan det aldrig bli frågan om. I motsats till protagonisten Justine i Lars von Triers mästerverk *Melancholia* kan vi vanliga människor aldrig säkert veta om rymden är tom på liv. Men Justine *vet* – helt utan stöd – att resten av universum är tomt på liv. Genom Justine släcker von Trier därmed allt hopp om en fortsättning efter det att jorden gått under. Ett brilliant drag. Men varför bry sig om ifall resten av universum är dött eller inte?

Finns det andra skäl att leta efter liv i yttre rymden? Kunskap om beboeliga världar kan möjligen bli användbar om vi en dag måste lämna vår planet. Som argument för dagens kunskapssökande är det otillfredsställande. Oftast torde sökandet botten i ren och skär nyfikenhet (vilket inte är fel). En del tar dock mänsklig fortlevnad på stort allvar. Hit hör Superentreprenören Elon Musk som siktar på att göra människan interplanetär. Musk har gått från ord till handling, med grundandet av rymdföretaget SpaceX, och med siktet inställt på att göra rymdfarten billig och möjliggöra snar kolonisering av planeten Mars. Om mänskligheten ska överleva jorden, behövs sannolikt personer som Musk. Men hans intelligens, visioner och exceptionella driv ger honom inte rätt i den så grundläggande värdefrågan. Det är nämligen oklart varför vårs arts existens skulle ha någon som helst betydelse.

I Carl Sagans roman *Kontak* uppfångar radio-astronomen Ellie Arroway ett meddelande från yttre rymden. Avsändarna visar sig inte bara vara intelligenta, utan besitter en teknologisk kompetens bortom vår föreställningsförmåga. Kanske är det just så vårt första möte med främmande livsformer kommer att ta sig uttryck; att vi kontaktas av utomjordingar vars civilisation med marginal överträffar vår egen – vetenskapligt och teknologiskt. Är detta hoppingivande? Optimism tycks som bäst ogrundad och som sämst felaktig.

Låt oss för tillfället bortse ifrån vad vi idag tror oss veta om utsikterna för interstellära resor och föreställa oss att utomjordingar faktiskt anländer till vår planet. Hur ska vi förhålla oss till ett sådant scenario? Om varelserna kommer i syfte att skada oss är det naturligtvis kört för oss. Redan en primitiv art som vår egen besitter ju kapacitet bomba sönder och samman jorden, så vad skulle inte en långt mer avancerad civilisation kunna åstadkomma.

Vi vet förstås ingenting om besökarnas avsikter. Men också om deras avsikter inte skulle vara onda, betyder inte det att mötet med dem blir friktionsfritt. Tänk om de är likgiltiga inför vår existens; om vi är den tiotusende art de stött på med halvdan kognitiv förmåga, ännu en art som är obrukbar och ointressant. Hoppet står i så fall till att de låter oss vara ifred.

Intressantast är nog dock om besökarna har goda avsikter. Säg att den första kontakten skett under 1600-talet. Hade utomjordingarna förhållit sig passiva i relation till det de såg i termer av slaveri, tortyr, kvinnors frånvarande rättigheter med mera, och vad hade de ansett om dagens jordbor? Det råder ju knappast någon brist på tvivelaktiga statsskick. Diskriminering är vanligt förekommande, och människor behandlas på många håll på de mest vedervärdiga sätt. Att utomjordingarna skulle invända mot dessa saker ter sig kanske bra, åtminstone sett till vissa västerländska värderingar. Men antag att besökarna har synpunkter på vårt sätt att behandla andra kännande varelser? Vad skulle de till exempel ha att säga om vårt förhållande till grisar, som material i vetenskapliga experiment, som nöje på djurparken, och som mat. Sådana praktiker är rimligen uttryck för specie-cism – inställningen att en art (i detta fall: människan) har etisk prioritet framför

andra arter. Och den inställningen hade kanske inte fallit i god jord hos utomjordingarna. Bättre för oss vore det knappast om *de* var lika speciesistiska som vi, men gav sig själva absolut etisk prioritet.

Hur utomjordingar skulle se på vår art och vårt samhälle är tankeväckande. Huruvida de existerar är av underordnad betydelse. Som tankeexperiment torde detta synliggörande av våra brister kunna ha moralisk och politisk relevans helt oavsett om dessa utomstående betraktare verkligen finns.

Vet någon där ute att vi finns och, om så, var vi befinner oss? Sedan decennier har människan oavsiktligt röjt sin position, med TV- och radiosändningar. Det kan vara ett generalfel för en civilisation på uppgång. Måhända har signaler redan snappats upp av främmande civilisationer som beslutat att släcka lågan innan den börjat sprida sig. Någon illvilja behövs inte som förklaring, bara en rimlig riskbedömning från deras sida. Kanske räds de inte oss, men den teknik vi inom ”kort” kommer att ta fram. Hur skulle vi själva förhålla oss till en civilisation som vår egen om vi trodde att den strax skulle nå en nivå där den skulle vara en likvärdig part, kanske med kapacitet att utplåna oss. Skulle vi inte ha anledning att känna oro?

Alla sändningar ut i rymden är dock inte oavsiktliga. Tvärtom. Åtskilliga försök har gjorts att förmedla budskap ut i universum – från fysiska föremål till riktade radiosändningar. Vad bör ett sådant meddelande innehålla? För att besvara frågan behöver man först fundera över syftet med att alls skicka det. Om man med meddelandet vill inleda en relation med en främmande art, kanske man bör sikta in sig på att göra ett gott intryck, vilket inte är detsamma som att ge en rättvisande bild av människan eller av jorden. En rättvisande bild kanske kan passa för utomjordiska ”antropologer”. Vill man lämna ett sista avtryck, förvissade om att vår tid i universum är kort, kanske detta är det lämpliga. Ingen där ute kan väl vara intresserad av skönskrivningar och tillrättalagd information av den en gång existerande mänskligheten. Är sådana beskrivningar vad vi kan vänta oss från dem? Svaret på denna fråga är nog tyvärr ja, dvs. om vi utgår från att de är som vi själva.



Gissningsvis kan endast en civilisationskollaps – kanske med upprinnelse i kärnvapenkrig, klimatförändringar, asteroidnedslag, solstormar, eller pandemier – hindra oss från att uppnå den teknologiska nivå där maskiner kan tänka. Antag att vi övervinner alla sådana hot och konstruerar autonoma intelligenta system som i sin tur kan förbättra sig själva – oförtröttligt, dygnet runt utan att behöva bry sig om bagateller som matpauser, semester, eller biologisk evolution. Processen torde leda fram till en intelligens som vida överträffar vår egen i alla relevanta avseenden. Ett sådant scenario fascinerar och borde även göra oss en smula ödmjuka inför

vår egen otillräcklighet. Det kan hjälpa oss förstå våra egna kapaciteter och brister därpå. Men scenariot är som vi ska se tänkvärt också av andra skäl.

Somliga menar att en sådan *superintelligens* mycket väl kan bli slutpunkten för vår existens. Den svenskfödde filosofen Nick Bostrom har uppmärksammat behovet av att i förväg analysera hur en sådan intelligens kan kontrolleras. Vi har nämligen bara ett försök på oss. Hur det än förhåller sig med den faktiska hotbildens, aktualiserar den skapande intelligensen utmaningen med att utforma acceptabla instruktioner. Temat är inte nytt. I Stanley Kubriks *2001 – A Space Odyssey* uppstår en intressekonflikt mellan besättningen på rymdskeppet och uppdraget. Skeppsdatorn HAL9000 prioriterade uppdraget, vilket ledde till att snart sagt hela besättningen dog. Dess agerande var varken ologiskt eller märkligt. Klart är att datorns mål kunde ha varit precis vilka som helst, allt baserat på instruktionerna. Det spelar ingen roll att den kan mycket och tänker snabbt. Fakta, logik och snabbtänkthet ger ingen vägledning i grundläggande värdefrågor. Detta uppmärksammande redan 1700-talsfilosofen David Hume som uttryckte det som att det inte strider mot förnuftet att föredra världens utplånande framför en skräma i fingret. Att utgå från att datorer kommer att resonera och drivas på sätt som liknar det mänskliga är ett allvarligt misstag. Visserligen kanske människan en dag kan konstruera en sådan intelligens, men det är endast en möjlighet bland alla andra. Följer man Hume är datorns motivation inte mer irrationell än vår egen motivation att äta, skaffa barn och ha trevligt.

Biologer fascinerar av extrema livsformer. Med extrem menas då liv som frodas i, ur vårt perspektiv, synnerligen ogästvänliga miljöer, det vill säga i miljöer där liv givet vår erfarenhet och kunskaper inte är att vänta. Möjligen kan man utsträcka ”extrem” till att gälla annat än biologiska förutsättningar – till att gälla en mer existentiell mening – där drivkrafter och mål är i fokus. Det konstgjorda livet kan lära oss något om våra egna ofta smått besynnerliga mål, som att ha en perfekt gräsmatta eller se en total solförmörkelse med egna ögon.

Mot bakgrund av evolutionen skulle man kunna förvänta sig att levande varelser hade mycket lika målsättningar. Biologiskt liv tenderar förvisso att sträva efter sin fortsatta existens och efter att reproducera sig. Just detta är naturligtvis vad som alls möjliggjort vår egen arts existens. Men sådana strävanden tycks inte genomsyra våra medvetna önskningsar. Att vilja se Malmö FF vinna allsvenskan (igen och igen) eller söka land och rike runt för ett exklusivt frimärke, har ingen klar och okontroversiell koppling till evolutionära fördelar. Likväl kännetecknar det vissa människors målsättningar. Naturligtvis går det att *föreställa* sig kopplingar till evolutionen, men det betyder inte att dessa är med sanningen överensstämmande, ens givet en evolutionsteoretisk hållning. Hursomhelst vore det ett misstag att sluta sig till att vi, när helst vi strävar efter mer vardagliga mål, egentligen har evolutionära vinster i åtanke. Få människor om någon torde dagligdags reflektera över evolutionära fördelar när de agerar, planerar och resonerar. Det kan sig i själva

verket te sig svårare att förstå en person som lever för sådana fördelar, än en person som lever för golf eller sin trädgård.

Hur flexibla som helst är vi naturligtvis inte i vår förståelse av andra livsformers målsättningar. Vår mänskliga form har i detta avseende vissa begränsningar. Vi har nog alla lite svårt att förstå hur man kan ha som *ultimat* mål i livet att omvandla all materia i universum till gem, vilket är ett av Nick Bostroms exempel. Här kan AI sätta vår förståelsekapacitet på prov, men vi kan dra fördel av att den påminner oss om att snart sagt inga mål är så besynnerliga att de inte kan existera (åtminstone hos en individ eller entitet).

En tänkande maskin väcker flera frågor. En sådan är om en tänkande maskin är en *levande* maskin? Svaret beror ytterst på hur vi dels definierar *liv* (se Abbotts och Perssons kapitel), dels definierar *maskin*. Att det går att föreställa sig maskiner liknande människan (eller andra varelser) är dock något man tagit fasta på inom science fiction-genren. I film och litteratur förekommer robotar som odlar personliga relationer, samt kan tänka, planera och ta ansvar. Bara för att nämna några exempel finns Ava i *Ex Machina*, Bishop i *Aliens*, Dolores i *West World* och Data i *Star Trek – The Next Generation*. Intressant nog är dessa förmågor och egenskaper på intet sätt nödvändiga för liv. En kantarell besitter ingen av dessa egenskaper men lever alltjämt, vilket naturligtvis inte betyder att egenskaperna är irrelevanta för liv. De kan vara tillräckliga för liv och nödvändiga för att vara en person. De är bara inte nödvändiga för liv.

Att anamma en definition som utesluter möjligheten av levande robotar tycks bakvänt. Vad skulle grunden till en sådan begränsning vara? Frånvaron av biologi är av vikt om man tar fasta på hur livs-begreppet fram till nyligen utformats. Här måste man dock stanna upp. Språklig praxis kan studeras och klargöras, men den ger ingen vägledning i frågan om vilket livs-begrepp som är att föredra. Det tycks inte särskilt fruktbart att använda en begreppsapparat som utesluter kännande, autonoma, intelligenta och moraliska robotar. Och om man ändå väljer en sådan begränsning uppstår omedelbart ett tomrum. Ett utrymme lämnas för ett mer inkluderande begrepp – liv* – neutral för vilka sorters processer som utgör plattformen för egenskaper vi normalt associerar med liv.



Henry Frankenstein (vars förnamn man i filmen anmärkningsvärt nog ändrat från bokens Victor) blir extatisk när hans skapelse vaknar till liv. I filmatiseringen från 1931 ter han sig i detta ögonblick spritt sprängande galen. Scenen stannar kvar i minnet, men det är inte galenskapen som sådan som griper tag (för sådan galenskap finns det gott om i andra sammanhang), utan *överträdelsen*. Genom sitt experiment utmanar Henry den naturliga eller gudomliga ordningen. Ingen gav honom denna rätt och inte heller efterfrågade han andras råd. Henry gick först.

Omedelbart efter det att varelsen vaknat till liv utropar Henry att han nu förstår hur det känns att vara Gud. Är detta påstående rimligt? Skulle Gud – en allsmäktig, allgod och allvetande varelse – alls känna en sådan eufori. Knappast. Och jämförelsen med Gud brister naturligtvis också i flera andra avseenden. Utmärkande för Henrys experiment är inte bara bristen på ödmjukhet, utan även bristen på ansvar och kontroll – det vill säga sådant vi gärna ser hos Gud.

Kanske ter det sig naivt att tolka Henrys gudsjämförelse bokstavligt. Den bör dock granskas, då den har kommit att ges utrymme och betydelse utanför fiktionen. Där har den blivit ett uttryck för mänsklig hybris, brist på ansvar och faran med att experimentera med just liv. Just därför är det viktigt att nagelfara vad jämförelsen, om något, bär för insikter. I den mån vi har att göra med en illusion kan denna endast skingras genom att man undersöker den ingående.

Henrys övertramp har rimligen föga att göra med att livslågan som sådan endast är Guds att tända eller släcka. I alla tider har människan tänt (om än ”på naturlig väg”) och släckt denna låga och på senare år har vi lärt oss kontrollera den allt mer. I vården fattas dagligen beslut om liv och död. Potentiella barn väljs ut med hjälp av fosterdiagnostik och några av dem blir föremål för abort. Andra barn har medicinska landvinningar att tacka för sin existens. Livsuppehållande åtgärder avbryts för mycket svårt sjuka eller skadade människor. En del genomgår cellgiftsbehandling och tillfrisknar. Andra personer får ett nytt organ – kanske ett hjärta från en just avliden donator. Och så vidare.

Gränsen för vad som är möjligt och god praxis flyttas ständigt och gråzoner framträder. Det går till exempel att under kontrollerade former sänka en patients medvetande till en nivå där alla upplevelser upphör (så-kallad terminal sedering). Under speciella omständigheter är detta tillåtet fram till det medicinska (i Sverige: hjärndöd) dödsögonblicket. Syftet är smärtlindring. En del hävdar att agerandet utgör förklädd dödshjälp. Kritiken är inte helt orimlig, även om det finns avgörande skillnader mellan terminal sedering och dödshjälp. Vad finns kvar av en person efter det att individens medvetande släckts? En viktig skillnad mellan att vara en person och, säg, en gran, är ju att personer har upplevelser, planer, önsningar, med mera. Släcks medvetandet upphör personen. Släcks medvetandet permanent tycks man med facit i hand kunna säga att personen i relevanta avseenden upphörde att existera i detta ögonblick. Under alla omständigheter står det klart att den personliga upplösningen inte behöver sammanfalla med den biologiska döden. Det har inte minst demenssjukdomarna lärt oss.

En del människor vill bli infrysta efter sin död. Tanken är att kunna väckas till liv när tekniken är mogen. Antag för sakens skull att det finns en möjlighet att några av dessa personer faktiskt kommer att väckas i en avlägsen framtid. Hur förändrar det vår syn på dem som nu ligger i sina frysar. Betyder det att de ännu inte är döda? Enligt dagens hjärndödsdefinition är det så, för då är de inte *oåterkalleligt* döda.

Hjärndödsdefinitionen är av förklarliga skäl inte utformad för att hantera denna möjlighet. Likväl belyser den en intressant slitning mellan döden som definitivt oåterkalleligt tillstånd och framtida teknologiska och biologiska möjligheter. Huruvida de lever tycks paradoxalt nog hänga på den teknologiska utsikten att framgångsrikt aktivera deras hjärnor igen. Enbart det faktum att alla biologiska processer upphört, är inte avgörande.

Avslutningsvis bör man fråga sig varför framtida generationer skulle vilja väcka dessa frysta individer till liv? Är de moraliskt skyldiga att göra det? Möjligen. Möjligen skulle framtidens historiker även få ett nytt källmaterial: uppväckta människor från det förflutna. Att låta frysa ner sig ter sig dock synnerligen tveksamt.



Under högstadietiden påstod en av mina klasskamrater att han blivit ateist som följd av att ha läst Douglas Adams bok ”Liftarens guide till Galaxen”. Detta borde ha förvånat mig då bokens minst sagt utflippade historia inte innehåller mycket av religionfilosofiskt intresse. Min klasskamrats påstående förvånade mig emellertid inte alls. I boken lekte författaren friskt med universums ofattbara storlek och möjligheter och av någon anledning gav det även mig känslan av att Guds roll förminskades. Insikten om hur obetydlig jorden och vårt solsystem är, kan onekligen te sig skakande – och sätta religiösa dogmer i nytt ljus – men det gäller att inte göra för mycket av denna känsla. Precis som evolutionsbiologen Richard Dawkins konstaterat vilar inte ateism på tro, utan på *frånvaro* av skäl att tro på de religiösa påståenden som presenterats. Någon annan form av riktning i existentiell mening erbjuds inte. Vetenskapens metod kan visserligen, då den tillämpas på religiösa påståenden, ge upphov till ateism, men den ersätter inte påståendena på något sätt. Universum innehåller inte några gåtor, mysterier eller paradoxer. Allt sådan ligger i betraktarens ögon. Universum är intressant för den intresserade, varken mer eller mindre. Dess förmodade mångfald i termer av möjliga livsformer ger oss dock anledning att fundera över våra egna livsförutsättningar, vårt värde i relation till andra livsformer, samt över hur långt vi egentligen kommit i utvecklingen.



Lästips

Böcker:

Bostrom, Nick (2014) *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies* Oxford University Press

Dunér, David (red.) (2013) *Extrema världar – Om sökandet efter liv i rymden* Pufendorfinstitutet

Dunér, David; Parthermore, Joel; Persson, Erik; Holmberg, Gustav (red.) (2013) *The History and Philosophy of Astrobiology* Cambridge Scholars 2013

Sagan, Carl (1987 m.fl. uppl.) *Kontakt* Legenda

Filmer:

Ex Machina (2014)

Melancholia (2011)

Vad är liv?

Jakten på en ny definition av liv

Jessica Abbott & Erik Persson

I årtusenden har människan försökt definiera livet – hur levande djur och växter skiljer sig från död materia. Problemet är dock att livet är mångfacetterat, och varje regel har sitt undantag. Vi försöker möta kommande utmaningar med nya livsformer, genom att lyfta fram en ny definition av liv.

Du sitter och läser en bok, och kommer över ett ord som du inte känner igen. Hur gör du? Om det inte går att uttyda ordets betydelse från sammanhanget, brukar man vända sig till en ordbok. Där står det kanske en beskrivning av vad ordet betyder, en lista med olika användningsområden för samma ord och exempel på dessa, samt kanske ett flertal synonymer (ord med samma eller liknande innehåll). Även ett tillsynes enkelt ord som ”stol” kan bli svårt att definiera om det har många olika användningsområden. Svenska akademins ordboks definition av ”stol” är till exempel hela 5400 ord lång! Det finns en stor kontrast mellan detta och hur små barn lär sig nya ord. Där handlar det inte om att slå upp ord i en ordbok, utan man lär sig genom att bli visad många olika exempel på samma sorts föremål och själv hitta likheter mellan dem. Mamman säger till exempel ”sätt dig på stolen” och visar barnet med en gest vad hon menar. Då får barnet samtidigt information om hur en stol kan se ut och vad den används till. Har man sett många stolar med olika form, kan man så småningom känna igen även en ovanlig stol, men hur är det med ett mer abstrakt begrepp som ”liv”? Där finns det tekniska definitioner som används inom biologi eller forskning om livets uppkomst, men även gemene man har en intuitiv definition av liv som utgår från egna erfarenheter om livet och döden. Frågan om hur man definierar liv är dessutom ännu mer aktuell idag. Forskare runt om i världen håller på att försöka skapa helt syntetiska celler i laboratoriet (se Melins, Cabak Rédeis och E. Perssons kapitel) och det pågår en intensiv jakt på tecken på liv i universum (se Dravins och Dunérs kapitel). Resultatet av dessa verksamheter kan bli att rådande idéer kring liv kontra icke-liv omkullkastas. Går det att hitta en definition av liv som fungerar i både tekniska och informella sammanhang, samt har potential att kunna appliceras på ännu okända livsformer? För att se om det ens är möjligt måste vi titta lite närmare på olika typer av definitioner och deras för- och nackdelar.

Olika slags definitioner

De två exempel som nämns ovan om ordet ”stol” (en vuxen som slår upp ett obekant ord i en ordbok, samt ett barn som lär sig nya ord genom egna upplevelser) uppvisar inte bara två olika sätt att ta till sig information, utan också två olika sätt att se på hur ord kan definieras. I det första fallet utgår man ifrån att det finns en komplett lista med egenskaper som ska uppfyllas för att ett föremål ska räknas till kategorin ”stol”. Detta brukar kallas för en *de re-definition*. ”De re” är latin för ”om saken”, och brukar stå i motsättning till ”de dicto”, eller ”det som har sagts”. Det innebär att en de re-definition handlar om en saks inneboende egenskaper. De re-definitioner är vanliga i ordböcker när det gäller vardagliga ord, och inom naturvetenskap när det gäller föremål och fenomen (man vill till exempel kunna lista vilka kriterier en atom måste uppfylla för att tillhöra kategorin ”guldatom”). I det senare fallet utgår man snarare från likheter i form och funktion mellan olika stolar, och skapar en intern lista över egenskaper som en stol *brukar* uppfylla. Denna lista med egenskaper är mer flytande än hos en de re-definition. Inte alla egenskaper måste uppfyllas, listan med egenskaper kan uppdateras kontinuerligt, och olika egenskaper kan upplevas som mer eller mindre viktiga. Avvikande former av stolar kan därför ändå kännas igen som sådana om de har tillräckligt mycket gemensamt med stolar man har stött på tidigare (se Figur 1). Detta är ett exempel på *familjelikhets*, där ordet förstås utifrån övergripande likheter mellan föremål istället för en lista med nödvändiga kriterier. Språkforskning har visat att vi oftast använder oss av familjelikhets när vi lär oss ord på vårt modersmål.

Familjelikhets som fenomen inom språket föreslogs först av filosofen Ludwig Wittgenstein (1889-1951), verksam vid University of Cambridge under det tidiga



Figur 1: Hur uppbyggandet av en familjelikhetsdefinition går till. Viktiga egenskaper skulle kunna vara storlek, form, material, och så vidare.

nittonhundratalet. Han ville undersöka hur vi beskriver och förstår komplexa fenomen som konst eller spel. Spel är ett förrädiskt enkelt koncept. Alla vet vad ett spel är, men att hitta en lista med kriterier som alla spel har gemensamt, men som inte delas med andra fenomen (en klassisk de re-definition) är mer eller mindre omöjligt. Det är för att det finns så många olika sorters spel; brädspele, bollspel, kortspel, tv-spel, sällskapsspel, och så vidare. I princip det enda alla dessa har gemensamt är att de är underhållande och innebär ett tävlingsmoment, men det samma gäller även andra fenomen (som till exempel en debatt). Det blir då svårt att definiera ett spel på samma sätt som man definierar en guldatom. Det har därför föreslagits att man i sådana fall istället bör försöka konstruera en ny typ av definition med familjelikhet som grundsten. Med hjälp av familjelikhet, där man använder sig av egenskaper som delas av de allra flesta medlemmarna i kategorin, blir det betydligt mer intuitivt att beskriva spel. Då är det tillåtet att vissa egenskaper inte uppfylls, så länge likheterna är tillräckligt stora överlag. Det innebär att trots att de flesta spel kräver flera spelare, kan patiens ändå räknas som ett spel med hjälp av familjelikhet för att det har mycket gemensamt med andra kortspel.

Andra definitioner inom biologin

Inom biologin finns det gott om svårdefinierade fenomen. Vad är egentligen en gen, eller en art? I båda fallen används olika definitioner i olika sammanhang, därför att det är svårt att ta fram en definition som passar i alla lägen. När det gäller definitionen av en art finns det ett flertal olika artbegrepp, och tittar man igenom kursböcker i evolutionsbiologi kan man lätt få ihop ett tiotal olika artbegrepp som alla har sina för- och nackdelar. Ett av de vanligaste artbegreppen är det biologiska artbegreppet, som går ut på att individer som kan para sig och få fertil avkomma tillhör samma art. Men detta artbegrepp passar inte alls för bakterier eller andra organismer som förökar sig asexuellt, och tar inte hänsyn till att det finns många djur och växter som kan para sig över artgränser om tillfället bjuds. Till exempel kan tiger och lejon producera avkomma som är delvis fertila (honor är det men inte hannar), men detta sker inte i naturen eftersom de bor på olika platser. De kan inte gärna betraktas som samma art med tanke på deras olika utbredningsområden, anpassningar till olika miljöer (djungeln kontra savannen), olika social struktur och olika utseende. Vissa författare menar att vi kanske måste ändra på våra förutfattade meningar kring vilka organismer som tillhör olika arter, och därmed klassa tiger och lejon som samma art, för att vara konsekventa med det biologiska artbegreppet. Andra menar att vi får nöja oss med att använda olika artbegrepp till olika sorts organismer, eftersom det inte går att utveckla ett artbegrepp som täcker in alla kända arter på ett tillfredsställande sätt. Att en art är så svårdefinierad beror delvis på livets mångfald, som gör att olika grupper av organismer lever och förökar sig på väldigt olika sätt, men också delvis på att artbildning är en gradvis process. Till exempel brukar skillnader i utseende och beteende uppkomma långt

innan två olika populationer blir så genetiskt skilda att de inte kan korsa sig längre. Det blir då svårt att sätta skarpa gränser för vad som bör räknas som en art, när olika populationer har kommit olika långt med själva artbildningsprocessen.

På så sätt har diskussionen kring artbegrepp ganska mycket gemensamt med problemet med att definiera liv. Livet i sig är faktiskt om något ännu mer svårdefinierat, eftersom uppkomsten av levande organismer har skett gradvis och det finns så många varelser som rör sig i gränslandet mellan levande och icke-levande. (Som kuriosas kan det nämnas att Svenska akademins ordboks definition av "liv" är över 9000 ord lång, nästan dubbelt så lång som för ordet "stol"!).

Här kan det vara lämpligt att ta upp problematiken kring liv och levande som motsats till död. Levande kontra död handlar om individuellt liv och död. Vi är snarare intresserade av att kunna skilja mellan levande och icke-levande, dvs alla varelser som faktiskt lever, kan leva, eller har levt ("Liv" med stort L), till skillnad från sådant som aldrig har levt och aldrig kommer att kunna göra det. Alla dinosaurier är döda nu (individuellt liv), men var levande varelser under tiden de fanns på jorden ("Liv"). En sten kan dock inte betraktas som död eftersom den aldrig har levt, och är snarare icke-levande. Problemet är att vissa av kriterierna som traditionellt förknippas med "Liv" överlappar med kriterierna för levande-kontradöd, vilket gör att dessa två frågor blir svåra att diskutera helt oberoende av varandra.

Vad kännetecknar liv? Problem och lösningar

Typiska egenskaper som förknippas med liv är bland annat energianvändning, tillväxt, fortplantning, förmågan att känna av sin miljö och förmågan att kunna anpassa sig till denna miljö. Det finns ett antal olika biologiska system som uppfyller vissa av dessa krav, men inte alla. De kanske mest kända är virus (Figur 2), men det finns även andra exempel som transposoner (gener som kan självständigt kopiera sig mellan olika platser i arvmassan) eller prioner (proteiner som kan omvandla andra proteiner till sin egen form). Det är då en utmaning att ens kunna beskriva och definiera livet som redan finns på jorden. En ännu större utmaning är att ta fram en definition av liv som inte är bunden till nu levande jordiskt liv. Experterna är överens om att det bara är en tidsfråga innan vi måste ta oss an praktiska frågor rörande alternativa livsformer. Det kan till exempel handla om självstyrande robotar och artificiell intelligens, eller helt syntetiska celler som vi skapar i laboratoriet. Lite mer spekulativt (men ändå möjligt) är om vi upptäcker utomjordiskt liv, kanske i form av signaler från rymden eller bakterier under ytan på Mars. För det första vill vi kunna känna igen liv även om det skiljer sig markant från de livsformer vi redan känner till, och för det andra anses liv ofta ha ett särskilt värde (se E. Perssons kapitel). I fall som de ovannämnda är en de re definition som täcker in alla möjliga livsformer omöjlig. Man är inte ens överens om ett bestämt antal kriterier som täcker alla nu levande varelser på jorden och utesluter

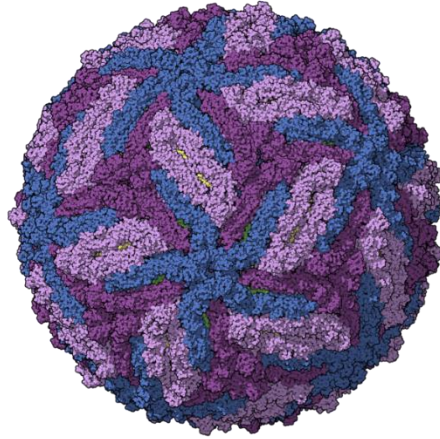
alla icke-levande föremål och system. Det är ännu svårare att hitta unika kriterier som förenar robotiskt, syntetiskt eller utomjordiskt liv med befintligt liv. Vad kan vi då göra för att komma vidare?

Det finns ett par olika möjliga lösningar på detta problem. Vi kan till exempel jobba hårdare på en bättre re-definition i förhoppning om att lyckas med hjälp av vår konstant ökande kunskap om olika livsformer. Det är dock problematiskt att vi bara känner till liv med ett gemensamt ursprung – det är svårt att veta vilka egenskaper som bara är bundna till livet här på jorden och vilka som är universella. En annan lösning kan då vara att avvakta, och vänta tills vi har skapat eller upptäckt andra livsformer med ett annat ursprung, för att sedan försöka hitta en bred definition av liv. Ett tredje alternativ kan vara välja att ha samma inställning som vissa har när det gäller artbegreppet, och konstatera att livet är för mångfacetterat för att kunna skapa en enda definition som fungerar i alla lägen. Vi får i så fall nöja oss med olika tekniska definitioner som funkar bra inom ett begränsat område. Ett exempel på ett forskningsområde som då skulle kunna ha sin egen definition av "liv" är sökandet efter livets ursprung. De tidigaste biologiska systemen saknade förmodligen en del egenskaper som finns hos liv idag, så definitioner av liv som används inom forskning kring livets ursprung innehåller breda kriterier som "energianvändning" och "icke-jämviktstillstånd", snarare än smala kriterier som "består av celler" eller "innehåller DNA". Ingen av dessa lösningar är dock riktigt tillfredsställande. Först ska vi diskutera problemen med dessa lösningar i tur och ordning, och sedan argumentera för ett annat angreppssätt som vi tror kan leda till en bättre definition av liv än vad som hittills har åstadkommit.

Jobba hårdare

Det kan förstås vara värdefullt att fortsätta sökandet efter universella kriterier för att definiera liv. Frågan är bara hur sannolikt det är att detta angreppssätt kommer att ge utdelning. Man har jobbat med frågan hur man bäst definierar liv under årtusenden, och förvirringen har snarare ökat än minskat med tiden. Innan mikroorganismer upptäcktes var det relativt enkelt att dela in världen i levande varelser och icke-levande föremål. Men huruvida virus ska räknas som levande är fortfarande en kontroversiell fråga idag. Vissa menar att endast celler kan räknas som levande eftersom de har en egen metabolism, medan virus måste låna av en annan cells metabolism för att kunna föröka sig. Andra menar att förmågan att föröka sig och genomgå en evolutionär utveckling är viktigare kriterier, och att virus borde räknas som levande för att de uppfyller dessa kriterier. Nya rön kring virus ursprung kommer förmodligen att röra till diskussionen ytterligare.

Det finns olika hypoteser kring var virus kommer ifrån. En tidig hypotes var att virus var rester från de allra äldsta livsformerna på jorden, en sorts mellanting mellan icke-levande organiska molekyler och levande celler. Denna hypotes har dock förlorat stöd i och med att man har insett att en grupp som behöver celler



Figur 2: Zikavirus kan utvecklas och föröka sig i en cell, men har ingen egen metabolism. Dess genom kodar 15 proteiner.

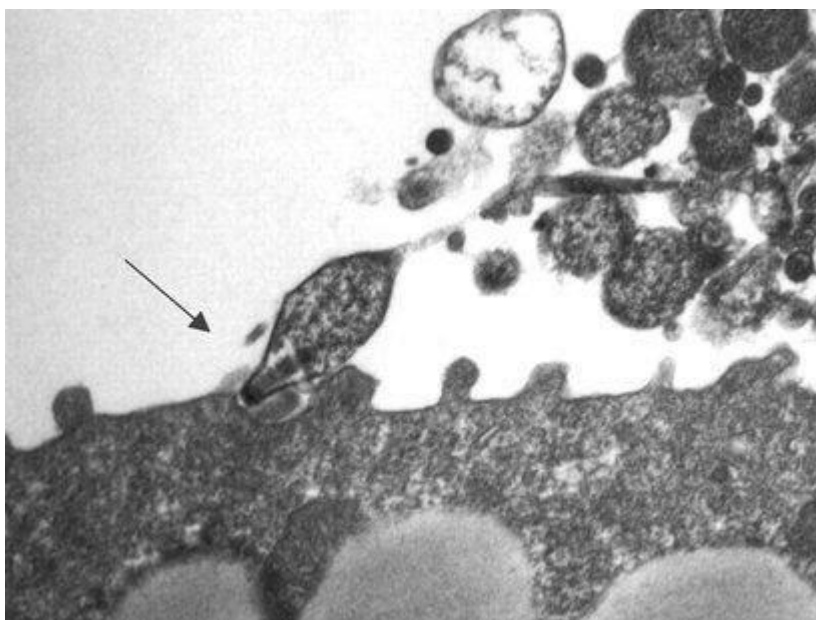
för att existera knappast kan ha föregått uppkomsten av dessa celler. Virusliknande varelser kanske var en del av livets tidiga utveckling, men med tanke på hur lång tid som har gått sedan dess är det inte sannolikt att dagens virus är direkta efterkommande från denna tidiga utveckling. Hypotesen som det har rått störst samstämmighet kring den senaste tiden, är att virus kommer från transposoner, självständigt hoppande DNA-fragment som kopierar sig till nya ställen i arvsmassan. En del av våra transposoner verkar vara gamla virus som har blivit en del av genomet, och största skillnaden mellan virus och transposoner är egentligen att transposoner endast kan överföras vertikalt, det vill sägas från förälder till avkomma, medan virus kan överföras horisontellt – det vill säga mellan (eventuellt) obesläktade individer. En transposon skulle dock kunna bli till ett virus genom att ta med sig en intelligande gen för ett protein som kan fungera som en skyddskapsel, vilket möjliggör för transposonen att överleva utanför kroppen och därmed bli smittsam. I detta fall blir det kanske okontroversiellt att klassificera virus som icke-levande, eftersom de i grund och botten bara är DNA-fragment som har fått lite nya egenskaper. På senare år har man emellertid upptäckt nya ”jättevirus”, som ger stöd åt en annan hypotes, nämligen att virus har utvecklats ur bakterier.

Jättevirus innehåller långt fler gener än ett genomsnittligt virus, upp till 2300 gener i *Pandoravirus*, medan vanliga virus kan ha från två till ett tiotal gener (Figur 2). I jämförelse innehåller våra vanliga tarmbakterier *Escherichia coli* (*E. coli*) cirka 4300 gener, och *Syn-3.0*, ett syntetiskt bakterium konstruerad för att innehålla så få gener som möjligt, har bara 473 stycken. På så sätt har jättevirus gett nytt stöd till hypotesen att virus kan ha utvecklats ur parasitiska bakterier som vistades inom en värdcell, och så småningom förlorade en stor del av sina oberoende funktioner.

I så fall blir det märkligt (åtminstone för biologer) att klassificera virus som icke-levande om de har utvecklats ur levande celler. Idag är det många som tror att olika sorters virus kan ha utvecklats på olika sätt – vissa ur transposoner som blev självständiga, andra ur bakterier som förlorade överflödiga funktioner. Om virus har flera olika ursprung kommer det inte att bli lättare att komma överens om huruvida virus är levande. Detta är bara ett exempel baserat på en relativt välkänd form av organisk varelse. Problemen kommer att mångdubblas om och när vi hittar eller skapar helt nya livsformer. Därför känns det inte sannolikt att lösningen bara är att jobba hårdare med problemet att definiera liv.

Avvakta

Som nämndes ovan är det ett problem att vi i nuläget bara känner till liv på jorden. Det innebär att vi inte kan avgöra om de egenskaper som är gemensamma för allt känt liv är det för att dessa egenskaper verkligen är universella, eller för att allt jordiskt liv har ett gemensamt ursprung. Experiment med att skapa syntetiska livsformer kanske kan hjälpa till i detta fall, men dessa livsformer kommer att vara präglade av livet på jorden till stor del – delvis för att det är vi som är skaparna och dessa syntetiska livsformer kommer att behöva vara anpassade för att odlas i laboratoriet, åtminstone till en början. Men också för att nutida försök med syntetiskt liv använder befintligt liv som mall. Till exempel *Syn-3.0*, ett syntetiskt



Figur 3: *Mycoplasma* bakterier

bakterium skapad av Craig Venter och kollegor. *Syn-3.0* är en kraftigt modifierad version av bakterien *Mycoplasma mycoides*, en parasitisk bakterium som lever inuti cellerna hos nötkreatur och getter och som är släkt med bakterierna som ofta orsakar urinvägsinflammation (Figur 3). Trots att det idag är möjligt att skapa syntetiska DNA-sekvenser och sätta in dessa i befintliga celler, har man långt kvar innan det går att designa och bygga upp nya livsformer helt och hållet. Det innebär att det förmodligen kommer att dröja ganska länge innan man kan börja utforska hur mycket man kan tänja på gränserna för befintligt liv.

På så sätt skulle det vara mycket mer värdefullt om man upptäcker utomjordiskt liv som har ett helt annat ursprung än livet på jorden. Det kanske inte ens räcker om man upptäcker liv på Mars, eftersom trafik mellan Mars och Jorden har skett via både naturliga meteoriter och konstgjorda prober, så eventuella bakterier på Mars skulle kunna ha samma ursprung som jordiska bakterier. Men ska man leta nya livsformer längre ut i solsystemet med andra biokemier än det som finns på jorden, då hamnar man i ett slags moment-22. Utan en definition av liv som fungerar för livsformer som inte liknar våra egna, hur kommer man då att kunna känna igen dessa främmande livsformer? Man kan alltså konstatera att även om vi kommer att lära oss mycket genom att skapa eller upptäcka helt nya livsformer, kan vi inte vänta tills dess med att ta fram en definition av liv.

Acceptera att det inte finns en definition

I enlighet med biologernas artbegrepp skulle man kunna bestämma sig för att sluta leta efter en enda definition av liv, och istället använda olika tekniska former av de re-definition beroende på användningsområde. Fördelen är att det reflekterar det faktum att livet är en dynamisk process som inte lätt går att fånga i ett bestämt antal kriterier. Olika kriterier kan lyftas fram beroende på om man pratar om övergången från kemi till biologi under livets ursprung, vilka egenskaper en artificiell intelligens eller självstyrande robot skulle behöva ha för att betraktas som levande, eller vilka minimala kriterier som måste uppfyllas för att en utomjordisk varelse kan misstänkas vara levande. På samma sätt kan biologer använda olika artbegrepp beroende på situationen – en genetisk definition när det gäller bakterier, en morfologisk definition när det gäller vissa växter, eller en definition som baseras på parningsframgång när det gäller många djur. Detta har ibland kallats för ett pluralistiskt artbegrepp. Kan vi då vara nöjda med ett pluralistiskt livsbegrepp?

Vårt svar är nej, av ett par olika anledningar. För det första kan en gemensam definition vara värdefull för att kunna ha en diskussion kring de kommande utmaningarna med nya livsformer. Ska alla kunna bidra till samhällsdebatten behövs det en definition av liv som är så pass bred att den kan kännas igen av alla, både lekmän, politiker, och forskare inom olika ämnen. Detta betyder såklart inte att de tekniska definitionerna måste ge vika för en bred definition (om en sådan kan uppnås), men en bred definition kan eventuellt göra kommunikation mellan olika

grupper smidigare. Ett annat problem med de befintliga tekniska re-definitionerna, är att många försöker täcka in livets komplexitet genom att blanda kriterier som hamnar på olika hierarkiska nivåer. Till exempel innehåller många definitioner kriterierna energianvändning, utveckling från embryo till vuxen, fortplantning, förmågan att känna av sin miljö, och förmågan att kunna anpassa sig till denna miljö via evolution. De första fyra kriterierna gäller på individnivån, men den sista, evolutionär anpassning, gäller endast på populationsnivån. En population utvecklas inte från embryo till vuxen, och en individ kan inte anpassa sig evolutionärt. Det leder till en märklig situation där man varken kan tillämpa alla kriterierna på en specifik individ (till exempel Jessicas katt Missy), eller en specifik population (alla svenska katter), utan måste istället föreställa sig någon form av typexempel av alla katter som har egenskaper som tillhör både individen och populationen. Frågan om individuellt liv (och död) återkommer här, eftersom kriterierna som ligger på individnivån (energianvändning, förmågan att känna av sin miljö) överlappar delvis med kriterier för att betrakta en individ som levande istället för död (vid döden slutar metabolism och därmed energianvändning, medvetandet och därmed förmågan att känna av sin miljö försvinner). Det blir då svårt att hålla isär frågan om kattens individuella liv från alla katters status som levande varelser. Frågan är hur mycket nytta man har av en definition som blandar ihop individ- och populationsnivån på detta sätt.

En del forskare har försökt komma runt problemet med kriterier på olika nivåer genom att försöka lägga alla kriterier på samma nivå. Eftersom förmågan att anpassa sig evolutionärt anses vara en av de viktigaste egenskaperna som skiljer levande system från andra dynamiska men icke-levande system (som till exempel en självkörande bil eller jordens havsströmmar), innebär det i praktiken att man får försöka lägga alla kriterier på populationsnivån eller högre. Dessa definitioner har fördelen att de är konsekventa, men blir oftast krångliga och lite luddiga. Frågan är då snarare om problemet inte är definitioner av livet i sig, utan fixeringen vid en re-definition? Uppenbarligen har vi alla en intuitiv definition av liv som bygger på de levande organismer vi träffar på i vardagen – växter och djur. Ju längre ifrån dessa välbekanta organismer vi kommer, desto svårare blir det att avgöra om en varelse borde räknas som levande. Man skulle kanske kunna tro att det beror på avsaknaden av detaljkunskap, och att om man kan mycket om virus eller transposoner borde det bli lättare att komma överens om huruvida dessa borde räknas som levande. Så behöver emellertid inte vara fallet. Vi har genomfört en kort enkät bland forskare på enheten för evolutionär ekologi, på biologiska institutionen vid Lunds Universitet. Vi valde ut fall som vi bedömde i förväg kunde utgöra problematiska fall och bad forskarna klassificera dessa olika varelser som levande eller inte. Exempel på problematiska fall var bland annat mitokondrier (en cellkomponent som har eget DNA och delar sig självständigt), virofager (virus som infekterar andra virus), transposoner ("hoppande gener"), datorvirus, syntetiska bakterier, och ett plockat äpple. Resultatet var slående – till

och med bland professionella biologer (som ändå måste räknas som experter på liv, nästan per definition) fanns det ingen samstämmighet kring vilka varelser som borde räknas som levande.



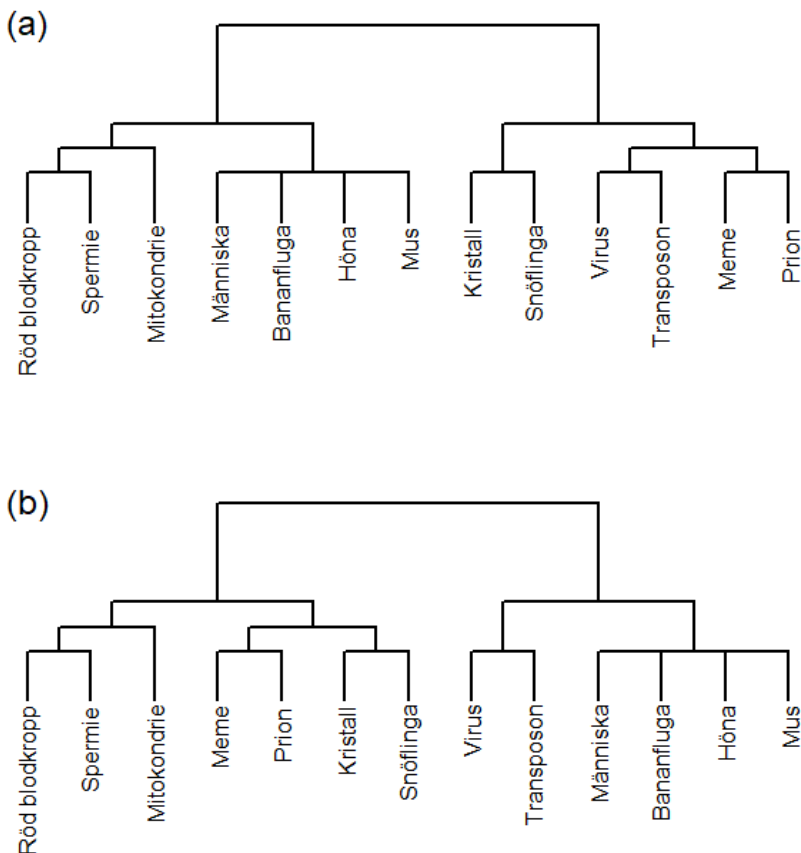
Figur 4: Lever just denna katt, eller är populationen av alla katter levande?

Familjelikhet

Vi tror därför inte att det är fruktbart att fortsätta söka efter en re-definition för livet, åtminstone i bred mening. Vi måste istället tänka om, och försöka hitta en definition som stämmer bättre överens med den komplexitet som finns och som kommer närmare gemene mans intuitiva definition av liv. Vi tror att det är ett bra alternativ att utgå ifrån familjelikhet när man konstruerar sin definition, eftersom den i så fall innebär att man gör en övergripande bedömning av likheterna mellan olika livsformer, utan att slå fast att inga undantag tillåts. Man öppnar också upp möjligheten att låta olika egenskaper väga olika tungt, till exempel att metabolism kan väga tyngre än evolution. Undantag i en definition kan såklart vara problematiska, och en återkommande kritik av definitionsarbete som utgår ifrån familjelikhetstänk är just hur man hanterar undantagen. Om undantag tillåts i en definition, är det nämligen oklart *hur* många undantag blir *för* många. Risken är att definitionen blir luddig om alla gör olika bedömningar över hur mycket (eller vad) två olika varelser måste ha gemensamt för att betraktas som levande båda två. Det finns dock en lösning. I vårt arbete kring definitioner av livet använder vi oss av modeller för att hitta egenskaper som kan användas för att förena olika livsformer, och gallra bort egenskaper som inte tillför mer information. Många biologiska definitioner av liv innehåller till exempel en del generella fenomen som

tillväxt och fortplantning, och sedan några specifika egenskaper såsom en arvs-massa som består av DNA eller att kroppen är uppbyggd av celler. I dessa fall tillför inte de generella egenskaperna så mycket eftersom de trumfas av de speci-fika egenskaperna. På så sätt kan vi dra nytta av fördelarna med en familjelikhets-definition, utan att den blir godtycklig.

Modellbygget går till i flera olika steg. Till att börja med har vi undersökt den publicerade litteraturen kring definitioner av liv, och lyckats ta fram cirka 130 olika egenskaper som har föreslagits som kriterier in en de re-definition. Det låter som väldigt många egenskaper, men ett flertal är olika formuleringar av samma grund-läggande koncept. Sedan har vi samlat information om många olika varelser om täcker hela spännvidden från klart levande till klart icke-levande. Nästa steg är att bedöma vilka egenskaper som varje varelse uppfyller och på så sätt skapa ett da-tamaterial med en serie ettor och nollor (är egenskapen uppfylld? – ja eller nej) för



Figur 5: Exempel på hur olika varelser kan grupperas när information från alla föreslagna kriterier sammanställs. Memer är kulturella element som kan ärvas och spridas mellan individer.

varje varelse. Modeller som beskriver detta dataset byggs med hjälp av olika statistiska metoder; till exempel kan man se vilka varelser som har flest egenskaper gemensamt och bygga en sorts ”släkträd” där liknande varelser grupperas tillsammans. Arbetet är pågående, men två exempel på hur ett sådant ”släkträd” skulle kunna se ut visas i Figur 5. I del (a), finns det en uppenbar uppdelning mellan varelser med och utan metabolism. Alla djur grupperas tillsammans, och alla cell-delar och celler (som inte är encelliga organismer) grupperas tillsammans och nära djuren eftersom de har en metabolism. I del (b), finns det istället en uppenbar uppdelning mellan varelser med och utan förmågan att föröka sig. Virus, transposoner, och prioner bildar en egen grupp inom de levande sakerna eftersom de ändå har ärftlighet, trots avsaknaden av metabolism. Vi vet inte i nuläget hur utfallet kommer att bli till sist, och andra indelningar är också möjliga. Ett sådant diagram kan därför ge nya insikter i vilka organismer eller varelser som liknar varandra när det gäller livets egenskaper, men huvudsyftet med vårt arbete är snarare att genom vidare analyser bättre förstå vilka egenskaper som bäst beskriver livet vi känner till, och hur dessa kan överföras till nya livsformer. När vi väl har en beskrivning av hur vi definierar livet vi känner till, kommer vi därför att testa utfallet av dessa egenskaper på tilltänkta livsformer. Beroende på resultatet kan definitionen och egenskaperna eventuellt uppdateras för att bättre täcka in de okända livsformerna. På så sätt hoppas vi hitta en ny definition av liv som är rigorös men flexibel, kan användas över områden och ämnen, och ska ge nya insikter om hur vi tänker kring liv.



Lästips

Dupré, John (1995) *The disorder of things; The metaphysical foundations of the disunity of science* Harvard University Press

Ernberg, Ingemar m.fl. (2010) *Vad är liv, i kosmos, i cell, i människan?* Karolinska Institutet University Press

Persson, Erik (2013) ”Vad är Liv?” i Dunér, David (red.) *Extrema världar – Om sökandet efter liv i rymden* Pufendorfinstitutet

Pross, Addy (2012) *What is life? How chemistry becomes biology* Oxford University Press

Wittgenstein, Ludwig (2009) *Philosophical Investigations* Wiley-Blackwell

Molekylära uppvaknanden

Petter Persson

Livet är en molekylär process som pågått oavbrutet på jorden under cirka fyra miljarder år. Medan den moderna biologin under det senaste århundradet successivt har gett en allt bättre förståelse för hur livet fungerar ner i minsta biokemiska beståndsdel, så är frågan om livets molekylära ursprung och tidigaste utveckling en av de stora och ännu i hög grad obesvarade vetenskapliga frågorna. Från sin enkla början har livet steg för steg utvecklats till den grad att vi nu själva kan reflektera över detta livs ursprung och utsikter. Vi kan också fråga oss hur unik denna molekylära utveckling är ur ett universellt perspektiv, och på allvar börja utmana oss själva genom skapande av alternativt liv (både organiskt och oorganiskt) som i grunden förändrar livets kemi på molekylär nivå. Även sökandet efter utomjordiskt liv ställer viktiga frågor på sin spets om livets kemi bortom vårt eget paradigm. Det här kapitlet handlar om att försöka förstå vilka allmänna molekylära principer som styr livets uppkomst och utveckling, och vilken variationsrikedom som över huvud taget är möjlig i olika molekylära miljöer.

Livet på jorden uppvisar en imponerande rikedom som fångas under det välkända begreppet Livets mångfald. Forskning och upptäckter har dessutom på senare år visat att livet anpassat sig till många extrema miljöer – med mikrober eller andra levande organismer som klarar sig i snustorra öknar, i klippskrevor långt under jordytan, i skällheta källor, och miljöer som är så förgiftade av arsenik eller andra för oss giftiga ämnen att man fram tills nyligen skulle trott att dessa vore helt obeboeliga. Detta har vidgat vår uppfattning om livets anpassningsförmåga avsevärt. Dock har alla molekylärbiologiska analyser hittills pekat på att allt liv på jorden hör ihop ur ett grundläggande biokemiskt perspektiv där allt från de enklaste mikrober till vi själva utvecklats från en gemensam utgångspunkt – ofta benämnd LUCA efter det engelska Last Universal Common Ancestor (ungefär sista gemensamma ursläkting eller urcell). Hur främmande vi än kan känna oss inför en bakterie som lever i en het arsenikkälla i Yellowstone nationalpark så delar vi ändå ett viktigt arv av gemensamma biokemiska komponenter och processer med DNA, proteiner, enzymer, cellmembran och förmåga att tillgodogöra oss näring och förbränna energi som är nära besläktat ur ett molekylärt perspektiv.

Hur imponerande livets mångfald än är så besvarar det inte direkt den fråga som nu öppnar sig om vilken ytterligare variationsrikedom som är möjlig när man

flyttar fram fokus till att betrakta en mångfald av liv. Då övergår fokus till den mer allmänna frågan om möjligheterna för fundamentalt annorlunda livsformer där man inte bara kan tänka sig avancerad genmodifiering utan även syntetiska (laboratoriefremställda) eller utomjordiska livsformer baserade på andra molekylära komponenter än DNA och så vidare. Här befinner sig forskningen fortfarande på ett mycket tidigt stadium av att förstå vad som över huvud taget är möjligt, eller vad – om något - som faktiskt redan förekommer på andra platser i universum.

När vår traditionella bild av vad Liv är nu för första gången utmanas på allvar från flera olika håll är det värdefullt att belysa det enda konkreta exempel vi än så länge känner till – livet på jorden. Här finns möjligheter att se både vilka, om några, generella insikter detta exempel kan tillhandahålla för betraktandet av nya eller alternativa livsformer, eller på vilket sätt sådana potentiella livsformer i stället utmanar vår traditionella bild av livet. Detta kan exemplifieras av NASA:s kärnfulla och ofta använda inofficiella arbetsdefinition av liv som ”Ett självuppehållande kemiskt system kapabelt till darwinistisk evolution.” Denna definition är - som diskuteras av Abbott och Persson i förra kapitlet - hett omdebatterad och det finns många andra möjliga infallsvinklar. Men det är säkerligen ingen slump att denna definition som NASA ofta använder sig av i sökandet efter nya livsformer på avlägsna platser i universum passar väl in på vårt eget liv, för det vore naturligtvis mindre lyckat om den inte ens stämde in på det enda kända exemplet på det som den förmodas karakterisera. Det är också tydligt att detta är en modern naturvetenskaplig definition av livsbegreppet som grundar sig i de senaste två århundradenas landvinningar inom såväl biologin med den darwinistiska utvecklingsläran, som biokemin med den grundläggande förståelsen av livets molekylära uppbyggnad som först uppnåts under 1900-talets andra del. Förståelsen av bygger också på att den klassiska evolutionsbiologin successivt har knutits ihop med den molekylära forskningen, vilket illustreras av Francis Cricks och James Watsons publicering av den berömda dubbelhelix-strukturen för DNA 1953. Trots sin koncisa formulering av livsbegreppet är detta alltså en relativt specifik naturvetenskaplig definition som varken Aristoteles, Rousseau, eller Linné skulle ha kunnat framföra.

En fråga som direkt aktualiseras av moderna tekniska landvinningar med intelligenta robotar är att även om robotar och halvledartechnologi också i grunden är uppbyggda av atomer så är de knappast vad vi normalt skulle kalla för ”ett kemiskt system”. Sådana system förefaller inte heller behöva följa darwinistisk evolution. Man skulle därför snabbt kunna anföra att även om robotar är intelligenta så är de inte levande enligt denna definition, eller alternativt skulle de kunna framföras som ett motexempel mot denna biokemiska livsdefinition. I fråga om syntetiska biologiska organismer är frågan fortfarande mer öppen – det mesta av dagens genmanipulering där forskare klipper och klistrar i arvsmassan ändrar knappast grundmodellen med darwinistisk evolution, men det är en ännu öppen fråga i vilken mån man på längre sikt kommer att kunna skapa mer radikalt annorlunda

biologiska organismer, och om de i så fall nödvändigtvis måste följa samma darwinistiska evolutionsprincip.

Om vi däremot avvaktar lite med dessa frågor om de mer renodlat tekniska utmaningar som vi ställs inför i en postbiologisk värld, kvarstår en annan mycket grundläggande fråga om livets uppkomst och utveckling. Det är fullt möjligt att vi efter ca fyra miljarder års utveckling kan börja utmana oss själva tekniskt i en postbiologisk värld, men om vi ska förstå hur unikt eller allmängiltigt livet är ur ett universellt/astrobiologiskt perspektiv behöver vi betrakta livets utveckling ur ett modernt molekylärt perspektiv. Inte minst en rikedom av upptäckter av exoplaneter med fysikaliska förutsättningar som mer eller mindre liknar jordens (se även Dravins kapitel) ställer frågan på sin spets om hur lätt någon form av liv kan uppstå under alternativa begynnelsevillkor, och i vilken mån livet skulle kunna förväntas se snarlikt ut om det uppstod någon annan stans. Är det enda rimliga att livet skulle likna vårt eget ”darwinistiska kemiska system”, eller skulle det till exempel lika gärna spontant kunna uppstå någon form av AI/robot baserad på halvledare och mekaniska griparmar utan att ta omvägen via den biologiska utvecklingen? En grundläggande fråga är därför att försöka förstå i vilken mån liv kan uppstå och utvecklas under olika fysikalisk-kemiska förutsättningar. Frågan är också i vilken mån en sådan utveckling styrs av allmänna naturlagar som ser likadana ut i hela universum, eller mer specifika fysikaliska förutsättningar som kan variera kraftigt mellan olika tider och platser? Dessa frågor är långt ifrån enkla att besvara för spännande, men ofullständigt utforskade, miljöer som saturnusmånen Enceladus (Figur 1). Till att börja med knyter det an till frågan om livets ursprung och tidiga



Figur 1: Vattenplymer från Saturnus måne Enceladus som tyder på förekomsten av flytande hav under den frusna ytan är ett av många aktuella exempel på ökad kunskap om intressanta och varierade förhållanden som råder både inom vårt eget solsystem och i andra planetsystem. Foto: NASA/ESA.

utveckling på jorden. Här har många framsteg under de senaste årtiondena gjort att vi har en betydligt bättre uppfattning om hur detta kan ha skett, men med omfattande kvarstående kunskapsluckor om den tidigaste utvecklingen är detta i sig en av de stora ännu obesvarade vetenskapliga frågorna. Ur ett universellt perspektiv ger livet på jorden bara ett exempel på den mer allmänna frågan om hur liv uppstår. För att förstå var, när och under vilka förutsättningar vi kan förvänta oss att liv kan uppstå - eller faktiskt har uppstått - behöver vi en mer generell förståelse för livets uppkomst.

För att komma vidare med dessa allmänna frågor behöver i alla fall tre olika aspekter knyts samman. För det första behövs en gedigen förståelse av vad vi än så länge lärt oss om livet på jorden. Nittonhundratalets omfattande landvinningar inom molekylärbiologin har tydligt visat att livet på jorden måste förstås ur ett molekylärt perspektiv, där även de mest komplexa biokemiska processer i grunden måste följa samma universella kemiska reaktionsprinciper som gäller överallt. För det andra behövs en allmän förståelse för hur de molekylära förutsättningarna för liv påverkas av olika fysikaliska (till exempel temperatur) och kemiska (till exempel pH eller tillgång till olika näringsämnen) förutsättningar. Med närmast oändliga variationsmöjligheter riskerar denna aspekt att svämma över alla gränser i sin mest allmänna tappning, så utmaningen är i hög grad att identifiera allmänna principer som kan kopplas till specifika molekylära exempel. Till exempel kan man pröva hur väl andra potentiella informationsbärande molekyler fungerar i jämförelse med DNA under varierande förhållanden som till exempel högre temperaturer. Slutligen kan detta kopplas mer konkret till vår gradvis ökade kunskap om variationsrikedomen i olika potentiellt beboeliga miljöer på andra platser i universum. Inte minst den mycket aktiva forskningen om exoplaneter som tagit fart under de senaste par decennierna (se även Dravins kapitel) ger intressanta målbilder för vilka olika typer av miljöer som förekommer på andra platser, och som således ger värdefull information för att konkretisera de allmänna betraktelserna om fysikaliska och kemiska förutsättningar för olika livsformer. Målet med detta kapitel är att ge en inblick i den aktuella förståelsen för dessa tre aspekter (liv på jorden, livets förutsättningar, och liv i universum) ur ett modernt molekylärt systemperspektiv, och därigenom öppna för en avslutande reflektion om kommande möjligheter och utmaningar inom detta snabbt avancerande forskningsområde.

Livets molekylära komplexitet

För att kunna föra en insiktsfull diskussion om alternativa livsformer behövs till att börja med en god förståelse för vår egen form av liv. Detta är dock något som har utvecklats påfallande sent ur ett historiskt perspektiv. Inom astronomin har man tvistat om olika tolkningar av observerade himlakroppar och deras egenskaper åtminstone sedan antiken, och fysiker har under århundraden utvecklat teorier för att förklara fysikaliska fenomen med Newtons gravitationsteori i *Principia*

Mathematica från 1686 som gott exempel. Biologerna har samlat in empiriska data och sedan Likt Linné i *Systema Naturae* från 1735 i allt högre grad även systematiserat sina iakttagelser. Däremot är den molekylära förståelsen för livet och dess inre beståndsdelar något som till största delen utvecklats först under de senaste hundra åren. Detta hänger i hög grad ihop med att molekyler och kemiska processer helt enkelt är för små eller snabba för att kunna observeras i detalj utan avancerade mätinstrument. Så även om kemin från sjuttonhundratalet gradvis övergick från medeltida alkemi till modern naturvetenskap, så har ändå många grundläggande aspekter om atomernas och molekylernas värld växt fram förhållandevis sent. Detta gäller inte minst den biokemiska förståelse som etablerades kring mitten av nittonhundratalet och som idag genomsyrar vår förståelse av hur livet fungerar. Med tanke på det korta tidsperspektivet är det kanske därför inte så konstigt att frågan om livets molekylära ursprung och utveckling är förhållandevis outvecklad.

Att ge en fullständig bild av all kemi och biokemi som spelar in för förståelsen av livets ursprung och tidiga utveckling är naturligtvis inte möjlig i detta sammanhang, men några nedslag i historien kan lyftas fram för att illustrera den omfattande utveckling som skett och var vi står idag. Utvecklingen av det klassiska mikroskopet var ett viktigt steg för att i detalj studera livets beståndsdelar. Den engelske naturfilosofen Robert Hooke:s verk *Micrographia* från 1665 har gått till historien för att det för första gången nämner celler som sedan allt mer kommit att etableras som en grundenhet för alla levande varelser – vilket återspeglas i den kända uppdelningen av levande varelser i *en-* respektive *flercelliga* organismer. Däremot räcker inte de klassiska mikroskopens förstoringsförmåga ner till ca mikrometernivå (tusendels millimeter) för att studera enstaka molekyler vars strukturer är ytterligare ca tusen till tiotusen gånger mindre. För att bestämma strukturen hos grundläggande biomolekyler som proteiner och DNA krävdes därför än mer avancerad utrustning som exempelvis röntgenapparater vilka huvudsakligen utvecklats först från slutet av artonhundratalet och framåt. Sådana molekylstudier är fortfarande ett mycket aktivt forskningsområde, där mycket av frontlinjeforskningen för att undersöka hur det biokemiska maskineriet ser ut och fungerar ner på den minsta molekylära nivån numera bedrivs vid stora internationella forskningsanläggningar som MAX-IV och ESS (European Spallation Source) i Lund. Säkerligen har vår oförmåga att alls se de objekt som är av intresse i hög grad bidragit till att detta är ett forskningsområde som blommat ut först under nittonhundratalet. Däremot gjordes från sjuttonhundratalet många andra viktiga kemiska upptäckter som lagt grunden för vår förståelse av livet och dess samspel med naturen i övrigt.

Den franske kemisten Antoine Lavoisier fann under sjuttonhundratalets andra hälft en tidig koppling mellan grundläggande kemiska processer och fysiologiska funktioner innan han föll offer för den franska revolutionen och guillotinerades i

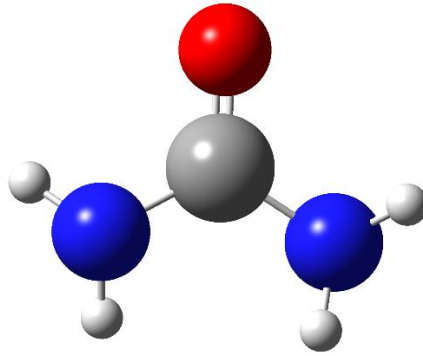


Figur 2: Cellerna i alla levande organismer utnyttjar energirik biomassa som bränsle för att ha råd att driva både kemiska och mekaniska processer, men för livets upprätthållande är det viktigt att förbränningen av biomassa sker under kontrollerade förhållanden så att inte all energi går åt på en gång likt ett majbål. Privat bild.

Paris 1794. Genom klassiska studier av syrets allmänna roll för förbränning kunde han genom att koppla marsvins inandning av syrgas (O_2) och utandning av koldioxid (CO_2) konstatera en av de mycket centrala grunderna för organismers energirelaterade molekylomvandlingsprocesser, nämligen att *"andningen (respirationen) är alltså en förbränning"*. Insikten att kroppens energiomvandling är direkt relaterad till en klassisk kemisk förbränningsprocess och styrs av samma allmänna naturlagar som det grundläggande energibevarandet – illustrerat i Figur 2 – har i all sin enkelhet mycket långtgående konsekvenser för att förstå de molekylära förutsättningarna för livets uppkomst som en del av naturen i sin helhet, snarare än som ett separat fenomen med egna lagar.

Det är dock talande att den allmänna uppfattningen även inom akademiska kretsar ända in på artonhundratalet genomsyrades av *Vitalismen* som gick ut på att det levande i grunden skulle vara väsensskilt från övrig "död" materia. Näringsrik mat kan här ses spela rollen av ett bränsle i en bil där motorn tar in bränslet och omvandlar energin till något användbart, men aldrig med någon närmare sammanblandning mellan bil och bränsle. Denna vitalism kunde dock den tyske kemisten Friedrich Wöhler effektivt avliva genom en helt laboratoriebaserad syntes 1828 av urea (även känt som urinämne eller karbamid, Figur 3) som anses som den första på konstgjord väg återskapade naturliga produkten.

Efter att Wöhlers syntes av urea följts av en lång rad framgångsrika synteser av allt mer komplexa organiska och biokemiska substanser kan man konstatera att



Figur 3: Kemisk struktur för urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) som det första naturliga organiska ämne att framställas på konstgjord väg i ett laboratorium av Friedrich Wöhler 1828.

gränsen mellan naturliga och artificiella ämnen numera i hög grad är utsuddad. Naturens förmåga att hitta vägar att framställa ett brett spektrum av extremt komplicerade molekyler utmanar dock ofta fortfarande kemisternas kreativitet och kunnande att upprepa motsvarande bedrifter. Men alla dessa biomolekyler är i grunden uppbyggda av samma atomer och med samma typer av kemiska bindningar som alla andra molekyler, och det är uppenbart att det inte är något magiskt med livets kemi som sträcker sig bortom de allmängiltiga naturvetenskapliga grundprinciper som även styr all annan oorganisk materia. Utan att på något sätt förringa den, inordnar sig därför livets kemi i denna bemärkelse därför naturligt inom resten av de framväxande molekylära vetenskaperna - med beröringspunkter såväl med kemi som med biologi, fysik, och geologi. Detta kan illustreras genom att markera de vanligast förekommande atomslagen i levande organismer i det klassiska Periodiska Systemet som den ryske kemisten Dmitrij Mendelejev introducerade 1869 (se Figur 4).

Redan för Charles Darwin som 1859 publicerat sin berömda bok *Om Arternas Uppkomst* var det därför naturligt att spekulera i livets eventuella molekylära ursprung. I ett brev från 1871 till sin botanikerkollega Joseph Dalton Hooker skriver Darwin (fritt översatt): ”Det har ofta sagts att alla förutsättningar för det första bildandet av en levande organism nu föreligger, som någonsin kan ha förekommit. – Men tänk om (& vilket stort om) vi kunde föreställa oss en varm liten damm med alla slags salter av ammoniak och fosfor, - ljus, värme, elektricitet etc. tillgängliga, så att en proteinmolekyl bildades, redo att genomgå ytterligare komplexa förändringar. Idag skulle sådana substanser genast slukas eller absorberas, men detta skulle inte ha skett innan levande varelser hade skapats.”

Periodiska Systemet

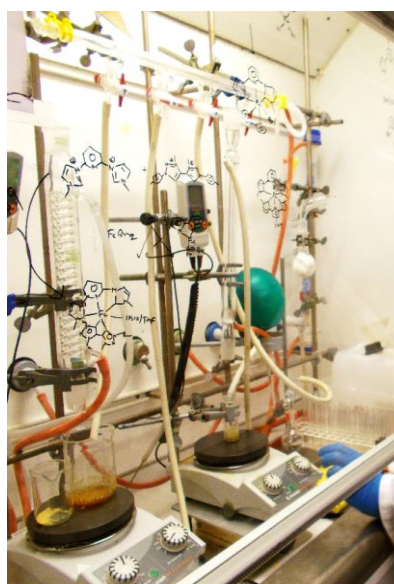
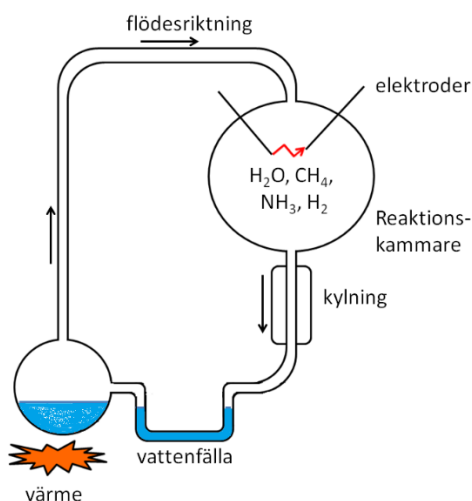
H 1																	He 2
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	La 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	Ac 89	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Ds 110	Rg 111							
Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71				
Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cs 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103				

Figur 4: Periodiska Systemet med grönmarkering av grundämnen som är vanligt förekommande i levande organismer.

Även om Darwins tidiga spekulationer föregriper många upptäckter av både strukturen av viktiga biomolekyler och många centrala biokemiska processer finns i alla fall ett uppenbart frö till förståelse av behovet för samspel mellan olika typer av molekyllära komponenter och gynnsamma fysikaliska förutsättningar. Dessa tankegångar utvecklades vidare av den sovjetiske biokemisten Alexandr Oparin och den engelske vetenskapsmannen John Haldane vars oberoende insatser på 1920-talet mynnade ut i den så kallade Oparin-Haldane hypotesen för livets ursprung. Här etablerades för första gången ett relativt trovärdigt molekyllärt scenario för livets ursprung som en kombination av alstrande och ansamling av organiska ämnen i en prebiotisk miljö - alltså någon sorts enklare föregångare till den numera förhärskande biologiska världen. För detta introducerade de också begreppet "prebiotic soup" på engelska, eller "ursoppa" som vi ibland säger på svenska.

När sedan den unge forskaren Stanley Miller - tillsammans med sin mentor Harold Urey - på hösten 1951 för första gången slog på strömmen till det numera berömda Urey-Miller experimentet innehållande en blandning av vätgas, metan, vatten och ammoniak satte han inte bara igång en kemisk process som skapade biokemiska komponenter som aminosyror. Han startade också en kapplöpning

om att med moderna experimentella metoder förstå ett av de mest komplexa problem som den moderna vetenskapen fortfarande brottas med – frågan om hur livet uppstått och utvecklats från en livlös ursoppa med enkla kemiska substanser till dagens komplexa liv. Redan med relativt enkla kemiska apparatuppställningar som finns att tillgå i väl sorterade kemilabb går det att göra en mängd informativa experiment (Figur 5). Sådana kan antingen syfta till att undersöka sådana kemiska reaktioner som kan tänkas motsvara de som rådde på den unga jorden när livet uppstod för första gången, eller användas för att bättre förstå under vilka betingelser sådana substanser bildas genom så kallad helsyntes av olika organiska och biokemiska molekyler (såsom DNA-fragment).

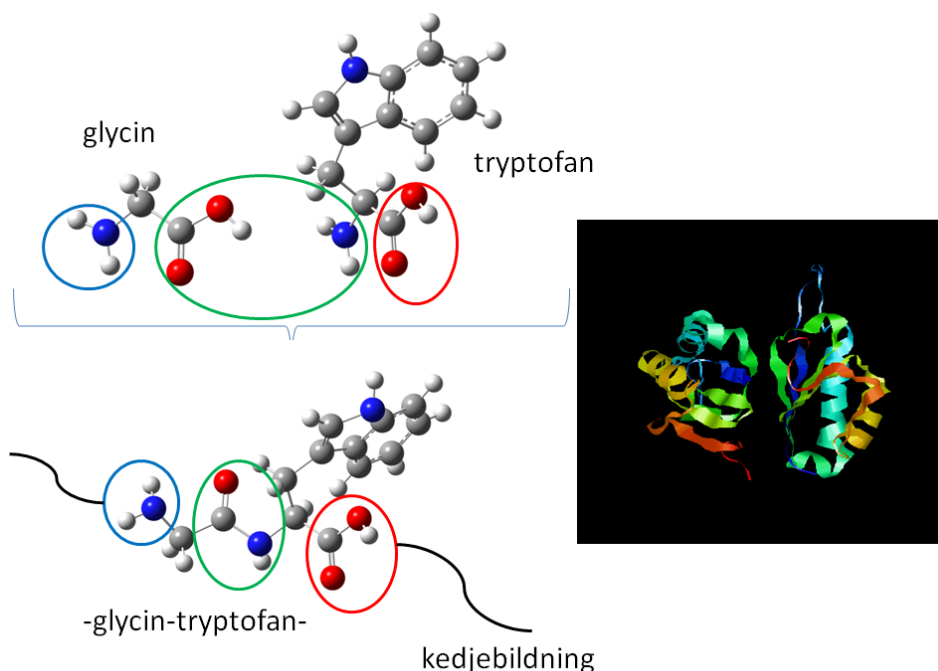


Figur 5: Schemaskiss över Urey-Miller försök för att återskapa de första ursprungliga kemiska reaktionsstegen som slutligen ledde till livets uppkomst (vänster); experiment som relativt enkelt kan genomföras vid ett välutrustat kemilaboratorium (höger). Privat bild.

Redan tidiga Urey-Miller försök påvisade bildandet av flera naturligt förekommande aminosyror. Men viktiga frågor har fortsatt att i stor utsträckning gäcka forskarvärlden. För det första har det länge varit fortsatt oklart om de väterika (så kallat ”reducerande”) kemiska förhållanden som förutsattes i de tidiga experimenten verkligen överensstämmer med förhållandena som rådde på den tidiga jorden. Det råder också fortfarande överlag omfattande osäkerhet kring vad som bör antas i fråga om kemisk sammansättning och fysikaliska förhållanden för denna tidiga utveckling. Detta blir naturligtvis inte enklare av insikten att det kan ha rätt

vissa förhållanden över stora delar av jorden, men att livet kanske uppstod i någon speciell nisch – till exempel i någon speciell vulkaniskt aktiv miljö eller i samband med tillskott av särskilda organiska föreningar i samband med meteoritnedslag. Sådana hypoteser kan förefalla mer eller mindre sannolika, men är svåra att avfärda eller bedöma sannolikheten för utan ytterligare information, som i många fall saknas på grund av bristande geologiska spår. Kanske kan studier av unga exoplaneter i framtiden bidra med möjligheter att faktiskt studera förhållandena på planeter som kan ha liknat vår egen för länge sedan, men även dit är vägen än så länge lång.

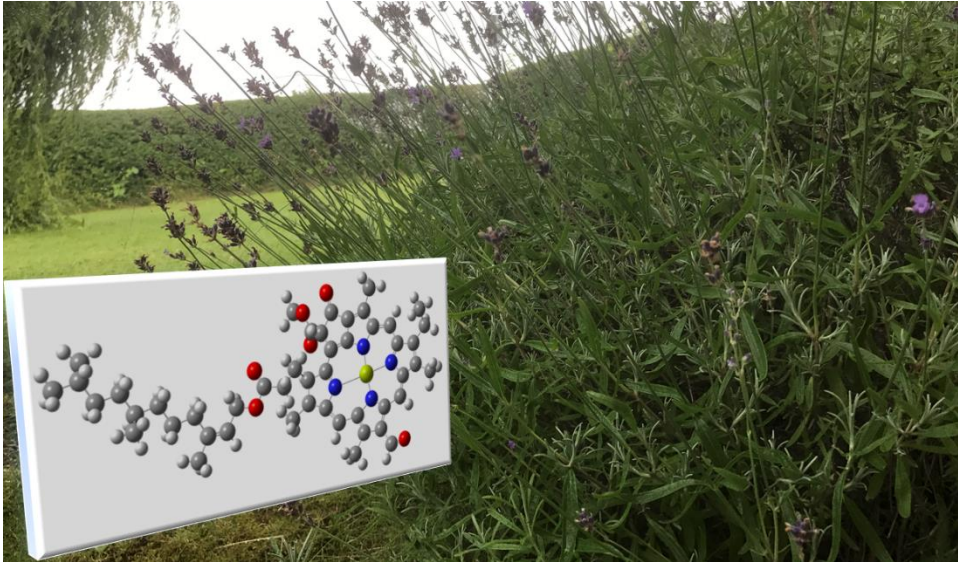
Ett uppmärksammat exempel från senare år som visar på framsteg av ny laboriebaserad syntes av olika ämnen där man i ett steg kokar ihop en ursprunglig lösning av olika grundsubstanser, är den engelske kemisten John Sutherlands lyckade försök att på helt konstgjord väg framställa olika RNA-fragment från enkla kemiska substanser som ammoniak och fosfater som rimligen kan ha funnits tillgängliga på den tidiga jorden. Detta visar ett möjligt steg på vägen mot en så kallad RNA-värld som många förespråkar som ett preludium till den ”färdiga” biologin med DNA-molekylen som bärare av genetisk information. Många forskares fokus på RNA för livets tidiga utveckling har till stor del att göra med problemet att ett fungerande biokemiskt maskineri både måste kunna bidra till skapandet av nya



Figur 6: Enkla aminosyror kopplas ihop genom en så kallad kondensationsreaktion för att skapa långa så kallade polypeptidkedjor (vänster). Sådana kedjor bildar sedan färdiga proteiner som är makromolekyler med bestämd struktur och aktiv biologisk funktion (höger).

biomolekyler och lagra information. Medan DNA som den klassiska bäraren av den genetiska koden är bra på det sistnämnda finns inga tecken på att DNA självt spelar en aktiv roll i tillverkningen av nya biomolekyler. Detta talar emot att den på egen hand skulle ha förmågan att aktivt driva den tidiga livsutvecklingen framåt. RNA har däremot visat sig i viss mån besitta båda funktionerna. Särskilt viktigt är att RNA har visat sig ha vissa katalytiska egenskaper. Detta betyder att den selektivt kan snabba upp vissa kemiska/biokemiska reaktioner vilket är en av grundpelarna för att ett visst molekylärt system ska kunna utveckla ett försprång över alla andra slumpmässiga kemiska processer. Detta utgör sedan grunden för något som gradvis kunnat utvidgas till den grad att livet uppnått en ointaglig särställning i fråga om basal fortplantningsförmåga och tillgodogörande av näring och andra resurser som krävs för bevarandet av ett självuppehållande system.

Ett andra, och än mer grundläggande, problem med dessa försök att skapa komplexa biokemiska produkter har varit en omfattande brist på resultat som pekar bortom skapandet av enstaka – om än så imponerande – molekyler och makromolekylära fragment, som till exempel polypeptidkedjor, som ett steg på vägen mot fullfjädrade biologiska proteiner (Figur 6). Många eleganta röntgenkristallografiska studier har gett ett växande bibliotek med bekräftade strukturer av olika enzymer och makromolekylära strukturer som exempelvis ringar av ljusabsorberande antennmolekyler som ingår i fotosyntetiska organismer. Omfattande DNA-sekvensering av arvsmassan hos olika organismer har under de senaste två decennierna genererat ytterligare kunskap om fler och fler enskilda biologiska strukturer. Särskilt parallellpubliceringen av den kompletta mänskliga arvsmassan år 2000 efter en tuff kapplöpning mellan ett internationellt akademiskt nätverk under namnet HUGO (en akronym för det engelska human genome project) och det nystartade genteknikföretaget Celera Genomics under ledning av den färgstarke bioteknikentreprenören Craig Venter, har gått till historien som given höjdpunkt i detta avseende. Men hur viktig all denna kunskap än är så saknas något mycket viktigt. Den moderna molekylärbiologin pekar tydligt på annan central aspekt för att förstå framväxten av liv - behovet av ett helomfattande systemperspektiv. Även de enklaste encelliga organismerna innehåller ett mått av grundläggande strukturell organisation och ett imponerande biokemiskt maskineri, och för att förstå livets tidiga utveckling har biologer länge sökt efter spåren av de tidigaste organismerna genom att försöka identifiera de äldsta och mest grundläggande egenskaperna i tidiga organismer. Bland de epokgörande upptäckterna märks den amerikanske mikrobiologen Carl Woese's upptäckt från 1977 av så kallade arkéer som en förhållandevis enkel form av encellig organism som en tredje gren på livets träd utöver de två sedan tidigare kända huvudklasserna bakterier och så kallade eukaryota celler (celler med cellkärnor som såväl djur som växtriket stammar från). Arkéer återfinns ofta i miljöer som vi idag kan tycka extrema, men utmärker sig också ofta genom egenskaper som kan ha varit fördelaktiga när jorden var ung, som till



Figur 7: Kontinuerlig tillgång till energi är ett av de mest grundläggande behoven för allt levande. Livet på jorden drivs sedan uppskattningsvis ett par miljarder år till allra största delen av solenergi som tas upp av växter och alger genom fotosyntesen. Ljuset tas upp av speciella antennmolekyler som klorofyll (inlägget). Bladens karakteristiska gröna färg är anpassad på molekylär nivå för att optimera energiupptagningen från det energirika solljuset. Privat bild.

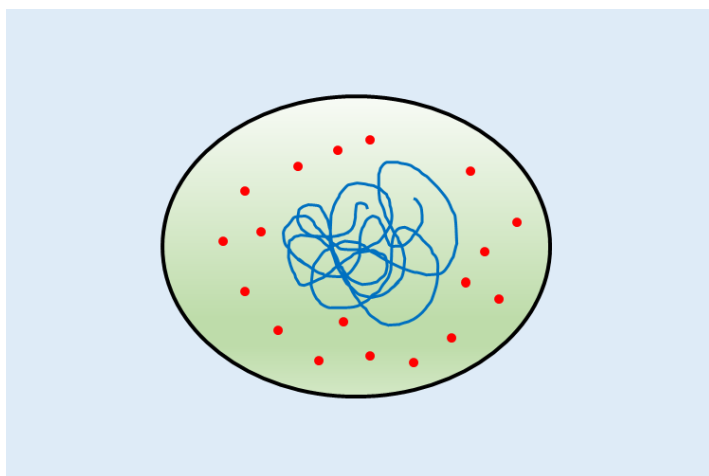
exempel förmågan att tillgodogöra sig all energi från energirika oorganiska näringsämnen (så kallad kemiautotrofi). Detta gör dem oberoende av den fotosyntes (se Figur 7) som idag dominerar energitillförseln för de flesta levande organismer antingen direkt eller indirekt – men som knappast varit fullt utvecklad under livets tidigaste skeden.

Genom att följa spåren så långt tillbaka som möjligt går det att få en hyfsad uppfattning av de molekylära egenskaperna hos, om inte av den första levande organismen, så i alla fall av den sista gemensamma urcellen LUCA (Figur 8). Även som en ganska enkel cell utan många av de organeller – miniatyrorgan – som man kan se i mikroskop i mer utvecklade (eukariota) celler, så har här funnits ett tydligt skydd mot omvärlden i form av yttre membran inom vars ramar det funnits en väletablerad och fungerande arvs massa (DNA) tillsammans med redan långt utvecklade system för diverse centrala biokemiska processer som skapande av biomassa och nedbrytning av näringsämnen för att tillgodogöra grundläggande energibehov. Membranen består företrädesvis av fettliknande molekyler, och många av de basala biokemiska processerna drivs av enzymer med hög katalytisk aktivitet som får rätt saker att hända inne i cellerna. Även de så kallade ribosomerna utgör en viktig knutpunkt för att med hjälp av RNA ”koda” över den genetiska koden till proteiner med korrekt ordning på de ingående aminosyrorerna vilket gör att de måste ha funnits med mycket tidigt i någon ursprunglig form. Här

visar sig behovet av ett molekylärt systemtänkande bortom enskilda typer av biomolekyler – för även de enklaste organismerna består uppenbarligen av många olika typer av molekyler som måste samverka för att ge livet dess karakteristiska kombination av överlägsen överlevnadsförmåga på den molekylära nivån genom en uthållighet och flexibilitet som enbart kan uppnås genom en hög grad av strukturell och biokemisk komplexitet.

Molekylär evolution

Med tanke på hur svårt det visat sig vara att på konstgjord väg återskapa ens enkla komplexa biomolekyler i laboratorier är frågan var och hur ett så komplext system som en cell bestående av flera olika typer av biomolekyler med en rad olika mekaniska och biokemiska funktioner skulle kunnat uppstå av sig självt, helt utan hjälpande hand från exempelvis en nyfiken forskare som aktivt söker efter de mest gynnsamma näringsblandningarna och fördelaktiga reaktionsförhållandena? För att komma vidare med frågan om hur livet uppstått på jorden är det viktigt att bättre försöka förstå var, och under vilka förhållanden, detta kan tänkas ha skett. Ett stort problem med att förstå var livet har, eller åtminstone kan ha uppstått är svårigheten att i tillräcklig grad förstå hur det såg ut på tidiga jorden i fråga om kritiska kemiska och fysikaliska förutsättningar som atmosfärens och havens kemiska sammansättningar. Nästan alla konkreta spår har förstörts eller förvanskats



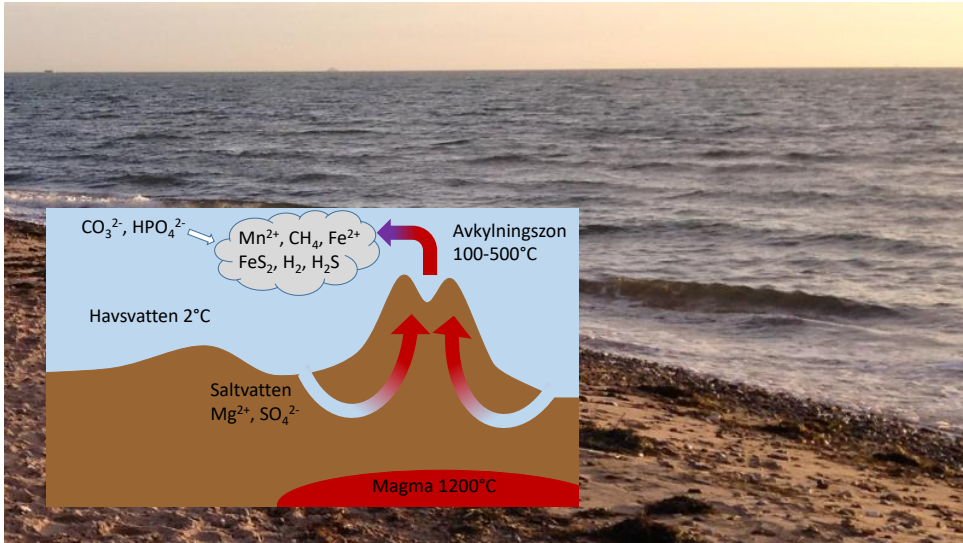
Figur 8: Principskiss över den sista gemensamma urcellen (LUCA), bestående av ett yttre skyddande membran (svart) som innesluter såväl den DNA-baserade arvsmassan (blå) som diverse biokemiska system med enzymer för energiomsättning och biosyntes liksom ribosomer för proteintillverkning (röda).

efter omkring fyra miljarder år av omfattande geologisk aktivitet, inklusive både aktiv vulkanisk aktivitet och långsammare vittring, sedimentering och omvandling av berggrunden. Dessutom har livet självt haft betydande påverkan på hur jorden ser ut i dag. Till exempel anses fotosyntesen vara en av huvudorsakerna till en omfattande syresättning av atmosfären som med sin kraftigt oxiderande förmåga i grunden har förändrat den globala kemiska balansen, och ligger bakom geochemiska processer som bildandet av omfattande roströda randiga järnformationer ("banded iron") för ca två miljarder år sedan. Slutligen påverkas hela jorden av förändringar i solsystemet i stort, där till exempel solen idag skiner avsevärt starkare än när jorden bildades, samtidigt som nedfallen av meteoriter och annat rymdstoff kan ha påverkat tillgången till vatten och andra essentiella substanser successivt avtagit. Med sådana omfattande förändringar i fråga om såväl de geologiska, biologiska, och astronomiska förutsättningarna är det inte konstigt att det är svårt att med säkerhet säga hur det såg ut på jorden när livet uppstod. Här finns en uppenbart intressant koppling till pågående rymdforskning där en ökad förståelse av hur jorden såg ut när livet uppstod kan ge viktiga ledtrådar för vilken typ av miljöer som är intressantast att leta efter och studera ute i rymden – både inom vårt eget solsystem och bland alla nyupptäckta exoplaneter. Men även kunskapsöverföring i den omvända riktningen skulle kunna vara av betydande intresse i den mån nya rön inom rymdforskningen kan ge bättre inblick i tidiga exoplaneters atmosfärskemi, vilket i sin tur kan ge viktiga ledtrådar till hur det sett ut på den tidiga jorden.

Även om det råder stor osäkerhet - och ibland betydande oenighet - om många konkreta detaljer om livets tidigaste utveckling, så finns det vissa grundförutsättningar som under alla omständigheter måste ha förelegat för den allra tidigaste utvecklingen innan det biokemiska maskineriet tagit form fullständigt. För det första måste livet naturligtvis ha utvecklats på en plats där det funnits riklig tillgång till lämpligt grundmaterial i fråga om organiska molekyler och mineraler. Genom att betrakta livets kemiska sammansättning går det att sluta sig till vissa av de viktigaste grundämnena som behövs. Här talas ofta om de sex huvudämnena "HCNOPS" (H: väte, C: kol, N: kväve, O: syre, P: fosfor, och S: svavel) som de grundämnen som huvudsakligen ingår i de biokemiska makromolekylerna som proteiner, DNA-strängar, kolhydrater och fetter. Men flera andra grundämnen har också viktiga funktioner om än i mindre mängder. Hit hör ämnen som kalium (K) och natrium (Na) vars joner spelar viktiga roller för att upprätthålla den kemiska balansen över olika membran. Även joner från järn och vissa andra så kallade övergångsmetaller utgör ofta centrala komponenter i exempelvis enzymer. Men rätt atomer flyter normalt inte omkring för sig själva och väntar på att radas upp i bestämd ordning. I stället gäller att utröna vilka sammansättningar av mineraler, salter, och enkla oorganiska och organiska föreningar som blandas eller ansamlas under olika förhållanden – vare det rör sig om små varma dammar eller i vulkaniskt aktiva områden. Den prebiotiska ursoppan torde under alla förhållanden ha

varit rik på såväl organiska beståndsdelar som mineraler och andra oorganiska komponenter. Här finns viktiga skillnader av mer teknisk karaktär, som att fundamentalt olika typer av kolföreningar tenderar att bildas beroende på den kemiska omgivningen. Ett enkelt men viktigt exempel på detta är den övergripande balansen mellan de två reaktiva beståndsdelarna syre och väte som ingår i de flesta biomolekyler. Finns det ett överskott av väte säger man att miljön är reducerande, och i extremfallet går varje kolatom ihop med fyra vätemolekyler och bildar metangas (CH_4). Finns det däremot ett överskott av syre sägs miljön vara oxiderande, och det bildas i stället koldioxid (CO_2). Livets kemi balanserar i mitten med de klassiska kolhydraterna som bildas i fotosyntesen som genererar biomassa med generella formler som $(\text{CH}_2\text{O})_x$ och som motsvarar längre molekylkedjor där såväl kol som syre och väte ingår. Så länge det är oklart var livet uppstod är det långt ifrån självklart vad de ursprungliga förhållandena var eller hur denna balans uppstod.

En andra lika viktig grundförutsättning för livets tidiga utveckling har varit en rik och aldrig sinande tillgång till energi. Sedan fotosyntesen utvecklades för åtminstone ett par miljarder år sedan har det framgångsrika och effektiva utnyttjandet av solenergi kommit att dominera som livets energikälla. Det är den direkta energikällan såväl för växter som för många fotosyntetiserande mikroorganismer som de blågröna algerna vi förfasar oss över i samband med omfattande algblooming i Östersjön och andra vattendrag. Solenergin är i lika hög grad, fast indirekt, grunden för djurens energiförsörjning högre upp i näringskedjan. Från början måste det dock ha funnits andra, mer primitiva, energikällor för att skapa en kontinuerlig tillväxt av biomassa. Det är visserligen möjligt att tänka sig att någon initial blandning av reaktiva kemikalier skulle ha kunnat ge upphov till en mängd mer komplicerade molekyler – kanske till och med i riktning mot biomolekyler. Men de reaktiva komponenterna torde snabbt ta slut av sig själva, och reaktiva blandningar tenderar att gå mot en kemisk jämvikt där den molekylära utvecklingen först saktar in och sedan avstannar helt. Formuleringen av livet som ett självuppehållande system ska alltså inte förstås som något som inte tillgodogör sig både ämnen utifrån för att växa och energi för att fortsätta utvecklingen framåt med ständiga kemiska omvandlingsprocesser som kan vara nog så energikrävande. En nyckel till livets framgång är i stället en förmåga att tillgodogöra sig energitillskott av olika slag, och inte minst att systematiskt utnyttja olika naturligt förekommande kemiska obalanser. Till exempel finns det under rätt betingelser betydande energi att hämta ur mineralriket när järn rostar (eller oxideras som man säger mer generellt inom kemin). Men om vi tänker oss en primitiv cell så ter den sig nog rätt väsensskild från ”rostande” järn. En orsak till framgång är dock förmågan att koppla den energi som frigörs vid ”rostandet” till att driva viktiga men energikrävande biokemiska processer. Väl kontrollerade biokemiska cykler med många steg utgör grunden för dagens väloljade livsprocesser, men principen att låna energi för egna syften kan ha varit en tidig framgångsstrategi även med mer rudimentära



Figur 9: Det är fortfarande en öppen fråga var livet först uppstod på den unga jorden. Att detta skedde i en vattenrik miljö är tämligen oomstritt, men om det var i en lugn och varm sjö ("warm little pond") som Darwin tänkte sig, på vattenytor där starkt UV-ljus från solen kunde trigga igång kemiska reaktioner som Alexandr Oparin höll för troligt (foto), eller i näringsrika områden med vulkanisk aktivitet långt under havets yta (inlägg) som Michael Russell och William Martin med flera moderna forskare argumenterat för är fortfarande omtvistat. Däremot torde det vara rätt uppenbart att jorden, oavsett klimatförhållanden, måste sett sig mycket ödslig för en modern betraktare innan livet tog fart – utan tillstymmelse till det ymniga djur och växtriket varken på land eller i haven som vi normalt tar för givet. Privat bild.

processer. Från början kan effektiviteten ha varit låg, men detta är en klassisk grogrund för en evolutionär utveckling där de mest framgångsrika processerna successivt genererat mest ny biomassa och så småningom kommit att dominera den prebiotiska världen. Det illustrerar också en allmän princip om hur det kan uppstå en sorts dynamisk ordning långt från jämvikt i komplexa system, något som tidigt diskuterades från ett allmänt termodynamiskt perspektiv av den belgiske nobelpristagaren Ilya Prigogine.

En naturlig följdfråga gäller var, och under vilka betingelser, lämpliga miljöer för livets uppkomst uppstår. Eftersom de flesta kemiskt reaktiva omgivningarna snabbt skulle gå mot jämvikt ter det sig mest lämpligt att leta efter platser med ett kontinuerligt och rikligt energiflöde som kan upprätthålla den slags kemiska obalans som tidiga livsformer kan dra nytta av. Samtidigt pekar allt på att i alla fall jordelivet uppstått i en vattenrik miljö där vattnet i sig fyller en viktig funktion som lösningsmedel åt olika biokemiska substanser (Figur 9). Ett tidigt förslag från Alexandr Oparin och John Haldane som nämndes ovan var att starkt UV-ljus från solen skulle kunna tillhandahålla den nödvändiga energin. UV-ljuset bör dessutom ha varit starkare innan det skyddande ozonlagret hade bildats. UV-ljuset kan klyva

många kemiska bindningar, så grunda vattendrag eller vattenbryn där det ansamlades organiska substanser uppfyller flera av de angivna grundkriterierna för lämpliga miljöer.

En annan idé som vuxit sig stark under de senaste trettio åren är att leta efter mineral- och energirika undervattensmiljöer med vulkanisk aktivitet (Figur 9). Sådan vulkanisk aktivitet bidrar med energi som kan driva livsprocesser, och här finns intressanta miljöer som i viss mån utgör en motpol till grunden för RNA-världen. Förespråkare för RNA-världen har traditionellt lagt mycket fokus på nukleinsyrornas goda förmåga att föra vidare genetisk information. Även om viss katalytisk förmåga demonstrerats så är denna förmåga förhållandevis måttlig. Om man i stället ser till många viktiga enzymers förmåga att spjälka näringsämnen inom det som kallas metabolism (och motsvarar matsmältning på den molekylära nivån), så är det slående hur många av dessa som får sin goda funktionsförmåga från reaktiva områden som innehåller antingen enstaka metalljoner eller i vissa fall små ansamlingar av några få metalljoner. Denna insikt framhölls på 1980-talet av Günter Wächtershäuser - en tysk kemist verksam som patentingenjör i München. Särskilt vissa små järn-svavel områden (så kallade kluster) i enzymernas aktiva kärna är påfallande lika naturligt förekommande mineralfragment, vilket skulle kunna tyda på att de från början förekommit naturligt och utgjort en grogrund för en utveckling driven av effektiv metabolism i första hand. Detta kan ha förekommit naturligt vid vulkaniskt aktiva heta undervattenskällor på havets botten redan på den tidiga jorden. På engelska kallas sådana skorstensliknande formationer som reser sig från havets botten ofta ”smokers” och kan beroende på rökutvecklingen karakteriseras som antingen vita eller svarta. Nya rön kring lämpliga mineralrika miljöer i vissa typer av ”smokers”, identifikation av molekylära nyckelprocesser, och en hypotes om så kallad serpentisering som ett sätt att skapa något liknande en primitiv cellulär struktur inuti dessa ”skorstenar” har utvecklats av den amerikanske geologen och geokemisten Michael Russell och även populariserats av den brittiske biokemisten Nick Lane.

Med höga tryck och temperaturer långt under havets botten ter sig dessa vulkaniska miljöer främmande och ogästvänliga för mycket av dagens liv – men intressant nog har vissa organismer påträffats som frodas även i dessa miljöer. Detta inkluderar inte minst vissa typer av värmeälskande (termofila) mikrober som enligt en omfattande analys av den i Tyskland verksamme amerikanske mikrobiologen William Martin har många likheter med LUCA – urcellen.

Även med många luckor i förståelsen för hur livet verkligen började, så går det i alla fall att skönja vissa grundprinciper för hur den prebiotiska ursoppan kan ha utvecklats till det fullfjädrade liv vi ser omkring oss. Det finns således visst hopp om att fortsatt forskning ska kunna överbrygga den än idag fortfarande relativt svaga kopplingen mellan möjliga prebiotiska processers utvecklingsmöjligheter och den tidigaste biologiska utvecklingen. Här finns flera intressanta frågor ur ett

allmänt evolutionärt perspektiv, vilka har att göra med utvecklingen av den darwinistiska evolutionsprincipen ur en öppnare prebiotisk process där denna form av biologisk evolution ännu inte hunnit etableras. För kemiska system gäller i grunden enklare villkor där kemiska reaktioner sker enligt allmänna naturvetenskapliga principer. En första huvudregel är att reaktioner spontant går mot stabila produkter – vilket diskuterades ovan i samband med behovet att koppla ihop energikrävande processer inom en cell med motsvarande energitillskott från externa källor. För reaktioner där reaktanter och produkter har någorlunda lika energi inställer sig normalt sett en jämvikt mellan dessa vars exakta värde beror på diverse omständigheter som den yttre temperaturen med mera. Men i ett komplext system kommer det att finnas en närmast obegränsad mängd reaktioner som kan ske ur ett rent energiperspektiv – och frågan är hur något system kan ha utvecklats med selektiv anrikning av vissa komplexa molekyler. I ett system som utvecklas fritt – vilket förefaller troligt i en prebiotisk omgivning innan mer omfattande kontrollmekanismer kommit på plats – finns inte minst en överhängande risk att ett system efter någon tid helt enkelt faller isär i enkla och stabila slutprodukter som vatten (H_2O), koldioxid (CO_2), och kvävgas (N_2).

Det är dock långt ifrån alltid som en reaktiv blandning snabbt ger de energimässigt mest stabila produkterna. Många reaktioner går i normala fall mycket långsamt även om slutresultatet ger en betydande energivinst. Detta är viktigt eftersom det betyder att det är fullt möjligt att skapa komplexa biomolekyler utan att de direkt faller sönder. Det betyder också att det ofta är de snabbaste reaktionsvägarna som vinner, även om de totalt sett ger mindre energivinster. Man säger att sådana reaktioner är kinetiskt kontrollerade (en term som har med reaktionshastighet att göra) snarare än att de är termodynamiskt kontrollerade (alltså styrda av den övergripande energivinsten). Förmågan att styra utfallet av kemiska reaktioner är något som kemister använt flitigt för att ta fram nya och spännande syntetiska produkter. Men även livet kan på denna molekylära nivå i någon mån sägas ha möjlighet att hinna undan värmedöden (det vill säga tillstånd utan fri energi) – bara det går tillräckligt snabbt. Den svenske kemisten Svante Arrhenius bidrog också med en viktig grundläggande insikt om att reaktionshastigheten för de flesta reaktioner är starkt temperaturberoende, men också att olika reaktioner kan ha olika starkt temperaturberoende så att en reaktion som är relativt sett långsam vid en viss temperatur kan visa sig vara den snabbaste vid en annan temperatur. Allt detta bäddar för möjligheten att det kan bildas komplexa prebiotiska molekyler under rätt begynnelseförhållanden. Frågan kvarstår dock vad som kan ha lett till en sådan framgång – för att inte säga global dominans – som det komplexa livet uppvisar.

Något som varit avgörande för förmågan att styra industriella reaktioner är utnyttjandet av vissa ämnens katalytiska förmåga – det vill säga förmågan att starkt påverka reaktionshastigheten utan att själv förbrukas i processen. Detta fenomen återfinns också inom den biokemiska världen, främst i form av katalytiskt aktiva

enzymer. Dessa kan selektivt mångdubbla hastigheten för vissa reaktioner. Vissa molekyler kan dessutom bidra till att snabba upp reaktioner i vilka de själva ingår. Man talar då om så kallad autokatalys, och detta skulle kunna fungera som ett sätt för vissa prebiotiska substanser att uppnå det nödvändiga försprång som krävs för början till en mer selektiv ansamling av just dessa substanser. Det är också känt att vissa kedjor av molekyler – så kallade polymerer – kan bildas med ökad hastighet genom en molekylär aktivering som fortplantar sig genom kedjan så att ändarna förblir reaktiva och mottagliga för tillägg av flera länkar till den aktiverade kedjan. Man kan också se hur vissa sammansättningar av molekyler skulle kunna utvecklas om de bidrar sinsemellan till fördelaktiga katalytiska processer i enkla biokemiska cykler. Den israeliske biokemisten Addy Pross har beskrivit sådana processer i termer av så kallad dynamisk kinetisk stabilitet. Här skulle kunna utvecklas ett selektionstryck som ett förstadium till den senare utmejslade darwinistiska evolutionen. Detta har också diskuterats med ett likartat uttryck av så kallat självpåskyndande ("self speeding" på engelska) vilket knyter an till den autokatalytiska förmågan hos vissa molekyler att ge sig själva ett numerärt överläge genom att själva bidra till att öka hastigheten med vilken de bildas.

Med dessa insikter vore det spännande om det gick att uppskatta sannolikheten för att liv ska uppstå mer generellt i olika "aktiva" miljöer. Det skulle kunna belysa både var, och under vilka förhållanden, det är störst chans att livet på jorden utvecklades, men också ha vidare betydelse för sökandet efter liv på andra platser i universum. En sådan bild skulle kunna klargöra intressanta kombinationer av både fysikaliska förhållanden (tryck, temperatur, och ljusförhållanden) med kemiska förutsättningar i fråga om till exempel pH och förekomst av olika mineral och näringsämnen. Vissa miljöer, som till exempel de underjordiska källorna, ger naturliga variationer av till exempel temperatur så här kan finnas en naturlig tillgång till olika förhållanden. För en mer komplett bild måste dock den omfattande molekylära komplexiteten i prebiotiska system beaktas, vilka gör dessa system svåranalyserade bortom de allmänna principer som diskuterades i föregående stycken. Samtidigt är antagligen komplexiteten inte att betrakta som något nödvändigt ont, utan snarare som en grundförutsättning för livets framväxt genom de omfattande möjligheter till variationsrikedom och återkoppling som kan antas ha bidragit till att ge redan de tidiga livsformerna unika egenskaper i fråga om motståndskraft och överlevnadsförmåga. En viktig aspekt för den fortsatta forskningen kan därför vara att snarast bejaka komplexiteten och se vilken förståelse som kan uppnås ur studier av verkligt komplicerade molekylära processer långt bortom de typiska laboratorieförsök som görs att bena ut reaktionshastigheter och mekanismer för enskilda reaktioner en åt gången. Storskaliga kombinatoriska experiment skulle kunna vara en väg framåt, men detta ser också ut som ett lämpligt område för omfattande datorsimuleringar av öppna kemiska problem där även moderna metoder som genetiska algoritmer och djupinlärning skulle kunna bidra till att utröna,

om inte hur livet på jorden *de facto* uppstod, så under vilka molekylära förutsättningar det finns goda möjligheter till uppkomsten och utvecklingen av verkligt komplexa och dynamiska molekylära system.

Nya horisonter - från syntetisk biologi till biomimetik

Liv och alternativa livsformer kan också betraktas från ett helt annat perspektiv som i stället tar fasta på den moderna forskningen kring livets molekylära mekanismer och egenskaper. Omfattande framsteg har gjorts under de senaste årtiondena för att bättre förstå livets kemi i allmänhet, och hur arvsmassan styr produktionen av olika proteiner med mera i synnerhet. Den moderna gentekniken ger effektiva verktyg för att avläsa arvsmassan för hela organismer, och efter fördjupade studier är det i allt högre grad möjligt att förstå vilka DNA-sekvenser som ansvarar för framställning av olika proteiner, och vilka mutationer som leder till avgörande förändringar av deras egenskaper. Men den moderna gentekniken har också gett kraftfulla verktyg som den omtalade CRISPR-Cas9 metoden för genmodifiering som bland annat den franska forskaren Emmanuelle Charpentier, som under några år verkade i Umeå, tog fram. Detta har gjort att det i allt större utsträckning är möjligt att skraddarsy DNA-strängar och manipulera olika organismers DNA. Här öppnar sig spännande möjligheter att bota ärftliga sjukdomar och kromosomförändringar inom sjukvården, men som nästan alltid när det gäller så radikala ingrepp i människor och andra levande varelser finns också betydande farhågor för missbruk och oanade negativa konsekvenser när forskningen och tekniken kommer in på helt okänd mark. I dagens globala och tävlingsinriktade forskningsvärld går den tekniska utvecklingen snabbt framåt i många olika länder med olika forskningstraditioner och lagar, samtidigt som många frågor om etik, juridik med mera behöver besvaras både nationellt och internationellt.

I detta kapitel står förståelsen av den molekylära världen i fokus snarare än tillhörande samhällsfrågor i vidare bemärkelse (se emellertid Melins kapitel för en diskussion av några av de etiska frågor som kan uppstå i samband med den syntetiska biologin), och då är det intressant att betrakta de möjligheter till genetiska variationer som dessa tekniker för med sig lite mer ingående. Att klippa och klistra i DNA-sekvenserna ger till att börja med möjligheter att studera olika genetiska variationsmöjligheter inom vad man skulle kunna säga är livets befintliga paradigm. Det går att både ta bort och lägga till valda delar och se om någon speciell funktion faller bort eller förändras. Alternativt går det att föra över delar av den genetiska koden från en organism till en annan. I det enklaste fallet kan arvsmassan för ett visst enzym, som tillverkar något unikt protein, från en organism isoleras och introduceras i en helt annan organism. På så sätt kan man göra allt från enkla genetiska tester som att ändra färgen på en grönsak till att exempelvis försöka påverka dess växtförmåga eller motståndskraft mot skadedjur. Sådan avancerad genmanipulation testas på allt från enkla mikroorganismer till växter och djur. Ett

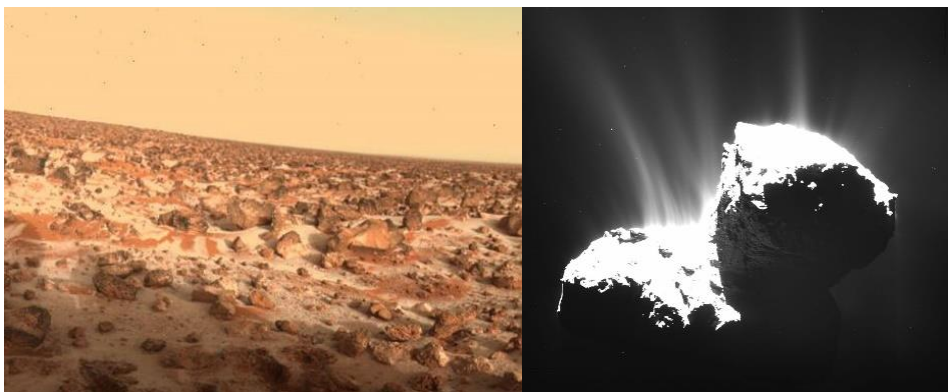
aktuellt exempel är omfattande försök att få cyanobakterier som *Nostoc punctiforme* att i högre grad generera energirik vätgas vilket aktivt utvecklas för en hållbar energiframställning i bioreaktorer. Här finns förhoppningen att i accelererande takt kunna designa organismer med förändrade egenskaper. Denna typ av försök ger samtidigt också omfattande ny kunskap om hur olika cellulära processer hänger ihop, där det i många fall inte alls är så enkelt som att man kan ”transplantera” en gen från en varelse till en annan utan att samtidigt ta i beaktande samspelet mellan flera olika kontrollsysteem och sammanlänkade biokemiska processer.

Genom att steg för steg byta ut alla naturliga delar av ett genom i en enkel encellig organism kunde den beryktade amerikanske genomforskaren och entreprenören Craig Venter 2010 presentera *Mycoplasma laboratorium* (eller ”*Synthia*”) – den första helt och hållet syntetiska organismen som framställts med modern genetik i ett laboratorium. Efter ytterligare några års arbete presenterades 2016 en omarbetad version med bara 473 gener som sägs innehålla den minsta nödvändiga genetiska koden för en fungerande organism. Det går med andra ord inte att ta bort någon ytterligare av de kvarvarande generna utan att den nedbantade *Synthia* slutar att fungera. Denna lilla kärna av essentiella gener kan jämföras med människans ca 20.000 gener, vilket säger en del om livets komplexitet.

Även om *Synthia* och andra genmanipulerade organismer visar på de omfattande möjligheter som den moderna genetikern erbjuder, så har mycket av forskningen handlat om att manipulera befintliga DNA-strängar. *Synthias* gener må vara artificiellt skapade, men de bygger ändå på existerande kunskap om DNA-baserade geners egenskaper. Det ger goda förutsättningar för att testa gränserna för genmanipuleringen, och ger en annan ingång jämfört med mer klassiska studier av genetisk anpassningsförmåga för att studera extrema variationer - exempelvis för att försöka anpassa mikroorganismer till extrema miljöer (till exempel för kolonisering av månen eller Mars om så skulle anses önskvärt). En uppenbar fördel kan vara de goda möjligheterna att med banbrytande teknik förena egenskaper från helt olika organismer för att till exempel skapa en mikroorganism som både tål låga temperaturer och stark strålning som man kan förvänta sig på månen som saknar jordens skyddande atmosfär. Sådana möjligheter diskuteras ofta inom mer eller mindre spekulativa grenar av rymdforskningen som en väg att utnyttja biologiska vägar för så kallad ”terraforming” som går ut på att i grunden förändra förutsättningarna på andra himlakroppar som månen eller Mars för att göra dessa miljöer mer beboeliga och lämpade för en förestående mänsklig kolonisering. Om detta är önskvärt eller försvarbart kan sedan diskuteras ur en mängd perspektiv som inkluderar såväl genetiska som interplanetära moraliska och juridiska frågeställningar.

Ett annat spår är att med nyskapande molekylär syntes i grunden gå ifrån det levande paradigmet med DNA och RNA som bärare av den genetiska koden och på så sätt skapa mer radikalt annorlunda helsyntetiska organismer. Här finns potentialen att ge en mer heltäckande bild av hur unik livets kemiska sammansättning

är, och hur stora variationsmöjligheter som finns såväl under normala biologiska förhållanden som under andra mer extrema betingelser. Kanske finns det exempelvis alternativ till DNA som arvs massa som passar bättre under starkt UV-ljus som är känt för att vara skadligt för DNA? Vägen till fullt utvecklade rivaler till det existerande livet är mycket lång, men det är i alla fall möjligt att identifiera viktiga steg på en sådan väg. Detta faller inom ett större perspektiv av omfattande ”biomimetisk” molekylär forskning som söker härma olika biologiska funktioner och inkluderar allt från mekaniska egenskaper som starka silkestrådar och hala hajsinn till mer avancerade kemiska funktioner som artificiella motsvarigheter till enzymer och försök att på konstgjord väg efterlikna fotosyntesens förmåga att omvandla solljus till biomassa. Samtidigt gäller det att inte underskatta komplexiteten och systemtänkandet som diskuterats ovan som något som särskiljer levande system från mer ordinära molekylära mekanismer. Här finns fortfarande många obesvarade frågor för fortsatta experiment, inte minst rörande möjligheterna att säga något om alternativa livsformer under annorlunda förhållanden - som tas upp ur ett astrobiologiskt perspektiv i nästa avsnitt.



Figur 9: Utforskandet av olika platser inom vårt eget solsystem ger viktig information om utomjordiska miljöer, som en tidig bild av fruset marslandskap från Vikingsonden (vänster). Analyser av plymer av stoff från kometen Churyumov-Gerasimenko observerade med Rosetta-sonden har gett information om olika kemiska komponenter som fruset vatten och organiska föreningar (höger). Foto: NASA (vänster) och ESA / Rosetta / MPS (höger).

Molekylär astrobiologi

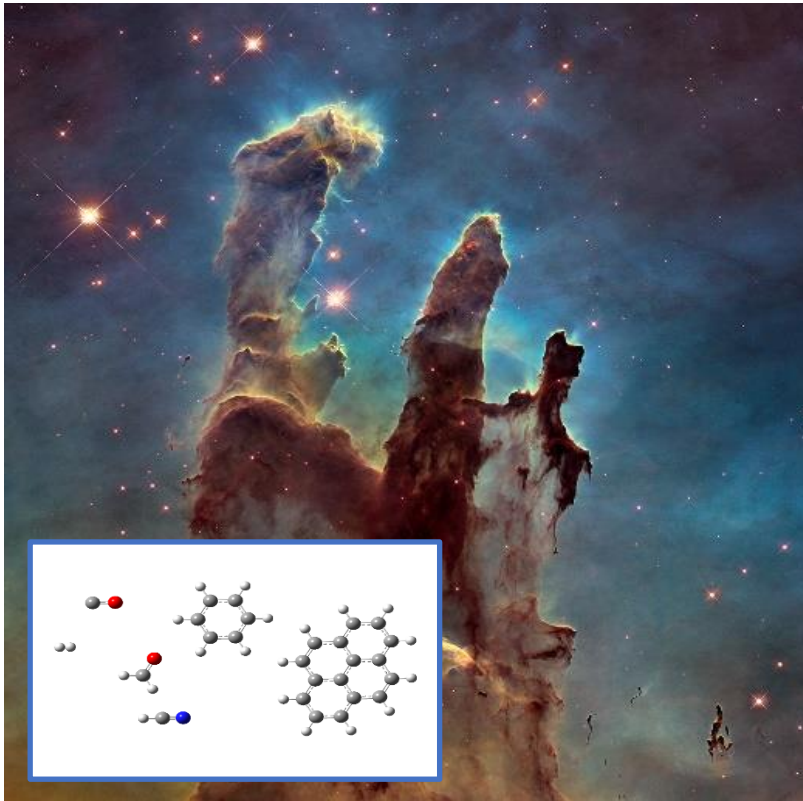
Frågor om livets uppkomst och utvecklingsmöjligheter får helt andra perspektiv som ännu obesvarade centralfrågor inom astrobiologin som företrädevis rör förekomsten av – och tecken på – liv i universum. Sådana frågor om liv i rymden har länge intresserat såväl forskare som folk i allmänhet. Utan ordentlig kunskap om hur det ser ut bortom vår egen horisont är det lätt att ställa fantasieggande

frågor, men desto svårare att ge några konkreta svar. Mycket av den livliga vetenskapliga diskussion som förs inom detta område kan vid en första anblick tyckas relativt vidlyftig jämfört med många mer vardagsnära och konkreta forskningsproblem, men det hindrar inte att det går att föra sunda resonemang baserat på tillgänglig kunskap även om man får acceptera att eventuella slutsatser tills vidare får gälla som preliminära och behäftade med omfattande osäkerheter. Som Dravins beskriver i sitt kapitel, så har forskningen gått framåt avsevärt på flera viktiga områden bara under de senaste par decennierna.

Inom solsystemet, som i astronomiska termer får räknas till vårt eget närområde, har kunskapen om andra miljöer på till exempel Mars, flera av Jupiters och Saturnus månar, och olika kometer och småplaneter gått framåt avsevärt genom icke-bemannade rymdsonder (Figur 10). Många platser förefaller markant ogästvänliga för oss själva liksom för alla kända livsformer på jorden. Inte minst är många miljöer så kalla att den mesta biologiska aktiviteten skulle avstanna. Numera finns dock belägg för livsviktigt vatten i både flytande och frusen form på flera olika platser, där möjligheterna till flytande hav under några av Jupiters och Saturnus månars istäckta ytor kanske är de enskilt intressantaste utforskade miljöerna som vi kommer att kunna utforska på plats med rymdsonder inom överskådlig framtid. Heta miljöer, som Venus med sin för oss mycket giftiga atmosfär, får anses vara av betydande intresse ur ett bredare perspektiv av alternativa molekylära processer, men utan mer kunskap om lokala förhållanden är det mycket osäkert vilka typer av komplexa kemiska processer som skulle kunna uppstå, utvecklas, eller överleva. Jordens extremofiler har dock lärt oss att miljöer som för



Figur 10: Artistisk representation av exoplanet i Trappist-systemet. Bild NASA/JPL-Caltech



Figur 11: Nebulosan "Pillars of Creation" fotograferad med Hubble-teleskopet. Bild: NASA, ESA, and The Hubble Heritage Team (STScI / AURA). Urval av prototypiska astromolekyler (infälld ruta).

oss framstår som mycket giftiga i själva verket kan innebära möjligheter för levande organismer som anpassat sig till de rådande förhållandena. Frågan är då om något livsliknande system kunnat uppstå och dra fördel av den aktiva omsättningen av kemikalier som förekommer för att hitta en kontinuerlig energiförsörjning för skapande av komplexa, biologiskt jämförbara processer. För att få svar på detta krävs dock med största sannolikhet närmare undersökningar på plats – något som hittills visat sig svårgörligt i den förhärskande korrosiva miljön.

En av de mest betydelsefulla utvecklingarna inom astronomin de senaste 25 åren har – som Dravins skriver om i sitt kapitel – varit upptäckten, och det begynnande utforskandet av, ett stort antal exoplaneter. Detta har i ett slag förändrat den astrobiologiska spelplanen fullständigt – från en handfull intressanta platser att studera inom vårt eget solsystem har det nu även visat sig finnas ett stort antal exoplaneter värda att undersöka närmare med avseende på fysikaliska och kemiska

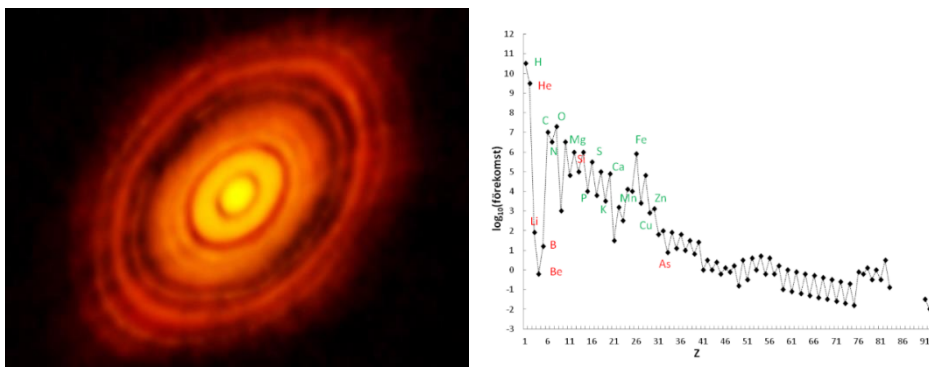
livstecken. Även om detaljerade studier av exempelvis exoplaneters atmosfärer ännu är i sin linda, ges fältet kontinuerliga knuffar framåt av nya upptäckter av exoplaneter som liknar vår egen jord till storlek och förhållanden (se Figur 11) och som ger en inblick i den variationsrikedom som förekommer utanför vårt eget solsystem. Rent statistiskt finns nu också goda belägg för ett svindlande stort antal potentiellt beboeliga miljöer i universum i sin helhet.

Ett par av de centrala molekylära frågorna inom astrobiologin handlar om vad som utgör lovande molekylära miljöer för att liv ska uppstå, samt att identifiera molekylära markörer för liv i rymden. Det kan till exempel handla om det går att sluta sig till om det finns liv på en avlägsen exoplanet genom att studera sammansättningen av atmosfärgaser på en exoplanet – något som är ett aktivt och lovande forskningsområde för detaljerade spektroskopiska studier inom astronomin och som diskuteras i Dravins kapitel.

Ytterligare en aspekt som är värd att ta upp här är att se i vilken mån de centrala aspekterna av ett systemtänkande kring liv som en komplex molekylär process passar in på det som vi vet om olika miljöer ute i rymden. Här bör man kanske inte utesluta möjligheten att det kan finnas livsformer som är ännu mer anorlunda än vi kan föreställa oss, men frågan om något livsliknande molekylärt system skulle kunna tänkas utvecklas utanför vårt eget solsystem är både nog så svår och intressant för att vara värd att begrunda. Stora delar av universum utgörs av interstellär rymd som är mestadels både kall och allt för tom på materia för att te sig riktigt intressant. Förutom färdigbildade stjärnor som likt vår egen sol har planeter kretsande kring sig finns det dock även så kallade nebulosor som i alla fall med astronomiska mått är mycket aktiva molekylära miljöer med gasmoln och i vissa fall områden med aktivt bildande av nya stjärnor och planeter (Figur 12). I sådana gasmoln kan förhållandevis komplexa molekyler bildas, och under gynnsamma omständigheter även observeras. Det finns spektroskopiska belägg för förekomsten av både biologiskt relevanta substanser som enkla aminosyror, och bildandet av större organiska föreningar som så kallade polycykliska aromatiska kolväten (PAH).

Frågan är om något mer komplext kemiskt system skulle kunna bildas redan ute i rymden, snarare än enbart på färdigbildade planeter och andra fasta himlakroppar. Det finns idag inga vetenskapliga belägg för bildandet av mer komplicerade kemiska system ute i rymden. Däremot är det god tillgång på energi där strålning från omgivande stjärnor kan bidra till att skapa kemiskt reaktiva miljöer genom brytning av kemiska bindningar och skapandet av högreaktiva så kallade fria radikaler. Dessutom finns möjligheter till betydande ansamlingar av organisk materia i så kallad smutsig is som kan förekomma antingen fritt i partikelform eller på ytor av rymdgrus, kometer och andra fasta himlakroppar som börjar formas redan innan ett solsystem är färdigbildat. Två relaterade faktorer som baserat på aktuell kunskap talar emot förekomsten av mer komplexa organismer är bristen på flytande vatten kombinerat med generellt låga reaktionshastigheter vid kalla

temperaturer. För kalla gasmoln så kan smutsig is bildas men även om strålning skulle ge upphov till kemiskt aktiva radikaler så ser ett livsliknande kemiskt system ut att kräva snabbt och mångfalt upprepade cykler av kemiska reaktioner för att nå ett högre stadium av komplexitet. För varmare gasmoln, till exempel nära en nyvaknande stjärna, återstår frågan hur ett komplext system skulle bildas utan en stabil och sammanhängande våt miljö som de sjöar och hav som kan bildas på planeter med gynnsamma temperaturer för flytande vatten. Här kan möjligen nya rön om mer varierade rymdförhållanden ge nya impulser, men även om fullfjädrat liv inte skulle utvecklas utanför en planetär miljö är det en intressant fråga hur komplexa molekyler och reaktionskedjor som bildas ute i rymden. En ännu obesvarad fråga är exempelvis om de interstellära gasmolnen kan bidra i någon större utsträckning till skapandet av organiska föreningar som sedan bidrar till planeters molekylära sammansättning efter tidigt bombardemang av smutsiga kometer och liknande nedfall av rymdstoff.



Figur 12: Aktivt bildande av en ung stjärna HL Tauri med tillhörande protoplaneter avbildad med ALMA (vänster). Bild: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO). Översikt över grundämnenas relativa förekomst (logaritmisk skala) som indikation på tillgängliga atomer som byggstenar för molekylär utveckling (höger).

Slutligen, och kanske allra intressantast ur ett molekylärt systemperspektiv, är själva bildandet av nya system med stjärnor och (exo)planeter (Figur 13). Här finns en möjlighet att med konkreta observationer förstå hur den tidiga jorden och vårt eget solsystem bildades och att se hur olika de processerna kan se ut beroende på den astronomiska omgivningen. I vilket skede läggs grunderna för senare utveckling i fråga om tillgång till vatten och de första organiska föreningarna? Och hur varierande är de fysikaliska och kemiska förhållandena under den första avgörande tiden för unga planeter inom den beboeliga zonen? Om dessa frågor vet vi ännu mycket lite, men de kan tydligt pekas ut som några av de intressantaste aspekterna

att studera vidare i takt med att förmågan att observera sådana okända miljöer successivt förbättras med till exempel nya och mer kraftfulla rymdteleskop. Med mer omfattande kunskap om sådana förhållanden kommer vi att ha mycket bättre förutsättningar att sätta in vårt eget liv i ett större sammanhang av uppkomst av liv i beboeliga miljöer ur ett mer universellt och allmängiltigt perspektiv.

Sammanfattande reflektioner och utblick

Den moderna forskningen har gett djupa insikter i hur livet fungerar ner i minsta molekyllära beståndsdel, och omfattande försök bedrivs nu i många forskningslaboratorier för att testa och tänja på livets gränser. Samtidigt börjar vi för första gången i historien närma oss en djupare förståelse av jordens och solsystemets tidiga utveckling, liksom vi börjar få kunskap om hur vårt eget solsystem ser ut i förhållande till en mängd andra platser i universum. Om inget radikalt förändras lär denna vetenskapliga och tekniska utveckling fortsätta med oförminskad fart mot bättre kunskap, men också mot bättre förmåga att manipulera livet ända ner på den mest grundläggande genetiska och molekyllära nivån. Detta kapitel har syftat till att teckna en någorlunda översiktlig bild av liv och livsprocesser ur ett allmänt molekyllärt perspektiv, med fokus på ett komplext systemperspektiv. Många detaljer kring jordelivets uppkomst och utveckling är ännu, och kommer kanske alltid att förbli, okända. I stället är det för denna bok relevant att försöka ge en bredare bild av olika förutsättningar och de variationsmöjligheter som kan anas, vad gäller både tekniska landvinningar och alternativa extrema miljöer, om än fortfarande ofta i något abstrakta termer.

När det astrobiologiska och prebiotiska sökandet efter andra livsformer respektive livets uppkomst, än så länge i första hand kan karakteriseras som nyfikenhetsdriven forskning, så ställer många av de snabba tekniska landvinningarna inom genteknik och syntetisk biologi oss och hela vårt samhälle inför flera svåra frågor om lagar och etik. Utan att här föregripa några slutsatser om vad som är rätt och rimligt i fråga om hur vi bör förhålla oss till många av de nya möjligheterna att manipulera liv eller till och med skapa helt nya livsformer, så är det tydligt att det är viktigt att vara beredd på denna utveckling. Snabba eller oförutsedda genombrott kan snabbt ändra hela spelplanen till exempel i fråga om att erbjuda genmodifikationer för människor eller foster. Det är lätt att underskatta vidden av de förändringar - på gott och ont - som nu sker. Detta är också ett område som är upplagt för konflikter mellan motstridiga intressen från olika aktörer som forskare, företag, nationer, politiska rörelser, religioner, och intresseorganisationer som alla kan tänkas ha starka åsikter om hur nya upptäckter, möjligheter och risker ska bedömas. Allt som allt framträder bilden av en omfattande samhällsutmaning som det är viktigt att vi står rustade att möta med ingående kunskap och insikt, snarare än med fördomar eller fromma förhoppningar.



Lästips

Atkins, Peter (2011) *Reactions – The Private Life of Atoms* Oxford University Press

Ball, Philip (1994) *Designing the Molecular World* Princeton University Press

Ellervik, Ulf (2016) *Ursprung* Fri Tanke

Ernberg, Ingemar; Aurell, Erik; Blomberg, Claes; Cöster, Joakim; Malmnäs, Per-Erik (2010) *Vad är liv - i kosmos, i cellen, i människan?* Karolinska University Press

Lane, Nick (2010) *Life Ascending* Profile books

Persson, Petter (2013) ”Universums molekylära utveckling” i Dunér, David (red.) *Extrema världar – Om sökandet efter liv i rymden* Pufendorfinstitutet

Pross, Addy (2012) *What is Life? How Chemistry Becomes Biology* Oxford University Press

Sjöström, Jörgen (2010) *På spaning efter livets ursprung* Norstedts

Stenholm, Björn (red.) (2012) *Astrobiologi* Liber

DEL 2: Utomjordiskt liv



Liv långt ute i rymden?

Dainis Dravins

Finns det liv någonstans utanför jorden? Och i så fall, hur kan man veta detta? Frågan om liv i rymden har engagerat människor från historiens tidigaste gryning och varje tidsepok har burit på sina speciella tankar om vilka tecken i skyn som kan tolkas som belägg för liv långt därute. I detta kapitel följer vi de växlande föreställningar som präglat forskningen från 1800-talet fram till våra dagar, men blickar även framåt mot kommande projekt.

Det finns flera hundra miljarder stjärnor bara i vår egen galax Vintergatan. De åtskilliga tusentals stjärnor i vår närhet som hittills kunnat undersökas i mer detalj har visat att planeter är vanliga och troligen kretsar det åtskilliga kring de flesta stjärnor. Detta vet vi säkert. Men hittills känner vi bara till liv på en enda av dessa planeter. Hur kan vi dra slutsatser om det verkligen finns liv även långt ute i rymden, dit vi ännu inte förmår att själva färdas, utan måste lita till rymdsondernas mätningar eller fjärrobservationer med teleskop?

Att leta efter liv i rymden är svårt. Extra svårt blir det eftersom vi inte vet riktigt vad som man egentligen ska leta efter eller hur man ska tolka de möjliga tecken på liv som man möjligen lyckas hitta. Men det är svårt att entydigt tolka det okända. Ännu under 1900-talet trodde man att årstidsväxlingar på Mars berodde på ömsom grönskande och torkande växtlighet innan man insåg att det bara var sand som sveptes med vårens bris och höstens stormar. Med stora teleskop söker man nu efter planeter kring andra stjärnor där det finns vatten och syre. Men hur kan man veta om det också bor livsformer i dess vatten? Och svårast att avgöra är om det rentav finns varelser som bygger på helt andra principer än de jordiska, kanske resultatet av en teknologisk snarare än en biologisk utveckling??

Redan i avlägsen forntid: Australiens aboriginer

De äldsta existerande kulturerna på jorden är nog de som bärs upp av Australiens urinvånare, aboriginerna, vars muntliga traditioner sträcker sig kanske femtio tusen år tillbaka. Bland traditionella föreställningar finns att de avlidna färdas till förfädernas land, där deras lägereldar brinner med fladdrande lågor längs stranden av den stora flod som går tvärs över himlen. Att de avlidna tryggt anlant till sina förfäders land bekräftar de genom att till jorden sända ner kanoterna i vilka de

färdats, vilka då syns brinna upp som sken över himlen. Numera identifierar vi dessa fladdrande lägereldar med blinkande stjärnor, stråket över himlen kallar vi Vintergatan och lysande meteoror kallar vi stjärnfall, fastän vi numera vet att det förstås inte är stjärnor utan bara grus som faller in i jordatmosfären och brinner upp. Men tanken att betrakta företeelser på himlen och koppla dem till liv ute i rymden fanns alltså redan under människoslåktets förhistoriska tid.

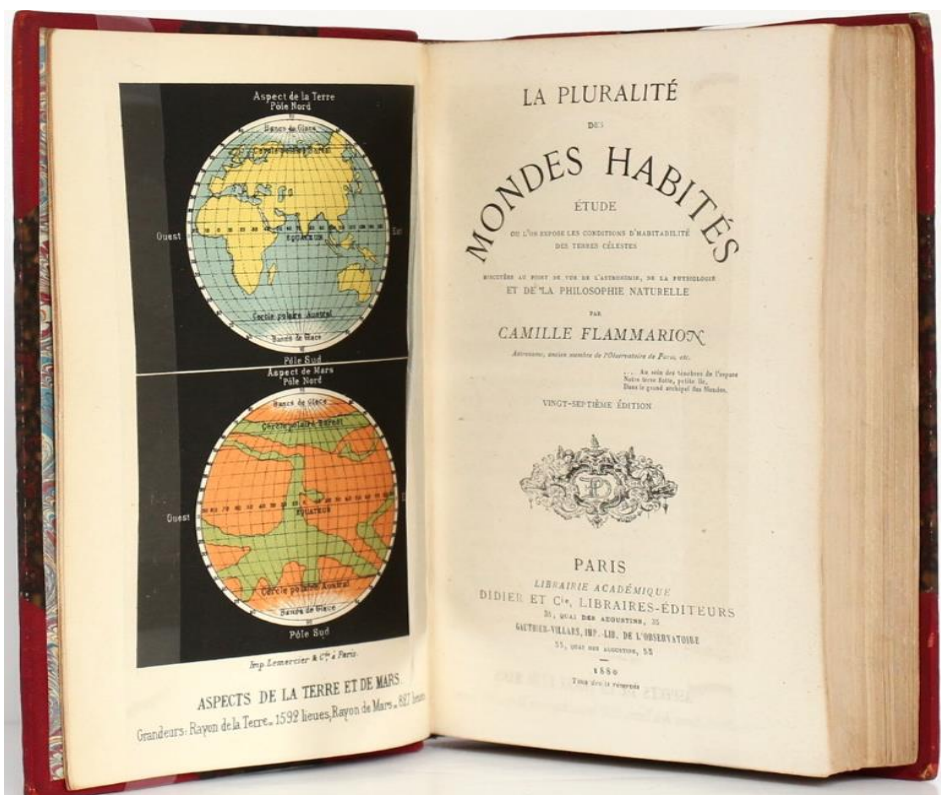
Nyare tid: Naturvetenskapens intåg

Under historisk tid grubblade inte minst de gamla grekerna över bebodda världars mångfald. Kunde kanske månen vara bebodd eller var det ändå något som gjorde jorden speciell? Diskussionerna då och även under medeltiden byggde på vad man menade var logiska argument. Även religiösa teser fördes fram: om det fanns en allsmäktig gud, skulle han då ha avstått att skapa liv på många planeter och kanske nöjt sig med bara jorden? Dessa typer av resonemang ändrades i och med naturfilosofins framväxt under 1600- och 1700-talen. Nu avsåg man att systematiskt studera och försöka förklara naturen genom att undersöka den med experiment och observationer som kunde upprepas och kontrolleras av även andra forskare. Vid mitten av 1800-talet hade denna naturvetenskapliga metod blivit ledande såväl inom samhällsutvecklingen (inte minst för industrialiseringen), som inom frågan om liv ute i rymden. I vår betraktelse ansluter vi nu vid 1800-talets mitt:

1800-talets populärvetenskap och Camille Flammarion

En inflytelserik astronom under det senare 1800-talet var fransmannen Camille Flammarion (1842-1925). Han hade ett eget observatorium och grundade även det franska astronomiska sällskapet, fullt aktivt än i dag. Han var dock inte så mycket av en forskande astronom som en enormt produktiv författare som skrev en mängd populära böcker om rymden. Vissa hade inslag av mysticism och vad man måste kalla vetenskapliga fantasier; även beskrivningar av observerade företeelser i kosmos saknade ofta klara gränser mellan vad som var vetenskapligt belagt och vad som var hans egna funderingar eller fria fantasier.

Hans skickliga penna och entusiastmerande texter rönt enorma framgångar. Böckerna trycktes i stora upplagor, översattes till många språk och inspirerade ett par generationer till studier av världssalltet. Av Flammarions mer än femtio böcker har tio översatts till svenska. Ett av hans mest bekanta verk – om bebodda världarnas mångfald – kom ut på franska år 1862 och på svenska 1866: *Bebodda världar eller vilkoren för himlakropparnas beboelighet, betraktade från astronomiens, fysiologiens och den naturliga filosofins synpunkter*. Anmärkningsvärt är att detta verk kom ut när Flammarion blott var 20 år gammal!



Figur 1: Camille Flammarions bok *Bebodda världar eller vilkoren för himlakropparnas beboelighet*, betraktade från astronomiens, fysiologiens och den naturliga filosofins synpunkter kom i svensk översättning 1866. Boken blev omätligt populär på många språk: detta är den 27:e (!) franska utgåvan från 1880.

Flammarion skriver lyriskt om allehanda möjligheter för liv på andra planeter, till exempel: "... har jorden ej erhållit något företräde framför de andra planeterna; dessa äro beboeliga likaväl som hon. ... Antingen är han [månen] bebodd eller har han varit bebodd, eller ock skall han blifva bebodd". Efter att i boken ha behandlat faktiska astronomiska rön, fortsätter Flammarion med spekulationer kring andra planeters möjliga invånare. Innehållsförteckningen i kapitlet om "De andra världarnas invånare" antyder de ganska fria tyglar som Flammarions upplåtut åt sin fantasi (Figur 2).

Vid 1800-talets mitt började astronomiska teleskop med riktigt bra och stora linser bli tillgängliga. De var väl lämpade att observera planeter och Flammarion satte upp ett privat observatorium med ett rejält teleskop (24 cm linsdiameter), med vilket han kunde studera årstidsväxlingar på planeten Mars. Han var i kontakt med professionella astronomer som också observerade Mars och han skrev en bok om dess förutsättningar för beboelighet.

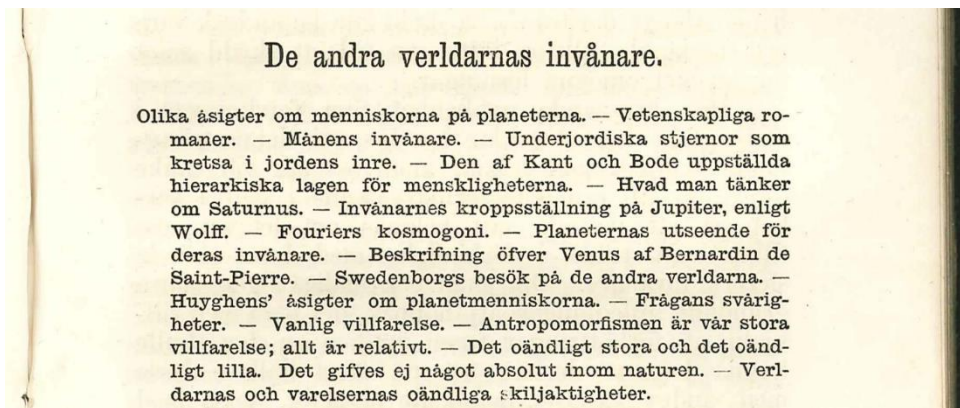
Sent 1800-tal: Giovanni Schiaparelli

En inflytelserik professionell astronom under sent 1800-tal var italienaren Giovanni Schiaparelli (1835-1910), mest verksam vid Brera-observatoriet i Milano. Där observerade han planeten Mars och ritade av de strukturer som syntes på dess yta, samt hur dessa skiftade utseende under marsårets olika årstider.

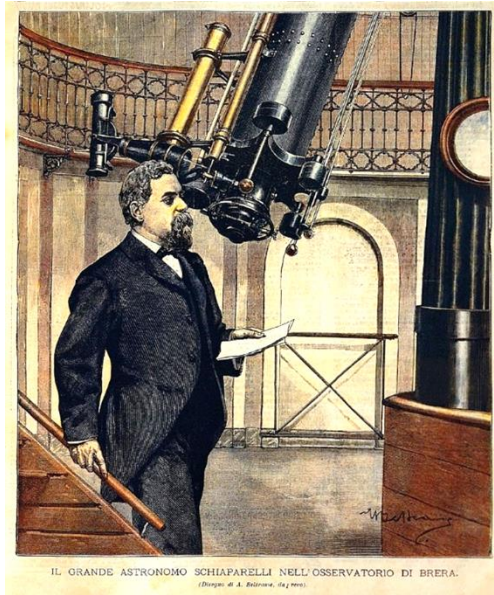
Avståndet mellan jorden och Mars ändras avsevärt beroende på deras lägen i banorna runt solen, speciellt eftersom marsbanan runt solen inte är helt rund utan något utdragen, elliptisk. Ibland infaller speciellt gynnsamma tillfällen, då Mars kommer särskilt nära jorden och kan observeras extra tydligt. Ett sådant inträffade år 1877, då Schiaparelli kunde teckna de dittills mest detaljrika kartorna över marsytan.

Han kompletterade dem med senare observationer och gav ut sin marskarta (*Carte de la planète Mars*) år 1888. På denna hade han ritat in ett flertal raka stråk, vilka han kallade ”canali”, ett ord som på italienska kan beteckna olika typer av diken, räfflor eller kanaler. Ett motsvarande ord på engelska – ”canal” – betecknar dock främst en konstgjord kanal och detta blev senare övertaget som fantasiegående beteckning för vad som skulle ha observerats på Mars. (Hade man i stället tagit något annat ord på engelska, kanske ”channel”, som i ”English Channel”, Engelska kanalen, hade historien kanske tagit en annan vändning.)

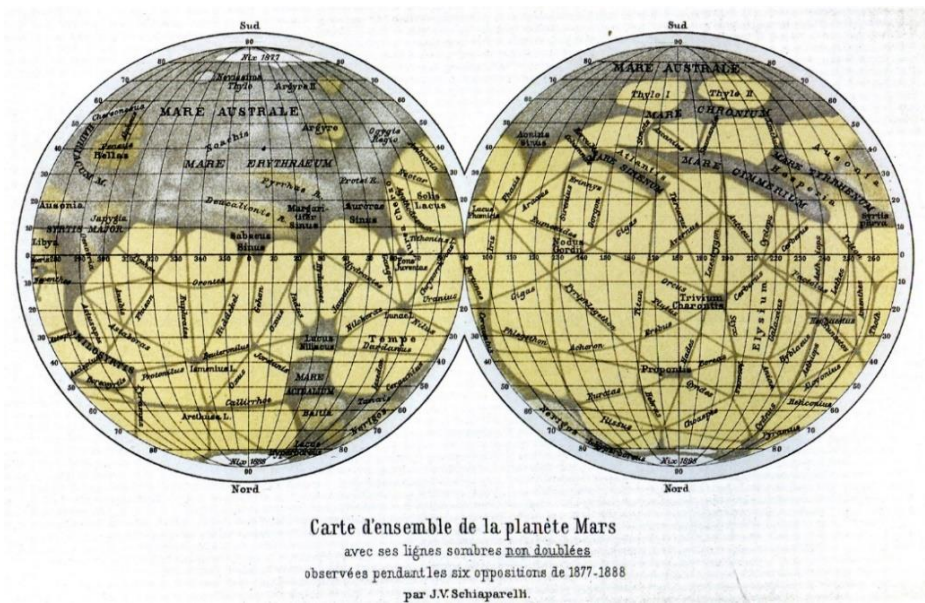
Under 1800-talets slut blev det ganska accepterat att det skulle kunna finnas liv på Mars. Det uppfattades inte som särskilt märkvärdigt – Mars var ju en planet liksom jorden. Från den gamla kontinenten Europa hade man under de gångna seklen upptäckt och koloniserat nya kontinenter där det levde allehanda konstiga djur, så varför skulle Mars vara så mycket annorlunda?



Figur 2: En kapitelrubrik ur Camille Flammarion: *Bebodda världar eller vilkoren för himlakropparnas beboelighet*, L.J.Hiertas förlag, Stockholm, 1866



Figur 3 Schiaparelli vid ett teleskop på observatoriet i Brera; teckning i tidningen "La Domenica del Corriere", 28 oktober 1900.

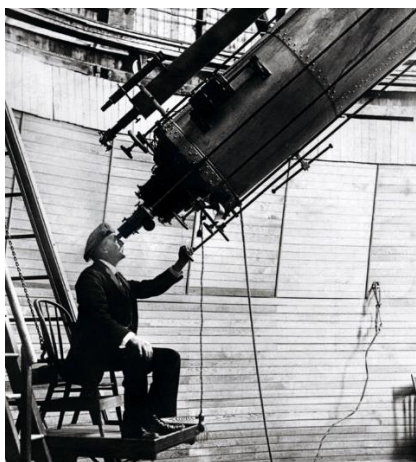


Figur 4: Teckning av strukturer på planeten Mars, färdigställd av Schiaparelli år 1888.

Tidigt 1900-tal: Kanaler på Mars!

Schiaparellis observationer inspirerade amerikanen Percival Lowell (1855-1916) (se även Dunérs kapitel), ursprungligen amatörastronom som bestämt sig att bli forskare på heltid efter att ha läst just Camille Flammarions böcker om Mars. Lowell var speciellt fängslad av de ”kanaler” som Schiaparelli observerat. Han byggde upp ett stort privat observatorium i Arizona (numera ett professionellt institut som bär hans namn, fortfarande är mycket aktivt och som i staden Flagstaff bär den stolta gatuadressen ”Mars Hill”). Lowell studerade Mars under en rad år och ritade upp allt mer detaljerade kartor över dess yta med fler och fler ”kanaler”. Han skrev också flera böcker i ämnet, även om Mars som en livets boning. Mer än någon annan spred Lowell uppfattningen att Mars var en plats med intelligenta livsformer. Observerade fläckar på Mars tolkade han som oaser, vissa kanaler syntes honom dubbla och han förmodade att de alla var konstgjorda vattenstråk som byggts av en civilisation som sökte hushålla med Mars knappa vattenresurser genom att leda vatten från polarkalotterna.

Många i den breda publiken fängslades av dessa visioner men fackastronomerna förblev skeptiska. Vissa försökte upprepa Lowells observationer men lyckades inte se de kanaler som Lowell hävdade. När de stora spegelteleskopen kom i bruk efter 1910, kunde man observera marsytan i hög upplösning men där fanns inga kanaler. Troligen var de resultatet av någon synvilla vid observationer av något knappt urskiljbart, där ögat omedvetet förenar närbelägna fläckar till en linje. Möjligen kan också en speciell injustering som Lowell ibland hade på sitt teleskop haft till effekt att han projicerat skuggor av blodkärlen i sitt eget öga på näthinnan och uppfattat dessa som ”kanaler”.



Figur 5: Vänster, Percival Lowell observerar vid sitt teleskop i Arizona (1914). Höger, Marsglob baserad på hans observationer, med ett stort antal inritade kanaler (1909).



Figur 6: Knut Lundmark på [Gamla] Observatoriet i Lund, ca 1930. På skrivbordet står en marsglob med "kanaler" enligt Lowells observationer. Globen fanns vid Lunds observatorium under ett sekel innan den blev stulen år 2015.

1900-talets mitt: Livsbetingelser på Mars?

Den för allmänheten mest bekante svenske astronomen under mitten av 1900-talet var Knut Lundmark (1889-1958). Han var inte bara chef för Lunds observatorium utan också en mycket flitig populärvetenskaplig författare med ett otal skrifter i veckopressen, föreläsningar för allmänheten och medverkan i radioprogram. En av hans populärvetenskapliga böcker, *Livets välde. Till frågan om världarnas beboelighet* kom ut 1935 och diskuterar ingående observationer av marskanalerna, vars uttolkning i termer av ingenjörskonst han dock förhåller sig skeptisk till. Han menade dock att det vore otänkbart att vår planet skulle vara den enda bebodda men drog också slutsatsen att "...några utsikter ej finns för att astronomen skall komma dithän inom överskådlig tid att genom direkta iakttagelser kunna påvisa spår av andra världars bebyggelse".

Även om den föreslagna tolkningen av kanalerna på Mars inte var tecken på en avancerad civilisation, var den dåtida uppfattningen bland astronomer av facket att Mars hade ett kargt men ändå rimligt beboeligt klimat. Ett av kapitlen i Lundmarks bok *Livets välde* heter just *Tundreplaneten*. Man förmodade att observerade årstidsvariationer på Mars visade på växlingar i växtligheten, kanske av lavar eller annan arktisk vegetation. Denna föreställning fortlevde fram till 1960-talet, då de första rymdsonderna till Mars avslöjade att förhållandena var betydligt barskare än så.

Orson Welles och *Världarnas Krig*

Med marskanaler i folkligt medvetande och med fackfolk som bekräftade uppfattningen om Mars beboelighet, blev även den bredare publiken engagerad. En uppmärksammande händelse var radioteatern *Världarnas Krig* (*The War of the Worlds*) med den amerikanske skådespelaren Orson Welles (1915-1985) och hans grupp (The Mercury Theatre on the Air) som sände denna pjäs i en amerikansk radiokanal i oktober 1938. Radiopjäsen följde den brittiska science-fiction författaren H. G. Wells roman, där ondsinta utomjordingar från Mars anfaller jorden. Orson Welles var då bara 23 år gammal. Dagstidningarna rapporterade efteråt att radioprogrammet hade spridit riktig skräck, då allmänheten som kanske börjat lyssna först en bit in i programmet inte hade hört de introducerande förklaringarna om att det följande programmet ”bara” var teater. Även om tidningarnas löpsedlar nog överdrev dramatiken, illustrerar händelsen att – enligt den tidens värderingar – publiken var benägen att tro på dylika utomjordingars existens.

Årstidsväxlingar och tänkbar växtlighet på Mars

Redan med ganska små teleskop kan man följa årstidsväxlingarna på Mars och dessa tolkades ofta som växlande vegetation i ett arktiskt tundraklimat. Den vitryske astronomen Gavriil A. Tikhov (1875-1960) verkade vid olika observatorier i Sovjetunionen. I Kazachstan grundade han 1947 en forskningsenhet för det nya ämnesområdet ”astrobotanik”. Här försökte man mäta egenskaper av växtligheten i subarktisk tundra för att jämföra dessa med de förändringar i färg och av ljusets polarisation som man kunde observera i de mörkare områdena på Mars, de som ansågs som det troligaste tecknet på växtlighet. Man var redan medveten om den ringa syrehalten på Mars, liksom frånvaron av ett mot solens ultravioletta strålning skyddande ozonskikt. Dock visste man också att syret och ozonlagret hos oss är ganska nya företeelser som tillkommit under jordens senare utveckling. De mikroorganismer som levde under jordens tidigare årmiljarder visste ju att klara sig ändå. Tikhov förmodade att anpassningen till det bistra klimatet på Mars lett till att dess växtlighet tillgodogjorde sig solstrålningen vid andra färger än växterna på jorden och att man därför inte skulle vänta sig gröna växter med den jordiska typen av klorofyll. Livet på andra världar borde alltså kunna vara väsentligt annorlunda än det som vi är bekanta med här på jorden – en uppfattning som delas av många nutida forskare.

Föreställningen om Mars som en med karg växtlighet täckt planet var allmänt spridd vid 1900-talets mitt. Den svenske astronomen Åke Wallenquist (1904-1994) gav 1955 ut boken *Planeten Mars*, där han menade: ”Man skulle kunna skriva en hel bok enbart om marskanalerna och den ’kanalstrid’ som rått under flera decennier mellan olika uppfattningar beträffande tolkningen av dessa fenomen. Det är ett i flera hänseenden olustigt kapitel inom marsforskningens historia som

här upprullas, ett kapitel fullt av feltolkningar och okritiska spekulationer. ... Pres-
sen och den stora allmänheten har med förtjusning accepterat och givit spridning
åt de mest fantastiska spekulationer och lösa hugs-kott i samband med kanalerna.”
Men han skrev också: ”Förutom denna eventuella klorofyllvegetation förekom-
mer som redan nämnts sannolikt på Mars andra lägre och härdiga växtslag såsom
alger, lavar och mossor. Dessutom trivs säkerligen en mångfald olika slags mikro-
organismer, vilka kan fördrå betydligt extremare klimatologiska förhållanden.”

Harry Martinson: *Aniara*

Denna föreställning om Mars som en karg tundraplanet präglar 1900-talets mitt.
En skönlitterär författare med även astronomiska intressen var Harry Martinson
(1904-1978). Hans dystopiska epos *Aniara. En revy om människan i tid och rum* kom
ut 1956. Det hade påbörjats redan några år tidigare och är färgat av andra världs-
krigets fasor. Där återfinns till exempel *Sång om Karelen* en lyrisk beskrivning av
Karelen försvunna skönheter.

Aniara handlar om den förstörda jorden, varifrån människor ombord på stora
rymdskepp flyr till de närbelägna planeterna Mars och Venus. Medan den samtida
uppfattningen om marsytan var som en kall tundra, täckt med lavar och annan
mindre växtlighet, föreställde man sig att Venus hade ett hett klimat, som de varm-
aste platserna av tropiska Afrika. I *Aniara* skaldar Harry Martinson:

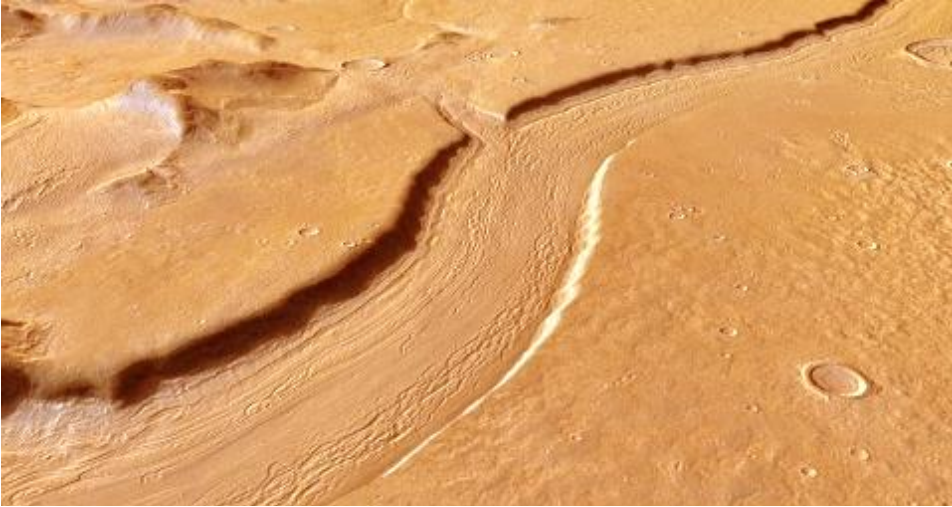
Till vilken del av Mars ni då vill komma,
till östra eller västra tundran preciseras här.

Allt marsfolk krävde skydd mot köld på tundran
och venusfolket skydd mot träskklimatet.

Men fortsatt själ (försent att minnet klandra)
till Tundra två där plexbaracken står,
där jag med Nobby hade tänkt att vandra
i marsnaturens strålningsfria vår.

Där växer stolt den svarta köldtulpanen
som härdar ut med kallplanets klimat
och över tundran gal den hese Hanen
sitt vittnesrop om tundrans enkla stat.

Patetiskt svulten, vördad av de flesta
den fågeln vet om köld och nöd det mesta.



Figur 7: Uttorkade flodbäddar på Mars, fotograferade från omloppsbana. Här är flodbädden Reull Vallis ca 7 km bred och 300 m djup. Skrapmärken i flodrännans botten tyder på is och stenar som glidit under strömmande vatten eller under en glaciär. Foto: ESA Mars Express, High-Resolution Stereo Camera

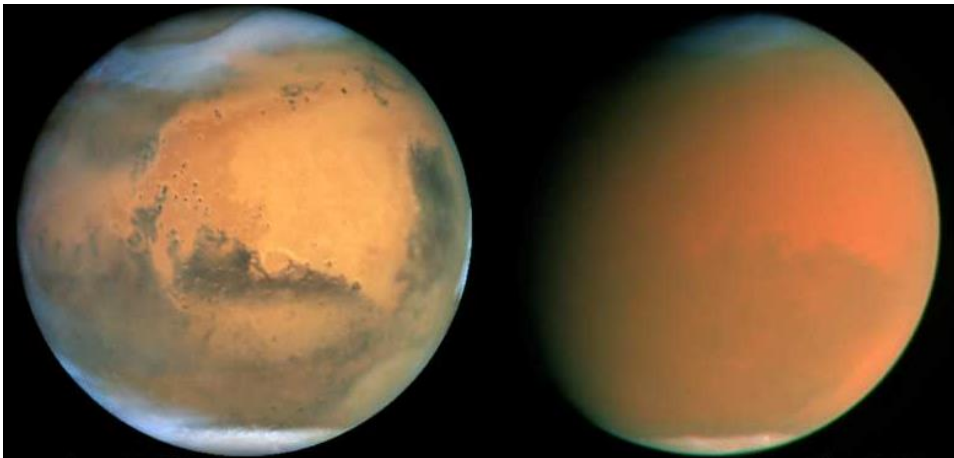
1900-talets slut: Första rymdsonderna till Mars och Venus

Uppfattningen om Mars som en tundraliknande planet fick ett abrupt slut i och med de första rymdsonderna som i början av 1960-talet nådde fram till den röda planeten. När man nu i detalj kunde studera marsatmosfären, visade den sig vara ännu tunnare än förmodat och betingelserna nere på ytan betydligt strängare än vad Harry Martinson hade diktat. Luften på Mars var visserligen tät nog för att bära upp sandstormar och stora molnformationer men var ändå mycket tunnare än jordens atmosfär på toppen av Mount Everest. Kombinationen av tryck och temperatur medför vidare att förhållandena på marsytan normalt är sådana att vatten knappast kan finnas i flytande form. Antingen är det fruset till is eller också finns det som vattenånga i gasform. (På jordytan finns ett likartat beteende för torris, kolsyresnö (frusen koldioxid), som också direkt övergår mellan fruset tillstånd och gas eftersom lufttrycket vid jordytan är för lågt för att koldioxid ska finnas i flytande form.)

Ett par andra rymdsonder nådde Venus och kunde avslöja att temperaturen på ytan ingalunda var som i tropiska Afrika utan för liv outhärdliga 400 grader, tillräckligt för att smälta bly. Detta var överraskande eftersom mängden solvärme som tränger in i Venus tjocka atmosfär faktiskt är mindre än den solvärme som vi får ner till jordytan. Visserligen ligger Venus närmre solen än jorden men i gengäld är den helt täckt av ljusa moln som reflekterar tillbaka det mesta av solljuset, så att

det faktiskt – något förvånande – är mindre solvärme som går ner i Venus atmosfär än vad som kommer ner till jorden. Förklaringen till den varma Venusytan är den extremt kraftiga drivhuseffekt som skapas av dess tjocka atmosfär av koldioxid med ett tryck bortåt hundra gånger större än jordens. Atmosfären på Mars, å andra sidan, har ett tryck på endast en hundradel av jordens. Även om Mars atmosfär också mest innehåller koldioxid, räcker den extremt tunna luften inte alls till att ge någon väsentlig drivhuseffekt.

Raden av successiva rymdsonder avslöjade dock efter hand även en rad mer spektakulära egenskaper: Visserligen finns inga sådana kanaler som Percival Lowell föreställt sig, men det finns däremot många uttorkade flodbäddar, i vilka det helt tydligt forsats fram massor av vatten någon gång för riktigt länge sedan. Och geologiskt sett var Mars ingen död planet – här fanns rader av jättestora vulkaner. Visserligen verkade de inte vara aktiva just nu men, med geologiska mått mätt, hade de ännu ganska nyligen haft utbrott och skulle mycket väl kunna få nya. Senare landsattes självgående marsfordon som kunde färdas åtskilliga kilometer på Mars och fotografera uttorkade sjöbottnar täckta av mineral som uppenbarligen bildats i kontakt med vatten. Från omloppsbanan kunde kretsande sonder ta högupplösta bilder som visade både platser som emellanåt var fuktiga, som öppningar till stora grottor som fortsatte okänt djupt ner under marken. Det var tydligt att Mars undergått dramatiska klimatförändringar, där ett fuktigt klimat i fjärran forntid nu utvecklats till en sandig och torr öken.



Figur 8: Den synliga marsytan undergår växlingar inte bara mellan olika årstider. De mest långtgående förändringarna är de globala sandstormar som under någon månad eller två kan svepa in hela planeten i ett rödaktigt töcken. Dessa globala sandstormar kan följas även av amatörastronomer med ganska små teleskop. Dessa bilder är tagna med Hubbleteleskopet med två månaders mellanrum. Foto: NASA/ESA.

Men livet på jorden utvecklades redan mycket tidigt, bara några hundra miljoner år efter jordens bildande. Då fanns det flytande vatten, vilket behövs för alla hittills kända livsformer. På Mars fanns också flytande vatten under dess tidiga historia och säkert under längre tid än vad som behövdes för livet att bli etablerat på jorden. Om betingelserna på jorden och Mars var så pass lika, uppstod eller utvecklades livet då också samtidigt på båda planeterna? Eller bara på den ena? Och i så fall, på vilken – kanske livet först uppstod på Mars och sedan på något sätt överfördes till jorden?? Och fanns det liv på Mars, var har det i så fall tagit vägen? Det kanske inte alls är utdött? Även om vi inte ser det på ytan, fortlever det kanske i grottor eller nere i marken, där tryggt skyddat mot solens och Vintergatans skadliga energirika strålning?

Livet på jorden är beroende av vatten. Vi vet förstås inte om det finns liv som bygger på andra principer men tills vidare har sökandet efter möjligt liv på Mars följt samma tanke: följ vattnet till möjliga platser för liv! Sådana platser är områden där floder förr runnit ut i vad som varit sjöar eller hav, platser där det finns avlagringar av mineral som bildats i vatten eller rentav platser där det emellanåt än i dag sipprar fram små mängder av flytande vatten. Detta är visserligen inget rent vatten utan starka saltlösningar, vilka – precis som en kylväska – endast fryser till vid temperaturer långt under noll grader och därför håller sig flytande även under kallare dagar på Mars.

Sökandet efter möjligt liv påverkas dock även av andra överväganden. De rymdfarande organisationerna har enats om att *inte* redan nu direkt utforska de mest intressanta platserna med landsatta marsfarkoster utan att tills vidare nöja sig



Figur 9: Det finns olika spår av vatten som funnits på Mars. Bilden från en marslandare visar en uttorkad sjöbotten med sådana avlagrade mineral som endast kan bildas i närvaro av vatten. Foto: NASA/JPL-Caltech, Curiosity.

med att studera dem på avstånd, från satelliter i bana över Mars. Det kan låta motsägelsefullt men anledningen är att det inte är möjligt att helt sterilisera rymdsonder som skickas iväg från jorden: Det kommer alltid att finnas ett antal mikroorganismer ombord. Många av dessa är tåliga mot rymdens vakuüm och andra kommer att vara skyddade mot solens ultravioletta strålning i rymdsondens inre. Om dylika jordiska organismer skulle visa sig kunna överleva eller rentav frodas på Mars, skulle det kunna komplicera eller rentav äventyra sökandet efter ursprungliga marsorganismer. För att inte riskera att Mars förorenas med jordiska organismer har man alltså bestämt att tills vidare skynda långsamt. En besläktad frågeställning blir aktuell när det blir möjligt att till jorden hämta ner markprover från Mars.

Mars är visserligen en betydligt mindre planet än jorden men dess yta är ändå avsevärd och ungefär lika stor som jordens samlade landyta (världshaven alltså borträknade). Det kommer därför att dröja ett bra tag innan dessa speciellt intressanta områden på Mars ("*Mars special regions*"), kan kartläggas i detalj. Efterhand som nya rön tillkommer, uppdateras även listan på områden som man särskilt önskar skydda.

Vad som däremot en rad av senare marssonder kunnat utröna, är att det för länge sedan fanns riktigt stora mängder vatten som flöt omkring på marsytan. För länge, länge sedan, i planetens barndom, fanns en tid, då klimatet var annorlunda, lufttrycket högre och vatten forsade fram. Vissa av vattenflödena var massiva floder som dagens Nilen eller Mississippi på jorden, på andra ställen fanns det kilometerhöga vattenfall. I dag ser vi spåren av detta som uttorkade flodbäddar, där spåren efter stenar eller isblock rispat fåror som ännu markerar forna tiders vattenflöden.

De närmsta årens letande efter tidigare eller nutida liv på Mars står inför två stora utmaningar: Undersökning av material långt nere under marsytan samt transport av markprover tillbaka till jorden. Eftersom atmosfären är så tunn och saknar egentligt ozonskikt, är själva marsytan inte skyddad mot det energirika bombardemanget av röntgenstrålar och snabba kosmiska partiklar. Sådan strålning har sannolikt dödat eventuellt liv och förstört biologiska och organiska molekyler på själva ytan och ner till kanske en meters djup. För att ha en chans att hitta spår av nuvarande eller tidigare liv, måste man därför gräva ner sig djupare än så. Ett första allvarligt försök planeras med den europeiska marslandaren *ExoMars*. Dess mest speciella utrustning utgörs av ett långt borr som kan tränga ner (tillsammans med olika mätinstrument) till ett par meters djup.

Det är dock inte säkert att detta kommer att räcka för att ge besked om det fanns livsformer på Mars förr i tiden. Sådana kan ha lämnat spår, om inte som tydliga fossil, så kanske som speciella kemiska signaturer. De flesta kemiska grundämnen förekommer i olika tunga varianter, så kallade isotoper, som till exempel vanligt (lätt) väte och tungt väte (deuterium), vilka ingår i vanligt respektive tungt vatten. Vid biologiska processer påverkas och omsätts de lättare isotoperna oftast

något mer effektivt än de tyngre, vilket så småningom leder till karakteristiska skillnader mellan olika isotoper av kol, syre och andra grundämnen på platser där liv har funnits. Om man till exempel inuti en sten skulle hitta något som man misstänker är ett litet fossil efter någon organism, skulle man vilja veta om dess isotopsammansättning avviker från det i stenen runtomkring. Att utrusta marslandare med apparatur för isotopmätningar av sådana små prover börjar dock bli alltför svårt, varför detta är en typ av undersökning för vilken det krävs att man hämtar hem prover till laboratorier på jorden. Detta blir också nästa mer ambitiösa utforskning av Mars. Denna är tänkt att påbörjas med uppsändningen av en marslandare som, förutom sedvanlig förmåga att åka omkring på marsytan, även kan plocka upp intressanta markprover och lägga dem i speciella behållare. Efter något års rekognoscerande ska några tiotal utvalda prover placeras i en särskilt skyddande kapsel, varefter det blir dags för nästa rymdfarkost att bege sig till Mars, denna gång för att landa intill denna kapsel, hämta upp den och sedan flyga tillbaka till jorden med alla dessa markprover. På jorden har man överlägsna möjligheter att undersöka proverna i stora laboratorier men kanske framför allt kan man efter hand komma på nya sätt att undersöka dem med metoder som man ursprungligen inte kunnat komma på.

Strängt taget har vi redan i dag tillgång till prover från marsytan, detta i form av meteoriter som man kunnat konstatera härrör från Mars. Dock kan man bara få ut en begränsad mängd information från dem: Man vet inte exakt varifrån Mars de har kommit; de har kastats ut i samband med att någon liten asteroid krockade med Mars men då blev allt material utsatt för höga temperaturer och tryck, vilket troligen förstört mycket av de eventuella spåren av tidigare liv.

Livsbedingungen i solsystemets utkanter?

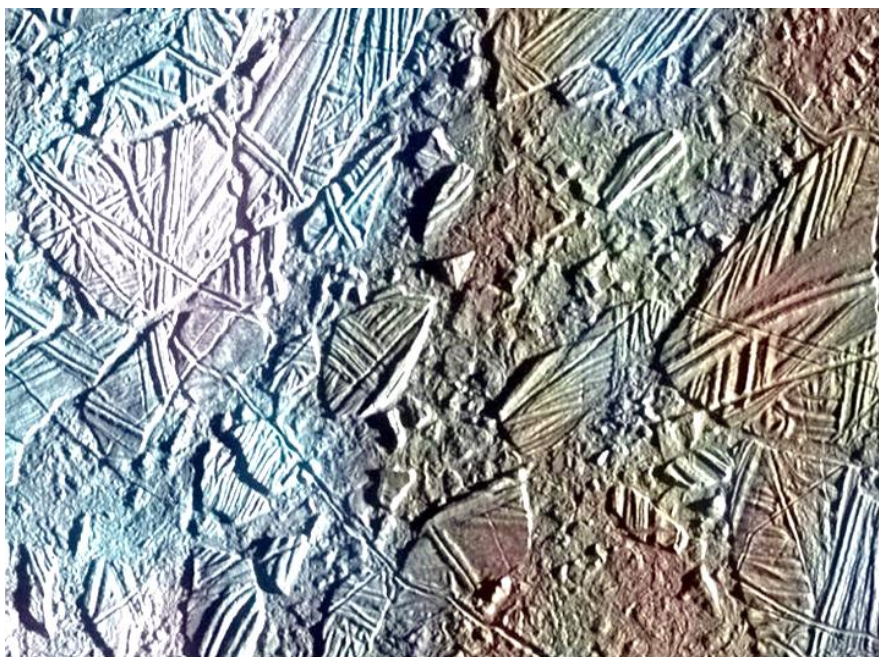
Eftersom flytande vatten är ett villkor för sådant liv som vi känner till, har ett vanligt kriterium för att bedöma en himlakropps möjliga beboelighet varit huruvida flytande vatten kan finnas på dess yta. För en planet betyder det att dess bana inte får gå så nära sin värmande sol att allt vatten kokar bort, inte heller så långt bort att allt vatten frusit till is.

Att detta kriterium om avstånd till solen eller stjärnan ingalunda är nödvändigt insågs när de första rymdsonderna nådde ut till vårt solsystems jätteplaneter Jupiter och Saturnus, på fem och tio gånger längre solavstånd än jordens. Dessa omkretsas av ett stort antal månar, varav ett halvdussin är ganska stora, ungefär som vår måne eller rentav lite större. Så långt ut från solen når bara en liten del av dess värme och man väntade sig att inte hitta annat än kalla, frusna världar. Men man slogs med häpnad när det visade sig att flera av månarna kring Jupiter och Saturnus i verkligheten var varma platser.

Jupiters fyra största månar upptäcktes av Galileo redan år 1610, strax efter att teleskopet kommit i bruk. Den innersta av dem, med namnet Io, i bana närmast

Jupiter, är täckt av glödande lavaströmmar från ständigt aktiva vulkaner medan den näst innersta, Europa, visade sig vara täckt av ett tillfruset istäcke under vilket man kunde konstatera att det finns en ocean av salthaltigt vatten. Detta var helt oväntat men man kunde ganska snart inse varifrån värmen kom. Det var givetvis inte solvärme (och ingen annan strålning heller) utan tyngdkraften från den massiva jätteplaneten Jupiter. Denna kraft är förstas den som håller kvar jupitermånarna i sina banor kring planeten. Men månarna rör sig inte i exakt cirkulära banor, så att den kraft med vilken Jupiter drar dem mot sig ändras periodiskt. Och den sida av månen som vetter närmast Jupiter utsätts för en större dragningskraft än baksidan som ju är längre bort från planeten. Resultatet blir en tidvattenkraft, där hela månen dras ut och knådas än åt ena, än åt andra hållet som en mjuk degboll. Och precis som när man vickar en metallbit fram och tillbaka, så blir det varmt av friktionen, en uppvärmning som i detta fall hämtar sin energi ur Jupiters gravitationsfält. Io, den innersta stora jupitermånen, utsätts för särskilt starka krafter och blir så uppvärmd, att hela ytan täcks med glödande lava och ständigt aktiva vulkaner. Men nej, vi förväntar oss inget liv i denna extrema miljö.

Den näst innersta större jupitermånen däremot – Europa – känner också av en betydande uppvärmning från Jupiters gravitation, dock betydligt svagare än Io och



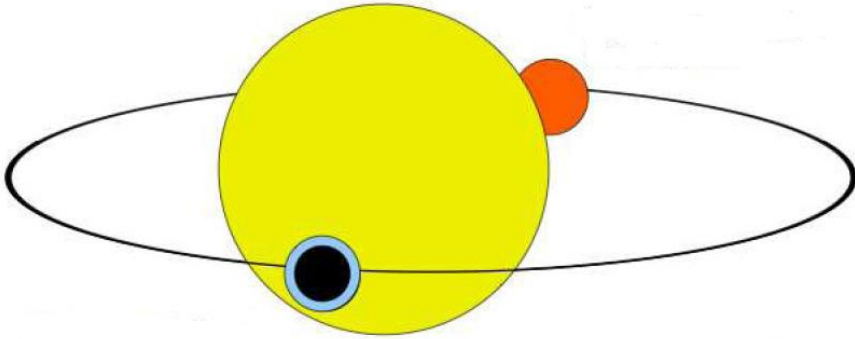
Figur 10: Istäcket på ytan av jupitermånen Europa, sett från en rymdsond. Mönstret tyder på sprickbildning och skjuvning av ismassor som täcker en underliggande ocean av vatten. Bilden täcker ca 70 x 30 km. Foto: NASA, Galileo.

här är betingelserna gynnsamma för flytande vatten. Månen är täckt av en ocean med vatten ovanför vilken ett istäcke utbreder sig. På närbilderna ser man att detta har frusit till relativt nyligen – detta sluter man sig till av att det nästan helt saknas spår av meteoritnedslag: hade ytan varit gammal, hade den varit hårt sönderpepprad med kratrar överallt. Hur tjockt istäcket är vet man ännu inte – någon kilometer eller kanske flera mil, men man har kunnat konstatera att det emellanåt sprutar upp vattenånga från någonstans under isen. Detta visar att det finns öppningar från den underliggande oceanen upp till ytan, varför man kan förmoda att istäcket inte kan vara speciellt tjockt överallt. Att vattnet i oceanen nedanför är salthaltigt har man kunnat konstatera genom att mäta radiosignaler från någon rymdsond som flugit bakom Europa: Sättet som dessa signaler förvrängs visar att den underliggande volymen är elektriskt ledande, vilket tyder på i vattnet lösta salter, precis som i våra oceaner på jorden. Vidare kan man sluta sig till att denna ocean måste vara i kontakt med berggrunden på havsbotten och därför måste olika kemiska ämnen finnas lösta i vattnet, även sådana som ingår i livets byggstenar.

På jorden finns miljöer som nog har en del gemensamt med Europas överfrusna hav. I Antarktis finns ett flertal sjöar med flytande vatten djupt under dess tjocka istäcke. Detta vatten hålls flytande tack vare jordvärmen som kommer underifrån. Troligen finns det även livsformer i dessa antarktiska sjöar, givet insikten att livets biologiska gränser tycks vara mycket vidare än vad som tidigare förmodats och allehanda mikroorganismer återfinns på även de mest osannolika platser på (och inuti) jorden.

Att på ort och ställe undersöka livsbetingelserna på Europa är en än större utmaning än motsvarande för Mars. Svårigheterna kommer inte bara av att det är längre ut till Jupiter (och rymdflygningen flera år längre) utan främst av Jupiters egna och mycket kraftiga strålningsbälten. Dessa motsvarar jordens van Allenbälten som rymmer elektriskt laddade partiklar. Jupiters bälten är dock mycket stora – kunde vi se dem för blotta ögat, skulle de på himlen omge Jupiter med en utsträckning flera gånger större än fullmånens. Banorna för de innersta månarna, även Europa, ligger inuti dessa intensiva strålningsbälten. Istäcket skyddar säkert eventuellt liv under detta men en rymdsond som närmar sig kommer att utsättas för en intensiv partikelstrålning som på kort tid kan förstöra solceller och annan elektronik. Med de rymdsonder till Europa som nu planeras avser man att göra djärva om än korta förbiflygningar och då välja de säkraste vägarna genom strålningsbältenas svagaste delar. Man hoppas att så småningom även kunna mjuklanda på ytan men detta kräver att man utvecklar speciellt strålningstålig elektronik.

Inte bara kring Jupiter, utan även kring Saturnus finns månar där det finns oceaner av flytande vatten under en frusen yta. Och kring Saturnus kretsar den stora månen Titan, en värld i sig, inte bara med en atmosfär som är tjockare än jordens utan med ett vädersystem som är det mest jordliknande i vårt solsystem:



Figur 11: Planetpassage framför och bakom en stjärna. Om en planet råkar ses passera framför stjärnskivan, kan man mäta det stjärnljus som sipprar genom planetens atmosfär och bestämma dennas kemiska sammansättning. (Efter figur av Sara Seager)

Sjöar, floder, moln, regn, snö, hagel... Men: Där är det verkligen riktigt kallt och det som rinner i floderna är inte vatten utan flytande kolväten som metan och etan. Det är svårt att där föreställa sig liv av den typ som vi känner till men vi måste ändå konstatera att den kemiska miljö som man i dag möter på Titan har likheter med den som fanns på jorden när livet var ungt på vår planet. Samma typ av kemiska reaktioner – om än vid mycket låga temperaturer – torde i dag äga rum på Titan, som på den tidiga jorden, så att även här kan vi få insikter om livets möjliga uppkomst och utveckling.

Planeter kring andra stjärnor

Huruvida det finns planeter också kring fjärran stjärnor, har man grubblat på sedan lång tid tillbaka men länge var svårigheterna att hitta dem oöverkomliga. Man visste mycket väl hur man i princip skulle kunna upptäcka dem genom att mäta de minimala rubbningar som tyngdkraften från en kretsande planet måste utöva på sin centralstjärna men den nödvändiga mätnoggrannheten förblev länge utom räckhåll. Först efter flera decenniers utveckling av successivt noggrannare mätinstrument kunde den första planeten kring en annan stjärna än solen upptäckas år 1995. Därefter har utvecklingen varit omstörtande snabb, så att man numera känner till flera tusen så kallade exoplaneter. Svårigheten att hitta dem ligger inte främst i att de är ljussvaga – även om de ju bara lyser med återskenet av det ljus som deras stjärna utsänder – utan främst i att de på himlen ligger alldeles tätt intill sin moderstjärna som lyser miljoner gånger starkare och bländar dem som från jorden försöker särskilja planeten.

Metoderna för att hitta exoplaneter är i huvudsak två, där båda mäter hur stjärnljuset påverkas. I det ena fallet mäter man genom dopplereffekten den lilla rörelse som stjärnan utför när den, tillsammans med sin planet, kretsar i en bana

kring deras gemensamma tyngdpunkt. I det andra fallet – och det som är viktigast i sökandet efter tecken på liv – mäter man den lilla förändringen av stjärnans ljusstyrka under de timmar som planeten i sin bana råkar passera framför stjärnan. Detta kräver förstås att planetens bana råkar ligga i sådan vinkel, att vi från jorden kan se planeten passera framför stjärnan, så att den kan skymma bort lite av dess ljus.

Det ljus som når oss under en sådan planetpassage är alltså stjärnans vanliga utstrålning, minskat med den andel som skymms av planeten vilken oftast täcker mindre än 1% av stjärnans yta. Men om planeten omger sig med en atmosfär blir det mer komplicerat (och mer intressant!). Planetens atmosfär är åtminstone delvis genomskinlig och en viss liten del av ljuset som når oss är inte det som kommer direkt från stjärnan, utan stjärnljus som filtrerats och färgats vid passagen genom planetens atmosfär, ungefär som vi ser det försvagade solljuset vid solnedgången. När ljus passerar genom en gas, får det ”fingeravtryck” i form av spektrallinjer i olika färger, mönster av ljusets absorption vid speciella våglängder. Dessa markörer är olika för skilda grundämnen och för olika molekyler och medger att man på distans kan känna igen vattenånga, syre, metan och andra kemiska ämnen, för övrigt samma metoder som används vid fjärranalys av luftföroreningar på jorden.

Eftersom planetens atmosfär normalt bara utgör ett tunt skikt runtom den, är denna typ av mätningar svåra. Dock underlättas letandet efter kemiska ämnen av det att – nu förutsatt att planeten inte kretsar kring en speciellt sval stjärna – spåren av molekyler oftast inte finns i stjärnans eget spektrum. Vid de temperaturer som råder på stjärnytor bryts mer komplexa molekyler ner i sina atomära byggstenar. Om man observerar närvaron av molekyler, måste de således härröra från den svalare planeten. Dessa utmanande mätningar kräver utnyttjande av de största teleskopen. Det byggs just nu några extremt stora teleskop, bland annat *ELT* (*Extremely Large Telescope*) med spegeldiameter på nästan 40 meter vid *ESO*, Europeiska Sydobservatoriet i Chile. För detta är en uttalad prioritet just sökandet efter sådana kemiska markörer i exoplaneters atmosfärer.

Biologiska markörer hos exoplaneter?

Förutom utmaningen att först hitta exoplaneter som omger sig med en detekterbar atmosfär och att sedan identifiera möjliga spår av kemiska ämnen och molekyler i dessa, är den kanske svåraste frågan: vilka ämnen kan överhuvudtaget antyda närvaron av liv? Eftersom den mätbara signalen är så liten, kan mätningar endast göras med ganska grov upplösning. De ämnen som då realistiskt kan hittas är enkla molekyler med lätt igenkännbara mönster och linjer i spektrum. Om man observerar jorden från långt håll, kan man i det ljus som jorden återspeglar från solen se signaturer av vattenånga H_2O , koldioxid CO_2 , metan CH_4 , syre O_2 och även ozon O_3 . Men ur enbart detta är det vanskligt att säkert sluta sig till att det faktiskt finns liv på jorden. Mer komplicerade organiska molekyler, sådana som

mer säkert skulle kunna visa på närvaron av liv, saknar sådana lätt igenkännbara mönster av spektrallinjer och förekommer i jordens atmosfär endast i så små koncentrationer att de i praktiken torde vara näst intill omöjliga att säkert identifiera hos avlägsna planeter. Tolkningen kompliceras ytterligare av att man inte alltid vet huruvida planeten är (delvis) molntäckt, vilket kan förändra utseendet av spektrum.

Många molekyler har sina viktigaste spektrallinjer i den infraröda delen av spektrum. Denna strålning är dock svår att mäta från jordytan eftersom även olika molekyler i jordens atmosfär absorberar sådan strålning. Det planeras därför rymdexperiment för att söka mäta den kemiska sammansättningen av exoplaneters atmosfärer. Avsikten är att leta efter åtminstone några tiotal olika molekyler som innehåller kol, kväve, fosfor, kisel, svavel och andra ämnen.

Men... även om vi nu hittar något som vi misstänker är en andra jord och i dess atmosfär återfinner samma ämnen som hos oss – vattenånga, koldioxid, metan, syre och även ozon – vad säger det oss om huruvida det verkligen finns liv där? Visserligen måste allt liv som vi känner till, någon gång under sin livscykel ha tillgång till flytande vatten, men omvändningen gäller inte – det räcker inte med vatten för att det ska finnas liv. Fritt syre i större mängder i luften är något som successivt utvecklades under jordens geologiska historia, när tidiga livsformer – mikroorganismer i form av cyanobakterier – hade byggt upp skiktade strukturer, så kallade stromatoliter, längs världshavens stränder. Genom fotosyntes frigjorde de syre, vilket under ett par miljard år successivt ökade syrehalten i den ursprungligen syrefria atmosfären, för att till slut bli en av dess väsentliga beståndsdelar.

Givetvis är dagens syre i luften en förutsättning för människans liv såväl som för många andra livsformer men höga halter av syre i luften har bara förekommit den senaste tiondedelen av jordens historia. I dag underhålls syrehalten genom växternas fotosyntes, i vilken solens strålningsenergi utnyttjas för att binda koldioxid, varvid syre frigörs. Om livet helt skulle försvinna från jorden, skulle också syret tämligen snabbt (med geologiska mått mätt) försvinna ur luften. Eftersom det är ett kraftfullt oxiderande kemiskt ämne, skulle syret oxidera det mesta i dess väg, bli bundet i olika oxider, och därefter inte längre vara detekterbart genom signaturer i jordatmosfärens spektrum. Samma gäller ozon, den tre-atomers variant av syre som bildas med hjälp av solens ultraviolettera strålning högt uppe i luft-havet.

Liv har funnits på jorden under den mesta tiden av jordens historia men fritt syre alltså endast under en ganska liten del. Om man inte hittar syre på en annan planet är det alltså inget som behöver tyda på frånvaron av liv. Men om man hittar syre i väsentliga mängder, är det nog ett tecken på att det på den planeten pågår något som håller syrehalten uppe. Kanske motsvarigheten till jordens fotosyntes, kanske något annat? I jordens spektrum kan man även identifiera sumpgasen metan, CH_4 . Denna kommer från vulkaner, mänsklig verksamhet, odlingar, matsmältningen hos boskap och annat. Metan finns det också en hel del av ute i

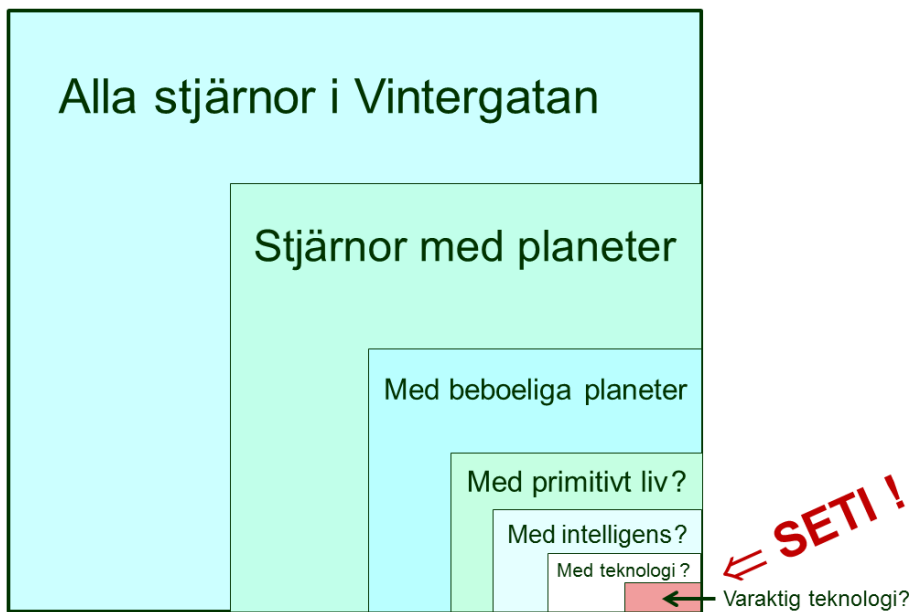
rymden, det är en av beståndsdelarna i atmosfärerna hos jätteplaneter som Jupiter och Saturnus. Men kombinationen av metan och syre är mer speciell. Metan är en viktig beståndsdel av naturgas och biogas och förbränns lätt med syre till koldioxid och vatten. Att det samtidigt i en planets atmosfär finns både större mängder syre och metan, tyder alltså på att där inte råder kemisk jämvikt utan ”något” håller uppe detta tillstånd (annars skulle metanet redan brunnit upp). På jorden vet vi att det är livet och dess fotosyntes. Men på en annan planet skulle det kanske kunna vara något helt annat? Åtminstone små mängder av syre frigörs när vattenånga sönderdelas av solens ultravioletta strålning och metan finns ju naturligt i berggrunden. Vi vet alltså (ännu) inte hur man ur mätningar av fjärran planeters kemiska sammansättning entydigt skulle kunna avgöra om där finns liv.

Letandet efter utomjordiska civilisationer

Undersökningen av kemiska signaturer möjliggör letandet efter spår av mikroorganismer, växlighet eller andra typer av liv som inte för särskilt mycket väsen av sig. Men det finns kanske även intelligent liv på fjärran planeter som inte bara omsätter syrgas och andra ämnen utan har utvecklad teknologi. Dessa gör kanske mycket mer väsen av sig och kanske kan göra sig påminda även över interstellära avstånd? Letandet efter möjliga sådana utomjordiska civilisationer går ofta under namnet *SETI*, sökandet efter extraterrest intelligens (engelska Search for ExtraTerrestrial Intelligence). En ofta använd utgångspunkt är Drakes ekvation, ett uttryck som formulerades av den amerikanske radioastronomen Frank Drake på 1960-talet:

Drakes ekvation i sig utsäger inget om hur sannolikt (eller ej) det skulle vara med avancerade civilisationer i Vintergatan. Däremot utgår den från betraktarens egna uppskattningar av hur sannolikt det är att på en planet, där det finns rimliga förhållanden för liv, också verkligen har utvecklats liv; hur sannolikt det är att sådant liv också utvecklats vidare till en teknologisk nivå, och för hur länge sådana civilisationer kan tänkas fortleva med bibehållet intresse att kommunicera även utanför sin hemplanet. Det finns alltså ingen exakt lösning till Drakes ekvation, utan resultatet som erhålls beror på de uppskattningar och gissningar som olika personer bidrar med. Betydelsen av ekvationen kommer dock av att, om man som uppskattningar använder belopp som många forskare anser rimliga, blir det sannolika antalet civilisationer i Vintergatan tämligen stort. Vi vet säkert att antalet stjärnor och planeter i Vintergatan uppgår till flera hundra miljarder och – om livets uppkomst inte skulle vara en alldeles oerhört osannolik process – så ”borde” det finnas liv på kanske miljoner eller rentav miljarder andra planeter.

Frågan uppstår då, hur man ska kunna avgöra förekomsten av sådana avancerade civilisationer? Redan på 1800-talet, innan radiotekniken utvecklats, fanns det idéer om hur man från jorden skulle kunna kommunicera med de invånare som man då förmodade kunde finnas på månen eller Mars. Man kunde hugga ut stora geometriska mönster i Sibiriens urskogar och dessa enorma kalhyggen skulle då



Figur 12: Innebörden av Drakes ekvation för hur många utomjordiska civilisationer det troligen finns i Vintergatan. Ekvationen i sig ger inget entydigt svar utan fördrar att man uppskattar hur stor andel av alla planeter som man tror har liv och hur stor andel av dessa som har utvecklat intelligens. De som varaktigt bibehållit intelligent teknologiskt liv kan man tänka sig skulle kunna kontaktas.

kunna observeras i teleskop av de astronomer som man tänkte sig kunde finnas på andra planeter. För signaler nattetid kunde man i stället gräva ut kanaler i speciella mönster ute i Saharaöknen, fylla dessa med petroleum och sedan tända på. Så småningom insåg man dock att varken månen eller Mars var bebodda och dessa sambandsmöjligheter skulle inte fungera över de enorma avstånden till andra stjärnor.

En psykologiskt viktig barriär bröts någon gång på 1950-talet. De första stora radioteleskopen hade tagits i bruk och radio- och radartekniken hade utvecklats dithän att man insåg att om det vid någon närbelägen stjärna fanns en civilisation med liknande radioteleskop, skulle man kunna utbyta signaler med denna. Visserligen skulle det ta flera år för en signal att nå fram till en stjärna många ljusår bort, det kunde bara vara enkla meddelanden, men för första gången någonsin behövde mänskligheten inte känna sig isolerad i vårt solsystem i Vintergatans utkant utan kunde i princip ta upp kontakten med andra, kanske likasinnade, civilisationer.

Ur detta utvecklades olika program för SETI. Tanken bakom är att – om ”vi” har möjlighet att skicka och ta emot radiosignaler över interstellära avstånd – så borde även ”de” ha utvecklat en sådan möjlighet och troligen redan utnyttjat denna för att kommunicera med sina lokala grannar på närbelägna planeter eller i

andra stjärnsystem. Om ”de” – liksom ”vi” använder radiovågor, sprids dessa naturligt ut över ganska breda vinklar och kommer att träffa inte bara den egentliga mottagarens planet utan även passera bredvid och således läcka ut i Vintergatan. Genom att ”tjuvlyssna” lite varstans, skulle vi kunna fånga upp delar av sådana pågående ”samtal” och få insikt i hur livet pulserar i Vintergatan. Ett problem är dock att det finns ett otal sätt hur man kan koda in meddelanden i en radiosignal och man vet förstås inte alls hur detta kan ha gjorts – det är knappast troligt att de skulle följa de jordiska radiostationernas standard från sent 1900-tal. Man hoppas dock på att signalerna på något sätt skiljer sig från det naturliga kosmiska bruset, så att de kan kännas igen som konstgjorda. Vissa sökningar görs som ”gratis” tillsatser till ordinarie radioastronomiska observationer, där man bara kopierar den signal som ändå mäts från något astronomiskt objekt och sedan undersöker om den i någon mening verkar underlig. I vissa projekt engageras även allmänheten för att på sina lokala datorer leta efter mönster i misstänkta signaler. Andra, mer riktade sökningar observerar systematiskt närbelägna stjärnsystem där det förmodas finnas beboeliga planeter. Ännu har man dock inte hittat något som rimligen kan tolkas komma från någon annan civilisation.

De senaste årtiondena har en annan grupp anordningar blivit vanliga på jorden, nämligen lasrar som utsänder mycket intensiva men mycket korta pulser av synligt ljus. Man kan konstatera att, om sådana skulle riktas exakt mot någon närbelägen stjärna, skulle en tänkt mottagare där kunna uppfatta dess snabba blinkningar vid just laserns speciella våglängd. Detta har lett till en optisk gren av *SETI*, oftast kallad *OSETI*. I detta fall observerar man ljuset från närbelägna stjärnsystem i förhoppningen att uppfatta dylika snabba blinkningar. En skillnad mot radiovågor är dock att synligt ljus inte naturligt sprids ut över breda vinklar och kommer därför att endast träffa den avsedda mottagaren. Det skulle därför kunna tänkas vara ett sätt för en annan civilisation att ta kontakt med just oss. Men även här har man hittills inte sett något som tyder på konstgjorda signaler.

Men vet vi vad vi letar efter?

Genom historien verkar diskussioner om avancerade utomjordiska civilisationer i allmänhet ha präglats av de skeenden som just då utmärkt livet på jorden. Man har gissat att andra civilisationer är ungefär som vi, bara i någon mening större och kraftfullare. Det fanns en tid då man såg industriella städers framtid i en mångfald av fabriksskorstenar vars rök fyllde himlen ovanför telefonstolpar med otaliga hängande ledningar. Redan en (i de stora sammanhangen) tämligen kortvarig teknisk utveckling har gjort att vi småskrattar åt dessa visioner men vi vet inte riktigt vad man kommer att småskratta åt efter ytterligare bara ett sekel eller två.

Man kan spekulera om den tekniska utvecklingen kan leda till någon slags hopsmältning av biologiskt liv och tekniskt konstgjort liv? Vi använder ju redan olika

mekaniska verktyg och tekniska hjälpmedel men människans fortplantning är (åtminstone än så länge) biologisk. Men behöver "liv" vara baserat på biologiska processer i meningen att livets koder lagras i biologiska molekyler som går i arv mellan generationerna och successivt förändras under evolutionen? Det har föreslagits möjligheten till "postbiologiskt" liv, där det i stället skulle vara vad vi i dag kallar artificiellt liv som utvecklas, där livets koder i stället finns lagrade i (kanske?) datorliknande minnen och nya "varelser" skulle då tillkomma genom att "tillverkas" utifrån råvaror och oorganiskt material, kanske som något slags robotar som tillverkar kopior av sig själva? Evolutionen då kanske inte fortsätter med biologisk kodning som hittills utan på ett teknologiskt eller kulturellt plan??

Att upptäcka huruvida en sådan typ av liv existerar i Vintergatan är en avsevärd utmaning: Vi vet inte vad för signaturer det skulle lämna efter sig, än mindre hur man skulle kunna kommunicera med det. Man kanske då inte borde leta efter utomjordiska civilisationer i "beboeliga zoner" där det kan finnas flytande vatten utan kanske i "teknologiska zoner" där temperaturen är lämplig för att maximera effektiviteten för datorer eller motsvarande och där det även finns energikällor för till exempel fusion. Kanske optimala platser för detta ligger i galaxens utkanter?

Om sådant liv skulle ha blivit mycket omfattande och mycket energiförbrukande, borde man, åtminstone i princip, kunna upptäcka spår av dess energiomsättning. Men om något sådant skulle upptäckas, hur skulle vi kunna kommunicera med det? Och skulle dylika postbiologiska "varelser" vilja kommunicera med oss biologiska objekt? Och om inte, är det kanske inte så konstigt att vi ännu inte hört något från dem. Eller är sådana funderingar åter bara en återspeglning upp mot rymden av precis den typ av teknisk utveckling som just nu för tillfället råkar utmärka livet på jorden?

Färdas till andra stjärnor?

För att bli helt säkra på livets roll och vår plats i Vintergatan måste vi nog vara beredda att själva ta steget fullt ut och färdas till andra stjärnor, inte bara försöka tjuvlyssna efter okända typer av signaler. Men detta är inte precis enkelt. Visst, människor har landat på månen och obemannade rymdsonder har redan flugit förbi dvärgplaneten Pluto och fortsatt ännu längre ut. Långa avstånd i rymden mäts ofta med den tid som ljuset behöver för att färdas motsvarande sträcka. Till månen är det drygt en ljusekund medan Neptunus, den yttersta egentliga planeten i vårt solsystem, ligger ungefär 10 000 gånger längre bort, ca 4 ljusstimmar. Men det närmsta stjärnsystemet, Alfa Centauri är ännu 10 000 gånger mer fjärran, drygt 4 ljusår bort.

Spekulationer om tänkbara resor till stjärnorna har funnits länge och även ett antal seriösa tekniska studier har gjorts. Även om sådana färder nog inte är aktuella inom en överskådlig tid, görs sådana grundläggande studier inom astronautiken, rymdfartsforskningen (alltså inte rymdforskningen). För att restiden till de mest

närbelägna stjärnorna ska kunna begränsas till 50 år, säg (alltså göras inom en generation), måste man uppnå hastigheter kring en tiondedel av ljusets. Man kan tänka sig mycket stora rymdfarkoster som drivs fram av en rad små vätebombsexplosioner eller också extremt små sonder med speglade ytor som får upp hastigheten genom att bestrålas med kraftigt ljus från högeffektlasrar någonstans i jordens närhet, kanske på månen. Idéer om sådana ultralätta rymdsonder utvecklades redan på 1980-talet men har nyligen fått ökad aktualitet i och med utvecklingen av mikroelektronik, nanoteknologi och möjligheter att skapa stora men extremt lätta speglar, kanske gjorda av tunna kolskikt i form av grafen.

Om vi hade en annan sol?

Svårigheterna att färdas till andra världar beror i mycket på att vi lever i ett planetsystem med endast en enda säkert beboelig planet och vår sol befinner sig i en ganska gles del av Vintergatan. Men om vi i stället bodde i ett planetsystem med tätt mellan planeterna? Gör man tankeexperimentet att man låter Venus och Mars byta plats i vårt planetsystem, får vi plötsligt tre beboeliga planeter i stället för bara en: Venus svalnar ute på Mars avstånd men håller sig ändå varm tack vare sin kraftiga drivhuseffekt medan Mars tinar upp i värmen nära solen. Lokaltrafiken mellan dessa tre planeter skulle nog kunna vara en god grund för att utveckla rymdfart. Och kring andra stjärnor har vi redan funnit planetsystem med flera planeter i banor helt nära varandra, platser där man kan börja spekulera om pendeltrafik i rymden.

Detta gäller alltså planeter i samma system. Men även stjärnor ligger mycket olika långt från varandra. Hade solen varit en typisk dubbelstjärna, skulle den andra solen kunnat ligga på kanske bara tio gånger avståndet till Neptunus och vi hade haft en stjärna 1000 gånger närmre och mycket mer åtkomlig än vad vi har i dag. En del av Vintergatans stjärnor ligger samlade i klotformiga stjärnhopar, där det är tätt mellan stjärnorna. I deras centralare delar kan finnas hundratals stjärnor inom samma avstånd som vi har till vår granne Alfa Centauri. Detta skulle givetvis underlätta interstellära resor till närbelägna stjärnor men å andra sidan kan livet där vara behäftat med andra risker. Om någon annan stjärna i sin bana skulle råka passera helt nära, finns det risk att en planet blir störd i sin bana och kanske rentav slungas iväg från sin sol.



Figur 13: Den klotformiga stjärnbopen Messier 10, en rund samling av hundratusentals stjärnor i Ornbärarens stjärnbild, kan ses redan i ett litet amatöriteleskop. Denna bild från Hubbleteleskopet upplöser enskilda ljusare stjärnor i hopens centrala delar, vars utsträckning är ett tiotal ljusår. Här ligger stjärnorna mycket tätare än i vår del av Vintergatan. Foto: NASA/ESA.

Astrobiologins mål?

Sedan urminnes tider har människor grubblat på möjligt liv utanför jorden och ibland kan man undra om det går att formulera något uttalat mål för allt detta sökande. Kanske den skånske astronomen Tycho Brahe (1546-1601) gav ett svar redan på sin tid. På hans slott *Uraniborg* på Ven fanns de latinska inskriptionerna "*Suspiciendo despicio*" – "då jag ser upp, så ser jag samtidigt ner" samt "*Despiciendo suspicion*" – "när jag ser ner, ser jag samtidigt upp". Himlen och jorden var egentligen varandras spegelbilder och deras studier var förenade. På Tychos tid kanske det var mer en kombination av alkemi och astrologi snarare än dagens kemi och astrofysik men den grundläggande tanken på att kunna förena det stora och det lilla – rymden över oss och jorden under oss – är ändå fundamental i letandet efter liv utanför jorden och för förståelsen av människans plats i kosmos.



Lästips

Catling, David C. (2014) *Astrobiologi* Fri Tanke

Dunér, David (red.) (2013) *Extrema världar – Om sökandet efter liv i rymden* Pufendorf-institutet

Flammarion, Camille (1866) *Bebodda världar eller vilkoren för himlakropparnas beboelighet*, L.J.Hiertas förlag

Linde, Peter (2013) *Jakten på liv i universum* Karavan förlag

Lundmark, Knut (1935) *Livets välde. Till frågan om världarnas beboelighet* Albert Bonniers förlag

Mustelin, Nils (1978) *Liv bland miljarder stjärnor. Civilisationer i Vintergatan och där-bortom?* Natur och Kultur

Nilsson, Peter (1980) *Främmande världar. Liv i kosmos* Rabén & Sjögren
Rådbo, Marie (2012) *Finns det liv i rymden?* Opal [Främst för yngre läsare]

Stenholm, Björn (red.) (2012) *Astrobiologi* Liber

Valtaoja, Esko (2003) *Hemma i världsrymden* Söderström & Co/Atlantis

Livstecken

Sökandet efter liv i främmande världar

David Dunér

Du går på en okänd strand vid ett oändligt hav. Du finner vad du först tror är en vanlig sten, men när du lyfter upp den och tittar närmare på den, ser du att den har ett intrikat mönster. Den är regelbundet räfflad, spiralformad, belt annorlunda alla andra stenar på stranden. Längre bort i vattenbrynet ser du en grå massa som rör sig och försvinner ner i havet. Du går vidare och finner märken i sanden, parvisa trekantiga märken som du kan följa med blicken som om de var på väg i en bestämd riktning. Till slut finner du cirklar, trianglar och geometriska figurer liksom om de vore inristade av någon och innehöll en inre mening. Är det tecken på att något levande funnits och ännu finns på denna strand vid det okända?

Några forskare studerar en meteorit i ett laboratorium och finner tubliknande strukturer. En rymdsond landar på Mars yta, borrar sig ner i den röda sanden och dess instrument ger strax utslag att några intressanta molekyler finns där gömda under Marsytan. Ett stort teleskop riktas mot en avlägsen planet. Några astronomer analyserar ljuset från denna främmande värld som visar ovanliga proportioner av gaser i dess atmosfär. En natt fångar ett radioteleskop in okända radiosignaler från yttre rymden som bryter av det vanliga brusset i universum. Är det tecken på liv?

Vår levande jord är en av många miljarder planeter i vår vintergata, en bland många miljarder andra galaxer i vårt universum. Är detta den enda plats där liv växer, frodas och går under eller finns det måhända otaliga andra världar, med sina hav, stränder, kontinenter och levande varelser? Detta är vad astrobiologin försöker besvara, det vill säga det mångvetenskapliga utforskandet av livets ursprung, utveckling och förekomst i rymden (se även Dravins kapitel). Om vi inte kan färdas till dessa främmande världar, skulle vi i stället kunna studera dem på avstånd och söka efter tecken på liv? Det mest sannolika scenariot i sökandet efter liv i rymden är att vi en dag upptäcker tecken på liv på andra planeter, inte att vi håller detta liv i handen, men finner de spår som biologiska processer lämnar efter sig. Dessa så kallade biosignaturer är i sig själva inte liv, men skulle kunna avslöja särskilda biokemiska processer som har sitt ursprung i utomjordiskt liv. Detta är vad

astrobiologerna hoppas kunna upptäcka en dag, livstecken, för vi kommer sannolikt inte att inom överskådlig framtid komma på sätt att resa till andra planeter, så kallade exoplaneter, utanför vårt solsystem. Men hoppet om att finna liv på andra planeter och månar inom vårt eget solsystem har inte givits upp. I något avlägset hörn av vårt solsystem kanske det, hoppas man, gömmer sig mikrober eller encelliga mikroskopiska organismer, men några mer komplexa former av liv är det nog osannolikt att vi finner. Hur som helst, det framstår som alltmer uppenbart att bland de hundratals miljarder stjärnor som finns i vår vintergata kan det finnas många miljoner jordliknande planeter varav många kan vara beboeliga och ha de rätta förutsättningarna för att liv ska uppstå och trivas. Även om vi inte i en nära framtid kommer att kunna se dessa varelser framför oss, inte ens kunna se dessa planeters ytor, är det fullt möjligt att vi inom en snar framtid skulle kunna förfinna våra metoder och observationer så att de en dag låter oss upptäcka tecken på liv.

Utmaningen är att kunna tolka dessa tecken, att utifrån speciella fenomen dra slutsatsen att de måste vara tecken på liv. För att lyckas med detta måste det, förstås, finnas liv som vi kan upptäcka. Vi måste också ha tekniska möjligheter och metoder för att finna det. Men detta är inte tillräckligt. Vi är också utlämnade till vårt eget tänkande och de vetenskapliga metoder och samarbeten som står oss till buds och som är ett resultat av människans korta historia och kultur. Biosignaturer kan vara av många olika slag, det kan röra sig om kemiska substanser som grundämnen och molekyler som har samband med biologiska processer, det kan vara geologiska och mineralogiska formationer skapade av biologisk aktivitet, men också om fysiska föremål som strukturer eller former som liknar levande organismer, och om fysiska fenomen som elektromagnetisk strålning, ljus och temperatur. De kan variera i storlek från atomer till planeter, kanske till och med i storleken av hela solsystem. Vi kan söka efter dem på plats på våra närmaste planeter och månar eller upptäcka dem på avstånd genom att analysera främmande planeters atmosfärer. Biosignaturerna kan vara tecken på både levande och dött liv, liv som finns just nu och liv som en gång har funnits, liv som vi känner det eller ett fullständigt annorlunda sorts liv, bortom våra vildaste fantasier. Det här kapitlet syftar till att lyfta fram några frågor människan ställs inför i sökande efter livstecken, hur vi skapar begrepp och analogier, hur vi tolkar vår omgivande värld och skänker den mening.

Det mångtydiga livet

Den stora utmaningen när vi söker efter tecken på liv är att avgöra om dessa verkligen har sitt ursprung i biologiska processer eller har uppkommit genom olika geologiska, kemiska eller fysiska processer som inte alls har med liv att göra. Hur skiljer vi liv från icke-liv? Vad är liv egentligen? Om vi söker efter något som vi kallar liv, så borde vi åtminstone ha någon sorts föreställning om vad detta är. Det kanske framstår som självklart för oss vad liv är, men i själva verket är det svårare

än vad vi först tror att ge en tydlig definition av liv. Frågan om hur liv ska definieras är en av de mest omdebatterade frågorna inom astrobiologin och en rad försök till definition har lagts fram genom åren utan att man kommit fram till en definition som alla kan ansluta sig till (se Abbotts och Perssons kapitel).

När vi studerar den stora variationen av olika livsformer på vår jord finner man ett antal egenskaper som de delar genom att de har ett gemensamt ursprung. De består av kol, de behöver energi, flytande vatten och andra ämnen – som kväve, fosfor och svavel – som finns i den omgivande miljön, men i andra proportioner. Liv på jorden uppvisar vanligtvis en ordnad struktur, förmåga att reproducera sig, de kan växa och utvecklas, anpassa sig till miljön och bevara sin inre miljö oberoende av den yttre miljön. Definitioner av liv kombinerar ofta särskilt förmågan till ämnesomsättning, reproduktion och evolution. En av de populäraste definitionerna, NASA:s ”arbetsdefinition” definierar liv som ”ett självbevarande kemiskt system med förmåga till evolution”. Utgångspunkten är att en definition av liv bör vara en hjälp för oss att avgöra om det vi finner är liv, men samtidigt vara tillräckligt bred, så att den också omfattar liv som inte liknar det liv som vi känner från jorden. Svårigheten här är att vi bara känner till ett slags liv, en enda levande planet, vår egen, och vi vet ännu inte riktigt hur livet en gång uppstod på denna planet. Även om vi vet vilka egenskaper som utmärker allt liv på vår jord, vet vi inte om dessa är specifika för vårt slag av liv, genom att de har ett gemensamt evolutionärt ursprung, eller om de också utmärker allt annat liv ute i rymden. Utan några ytterligare exempel på liv kan vi inte veta om vårt begrepp om liv är universellt, eller bara gäller för det enda exempel på liv vi råkar känna till. Eventuella framtida upptäckter av liv bortom jorden kommer sannolikt att utmana våra föreställningar om vad liv är.

Livstecken är tvetydiga. Frågan gäller hur vi ska skilja verkliga livstecken från tecken som påminner om livstecken men i själva verket har ett icke-biologiskt ursprung. Å ena sidan måste vi undvika att förväxla livstecken med sådana tecken som påminner om livstecken men inte är det, å den andra att undvika att förbigå tecken som vi inte uppfattar som tecken på liv men som i själva verket har sitt ursprung i en biologisk aktivitet. Det här problemet gäcker geologer som söker efter de tidigaste spåren av liv på vår jord, men också när forskare analyserar stenprover från Mars. Den 19 juni 1976 landade rymdsonden Viking 1 i Chryse Planitia på Mars, kort därefter den 7 augusti samma år landade en annan sond, Viking 2 i Utopia Planitia (Figur 1). Båda var utrustade med vetenskapliga instrument med vilka man hoppades kunna hitta tecken på liv, det vill säga sådana organiska molekyler som utmärker liv på jorden eller gaser som konsumeras eller produceras i jordliknande livsformers ämnesomsättning. Trots en välutrustad expedition med den allra senaste tekniken blev resultatet tvetydigt och har sedan dess omdebatterats.



Figur 1: Utopia Planitia, Mars. Ett tunt lager av frost ligger över den steniga ytan bestående av vatten och sandpartiklar. Bild tagen av rymdsonden Viking 2 den 18 maj 1979. Foto: NASA/JPL.

Jordtvillingar

Vi känner till endast en levande planet och allting som lever på den planeten är besläktat, har ett enda gemensamt ursprung. Inom astrobiologin antas att denna planet, förutom att den är levande, inte utmärker sig genom några unika egenskaper. Det finns miljarder av stjärnor där ute av samma slag som vår sol och med största sannolikhet finns det miljoner, kanske miljarder jordliknande planeter som uppvisar i det närmaste identiska fysiska egenskaper som vår planet. Jorden är en

tämligen alldaglig himlakropp. Det finns inget uppseendeväckande med den. Om det stämmer, så öppnar detta för ett sökande efter jordtvillingar som rimligtvis borde vara mycket vanliga i universum. Om det finns liv här på jorden, varför skulle det då inte också finnas liv på jordens tvilling? Skulle det inte finnas liv där, så behöver vi en rimlig förklaring till vad det är som gör vårt levande klot unikt i universum.

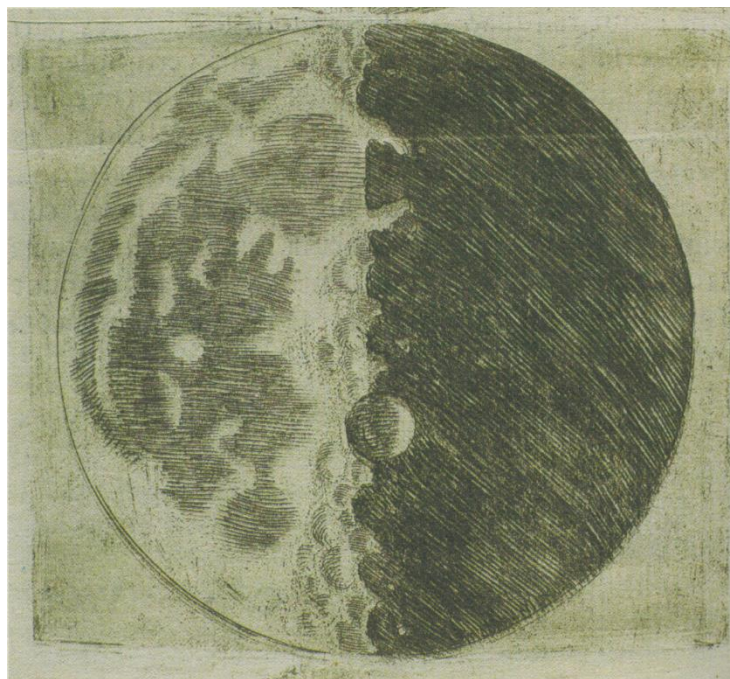
Astrobiologin utgår ofta från en sorts analogiresonemang, det vill säga utifrån det vi vet drar vi slutsatser om det vi inte vet. Vi utgår från vår kunskap om den enda form av liv vi känner till – liv på jorden – och går sedan vidare och söker efter liknande livsformer på andra planeter. Vi letar alltså efter det slags liv vi känner till, med andra ord något som behöver flytande vatten, som består huvudsakligen av kolföreningar, som bebor en planet av viss storlek, gravitation, atmosfär, kemi och temperatur, som kretsar kring en stjärna av samma slag som vår sol i en bana, inte för nära, inte för långt ut, just där vattnet inte förångas eller fryser, utan håller sig flytande. Ett sådant analogiresonemang kan tyckas som en rimlig arbetshypotes, men innebär dock vissa svårigheter. Kan vi till alla nödvändiga eller tillräckliga förutsättningar för liv? Samtidigt begränsar vi vårt sökande till en sorts liv som vi råkar känna till, och kanske därigenom förbiser andra, kanske mycket annorlunda livsformer som vi inte ens kan föreställa oss. Till detta kommer också evolutionens oförutbestämbarhet, att det tycks finnas vissa tillfälliga händelser som vi inte kan förutse, men som väsentligt påverkar den riktning som evolutionen tar. Om inte en asteroid för 65 miljoner år sedan mellan krita och tertiär hade slagit ner vid nuvarande Yucatánhalvön och som innebar själva dödsstöten för dinosaurierna, så hade kanske inte vi människor utvecklats och evolutionen tagit en annan riktning. Vi själva är delvis resultatet av en slump. Frågan är alltså: Om alla ingredienser för liv finns för handen, måste detta med nödvändighet leda till uppkomsten av liv? Är liv en naturlig konsekvens av materiens lagbundna processer?

Det finns en risk att förväxla nödvändiga villkor med tillräckliga. Om flytande vatten är ett nödvändigt villkor för liv, så är det bara ett i raden av andra nödvändiga villkor som alla måste finnas för att en planet ska vara beboelig. En upptäckt av en atmosfär, även om den innehåller de rätta kemiska ingredienserna inklusive vatten, är inte tillräckligt för att bevisa att liv existerar på dess yta. Ofta genom astrobiologins historia har man försökt, utifrån fyndet av några nödvändiga villkor bland en större mängd nödvändiga villkor, leda i bevis existensen av liv. Frågan är dock om vi känner till alla nödvändiga egenskaper som måste finnas eller om det finns okända villkor för liv som vi ännu inte känner till. Så länge vi inte känner till dem, så kan vi bara dra slutsatsen att planeten ifråga kan vara beboelig, inte att den verkligen är bebodd. Ändock kan ett analogiresonemang ha vissa metodologiska fördelar som ett sätt att börja leta efter liv. Jordtvillingsanalogin kan inte bevisa att liv måste finnas på andra platser i rymden, men det ger oss öppningar för en teoretisk möjlighet att liv kan existera bortom jorden. Ett enda exempel på

liv är en svag empirisk utgångspunkt, men inte heller ett stort antal möjliga jordtvillingar tvingar oss att dra slutsatsen att liv måste finnas på andra planeter. Men det är en teoretisk möjlighet att så är fallet.

Främmande berg och dalar

Hösten 1609 vände den italienske vetenskapsmannen Galileo Galilei sitt egentillverkade teleskop mot månen. För första gången kunde en människa teckna av månens yta sedd genom ett teleskop (Figur 2). I *Stjärnornas budbärare* (Sidereus nuncius) från 1610 drar han utifrån sina observationer analogier mellan månen och vårt klot. Månen uppvisade berg och därför var den av samma solida, ogenomskinliga och skrovliga natur som jorden. Den ojämna gränsen mellan dess mörka och belysta sida var oförenlig med idén om ett perfekt runt klot. Galilei skrev att ingen vill då med sinnenas visshet anta att månen har en slät och polerad yta, utan är grov och ojämn och, liksom jordytan, överallt är full med stora utskjutande delar, djupa klyftor och veck. Månen framstod som slät i dess kontur, på



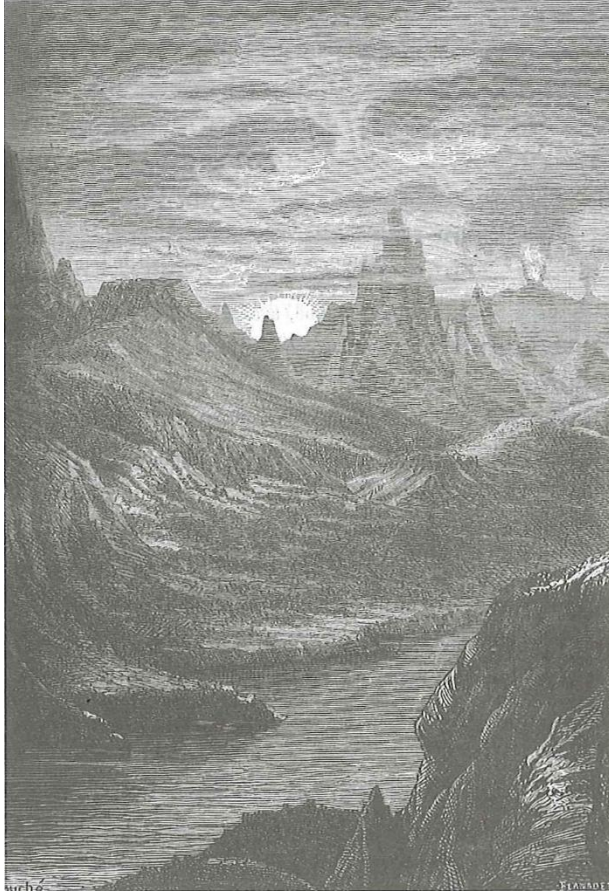
Figur 2: Galileo Galilei riktade den 30 november 1609 sitt teleskop mot månen och fann en värld av berg, dalar och slätter. De första bilderna av månen sedd genom ett teleskop publicerades i hans bok *Stjärnornas budbärare* (Sidereus nuncius, 1610).

grund av, antog han, att den kanske hade en atmosfär. Även om han inte drog några djärvare slutsatser utifrån analogier med jorden, så såg han det inte som omöjligt att det skulle kunna finnas invånare på andra klot. Men vi kan inte heller, menade han, ta det för givet att liv på andra platser i universum måste likna vårt eget. Senare i sin *Dialog om de två världssystemen* (Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, 1632) konstaterade han att det inte finns vatten, ingen fuktighet, inga hav på månen, och därför inte heller något liv.

Den holländske vetenskapsmannen Christiaan Huygens uttryckte tanken i sin bok *Cosmotheoros* (1698) att det var mycket sannolikt att det fanns liv på andra planeter. Han antog att flytande vatten är nödvändigt för liv. Han såg också mörkare och ljusare fläckar på Mars och Jupiters yta, vilka han tolkade som bestående av vatten och is. Bortom vårt solsystem finns det stjärnor liknande vår sol, och han frågade sig, varför inte dessa stjärnor skulle kunna ha sina egna planeter med egna månar. Vad gäller Venus antog han att den omgärdas av en tjock atmosfär. Han kunde visserligen inte klart urskilja några fläckar på dess yta, vilka skulle kunna vara tecken på hav och berg. Kanske finns det inga hav på Venus, tänkte han, eller som han antog var mer sannolikt, luften och molnen kring Venus reflekterade nästan allt ljus från solen.

De första mer säkra observationerna av Venus genom ett teleskop, efter Galileis upptäckt av Venus faser, gjordes under Venuspassagen den 6 juni 1761. Många observatörer rapporterade vissa fenomen när Venus passerade över solskivan som de antog orsakades av en atmosfär kring Venus. Vissa fakta om denna planet var välkända för de flesta astronomer, som till exempel dess bana kring solen, dess storlek och faser. Men om den hade en atmosfär och en topografi var ännu okänt. Observationerna av Venuspassagen 1761 förändrade situationen. Förutom att passagen gav möjlighet till att beräkna avstånden i vårt solsystem i ett av vetenskapshistoriens första större internationella samarbeten, kunde observationerna avslöja något om Venus egenskaper. Man utgick från att det inte fanns någon större skillnad mellan jorden och Venus. Båda var planeter som kretsade kring solen, de var av liknande storlek, båda solida, och som några astronomer antog, så hade Venus också berg och en atmosfär. Om det finns liv på jorden, så bör man också ställa sig frågan om det inte då också borde finnas liv på Venus. Om vi kan bestämma Venus rotation kring sin axel och upptäcka en atmosfär och berg på dess yta, så kanske man kan dra slutsatser om den eventuella existensen av liv. Under 1600- och 1700-talen försökte man just besvara dessa frågor. Den ryske vetenskapsmannen Michail Lomonosov argumenterade för att hans observationer under Venuspassagen 1761 stödde tanken på existensen av atmosfär kring Venus. Eftersom existensen av en atmosfär hade bevisats, menade han, så skulle vi kunna dra slutsatsen att den också är bebodd.

Johann Elert Bode vid observatoriet i Berlin antog år 1801, i linje med sin landsman, den tyske astronomen Johann Hieronymus Schröter, att det fanns berg och dalar på Venus. Han slog fast att om Venus hade land och hav, berg och dalar,



Figur 3: Bergen på Venus södra halvklot, enligt Camille Flammarion, *Jordkloten i rymden* (*Les terres du ciel*, 1877).

öppna ytor och kondensation i dess atmosfär, samt hade en måne, så vore den fullständigt lik vår jord och följaktligen också beboelig. Den franske populärastronomen Camille Flammarion menade i den vitt lästa *Bebodda världar* (*La pluralité des mondes habités*, 1862) att det var absurt att solen fanns endast för att belysa och värma vår lilla jord, i synnerhet med tanke på att Venus visade sig vara en planet av samma storlek som jorden, med berg och slätter, årstider och år, dagar och nätter i likhet med vår egen planet (Figur 3) (mer om Flammarion finns att läsa i Dravins kapitel). Överensstämmelsen vad gäller fysiska egenskaper innebar, menade han, att de också hade liknande funktion i universum. Om Venus saknar invånare, så måste på motsvarande sätt också jorden sakna det, och omvänt, om jorden är bebodd, så måste också Venus vara bebodd. I ett senare verk från 1880 i populär astronomi säger han om Venus, att denna värld skiljer sig lite från vår i storlek, massa och densitet, i dagarnas och nätternas längd. Därför borde den

också vara bebodd av växter, människor och djur, inte mycket annorlunda de vi finner på vår planet.

Dessa och liknande analogiresonemang i den tidiga astrobiologin kan karakteriseras som ett sökande efter så många likheter som möjligt, i synnerhet de som antogs vara av särskild betydelse för att anses kunna påvisa en beboelig miljö. Förutom förhållandet att både jorden och Venus var solida planeter av liknande storlek som kretsade kring samma sol och därigenom utsattes för dess ljus och värme, så menade vissa astronomer att de båda dessutom hade nästan exakt samma rotation kring sin axel, hade var sin måne, atmosfär, liksom berg och hav. Om jorden och Venus är perfekta tvillingar, så måste det också finnas liv på Venus.

Även inom modern astrobiologi, under de senaste två decennierna, finner man liknande analogiresonemang. Man har bland annat gjort ett antal experiment rörande jordiskt liv som en sorts förberedelse inför efterforskningar av liv på andra himlakroppar. Tecken på liv på jorden har använts som modeller för möjliga utomjordiska livstecken. Om vi betraktar oss själva utifrån, skulle liv på jorden vara möjligt att upptäcka från rymden? Astronomen Carl Sagan föreslog 1993 att man utifrån Galileosonden skulle studera det ljus som reflekteras från jordytan för att se om det uppvisade tecken på liv. Resultaten visade att vatten, syre, ozon, koldioxid, kolmonoxid, metan med mera kunde identifieras i jordens atmosfär. Tjugo år senare gjordes ett försök av ytterligare några forskare med ”Det mycket stora

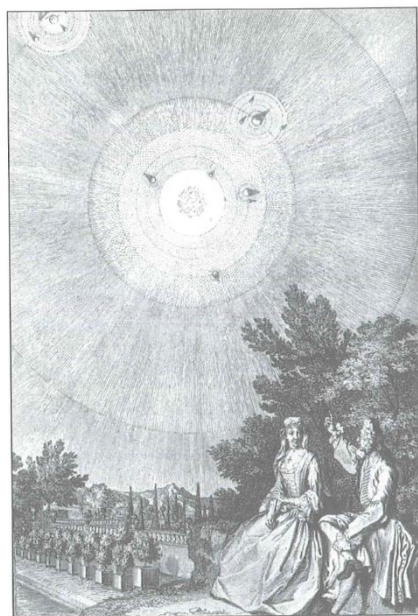


Figur 4: Jordsken över Paranal-observatoriet i Chile, med planeterna Mercurius och Venus. Foto: ESO/B. Tafreshi, 2011.

teleskopet” (The Very Large Telescope, VLT) i Atacamaöknen i Chile för att studera ”jordskenet”, det vill säga det ljus från jorden som reflekteras mot månens yta, vilket ses som ett gråaktigt ljus från den sida av månen som inte belyses av solen (Figur 4). Analysen av detta jordsken visade att jordens atmosfär bestod av moln, att dess yta delvis var täckt av hav och att den hade vegetation. Tanken var alltså att genom att studera hur jorden ser ut från rymden, så skulle man kunna få ledtrådar inför framtida analyser av främmande planeter och deras atmosfärer.

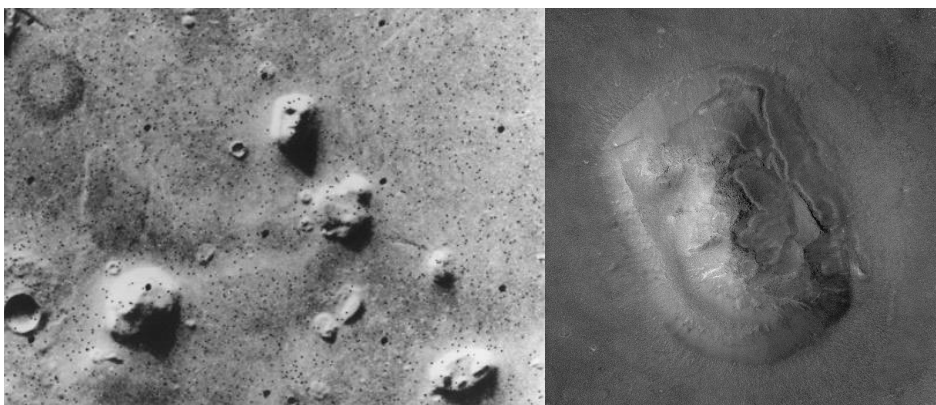
Nyfikenhet och dåliga ögon

Under en promenad i en vacker slottspark tillsammans med en förnäm och vetgirig markisinna, lägger filosofen i Bernard de Fontenelles *Samtal om världarnas mångfald* (*Entretiens sur la pluralité des mondes*, 1686) fram påståendet att all filosofi (det vill säga i betydelsen naturvetenskap) grundar sig på två ting: nyfikenhet och dåliga ögon (Figur 5). Vi vill veta mer än vad vi kan se. Filosoferna misstror det de ser och försöker gissa sig till det de inte ser. I modern astrobiologi tycks det liv vi söker ständigt vara bortom det vi vet och kan se. Observationerna är osäkra och otydliga. Det som våra sinnen förmedlar måste därför tolkas utifrån



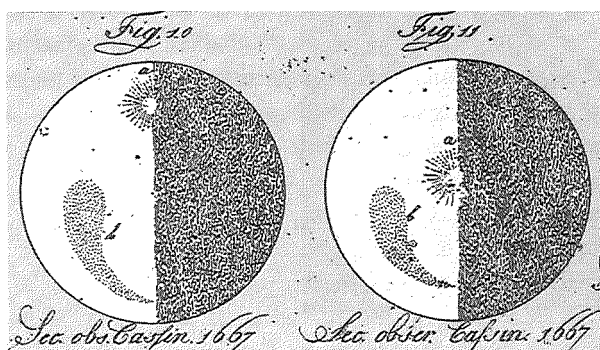
Figur 5: Bernard Le Bovier de Fontenelle, *Samtal om världarnas mångfald* (*Entretiens sur la pluralité des mondes*, 1686), bär ur en upplaga från 1687.

våra förståndsgåvor och den tolkning vi gör av det vi observerar utgår från våra förkunskaper och våra begrepp. Våra observationer är inte oavhängiga våra teorier, tvärtom, vi behöver teorier för att förstå det vi ser och våra förkunskaper och förväntningar leder oss i en eller annan riktning. Ibland förleds vi till felaktiga slutsatser. Inte sällan ser vi det vi hoppas och förväntar oss att se. När astronomerna studerar främmande världar i sina teleskop formas alltså deras tolkning av det de redan vet. Observatören tar inte bara passivt emot bilder och intryck från yttervärlden, utan med sitt tänkande söker han eller hon efter mönster och tolkar dessa intryck både utifrån sina mänskliga förmågor och utifrån sin vetenskapliga kultur. Man skulle kunna säga att världen förvrängs av våra begrepp, liksom våra begrepp förvrängs av världen.



Figur 6: Ansiktet på Mars, klippor i Cydonia Mensae-regionen. Den vänstra bilden togs av Viking 1 den 25 juli 1976 och skapade uppståndelse genom sin likhet med ett mänskligt ansikte. Kunde det vara ruinerna efter en forntida marsiansk civilisation? Mars Global Surveyor passerade över samma område 2001 och visade ett vindpinat, eroderat berg vars skuggspel lurade ögat att se ett ansikte. Ett exempel på pareidolia, människans benägenhet att söka efter ansikten. Foto: NASA/JPL.

Den 28 maj 1776 observerade den i England verksamme astronomen William Herschel ”växande substanser” på månen som han antog var stora skogar bestående av träd upptill sex gånger högre än våra träd. Hans månobservationer visar hur svårt det är att se och komma fram till säkra slutsatser om vad man ser. År 1778 antog han dessutom att månkratrarna skulle kunna vara måninvänarnas städer. Han såg cirkelformade byggnader på månen, och han sade sig vara helt övertygad om att dessa otaliga små cirklar på månen var måninvänarnas verk, vilka skulle kunna kallas för deras städer. Herschel var inte ensam om att se spår av civilisationer på månen. I en artikel från 1824, ”Upptäckt av många tydliga spår av måninväsnare, särskilt av en av deras kolossala byggnader” (Discovery of Many

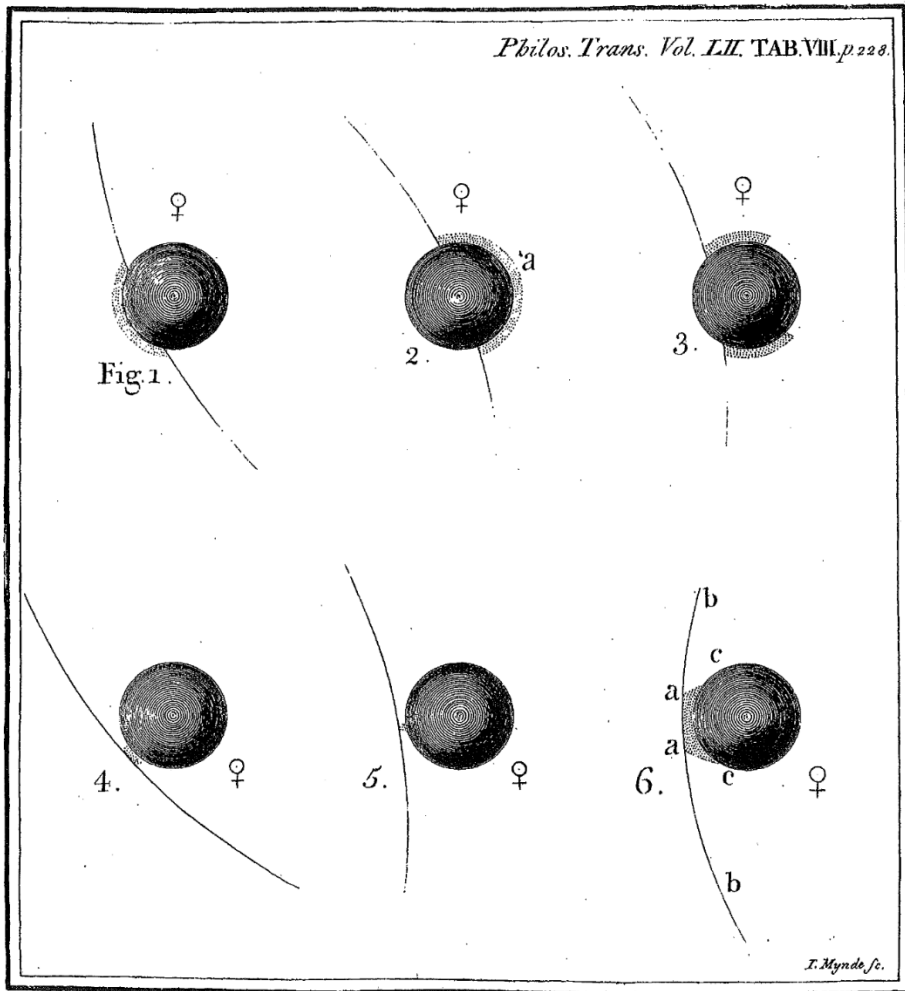


Figur 7: Giovanni Cassinis teckning från 1667 av Venus yta, ur Camille Flammarions *Les terres du ciel* (1877).

Distinct Traces of Lunar Inhabitants, Especially of One of Their Colossal Buildings) rapporterade den tyske astronomen Franz von Paula Gruithuisen att han bland annat hade observerat städer, fort, tempel och djurstigar på månen. Vad gäller de speciella lysande fläckar som man ibland kunde se på månens mörka yta hade Herschel förklarat som vulkanutbrott. En skotsk amatörastronom, Thomas Dick, skrev senare i mitten av 1800-talet att en mer tilldragande förklaring kunde vara att de var tillfälliga, praktfulla fyrverkerier som måninvånarna arrangerade under sina långa, mörka nätter. Astronomerna letar efter mönster, samband, mening. Ett sentida exempel på seendets sökande efter mönster är vår benägenhet att se ansikten omkring oss, som gubben i månen och ansiktet på Mars (Figur 6).

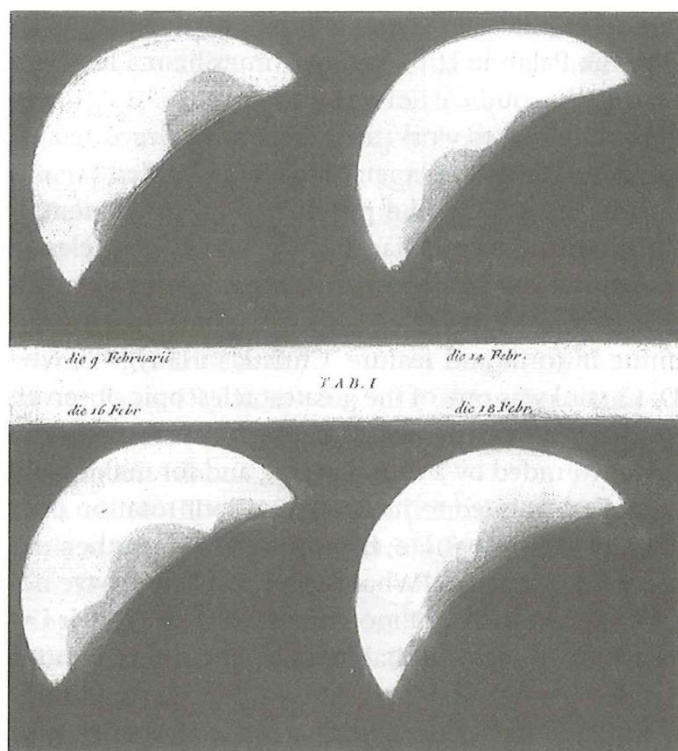
Venus atmosfär

Venuskartor från 1600- och 1700-talen uppvisar inte sällan berg och andra geologiska formationer. Även ett svagt ljus, bleka fläckar och linjer, till och med en beledsagande måne, tycks ha setts i teleskopet när man studerade Venus. Astronomerna tolkade sina otydliga observationer i linje med sina förkunskaper och tankar om hur världen var inrättad – och de fann ofta det de sökte. Om de trodde på existensen av berg och en atmosfär kring Venus, så fann de dem också. År 1645 lade den napolitanske astronomen Francesco Fontana märke till mörka fläckar i centrum av Venusskivan, som kan anses vara det första försöket att registrera detaljer på dess yta. En annan italiensk astronom, Giovanni Domenico Cassini, såg 1667 olika ljusa och dunkla fläckar utifrån vilka han gjorde den första beräkningen av Venus rotationstid (Figur 7). På 23 timmar och 21 minuter rörde den sig ett helt varv runt sin axel. Ytterligare en annan italiensk astronom, Francesco Bianchini, gjorde den första Venuskartan 1726 som anger både oceaner och kontinenter (Figur 8). Dimfria dagar, vid skymningen, kunde han se runda fläckar



Figur 8: Den ljusa ringen och den svarta droppen sett från Uppsala under Venuspassagen 1761. Torbern Bergmans brev i Philosophical Transactions (1762).

liknande de kratrar man kunde se på månen, och utifrån deras rörelse kunde han komma fram till en rotationstid motsvarande 24 dagar och 8 timmar. Föga anade de dock att Venus rotationshastighet egentligen var väsentligt långsammare – rymdsonden Mariner 2 uppmätte i december 1962 en rotationstid på hela 243 jorddagar. Det råder ingen tvekan om att 1600- och 1700-talens noteringar av formationer på Venus yta var rena optiska illusioner. Förutom det att den optiska kvaliteten hos tidens teleskop inte alltid var helt tillförlitlig och att väderförhållanden kunde märkbart påverka kvaliteten på observationerna, så innebar också tolkningen av observationerna att man kunde förledas i en viss riktning. Fontana,



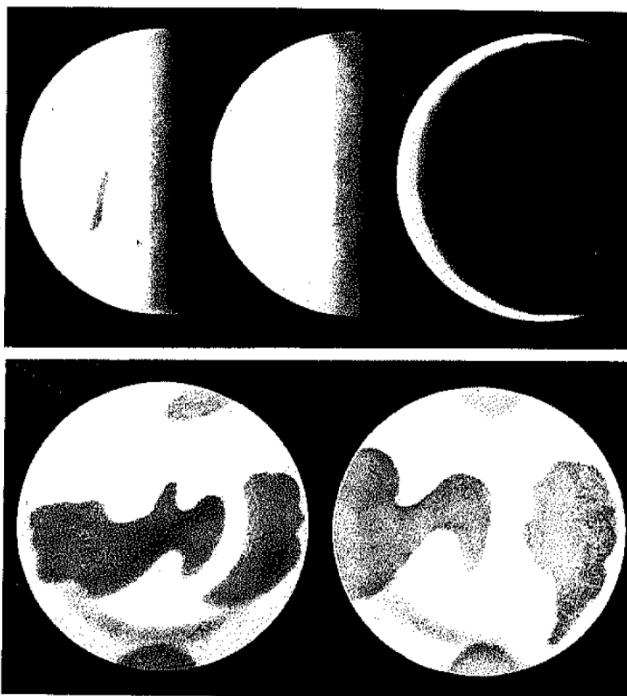
Figur 9: Francesco Bianchinis framställning av Venus i sitt arbete *Hesperii et phosphori nova phaenomena* (1728).

Cassini, Bianchini och andra astronoms osäkra observationer tvingade dem på ett eller annat sätt att tolka det de såg. Om de trodde på existensen av oceaner och kontinenter på Venus, så sökte de efter dem – och fann dem, eftersom deras förkunskaper och förväntningar ledde deras uppmärksamhet mot sådana tolkningar som överensstämde med vad de antog vara sannolikt. Illusionen hade sin grund inte enbart i bristerna i deras optiska utrustning, utan i deras tolkning av sinnesintrycken.

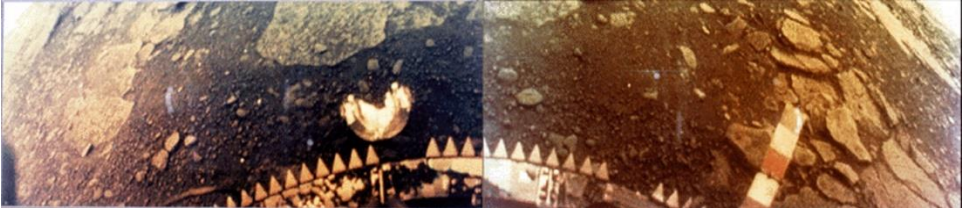
Under Venuspassagen den 6 juni 1761 observerades två oväntade fenomen: en ljus ring kring Venus och en ”svart droppe” i kontaktpunkten mellan Venus och solskivan (Figur 9). Den ljusa ringen observerades också den 3 juni 1769. Dess orsak debatterades, men de flesta var eniga om att den bevisade existensen av en atmosfär kring Venus. Vad gäller den svarta droppen, menade den svenske astronomen Daniel Melanderhjelm, hade också den sin orsak i Venus atmosfär. Sekretären i Kungliga svenska vetenskapsakademien, Pehr Wilhelm Wargentin, å andra sidan, menade att den i stället kunde förklaras som ett enkelt ljusbrytningsfenomen. Melanderhjelm observationer, sade han, var endast optiska villfarelser.

Den svenske fysikern Johan Carl Wilcke utförde ett antal experiment under sommaren 1769 som visade att samma fenomen uppstod ifall man höll upp ett mörkt föremål mot en ljus yta, utan att man för den skull behövde anta existensen av en atmosfär. Men hur som helst, varken Wargentin eller Wilcke betvivlade att Venus hade en atmosfär, men den svarta droppen kunde inte vara beviset.

I slutet av 1700-talet drabbade astronomerna Herschel och Schröter samman i en hetsig debatt rörande närvaron eller frånvaron av berg på Venus. De var dock trots allt samstämmiga vad gäller existensen av en atmosfär kring Venus. Det var välkänt för de flesta av tidens astronomer att Venus och jorden var i det närmaste perfekta tvillingar vad gäller storlek och massa. Det fanns därmed också skäl för att anta att dessa två planeter också hade liknande atmosfärer vad gäller omfattning och sammansättning. I februari 1788 observerade Schröter att den vanligtvis enhetliga ljusa skivan tycktes vara täckt av genomskinliga strimmor som han antog vara den yttersta delen av en tjock, molnaktig atmosfär (Figur 10). Därtill tycktes "hornen" på Venusskärans sträcka sig bortom halvcirkeln, vilket inte kunde vara fallet om den saknade en atmosfär. Den 28 december 1789 såg Schröter vidare att den södra änden av Venusskärans var trubbig och att där fanns en liten belyst fläck. Han observerade detta återigen både 1790 och 1791 och drog slutsatsen att det



Figur 10: Johann Hieronymus Schröters teckning av Venus atmosfär.



Figur 11: Det första fotot på Venus yta taget av den sovjetiska rymdsonden Venera 13 den 1 mars 1982. Foto: Union of Soviet Socialist Republics/NASA.

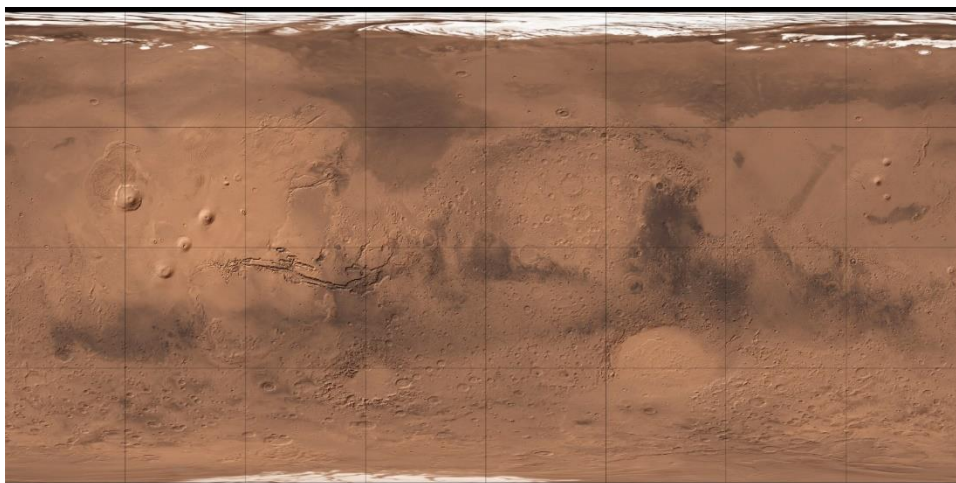
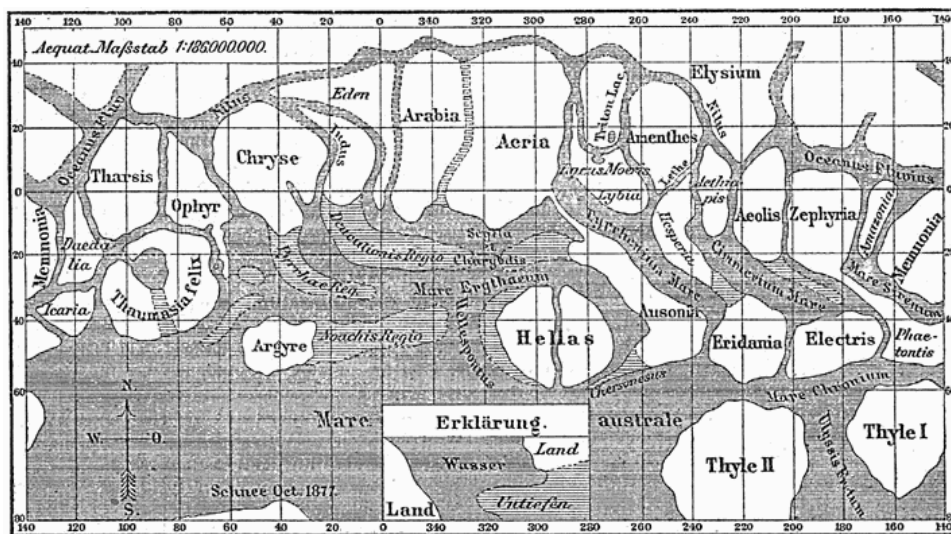
måste vara ett mycket högt, upplyst berg som fångade solens strålar. År 1793 vände Herschel sitt teleskop mot Venus, men kunde inte återfinna vad Schröter hade sett. Han intygade att Venus hade en atmosfär, men några höga berg, som Schröter påstod fanns, kunde han inte se. I *Philosophical Transactions* samma år skriver han ifråga om bergen på Venus, att inga ögon som inte är betydligt skarpare än hans eller assisterade av mycket bättre instrument, kommer någonsin att få en glimt av dem.

När Schröter, Herschel och andra studerade Venus såg de fenomen som krävde förklaringar och tolkningar. De tyckte sig se otydliga fläckar, streck, linjer, droppar, ett dunkelt ljus och skymten av en måne. Det askgrå ljuset, som syntes dunkelt över den icke solbelysta sidan av Venus, när den var halvmåneformad, rapporterades första gången 1643 av den italienske jesuiten och astronomen Giovanni Battista Riccioli. Även detta fenomen ledde till vissa tolkningar av det de tycktes se. Gruithuisen förklarade att detta ljus hade setts både 1759 och 1806, alltså med ett intervall på 76 Venusår. Hans lite besynnerliga förklaring var att detta uppenbarligen var ett resultat av offentliga festilluminationer för att hedra en ny kejsares bestigande av tronen. Emellertid modifierade Gruithuisen sin förklaring och i stället för en venusiansk kröning, så föreslog han att ljuset kunde vara orsakat av svedjebruk när venusianerna brände ner skog för att skapa jordbruksmark. Senare under 1800-talet skapade den nya spektroskopiska analysmetoden förhoppningar om att kunna upptäcka spektrallinjer för syre och vattenånga i Venus atmosfär. Vissa preliminära resultat tycktes understödja en sådan upptäckt. Först 1966–1967 när de ryska rymdsonderna Venera 3 och Venera 4 dök ner genom Venus täta molnmassa uppenbarade sig en mycket ogästvänlig miljö (Figur 11). En het, tryckande atmosfär, en värld lidande under växthuseffektens plågor.

Kanalerna på Mars

Ett av de mest kända exemplen i astrobiologins historia där planetskådarnas föreställningar och förväntningar visade sig bedrägliga är debatten kring Marskanalerna i slutet av 1800-talet (se även Dravins kapitel). Giovanni Schiaparelli vid

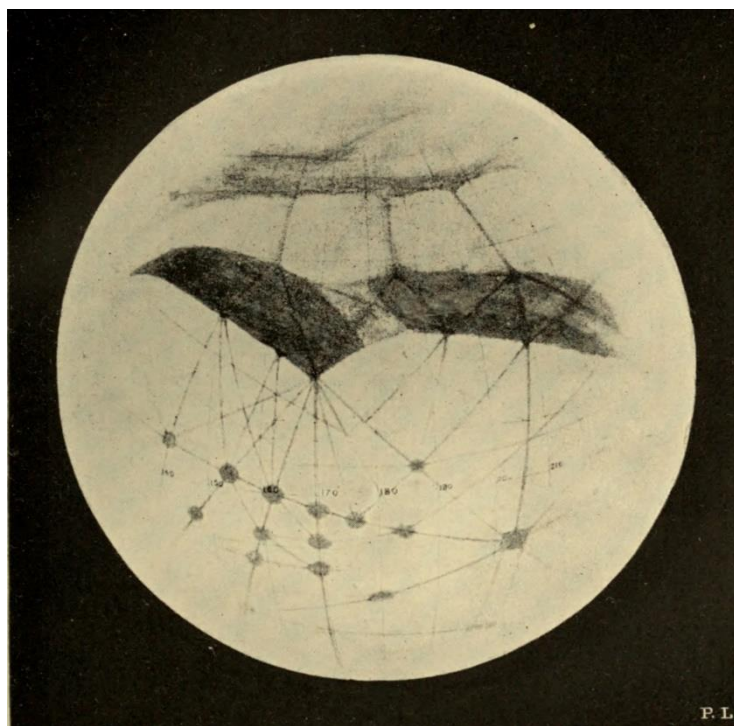
Brera-observatoriet i Milano gjorde 1877 detaljerade bilder av ett nätverk av kanaler på Mars (Figur 12). Till en början hade de flesta astronomer svårt att bekräfta dessa observationer, men under de följande årtiondena lyckades många återse det som Schiaparelli tyckte sig se. Den amerikanske amatörastronomen Percival Lowell bekräftade Schiaparellis ”upptäckter” och mer därtill – han ”upptäckte” hundratal Marskanaler, vilka han tolkade som ett konstgjort bevattningssystem skapat av intelligenta marsianer (Figur 13). I sin bok *Mars* (1895) hävdade han att han nu hade bindande bevis för en intelligent civilisation på en döende planet.



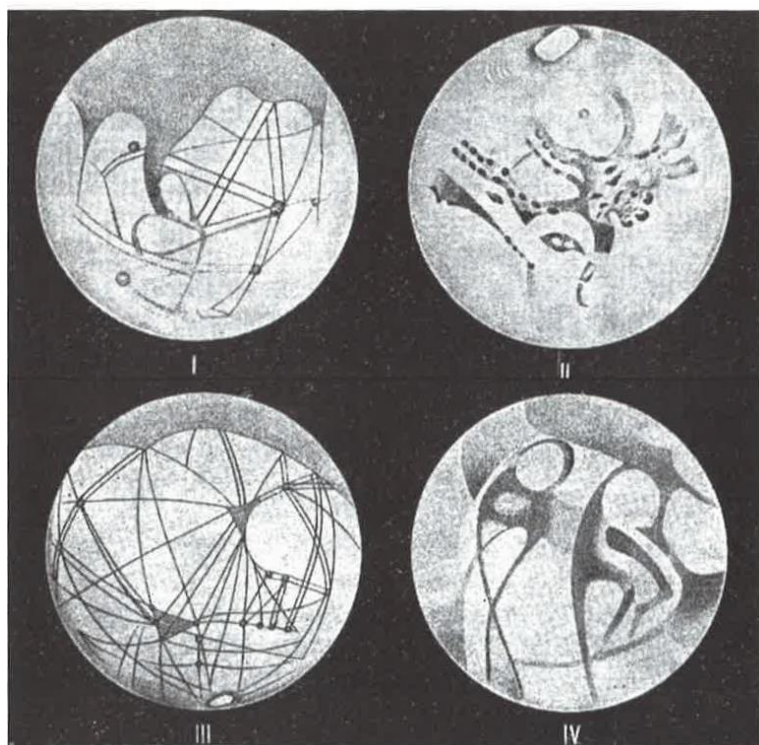
Figur 12: Giovanni Schiaparellis karta över kanalerna på Mars från 1888 jämförd med en modern satellitkarta.

Färgskiftningar på Marsytan observerades också, vilka togs som bevis för existensen av årstider och vegetation. Ytan förmörkades när våren var i antågande.

Men det fanns de som förhöll sig skeptiska till dessa uppgifter. Edward Walter Maunder vid Greenwich-observatoriet ifrågasatte dessa kanalobservationer som han menade endast var optiska illusioner. Ögat tenderar att föra samman detaljer som befinner sig bortom det synbaras gräns, förklarade han. Eugène Antoniadi, vid observatoriet i Meudon i Frankrike, använde sig av ett teleskop av högsta kvalitet, med vars hjälp han gjorde teckningar av specifika regioner på Mars, vilka han sedan jämförde med Schiaparellis teckningar av samma områden. Det visade sig att där Schiaparellis teckningar visade kanaler, där kunde Antoniadi endast finna otydliga detaljer, men inga kanaler (Figur 14). Antoniadis förklaring var att Schiaparellis kanaler hade skapats genom att binda samman fläckar på Marsytan eller genom att markera gränslinjerna mellan mörkare och ljusare regioner. I ett nummer från 1912 av den amerikanska tidskriften *Popular Science* kunde läsaren själv få en upplevelse av denna optiska illusion genom ett enkelt, praktiskt test bestående av slumpartade punkter (Figur 15). Vid den tiden hade de allra flesta astronomer övergivit denna fantasieggande tanke.

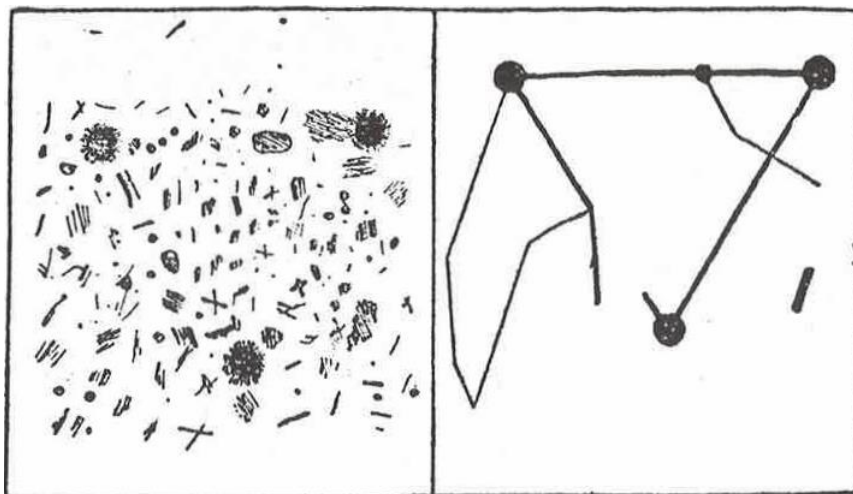


Figur 13: Konstgjorda kanaler på Mars, enligt Percival Lowell 1894.



Figur 14: Mars i det mänskliga ögat. Fyra tolkningar av en och samma planet: Schiaparelli 1877; Antoniadi 1909; Lowell 1909; och ett fotografi tagit samma år från Pulkovo-observatoriet utanför Sankt Petersburg.

Att kartera planeterna fordrade stort tålamod. Under långa vakande nätter tvingades man följa det skimrande ljusets förändringar i teleskopet som förvrängdes av jordens atmosfär. De suddiga bilderna som syntes i teleskopet var inte annat än otydliga sinnesintryck som avkrävde betraktaren tolkningar genom att applicera sina förkunskaper och begrepp på det som ögat förmedlade. Det aktiva seendet sökte efter regelbundenheter, ordning och begriplighet i observationerna. Berättelsen om människans observationer av månen, Venus och Mars säger oss något om det mänskliga ögats, hjärnans och handens osäkerhet när hon ställs inför svårtolkade fenomen. När människor söker efter livstecken, spanar de efter regelbundenheter, ordning och samband utifrån sina förkunskaper, förväntningar och teorier om verkligheten. Men hur binder vi samman det vi ser, livstecknet, med det som vi antar är dess orsak, det levande?



Figur 15: Har professor Lowell bedragit sig? Betrakta bilden från 20 fot och du kommer då se att fläckarna på den vänstra bilden kommer likna linjerna i den högra. Ur Popular Science (1912).

Livstecknet och det levande

Sökandet efter livstecken handlar mycket om hur vi upptäcker, skapar, dechiffre-
rar och tolkar samband mellan olika företeelser, mellan livstecknet och livet självt.
Först måste man förstå att det man ser just är ett tecken på liv och att det på något
sätt står i samband med något levande. I vårt vardagliga liv gör vi ganska enkelt
dessa sammankopplingar. När vi ser fotspår på stranden kan vi dra slutsatsen uti-
från våra tidigare kunskaper och erfarenheter vad för slags djur det är, hur stort
och tungt det är och i vilken riktning det är på väg. Emellertid när vi söker efter
livstecken på okända livsformer, om vilka vi inte har några som helst kunskaper,
blir våra slutsatser väsentligt osäkrare. Vi tvingas till en rad antaganden om sam-
banden mellan livstecknet och det liv det refererar till. Våra antaganden kan vara
oriktiga, vilket leder till felaktiga tolkningar, eller kanske ännu värre, vi misslyckas
med att upptäcka att tecknet innehåller mening, och förbiser därmed att tecknet i
själva verket är ett livstecken. Även om vi skulle ha goda skäl att anta att våra
teorier om sambandet mellan livstecknet och livet är vetenskapligt korrekta, så
måste vi därtill utesluta alla andra möjliga förklaringar till "livstecknet". Det kanske
visar sig att det vi först trodde var ett livstecken inte alls är det, utan har sin orsak
i en för oss okänd icke-biologisk process.

Livstecken blir meningsfulla först när någon tolkar dem och antar att de har en
specifik mening eller betydelse genom att upprätta ett samband mellan livstecknet
och det liv det tänks avslöja. Att söka efter livstecken är ett sätt bland många att

finna mening i de observationer och data som vi samlar in. Livstecknen finns inte bara där ute för oss att upptäcka. I någon mening finns de också i våra huvuden, i vår tolkning av världen, i samspelet mellan vårt tänkande och världen. Alltså, förutom livstecknet och det liv det betecknar, måste vi räkna in oss själva. Så vad astrobiologen gör är att försöka hitta dessa samband mellan uttryck och innehåll, det vill säga mellan livstecken och liv. Detta sökande efter samband sker i det mänskliga tänkandet.

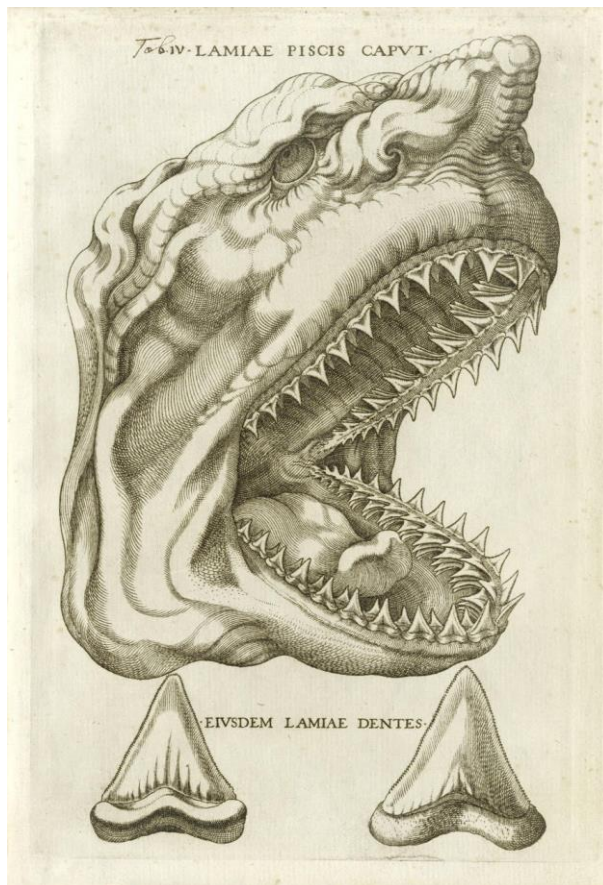
När astrobiologerna studerar ljuset från andra planeter eller radiovågor från yttre rymden försöker de välja ut de mest meningsbärande tecknen, de som antas vara de mest relevanta. Vad av allt detta vi tar emot är meningsfullt för oss och vad är bara ett meningslöst brus? Och vi behöver också kunna ge en rimlig förklaring till på vilket sätt tecknet på liv står i samband med liv och inget annat. På vilket sätt är en specifik gas ett resultat av ämnesomsättningen hos en för oss okänd levande organism? På vilket sätt är en viss form en kvarleva från en levande organisms anatomiska uppbyggnad? Vi måste med andra ord känna till de fysiska processerna som binder samman tecknet med det levande. Dessa samband mellan uttryck och innehåll är i huvudsak av tre slag, det kan vara en relation baserat på likhet, närhet eller konventioner. Hos ikoner (bilder) finns det en likhet mellan tecknet och dess objekt. Index bygger i stället på närhet eller kontinuitet med objektet, tecknet liksom pekar mot objektet. Och slutligen symboler, när det egentligen inte finns något fysiskt samband mellan livstecknet och det liv det refererar till, utan är en konvention eller vana. Astrobiologen är en sorts teckentydare i det okända.

Bilder av liv

När han vandrade på stranden och i bergen i Attika lade den grekiske filosofen Aristoteles märke till att de snäckliknande strukturer man kunde finna i klippbranterna liknade de som sköljdes upp på havsstranden. Är denna likhet bara en slumpmässig tillfällighet eller finns det i själva verket ett verkligt samband mellan de förstenade snäckformerna och de levande snäckorna i havet? Om det är så, hur kan det komma sig? Den persiske naturforskaren Ibn-Sīnā (Avicenna) lade i början av 1000-talet fram hypotesen att det skulle kunna finnas vissa vätskor som låg bakom denna försteningsprocess. Under många århundraden diskuterades om dessa så kallade figurstenar, som påminde om levande organismer, var fossiliserade havssnäckor eller just bara var naturens gyckelspel, och om de växte inne i stenen eller rentav var lämningar efter ett levande djur som dog ut med Syndaflo den. Den danske anatomen och geologen Nicolaus Steno fann 1665 när han vandrade i bergen i Toscana vassa trekantiga stenar som var mer eller mindre identiska med levande hajars rakbladsvassa tänder, varvid han drog slutsatsen att där det nu var höga berg, en gång har varit ett hav (Figur 16). Andra fynd som gjordes av geologer tycktes dock inte ha några nu levande motsvarigheter. I slutet av 1700-

talet började den franske paleontologen Georges Cuvier ana att dessa annorlunda fossiler i själva verket var lämningar efter nu utdöda arter.

Den begynnande kunskapen om fossiler kombinerades snart med tanken om utomjordiskt liv. Om meteoriter hade sitt ursprung i rymden, vilket man i början av 1800-talet hade börjat förstå, i stället för att vara uppkastade stenar från vulkaner, så skulle dessa kunna studeras med kemiska och geologiska metoder. Måhända kunde dessa meteoriter från yttre rymden innehålla spår av utomjordiskt liv, om inte av levande, så åtminstone av fossiliserad form. Den svenske kemisten Jöns Jacob Berzelius upptäckte att meteoriter faktiskt innehöll organiskt material, det vill säga kolväteföreningar. Han hade undersökt ett antal meteoriter från ett meteorregn i november 1833. Vidare gjorde han en kemisk analys av en kolkhaltig meteorit som fallit ner i Alès i Frankrike 1806, men kunde inte dra några säkra

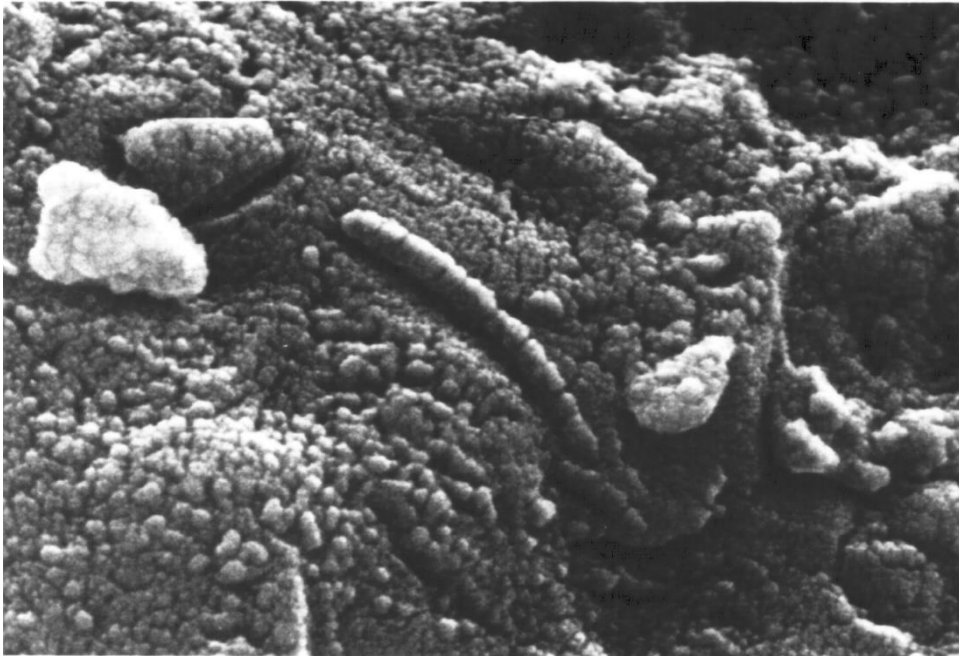


Figur 16: Fossila hajtänder är av samma slag som nu levande hajars. Nicolaus Steno, *Elementorum myologiae specimen, seu musculi descriptio geometrica* (1667).



Figur 17: En rymdresenär. Björndjur kan överleva i rymden.

slutsatser ifall dess kolföreningar var av utomjordiskt ursprung. På 1870-talet var de flesta ense om att vissa meteoriter kunde innehålla organiskt material, men något övertygande bevis för att de också innehöll utomjordiskt liv fanns inte. Med Berzelius och andra blev emellertid tanken om "panspermia", det vill säga att meteoriter genom rymden kunde föra med sig frön till liv, ett alltmer möjligt forskningsområde. En av de mest tongivande i utvecklandet av panspermiehypotesen var den svenske fysikaliske kemisten Svante Arrhenius i början av 1900-talet. Ännu i dag diskuteras denna möjlighet. Forskningen har visat att mikroorganismer faktiskt kan överleva i rymden och färdas från planet till planet med meteoriter. Björndjur – upp till en millimeter stora så kallade trögkrypare – kan utstå extrema förhållanden, rymdens kyla, vakuum, strålning och torka (Figur 17). En grupp svenska och tyska forskare, ledd av Ingemar Jönsson vid Högskolan i Kristianstad, visade 2008 i ett experiment att de kan överleva minst två veckor i rymden om de skyddas från solens UV-strålning. År 2007 skickades ett antal björndjur upp i rymden med en rysk rymdsond från kosmodromen i Baikonur. En stor andel överlevde rymdfärden. En del till och med trivdes och förökade sig, andra föll i dvala.



Figur 18: Marsmeteoriten Allan Hills 84001 fotograferad genom ett elektronmikroskop, uppvisar strukturer som en del har hävdats kan vara fossiliserade bakterielliknande livsformer. Foto: NASA.

Ett tema i paleontologins historia är frågan om hur man ska skilja verkliga kvarlevor av levande organismer från strukturer som bara tycks härma levande former. Dessa så kallade pseudofossil kan misstas för att vara verkliga fossiler, som till exempel grenliknande strukturer i kalksten, eller den så kallade mossagaten vars mossliknande blad, eller andra mönster i stenar och mineral, uppstår genom geologiska och inte biologiska processer. I sökandet efter fossiler för att spåra livets tidiga historia på jorden eller för att finna fossiliserat liv i stenar från Mars innebär detta påtagliga utmaningar. År 1996 tillkännagavs att fossiliserat liv hade upptäckts i Marsmeteoriten ALH84001 (Figur 18). När man studerade den under ett elektronmikroskop fann man tubliknande strukturer som påminde om fossiliserade bakterier. Det var dock en förhastad slutsats. Icke-biologiska processer kunde i själva verket skapa dessa strukturer. Detta manade till sökandet efter nya prover för att kunna bekräfta existensen av fossiliserat liv i stenar från yttre rymden. Ytterligare prover är med andra ord nödvändiga för att bekräfta eller avvisa tidigare hypoteser som baserats på den första omgången av prover.

Livstecken i form av fossiler är märkbart annorlunda till sin natur än de som skulle kunna upptäckas genom studier av den kemiska sammansättningen av fjärran atmosfärer. Inte just för att de kan studeras på plats, utan genom relationen mellan det som är ett tecken på liv och det liv som det hänvisar till. Fossiler är livstecken som uppvisar likheter med levande organismer. De, skulle man kunna

säga, avbildar det levande och delar något av deras egenskaper och utseende. Fossiler är avtryck av de hårda delarna av djur och växter, varvid avtrycken av skelett eller bladverk låter oss, genom deras likhet, etablera ett samband mellan den fossiliserade strukturen och den levande organismen. Själva detaljrikedomen hos fossilen leder oss mot slutsatsen, utifrån antagandet att en sådan detaljrikedom och komplexitet inte skulle kunna ha uppstått genom någon annan känd icke-biologisk process.

Mikroskopiska fossiler, så kallade mikrofossil, är än mer utmanande. Allt liv som vi känner det delar egenskapen att ha inre volymer eller celler, vilka skiljs från den omgivande miljön genom cellmembran. Tanken är alltså att man skulle kunna söka efter sådana cellstrukturer. Välbevarade fossila celler kan vara identiska i fråga om storlek, form och struktur med levande encelliga organismer. Deras cellstruktur, som uppvisar mindre komplexitet än fossiler efter hela djur och växter, gör det emellertid svårare att verkligen kunna skilja biologiska strukturer från icke-biologiska. På vår jord, i Pilbara i västra Australien, har man hittat cellliknande strukturer som bedömts vara hela 3,5 miljarder år gamla. Tolkningarna har gått isär, å ena sidan fossiliserade celler av trådliknande bakterier eller resultatet av icke-biologiska processer å den andra. Alltså för att kunna antas vara ett verkligt livstecken är det inte tillräckligt att det finns en likhet mellan tecknet och det levande. Vi behöver också en förklaring till hur den levande organismen kan bli ett fossil. Om vi finner något som påminner oss om något levande, till exempel en mikrob, en cell eller liknande, behöver vi en teori som länkar samman den levande organismen med biosignaturen. För liv på jorden har vi en ganska klar uppfattning om hur fossiliseringsprocessen kan ha gått till. Många genomförda experimentella fossilstudier ger oss goda skäl att göra denna sammankoppling. Och vidare, fossiler är i sig inte heller tillräckliga för att ge oss fullständiga kunskaper om det liv som det är spår av. De ger oss till exempel inte fullständig information om den levande organismens biokemi.

Den här likheten mellan livstecknet och det levande behöver inte endast bestå i en synlig likhet grundad i likheter i struktur och uppbyggnad, utan kan uppstå genom att de delar vissa kemiska egenskaper. De kan till exempel dela komplexa biologiska makromolekyler som kolväteföreningar, proteiner och nukleinsyror (RNA och DNA). De flesta biomolekyler förändras emellertid och bryts ner, och produkterna (vad man skulle kunna kalla molekylfossiler) av denna nedbrytning är inte längre något som liknar de ursprungliga molekylerna, men ändå har ett samband med dem. Det finns något i livstecknet som pekar mot det levande.

Livets pekfinger

”En dag vid middagstid när jag var på väg till min båt, fick jag till min häpnad se spår av en naken mans fot på stranden, där det var tydligt avtryckt i sanden. Jag stod liksom träffad av blixten eller som om jag sett ett spöke. Jag såg mig omkring,



Figur 19: Robinson Crusoe finner ett fotspår i sanden. Illustration från 1894 av Walter Paget.

jag lyssnade men kunde varken se eller höra någonting. Jag gick upp på en höjd för att kunna se längre bort, jag gick åt båda hållen på stranden, men allt förgäves. Jag kunde inte upptäcka något mer spår än detta enda. Jag gick tillbaka till spåret igen för att se om där var några fler eller om det hela endast var ett foster av min inbillning. Så var det emellertid inte, för där var fortfarande ett tydligt märke av en fot med tå och häl och varje del av den. Hur det kommit dit kunde jag inte på något sätt föreställa mig.”

När den skeppsbrutne Robinson Crusoe, uppkastad på en strand på en obobodd ö, en dag såg fotspår i sanden, visste han att där fanns mänskligt liv – sin

blivande vän Fredag (Figur 19). Han drog denna slutsats, inte genom att detta fotspår på något sätt skulle likna en mänsklig varelse, utan därför att den hade ett orsakssamband med den livsform som hade gjort det. Spåret pekade mot en levande varelse. På samma sätt när man ser röken över en skog och drar slutsatsen att där måste finnas en eld, som orsakat denna rök. Dessa tecken, som inom semiotiken kallas index, upprättar ett kausalt samband mellan uttryck och innehåll genom närhet eller beröring. Tolkningen av dessa tecken förutsätter kunskaper genom erfarenheter av de återkommande sambanden mellan tecknet och vad det refererar till. Det finns en stor mängd sådana potentiella tecken omkring oss även om vi ännu inte lärt oss känna igen dem som meningsfulla tecken. Några av dessa otaliga tecken, som för oss återstår att upptäcka, kan i själva verket hänvisa till dess orsak, något levande.

Inom astrobiologin söker man efter sådana tecken som pekar på en biologisk process som orsakat dem. Bland annat skulle man kunna söka efter kemiska livstecken i en främmande planets atmosfär orsakade av levande organismers ämnesomsättning. Skulle man till exempel finna stora mängder metangas i atmosfären



Figur 20: Stromatoliter, det vill säga sedimentstrukturer uppbyggda av mikroorganismer, särskilt cyanobakterier. Ouarzazate-stromatoliterna är från kambrium och prekambrium, och bildades i en grund lagun för omkring 600 miljoner år sedan. Foto: David Dunér.

skulle det kunna vara tecken på förekomsten av biologiska processer, även om man inte kan utesluta en icke-biologisk orsak. Vissa mineral skulle kunna vara orsakade av ämnesomsättningen hos mikroorganismer, men som så ofta kan de vara ytterst svåra att skilja från mineral som har ett icke-biologiskt ursprung. Ett annat slag av tecken som pekar mot biologiska processer är olika strukturer som bär spår av levande organismers beteende eller aktivitet. På vår jord har man till exempel funnit så kallade stromatoliter, vilka består av skiktade mattor av fossila mikroorganismer (Figur 20). Dessa stromatoliter är i sig inte levande, liknar inte heller något levande, men är orsakade av levande organismer, särskilt cyanobakterier. Andra exempel på sådana tecken som är spår av levande organismers aktivitet är urborrningar, hålor och fotspår. Återigen, utmaningen är här att skilja dessa livstecken från mönster som endast är resultatet av icke-biologiska processer som vi tycker liknar de som orsakas av levande organismer.

Frågan är hur man skulle kunna söka efter dessa kemiska tecken på liv, då vi knappast kan resa till andra planeter utanför vårt solsystem och undersöka dessa på plats. Den frågan fick en oväntad vändning på 1800-talet. Den franske positivisten Auguste Comte, som ständigt underströk den rationella vetenskapligheten, menade att det finns vissa saker vi aldrig kommer att veta, utan endast kan spekulera om. I fråga om himlakropparna skrev han 1835 att vi aldrig på något sätt kommer att kunna studera deras kemiska eller mineralogiska sammansättning. Men bara några få årtionden senare upptäcktes en ny metod, kallad spektroskopi, för att analysera ljuset från andra himlakroppar. Spektroskopet blev ett verktygsfullt redskap inte bara för att undersöka andra himlakroppars kemiska sammansättning, utan dessutom för att söka efter utomjordiskt liv. Beroende på olika molekyler som var och en har sin unika karaktär, kunde forskare genom att analysera ljuset nu dra slutsatser om de främmande atmosfärernas kemiska sammansättning. De första studierna med hjälp av spektroskopi för att upptäcka syre och vatten i Mars atmosfär gjordes av astronomerna William Huggins och Jules Janssen på 1860-talet. De utgick från antagandet att vatten är en nödvändig förutsättning för liv. Om man därtill förknippar planetens miljöförhållanden (närvaron av vattenånga i atmosfären och flytande vatten på dess yta) med möjligheten för liv att uppstå och överleva, så har man en ledtråd. Det vill säga, en upptäckt av vattenånga i en planets atmosfär skulle därigenom bli en avgörande indikation på att det kan finnas liv på dess yta. Janssen hävdade 1867 också att han hade upptäckt närvaron av vattenånga i Mars atmosfär, vilket därmed skulle bekräfta hypotesen om en levande planet. Troligen var detta tecken på vattenånga i själva verket av jordiskt ursprung, vilket den amerikanske astronomen William Wallace Campbell korrigerade 1894.

Förhoppningen är att vi i framtiden skall kunna studera exoplaneter av samma slag som jorden. Men de är ännu för små och ligger för långt bort från sin stjärna för att vi med dagens instrument skulle kunna observera dem. Med den teknik vi nu har är det omöjligt för oss att urskilja denna främmande planets geologiska

formationer, som hav, berg och kontinenter. Men vi skulle sannolikt inom ganska snar framtid kunna upptäcka vissa gaser i dess atmosfär som kan förknippas med liv, även om tolkningen av denna förekomst skulle vara besvärlig och tvetydig. Ett första steg i sökandet efter livstecken på en exoplanet skulle vara att ta reda på dess temperatur, storlek, massa, densitet, gravitation och ljusförhållanden. I ett nästa steg skulle man kunna försöka ta reda på om den har en atmosfär, flytande vatten, moln, hur ytan kan vara beskaffad, planetens dagliga rotation kring sin axel, hur årstiderna varierar och hur vädret skulle kunna vara. I ett tredje steg skulle man kunna vara redo för ett mer konkret sökande efter livstecken, det vill säga försöka upptäcka specifika gaser – till exempel syre, ozon, metan och koldioxid – som kan ha sitt ursprung i biologisk aktivitet (se även Dravins kapitel). Särskilt intressant är kombinationen av gaser och mängden av dem. Som forskarna Joshua Lederberg och James Lovelock föreslog 1965 kan gaser i ojämnvikt vara tecken på liv. Liv, kan man säga, leder till ojämnvikt, det vill säga, mängden och kombinationen av gaser skulle inte vara som den är om inte en biologisk aktivitet upprätthöll denna obalans. Om livet plötsligt skulle dö ut på en levande planet, skulle de kemiska livstecknen snart försvinna. Alltså, om de ändå finns där, så måste det finnas en kontinuerlig källa som upprätthåller den mängd gas som egentligen inte borde finnas. En sådan källa skulle kunna vara livet självt. Men som ett återkommande tema i sökandet efter liv är livstecknen tvetydiga.

Först och främst försöker astrobiologerna leta efter tecken på enkla biologiska processer, men det finns också möjligheter för att söka efter mer avancerade livsformer. En annan skeppsbruten resenär i främmande trakter, den antike grekiske filosofen Aristippos, kastades i land vid Rhodos kust någon gång omkring 400 före vår tideräkning. När han fann geometriska figurer i sanden blev han emellertid övertygad om att han hade kommit till ett land bebott av civiliserade människor (Figur 21). Dessa geometriska figurer indikerade inte bara att där fanns liv, människor, utan till och med att där fanns en intelligent civilisation. Tanken på att kunna finna konkreta tecken på intelligenta utomjordiska civilisationer har eggat forskare sedan länge. Sedan 1960-talet har man avlyssnat rymden på radiovågor, men man kan också tänka sig att man i framtiden skulle kunna analysera ljuset från jordliknande exoplaneter som kanske uppvisar tecken, vilka vad vi vet, inte har en naturlig orsak, utan måste vara artificiella, skapade av en teknisk civilisation. Till exempel, som på vår jord, skulle man kunna finna en förändrad atmosfär orsakad av industriföroreningar, molekyler framställda på konstgjord väg som freoner eller andra artificiella spår av en miljö i obalans. Dessa skulle kunna vara tecken på att det där finns en avancerad livsform som på konstgjord väg kan förändra och påverka sin livsmiljö. Finns det utomjordiska astrobiologer på en annan avlägsen planet som studerar oss, som följt vår utveckling ett par hundra år, skulle se en planet som dramatiskt har förändrats vad gäller livsbetingelser, med föroreningar och ökad temperatur. En döende planet, kanske de då tänker.



Figur 21: Aristippos finner spår av mänsklig civilisation. Ur Euklides, *Elementa*, i en utgåva från 1703 av den skotske astronomen och matematikern David Gregory.

När vi genomsöker stjärnor och planeter i vår galax, avlyssnar rymden på främmande signaler, kan vi en dag råka på tecken på tekniskt avancerade utomjordiska civilisationer. En eventuell upptäckt av tecken på teknik måste dock inte nödvändigtvis leda till slutsatsen att den har sitt ursprung i en civilisation bestående av biologiska varelser. Hypotetiskt kunde man tänka sig att livet där för länge sedan dött ut och övergått till ett så kallat postbiologiskt tillstånd där det levande, organiska, bytts ut mot självkopierande maskiner. Dessa så kallade von Neumann-maskiner, en idé som kastades fram av matematikern John von Neumann i slutet av 1940-talet, kan kopiera och sprida sig själva oberoende av några biologiska skapare.

Sökandet efter tecken på liv är, kan man säga, ett sätt att finna samband mellan olika fenomen omkring oss, dra slutsatser utifrån vissa tecken att de står i orsaks-samband med sitt ursprung – liv. Detta sökande efter mening består av något mer än själva livstecknet och vad det betecknar, det levande. Som den brittiske astrofysikern Arthur Eddington uttryckte det i en bok om den allmänna relativitetsteorin från 1920: ”Vi har funnit ett underligt fotspår vid det okändas strand. Vi har tänkt ut djupsinniga teorier, den ena efter den andra, för att förklara dess ursprung. Till slut lyckas vi rekonstruera den varelse som gjorde detta fotspår. Och se! Det är vårt eget.” Det är vi själva, uttolkarna av dessa tecken som upprättar detta samband mellan tecknet och det betecknade, livstecknet och det levande. Sökandet efter tecken på liv skulle kunna ge oss ny kunskap om det levande universum i vilket vi lever, men också en ny, djupare förståelse av hur vi som meningssökande varelser finner mening i den till synes obegripliga och kaotiska världen omkring oss.

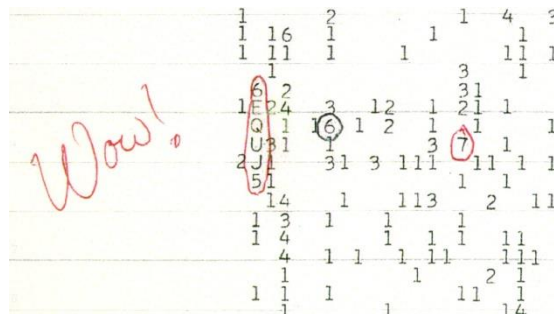
Det levandes symboler

Den 15 augusti 1977 tog ”det stora örat”, radioteleskopet Big Ear i Ohio, emot en mycket kraftfull radiosignal från yttre rymden som varade i 72 sekunder. När astronomen Jerry R. Ehman gick igenom datautskriften noterade han en märklig avvikelse. Slagen av häpnad antecknade han i marginalen: ”Wow!” (Figur 22) Denna avvikelse har sedan varken kunnat återfinnas eller kunnat ges en tillfredsställande förklaring. Det första problemet man ställs inför i en sådan situation är att bestämma ifall det är en naturlig eller en artificiell signal av utomjordiskt ursprung. Det vill säga man måste utesluta alla kända naturliga orsaker till signalen, liksom alla mänskliga, jordiska källor, som till exempel satelliter eller mikro vågsugnen i rummet bredvid. Genom att utesluta alla sådana naturliga förklaringar, hoppas man kunna komma fram till slutsatsen att det måste vara en artificiell signal från en tekniskt avancerad intelligent civilisation. Men än svårare är det efterföljande problemet att avgöra om den okända signalen är något mer än endast ett tecken på teknik, eller närmare bestämt, om den därtill också innehåller ett meddelande, information, ett budskap som är menat att kommuniceras, dechiffreras och bli förstått av en mottagare. Om vi får in en sådan signal från yttre rymden vill vi nog inte stanna vid att konstatera att den kan ha sitt ursprung i en annan teknisk civilisation även om detta skulle vara i högsta grad uppseendeväckande – vi skulle ju också vilja veta vad den betyder, vad de vill säga. Livstecknet kan nämligen innehålla ett budskap till oss.

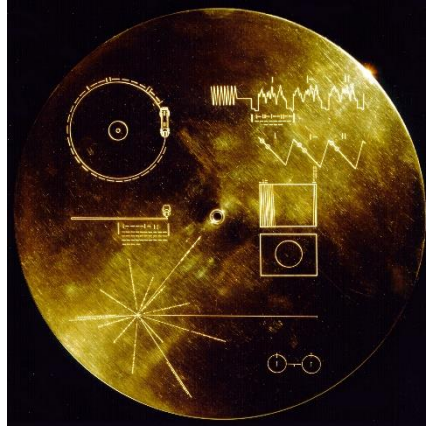
Ett aktivt sökande efter utomjordisk intelligens med hjälp av radioastronomi har pågått sedan 1960-talet. År 1960 startade ett projekt kallat Ozma (efter prinsessan i det imaginära landet Oz) som ämnade söka efter tecken på utomjordiska civilisationer. Utgångspunkten är fullt rimlig. Elektromagnetisk strålning från jorden går att upptäcka från rymden. Från vår jord läcker det ut

radio- och tv-program i en strid ström som i teorin skulle kunna vara detekterbara för en främmande civilisation. Men om vi då för dem framstår som intelligenta är en annan fråga. På motsvarande sätt skulle en utomjordisk intelligens som använder sig av radiokommunikation kunna upptäckas av oss, åtminstone i teorin. Men än så länge ekar det tomt i världsrymden. Någon otvetydig signal från yttre rymden har hitintills inte tagits emot. Problemet med interstellär kommunikation ligger emellertid inte så mycket i att det skulle vara fysiskt eller tekniskt omöjligt, snarare tvärtom. Fysikens lagar medger detta och vår tekniska förmåga är tillräcklig för att kunna avlyssna till och med mycket avlägsna stjärnor och planeter, även om det förstas skulle vara en inte helt okomplicerad vetenskaplig och teknisk utmaning. Problemet är snarare ett annat: hur vi med våra mänskliga hjärnor ska kunna tolka, avkoda och dechifrera dessa interstellära meddelanden.

Att vara intelligent är något mer än att kunna skapa avancerade maskiner. Teknik förutsätter vissa mentala och sociala färdigheter. När vi söker efter utomjordisk intelligens, söker vi efter varelser med förmågan att tänka abstrakt, symboliskt, och inte minst kan och vill överföra dessa tankar till andra tänkande varelser. Intelligens kan beskrivas som en sorts mental förmåga att snabbt och flexibelt kunna förändra sitt tänkande när situationen så kräver det. Denna mentala gymnastik har växt fram under människans evolution i och med att den visat sig underlätta förmågan att överleva och reproducera sig inom en specifik miljö. Till dessa mentala förstångåvor hör förmågan att skapa inre föreställningar om världen, men med tänkandet kan man också föreställa sig ting som inte existerar i sinnevärlden, som inte finns närvarande, inte har existerat eller kommer att existera. Med lätthet kan vi föreställa oss enhörningar som inte existerar och aldrig har existerat, vi kan föreställa oss utomjordingar även om vi inte vet att de existerar. Vi kan föreställa oss abstrakta ting som pengar, demokrati eller mänskliga rättigheter. Detta abstrakta tänkande bygger till stor del på användandet av symboler. Med hjälp av språket kan vi förmedla dessa abstrakta tankar från medvetande till medvetande.



Figur 22: *Wow!* antecknade astronomen Jerry R. Ehman i marginalen. En signal från yttre rymden den 15 augusti 1977.



Figur 23: Förstår sig utomjordingarna på matematik, fysik och kemi? Voyager Golden Record skickades ut i rymden 1977 med sänderna Voyager 1 och Voyager 2. Foto: NASA.

De sorters tecken jag tidigare har talat om, ikon och index, det vill säga bilder och ”pekningar” som bygger på likhet respektive närhet med det de refererar till, är inte godtyckliga, utan har i någon bemärkelse ett verkligt samband med det de står för. Problemet med symboler är däremot att de bygger på konventioner. De är i någon mening godtyckliga och är beroende av det kulturella och sociala sammanhanget. Ordet ”liv” har inget orsakssamband med vad det står för, inte heller liknar detta ord en levande organism. Det finns alltså inget inneboende samband mellan ordet ”liv” och verkligt liv. Det hela bygger på en konvention. Vi har, kan man säga, kommit överens om att ordet ”liv” betecknar något som vi förstår som ”liv”. Det är något vi måste lära oss. När vi ställs inför ett kosmiskt meddelande är det inte självklart att vi kommer att förstå vad deras meddelande står för. Eftersom det abstrakta tänkandet är beroende av symboler kommer vi sannolikt att ha stora svårigheter med att lista ut betydelsen av utomjordiska meddelanden. Det finns med andra ord inget i den fysiska anblicken av tecknet som ger oss några ledtrådar till vad det står för.

Om man skulle upptäcka signaler som har sitt ursprung i en teknisk civilisation, skulle detta inte bara visa att det finns liv i rymden – det skulle dessutom visa att det finns andra intelligenta varelser som kan resonera, tänka, kommunicera och konstruera avancerad teknik. Det sistnämnda skulle dessutom innebära, menar man, att de har ingående kunskaper i vad vi skulle kalla matematik, fysik och kemi (Figur 23). Det är förstås inte otänkbart att föreställa sig att utomjordingarna skulle kunna ha specifika och initierade kunskaper om sin miljö, som till sitt innehåll mer eller mindre motsvarar våra egna grundläggande naturvetenskapliga kunskaper.

Men hur de uttrycker dessa kunskaper kommer med stor sannolikhet att vara väldigt olikt vårt sätt. Det är således snarare meddelandets uttryck än dess innehåll som skapar svårigheter för oss. Då de rimligen inte skickar konkreta föremål till oss, utan vill uttrycka abstrakta tankar, så måste de på ett eller annat sätt koda detta i ett språk som vi måste dechifrera. De flesta försök som gjorts att konstruera interstellära meddelanden som ska förstås av en utomjordisk tänkande varelse går bet på denna skillnad mellan uttryck och innehåll (se vidare Čápvás kapitel angående försök att skapa interstellära meddelanden). Symboler är som sagt konventioner och därmed beroende av det kulturella och sociala sammanhanget som skapar dessa godtyckliga, men mer eller mindre regelbundna samband. Just vårt sätt att kommunicera och symbolisera våra tankar med hjälp av våra talade språk har växt fram genom en evolutionär och historisk process på vår jord, och är därmed också begränsad av våra mänskliga kroppar, vår specifika miljö och vår arts sociala och kulturella egenheter. På motsvarande sätt kommer de eventuella meddelanden som vi kanske en dag mottar från yttre rymden att vara symboliska meddelanden begränsade av de biologiska och kulturella förutsättningarna hos den intelligenta art som skickade dem.

Om vi en dag upptäcker liv

Än så länge har vi inte några säkra bevis på existensen av utomjordiskt liv. Men kommer vi någonsin att bli fullständigt säkra på att vi är ensamma? En svårighet som sökandet efter utomjordiskt liv tyngs av är att det i praktiken är omöjligt att falsifiera tesen om att liv finns där ute. Det finns ingen metod eller något sätt att bevisa att liv inte existerar eller inte kan existera någon annanstans i universum än här på jorden. Det är ju inte praktiskt möjligt att vända på varenda sten i universum, på varenda planet i varenda galax. Hittar vi inte liv under den stenen kan vi gå vidare och lyfta på en annan, finner vi inte liv på den planeten kan vi gå vidare till nästa och så vidare. Astrobiologin kan alltid färdas vidare, förfina sina metoder, observationer, teorier, ständigt hitta nya förklaringar till misslyckandet och finna på nya sätt att i framtiden göra, förhoppningsvis, framgångsrika upptäckter. Om vi inte finner liv på Mars yta, fortsätter vi och letar under dess yta – vilket man nu är i färd att göra. Om man inte hittar liv i vårt solsystem, fortsätter vi till nästa och nästa, kanske i det oändliga. Men när ska vi ge upp och dra slutsatsen att liv med största sannolikhet inte existerar någon annanstans än på vår jord? Efter hundra noggrant undersökta planeter, efter tusen eller miljoner? Vi kommer aldrig att kunna veta att vi är ensamma i världsrymden. Det förblir en fråga om sannolikhet. Men det räcker med ett enda exempel på utomjordiskt liv – och vi vet att vi inte är ensamma.

Vi söker efter liv som vi känner det. Vi letar efter något som på sätt och vis påminner om oss själva, som liknar oss, vårt jordiska liv. Men annat liv i rymden skulle kunna vara mycket olikt det vi finner på jorden, långt bortom våra vildaste



Figur 24: Fotspår på månen. Buzz Aldrin den 21 juli 1969. Foto: NASA.

fantasier. Vetenskapshistorien är just en historia om mänsklig förvåning. Världen vi lever i visade sig vara mycket annorlunda det vi först tänkte oss, rikare, mer komplicerad, mer egendomlig och mer förvånande än vad vi kunde drömma om: när Galilei fann berg och slätter på månen, när Newton fann himlakropparnas dragningskraft genom tomrummet, när Darwin fann människan vara släkt med aporna, när Einstein beskrev hur tiden kan gå olika snabbt och hur rummet kröks av materiens massa. Detta gäller också astrobiologin och sökandet efter liv i rymden. Framtida upptäckter inom astrobiologin kommer att fullständigt överraska oss.

En dag kanske vi finner tecken på liv på en annan planet. Vi kommer då att erhålla vissa kunskaper, som till exempel om planetens kemiska sammansättning

och miljöförhållanden. Men framför allt, beskrivningarna, tolkningarna och slutsatserna rörande denna nya värld kommer då också att säga något om oss själva och vår plats i det levande universum, och hur vi tolkar och förstår den verklighet vi erfar. Det finns nämligen något vi vet. Sökandet efter liv har sin grund i det mänskliga tänkandet, människans kultur och historia. Astrobiologerna använder tankeförmågor som har växt fram genom människans evolution och historia. Särskilda tankeprocesser är i verksamhet när vi ställs inför okända ting, när vi tolkar potentiella tecken på liv, när vi samlar och klassificerar den information som vi inhämtar från rymden, och när vi drar slutsatser utifrån dessa observationer. Och detta sker i en kultur, vid en bestämd tidpunkt i historien, i en specifik forskningsmiljö och i samarbete med andra tänkande varelser av vår art. Vårt sökande efter livstecken vilar på de tankeförmågor och det sociala-kulturella sammanhang i vilket vår mänskliga art lever – och som gör vår planet till levande och tänkande. Även om liv inte existerar där ute, är det vi mänskliga, jordiska varelser med våra hjärnor, kroppar och kultur som söker efter det. Även om vi aldrig finner något, lär vi oss mer om oss själva – vi finner fotspår i sanden, våra egna (Figur 24).



Lästips

Crowe, Michael J. (1986) *The extraterrestrial life debate 1750–1900: the idea of a plurality of worlds from Kant to Lowell*. Cambridge University Press

Dick, Steven J. (1982) *Plurality of worlds: the origins of the extraterrestrial life debate from Democritus to Kant*. Cambridge University Press

Dick, Steven J. (1996) *The biological universe: the twentieth-century extraterrestrial life debate and the limits of science*. Cambridge University Press

Dunér, David (2013) ”Extrema världars historia”, i Dunér, David (red.) *Extrema världar – Om sökandet efter liv i rymden* Pufendorfinstitutet

Dunér, David (2013) ”Extrem kommunikation”, i Dunér, David (red.) *Extrema världar – Om sökandet efter liv i rymden* Pufendorfinstitutet

Dunér, David, Joel Parthemore, Erik Persson & Gustav Holmberg (red.) (2013) *The history and philosophy of astrobiology: perspectives on extraterrestrial life and the human mind*. Cambridge Scholars Publishing

Persson, Erik (2013) "Philosophical aspects of astrobiology" in Dunér, D.; Pathermore, J.; Persson, E.; Holmberg, G. (eds.): *The History and Philosophy of Astrobiology* Cambridge Scholars Publishing

Sullivan, Woodruff T. & John A. Baross (red.) (2007) *Planets and life: the emerging science of astrobiology*. Cambridge University Press

Att presentera människan för utomjordingar

Klára Anna Čápová
Översättning Anna Cabak Rédei

Detta kapitel ger en kort översikt över hur mänskligt liv framställs i bild på Pioneer-plaketten 1972 och i ljud och bild på Voyagers guldskiva 1977, båda utsända av USA:s rymdfartstyrelse (NASA) och nu på väg ut i den interstellära rymden. Dessa rymdskepp bär med sig meddelanden som innehåller information om livet på jorden. Vilken information inkluderades? Hur presenterades människan? Vilka kommunikativa metoder användes i dessa meddelanden? Och, talar dessa meddelanden å människans vägnar, på denna planet? Efter översikten över NASA:s två interstellära meddelanden, undersöker jag meddelandenas design och analyserar "berättelsen om mänskligt liv". Genom en antropologisk ansats, visar jag på att den grundläggande idén bakom utformandet av meddelandena på både Pioneer och Voyager byggde på en naturvetenskaplig världsyn.

Människans vetgirighet är i det närmaste gränslös och den fascinerande, och än idag obesvarade frågan om vi är den enda intelligenta arten i universum, är en fråga som generationer av tänkare, författare och forskare har grubblat på. Är vi ensamma? Finns det annat liv därute? Om ja, hur är det beskaffat? Med 1900-talets intåg i rymdåldern och framstegen inom rymdteknologin, blev det möjligt för vetenskapsmän att ta sig an frågan, trots små chanser att nå positiva resultat. En av de första metoderna som astronomer och astrofysiker använde sig av var att skicka meddelanden med hjälp av rymdfarkoster eller i form av signaler från radioteleskop.

1972 sköt NASA upp rymdskeppet Pioneer 10 på uppdrag till Jupiter. Dess tvilling, Pioneer 11, följde ett år senare. Efter ett framgångsrikt utforskande av Jupiter och dess månar, fortsatte Pioneer-sonderna sin resa först till Uranus och sedan längre bort ut i yttre rymden. Fram till 1998, då Voyager nådde längre med sin högre hastighet, hade Pioneer 10 haft en särställning som den från jorden mest avlägsna rymdfarkosten. Pioneer-sonden förblev dock det första människoskapade objektet som lämnade vårt solsystem.

Pioneer- och Voyager-projekten utgör båda viktiga milstolpar i NASA:s historia, tillsammans med Apollo-programmet, Challenger-tragedin, rymdteleskopet Hubble och NASA:s grundande 1958. Vid sidan av insamlingen av vetenskapliga data och upptäckterna som gjordes inom ramen för dessa två uppdrag, finns det

ytterligare en sak som gör dem speciella. Förutom de vetenskapliga instrumenten, fästa på Pioneer- (10 och 11) och Voyager-sonderna (1 och 2) fanns även så kallade ”interstellära meddelanden”. Lika till formen, men ändå olika i mängden information som de tillhandhåller, var deras uppgift att informera mottagaren om att det finns liv på vår planet. Sannerligen hade forskarteamet som ansvarade för utvecklandet av dessa meddelanden tagit sig an en utmanande uppgift. Den första, att presentera våra livsformer för andra livsformer bortom vår föreställningsförmåga, avskilda från oss i tid och rum, och genom biologiska och kulturella faktorer. Den andra, en lika svår uppgift, var att beskriva vad mänskligt liv är för något. Vilka är vi? Vad har vi gemensamt? Vad betyder det att vara människa?

Medan Pioneer-meddelandet bestod av några ingraverade symboler, var idén med Voyagers guldskiva att ge en omfattande beskrivning av naturen, människan och kulturen. Bilder, grafiska figurer, röster, hälsningar och musik lades till för att illustrera livets mångfald på jorden. Skivan skulle, som gruppledaren Carl Sagan uttryckte det, tala i allas vårt ställe, om människans liv, känslor, evolution, miljö, vetenskap, framsteg och kultur. Men hur presentera och förmedla en sådan mängd information? Hur kan vi beskriva människan och hennes planet? På vilket sätt? Genom vetenskap, konst, litteratur, musik, eller något annat? Det är tydligt att inget av dessa angreppssätt är oproblemiskt och att utformningen av meddelandena och deras innehåll har skapat mycket debatt som fortsatt att intressera allmänheten. Kritiken av NASA:s interstellära meddelanden tycks faktiskt stå mer i rampljuset nu än vid tiden för när meddelandena producerades. På följande sidor beskrivs vad som skickades med avsikt att presentera människan för utomjordingar under 1970-talet och vad det har att säga om hur det är att vara människa.



Figur 1: Carl Sagan. Foto: NASA

Den interstellära grottmålningen

En liten ingraverad guldanodiserad aluminiumplakett, idag känd som Pioneer-plaketten, fästes på rymdfarkosten. Den visar en mans och en kvinnas nakna kroppar tillsammans med flera symboler som var formgivna i syfte att ge information om rymdfarkostens ursprung. Plaketten beskrevs av NASA i termer av att vara "ett avtryck av människan", och var utformad av en liten grupp som bland annat bestod av Carl Sagan, astronom och populärvetenskaplig forskare på Cornell University och den amerikanske astronomen och astrofysikern Frank Drake. Artisten Linda Salzman Sagan, Carl Sagans fru, gjorde plakettens illustrationer. Sagan, som håller Pioneer-plaketten på bilden nedan (Figur 1), blev senare ordförande för den kommitté som sammanställde det meddelande som kom att färdas till yttre rymden ombord på Voyager-farkosterna. Enligt NASA:s uppdragsrapport, skapades Pioneer-meddelandet på kort tid: "Dr. Sagan var också entusiastisk vad gäller idén om ett meddelande på Pioneer. Han och Dr. Drake utformade en plakett, och Linda Salzman Sagan förberedde utsmyckningen, vilken presenterades för NASA som accepterade den för denna första rymdfarkost, från solsystemet ut i Vintergatan."

Plaketten mäter endast 15 x 23 centimeter och visar fem ingraverade figurer (se Figur 2), som informerar om människans existens och plats i vår galax. I det övre vänstra hörnet på plaketten kan vi se två sammankopplade cirklar som illustrerar hyperfinövergången i en neutral väteatom (det vill säga en energiövergång i en väteatom, varvid det utsänds radiovågor med 21 cm våglängd). Radialdiagrammet (figuren som ser ut som strålar), är en karta som anger vår sols position i

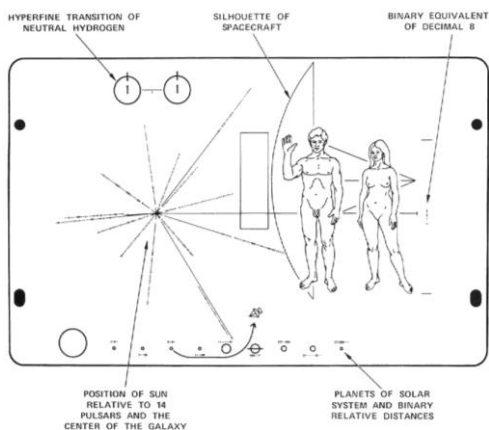


Fig.2: Teckning av Pioneer-plaketten med förklarande texturutor. Foto: NASA History

relation till fjorton pulsarer (roterande stjärnor som avger elektromagnetiska pulser). I den nedre delen av plaketten visas solsystemets planeter. Linjen med en pil visar att rymdfarkosten kommer från den tredje planeten från solen. Pioneer-farkostens siluett som visas i den övre högra delen ackompanjerar människoparet som vänskapligt hälsar invånarna från andra världar. I skymundan, till höger, finns ett litet diagram som visar talet åtta i binär form. När man kombinerar två av symbolerna, eller mer precist, ”när våtelinjens våglängd (21 cm) multipliceras med det binära talet 8 vid sidan av kvinnan, får man hennes längd”, som det förklaras i NASA:s uppdragsrapport.

Plakettens design kan verka enkel, men ändå måste varje mottagare ha ett antal nödvändiga förkunskaper och förmågor för att kunna hitta, läsa och förstå ett sådant meddelande. För det första krävs en rymdteknologi och utrustning för att upptäcka och fånga in rymdfarkosten. För det andra, krävs ögon eller annat organ för seende, för att kunna se och känna igen gravvynen. För det tredje, och det kan låta absurt, måste mottagaren vara intresserad av att läsa ett sådant meddelande och vara beredd att göra en tillräckligt stor ansträngning för att reda ut symbolernas mening. Särskilt de vetenskapliga koncepten, hyperfinövergången i neutralt väte och kartan över närliggande pulsarer och solsystem, kräver en vetenskaplig bakgrund och nyfikenhet. Denna nödvändiga förutsättning röjer Sagans uppfattning om att vetenskap är det enda språk vi skulle ha gemensamt med (de förmodade) mottagarna av meddelandet.

Det är inte endast långa avstånd och tid som skiljer oss från mottagarna. Tro- ligen kan även kognitionsmodell och språkbarriären hindra dem från att lösa gå- tan. Även om chansen att ett Pioneer-rymdskepp upptäcks är liten, skulle mottagarna veta vad gravyrerna på Pioneer-plaketten representerar eller var me- nade att representera? Skulle de kunna få ut något av en radial figur, mystisk sym- bolism och en siluett? Skulle ens vi, hemmahörande i den kultur som producerade detta meddelande, förstå betydelsen av Pioneer-figurerna?

Voyagers flaskpost

År 1977 placerades två identiska interstellära meddelanden på utsidan av rymdfar- kosterna Voyager 1 och Voyager 2, vilka skickades ut på sina uppdrag att utforska solsystemet och därefter fortsätta till dess gränser och längre. För att använda Sa- gans populära metafor, en flaskpost kastades ut från en öde ö i hopp om att någon en dag skulle ta upp den ur den djupa rymdens ändlösa djup.

Voyager-meddelandet består av en guldpläterad kopparskiva, ofta benämnd *Voyager Golden Record* (Figur 3), med innehållet indelat i fyra sektioner:

- ”Scener från jorden” – 118 bilder och grafiska figurer om vår art och vår planet (inklusive basala matematiska, kemiska och fysikaliska definitioner).

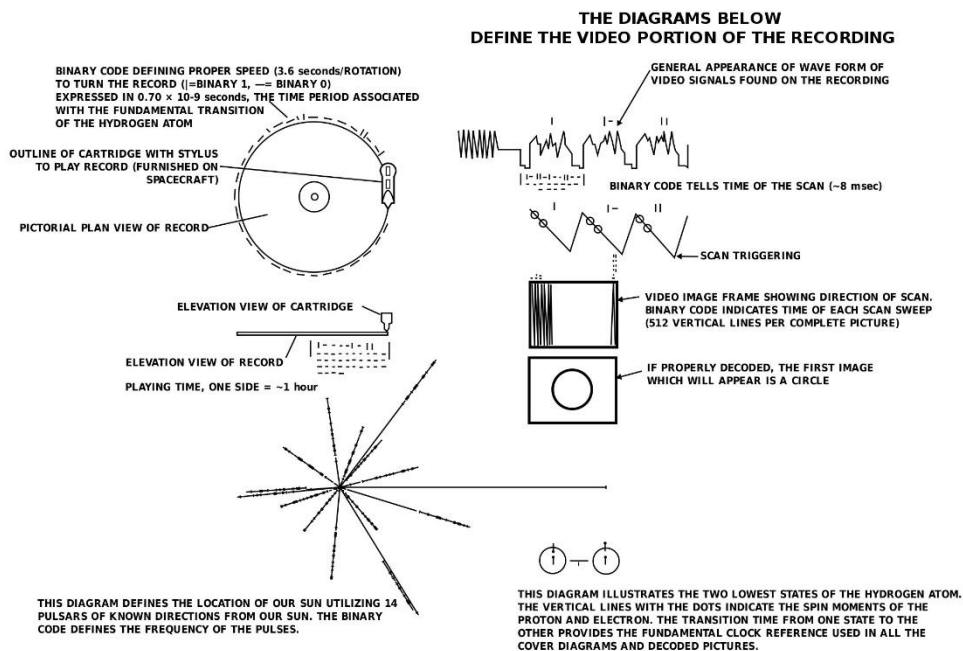
- ”Hälsningar från jorden” – hälsningar från jorden intalat av människor på 55 olika språk och tryckta meddelanden från president Jimmy Carter och FN:s generalsekreterare Kurt Waldheim.
- ”Musik från jorden” – ett musikaliskt urval från olika kulturer och epoker (27 ljudinspelningar av öster- och västerländska klassiker och en mängd etnisk musik).
- ”Ljud från jorden” – en mängd naturliga ljud (21 ljudinspelningar av mänskliga aktiviteter, maskiner och naturliga fenomen).

Skivans innehåll skapades och sattes ihop för NASA av en kommitté ledd av Carl Sagan, och i övrigt bestående av Frank Drake, Ann Druyan, Timothy Ferris, Jon Lomberg och Linda Salzman Sagan. Drake är upphovsman till några av figurernas visuella delar, särskilt de matematiska definitionerna. Lomberg, amerikansk rymdartist och designer, skapade skivans grafiska figurer. Internationella konsultationer förekom i syfte att uppnå målet.



Figur 3: Vänster, konvolutet till Voyagers Golden Record, med dess utomjordiska instruktioner. Det interstellära omslaget fäst på rymdskeppet Voyager. Foto: NASA Jet Propulsion Laboratory. Höger, The Sounds of Earth. Voyager Golden Record. Foto: NASA

EXPLANATION OF RECORDING COVER DIAGRAM



Figur 4: Förklaring av diagrammet på Voyager Golden Records omslag. Foto: NASA/Jet Propulsion Laboratory.

The Golden Record

Till skillnad från de informativa plaketterna på Pioneer 10 och Pioneer 11, så innehåller Voyagers grammfoninspelningar mera komplex information. För det första, det skyddande omslaget runt meddelandet, det så kallade interstellära konvolutet. Vi ser samma pulsarkarta och tidsreferensdiagram som används på Pioneer-plaketten (Figur 2 och 3). Sex av åtta diagram ger instruktioner om hur grammfonen sätts ihop för att spela skivan (Figur 4). Det finns en skiss över en pickup med stift sett från sidan och framifrån. När väl grammfonen har monterats, är nästa steg för mottagaren att titta på bilderna som lagrats elektroniskt på skivan.

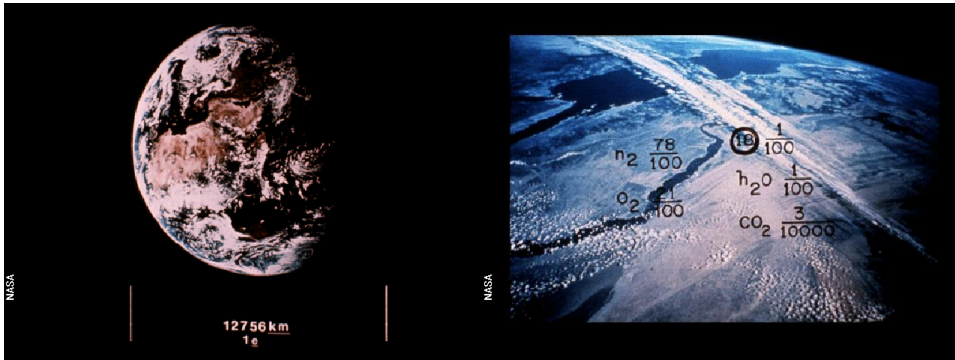
Bilddelen innehåller 118 bilder totalt, av vilka 17 är beskrivande, svartvita, tvådimensionella grafiska figurer skapade av den vetenskapliga gruppen. Återstoden består av färgfotografier från olika källor. Om Golden Record avkodas, sammanställs och spelas på rätt sätt så framträder den första bilden i meddelandet, ”Kalibreringscirkeln”. En enkel teckning i svart och vitt av en cirkel, samma



Figur 5: Mars. Foto: NASA

utformning som skivan, är det uppmuntrande tecknet på att meddelandet avkodats på rätt sätt och scenerna från jorden öppnar sig. Efter den introducerande diabiliden följer grundläggande definitioner av matematiska och fysiska enheter och kvantiteter. Sekvensen fortsätter med två diagram av "solsystemets parametrar" som visar solen och nio planeter. Efter diagrammen visas NASA:s fotografier av objekt från solsystemet: Solen, Merkurius, Mars (Figur 5), jorden (Figur 6), och Jupiter. Figur 6 (höger) är ett fotografi rubricerat "Egypten, Röda havet, Sinaihalvön och Nilen" som också ger en beskrivning av den kemiska kompositionen av jordens atmosfär. Den första markeringen på bilden gäller kvävemolekyler (N_2) som fyller 78% av atmosfären ($^{78}N_2/100$ " på Figur 6, höger).

Därefter följer grundläggande definitioner av astronomiska och kemiska enheter (grundämnen C, N, H, O); och två bilder av Lombergs DNA-struktur. Varför använda kemi? De kemiska beståndsdelarna, som i kombination bygger upp all materia, visar här på livets essens. Figur 9 visar modeller av kemiska komponenter; väte (H, den enklaste och den mest rikligt förekommande beståndsdel i universum), kol (C, finns i alla organiska föreningar), kväve (N, en beståndsdel i all levande vävnad), syre (O, det rikligast förekommande grundämnet i jordskorpan). En modell av fosfor (P), ett grundämne som vanligen förekommer i form av oorganisk fosforit och som organiska fosfater i alla levande celler, var också inkorporerad i diagrammet. DNA (deoxiribonukleinsyra) associeras med överföringen av genetisk information och betraktas som en databas över allt levande. I denna serie framträder ett avgörande tema, beskrivningen av människan som en "kolbaserad" livsform. Nästa bild visar celler i mikroskopisk detalj samt celldelning. Den åtföljs av 20 bilder som illustrerar mänskligt liv på jorden. Dessa bilder dokumenterar människans anatomi, utveckling, och fortplantning: med andra ord, livsödet.



Figur 6: Vänster, Jordan. Foto: NASA. Höger, Egypten, Röda havet, Sinaibalvön och Nilen. Foto: NASA.

Skapande av liv: Voyagers berättelse

Den uppsättning av bilder som dedikerats till ”skapande av liv” visar celledelning, människans anatomi och könsorgan. Människans anatomi illustreras med hjälp av poster ur *World Book Encyclopedia*. Den grafiska illustrationen över befruktningen visar spermiers storlek och hur den penetrerar ägget. Här kan vi igen se länken mellan två-dimensionella bilder och färgbilder, och se att färgbilden stått som modell för figuren. Bilden av ett ”befruktat ägg” visar ett ägg i färd med att dela sig och därmed börja utvecklas till en ny människa. Tidsangivelsen i bilden representerar fostrets tillväxt under de första sekunderna efter befruktningen (till skillnad från bilderna ovan där märkningarna i bilden representerar storleksangivelser).

Vi kan se här att bildserien delats upp i två fundamentala delar. Den första delen är gjord av äkta färgfotografier som dokumenterar händelser. Den andra delen består av grafiska illustrationer som visar resultatet av konceptuellt tänkande och pedagogiska ansträngningar. Vi kan se länken mellan två-dimensionella bilder och färgbilder, och se att färgbilden stått som modell för figuren. Vi kan se de förklarande diagrammen och mycket mer matematik infogade direkt på bilden i fråga. På ett liknande sätt är bilderna markerade med ett nummer som visar deras numeriska ordning. Den visuella illustrationen av befruktningen visar den konventionella modellen för befruktning och kunskap om embryologi.

Representationens biologiska nivå härrör från en historisk tradition som legat till grund för dess nuvarande form. Framställningen av fostret är igen både symbolisk och autentisk; figuren inkluderar en beskrivning av fostrets utveckling i tid och tillväxt, och använder sig av numeriska förklaringar för att indikera dess utveckling upp till en storlek av 5 cm. Vi kan förstå dessa bilder på två nivåer. För det första, som en beskrivning av hur människan reproducerar sig, och för det

andra, hur människan förstår och föreställer sig reproduktionsprocessen. Dessa bilder illustrerar hur vetenskap bedrivs, kommuniceras och visualiseras.

Den svartvita grafiska figuren av en man och en kvinna som håller varandras händer är omgiven av symboler för kön, ålder och längd tillsammans med ett foster som placerats i livmodern. Syftet med figuren är att understryka det biologiska faktum att människor får barn. Textrutor talar också om för oss att mannen är 160 cm lång och 20 år gammal, medan kvinnan är 155 cm lång och av samma ålder som mannen. För att förstärka budskapet att bilden förmedlar den universella, ”nakna sanningen” om livet har man infogat ett objektivet element i form av ett neutralt diagram som skall kommunicera exakt kunskap. Bilden benämnd ”Födelse”, visar en kirurg som har munskydd och bistår vid spädbarnets nedkomst. Här kan vi notera att barnafödelse visas upp i en neutral, vetenskaplig kontext. Betoningen på medicinsk närvaro och adekvat utrustning under förlossningen av barnet är en etablerad medicinsk praktik typisk för de västerländska samhällena.

Moderns vidare band och omsorg för barnet och faderns roll finns dokumenterade i två bilder: ”Vårdande moder”, och ”Fader och dotter” (från Malaysia), båda presenterar ytterligare ett faktum: föräldrar visar omsorg om sina avkommor. Det är värt att nämna att det finns en länk mellan bilden av ”Ammande moder” och ett av ljudspåren. Upptagningen spelar upp ett gråtande barn och moderns röst som talar till barnet, men det talade språket är engelska.

Efter livssektionen kommer fem bilder som visar människor i ett sammanhang med andra människor (familj, grupper). Detta består av fem poster – ”Ammande moder”, ”Fader och barn”, ”Grupp av barn”, ”Diagram över familjeåldrar”, och ”Familjeporträtt”. Vad gäller representationen av familjen så kan vi notera direkt att det finns en länk mellan de två sistnämnda bilderna. I detta fall användes siluetter från ett familjeporträtt som modell för de förklarande gravyrerna, gjorda av Lomberg. Gravyren specificerar ålder och vikt på fyra familjemedlemmar, bestämda med hjälp av de numeriska inskrifterna. Skrivna på engelska (”y” för ”years” och ”kg” för ”kilograms”), presenterar textrutorna två barn, 4 (22,5 kg) och 12 (38,5 kg) år gamla, och två kvinnor 30 (54,5 kg) och 80 (42,5kg) år gamla. Bilden indikerar släktgenerationer: en moder och en mormor.

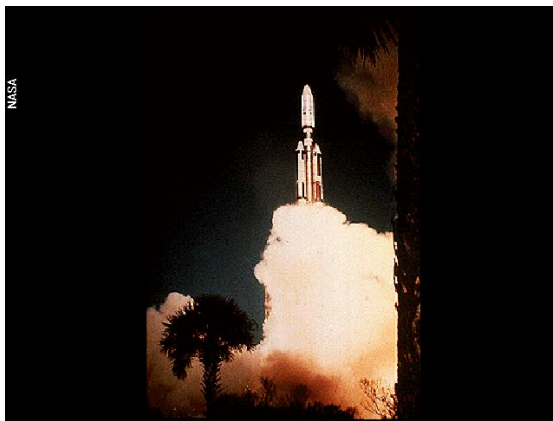
Det visuella berättandet om det mänskliga livets skapelse består av endast nio bilder. Den föregående anatomiskt beskrivande delen inkluderar åtta bilder. Trots att de biologiska fakta som presenteras följer en kronologisk ordning, framstår resultatet som fragmenterat och på något sätt taget ur sitt sammanhang, och där alternativ saknas. Men det finns ytterligare ett underliggande motiv, och detta utgörs av den allmänna basen för liv, det vetenskapliga faktum att vi är en väte-kolkväve-syre-baserad livsform som genom en evolutionär process utvecklades till intelligenta varelser som producerar verktyg och teknologi.

Berättelsen fortsätter: Samhälle, natur och teknologi

Direkt efter familjefotografiet följer en representation av kontinentaldriften såsom den framskridit med tiden: dåtida, nutida och framtida kontinentala positioner. Denna grafiska figur öppnar den dokumentära presentationen av naturens värld och omgivningar: öar, hav, floder, berg, öknar, klippor, skogar, träd och blad. Människans plats och aktiviteter i naturen porträtteras här, som fyren på ett foto vid havskusten, som ryttaren på en bild av sanddyner, som fåraherden i Monument Valley.

Bilden av ”Flygande insekter med blommor” öppnar djurlivets sektion tillsammans med den grafiska figuren som visar ryggradsdjurens utveckling. Denna gravyr är intressant av flera anledningar. Man- och kvinnofigurerna återfinns på toppen av evolutionsprocessen. Här stöter vi igen på paret som visades på Pioneer-plaketten, men i denna figur så hälsar den kvinnliga representanten mottagaren.

Färgfotografier av delfiner, fiskar, en groda, en krokodil och en örn representerar den biologiska mångfalden på jorden. Den biologiska mångfalden är ett resultat av en lång evolutionär process och länken mellan människans sfär och de andra djurens representeras i det evolutionära processdiagrammet. Släktskap och kontakt mellan människor och djur visas på flera bilder såsom ”Fiskstim” (med dykare), och ”Jane Goodall och schimpanser”. Ett fotografi av Bushmän är uppstarten till ett bildgalleri över människor från hela världen. Beträktaren av denna spektakulära diabildsshow kan få se ansikten av människor från Guatemala, Bali, Thailand och Turkiet, samt deras verksamheter. Bilderna föreställer jakt, arbete, dans, klättring, träning (en uppvisning av en ”Gymnast”) och löpning (”Sprinter”), men även undervisning, lärande, fiske, matlagning, shopping på stormarknaden och middagsätande i Kina. Förutom aktiviteter, visar



Figur 7: Uppskjutning av Titan Centaur. Foto: NASA



Figur 8: Astronaut i rymden. Foto: NASA

bilderna mänskliga kontaktytor (middag, klassrum, ”Barn med glob”) eller mänskliga interaktioner med omgivning och djur (skördarbete, fiske) och dess sammanhang i naturen, som ett fotografi av en dykare och en havsfisk, och av en man som vandrar i skogen.

Sektionen som dedikerats till människor i rörelse, övergår till beskrivningar av byggnader och strukturer. Här kan vi observera skiftet från ”naturen” (det naturliga) till ”teknologi” (det artificiella). Fotografiet av den ”Kinesiska muren” åtföljs av fotografier av ett husbygge i Afrika och i Amish Country, och av bilder av färdigbyggda (amerikanska) hus och deras interiörer. Både byggnader som Taj Mahal och Förenta nationernas högkvarter, båda i dags- och kvällsljus, och även städer finns inkomponerade i fotogalleriet: Oxford och Boston. Fotografiet av Operahuset i Sidney, en demonstration av modern arkitektur öppnar den tekniska delen.

Berättelsen om ingenjörskonst och teknologi startar med fotografier av en hantverkare med bormaskin, en fabrik fylld med maskiner, en röntgenbild av en hand, en kvinna med ett mikroskop. En stor del av sammanställningen utgörs av kommunikationsmedel och kommunikationsnätverk – en trafikstockning i Indien, en motorväg, ett stridsflygplan, ett tåg, rymdfarkosten Titan (bärraketerna för båda Voyager-farkosterna, Figur 7), flygplatser och en bro. Kommunikationsteknologin utelämnades inte, som vi kan se på fotografiet av Arecibo-observatoriet som användes vid den första sändningen av radiomeddelanden till utomjordingar, tillsammans med fotografier av radioteleskop från Nederländerna.

De avslutande delarna av den visuella presentationen har tillägnats fotografier av ”Boksidor”, tagna ur *The System of the World* skriven av Isaac Newton, en astronaut som svävar i rymden (Figur 8), ”Solnedgång med fåglar” och ”Stråkkvartett”. Den sista bilden i det visuella avsnittet på Golden Record är ”Fiol med noter”. Fotografiet av notbladet från *Cavatina*, komponerad av Ludwig van Beethoven, avslutar den visuella delen och utgör övergång till ljuddelen.

Interstellära slaggers: Ljud på jorden

Ljuddelen innehåller 21 ljudupptagningar: ”Ljud på jorden”. Den totala speltiden av olika ljud är nära 13 minuter. På samma sätt som med bildsekvensen så följer ljudsammanställningarna en kronologisk ordning, vilket tycks understödja ett historiskt perspektiv. Enligt Sagan har en del av dessa ljud funnits på jorden sedan förhistorisk tid. Ljud från vulkaner, jordbävningar, åska, lera som bubblar ur heta källor, atmosfäriska vindar, regn och vågsvall illustrerar naturliga fenomen. Dessutom innehåller skivan djurlåten: Grodor, elefanter och schimpanser, hyenans ylande, tamhundens skall och fåglars sång. Några av de dessa djurarter porträtterades även i det visuella avsnittet.

Den evolutionära symfonin öppnar med slag från tidiga verktyg och fortsätter med ljud från smide, sömnad och vallande av får. Mänsklig aktivitet från mera avancerade tider representeras av vanliga artificiella ljud från en traktor, nitmaskin, fartyg, tåg, buss, bil, en överflygning av ett F 111 jetplan, en Saturn V-raket som lyfter och morsekod. Ljud från fotsteg, hjärtslag, skratt, eld, tal, kyssande och en moder som talar till sitt barn dokumenterar mänskligt liv på planeten jorden. Det sista ljudspåret innehåller en inspelning av elektrisk aktivitet i en mänsklig hjärna som transformerats till ljud, med avsikt att tydliggöra ett tecken på liv.

Sektionen med hälsningar från jorden innehåller talade rapporter från representanter för vår planet, det vill säga, 55 hälsningar på olika språk och en på valspråk. Den totala uppspelningstiden för hälsningarna är cirka fyra minuter. Den kortaste hälsningen består endast av ett enkelt ”Hej!”. Med sina 15 sekunder är hälsningen på gujarati, ett av de mest utbredda språken i Indien, den längsta. Sammansättningen av hälsningarna föregicks inte av någon noggrann urvalsprocess. Inte endast på så sätt att talarna valdes slumpmässigt, utan även på så sätt att den orala kommunikationen saknar en fast struktur; varje hälsning har sina egna kännetecken, som möjligen uttrycker även de vanliga hälsningsformuleringarna i det aktuella språket. Vissa av hälsningarna är orienterade mot mottagaren. Till exempel:

Engelska: ”Hej från barnen på planeten jorden”.

Svenska: ”Hälsningar från en dataprogrammerare i den lilla universitetsstaden It-haca på planeten jorden”.

Tjeckiska: ”Kära vänner, vi önskar er allt gott”.

Amoy (dialekt av Min-kinesiska): ”Rymdens vänner, hur har ni det? Har ni ätit ännu? Kom och besök oss om ni har tid”.

Latin: ”Hälsningar till dig, vem än du är; vi vill dig väl och vi bringar fred i rymden”.

På samma sätt som den visuella diavidsvisningen, var avsikten med sammanställningen av ljud, ”Musik från jorden”, att erbjuda åhörarskaran ett bra urval. Tjugosju spår spelar upp nära 90 minuter av musik. De musikala framställningarna

inkluderar västerländska klassiker, en ”det bästa av”-samling, populära rocklåtar och musik typisk för olika geografiska områden. Sammanställningen av den klassiska musiken uppfyller höga krav inte endast vad gäller kvalitet och musikens popularitet (Nattens drottning, aria av Mozart, Femte symfonin av Beethoven, Brandenburgkonserten av Bach) utan även vad gäller uttolkarnas och dirigenterernas renommé (Gould, Moser, Richter, Stravinskij). Bland de västerländska kompositörerna fick Johann Sebastian Bach och Ludwig van Beethoven lite särbehandling med tre respektive två spår var.

Avdelningen med icke-västerländsk musik ger en melodisk uppsättning; åhörarna erbjuds aboriginska sånger, azerbajdzjanska säckpipor, georgiska körer, senegalesiska slagverk, pygmé-flickors initieringssånger från Zaire, Navajofolkets nattsånger, musik från Java, Mexiko, Nya Guinea, Japan, Bulgarien, Kina och Indien med översatta texter. Beethoven tillägnas inte endast den sista bilden i Scener från jorden, utan även det sista ljudspåret i Musik från jorden: *Cavatine*, en kort och enkel sång som sägs vara det enda stycket som fick dess tonsättare att gråta.

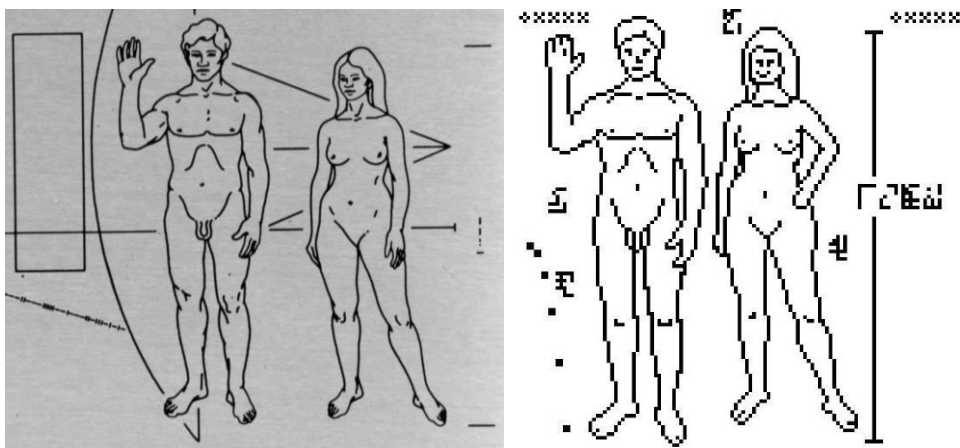
Livets skapelse: Adam och Eva i rymdåldern

Den då kontroversiella representationen av ett naket jordiskt par skapade allmän upprördhet och en het debatt inom grupper av religiösa ledare. Den beskrevs till och med som ”pornografi”. Detta allmänna missnöje med Pioneer-plaketten, tillsammans med begränsningar vad gäller copyright verkar ha varit anledningen till att allmänheten inte informerades om det slutliga innehållet på Golden Record förrän Voyager var i säkerhet bortom jordens omloppsbana. Bortsett från mottagandet i början, har denna ikoniska bild blivit till en symbol för sökandet efter liv bortom jorden och ännu i denna dag utgör Pioneer-gravyrerna en central del i representationen av liv, och de har även blivit en mall för framtida interstellära meddelanden.

Här behöver vi påminna om en skillnad mellan olika typer av interstellära meddelanden. Medan Pioneer och Voyager bar på materiella meddelanden, det vill säga, fysiska objekt fästa på en rymdfarkost som plaketter, plåtar eller skivor; finns det en andra kategori för meddelanden till stjärnor: Radiomeddelanden i form av signaler som sänds via ett radioteleskop till rymden. Radiomeddelanden betraktas ofta som mer effektiva därför att signalen färdas med ljusets hastighet, den maximala kända hastigheten. Den första radiosändningen lämnade jorden 1974 från ett stort radioteleskop i Arecibo, Puerto Rico, en del av Nationella Astronomi- och Jonosfärscentret (NAIC). Meddelandet, som kom att bli känt som Arecibo-meddelandet, designades av Frank Drake, även känd som upphovsmannen till ekvationen som beräknar antalet avancerade civilisationer i universum, formulerad 1961 (se Dravins kapitel).

En digital version av Pioneers hälsande par (Figur 9, vänster) utgör öppningen av Cosmic Call-meddelandet som skrevs av de kanadensiska astrofysikerna Yvan

Dutil och Stephane Dumas och sändes första gången 1999. Cosmic Call-meddelandet var avsett att vara en uppdatering av Arecibo-meddelandet och är därför större till storlek, längd och räckvidd. Det ursprungliga 23 sidor långa Cosmic Call 1-meddelandet uppdaterades fyra år senare med fotografier, teckningar, samt med ljud- och videofiler som kom in från medlemmar av Team Encounter från hela världen. Bilder nedan visar rymdålderns Adam och Eva, såsom porträtterade på den ursprungliga Pioneerplaketten (1972) och i Cosmic Call-meddelandet 1999 (och 2003; Figur 9, höger).



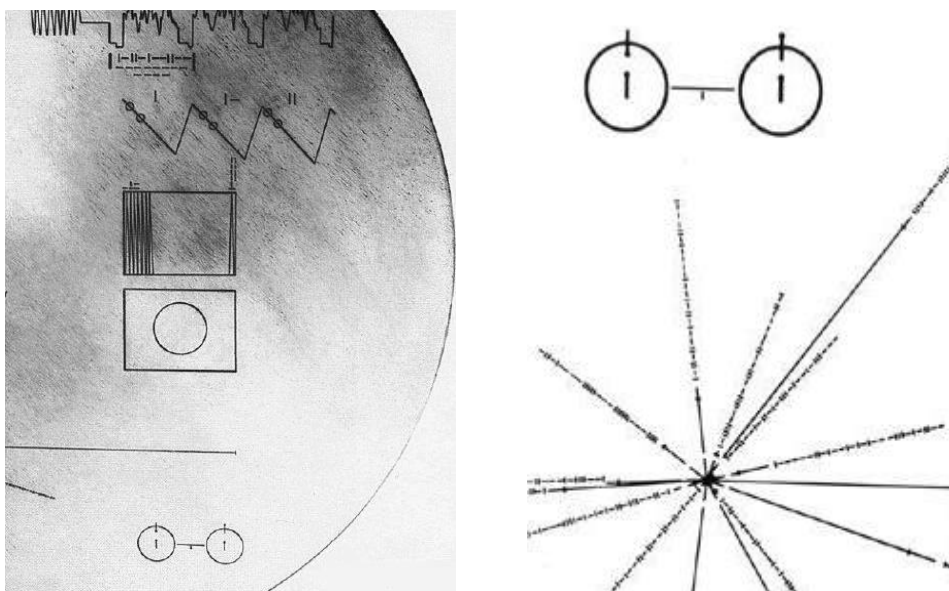
Figur 9: Vänster, Detalj från Pioneer-plaketten: Det hälsande paret från joden. Foto: NASA. Höger, Hälsande paret, Cosmic Call (1999). Foto: Y. Dutil, S. Dumas.

Det finns en omfattande debatt i den akademiska litteraturen, populära media och akademiska publikationer om Pioneer-plakettens framställning av ett heterosexuellt par, avbildat på toppen av dess biologiska fertilitet; ett par som främjar reproduktion är ett fundamentalt kännetecken för mänskligt liv. De mänskliga kropparna såväl som könen är porträtterade inom ramen för den konventionella och stereotypa förståelsen av könsmissiga skillnader som stelnat i bestämda former utan några fysiska avvikelser. Även Voyager-meddelandet (Figur 20) – en variation av det fertila paret – visar normen för den mänskliga fortplantningen enligt 1970-talets västerländska normativa synsätt vad gäller genus, etnicitet och sexualitet, snarare än ett prov på en jordvarelse.

Dessa amerikanska kulturikoner fortlever inte bara i form av meddelandena som färdas på sina pionjärresor genom den interstellära rymden, utan också i medierna och konsten på jorden. De undgick inte heller science fiction-författares uppmärksamhet, särskilt inte i den avslutande scenen i 1979-års fullängdsfilm *Star*

Trek: The motion picture (regisserad av Robert Wise). I slutet återbördar en avancerad utomjordisk varelse *Voyager*-sonden till dess hemplanet med meddelandet oläst. Men meddelandena har även en mytisk aspekt; de har en mytologisk betydelse som gör bibliska anspelningar på Adam och Eva i Edens lustgård.

Även idag lever arvet efter *Voyager* vidare. För att fira 40-årsdagen av uppskjutandet av *Voyager 1*, lanserade NASA en rymdkampanj på sociala medier där Twitter, Instagram, Facebook, Google+ och Tumblr användes. Allmänheten ombads att inkomma med en kort och upplyftande text taggad som #MessageToVoyager. Det vinnande meddelandet "We offer friendship across the stars. You are not alone" utsågs i demokratisk anda genom en omröstning och strålades mot *Voyager 1* ut i den interstellära rymden den 5:e augusti, 2017. Star Trek-stjärnan William Shatner, känd som Kapten Kirk på rymdskeppet *Enterprise*, medverkade vid sändningen.



Figur 10: pulsarkartan och vätesymbolen. Vänster, segment av *Voyager*-meddelandets inskription. Höger, segment av *Pioneer*-plakettens ingravering. Foto: NASA.

Den ideala mottagaren

Efter att ha tittat på *Voyager*- och *Pioneer*-meddelandena, kan man inte låta bli att undra vem som skulle kunna vara den ideala mottagaren av dessa meddelanden. Vi har sett att bilderna användes för att förmedla information, förklara och

tolka. Musik som ett alternativ till språk verkar ha haft en speciell roll i utformningen av meddelandena. Likt det skrivna språket kan musiknoter eller notblad reproduceras av alla som vet hur symbolerna läses och tolkas.

Vetenskapen är det språk som föredras och föreslås och som för decennier framåt även blev en mall för interstellär kommunikation. Ett bra exempel är modellen av neutralt väte. Tider i meddelandet bygger på multipler av frekvensen hos de radiovågor som sänds ut i samband med energiövergångar hos väteatomen. Vätetsymbolen åtföljs av jordens positionering, båda tagna från Pioneer-plaketten. Kartan utgår från pulsarer i vår omgivning för att lokalisera vår sol inom galaxen. Bilderna nedan illustrerar att symbolerna för energiövergången hos neutralt väte, liksom pulsarkartan presenterades både på skyddsomslag till Voyagers Golden Record (Figur 10, vänster) och på Pioneer-plaketten (Figur 10, höger).

Tidsreferensen pekar på ett annat viktigt kännetecken i berättelsen om mänskligheten, nämligen en linjär och utvecklingsinriktad förståelse av tid. Scenerna från jorden fortskrider som en serie av händelser som leder mot något: Från det basala till mångfald, från vild natur till högteknologi.

Förståelsen av hur tid uppfattas i olika kulturer har studerats av antropologer som har lyft fram skillnaderna i förståelsen av tid. Nämligen, den cykliska föreställningen av tid (som bland annat förekommer på Hawaiiöarna) som en ständig upprepning i överensstämmelse med årstidernas växlingar, eller, den balinesiska föreställningen om tid och det kalendariska systemet där variationer i faktiskt dagsljus leder till olika föreställningar om varaktighet och tidsenheters flexibilitet.

Det verkar som om att designen av meddelandena, mer än något annat, är baserad på två oundvikliga antaganden. Dessa är förmågan att uppfatta och bearbeta intryck från miljön, och den västerländska typen av intelligens. Med andra ord, den utomjordiska livsformen måste ha ett synsinne som främjar det synliga eller "seende", och hörselsinne som främjar hörbarheten eller "hörande" och "lyssnande". Mottagaren förutsätts dela de mänskliga kvaliteterna av en fysisk kropp, med en hjärna som producerar ett intellekt; och kunskap om den fysiska och naturliga världen, det vill säga, vetenskap. Det krävs att varelsen ser, hör, tänker, läser, tolkar, och förstår. Högteknologi, vetenskap, universums regelbegrepp, kunskap om matematik, och förmåga till konceptuellt tänkande - var och en av dessa aspekter är förväntade av mottagaren. Ovanpå detta tillkommer att vara nyfiken på vad budbäraren som svävar i rymden har att säga om dess sändare (se även Dunérs kapitel).

Talar man verkligen för alla?

Låt oss anta att Voyager-meddelandets innehåll är som en utställning på ett museum. Vi har just avslutat en promenad genom detta museum som visar upp färgrika fotografier och kulturella artefakter från den amerikanska eran 1977.

Samlingen, som är ackompanjerad av ett vackert musikaliskt urval, har sitt ursprung i flera icke namngivna platser och kulturer vilka presenteras i dessa olikartade artefakter. Vi läser ”inskrifterna” som har bifogats bilderna som beskriver ursprungsplatserna, datum, storlekar och kvantiteter. Vid slutet av utställningen har kanske besökaren gripits av fascination för den underbara mångfalden i naturen och kulturen och känner sig entusiastisk och överväldigad av utställningens omfång. Vissa besökare kanske tycker att muséet innehåller tillräckligt mycket information om vår värld, men andra kanske har invändningar mot följande:

För det första, sammanställningen i sig är inte omfattande nog, oundvikligen lämnades många ”utställningsfotografier” i muséets magasin helt enkelt för att det inte fanns tillräckligt med utrymme för att visa dem alla. Trots försöket att beskriva ”livet”, finns det en sak som man missade helt. Golden Record innehåller inte någon relevant information om döendet och döden. Utan att nämna något om livets fundamentala faktum, kan man paradoxalt nog inte hävda att meddelandet innehåller en komplett berättelse om det mänskliga livet. Inte heller refererar berättelsen till negativa kännetecken hos mänskligheten. Den bättre delen av mänskligheten påvisades till förmån för ett framförande av ”en hoppfull snarare än en förtvivlad syn på mänskligheten och dess möjliga framtid”, som Sagan förklarade det. Av denna anledning, nämndes inga referenser till krig eller konflikt heller. Voyager-meddelandet visar endast positiva värden och progressiv utveckling av det samtida västerländska samhället.

För det andra, referenser till religiöst liv och/eller ritualer har helt exkluderats från människans historia. Med tanke på den odiskutabla förekomsten av religiösa och/eller spirituella trosuppfattningar i det mänskliga samhället, är frågan varför en sådan central aspekt av mänskligt liv har utelämnats i sin helhet. En förklaring kan vara att det är vetenskap, inte religion, som utgör den grundläggande stöttepelaren för den senaste västerländska utvecklingen och att avgörande värderingar även härstammar från vetenskapen: Sekularisering, rationalitet och idén om framsteg.

Vad som i regel anses vara viktigt – reproduktionens kulturella kontext och äktenskapet som institution – saknas också. Även om man kan invända att de sociala relationerna på ett ungefärligt sätt är hämtade från ”Familjeporträtt” och ”Fader med barn”, kan vi endast beskriva denna berättelse om människan som tagen ur sin kontext. Men vi kan se att bildsekvensen går från en anonym kropp som står för alla kroppar och från anonym individualitet, till interaktioner, relationer och människor med ansikten. Dock är det den anonyma kroppen som användes som modell för människan, som subjekt för tolkning.

Den fjärde punkten är ganska enkel. Urvalet av innehållet som gjordes av expertgruppen är partiskt; profession och även övertygelser om vår levda världens natur har spelat in. Av denna anledning erbjuder livsberättelserna inte endast rena beskrivningar utan även tolkningar om vad livet består av. Inte endast de schema-

tiska representationerna utan även användningen av flera definitioner (matematiska och kemiska formler som konventionella beteckningar) understryker preferensen för en rationell förståelse och vetenskaplig beskrivning av världen samt för vetenskapliga paradig. Ett bra exempel på en tidsbestämd kunskap och ett kommande paradigmiskt skifte inom astronomin kan beskådas på Drakes representation av solen med dess nio planeter. 2006 gjorde Internationella astronomiska unionen ett utkast till en ny definition av planeter och bestämde genom en omröstning att Pluto inte uppfyller kraven på att vara en planet. Detta betyder att paradigmet ändrades och solsystemets planetantal reducerades från nio till åtta. Som en konsekvens är modellen av vårt solsystem som placerats på Voyager-sonderna inte längre giltig.

Självklart skulle andra människor vid andra tidpunkter i historien ha gjort andra val. Snarare än en kritik av Pioneers och Voyagers vetenskapliga grupp, så ger vår förståelse av urvalsproceduren en referenspunkt för framtida komposition av meddelanden ämnade för utomjordingar. Det ger en möjlighet till att förstå varför skaparna av Pioneer- och Voyager-meddelandena lämnade de alternativa perspektiven och perspektiv från icke-industriella kulturer utan notis och istället anpassade sig till traditionella västerländska och naturvetenskapliga normer. Snarare än en rikedom av liv och kulturer på jorden, presenterar meddelandena västerlandets samhälleliga framgångshistoria, dess vetenskap och dess representanter. Deras urval sändes som en för dem objektiv beskrivning av mänskligt liv.

En dag i en avlägsen framtid når kanske de interstellära sonderna sina slutliga destinationer och berättar sina historier om våra livsformer. Kanske kommer den utomjordiska vetenskapliga gemenskapen en dag att upptäcka meddelandena som har seglat i universum i tusentals århundranden långt bort från de oundvikliga förändringarna som skett på planeten jorden, och läsa Pioneer-plaketten eller spela upp Voyager-meddelandet. Hursomhelst, ett fragment av vår arts historia som har riktats mot stjärnorna skickar ett tydligt budskap till samtida jordvarelser: Att förstå och beskriva jordelivets komplexitet och mångfald är en utmanande uppgift. Kanske lika svår som att definiera vad ”liv” och ”vara levande” faktiskt innebär.



Lästips

Čápová, Klara Anna (2013) *The Charming Science of the Other: The cultural analysis of the scientific search for life beyond earth* Department of Anthropology, Durham University

NASA (1977) Pioneer Odyssey NASA Scientific and Technical Information Office 349/396

NASA (1977) The Search for Extraterrestrial Intelligence Scientific Publication 419, NASA Scientific and Technical Information Office

NASA (1981) Life in the universe. Proceedings of a conference held at National Ames Research Center, Moffett Field, California NASA History Office

Message to Voyager (2017) <https://voyager.jpl.nasa.gov/message/>

DEL 3: Artificiell intelligens



Nästan levande: robotar och androider

Christian Balkenius

Runt om i världen pågår arbetet med att bygga humanoidrobotar som efterliknar människans utseende och intelligens. Vissa projekt har som mål att reproducera varje aspekt av mänskligt tänkande för att i framtiden styra en robot. Andra börjar med kroppen och försöker gradvis bygga in intelligens. Men hur ska man kunna veta när roboten är klar? Räcker det att roboten ser ut att vara levande? Borde målet inte istället vara att skapa robotar som fungerar smidigt tillsammans med människor?

På den stora robotutställningen i Osaka står alla utställningsbås tomma. Alla besökare har samlats i en stor klunga mitt i lokalen och tittar i samma riktning. Men när jag går förbi är där inga robotar. Bara någon som håller en presentation på japanska. Eftersom jag inte förstår ett ord går jag vidare när det plötsligt slår mig. Något stämmer inte.

Det jag bevittnat var en av de första demonstrationerna av androiden Repliee Q2, en robot som konstruerats för att imitera en människa, med hud av silikon och avancerad ansiktsmimik. Androiden har en stor mängd rörelsemöjligheter och de flesta av dessa finns i ansiktet. Även om det är en bit kvar till människans 43 ansiktsmuskler kan androiden visa en stor mängd ansiktsuttryck och munnen rör sig på ett relativt realistiskt sätt när den pratar.

Kroppen har däremot väldigt liten rörelseförmåga och roboten måste sitta ner eller vara fastskruvad i golvet för att inte ramla. Hade den rört på kroppen lite mer hade jag kanske inte reagerat alls, för det som fick mig att tveka var den ganska udda kroppshållningen (Figur 1). Armen rörde sig inte på ett fullt naturligt sätt. En liten detalj, kan tyckas, men tillräckligt för att illusionen av liv skulle brytas.

Robotens konstruktörer berättar att androiden idag kan lura människor att den är levande i femton sekunder. Deras mål är att upprätthålla illusionen i femton minuter, säger de. Då skulle androider kunna arbeta i serviceyrken där interaktionen med andra människor ofta är betydligt kortare än så.

Turingtestet

Men varför luras att en maskin är en människa? För att förstå vad som ligger bakom detta måste man gå tillbaka till femtiotalet och en idé som lanserats av den

engelska datorpionjären Alan Turing (Figur 2). Förutom sina revolutionerande bidrag till teoretisk datavetenskap, bidrog Turing även till forskningen inom matematik och teoretisk biologi. Men mest känd är han idag för sin insats under andra världskriget. En insats som ansågs så viktig att den hölls hemlig ända fram till 1974, tjugo år efter hans död. Tillsammans med en brokig skara kreativa snillen på Bletchley Park ledde han arbetet med att dechiffrera tyska marinens radiokommunikation. För att snabba upp processen konstruerade man den elektromekaniska beräkningsmaskinen Bombe. Maskinen, som kunde dechiffrera det tyska Enigmakryptot uppskattas av historiker ha förkortat andra världskriget med mer än två år och därigenom räddat mellan 14 och 21 miljoner liv.

Trots att Bombe inte var en generell dator var den ett steg på vägen mot Turlings vision om en generell beräkningsmekanism. Redan tidigare hade Turing visat att det är möjligt att definiera en abstrakt maskin, Turingmaskinen, som kan beräkna allt som kan beräknas, och det ligger nära till hand att fundera över om en sådan maskin också kan bli intelligent. Men hur ska man mäta intelligensen hos en maskin?



Figur 1: Repliee Q2. En android som utvecklats vid Osakas universitet.



Figur 2: Vänster. Staty av Alan Turing i skiffer av Stephen Kettle. Höger. Den excentriske Turing kedjade fast sin temugg i elementet bredvid sitt skrivbord i Hut 8 i Bletchley Park. Inte utan orsak visade det sig, när man många år senare fann en ansenlig mängd muggar kastade i dammen utanför huset.

I en av sina mest uppmärksammade artiklar presenterade Turing det som senare kommit att kallas Turingtestet. Testet försöker lösa problemet med att avgöra om en maskin är intelligent eller inte. Idén är att låta en person konversera med maskinen och sedan be den avgöra om den just kommunicerat med en människa eller en maskin. Om det inte går att avgöra, då måste man dra slutsatsen att maskinen är lika intelligent som en människa.

För att personen som utför testet inte ska kunna veta vem den kommunicerar med, tänkte sig Turing att man kommunicerar med maskinen på något indirekt sätt, till exempel via en textterminal. Man skriver in meningar som sedan levereras till maskinen eller människan i andra änden, och sedan får man ett svar tillbaka som en utskrift på papper. Då går det inte att se vem som levererar svaren. Naturligtvis måste man också se till att svarstiderna motsvarar dem hos en människa. Om man frågar datorn vad 234×6345 blir, så kanske den kan svara direkt, medan en människa tar en stund på sig att räkna ut svaret.

Eliza och Parry

Turingtestet är både briljant och enkelt, men det har en stor brist: människor kan vara ganska lättlurade. Redan 1966 lyckades Joseph Weizenbaum, som var en av de tidiga pionjärerna inom artificiell intelligens, konstruera programmet ELIZA. Programmet gjorde det möjligt för datorn att föra ett samtal med en person på ungefär det sätt som Turing föreslog i sitt test. ELIZA, som döpts efter rollfiguren Eliza Doolittle i George Bernard Shaws teaterpjäs Pygmalion, hade som mål att

imitera en psykoterapeut i Carl Rogers skola. En central tanke i Rogers terapi är att terapeuten i första hand ska låta klienten själv driva samtalet. Detta var perfekt för ett datorprogram som egentligen inte förstår något utan bara försöker få samtalet att fortsätta. Om ELIZA hittade ord som ”mamma” eller ”pappa” i sitt input kunde hon svara med en färdig mening som ”Berätta mer om din familj”. Med en uppsättning enkla regler och mer eller mindre färdiga svar gick det att lura folk, som på sextioalet inte hade någon större erfarenhet av datorer. Under tester med ELIZA hände det till och med att deltagarna bad att få vara ensamma för att ostört få prata med programmet om sina problem.

En intressant utveckling av idén gjordes några år senare av den amerikanska psykiatrikern Kenneth Colby som tog upp tråden med programmet PARRY. Istället för att imitera en terapeut försökte PARRY imitera en person med paranoid schizofreni. Programmet var framgångsrikt såtillvida att personer som skulle avgöra om de kommunicerade med ett program eller människa inte klarade av detta, men till resultatet bidrog förstås att PARRY imiterade en irrationell paranoid person.

Att varken ELIZA eller PARRY har mycket att komma med blev uppenbart när de kopplades samman för ett samtal på två manns hand. Eftersom båda programmen behöver mänskligt input för att det ska bli något innehåll i samtalet blev deras konversation mycket tom. Den enda gången det hettar till lite är när PARRY råkar slänga in några ord om maffian, men ämnet ebbat snabbt ut igen och konversationen övergår till ett ping-pong spel med tomma fraser.



Figur 3: Vänster. Geminoid HI-1 Android. En androidtvilling till den japanska robotforskaren Hiroshi Ishiguro. Höger. Geminoid DK tillsammans med sin mänskliga tvilling Henrik Scharfe på Aalborgs universitet.

Utvecklingen av program som kan konversera har fortsatt och idag anordnas det årliga tävlingar där olika program försöker klara Turingtestet. Programmen har nu blivit så bra att det är svårt även för experter att efter några minuters interaktion vara säkra på om de pratar med en människa eller en dator. Med längre interaktion går det däremot lätt att upptäcka att man pratar med en maskin, så även om man ibland får höra att olika program har klarat Turingtestet så gäller det bara i en situation med begränsad längd på interaktionen.

Geminoider

Det är inte lätt att klara Turingtestet, men det har inte hindrat vissa forskare att försöka gå ännu längre och försöka bygga maskiner som uppfattas som människor även om man får se dem. Robotforskaren Hiroshi Ishiguro som låg bakom Repliee Q2 har också konstruerat andra robotar med mänskligt utseende. Man brukar skilja mellan humanoider, som är robotar med mänsklig form, men som fortfarande ser ut som maskiner, och androider, som är robotar som är gjorda för att likna en människa så mycket som möjligt. Ishiguro har till och med gått ett steg längre med det han kallar geminoider, eller tvillingrobotar, som har som mål att imitera specifika personer. Bland annat har han konstruerat en kopia av sig själv som han kan fjärrstyra med hjälp av sensorer som läser av hans rörelser och ansiktsmimik (Figur 3). Den senaste geminoiden är en kopia av den danska forskaren Henrik Scharfe.

Att bara försöka imitera människor kan uppfattas som ett ganska ytligt sätt att närma sig levande intelligenta maskiner, men det finns flera skäl till att det ändå kan vara en fruktbar väg att gå. Varför skulle man bortse från vissa aspekter av människans konstitution? Man skulle kunna citera de två cybernetikerna Norbert Wiener och Arturo Rosenblueth som i sin bok om vetenskapliga modeller skrev att ”den bästa modellen av en katt är en annan, eller allra helst samma, katt”. Ju fler aspekter av människan vi kopierar, desto närmare kommer vi en artificiell människa. Vad androidforskarna gör är att börja på utsidan, med kroppens utseende, för att sedan efterhand utveckla intelligens för kroppen.

Kroppens betydelse

Att kroppen är viktig för tänkande och intelligens har under de senare åren blivit allt mer uppenbart. Vår hjärna är trots allt i första hand utvecklad för att styra kroppen. Man brukar prata om ”embodied cognition”, alltså att kroppen är en del av det kognitiva systemet och att hur kroppen ser ut och interagerar med omgivningen är centralt för att förstå intelligens.

En av de främsta förespråkarna för denna inriktning inom robotik är Rodney Brooks som i mitten av åttiotalet revolutionerade området. Han visade att robotar

med ändamålsenlig kropp, men väldigt lite intelligens, kunde utföra uppgifter som varit väldigt svåra att lösa på traditionellt sätt. Istället för att låta robotarna bygga komplicerade interna modeller av omgivningen menade Brooks att de i de flesta fall bara ska reagera direkt på sensoriska signaler. Genom att utgå från kroppsligt baserade beteenden istället för resonerande och planering kunde robotarna fungera snabbt och effektivt trots att de nästan helt saknade intelligens.

Brooks robotar var ett svar på en fråga som ställts av den amerikanska filosofen Daniel Dennett som ifrågasatt att man skulle kunna skapa konstgjord intelligens utan en kropp. Varför inte bygga ett helt djur? Kanske en ödla? Han hävdade att det bästa sättet att uppnå mänsklig intelligens vore att börja med ett enkelt men komplett robotdjur och sedan utveckla denna robot vidare både fysiskt och kognitivt. Man kallar ibland robotarna som byggs inom denna forskningsinriktning för animater och man baserar sina konstruktioner på insikter ifrån biologin.

Några av Brooks första robotar försökte efterlikna insekter och använde sex ben för att gå omkring. De hade diverse sensorer längst fram som gjorde att de kunde gå mot olika mål eller undvika hinder. Robotarna hade ingen central intelligens utan sensorerna var kopplade så att de direkt påverkade gångmönstret på olika sätt. Genom att robotarna var anpassade till omgivningen på samma sätt som ett djur utvecklats att fungera i sin ekologiska nisch, fungerade dessa enkla system förvånansvärt bra. Deras beteende och rörelsemönster visade många egenskaper som man förknippar med biologiskt liv, fjärran från de robotar som man ser inom industrin.

En annan robot som byggts på dessa principer var Hebert. Roboten hade som uppgift att samla upp tomburkar i labbet och slänga dessa i en soptunna. Istället för att låta roboten använda en karta av labbet och beskrivningar av tomburkar, så byggde alla beteenden på att roboten reagerade på signaler här och nu. Dessa beteenden arrangerades i en hierarki så att mera specifika beteenden tog över när deras signaler dök upp. På den lägsta nivån fanns ett beteende som fick roboten att flytta sig framåt. Om dess avståndssensorer reagerade på att det fanns ett hinder framför roboten tog ett annat beteende över som fick roboten att svänga undan. När hindret inte längre detekterades, fortsatte den att röra sig framåt. Samma principer användes även högre upp i systemet. När roboten detekterade en yta i bordshöjd så stannade den och började scanna efter objekt i burkstorlek. Om ett sådant objekt hittades aktiverade detta i sin tur robotens arm. Så länge objektet fanns kvar rörde sig robotens arm mot det tills en fotocell detekterade någonting mellan robotens fingrar. Denna signal satte i sin tur igång ett gripbeteende som hade som mål att greppa det som förhoppningsvis var en tomburk. När robotens fingrar slutligen kände att de rörde vid något, satte detta igång ett nytt beteende, nämligen att återigen driva omkring slumpmässigt i labbet, denna gång i hopp om att hitta en soptunna.

Den här beskrivningen av Herbert gör att roboten framstår att ha intelligensen hos en biltvätt snarare än ett djur eller människa, men det som gör robotens styrsystem så fascinerande är hur flexibelt dess beteende blir. Om man hjälper Herbert och sträcker fram en burk till den kan den ta den och ge sig sen ut i jakt på sop-tunnan. Om man istället tar ifrån Herbert burken så känner roboten inte längre att den håller något i handen och kommer att börja leta efter andra burkar istället. Fast det inte finns någon plan eller modell av världen kommer Herbert att bete sig ändamålsenligt i de flesta fall. Genom att direkt reagera på världen utanför uppstår inga problem med att modellen av världen är felaktig. Brooks formulerade detta som att "världen är sin egen bästa modell".

Humanoider

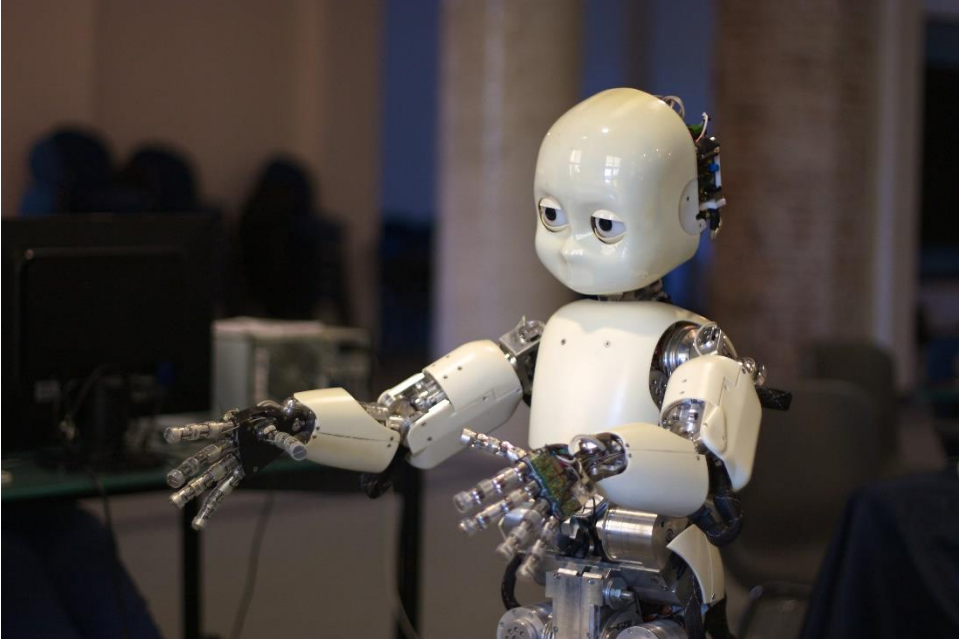
Framgången för den beteendebaserade robotiken gjorde att man snabbt höjde ambitionsnivån. I början av nittioalet var arbetet med roboten Cog i full gång i Rodney Brooks labb. Målet var att med beteendebaserade principer bygga en humanoid robot och enligt den ursprungliga planen förväntade man sig att Cog skulle uppnå självmedvetande år 1997.

Trots att man inte uppnådde sina mål har Cog-projektet varit oerhört viktigt för utvecklingen av humanoida robotar. Projektet visade vägen för den fortsatta forskningen, framförallt genom att göra det accepterat att försöka imitera människans kropp såväl som vår intelligens.

Ett mycket intressant resultat av Cog-projektet var att det visade sig att vi som människor inte kan låta bli att förhålla oss till humanoiden som om den är en levande varelse. Även forskarna som programmerat synsystemet i Cog tyckte det blev jobbigt när roboten tittade på dem hela tiden och satte upp skärmar för att kunna jobba avskilt.

Daniel Dennet har kallat detta förhållningssätt för *the intentional stance*. Vi väljer att tolka beteendet hos roboten som om den hade avsikter med sitt handlande, som om den hade föreställningar om världen och önskningar som den försöker uppfylla. Det hjälper inte att man vet hur roboten är programmerad, och att det kanske bara är enkla regler som styr den. Upplevelsen av intentionalitet finns där i alla fall. I den mest extrema tolkningen av teorin så räcker detta för att ha uppnått intelligens hos roboten. När den enklaste förklaringen till robotens beteende är att den har avsikter på samma sätt som en människa så spelar det ingen roll hur detta är programmerat. Man kan se detta som ett uppdaterat Turingtest. Vi ser att det är en maskin, men väljer ändå att tolka dess beteende som om den vore en levande varelse.

Det är denna tankegång som ligger till grund för handlingen i filmen *Ex machina*. Programmeraren Caleb Smith får till uppgift att avgöra om humanoidroboten Ava är medveten och kan tänka. Det är klart från början att Ava redan klarat Turingtestet och nu är frågan om hon är medveten på riktigt eller om hon bara



Figur 4: iCub. En humanoidrobot med ett barns proportioner. Roboten används i många europeiska forskningsprojekt.

imiterar en människa. Filmen ger aldrig svaret, men Dennet och Brooks skulle säga att det inte spelar någon roll. Om roboten ser ut att ha ett medvetande så är det rimligt att förhålla sig till den som om den har det, på samma sätt som vi antar att andra människor har medvetande fast det inte finns något sätt att bevisa det

Kusliga dalen-fenomenet (不気味の谷現象)

Ingen av dagens androider ser riktigt människolika ut på nära håll. Istället för att se sympatiskt mänskliga ut ger de hos de allra flesta upphov till obehagskänslor. Man känner samma reaktion som om man mött en zombie eller mumie. Något dött som borde vara orörligt har fått liv. De ryckiga och onaturliga rörelserna gör inte saken bättre.

Intressant nog är reaktionen inte den samma för en humanoid robot som inte är så människolik. Roboten iCub som utvecklats i ett stort europeiskt konsortium har konstruerats för att ha ett barns proportioner och uppsyn (Figur 4). Det är tydligt att det är en robot och den uppfattas av många som både söt och trevlig.

Detta är ett exempel på ett fenomen som först beskrevs av den japanska robotforskaren Masahiro Mori på sjuttioalet. Han noterade att ju mer människolik en robot är desto trevligare känns den, men detta samband bryts när man kommer

väldigt nära ett mänskligt utseende. Då uppstår istället obehagskänslor. Fenomenet kallas på engelska för ”the uncanny valley”. Istället för att se mer levande ut är resultatet snarare det motsatta. Man lägger extra mycket märke till det som inte är mänskligt hos roboten.

Att imitera liv

Det finns flera skäl till att man skulle vilja konstruera en robot som upplevs som en människa. Ett är att en robot som ska fungera tillsammans med människor bör kunna kommunicera med dessa på ett naturligt sätt. Detta handlar inte bara om språk utan också om hur man kommunicerar med sina rörelser. När vi tittar på en annan människa så kan vi oftast förstå vad den håller på med. Rörelserna och kroppsspråket kommunicerar avsikter och mål. Vi ser om en person vi möter i korridoren har uppmärksammat oss och att den inte kommer att krocka med oss.

Det är naturligtvis lättare att förstå sådana subtila signaler från en robot som är människolik än en som ser ut som en dammsugare. Det kan alltså finnas anledning att konstruera robotar med humanoid form. Och ska vi tro Dennett kommer vi att förhålla oss till roboten som om den vore levande, helt enkelt för att det är mest ekonomiskt.

Målet borde inte vara att försöka luras att en maskin är en människa, utan att konstruera robotar som vi lätt kan förstå och interagera med. Sådana robotar kan vara humanoida, eller kanske djurlika, men det är inte människolikheten i sig som är det viktiga, utan att vi på ett naturligt sätt kan kommunicera med dem och uppfatta vad de håller på med. Här är det fundamentalt att titta på grundläggande aspekter av kommunikation mellan människor: Hur vi använder kroppsspråk och blick för att koordinera våra handlingar. Det är först när man lyckas fånga dessa egenskaper som man kommer att kunna bygga robotar som är nästan levande.



Lästips

Balkenius, Christian; Gärdenfors, Peter (2011). *Artificiell intelligens* Nationalencyclopedin

Brinck, Ingar; Balkenius, Christian; Johansson, Birger (2016) Making Place for Social Norms in the Design of Human-Robot Interaction. In Seibt, J.; Nørskov, M.; Schack Andersen, S. (Red.) *What Social Robots Can and Should Do. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications* IOS Press

Brooks, Rodney (1989) *Cambrian Intelligence. The Early History of the New AI* MIT Press

Gärdenfors, Peter; Balkenius, Christian (1993) *Varför finns det inga riktiga robotar?* Lund University Cognitive Studies, 18

Nordin, Peter; Wilde, Johanna (2003) *Humanoider: Själlärande robotar och artificiell intelligens* Liber

Turing, Alan (1950) Computing Machinery and Intelligence *Mind* 59 (236): 433–460 <http://www.loebner.net/Prizef/TuringArticle.html>

Ziemke, Tom; Balkenius, Christian; Hallam, John (2012). *From Animals to Animats* 12 Springer

Artificiell intelligens som livsform

Om autonoma vapensystems rättsliga ställning

Markus Gunneflo

Artificiell intelligens bryter med invanda sätt att tänka kring å ena sidan objekt, ting, teknologiska artefakter och, å andra sidan, handlande subjekt. Somliga tänker rent av på artificiell intelligens som en ny form av liv. En sfär där artificiell intelligens står inför ett genombrott är i krig. Av förklarliga skäl finns starka åsikter om detta. Utvecklingen förkastas som innebärandes slutet på "humanitet" i krig med krav på ett omedelbart stopp av utveckling och användning och, motsatt, omfamnas, med förhoppningar om en dramatisk ökning av militära styrkors effektivitet. Teknologin tycks erbjuda möjlighet att befästa större områden militärt, nå djupare in på fienders territorium och utökad uthållighet på slagfältet utan risk för egna soldater och till, på sikt, lägre kostnad.

Frågan om laglighet och rättsligt ansvarsutkrävande upptar en central plats i en pågående global diskussion om dessa system. Här ställs vi emellertid inför ett grundläggande problem som rör autonoma vapensystems ontologiska status eller "varande". Detta problem löses inte utan underblåses av krigets lagar: Antingen är autonoma vapensystem att betrakta som vapen eller som en stridande part; antingen är de ett objekt, ting eller teknologisk artefakt eller ett handlande subjekt. Det senare är en kategori som, i krigets lagar, förbehålls människan, något som fästs särskild vikt vid eftersom regelverkets själva raison d'être är "humanitet" som motvikt till den militära nödvändighetens kalla rationalitet.

Om autonoma vapensystem är att betrakta som vapen ställer krigets lagar krav på rättslig prövning om användning av dem under vissa eller alla omständigheter kan vara förbjudna enligt krigets lagar. Detta främst därför att vapnet på ett otillbörligt sätt kan få konsekvenser för civila eller orsakar onödigt lidande för soldater eller "kombattanter". Problemet med denna klassificering är emellertid att så fort systemet utövar mer avancerade former av självständig handlingsförmåga överskrider de vapenkategoriens gränser; övergår från ett objekt till ett handlande subjekt och kommer då mer att likna en kombattant.

Om autonoma vapensystem är att betrakta som kombattanter ställs krav på att dessa ska kunna utbildas i krigets lagar men även att de ska kunna bestraffas vid överträdelse. Autonoma vapensystem har emellertid svårt att passera som kombattanter så länge de enbart kan tränas att tillämpa krigets lagar med en form av

på förhand bestämd automatik. Just denna automatik gör även att de inte kan bestraffas för krigsbrott eftersom det kräver uppsåt eller oaktsamhet i förhållande till handlingen, en kognitiv förmåga som denna typ av artificiell intelligens inte besitter.

Krigets lagar ger oss således två ömsesidigt uteslutande alternativ när vi ska bedöma lagligheten hos autonoma vapensystem. Samtidigt som de överskrider vapen kategorin når de inte upp till – eller är någonting annat än – det krigets lagar avser med ett handlande subjekt.

Detta korta inlägg diskuterar autonoma vapensystems rättsliga ställning och frågan om rättsligt ansvarsutkrävande vid användning. Jag börjar med problemen med att tänka på autonoma vapensystem som vapen och går därefter vidare till problemen att betrakta dem som soldater eller kombattanter. Sist prövas förutsättningarna för att betrakta autonoma vapensystem som en ny typ av rättssubjekt eller, med andra ord, ”liv” i lagen.

Varför autonoma vapensystem inte är vapen

Den dominerande uppfattningen i debatten om autonoma vapensystem (Figur 1) är att de ska betraktas som vapen. Därmed förutsätts också att deras laglighet, i likhet med andra ting som används av människor i krigföring, laglighetsprövas i förhållande till deras ”användning”. Problemet är emellertid att avancerade autonoma vapensystem inte kan reduceras till ting, eller objekt, eftersom dess mest karaktäristiska egenskap är just att de har egenskaper som gör dem till handlande subjekt.

Det sätt på vilket autonoma vapensystem överskrider kategorin vapen illustreras bäst genom att beakta hur folkrätten kräver prövning om ett vapens användning under vissa eller alla omständigheter är förbjudna. Detta krav sträcker sig mer än ett sekel tillbaka men har senare formulerats som en förpliktelse att vid studium, utveckling, anskaffning eller val av ett nytt vapen eller stridsmedel eller en ny stridsmetod, prövning skall ske om dess användning under vissa eller alla omständigheter är förbjuden.

Som synes förutsätter denna regel att vi har att göra med en teknologisk artefakt som ”används” av en kombattant. Vapen är antingen lagliga eller olagliga därför att de orsakar onödigt lidande eller inte kan användas på ett sådant sätt att civila inte kommer att drabbas på ett otillåtet sätt. Laglighetsprövningen ser alltså till att deras design och förmågor är förenliga med krigets lagar med avseende på deras ”normala” eller ”förväntade” användning. Problemet med autonoma vapensystem, om de ska betraktas som vapen är emellertid att de inte är lagliga eller olagliga per design. Istället *agerar* de lagligt eller olagligt. På detta sätt liknar de soldater eller kombattanter. Frågan infinner sig då om autonoma vapensystem, i likhet med kombattanter, kan tränas i uppfyllande av krigets lagar och om individuellt ansvar vid överträdelser kan göras gällande?



Figur 1: Ett autonomt militärfordon.

Varför autonoma vapensystem inte är kombattanter

Kategorin kombattanter utgörs av en stats väpnade styrkor samt därmed tätt förknippade milis- och andra frivilliga grupperingar (Figur 2). Bland de regler som kombattanter förväntas följa återfinns reglerna för stridande handlingar. Endast mål som är nödvändiga att angripa för att segra, och som är lagliga mål, får angripas. Strikt åtskillnad måste göras mellan kombattanter och militära mål å ena sidan och civila och civila mål å andra sidan. Endast de förra får angripas. När civila eller civila mål ändå drabbas är det olagligt endast när en attack kan ha förväntats förorsaka oavsiktliga förluster som kan anses överdrivna vid jämförelse med den påtagliga och direkta militära fördel som förväntas av attacken. För att möta dessa krav skall de som planerar eller beslutar om anfall vidta försiktighet och göra allt som är praktiskt möjligt för att kontrollera att de mål som angrips varken är civilpersoner eller civil egendom och inte heller är föremål för särskilt skydd, utan att det är militära mål.

Om autonoma vapensystem betraktas som kombattanter måste de också kunna tränas eller utbildas i uppfyllande av dessa normer.

Christian Balkenius som i sitt kapitel skriver om utmaningarna i samband med att tillverka människolika robotar, har i en vetenskaplig artikel visat hur angelägenheten att robotar agerar i enlighet med normer ofta tar sig formen av externt formulerade lagar eller uppförandekoder som en robot ska följa. Science fiction-författaren Isaac Asimovs robotlagar är ett välkänt sådant exempel. Krigets lagar är autonoma vapensystems robotlagar.

Problemet med externt formulerade regler är att de kräver att roboten har en full förståelse av reglerna och dess konsekvenser men även kapaciteten att förstå det sammanhang i vilket de ska appliceras. En fullständig förståelse av norm och fakta ska även kunna leda fram till en förmåga att resonera kring tillämpligheten i enskilda fall.

Gregor Noll, professor i juridik vid Lunds universitet, har diskuterat frågan hur just de abstrakt formulerade reglerna i krigets lagar ska kunna appliceras i konkreta fall. Han konstaterar att det finns ett grundläggande problem i att tillämpningen av krigets lagar tycks kräva en typ av kompetens – fantasi och förmåga att göra avvägningar mellan ojämförbara värden – som inte passar datorers styrka inom beräkningar och logik. Som illustration, och mot bakgrund av användningen av neuroteknologi för utveckling av vapensystem, vidtar Noll ett tankeexperiment: Han föreställer sig att ledande experter på krigets lagar från världens alla hörn samlas och ställs inför olika scenarier i vilka de får tillämpa internationell humanitär rätt. Ögonrörelser och hjärnaktivitet iakttas och hur man talar om sina bedömningar spelas in. Samma sak görs med en grupp icke-experters. Noll tänker sig att det utmärkande för expertis på detta sätt kan registreras och översättas till en kod som kan förstås av ett vapensystem. På så sätt har en typ av mjukvara.



Figur 2: Soldater i Mazar-e-Sharif, Afghanistan, juli 2012.

Det ska påpekas att Noll inte själv förespråkar utvecklingen av sådan mjukvara. Han menar till och med att det är omöjligt eftersom tanken att relevanta mänskliga egenskaper är tillgängliga genom neurologiska processer representerar en form av urartad Cartesianism (efter filosofen René Descartes) där sinnesintryck och kognitiva processer placeras i hjärnan snarare än i en förkroppsligad rationalitet eller sinne. Som kontrast understryker Noll vikten av språk och kommunikation för de avväganden som krigets lagar kräver.

Andra debattörer menar att normen om *försiktighet* i krigföring samt att allt som är praktiskt möjligt måste göras för att kontrollera att de mål som angrips varken är civilpersoner eller civil egendom och inte heller är föremål för särskilt skydd. Det innebär att beslutsfattaren måste utöva ”diskretion”, något de menar att autonoma vapensystem är oförmögna till.

Denna argumentation håller också fram avvägningar och kommunikation framför beräkningar och logik vid tillämpning av krigets lagar. Förpliktelsen att utöva diskretion innebär att beslutsfattaren i varje beslut måste beakta de mål som normerna syftar till samt samtliga de rättigheter och intressen som påverkas. Beslutsfattaren måste lyssna och vara beredd att riva upp beslut och ändra riktning. Det finns de som menar att ett autonomt vapensystem som inte kan förändra sina algoritmer genom en process som kan jämföras med mänsklig inlärning inte kan vara kapabelt att utöva diskretion. Ett sådant system kontrolleras av överväganden som gjorts i förväg av människor, medan diskretion helt enkelt inte kan förutbestämmas.

Detta leder oss vidare till frågan om ansvarsutkrävande. Om ett autonomt vapensystem begår ett krigsbrott och ingen har handlat med uppsåt eller oaktsamhet, vem ska då hållas ansvarig? Det finns förvisso förslag på lösningar av detta, men de avvisas på goda grunder i forskning om ansvarsutkrävande i krig. Det har till exempel hävdats att oförutsebarheten i autonoma vapensystems handlingar gör att ett förändrat befälsansvar som skulle innebära att en människa med någon form av kontroll över systemen alltid ska kunna göras ansvarig riskerar att strida mot principen ”utan brott inget straff”. Ett förslag på en typ av strikt ansvar för de som *utvecklar* systemen skulle också kräva en förändring av befintlig reglering, en förändring som inte bara är osannolik utan hamnar i samma problem som ett utvidgat befälsansvar.

Nytt ”liv” – Ny lag

Forskare har skiljt mellan vapen som är autonoma i bemärkelsen att de kan agera oberoende av omedelbar mänsklig kontroll å ena sidan och å andra sidan vapen som fattar egna beslut om och, i så fall hur, mål ska angripas på ett sådant sätt att även om normer tillämpas, vapnets interna ”uppfattningar” och ”värderingar” kommer att få betydelse. De senare systemen kan också ha förmågan att utvecklas

genom erfarenhet, och vara normstyrda i bemärkelsen att de förses med motivation att respektera gällande normer och bedöma operativa fakta som leder till normuppfyllande resultat.

Det är intressant att innehållet i den kritik som jurister riktar mot att låta avancerade datorsystem tillämpa krigets lagar enbart tycks gälla den förra typen av automatiskt beaktande av externt formulerade regler, inte den senare typen av internaliserad normuppfyllnad. Så är fallet med Nolls fokus på problemet med normer som implicerar relationer mellan ojämförbara värden och hur dessa kräver fantasi och kommunikation snarare än beräkningar och logik. Så är fallet även med de som lägger fokus på skyldigheten att utöva diskretion. Diskretion, menar de, är förknippat med inläring och förmåga att förändra beteende. Deras slutsats att autonoma vapensystem är olagliga är därför uttryckligen begränsad till ”teknisk” till skillnad från ”substantiell” autonomi.

”Substantiell” autonomi är just precis vad forskning inom artificiell intelligens som söker utveckla robotar med en inneboende, snarare än externt formulerad, etik har formulerat. Christian Balkenius har exempelvis varit med om att utveckla en modell där robotar lär genom att observera interaktion mellan robotar eller mellan robotar och människor. Det är alltså fråga om en i grunden social inläring där robotens ”fysiologi”, ”sinnesorgan” och ”motorik” kommer att spela en viktig roll.

Det är naturligtvis viktigt att påpeka att utvecklingen av robotar med en inneboende moral inte primärt syftar till att utveckla autonoma krigare. Syftet är att bygga robotar som människor kan ha förtroende för i olika miljöer. Den metod som tillämpas tycks emellertid vara fullständigt öppen inför vilken typ av normer och beteende robotar tillåts utveckla. Författarna beskriver hur en utmärkande faktor för denna typ av robotar är just förmågan att internalisera moral, beteenden och känslor från sin omgivning. Om denna omgivning utgörs av militär träning, inklusive träning i krigets lagar, kan vi få ett autonomt vapensystem.

Vissa menar att försöken att inrymma de mest avancerade autonoma vapensystemen – de som besitter självförståelse och förmåga till inläring och förändring beroende av miljö – i befintliga kategorier leder fel och att konsekvensen av detta är att vi begränsar våra möjligheter att reglera denna framväxande teknologi. Istället bör en framtida reglering av autonoma vapensystem ta sin utgångspunkt i teknologins unika natur, förutsättningar och förmågor. En sådan rättslig regim kommer att behöva innehålla såväl normer om rättslig prövning vid utveckling och användning, utbildning i normuppfyllande beteende samt regler om ansvarskrävande. Tanken är likväl svindlande. Vi står i så fall inför att acceptera ett nytt rättssubjekt – nytt ”liv” i krigets lagar – artificiell intelligens med laglig rätt att fatta beslut om, och själv ta, mänskligt liv.



Lästips

Eliav Lieblich; Benvenisti, Eyal (2016) “The Obligation to exercise discretion in warfare: Why autonomous weapons systems are unlawful” I Nehal Bhuta, Susanne Beck, Robin Geiß, Hin-Yan Liu and Claus Kreß (red.) *Autonomous Weapons Systems: Law, Ethics, Policy* Cambridge University Press

Rebecca Crootof, 2016, *Autonomous Weapon Systems and the Limits of Analogy*, manuskript tillgängligt på SSRN: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2820727

Sartor, Giovanni & Omicini, Andrea (2016) “The Autonomy of Technological Systems and Responsibilities for their Use”, i Nehal Bhuta, Susanne Beck, Robin Geiß, Hin-Yan Liu and Claus Kreß (red.) *Autonomous Weapons Systems: Law, Ethics, Policy*, Cambridge University Press

Artificiell intelligens

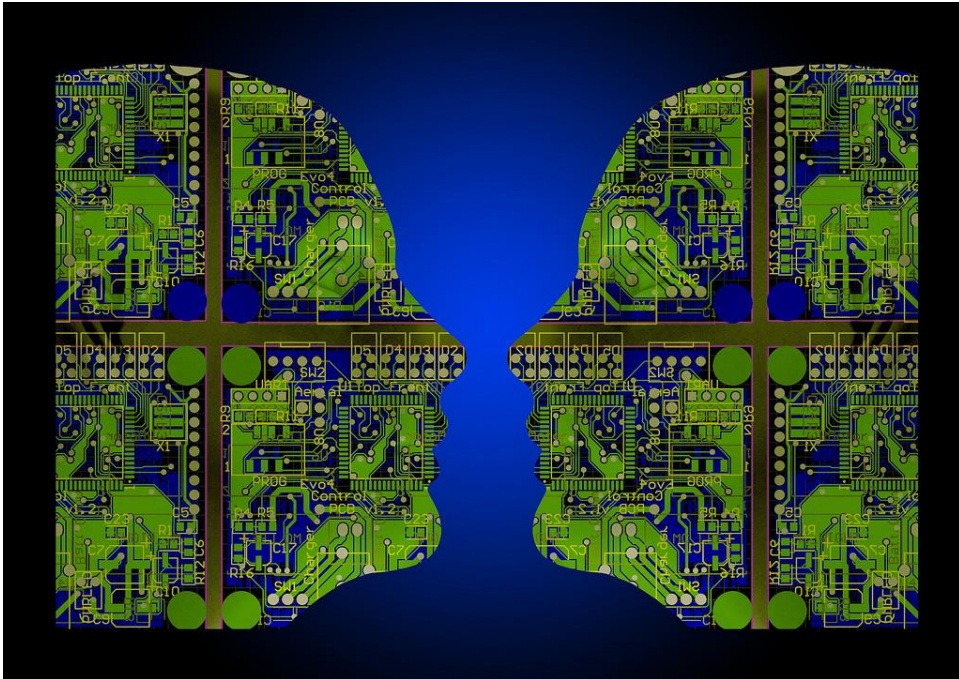
Vems ansvar?

Maria Hedlund

Detta kapitel tar ett politiskt perspektiv på liv med artificiell intelligens som exempel. Kapitlet undersöker politiska initiativ om robotar och artificiell intelligens för att se hur beslutsfattare och deras rådgivare resonerar kring frågor om etik, demokrati och ansvar.

Det är långt ifrån självklart att robotar och artificiell intelligens (AI) skall betraktas som en livsform i samma mening som andra livsformer. Medan den syntetiska biologin försöker efterlikna livsformer här på jorden och astrobiologin letar efter livsformer på andra platser i universum, förknippas robotik och artificiell intelligens inte i första hand med liv, utan med maskiner. Och maskiner är väl inte levande? Men robotar och andra intelligenta maskiner kan ha funktioner som liknar funktioner hos levande varelser, till exempel spela schack eller Go, fungera som sällskap, hjälpreda, barnvakt eller polisassistent, tolka bilder, identifiera ansikten och detektera känslor och reagera på dem. Med maskininlärning kan robotar också lära sig nya saker på liknande sätt som levande varelser gör (vilket även Balkenius diskuterar i sitt kapitel). Robotar kan alltså bete sig som om de vore levande, och de utformas också ofta som levande varelser, med huvud, ögon, armar och kropp, ibland med ben, ofta gulliga. De kan alltså också se ut som om de vore levande varelser. Så även om robotar inte kan definieras som levande (se Abbotts och Perssons kapitel om jakten på en ny definition av liv), uppmuntras vi av deras funktioner och av deras utseende att betrakta dem som om de vore levande. Vi får något slags relation till roboten, och denna relation påverkar hur vi förhåller oss till den. Detta gör förstås inte roboten levande i sig, men tillsammans med andra aspekter är det ändå en del som talar för att det skulle kunna vara rimligt att se robotar och artificiell intelligens som en livsform (Figur 1). Och även om vi inte accepterar tanken på levande maskiner, har robotar egenskaper som väcker viktiga frågor som vi på något sätt måste hantera.

Liksom inom den syntetiska biologin, diskuteras inom robotiken vilken moralisk status som konstgjort liv kan eller bör ha. Inom astrobiologin, som söker efter liv i rymden, talas det om att de livsformer man hoppas (?) upptäcka inte nödvändigtvis liknar de livsformer vi känner till här på jorden. Kanske ”befolkas” rymden av intelligenta maskiner, som har skapats i någon annan galax? Kanske



Figur 1: Kan (eller bör) intelligenta maskiner betraktas som levande i någon mening?

kommer livet på jorden att lämna spår i rymden, inte genom människor bosatta på andra planeter, utan i form av intelligenta maskiner – så kallat post-biologiskt liv – som reproducerar sig själva och koloniserar andra solsystem eller galaxer? Ett sådant scenario är också en skrämmande framtidsvision hos en del forskare och debattörer som ser en risk med att allt intelligentare maskiner så småningom kommer att bli intelligentare än människan och därefter ta över världen. Att ”ta över världen” kan syfta på att robotar successivt ersätter människan på allt fler jobb, fattar allt fler beslut, och till slut blir omöjliga att ersätta, men det kan också handla om en plötslig övergång, där AI väldigt snabbt blir mycket intelligentare och utvecklar så kallad superintelligens. I en sådan framtid finns ingen självklar plats för människan, som, i bästa fall, får fungera som slavar eller husdjur till maskinerna, men, troligare, förintas i superintelligensens ändlösa strävan efter resurser. Här skulle man kunna invända att det inte nödvändigtvis krävs superintelligens för att utmanövrera människan. AI är redan överlägsen människan på många områden, men det handlar om intelligens på specifika och avgränsade områden. De som målar upp dystopiska framtidsscenarioer tänker sig oftast en generell AI, som inte bara är intelligentare än människan på alla olika områden, utan som också har förmågan att interagera med och anpassa sig till en dynamisk omgivning. Med maskiner som kan programmera sig själva att bli allt intelligentare kan steget till så kallad superintelligens eller artificiell generell

intelligens komma väldigt snabbt, och för mänsklighetens överlevnad är det nödvändigt att vi utvecklar en artificiell intelligens som är fredlig och inte riskerar att utgöra något hot mot människan. Forskare som den svenskfödde filosofen Nick Bostrom och fysikern och kosmologen Stephen Hawking kan sägas representera denna position, liksom ingenjören, uppfinnaren och entreprenören Elon Musk.

Alla är dock inte eniga om att allt intelligentare maskiner behöver innebära ett hot mot mänskligheten. Även om maskiner i framtiden skulle ha en intelligens som vida överstiger människans, skulle de inte kunna utveckla en egen vilja, och utan egen vilja skulle maskiner aldrig kunna göra något som vi inte ber dem att göra, går resonemanget. En annan argumentationslinje är att ett eventuellt hot ligger väldigt långt fram i tiden. Den AI som utvecklats hittills är specifik, och saknar därmed förmåga att utföra något som går utöver dess specifika område. Utvecklingen av generell artificiell intelligens, som skulle kunna utmanövrera människan på alla områden, ligger enligt detta sätt att resonera så långt fram i tiden att det bara är en onödigt distraktion att nu försöka hantera ett eventuellt hot från framtida intelligenta maskiner. I stället bör vi rikta uppmärksamheten mot nödvändig forskning och utveckling om befintliga problem. Detta kapitel tar delvis sin utgångspunkt i dessa två positioner, som vi skulle kunna kalla ”AI tar över” respektive ”här och nu”.

Utvecklingen inom robotik och artificiell intelligens ger upphov till frågor av olika karaktär. En typ av frågor handlar om konsekvenser av automatiseringen, som bortrationalisering av jobb. Andra frågor handlar om robotarna själva. Bör vi betrakta intelligenta maskiner som moraliska agenter med skyldigheter, eller till och med som moraliska subjekt som också har rättigheter? Vilket moraliskt ramverk vill vi att de skall följa? Och hur lär vi robotar att handla moraliskt? Skall vi programmera in en viss moral, eller skall robotarna lära sig den moral som råder i samhället? Vilka värderingar lär sig maskiner som programmerats att lära sig själva? Forskare har visat att en algoritm (det vill säga en sekvens av instruktioner som talar om för en dator vad den skall göra) som får lära sig att tolka språk genom att ta del av stora textmängder, plockar upp djupt liggande fördomar som är dolda i språkstrukturen. Skulle det kunna bidra till att förstärka dessa fördomar, eller är det något vi kan utnyttja för att lära oss något om oss själva? Frågor om robotars agentskap och moral hänger ihop med frågor om ansvar för konsekvenser av vad robotar gör. Vem är moraliskt ansvarig för skador som orsakas av AI? Vem är till exempel ansvarig om en förarlös bil skadar eller dödar en människa? Och hur skall vi komma fram till svaren på dessa frågor?

Syftet med detta kapitel är att undersöka hur politiska beslutsfattare förhåller sig till frågor om ansvar som utvecklingen inom robotik och artificiell intelligens ger upphov till. Även om arbetet med robotik och artificiell intelligens har rötter i 1950-talet, har de senaste decenniernas teknologiska utveckling på dessa områden fullkomligen exploderat. Både forskare och politiker uppmärksammar

alltmer behovet av reglering av robotik och artificiell intelligens, inte minst för att klargöra ansvarsförhållanden. Går det i den politiska debatten att se spår av de två positioner (den framtidsinriktade respektive här och nu-positionen) som kan identifieras i den vetenskapliga debatten? Vilken typ av aktörer inkluderas i processerna med att ta fram underlag till politiska beslut? Med andra ord, vilka röster får höras i den politiska debatten om robotik och artificiell intelligens, och hur tas de emot? Hur diskuteras ansvarsfrågor? Talas det något om vilka normer och värderingar som skall ligga till grund för beslut om robotar och AI? Och diskuteras i så fall hur vi skall komma fram till det och vem som skall få vara med och påverka dessa beslut? Undersökningen utgör ett nedslag i den samtida politiska debatten i Sverige, EU och USA.

Expertis och demokrati

Möjligheter att upptäcka eller uppfinna nya livsformer bygger på avancerad teknisk och vetenskaplig kunskap som involverar experter från många olika områden. Liksom på alla komplicerade områden, är politiska beslutsfattare beroende av experter för att kunna fatta välinformerade beslut. Politisk praktik är emellertid mer komplex och mindre rätlinjig än den bild av politiskt beslutsfattande som en rationell process, som vi ibland föreställer oss. Inte bara ideologi och folkvilja, utan också egenintresse, maktsträvan och lojaliteter påverkar vad aktörer de facto gör, något som delvis förklarar varför råd från experter ibland bara delvis eller inte alls gör avtryck på politiska beslut. Trots detta, finns alltid en risk att experter med sin överlägsna kunskap dominerar, på bekostnad av medborgerligt inflytande och demokratiska värden. Det kanske viktigaste argumentet för demokrati är att den ger människorna i ett samhälle möjlighet att vara med och bestämma vilka normer mot vilka samhället skall styras. Att människor inkluderas och får ha inflytande på frågor som berör dem är därför grundläggande i demokratiska samhällen (och borde vara fallet i alla samhällen). Hur vi på bästa sätt förenar expertinflytande med demokratiska värden är dock långt ifrån självklart. Olika politiska system gör olika avvägningar mellan värden såsom jämlikhet och frihet, opartiskhet och effektivitet. Nya livsformer är inte bara ett tekniskt komplext område där beslutsfattare är i stort behov av expertråd, utan också ett område som ger upphov till långtgående existentiella frågor såsom vad liv egentligen är och vad nya livsformer innebär för livet för oss människor – frågor som berör hela mänskligheten. Det finns således starka skäl till att både experter och medborgare behöver vara inkluderade i politiska processer som berör nya livsformer.

Det spelar också stor roll vilka experter som inkluderas och vilka organisationer de representerar. Vi kan förvänta oss att olika experter har olika intressen och olika agendor. Forskare kan betona olika frågor beroende på vilka vetenskapliga discipliner de arbetar inom. Filosofen ser sannolikt andra problem än ingenjören eller programmeraren. Företag, myndigheter och intresseorganisationer gör

i sin tur andra prioriteringar som kan påverka vilka frågor de lyfter fram. Från ett demokratiskt perspektiv bör vi inkludera bred och varierad representation av olika åsikter, en mångfald av intressen liksom vanliga medborgare. Vi behöver experter för teknisk vägledning, och vi behöver medborgare – inklusive experter – för att olika värderingar och normer skall komma till uttryck. Teknisk expertis är inte tillräckligt. Vi behöver också veta mot vilka normer samhället bör organiseras, och det är därför demokrati är så viktigt. Demokratiska processer behövs för att stöta och blöta olika åsikter och göra normerna explicita, så att vi så småningom skall veta vad det är vi fattar beslut om, och varför.

Ansvar

I en artikel i Sydsvenska Dagbladet våren 2013 uttalar sig dåvarande regionrådet Katarina Erlingsson angående att hon utpekas som ansvarig för den styrande fem-klöverns hantering av barnintensiven i Skåne: ”Jag tar ansvar genom att sitta kvar.” Detta avviker från hur ansvar vanligtvis förstås. En standardförståelse av ansvar är att den som har orsakat någon form av normbrott också är den som är ansvarig och skall ta konsekvenserna av detta, och i politiska sammanhang handlar ”att ta ansvar” ofta om att avgå. Resonemanget bygger på en enkel orsakskedja, och blickar alltså bakåt i tiden. Vi kan kalla detta sätt att förstå ansvar för bakåtblickande ansvar.

Det finns emellertid problem med en sådan här bakåtblickande förståelse av ansvar. Med sina rötter i juridiken, ligger fokus på denna förståelse av ansvar på att hitta den skyldige, och den skyldige skall på något sätt stå till svars – an-svara – genom att ta sitt straff (betala böter, sitta i fängelse, eller som i fallet med politiker: avgå). Men om vi uteslutande koncentrerar oss på att straffa den skyldige, missar vi hur vi skall komma tillrätta med dåliga förhållanden. Klimatförändringar, diskriminering och social orättvisa är exempel på förhållanden i samhället som har orsakats av människor. Det skulle alltså, om än kanske inte i praktiken, så i alla fall i princip, vara möjligt att identifiera dem som är skyldiga till dessa fenomen. Bakåtblickande ansvar är dock begränsat till att peka ut de skyldiga, men utan att den dåliga situationen förbättras. Om vi nöjer oss med att straffa dem som är skyldiga till klimatförändringar, diskriminering eller social orättvisa, kommer dessa dåliga förhållanden att bestå även i framtiden. De skyldiga har fått stå till svars, men det som de har gjort sig skyldiga till – och som är grunden till att vi vill straffa dem – är kvar. För att ansvar skall vara meningsfullt, behöver vi komplettera det bakåtblickande ansvaret med ett framåtblickande ansvarsbegrepp som tar fasta på hur vi skall kunna komma tillrätta med dåliga förhållanden.

Eftersom framåtblickande ansvar tar sikte på att göra något åt en viss situation är förmågan att agera central. Man brukar tala om denna förmåga i termer av att ha den kapacitet som krävs (till exempel kunskap eller pengar) och att vara i en position som gör det möjligt att agera (till exempel att besitta en maktposition,

men också att befinna sig på rätt plats i rätt tid). Argumentet är att makt och resurser kan göra en aktör moraliskt förpliktigad att avhjälpa en dålig situation oberoende av hennes direkta inblandning i hur denna situation uppkommit. En konsekvens av att kapacitet och position här är viktigare än orsakssamband är att det framåtblickande ansvaret inte nödvändigtvis tillhör den som orsakat skadan. Detta kan innebära legitimitetsproblem, och på något sätt måste därför kapacitetsprincipen knytas till den aktör som tillskrivs ansvar. Professorn i statsvetenskap Iris Marion Young (1949–2006) har föreslagit att detta kan göras genom att beakta de sociala processer som förbinder människor. Genom att vara en del av de sociala strukturer som gör vissa utfall möjliga, bidrar människor i olika utsträckning till dessa utfall. Det kan till exempel handla om att de val man gör som konsument har betydelse för dem som arbetar med att tillverka det man köper. Dessutom, menar Young, kan solidaritet moraliskt rättfärdiga varför personer med kapacitet att agera eller som befinner sig i en position som gör det möjligt att agera borde ha framåtblickande ansvar.

Ansvar behöver alltså inte enbart handla om att blicka bakåt och hitta den skyldige, utan kan också handla om att blicka framåt och att åtgärda dåliga förhållanden. Bakåtblickande och framåtblickande ansvar kan följaktligen leda till stora skillnader både avseende hur ansvaret fördelas, och när det gäller vad ansvaret innebär i konkreta åtgärder.

Politiska initiativ om robotik och artificiell intelligens

Redan på 1950-talet diskuterade datorforskare artificiell intelligens. På ett möte i New Hampshire 1956 föreställde sig forskarna en värld där maskiner löser problem som ännu bara människor kan lösa, använder språk och förbättrar sig själva. Utvecklingen har sedan gått från 1980-talets regelbaserade expertsystem på väldefinierade områden till dagens snabbt växande maskininlärning, som bygger på betydligt större datamängder. AI-system överträffar numera människan på specialiserade uppgifter såsom exempelvis olika spel. Det är troligt att nästa fas i AI kommer att handla om en mer generell artificiell intelligens, som fungerar på många olika områden. Artificiell intelligens har, som Johansson talar om i sitt kapitel, länge varit föremål för fantasifulla gestaltningar i film och litteratur. Hittills har detta alltså mest handlat om spekulationer, och det är först på senare år som robotik och artificiell intelligens börjat nå politiska dagordningar. Utvecklingen inom robotik och artificiell intelligens sker nu närmast explosionsartat och även om politiken vanligtvis ligger efter tekniken, kan nya politiska initiativ snabbt tas. Denna text gör inte anspråk på att ge en heltäckande bild av det politiska landskapet, utan utgör ett nedslag i frågan om nya livsformer (här exemplifierade med robotar och AI) vid en viss tidpunkt (våren 2017) utifrån perspektivet expertinflytande och demokrati i politiska processer i EU, USA och Sverige med ett särskilt fokus på ansvarsförhållanden och demokrati (Figur 2). Materialet som ligger till



Figur 2: Sveriges riksdag.

grund för den här genomgången är olika initiativ från politiker och forskare, expertrapporter, utredningar, kommunikation mellan olika politiska institutioner och policydokument.

I det material som jag har tittat på finns både likheter och skillnader. Gemensamt för EU, USA och Sverige är att alla framhåller vikten av att satsa på forskning och utveckling för att bli världsledande eller att bibehålla sin ledande ställning. I EU:s fall handlar det om att satsa tillräckligt med pengar för att fortsatt vara ledande på forskning inom robotik och AI, men vilken forskning det rör sig om uttrycks i ganska allmänna termer. I USA, som också säger sig vilja förbli världsledande inom AI, diskuteras specifikt att forskning om till exempel interaktionen människa—maskin och forskning om maskininlärning bör prioriteras. En utmaning som lyfts fram är att maskiner som styrs av AI verkligen gör det som människan vill att de skall göra – och inte det som vi säger att den skall göra. Ett exempel skulle kunna vara städroboten som täcker över röran i stället för att städa bort den, när vi sagt åt roboten att göra fint i vårt hem. (Ett mer drastiskt exempel är städroboten som avlivar de mänskliga invånarna i bostaden för att de inte skall skapa mera röra.) Svårigheten att göra om mänskliga avsikter med alla underförstådda antaganden till ett precist programmeringsspråk är en reell svårighet som explicit diskuteras i de amerikanska dokumenten. I Sverige förekommer inte begreppen robotik och AI på samma sätt i den politiska diskussionen, men här finns ändå skrivningar om att Sverige skall bli bäst i världen på att använda digitaliseringens möjligheter, och om vikten av satsningar för att bli världsledande på e-hälsa.

Med e-hälsa menas användningen av digitala verktyg för att uppnå och bibehålla hälsa, ett område som sägs ha stor utvecklingspotential med hjälp av artificiell intelligens. Annars sägs inte så mycket om AI i de svenska dokumenten. Några enstaka motioner om uppmaningar till satsning på AI-forskning har avslagits med hänvisning till en stor utredning om digitalisering och datahantering, och det som

nämns om AI i digitaliseringsutredningen är mest av beskrivande karaktär. Även om de utvecklingsåtgärder som diskuteras i USA, EU och Sverige har lite olika karaktär och riktar sig mot delvis olika områden är det en sak som alla skrivningar har gemensamt: Säkerhet och etik måste alltid ha högsta prioritet, men – inte till den grad att det hämmar utvecklingen och konkurrensförmågan. Formuleringar om att en för stark säkerhet kan hindra innovation och utveckling (Sverige), att etik och säkerhet inte får kväva, utan måste underlätta innovation (EU) eller att åtgärder för att säkerställa säkerhet samtidigt måste uppmuntra innovation och tillväxt (USA) förekommer i olika varianter genomgående i dokumenten. Denna tillväxtorientering är särskilt intressant i EU-dokumentet, eftersom de ekar av tidigare diskussioner inom EU, till exempel i den långdragna processen om biologiska patent, där etiken lyftes in för att stilla allmänhetens oro först efter starkt motstånd mot ett ensidigt fokus på konkurrens och ekonomisk tillväxt.

AI och ansvar

Ansvar är ett återkommande begrepp i alla dokument. Ofta används ansvar i allmänna formuleringar av typen ”det är viktigt med en ansvarsfull utveckling”, men på många ställen handlar det uttryckligen om försök att klargöra ansvarsförhållanden mellan människa och maskin. Tydligast är detta i diskussionen om självkörande fordon, som både USA, EU och Sverige diskuterar. Ett inlägg som fick mycket medial uppmärksamhet kom från EU-parlamentet. Våren 2017 tog EU-parlamentets juridiska utskott fram ett förslag om att EU-kommissionen bör lägga fram ett förslag om att förarlösa bilar och andra autonoma system skall kunna hållas ansvariga för sina handlingar, och kort därefter röstade EU-parlamentet igenom en resolution, i vilken det uppmanade kommissionen att ta en ledande roll i dessa frågor för att inte behöva anpassa sig till standarder som sätts i länder utanför EU. Särskilt akut uppfattades frågan om ansvar för förarlösa bilar, där EU-parlamentarikerna ville se snabba åtgärder för att säkerställa att offer för olyckor med förarlösa bilar blir fullt kompenserade. Två förslag stack ut, sannolikt på grund av hur de presenterades. Det ena handlade om att förse robotar med en mekanism för att en människa enkelt skall kunna stänga av den i en nödsituation, och kom att benämnas *kill switch*. Detta fick stor medial spridning och omtalades som att det skulle vara möjligt att ”döda” en robot, vilket onekligen ger associationer till robotar som någonting levande. Det andra förslaget målade möjligen ännu mer upp en bild av robotar som levande. EU-parlamentarikerna argumenterade för att avancerade robotar skulle kunna hållas juridiskt ansvariga för skador som de orsakar, och för att kunna göra det, föreslog de att robotar skulle få juridisk status som ”elektroniska personer”. Också detta förslag uppmärksammades stort i olika medier. Båda dessa förslag (och en rad andra förslag om robotik och AI) ligger nu hos EU-kommissionen, som väntas ta ställning till EU-parlamentets resolution under slutet av 2017 eller början av 2018.



Figur 3: Googles självkörande bil

Även i Sverige är det självkörande fordon (Figur 3) som tydligast aktualiserar ansvarsfrågan. I slutet av 2015 fick en särskild utredare i uppdrag av regeringen att komma med förslag på regeländringar som behövs för att kunna möjliggöra försöksverksamhet med självkörande fordon i allmän trafik. Ett delbetänkande presenterades i början av 2016 och ligger till grund för en förordning om testverksamhet med självkörande fordon som trädde i kraft den 1 juli 2017. I delbetänkandet diskuteras ansvarsfrågan ganska ingående. Fordonet skall följa trafikregler och inte skada någon, och det som diskuteras är vem som skall vara skadeståndsansvarig för skador som det självkörande fordonet orsakar. Slutsatsen är att det är ägaren som skall ha ansvaret för fordon som är fullt automatiserade, vilket i det aktuella fallet betyder det företag som testar de självkörande fordonen (testorganisationen). Även för fordon som är högt, men inte fullt, automatiserade är testorganisationen ansvarig. Det innebär att en person som befinner sig i bilen och som tillfälligt ingriper i framförandet av bilen när körsystemet ber om det, inte är ansvarig för eventuella skador som bilen orsakar. Argumentet är att testorganisationen inte skall ha några incitament att ta onödiga risker. Detta skiljer sig från vissa delstater i USA, där beslutsfattarna har valt att låta fordonsföraren ha det fulla straffrättsliga ansvaret även när ett högt (men inte fullt) automatiserat fordon kör själv. I Sverige menar man dels att detta skulle ställa orimliga krav på fordonsföraren, dels att det bör vara samma regler för helt självkörande fordon

och för fordon som är nästan helt självkörande. Frågan om det straffrättsliga ansvaret diskuteras alltså ganska ingående i delbetänkandet. Något som däremot inte diskuteras är vad fordonet bör göra i knepiga situationer som inte går att förutse, och hur ansvarsförhållandena då bör se ut, till exempel om fordonet tvingas välja mellan att köra på ett utspringande barn och att köra in i en betongvägg och riskera att döda sin passagerare.

Självkörande bilar diskuteras också i den amerikanska rapporten ”Preparation for the future of artificial intelligence” och det strategidokument som ackompanjerar rapporten, men då mer med fokus på hur AI bör utvecklas. Diskussionen blir då också mer detaljerad när det gäller kniviga situationer som ofta uppstår i trafiken, men som kan vara svåra att förutsäga. Till exempel poängteras att det inte är tillräckligt att ett automatiserat fordon följer trafikregler. I vissa situationer, som i exemplet ovan, krävs kreativitet, men det är svårt för självlärande maskiner (som förarlösa bilar) att lära sig att hantera sällsynta situationer. Här behövs utveckling av stora dataset, som inkluderar tillräckligt många sällsynta fall som den självlärande maskinen får träna på, och rapporten rekommenderar att staten, industrin och forskarsamhället tar gemensamt ansvar och delar med sig av data till varandra för att öka möjligheterna till avancerad maskininläring. När det gäller ansvar, handlar alltså mycket av diskussionerna i USA, både i rapporten och i strategidokumentet, om vem som skall ansvara för att utveckla artificiell intelligens som är säker och som gagnar samhället.

Detta är exempel på framåtblickande ansvar, som beaktar vem som befinner sig i en position att ta ansvar och på vem som har den kapacitet som krävs för att kunna ta ansvar. Något bakåtblickande ansvar aktualiseras inte eftersom diskussionen inte refererar till någon specifik händelse för vilken vi kan spåra ett orsaksförhållande. Bakåtblickande ansvar aktualiseras däremot i frågan om delegering av beslutsfattande till AI. I detta sammanhang förs ett resonemang om att det skall vara möjligt att förstå hur AI-processer arbetar eller hur de kommer fram till ett visst resultat. Först när vi vet vilka data som ligger till grund för till exempel AI-baserad skanning av sökande i en rekryteringsprocess, kan vi förstå varför utfallet blev skevt eller diskriminerande, går resonemanget. När maskininlärningsprocessen blir transparent, skulle det alltså vara möjligt att spåra processen och se vad som har orsakat vad och därmed att utkräva ansvar på motsvarande sätt som vid delegering av beslutsfattande till expertis. Frågan är emellertid om sådan transparens alls är möjlig. Vissa AI-forskare menar att inte ens de som själva har skapat den artificiella intelligensen kan förklara hur den fungerar, eftersom ingen riktigt vet vad algoritmerna egentligen gör. Detta skulle förstås göra frågan om bakåtblickande ansvar än mer komplicerad.

AI och etik

Krafftfulla intelligenta maskiner skulle kunna utgöra ett hot även om de inte är programmerade till att vara illvilliga eller onda. Likgiltighet för mänskliga värderingar – inklusive mänsklig överlevnad – skulle vara tillräckligt. Att den artificiella intelligensen måste vara etisk – vad det än kan tänkas innebära – framhålls i alla dokument, men det finns en del skillnader när det gäller hur specifikt etiken diskuteras. Allt från den svenska digitaliseringsutredningens allmänna konstaterande att stora etiska utmaningar är att vänta, till EU-parlamentarikernas detaljerade genomgång av vilka etiska principer som måste var vägledande, förekommer i materialet. Att det svenska expertorganet Statens medicinsk-etiska råd (Smer) i sin rapport ingående diskuterar etiska normer som måste beaktas innan vådrobotar placeras i människors hem är inte så överraskande, men det är ändå intressant att notera att Smer tog fram rapporten redan 2014, och att man gjorde det på eget initiativ, utan att ha fått något uppdrag från politiskt håll. En vådrobot kan fungera som ersättning för kroppsfunktioner som individen saknar eller utföra uppgifter som vårdpersonal tidigare gjort. I båda fallen betonar Smer att det är viktigt att göra en avvägning mellan nytta och risker innan dessa robotar börjar användas. Hur kan man till exempel få en balans mellan intrånget i den enskildes integritet och nyttan med en sällskapsrobot som kanske får ersätta mänskliga kontakter? Integritetsfrågor som aktualiseras av elektronisk övervakning ägnas särskilt intresse i denna rapport, som också pekar på hur robotar och AI införs i vården som ett sätt att effektivisera och spara in på personalresurser. Här lyfts också risken att dyra vådrobotar kan innebära att andra insatser måste prioriteras bort. I Smers rapport förs en ingående diskussion såväl om etiska principer som om hur de skall beaktas och vem som skall ansvara för vilka etiska principer som antas och för hur man skall säkerställa att de följs.

Som nämndes ovan, är även dokumenten från EU-parlamentet ganska specifika, och etikdiskussionen förs på flera nivåer. På en övergripande nivå talar man om att principer som trygghet, säkerhet, hälsa, integritet, självbestämmande och icke-diskriminering skall styra utveckling, design, produktion och användning av robotar och AI. Man anknyter också till de fyra etiska principerna att göra gott, att inte göra ont, autonomi och rättvisa, principer som har sitt ursprung i etiska diskussioner i slutet av 1970-talet efter att det blivit känt att medicinska forskare utnyttjat fattiga och sjuka människor på ett synnerligen hänsynslöst sätt. Hädanefter skulle skyddet för människor som deltar i medicinska experiment vara överordnat, och de fyra etiska principerna ligger idag till grund för arbetet i etiska kommittéer världen över. På en mer specifik nivå argumenterar EU-parlamentet för att Asimovs lagar skall vara styrande etiska principer för robotar. Dessa lagar har fått sitt namn efter science fiction-författaren Isaac Asimov, som i sin novellsamling *I, Robot* lanserade tre regler för robotar: 1) en robot får aldrig skada en människa eller, genom att inte ingripa, tillåta att en människa kommer till skada, 2) en robot måste lyda order från en människa, förutom om sådana order kommer

i konflikt med den första lagen, och 3) en robot måste skydda sin egen existens, såvida detta inte kommer i konflikt med den första eller den andra lagen. Senare lade Asimov till ytterligare en lag som skulle gälla före de andra lagarna, lag nummer noll: en robot får inte genom handling, eller underlåtelse att handla, orsaka att mänskligheten skadas. Det kan vara värt att erinra om att dessa fiktiva lagar formulerades av författaren för att driva historien framåt. De var alltså inte i första hand avsedda att fungera som rättesnören i Asimovs berättelser (vilket de heller inte lyckades med), än mindre i verkligheten. Det är också osäkert om det skulle vara möjligt att bygga in Asimovs lagar i en riktig robot, och om det skulle vara möjligt, vad skulle konsekvensen bli om en robot till exempel skulle lyda vilken människa som helst? Nu påpekar visserligen EU-parlamentet att Asimovs lagar riktar sig mot dem som utformar, producerar och använder robotar, och inte mot robotarna själva, men den reservationen bygger ändå på att lagarna som sådana verkligen skulle kunna fungera.

I dokumenten från USA diskuteras inte specifika etiska principer. Här refereras istället till existerande lagar och normer, och tyngdpunkten ligger på hur dessa skall inkorporeras i algoritmer och arkitekturer. Även här är alltså utvecklingen av själva AI i centrum, och det betonas att AI-utvecklare och studenter behöver etisk träning. Det förmedlas en medvetenhet om att etik är svårt. Etiska principer, säger man, uttrycks ofta med olika grader av vaghet, och varierar med religion, kultur och individuella övertygelser. Etiska principer är därför svåra att översätta till precisa system och algoritmer, och särskilt svårt är det när autonoma beslutsfattande algoritmer möter moraliska dilemman som baseras på värdesystem som kan stå i konflikt med varandra. Trots dessa svårigheter, menar rapportförfattarna att det är möjligt att utveckla acceptabla etiska ramverk som kan vägleda hur AI-system resonerar och fattar beslut. Vad som däremot inte sägs något om är hur vi skall komma fram till vilka värderingar som skall vara styrande.

AI och demokrati

Vilka röster är det som hörs i de första, trevande diskussionerna om robotar och AI som kommer till uttryck i de politiska initiativ som diskuteras i det här kapitlet? Talas det något om vilka aktörer som kommer till tals eller som skall få komma till tals? Och förs i dokumenten någon diskussion om hur vi skall komma fram till vilka normer och värderingar som skall vara vägledande för robotar och AI? Här finns både skillnader och likheter.

De svenska dokument som har diskuterats här är offentliga utredningar och en rapport från ett befintligt expertråd. Detta är det typiska sättet som politiken arbetar på inom ramen för det svenska representativa parlamentariska systemet: Expertorgan och politiskt tillsatta utredningar med experter och sakkunniga som går igenom kunskapsläget och föreslår åtgärder. Det är därför inte särskilt förvånande

att dessa eller alternativa processer för att diskutera ny teknologi inte problematiseras i det svenska materialet. Däremot förekommer en del resonemang om vad digitaliseringen kommer att innebära för demokratin, som till exempel att den kan öka insynen och göra privatpersoner mer delaktiga i beslut. Det handlar alltså framför allt om vilka effekter digitaliseringen kan ha på demokratin, och inte om att använda demokratiska processer för att gemensamt besluta om hur vi bör förhålla oss till digitalisering och AI. I ett av kapitlen i digitaliseringsutredningen finns emellertid ett exempel på en antydan till att beröra frågan om hur vi beslutar om AI. Författaren talar om att utvecklingen inom datahantering har utvecklats mycket kraftigt de senaste decennierna, men konstaterar att de omvandlingar som kan och bör följa av detta har utvecklats mer blygsamt. Det intressanta här är ordet bör. Hur bör samhället omvandlas? Med en generös tolkning kanske till och med frågan hur vi skall komma fram till hur samhället bör omvandlas kan sägas ha lyfts här.

Om de svenska dokumenten är återhållsamma med tankegångar kring hur besluten bör fattas, är EU-dokumenterna desto tydligare. I sin resolution till EU-kommissionen framför EU-parlamentarikerna uppmaningar om att ett nytt expertorgan bör instiftas. Denna myndighet eller kommitté skall bestå av personer med teknisk, etisk och juridisk expertis och ha uppgiften att stödja offentliga aktörer i EU och i medlemsländerna i deras beslutsfattande. EU-parlamentarikerna säger också att alla policybeslut som berör robotar och AI måste föregås av konsultation med ett europeiskt forsknings- och utvecklingsprojekt om robotar och neurovetenskap med experter som har förmåga att bedöma alla risker och konsekvenser. Man säger sig också vilja uppmuntra till offentlig dialog om konsekvenser av att utveckla AI, och i dokumenten förs diskussioner om vikten av respekt för alla berörda intressenters legitima tillgång till information och deltagande i beslutsprocesser. Berörda intressenter som pekas ut är framför allt företag och utvecklare av robotik och AI. Även civilsamhället nämns, om än mer i förbigående. Liksom i Sverige, gör även aktörerna i EU som man brukar, det vill säga inrättat expertkommittéer och bjuder in näringslivet.

I USA har man inte bara talat om att uppmuntra dialog och inflytande, utan också resonerat kring vikten av att involvera hela befolkningen. I rapporten ”Preparation for the future of AI” framhålls, att en värld som till stor del baseras på AI förutsätter att medborgarna inte bara kan läsa, använda, tolka och kommunicera om detta, utan också kan ta del av policydebatter om frågor som berörs av AI. Under våren 2016 efterlyste president Obamas vetenskaps- och teknologiråd synpunkter från den amerikanska allmänheten. Efter att ha arrangerat fyra stycken allmänna seminarier om AI tidigare samma år, gick rådet ut med en så kallad ”Request for Information”, en process som används för att samla in information till hjälp för att fatta beslut om vad som skall göras närmast. Förfrågan var väldigt konkret, med faxnummer, mailadress och länk till ett webbförfrågan, och alla intresserade uppmanades att uttrycka sina synpunkter om allt från säkerhet och

kontroll och sociala och ekonomiska effekter av AI till vad regeringen, forskningsinstitut och universitet specifikt borde göra för att uppmuntra mångvetenskaplig AI-forskning. Svaren som kom in offentliggjordes i sin helhet och integrerades senare i rapporten. De som svarade var till stor del personer som på olika sätt arbetar med eller studerar AI, men också privatpersoner, liksom anställda på företag och icke vinstdrivande organisationer. En del svar består av korta kommentarer av typen ”vi bör fråga AI”, andra ger uttryck för oro för att bli arbetslösa, att AI snabbt kan komma att bli alltför komplex för de styrande att reglera, och för att det inte finns något skydd mot negativa effekter av superintelligens i händerna på några få, och många inlägg består av längre utläggningar av teknisk karaktär som vittnar om den svarandes intresse för och kunskap om AI-relaterade frågor. Även om inläggen inte kan sägas representera det amerikanska folkets åsikter om AI, är det intressant att regeringen efterfrågade synpunkter på en komplex fråga och också inkorporerade svaren i en rapport med syftet att ligga till grund för fortsatt beslutsfattande om AI. Vad som kommer att hända med den rapporten med en ny president vid makten är emellertid svårt att sja om. Vetenskaps- och teknologirådets grupp om maskininlärning och artificiell intelligens finns fortfarande kvar, men har inte släppt några rapporter under nuvarande regering. I övrigt är pressekreterarens svar på en fråga vid en pressträff om handelsöverenskommelser våren 2017 det enda material från Trump-administrationen som nämner artificiell intelligens som jag har hittat. Frågan som ställdes var om regeringen skulle beakta studier som hävdar att förlusten av jobb i tillverkningsindustrin inte bara beror på att jobben har flyttat utomlands, utan också på ökad produktivitet och teknologiska framsteg. Pressekreterarens svar ger en indikation om att Trump-administrationen inte avser att fördjupa sig i AI-frågor: ”Vi måste möta utmaningarna från artificiell intelligens, från förarlösa bilar, från robotar och Gud vet vad som unga vetenskapsmän i ett garage kan hitta på. Men det är inget som vi kan kontrollera. Vi måste försöka hantera sådant som vi kan kontrollera.”

”AI tar över” eller ”här och nu”?

En fråga som ställdes inledningsvis i det här kapitlet var om det i det politiska materialet går att se spår av de båda ytterlighetspositionerna som jag kallade ”AI tar över” respektive ”här och nu”. Här finns vissa skillnader. Tydligast är EU:s hållning, eller i alla fall EU-kommissionens hållning. I sitt svar på Europaparlamentets initiativ om att autonoma system och förarlösa fordon skall kunna hållas ansvariga för sina handlingar – ett initiativ som kommissionen välkomnade – betonar kommissionen återkommande att det är viktigt att inte vara spekulativ, utan att arbeta med konkreta, befintliga problem utifrån de faktiska möjligheter som dagens robotar och AI-baserade system besitter. Alla beslut skall baseras på fakta, och inte på orealistiska förväntningar, och kommissionen framhåller att den inte kommer att ta ställning förrän efter ingående analys och att fakta har fastställts.

Den svenska hållningen påminner mycket om EU-kommissionens, men är mer underförstådd. Till exempel sägs att ”omotiverad optimism” om framtida möjligheter kan dölja andra viktiga aspekter, men framför allt är det materialet i sin helhet som andas en väldigt jordnära hållning till AI och robotik. USA:s hållning är svårare att fastställa. Varken expertrapporten eller strategidokumentet avfärdar framtida scenarier med superintelligens, och det går till och med att ana ett underliggande antagande om att sådana scenarier kommer att bli verklighet, åtminstone på vissa områden. I förordet till rapporten sägs att det visserligen är osannolikt att det kommer att finnas maskiner med intelligens som överstiger människans inom de kommande tjugo åren. Samtidigt framhålls att vi kan förvänta oss att maskiner kommer att överträffa mänskliga förmågor på alltfler områden. Rapporten lyfter också fram att de flesta forskare inom artificiell intelligens tror att generell artificiell intelligens ligger flera årtionden bort, och att det skulle krävas en långsiktig forskningsansträngning för att nå dit. Samtidigt som det går att skönja en viss skepsis angående ett scenario där AI tar över, sägs ingentings att det är viktigt att man avhåller sig från spekulationer eller att ”här och nu”-positionen gäller, vilken alltså är tydlig både i EU:s och i Sveriges dokument.

Slutdiskussion

För oss som inte är experter på artificiell intelligens är det givetvis omöjligt att avgöra vems förutsägelse som är troligast, och det är sannolikt inte heller möjligt för experterna själva. Att det saknas en övergripande koordination av utvecklingen av AI runt om i världen innebär att det är svårt att veta var och när ett eventuellt framtidsscenario à la science fiction skulle kunna bli verklighet. Det vore dock oklokt att vara tvärsäker på att en eventuell superintelligens ligger så långt in i framtiden att det inte finns skäl att beakta denna möjlighet redan nu. Artificiell intelligens påverkar oss redan i hög grad på snart sagt alla områden och det är därför angeläget att hantera frågor som den redan existerande teknologin väcker, men detta står inte i motsättning till att vi också behöver fundera över hur vi kan försäkra oss om att artificiell intelligens inte kommer att ”ta över”. Och kanske har den artificiella intelligensen redan tagit över. Att AI tar över behöver inte nödvändigtvis betyda att krigiska maskiner anfäller och förintar människor som i fiktionens värld, utan kan vara mer subtilt. I takt med att vi överlåter alltfler beslut till artificiell intelligens, som också hela tiden lär sig av alla nya data som den har att hantera, blir AI-system alltmer sofistikerade och överlägsna människan både i snabbhet och träffsäkerhet och vi vänder oss i allt större utsträckning till AI för att få svar på våra frågor. Många har hävdats att människans förmåga till kreativitet ändå kommer att göra människan överlägsen datorer och att yrkesgrupper som advokater, revisorer, läkare, forskare och andra professioner inte behöver frukta att bli bortrationaliserade. Men om AI kan göra en analys baserad på alla tillgängliga data och komma ut med träffsäkrare förutsägelser än den mest avancerade

mänskliga analys, finns kanske risk att även kvalificerade och kreativa yrkeskategorier kommer att ersättas av AI. Människan kommer kanske inte att utplånas som varelse, vilket är vad ”AI tar över”-positionen ytterst fruktar, men vi kommer kanske att bli överflödiga i samhället. Och det är definitivt ett framtidsscenario som vi behöver hantera.

För att återkoppla till frågan i titeln på detta kapitel om vems ansvar AI är, kan vi konstatera att det i både Sverige, EU och USA pekas ut aktörer och institutioner som skall vara ansvariga för att AI blir säkert och etiskt. Särskilda myndigheter och expertgrupper skall skapas för att utvecklingen av AI skall göras på ett ansvarsfullt sätt, de som arbetar med att utveckla AI skall ha ett särskilt ansvar för att bygga etisk AI, och människor som använder AI skall göra det på ett ansvarsfullt sätt. Vad som däremot inte diskuteras särskilt mycket är vilken AI vi vill ha, och till vad. Frågor om vilken roll AI bör ha i samhället, hur vi skall hantera att robotar tar över allt fler jobb och hur vi skall komma överens om svaren på dessa frågor är nödvändiga att ställa om vi skall behålla kontrollen över den artificiella intelligens som alltmer underlättar vår tillvaro men också styr våra tankar och vårt beteende. Att betrakta AI som en livsform kanske inte är så märkligt ändå.



Lästips

Bostrom, Nick (2014) *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies* Oxford University Press

Collins, Harry och Robert Evans (2017) *Why Democracies Need Science* Polity Press

Dahl, Robert A. (1989) *Demokratin och dess antagonister*. Yale University Press

Douglas, Heather E. (2009) *Science, Policy, and the Value-Free Ideal* University of Pittsburg Press

Hedlund, Maria (2007) *Demokratiska genvägar: Expertinflytande i den svenska lagstiftningsprocessen om genoteknik* Statsvetenskapliga institutionen, Lunds universitet

Johansson, Linda (2015) *Äkta robotar* Fri tanke

Lin, Patrick, Keith Abney & George A. Bekey (red.) (2012) *Robot Ethics: The Ethical and Social Implications of Robotics* MIT Press

Susskind, Richard & Daniel Susskind (2017) *Professionernas framtid: Hur teknologin kommer att förändra exporters arbete* Daidalos

Young, Iris Marion (2011) *Responsibility for Justice* Oxford University Press

DEL 4: Syntetisk biologi



Är syntetisk biologi moraliskt otillåtet?

Anders Melin

Syntetisk biologi, det vill säga det forsknings- och teknikområde som syftar till att skapa artificiella biologiska system och levande organismer, väcker många etiska frågor. I detta kapitel granskas olika möjliga argumentet för att skapandet av artificiella organismer bör ses som moraliskt otillåtet.

Syntetisk biologi är ett tvärvetenskapligt forskningsområde inom biologi och ingenjörskonst. Det kombinerar olika discipliner inom dessa områden, såsom bioteknologi, evolutionär biologi, genetisk ingenjörskonst, molekylär biologi, molekylär ingenjörskonst, systembiologi och datavetenskap. Syntetisk biologi kan beskrivas som design och konstruktion av biologiska system och levande organismer, vilka kan användas inom industrin eller inom biologisk forskning. En grundläggande aspekt av den syntetiska biologin är att tekniker som normalt används inom ingenjörsmässig design och utveckling tillämpas på biologiska system. Idén om att kunna skapa levande organismer har funnits länge, men det är framför allt genom de senaste decenniernas vetenskapliga och teknologiska landvinningar som forskare har kommit att betrakta det som realistiskt.

En grundläggande princip inom den syntetiska biologin är att definiera de egenskaper hos delar, apparater och system som krävs och att utveckla en design som motsvarar dessa krav. Nästa steg i produktionscykeln är implementeringen. Inom syntetisk biologi består den normalt av att man syntetiserar DNA och sätter in det i en värdcell (som ofta benämns ”chassi”). Det efterföljande steget är testning och validering, som består i att undersöka hur värdcellen reagerar på insättandet av främmande DNA. Inom syntetisk biologi används samma principer som inom övrig ingenjörskonst, d.v.s. att ett antal delar kombineras för att producera en särskild apparat (Figur 1). Från ett ingenjörsmässigt perspektiv kan syntetisk biologi ses som en utökning av bioteknologin med det yttersta målet att kunna utforma och bygga biologiska system som behandlar information, manipulerar kemikalier, skapar material och strukturer, producerar energi och livsmedel, och vidmakthåller och förstärker mänsklig hälsa.

Vissa teknologiska landvinningar har varit betydelsefulla för utvecklingen av syntetisk biologi. Det handlar bland annat om DNA-sekvensering, vilket består i

att bestämma ordningen på nukleotidbaserna i en DNA-molekyl. Två viktiga genombrott skedde år 1996 och 1997 när forskare lyckades att kartlägga genomen (samtliga gener) hos två modellorganismer som används flitigt inom bioteknologin, bakterien *Escherichia coli* (Figur 2) och jästsvampen *Saccharomyces cerevisiae*.

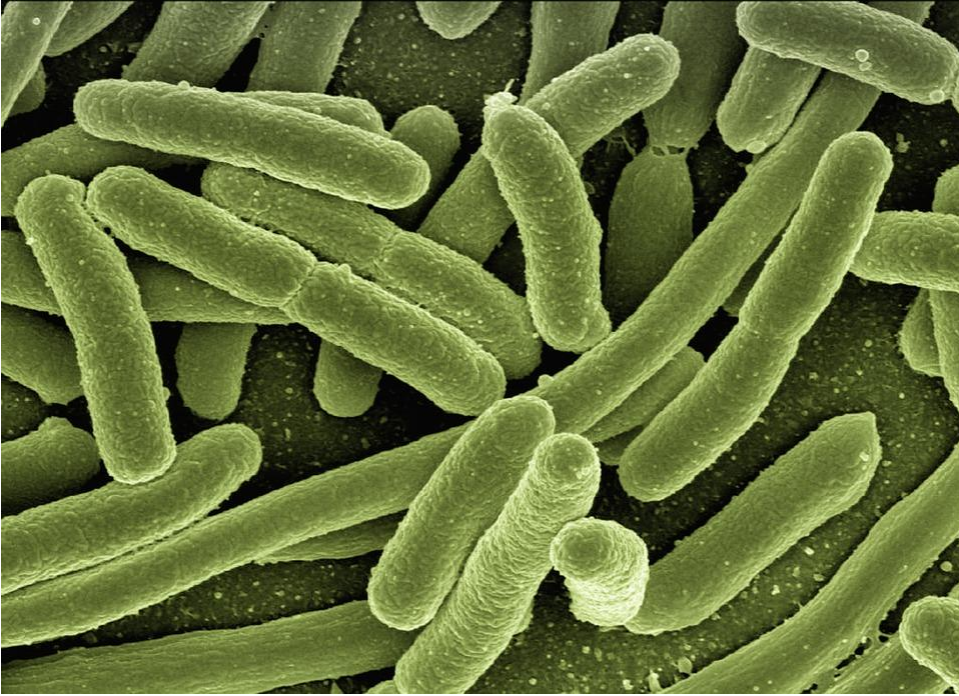
Inom syntetisk biologi finns målsättningen att kunna skapa syntetiska celler med gensekvenser som aldrig har existerat tidigare i naturen. Det gäller i första hand mikroorganismer, såsom bakterier eller jästsvampar. Syntetisk biologi som fungerar enligt en ”bottom-up”-modell har som syfte att skapa celler som är rationellt designade för att kunna fungera som specialiserade chassin. Dessa skulle vara mer användbara för bioteknologiska syften än naturliga celler, bland annat för att de vore mer förutsägbara än naturliga celler, vilka vi inte förstår fullt ut, och för att de skulle använda färre resurser än naturliga celler i och med att de är skapade enbart för en viss uppgift. Hittills har dock ingen forskare lyckats skapa någon syntetisk cell. Forskare inom syntetisk biologi använder sig i nuläget av framför allt *E. coli*-bakterier och jästsvampar (*S. cerevisiae*) som chassi.

På det nuvarande stadiet i den syntetiska biologins utveckling kan man inte tillverka hela organismer från grunden, utan man kan endast förändra redan existerande celler genom att införa nytt DNA i cellkärnorna. På så sätt kan man skapa mikroorganismer som producerar substanser vilka är värdefulla för människan. Bland annat har forskare lyckats skapa *E. coli*-bakterier som producerar insulin samt *S. cerevisiae*, som tillverkar artemisinisk syra, vilken används för tillverkning av ett läkemedel mot malaria, Artemisin.

Den amerikanske genetikern Craig Venters forskargrupp lyckades år 2010 skapa ett syntetiskt genom för *Mycoplasma mycoides*, en parasitisk bakterieart som



Figur 1: Konstruktion av artificiellt DNA.



Figur 2: *E. coli*-bakterier

lever inuti cellerna hos nötkreatur och getter, som man transplanterat in i celler tillhörande *Mycoplasma capricolum*, en närbesläktad bakterieart. Därigenom har man lyckats omvandla *M. capricolum*-organismer till *M. mycoides*-organismer. Som beskrivits tidigare i denna bok (se P. Perssons kapitel), lyckades forskargruppen samma år att skapa den syntetiska organismen *Cynthia* genom att byta ut alla naturliga delar av genomet i en enkel encellig organism och år 2016 skapade man en omarbetad version med betydligt färre gener.

Den syntetiska biologins etiska utmaningar

Skapandet av mikroorganismer med artificiellt DNA som inte tidigare existerat i naturen kan möjliggöra många värdefulla applikationer, men det har också gett upphov till moraliska reaktioner. I detta kapitel granskar jag olika argument för varför det bör anses som moraliskt felaktigt att skapa mikroorganismer med artificiellt DNA (i en avlägsen framtid kan det kanske bli möjligt att skapa också kända varelser med artificiellt DNA, men frågan huruvida detta kan anses vara moraliskt försvarbart kommer jag inte att ta ställning till här). Jag skiljer mellan tre typer av argument för att skapandet av mikroorganismer med artificiellt DNA är moraliskt felaktigt: 1) därför att det har negativa effekter för människan och andra

kännande varelser som vi anser vara moraliskt beaktansvärda (det vill säga att vi bör bry oss om dem för deras egen skull), 2) därför att det innebär att människan överskrider en förbjuden gräns för sina handlingar och 3) därför att det skadar de artificiella organismerna.

Vi skadar människor eller andra kännande varelser

Det mest uppenbara skälet för att syntetisk biologi bör ses som moraliskt otillåtet är att det riskerar att skada andra människor. Att vi bör bry oss om andra människor för deras egen skull är den kanske mest grundläggande moraliska ståndpunkten, såväl inom den etiska debatten som bland människor i allmänhet. På senare tid har ståndpunkten att vi också bör bry oss om andra kännande varelser för deras egen skull blivit allt mer allmänt accepterad. Inom den etiska debatten är Peter Singer den mest välkände företrädaren för denna ståndpunkt. Han hävdar att den egenskap som är nödvändig för att en varelse ska kunna tillskrivas moralisk status är förmågan att uppleva njutning eller smärta. Vi kan inte välja att behandla en varelse enbart som ett medel bara för att den har låg intelligensnivå.

Inom den etiska debatten har det framhållits att syntetisk biologi leder till ökade risker för bioterrorism eller biologisk krigföring. De teknologiska landvinningar som gjorts inom den syntetiska biologin gör det möjligt att med relativt enkla medel framställa skadliga organismer eller virus. Individer eller grupper kan med syfte att skada andra upprätta ett ”hemmalab” där de kan antingen återskapa utdöda skadliga organismer eller virus, exempelvis det influensavirus som orsakade spanska sjukan i början av 1900-talet, eller skapa nya typer av skadliga organismer eller virus som det inte finns några botemedel mot.

Riskerna med syntetisk biologi har fått vissa individer och organisationer att argumentera för att forskning om och kommersiella tillämpningar av syntetisk biologi bör förbjudas. Jordens Vänner menar exempelvis att ett globalt moratorium bör införas för kommersiell användning av syntetiska organismer. Frågan är dock om riskerna är så stora att ett totalt förbud mot skapandet av syntetiska organismer är befogat. Det är en vanlig ståndpunkt i debatten att riskerna inte kan motivera något totalt förbud, utan endast vissa former av reglering och övervakning. Med tanke på att tillämpningar av syntetisk biologi kan vara till stor nytta för människor är det kanske en mer rimlig respons på de risker som finns att införa nya lagar och regler för kontroll och övervakning, snarare än ett totalt förbud mot syntetisk biologi. Det råder också delade meningar om huruvida det behövs nya lagar och regler, eller om det befintliga regelverket för bioteknologi är tillräckligt. Sammanfattningsvis verkar det faktum att människor och andra kännande varelser kan skadas av syntetisk biologi inte vara ett övertygande argument för att *all* framställning av syntetiska organismer bör ses som moraliskt otillåten.

Människan överskrider en otillåten gräns

Vissa kritiker har menat att syntetisk biologi skiljer sig från andra tekniker för att manipulera naturen genom att den syftar till att syntetiskt framställa biologiska system från grunden för mänskliga syften. Det handlar inte enbart om att skapa nya kombinationer av det som är naturligt givet. Därmed suddar den syntetiska biologin ut gränserna mellan organism och artefakt, mellan organiskt och syntetiskt och mellan levande och icke-levande. Enligt denna argumentationslinje är alltså syntetisk biologi problematisk för att den inte beaktar gränsdragningen mellan dessa kategorier. Frågan är dock om dessa kategorier är möjliga och viktiga att upprätthålla. Representanter för posthumanismen, en tanketradition som problematiserar den västerländska humanistiska traditionen, argumenterar för att vi inte kan se ovannämnda gränser som absoluta. Den italienska genusvetaren Rosi Braidotti framhåller att dikotomin mellan organiskt och syntetiskt inte går att upprätthålla. Under hela den mänskliga kulturens historia och särskilt sedan industrialismen har människan ingått i nätverk med redskap och maskiner. Inom det akademiska området vetenskaps- och teknikstudier har det vuxit fram en insikt om hur dagens teknologier binder samman mänskliga och icke-mänskliga element i ett nätverk. Bl.a. intresserar sig vetenskaps- och teknikstudier för hur utvecklingen av robottekniken skapar robotar som är allt mer autonoma. Den amerikanska vetenskapsteoretikern och genusvetaren Donna Haraway framhåller att den medicinska utvecklingen har förvandlat många människor, exempelvis de som har en pacemaker inopererad, till cyborger, det vill säga varelser som på samma gång är människor och maskiner.

En annan typ av argumentation går ut på att syntetisk biologi är något onaturligt (se också E. Perssons kapitel). Denna argumentation förutsätter oftast, uttryckligen eller underförstått, att det finns en objektiv ordning i naturen som människan bryter mot genom skapandet av artificiella organismer. Idén om en naturlig ordning eller naturlig lag är en central tanke inom antik filosofi. Den går ut på att det finns en i viss betydelse naturlig etik, som inte är bunden till vissa sociala eller historiska sammanhang. Istället uttrycker den vad som ur allmänmänsklig synvinkel är moraliskt gott och rätt. Enligt läran om den naturliga lagen finns det vissa oföränderliga ”högre lagar” som man ofta föreställer sig har ett gudomligt ursprung. Dessa lagar är moraliska normer eller föreskrifter om rätt beteende. Genom sitt förnuft, en förmåga som alla människor har fått, har människan möjlighet att få kunskap om och handla i enlighet med den naturliga lagens universella föreskrifter. På så sätt kan vi skapa en moralisk och politisk ordning som krävs för att människor ska kunna förverkliga ett gott liv.

Läran om den naturliga lagen finns på ett tydligt sätt utformad inom ramen för stoicismen, en av de viktigaste filosofiska riktningarna under antiken. Den började utvecklas i Grekland på 300-talet före Kristus. Åsikterna hos olika stoiker var inte helt samstämmiga. En allmänt omfattad tes var emellertid att man skall leva ”enligt naturen” och lojalt underordna sig ett ändamålsenligt verkande världsförnuft

(Gud, Försynen) och viljefast stå emot alla lidelser som för bort från ”dygden”. Inom stoicismen menade man att det finns en gudomlig ordning i kosmos som människan kan inse med förnuftet och som hon måste följa för att kunna leva ett gott liv. Kosmos är det enda som är fullt gott, eftersom det är det enda som är fullständigt. Kosmos kan därför ses som gudomligheten. Genom sitt förnuft är det endast människor som har potentialen att bli ett med kosmos i den bemärkelsen att deras förnuft kan förstå ordningen i kosmos. Om någon person skulle uppnå detta, skulle hon bli fullkomlig och därför en god person, i realiteten gudomlig.

Läran om den naturliga lagen blev sedan ett centralt begrepp även inom den kristna teologin. Den kristne tänkare som betytt mest för utvecklingen av läran om den naturliga lagen är Thomas av Aquino. Hans syn på moralen kan beskrivas som en syntes av antik grekisk filosofi och kyrkofädernas teologi. Thomas etik utgår från att den mänskliga tillvaron och universum är en välstrukturerad ordning och en gemenskap mellan människor och andra levande varelser. Varje ting och varje levande varelse har en speciell plats i denna ordning. Människan har en speciell ställning i skapelsen på grund av sitt förnuft. Lagbegreppet är centralt i den thomistiska etiken. Thomas tänkte sig att Gud som förnuftsväsen styr tillvaron genom en gudomlig lag som är en evig lag. Eftersom människan är förnuftig kan hon bli delaktig i den gudomliga lagen och denna delaktighet kallar Thomas för den naturliga lagen.

Om vi utgår från idén att det finns en naturlig ordning som människan bör hålla sig inom, skulle man kunna hävda att skapandet av artificiella organismer ligger utanför denna. Enligt detta resonemang överträder vi en förbjuden gräns genom att skapa artificiella organismer. Denna slutsats bygger emellertid på vissa problematiska antaganden, dels att det verkligen finns en objektiv ordning i naturen som vi bör följa och dels att vi kan få kunskap om denna ordning. Därför är den tveksam som grund för politiska och rättsliga beslut om syntetisk biologi.

Idén om att människan överskrider en gräns genom att framställa organismer med syntetisk DNA är ibland kopplad till föreställningar om att det innebär att vi ”leker Gud”. Vad denna metafor är tänkt att betyda kan skilja sig från fall till fall.

Ibland är det bara ett annat sätt att påstå att människor genom att framställa artificiella organismer träder in på ett område som vi inte har tillräcklig överblick över och där vi riskerar att åstadkomma mycket mer skada än nytta för oss själva. I så fall är det ett exempel på argumentationslinjen att syntetisk biologi är moraliskt problematisk eftersom den riskerar att skada intressena hos människor eller andra moraliskt beaktansvärda kännande varelser.

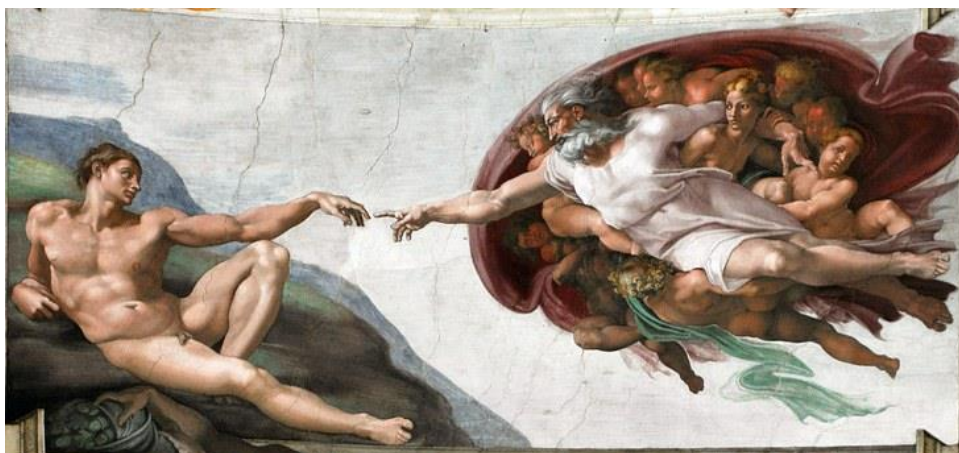
En annan mer bokstavlig tolkning är att vi genom att skapa nya livsformer ger oss in på Guds domäner, eftersom det är Guds och inte människans uppgift att skapa liv. Många akademiska teologer är emellertid skeptiska till slutsatsen att skapandet av artificiella organismer innebär att vi ”leker Gud” i denna mer bokstavliga bemärkelse. Den tyske teologen Peter Dabrock menar exempelvis att

syntetisk biologi inte kan ses som en skapelse i den bibliska betydelsen, det vill säga såsom Guds skapelse av världen. Enligt Bibeln betecknar skapelsen inte en enskild handling som ger upphov till en specifik entitet eller varelse. Istället betecknar skapelsen den gudomliga kärlek som skapar och bevarar livet som helhet, vilket människor inte är kapabla till. Av den anledningen kan vi inte hävda att människan i bokstavlig bemärkelse "leker Gud" genom att skapa syntetiska organismer.

Ett liknande resonemang har presenterats av den sydafrikanske teologen Riaan Rheeder. Han skiljer mellan två olika betydelse av begreppet "skapelse" inom kristen teologi, dels skapelse från intet (*creatio ex nihilo*) och dels den kontinuerliga skapelsen (*creatio continua*). Enligt den kristna traditionen är det enbart Gud som har förmåga att skapa något från intet. All mänsklig skapelse sker genom att man utgår från något redan existerande material. Inte heller skapandet av organismer med artificiellt DNA kan ses som en skapelse från intet. Därmed kan det inte ses som att människan övertar Guds roll.

Rheeder menar emellertid att syntetisk biologi kan ses som en del av den kontinuerliga skapelsen, vilken är den skapelse som fortgår genom historien. I enlighet med detta begrepp kan man se världen som en fortgående kreativ process. Rheeder hävdar att människan fått i uppdrag av Gud att vara delaktig i den fortgående skapelsen i egenskap av att vara en "skapad medskapare" (Figur 3). Han är kritisk till en mer traditionell syn på människan som förvaltare av skapelsen, eftersom den innebär att människans enda uppgift är att bevara och upprätthålla skapelsen såsom den är. Därmed bygger den på en föreställning om naturen som statisk, vilken strider mot nutida naturvetenskap.

Idén om människan som medskapare presenterades ursprungligen av den amerikanske teologen Philip Hefner. Den bygger på idén att människan har till uppgift



Figur 3: Människan som skapad medskapare.

att vara Guds redskap i den fortgående skapelsen på jorden. Rheeder menar att syntetisk biologi kan ses som ett exempel på hur Gud placerar vissa aspekter av den evolutionära utvecklingen i människans händer såsom varande Guds medskapare. Den bibliska uppfattningen att människan är skapad till Guds avbild innebär att det finns vissa likheter mellan Gud och människan. Eftersom Gud skapar är det också människans uppgift att skapa, även om hon till skillnad från Gud inte kan skapa något från intet.

De flesta akademiska teologer tar alltså avstånd från uppfattningen att skapandet av artificiella organismer innebär att människan ”leker Gud” i betydelsen att människan inträder på Guds domän. Det kan förstås finnas medborgare med en religiös övertygelse som anser att människan överträder en förbjuden gräns genom att skapa organismer med artificiellt DNA, men man måste fråga sig vilken roll detta bör spela för policybeslut om syntetisk biologi. Det är en vanlig uppfattning att en sekulär stat bör vara neutral mellan olika verklighetsuppfattningar och att politiska beslut om exempelvis lagstiftning inte kan baseras på vissa religiösa uppfattningar.

Framställandet av syntetiska mikroorganismer skadar dessa organismer

Ett annat sätt att rationellt motivera slutsatsen att det är moraliskt felaktigt att skapa mikroorganismer, åtminstone i vissa fall, är att det skadar dessa organismer. Frågan är dock varför vi skulle skada mikroorganismer genom att på artificiell väg skapa dem. Ett möjligt svar är att artificiellt skapade organismer lever sämre liv än naturliga mikroorganismer. Frågan är emellertid vad det skulle kunna innebära. Varför skulle exempelvis en *E. coli*-bakterie som producerar insulin leva ett sämre liv än en naturlig *E. coli*-bakterie? Bakterien kan förstås inte göra en sådan bedömning själv men vi människor kan kanske göra en sådan bedömning, exempelvis om den artificiella bakterien i genomsnitt har kortare livslängd.

Även om vi kommer fram till slutsatsen att vissa artificiella bakterier lever sämre liv än motsvarande naturliga bakterier, verkar det emellertid inte vara ett hållbart argument för att vi skadar de artificiella bakterierna genom att skapa dem. De individuella bakterier vi har skapat har ju inte möjligheten att istället leva ett liv som naturliga bakterier. Vi kan bara dra slutsatsen att vi skadar de artificiella bakterierna genom att skapa dem om vi kommer fram till att det är bättre för dem att inte existera alls än att existera såsom artificiellt skapade bakterier. Frågan är på vilka grunder vi skulle kunna dra en sådan slutsats. För kännande varelser skulle vi kunna argumentera att det är bättre att inte leva alls än att leva ett liv med mycket lidande, men bakterier verkar inte kunna uppleva lidande.

Även om vi drar slutsatsen att det hade varit bättre för vissa artificiellt skapade mikroorganismer att inte leva alls, räcker det inte för att dra slutsatsen att det är moraliskt fel att skapa dessa individer. Vi måste också kunna motivera varför dessa

organismer är moraliskt beaktansvärda. Såsom nämnts tidigare har ståndpunkten att även andra livsformer än människan kan ha moralisk status blivit vanligare under de senaste decennierna. Den ståndpunkt som fått störst genomslag är uppfattningen att även kännande icke-mänskliga varelser kan ha moralisk status. Det finns emellertid filosofer som vill gå längre och som menar att även icke-kännande levande varelser bör tillskrivas moral status.

Frågan är dock om vi har hållbara skäl att tillskriva mikroorganismer moralisk status. Till vardags brukar människor inte ha några moraliska betänkligheter mot att utnyttja mikroorganismer för sina egna syften, även om det skulle vara dåligt för dessa organismer. Vi använder ju jästsvampar för att tillverka bröd och alkoholhaltiga drycker. Det är tveksamt om det är mer moraliskt problematiskt att använda "naturliga" jästsvampar för att tillverka öl, än att använda artificiella jästsvampar för att tillverka artemisin. Att vi till vardags inte har några moraliska betänkligheter mot att använda oss av mikroorganismer är dock i sig ingen hållbar anledning till att det är moraliskt acceptabelt. Mycket av det som historiskt sett betraktats som moraliskt tillåtet, exempelvis slaveri, tar människor avstånd från idag.

Dock är det tveksamt om vi har några hållbara skäl för att anse att mikroorganismer är moraliskt beaktansvärda. Det har gjorts vissa försök att understödja denna slutsats. Den amerikanske filosofen Gary E. Varner, exempelvis, hävdar att alla levande varelser har moraliskt relevanta intressen. Först och främst är det varelser som har önskningar som har moraliskt relevanta intressen. Till denna grupp räknar han människor, men också däggdjur och fåglar. Enligt Varner har experiment visat att även däggdjur och fåglar har så pass avancerad tankeförmåga att det är meningsfullt att hävda att de kan hysa önskningar. Varner hävdar att också varelser som inte kan ha önskningar kan ha intressen, även om de har betydligt färre moraliskt relevanta intressen än varelser som har önskningar. Därför bör också de räknas som moraliskt beaktansvärda, men i en lägre grad än varelser som kan ha önskningar. Varner menar att vissa tillstånd kan vara i en varelses intresse även om den inte önskar något och därför inte är intresserad av något. Vissa intressen hos levande varelser, både de som kan och de som inte kan ha önskningar, kan inte identifieras genom att studera de önskningar de har eller skulle ha under ideala förutsättningar. Exempelvis är det i ett träds intresse att få vatten eftersom det behöver vatten för att överleva, även om det inte har någon önskan om att få vatten.

De dominerande filosofiska teorierna om vad som är i människors intresse har formen av vad som kallas mentala tillstånd-teorier. Dessa definierar en individs intressen utifrån idealiserade önskningar, det vill säga de önskningar individen skulle ha om hen var både tillräckligt informerad och opartisk vad gäller olika faser av sitt liv. Varner är dock kritisk till dessa teorier. Han menar att människor liksom andra levande varelser kan ha biologiska intressen, som inte kan identifieras genom att hänvisa till deras önskningar. Det är ett biologiskt intresse för människor

att sluta röka även om de är tillräckligt informerade och opartiska vad gäller olika faser i deras liv och fortfarande önskar röka. Även om en person tar ett välinformerat beslut att röka, är det inte i hens intresse eftersom det skadar hens biologiska funktioner. Hen har ett biologiskt intresse av att sluta röka, även om hen inte har någon önskan att göra det. Varner menar att vi bör betrakta människors biologiska intressen som moraliskt beaktansvärda. Därför bör vi även betrakta djurs och växters biologiska intressen som moraliskt beaktansvärda. Av den anledningen kan vi hävda att också levande varelser som inte har några önskningar, exempelvis växter, kan ha moraliskt relevanta intressen.

Varners kritik av mentala tillstånds-teorier om önskningar är dock inte särskilt övertygande. Om vi tar ett exempel med en välinformerad och normalt fungerande vuxen rökare, kan vi förstås säga att personen ifråga har ett biologiskt intresse av att sluta röka. Hens lungfunktioner försämras av rökningen, men frågan är om det är moraliskt relevant ifall hen har tagit ett välinformerat beslut att röka. Det är en vanlig moralisk övertygelse att normalt fungerande vuxna personer har rätt att i de flesta fall själva besluta över sin hälsa (paternalistiska beslut från statens sida kan ibland vara berättigade, exempelvis förbud mot att sälja narkotika, men jag kommer inte att gå in på denna problematik här). Det är därför tveksamt om en välinformerad rökares biologiska intressen av att inte röka kan ha någon moralisk relevans.

Ett annat exempel som mer tydligt talar emot Varners kritik gäller en normalt fungerande vuxen person som tagit ett väl övervägt beslut att hungerstrejka, exempelvis av politiska skäl. Uppenbarligen har personen ett biologiskt intresse av att äta, men det verkar inte vara moraliskt relevant. Vi har ingen anledning att förse den här personen med mat och det vore moraliskt felaktigt att tvångsmata personen ifråga. Om vi inte på goda grunder kan hävda att människor har moraliskt relevanta intressen som är enbart biologiskt baserade och inte baserade på deras idealiserade önskningar, kan vi inte längre använda detta påstående som ett skäl för att hävda att även varelser som inte kan ha önskningar, exempelvis mikroorganismer, har moraliskt relevanta intressen.

Det finns andra miljöetiker, exempelvis den australiensiske filosofen Nicholas Agar, som argumenterar för att alla levande varelser har moraliskt relevanta intressen utan att basera denna tes på premissen att vi bör ta hänsyn till alla levande varelsers biologiska intressen eftersom vi bör ta hänsyn till människors biologiska intressen. Agars försvar för att alla levande varelser är moraliskt beaktansvärda bygger på tanken att vi genom naturvetenskaplig kunskap kan utsträcka common-sense uppfattningar om vilka entiteter som har egenvärde. Med egenvärde menar han det värde något har i sig själv, oberoende av hur det gynnar någon annan. Han menar att vårt tillskrivande av egenvärde åt olika entiteter baseras på att de har önskningar och preferenser. Det är enbart medvetna varelser som har preferenser och som vi normalt sett är benägna att tilldela ett egenvärde. Agar menar emellertid att vi utifrån naturvetenskapliga fakta om icke-medvetna varelser bör tillskriva

även dessa ett egenvärde. Det bör ske i ett kontinuum från självmedvetna varelser som har störst egenvärde till enkla organismer som varken har rationalitet eller förnimmelseförmåga och därmed minst egenvärde. I ju högre grad levande varelser har något som liknar mänskliga önsknings- och preferenser, desto högre egenvärde bör de också tillskrivas.

Agar menar att även mycket enkla organismer, såsom bakterier och virus, har tillstånd som liknar föreställningar och tillstånd som liknar önsknings- och preferenser. Tillstånd som liknar föreställningar har funktionen att förmedla information om centrala delar av organismens miljö. Viruset T4 som reproducerar sig med hjälp av en bakterievärd har sensorer, som känner av substanser på bakteriers ytor. När den kommer i kontakt med en bakterie skapas en respons och den injicerar sitt genetiska material i bakterien. T4 har ett tillstånd som innehåller informationen ”bakterie”, vilket liknar en föreställning. Tillstånd som liknar önsknings- och preferenser, vilka också kan kallas biopreferenser, har som funktion att skapa en viss relation mellan organismen och dess miljö. T4s biopreferens kan beskrivas som att injicera material i en bakterie. Eftersom också mycket enkla organismer har biopreferenser vilka har en strukturell likhet med preferenser bör också de tillskrivas egenvärde, men i betydligt lägre grad än varelser med preferenser.

Ett första problem med Agars resonemang är att tillskrivandet av egenvärde har en oklar moralisk relevans. Att något har ett egenvärde innebär inte nödvändigtvis att det är moraliskt beaktansvärt. Här väljer jag dock att tolka honom som att han menar att alla levande organismer är moraliskt beaktansvärda, om än i olika hög grad.

Även efter en sådan tolkning kvarstår dock det som jag uppfattar som huvudproblemet med Agars teori, nämligen hans slutsats att eftersom icke-medvetna varelser har biopreferenser, vilka har vissa likheter med preferenser, bör man dra slutsatsen att också de är moraliskt beaktansvärda. Agar menar att eftersom biopreferenser liknar preferenser är också innehavare av biopreferenser moraliskt beaktansvärda, men i lägre grad än innehavare av preferenser. Frågan är dock varför denna slutsats är den mest rimliga. Kan man inte lika väl hävda det motsatta, det vill säga att endast innehavare av preferenser är moraliskt beaktansvärda och inte några andra entiteter? Varför ska tilldelningen av moralisk status ske i ett kontinuum, snarare än att man drar en skarp gräns mellan de som har och de som inte har preferenser? Hade det endast funnits en kvantitativ skillnad mellan de som har och de som inte har moralisk status, exempelvis om den förra gruppen endast hade färre biopreferenser än den senare, hade det varit svårt att motivera en skarp gräns. I detta fall skulle vi emellertid kunna argumentera för att det finns en kvalitativ skillnad mellan de individer som har preferenser och de som inte har preferenser och att det motiverar att endast den första gruppen tilldelas moralisk status.

Jag drar alltså slutsatsen att det finns stora svårigheter med att motivera moraliska plikter mot mikroorganismer utifrån de plikter vi anser oss ha mot människor eller andra kännande varelser. Det grundläggande problemet är att skillnaderna

helt enkelt är för stora mellan människor och mikroorganismer för att vi skall kunna basera moraliska omdömen om de senare på omdömen om de förra. Detta utgör ytterligare ett hinder för att kunna dra slutsatsen att skapandet av mikroorganismer med artificiellt DNA är moraliskt felaktigt, eftersom det skadar dessa organismer.

Slutsatser

Det mest uppenbara skälet till att syntetisk biologi bör anses vara moraliskt otillåtet är det faktum att det kan leda till risker för människor och andra kännande varelser. Även om forskning om och kommersiell tillämpning av syntetisk biologi kan leda till risker, är detta faktum emellertid mest hållbart som ett skäl för att införa nya lagar och regler för kontroll och övervakning (givet att de lagar och regler som finns i nuläget inte är tillräckliga) och inte som ett skäl för att införa ett totalförbud mot syntetisk biologi. Eftersom tillämpning av syntetisk biologi kan vara av stort värde för människor, verkar ett allmänt förbud inte vara det mest rimliga sättet att hantera de risker som finns.

Uppfattningen att människan överträder en förbjuden gräns genom att skapa organismer med artificiellt DNA är mer hållbart som ett skäl för att syntetisk biologi bör anses vara moraliskt otillåtet. Det finns dock uppenbara problem med att motivera denna uppfattning. Ett möjligt sätt är genom tanken att det finns en objektiv ordning i naturen som människan överträder genom att skapa organismer med artificiellt DNA, men det är en kontroversiell ståndpunkt att det finns en sådan ordning och att vi kan få kunskap om den. Ibland har syntetisk biologi beskrivits som ett sätt att "leka Gud" i bokstavig bemärkelse, det vill säga att överta Guds roll, men de flesta akademiska teologer motsätter sig en sådan slutsats. Ett religiöst motiverat avståndstagande från syntetisk biologi är också problematiskt som en grund för politiska beslut i ett sekulariserat samhälle.

Uppfattningen att vi skadar de artificiella mikroorganismerna själva genom att framställa dem kan också vara ett hållbart skäl för att syntetisk biologi åtminstone i vissa fall bör anses vara moraliskt otillåtet. Även denna uppfattning är dock svår att motivera. Först och främst är frågan om vi verkligen skadar mikroorganismer genom att framställa dem, eftersom det verkar förutsätta att det är bättre för dem om de överhuvudtaget inte hade existerat. Dessutom förutsätter slutsatsen att framställandet av mikroorganismer med artificiellt DNA är moraliskt otillåtet att dessa mikroorganismer är moraliskt beaktansvärda. De försök som hittills gjorts att rationellt motivera denna ståndpunkt är inte övertygande.



Lästips

Braidotti, Rosi (2013) *The Posthuman*. Polity Press

Freemont, Paul Simon; Kitney, Richard I. (2016) *Synthetic Biology: A Primer*
World Scientific Publishing Co

Kaeznick, Gregory E.; Murray, Thomas H. (red.) (2013) *Synthetic Biology and
Morality: Artificial Life and the Bounds of Nature* MIT Press

Singer, Peter (1996) *Praktisk etik* Thales

Torpman, Olle (2017) *Miljöetik: från problem till lösning* Studentlitteratur

Åsberg, Cecilia; Hultman, Martin; Lee, Francis (red.) (2012) *Posthumanistiska
nyckeltexter* Studentlitteratur

Synen på människan som skapare av

(o)mänskligt liv:

Exemplet Mary Shelleys *Frankenstein, eller den moderne Prometheus*

Anna Cabak Rédei

*Människans nyfikenhet och strävan att tänja på gränserna för att stilla vetgirigheten är inget nytt och kanske inte ens mest utmärkande för just vår tid. Dokumenterade källor från 1200-talet kan tjäna som goda exempel som stödjer ett sådant antagande. Mary Shelleys roman från början av 1800-talet, *Frankenstein, eller den moderne Prometheus*, är kanske den än idag mest kända kommentaren till detta gränstjänjande, som fått sin fortsättning i lite ny tappning i filmen och den vetenskapliga debatten.*

Att experimentera på människor för att nå kunskap om vad det är att vara människa är kanske något som är just en del av att vara människa? Mary Shelleys (1797–1851) *Frankenstein, eller den moderne Prometheus*, publicerades först 1818 och är en fiktiv berättelse om vetenskapsmannen Frankenstein och hans Varelse (monstret) och som fick tidigt fäste i populärkulturen. Den sattes upp som teater redan under 1800-talet, där en ny tolkning av berättelsen om Frankenstein tog form och fortsatte inom filmen sedan den första filmatiseringen år 1910 (16 minuter lång). En historisk roman alltså, som fått fortsättning in i vår tid genom otaliga nya tolkningar på teaterscenen och på filmduken.

Fokus kom att ligga på (och gör fortfarande) Frankensteins vetenskapliga besatthet i att skapa liv, en besatthet som så småningom leder till en ödesdiger överträdelse av etiska och religiösa gränsvärden på bekostnad av de frågor som möjligen uppehöll Mary Shelley (Figur 1) än mer, nämligen: frågan om ansvar och gränsen mellan vad som är mänskligt och inte. Därmed, kanske som en följd av denna omorientering, har även Varelsen i boken reducerats i populärkulturen till ja, ett monster. Monstret har tappat de mänskliga aspekter som Varelsen hade, och grymtar i filmen och på scenen där Varelsen i boken fascinerades av språket som han ägnade stor möda åt att lära sig.

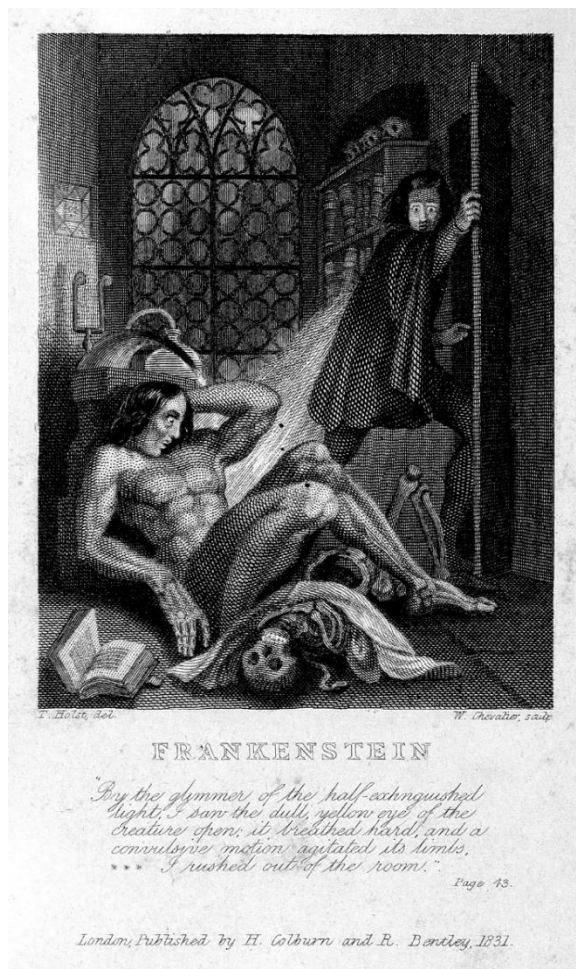
Nedan följer en beskrivning av den idémässiga bakgrund som fanns i den kontext i vilken Mary Shelley verkade, och något om romanen. Kapitlet avslutas sedan med ett försök att besvara frågan om huruvida vi kan tala i termer av att Fran-

kenstein, genom populärkulturen – främst filmen – blivit till en metafor inom ramen för vad vi idag kallar den syntetiska biologin. Många vetenskapliga böcker och artiklar bär titlar, och har ansatser, som vittnar om detta, såsom till exempel: *Frankenstein's footsteps*, *The Frankenstein syndrome*, "The Frankenfood myth", eller i titeln på en intervju med genetikern J. Craig Venter, känd för sin forskning i avancerad syntetisk biologi som resulterat i den första artificiellt skapade DNA-molekylen 2010, "J. Craig Venter talks life, ego, ambitions—and Frankenstein".

Karaktern Frankenstein, såsom den renodlats inom populärkulturen, används alltså ofta metaforiskt för att beskriva den konflikt som kan uppstå mellan vad vetenskapen förmår att göra, och det vi som människor lärt oss att vi inte bör göra mot bakgrund av vår kulturella historia. Det uppstår, förenklat, en konflikt mellan den "hårda" vetenskapen som inte tar någon hänsyn annat till sin egen förmåga och de "mjuka" värdena som handlar om mänskliga rättigheter som på allvar började formuleras under upplysningstiden på 1600- och 1700-talen. Å den andra sidan, handlar konflikten även om vetenskapens förmåga och människan plats i Skapelsen, om vi ser till religiösa skapelseberättelser. Shelleys mera komplexa och nyanserade budskap om vad det är att vara människa, sett ur två perspektiv – Frankensteins och Varelsens – har gått förlorat i dagens tolkningar inom film och teater. Hur speglas då den framväxande naturvetenskapen i Mary Shelleys roman?



Figur 1: Mary Shelley.



Figur 2: Frontispiece Shelleys Frankenstein

Frankenstein, och hans Varelse

Shelleys roman publicerades först år 1818, och gavs ut i en andra något reviderad upplaga år 1831 (Figur 2). Romanen är uppdelad i tre delar och börjar med Walton's berättelse från sitt expeditionsfartyg långt norrut i hav nära Nordpolen. Walton räddar Frankenstein som i jakten på Varelsen (skapelsen som aldrig får något namn utan kallas som oftast för Varelsen, eller ibland för monstret, uslingen eller andra nedsättande tillmälen) fört honom till ishaven där han ramlar i när isen bryter upp. Walton är angelägen om att bli hans vän och så småningom berättar Frankenstein historien bakom sin jakt, som återges i romanens första del. Walton's

återberättande av Frankensteins livshistoria (och hans möte med Varelsen i slutet av romanen) utgör en ram för romanen, och läsaren får ta del av den i form av hans brev till system. Walton har en del likheter med Frankenstein. Hans expedition till Nordpolen kan sägas vara ett resultat av en besatthet likande den som drivit Frankenstein. Skillnaden är att Walton ger upp när sjömännen på fartyget är nära myteri på grund av de svåra omständigheterna ute på havet, och byter kurs och vänder tillbaka. Denna gräns saknar Frankenstein.

I den andra delen får vi ta del av Varelsens berättelse, en berättelse om lidande och sökande efter mänsklig värme och kärlek, då kärlek och omsorg från hans skapare, d.v.s. Frankenstein, förnekats honom och om hur det sakteliga går upp för Varelsen hur han ser ut vilket ger honom en förklaring till varför människor (inklusive Frankenstein själv) flyr honom. Men Varelsen ger inte upp sitt rättmätiga krav på kärlek utan ber Frankenstein om att skapa honom en brud. Frankenstein går motsträvigt med på detta, men skjuter upp det tills han slutligen inser att han måste. I ögonblicket då han nästan är klar vägrar han slutföra experimentet, till Varelsens stora vrede. Varelsens lidande och besvikelse går över i hat och han grips av ett hämndbegär som till slut kostar Frankensteins nyblivna hustru livet, men innan dess har Varelsen orsakat stor olycka, ofrivilligt genom olyckshändelser i början men sedan med berättad mod, då Frankensteins bästa vän Henry Clerval faller offer för Varelsens vrede. Den tredje och sista delen av romanen är en dialog där Frankensteins, Waltons, Varelsens och andras röster belyser tragedin som slutligen kostar Frankensteins, och möjligen även Varelsens liv, ute på ishavet i norr när den senare kastar sig ut genom kabinfönstret på Waltons fartyg där hans ”skapare” somnat in i sviterna av den långa jakten och av förlusterna av de som stått honom allra närmast, hustrun Elisabeth, fadern som dött av sorg vid förlusten av Elisabeth, bästa vännen, en kär lillebror och en trogen anställd i hushållet. Frankenstein och Varelsen har båda blivit varandras olycka. Hur såg då den framväxande naturvetenskapen ut på Mary Shelleys tid?

Nya vetenskapsideal växer fram under Upplysningen

Den materialistiska filosofin under 1700-talet gav uttryck för dessa vetenskapsideal i begrepp såsom till exempel filosofen La Mettries (1709–1751) ”l’homme machine” [maskinen människan], som var en förlängning av Descartes arbete och som utmynnade i tanken att det inte fanns någon skillnad mellan djur och människor, de var båda ”maskiner” (Descartes gjorde en skillnad mellan djur och människor här, eftersom människan enligt honom hade en själ, men förutom själen var båda mekanistiska). Huvudkaraktären i Shelleys roman, en tidig, vad vi idag skulle kalla science fiction roman, är en ung vetenskapsman, Victor Frankenstein. Han har redan i skolåldern i Genève blivit besatt av naturfilosofin, och detta intresse leder så småningom till en nästan tvångsmässig dröm om att skapa mänskligt liv. Detta är en fantasi och en ambition som inte delas av någon av Frankensteins

lärare på universitetet i Ingolstadt där han studerat naturfilosofi och slutligen blivit tagen av de senaste rönen inom elektricitet och galvanism. Frankensteins mani tar här form: "Jag ska göra något banbrytande, upptäcka okända makter, utforska okända krafter, och avslöja skapelsens djupaste mysterier".

Frankenstein har därmed bestämt sig för att sätta sig över sina lärare och ja, sätta sig över skapelsen och Skaparen (se mer om denna fråga i Melins kapitel). Vi får inte veta i romanen huruvida Frankenstein har en tro eller inte, men La Mettrie hade när han skrev sitt verk *L'homme Machine* (1748) även gjort upp med Gud, vars existens han betvivlade. Om vi antar att Frankenstein tagit till sig materialismen full ut, så blir det även fritt fram för honom (och andra människor) att träda in i rollen som "skapare" med nycklarna till "skapelsen djupaste mysterier", som Shelley uttrycker det. Denna fråga kan även gälla vetenskapen såsom den utvecklades under 1700-talet. Galvanismen, till exempel, var en metod som byggde på idén att man genom elektricitet kunde påverka kroppens inre kretslopp, en metod som romanens Frankenstein tagit djupt intryck av. Denna metod har sitt namn från den italienske läkaren och naturfilosofen Luigi Galvani (1763–1834) som i slutet av 1700-talet experimenterade med grodor och kom fram till att djur och människor innehade en typ av elektriska kretslopp som var avgörande för livskraften och som kunde påverkas utifrån. Därav föddes idén att människan kunde återuppväcka djur och människor från de döda genom elektricitet. Galvanistiska experiment blev populära i början av 1800-talet i städer som Paris och London. Särskilt vanliga var de i London där brottsligheten var hög och eftersom straffen var mycket hårda var tillgången till kroppar förhållandevis god (galvanistiska experiment fick endast göras på avrättade brottslingars kroppar). Är det konsekvenserna av detta synsätt, att det är fritt fram för människan att utforska skapelsen djupaste mysterier, som Shelley vill visa på?

Frankenstein och den moderna vetenskapen

Att människan tagit sig rätten att experimentera med människor var inte nytt vid tiden för Shelleys roman. Den italienske Franciskanmunken Salimbene (1221–1290), till exempel, beskriver kejsaren Fredrik II:s (1194–1250) "nyfikenhet", eller kanske bättre "excesser" när denne experimenterade med barn, likt Psammetichus I (som regerade över Egypten 664–610 f.Kr.) i Herodotos (484–425 f.Kr.) verk *Historia*. Där lät Psammetichus I lämna två barn till en herde som fick instruktionen att ta hand om dem, men utan att tala med dem. Experimentet gick ut på att herden istället skulle lyssna noga och registrera det första ordet något av barnen yttrade. På så sätt skulle Psammethicus I få svaret på vilket språk som var människans urspråk. När det ena barnet yttrade sitt första ord med utsträckta armar, tolkade herden ordet som "bröd" på frygiska. Psammetichus I drog slutsatsen att frygier var ett äldre folk än egyptierna och att frygiska var människans ursprungliga språk. Enligt Salimbene, lät Fredrik II, inspirerad av Psammethicus I, fånga in

mindre bemedlades barn och låste in dem i en källare och gav sin personal instruktionen att inte tala, leka eller på annat sätt ge barnen några ömhetsbetygelser. Fredrik II ville nämligen se vilket av de klassiska språken grekiska, latin eller arabiska som barnen skulle börja tala ”naturligt”. Hypotesen var att människan är ”förprogrammerad” med ett språk, frågan var bara vilket. Resultatet, enligt berättelsen, var att barnen inte lärde sig något språk alls, om de ens överlevde den grymma och omänskliga behandlingen. Idag vet vi, genom den moderna psykologin, att det späda människobarnet kan dö om det berövas värme och mänsklig beröring.

Liknande försök, fast med ungar av rhesusapor, har gjorts av psykologen Harry Harlow i en rad uppmärksammade experiment. Forskningen bedrevs på University of Wisconsin-Madison, där Harlow tog ett par nyfödda rhesusungar från sina mammor och satte dem i en social isoleringsbur, ”Förtvivlans bur” tillsammans med en konstgjord ”surrogatmamma”. Där vistades aporna utan kontakt med andra apor under 24 månader. ”Surrogatmammorna” kunde vara konstruerade på lite olika sätt, den ena var ”hård”, gjord av ståltråd med fyrkantigt huvud och försedd med en nappflaska som rhesusungen kunde dia ifrån, den andra var däremot mjuk och klädd i någon typ av päls, alstrade kroppsvärme och kunde vagga rhesusungen. Det visade sig senare att rhesusungarna föredrog den senare, och det var av underordnad betydelse huruvida surrogatmamman kunde ge mat åt rhesusungen eller inte. Men rhesusungarna utvecklade allvarliga störningar efter denna behandling, och experimenten visade att rhesusungarna till varje pris försökte utveckla en relation till ”sin surrogatmamma”, och att beröringskontakten var det avgörande. Men kritiken mot det ”omänskliga” i Harlows experiment växte då många upplevde att han låtit experimentet gå alltför långt. Detta väckte en medvetenhet om grymheten i experiment med djur. Resultaten av Harlows experiment visade att inlärning är beroende av trygghet och nyfikenhet, och att även människans behov är långt mer komplexa än sömn och föda.

Dessa resultat bekräftar vad forskningen visat inom ramen för anknytningsteorin som växte fram genom psykologerna Mary Ainsworths och John Bowlbys arbeten med barn och barnens anknytning till sina omsorgspersoner, ett samarbete som startade på 1950-talet och varade i flera decennier framåt. Särskilt kan Ainsworths begrepp ”en trygg bas” lyftas fram i detta sammanhang, en teori om vikten för det lilla barnet att känna att hen har en omsorgsperson att knyta an till och vända tillbaka till för att söka trygghet när barnet stöter på ”faror och hot” i det nyfikna utforskandet av omvärlden.

Inom ramen för denna ansats skulle vi kunna säga att Victor Frankensteins största misslyckande i sitt experimenterande på människor var att han försummade att ge Varelse den omvårdnad och omsorg varje människa behöver för att kunna ta sig ut i världen utan att drabbas av meningsförlust. Inom den kliniska psykologin så vet man vilka negativa konsekvenser, i termer av psykisk ohälsa, det kan få för den enskilde att växa upp utan anknytningsperson – en person att ty sig

till – som kan härbärgera och reglera negativa känslor som rädsla utan istället spär på, eller triggat dessa. Särskilt påverkar detta förmågan till nära och närande relationer, utan vilka människan har svårt att klara sig.

I detta avseende är det inte alltför långsökt att anta att Frankensteins Varelse är mänsklig (om vi kan acceptera att resultaten av Harlows experiment även i någon mån är giltiga för människan), och mera så kanske än Frankenstein själv. Detta är åtminstone den fråga som Mary Shelley väcker i sin kritik mot vetenskapsmannen som inte tar ansvar för sin skapelse, stänger honom inne tills dess att han rymmer ut i världen för att nyfiket upptäcka den utan att ha en trygg bas, en anknytningsperson, att återvända till när världen blir obegriplig och hotande. ”Monstret”, som Varelsen också kallas, straffar sin ”skapare” för två försummelser: avsaknad av omsorg, och underlåtelse att skapa en brud åt honom. Det senare är i ljuset av vad man vet om människans anknytning fullt naturligt, människans romantiska relationer har det visat sig i forskningen, återspeglar den anknytning som barnet haft med sina omsorgspersoner, oftast föräldrarna. Men det finns en stor skillnad, de senare är liksidiga till sin natur vilket inte relationen barn-omsorgsperson kan vara, där omsorgspersonen är den vuxne som ger till barnet, i strikt bemärkelse. I vuxna nära relationer tycks människan skapa anknytningsrelationer lika starka som den mellan barnet och omsorgspersonen. Men detta säger inget om kvaliteten i relationen. Människan, enligt anknytningsforskningen, knyter an till sin omsorgsperson av nödvändighet för fortlevnaden och detta på gott och ont. Anknytningen tycks ha biologiska rötter, något som Harlows experiment på rhesusungarna visat. Frankensteins monster gav alltså inte upp längtan efter en anknytningsrelation, den som han berövats av sin skapare, men även av andra han försökt knyta till sig längs vägen. När Frankenstein berövar Varelsen en fru, börjar kampen och jakten. Varelsen hämnas, och Frankenstein jagar sin skapelse i spåren av våld och mord till utkanten av civilisationen och går under på vägen medan Varelsen undflyr honom i flykten mot de iskalla vidderna på nordpolen. Frankenstein undandrar sig ”föräldrarollen” i det ögonblicket Varelsen får liv – vägrar vara en omsorgsperson – abdikerar, och full av skräck överger sin varelse som sträcker ut sin hand mot honom, som om han ville hålla honom kvar. Frankenstein rusar ut vid anblicken av Varelsens anstötande yttre, käkarna som öppnas, de gula vattniga ögonen och huden som knappt tycktes täcka benen.

Frankenstein har alltså under sina studier på universitetet i Ingolstadt blivit besatt av tanken på att skapa mänskligt liv då han gripits av beundran för framstegen gjorda inom galvanismen. Mary Shelley kom tidigt i kontakt med debatten kring galvanismen då hon i egenskap av att vara dotter till de brittiska filosoferna och författarna William Godwin (1756–1836) och Mary Wollstonecraft (1759–1797) föddes in i ett hem som utgjorde ett centrum för engagerande diskussioner om samtida vetenskapliga rön. Bland annat fick hon höra historien om Giovanni Aldini, systerson till Luigi Galvani, och dennes experiment på liket efter en brottsling som oskyldigt (visade det sig) dömts till döden för att ha dränkt sin fru och

barn i en av Londons kanaler. Med hjälp av elektriska chocker mot huvudet öppnades ögonen, ansiktet grimaserade otäckt samtidigt som huvudet slängde fram och tillbaka. Men inget hände när elektriciteten riktades mot hjärtat, kroppen förblev livlös. Troligen baserade Mary Shelley sin protagonist Victor Frankenstein på Giovanni Aldini, en person som även hennes man poeten Percy Bysshe Shelley tagit intryck av. Helt kort, Mary Shelley befann sig i mitten av en krets som fascinerades av galvanismen och tanken på att kunna återuppväcka döda kroppar med hjälp av metoden. Det är också genom att låta elektriciteten från ett blixtnedslag träffa den av likdelar (från bårhuset) ihopsamlade livlösa kroppen som Frankenstein ger liv åt sin varelse. Lik Prometheus, som stal elden från gudarna i den grekiska mytologin och gav den till människorna för att de var överlägsna alla andra djur, tillskansar sig Frankenstein skaparkraften. Prometheus straffades genom att bindas fast vid en klippa som vaktades av en örn, eller en gam. Herakles sköt ned den vaktande fågeln med en pil och räddade Prometheus. Prometheus förbrytelse blev ursprunget till all konst och vetenskap. Frankenstein straffas också, genom undergång och genom att varelsen undflyr honom, utsläppt som denne är i världen. Kanske kan man också föreställa sig ett djupt och omedvetet personligt intresse hos den unga Mary för denna nya vetenskap? Hon hade ju förlorat sin egen mor som dog i barnsängsfeber när hon föddes och tvingades växa upp med en styvmor med vilken hon inte hade någon närmare relation. Mary var mycket upptagen av minnet av sin mor som hon liknade mycket, och hennes far tog henne ofta till moderns grav.

Mary Shelleys Frankenstein och filmen

Scenen där Varelsen väcks till liv är central i berättelsen, och intressant att studera i ett jämförande perspektiv med filmiska tolkningar eftersom de är senare och gjorda i ett annat vetenskapligt och kulturellt sammanhang. I romanen är scenen nedtonad i jämförelse med hur den kommit att bli i filmiska tolkningar, med start redan i den första långfilmen, *Frankenstein* (Whale, 1931). Shelley beskriver natten då Frankenstein äntligen lyckas gjuta liv i den livlösa kroppen som han sytt ihop av likdelar och burit till det ödsliga tornhuset. Mödosamt har Frankenstein arbetat med sitt experiment, självupptaget har han försummat alla sina relationer i sin besatthet att nå framgång. Utmatad beskriver Frankenstein det ”stora” ögonblicket:

Det var en sorglig natt i november, som jag skådade fullbordandet av mitt slit. Med oro, som nästan stegrades till ångest, samlade jag ihop livsinstrumenten omkring mig, så att jag kunde ingjuta en livsgnista i denna livlösa tingest som låg vid mina fötter. Det hade redan hunnit bli morgon; regnet slog dystert mot rutorna och mitt ljus var nästan nedbrunnet, när, i skenet av det nästan utslocknade ljuset, jag såg varelsens vattniga gula ögon öppnas. (Min översättning.)



Figur 3: Boris Karloff som Varelsen

Inte mycket sägs om vilken metod som används när den livlösa kroppen ska ges liv, annat än att det handlar om "instrument". Frankenstein beskriver det som ett ångestfyllt ögonblick, där han står och ska ingjuta liv i den "livlösa tingesten" vid hans fötter. Och Frankenstein funderar inte alls på om Varelsens liv i sig har någon mening, annat än att stilla Frankensteins sökande efter ära och kunskap. Annat är det i den första långfilmen (Whale, 1931). Scenen sker under stor dramatik, Elizabeth (Frankensteins trolovade), Victor (bästa vännen, Henry i romanen) och Dr. Waldman (Frankensteins lärare) söker upp Henry Frankenstein (Victor i romanen) en ovädernatt då han är fullt upptagen med att iscensätta experimentet och med vildsint blick slutligen släpper in sina besökare i experimentrummet högst upp i en gammal borg (se även Johanssons kapitel). Åskan dundrar utanför, takluckorna öppnas och britsen med den livlösa kroppen hissas upp och träffas av blixten och hissas sedan ned. Frankenstein stirrar exalterat på kroppen som plötsligen börjar röra på handen, och Frankenstein uttalar de filmhistoriska orden: "Den lever, den lever ... I Guds namn, nu vet jag hur det känns att vara Gud!" (Whale, 1931, min översättning).

Dessa ord censurerades senare på 1930-talet på grund av blasfemi. I senare restaurerade versioner har orden tagits fram igen, då de dolts under ett dunder av åska. Observera att Varelsen (Figur 3) omnämns som ”den”, alltså som ett ting. Denna skillnad mellan den nedtonade scenen i boken och den uppskrivade i filmen (som blivit standard i senare filmatiseringar, där scenen ofta placeras i laboratorium som för tankarna till den moderna vetenskapen) kan styrka uppfattningen att Frankenstein, eller vetenskapen, i sig inte var den centrala figuren för Shelley. Det som var viktigt för henne handlade om vad som hände med Varelsen som föds likt ett barn in i världen och berövas den kärlek, som han och alla andra, har rätt till. Detta gör Varelsen till slut till ett monster, och Frankenstein har genom sin försummelse bidragit till detta, som alla andra som mött och stött bort honom.

Även slutscenen skiljer sig åt väsentligt. I romanen dukar Frankenstein under, medan monstret flyr undan. I filmen (Whale, 1931) går istället monstret under i en kvarn som han flytt upp i, undan Frankenstein och byborna som jagar honom för att ta hämnd för brotten han begått. Frankenstein följer efter och fångas in av det grymtande monstret i en dramatisk scen, men han lyckas ta sig loss. Byborna sticker sedan kvarnen i brand så att monstret slukas upp av lågorna skrikande av fasa medan de hurrar nere på marken. Varelsens egna berättelse i romanen ger en annan bild, en bild som aldrig kommer fram i filmen från 1931 (Whale), och inte heller i den senaste långfilmsversionen *Victor Frankenstein* (McGuigan, 2015), för att ge ytterligare ett exempel. Shelleys perspektiv, hennes intresse för det mänskliga och för livet som ett socialt och politiskt fenomen, baserat på våra mänskliga relationer kommer fram i romanens skildring när denna syn sätts i ett motsatt perspektiv: livet reducerat till något biologisk och mekanisk, och som sådant blir omänskligt. Frankenstein ville bli skapare av mänskligt liv och drevs av högst själviska motiv, utan att tänka på ansvaret. Avsaknaden av ”faderliga” omsorger och kärlek fick så den tragiska följden att Frankensteins skapelse gavs ett omänskligt liv, ett liv som till slut förmörkades av hat och hämndbegär för det som berövats honom. För Shelley var livet alltså inte främst ett biologiskt fenomen. Frankenstein möter sin skapelse som förebrår honom:

Du, min skapare, avskyr mig; vilket hopp kan jag inhämta från dina medmänniskor, vilka inte är skyldiga mig någonting? De avvisar och hatar mig. De ödsliga bergen och de dystra glaciärerna är min tillflyktsort. Jag har vandrat här många dagar; isgrottorna, som endast jag inte fruktar, är min bostad, den enda som människan inte har några invändningar emot. (Min översättning.)

På så sätt, genom filmens genomslagskraft och den ursprungliga romanens idag undanskymda budskap, har Frankenstein blivit till en symbol för biologin som ingenjörskonst, det som brukar karaktärisera definitionen av den så kallade syntetiska biologin, och skapat myten om vetenskapsmannen som någon som leker Gud i sitt laboratorium (Figur 4). För det var inte denna typ av vetenskap som

var ”gudomlig” i Shelleys ögon, utan snarare den som monstret upptäcker när han studerar den mänskliga kommunikationen:

Gradvis gjorde jag en upptäckt av något ännu mer betydelsefullt. Jag fann att dessa personer hade en metod att kommunicera sina erfarenheter och känslor till varandra genom att artikulera ljud. Jag uppfattade att orden de talade ibland gav upphov till glädje eller smärta, leenden eller sorgsamhet, i de lyssnandes sinnen och ansikten. Detta var verkligen en gudomlig vetenskap, som jag ivrigt ville lära känna bättre. (Min översättning.)

Mot bakgrund av detta är det kanske inte förhastat att tro att Mary Shelly själv snarare sympatiserade med Frankensteins monster som sökte närhet och gemenskap med andra, än med Frankenstein som blir till romanens verkliga monster. Och även här ges språket en central roll. Varelsens fascination över detta kommunikationsmedel endast människan förunnat, och som vi genom tiderna ständigt försökt hitta en vetenskaplig förklaring till, allt från Psammetichus I:s grymma försök till dagens högteknologiska experiment.



Figur 4: Poster/filmaffisch.

Frankenstein som metafor?

Frankenstein-figuren har alltså inte upphört att fascinera. Men den ursprungliga betydelse som Mary Shelley ville ge sin karaktär har tunnats ut till förmån för den moderna synen på den besatte vetenskapsmannen (och hans monster), så till den grad att den återkommit i en relativt oförändrad form sedan den första populärkulturella teateruppsättningen till den senaste filmatiseringen. Kan vi härmed tala om Frankenstein som metafor? Det är inte självklart hur vi kan argumentera för det. För i vilken bemärkelse kan Frankenstein, som en fiktiv karaktär i en roman och i ett antal filmer, stå som en metafor för det arbete som utförs av forskare som arbetar i laboratorier där man utför experiment inom syntetisk biologi? Den sociokulturella kopplingen är inte alltför svår att se. Trots att antagligen få människor idag faktiskt har läst romanen har de förmodligen kommit i kontakt med några av de filmversioner som har producerats sedan början av 1900-talet, antingen genom att titta på några av dem själva eller genom att prata med någon som har sett dem, eller genom att läsa recensionerna. Om vi antar detta, så kan grunden för förhållandet mellan den fiktiva karaktären och metaforen upprättas, även om kopplingen till Frankenstein är lite flytande (den är öppen för oändliga tolkningar och kan inte tala för sig själv), inklusive den mellan skapare och monster.

Men hur kan man föra resonemanget längre och säga att Frankenstein är en *metafor*? Enligt Charles Sanders Peirces teckenteori hör metaforen till klassen av ikoniska tecken, som består av: bilder, diagram och metaforer, alla baserade på likhet med det föremål som den står för men i olika aspekter (kvaliteter). I vilken bemärkelse kan Frankenstein-karaktären vara ett tecken på en kvalitet som betecknar "människan som skapare av liv" inom syntetisk biologi?

Det kan knappast vara på något materialistiskt sätt, eftersom karaktären själv inte har några speciella materiella egenskaper som kan delas med biologer eller genetiker som arbetar inom syntetisk biologi, eftersom det förmodligen inte finns några materiella egenskaper som specifikt förbinder biologer (förutom de vi delar med alla människor). Då måste svaret vara att om det finns några egenskaper som delas mellan Frankenstein-karaktären och de biologer som arbetar med syntetisk biologi så måste likheten ligga någon annanstans. Den som uppfattar metaforen finner sannolikt metaforens likhetsrelation (ikonicitet) i *känslan som väcks*: användningen av metaforen synliggör likheten med det "objekt" den står för, samtidigt som metaforen laddar detta objekt med mening. I detta fall är det *känslan* av mänskligt (individuellt) förkastligt handlande som förbinder den samtida användningen av Frankenstein-metaforen, i kontexten av den framväxande syntetiska biologin, med vad Mary Shelley ursprungligen ville – och lyckades – förmedla av kritik till sin samtida publik. Det finns alltså vissa likheter i vår tolkning av metaforen, som beror på att delar av metaforens betydelse stått fast genom tiderna.

Men idag signalerar metaforen något mer eftersom det även finns delar av den som vidareutvecklats, och samtidigt verkar den även ha blivit mer konventionell. Att den blivit mer konventionell (mera "mainstream") har kanske till och med

grumlat vår allmänna förståelse för komplexiteten i utmaningarna som den nutida syntetiska biologin står inför, och vad den är? Detta eftersom metaforen gradvis blivit till en godtycklig symbol och som sådan, paradoxalt nog, blivit mer exakt (och "frost", eller "läst") i jämförelse med att vara en metafor som är mera öppen och tvetydig till sin karaktär, såsom en känsla kan vara. Frankenstein tycks förvisso ha förblivit en symbol för den besatte vetenskapsmannen, men i denna har känslan av "förkastligt beteende" som fanns tydligare uttryckt i den ursprungliga metaforen försvagats i den nutida användningen. Detta har att göra med att idag har de aspekter som berör Varelsens mänsklighet och sökande efter närhet och kontakt med sin avvisande skapare och sina medmänniskor försvunnit, medan Frankensteins omänsklighet och oansvariga kallsinnighet skärpts *men inte i relation* till det skapade. Shelleys ursprungliga perspektiv på vad ett mänskligt liv är var alltså mycket mer komplext än det som rymms inom dagens Frankenstein-metafor som stelnat till en konventionell symbolisk stereotyp som används inom populärkulturen, men även som referens i vetenskapliga böcker och texter som på lite olika sätt beskriver och förklarar den syntetiska biologin. I den kanske mest kända filmiska tolkningen från 1931 (Whale) ges metaforen ytterligare en dimension, som inte fanns med lika tydligt (om än alls) i Shelleys roman, nämligen Frankenstein som "leker Gud", en kraftfull laddning som bitit sig fast i dagens Frankenstein-metafor. Och kanske har det att göra med att metaforen begränsats, och idag nästan uteslutande används med referens till vetenskapliga laboratorieexperiment och den syntetiska biologin? Diskussionen i kapitlet har syftat till att belysa den frågan, genom historiska återblickar på ett modernt fenomen.



Lästips

Artiklar och böcker:

Broberg, Anders; Granqvist, Pehr; Ivarson, Tord; Risholm Mothander, Pia (2006) Anknäytningsteori. Betydelsen av nära känslomässiga relationer Bokförlaget Natur & Kultur

Coulton, George Gordon (1906) St. Francis to Dante David Nutt
<http://sourcebooks.fordham.edu/source/salimbene1.html>

Mazzarella, Merete (2014) Själens nattsida. Om Mary Shelley och hennes Frankenstein Atlantis

Nilsson, M. (2013) Frankensteins elektriska monster. Makabra experiment födde världens mest kända skräckfigur Allt om vetenskap <http://www.alltomvetenskap.se/nyheter/frankensteins-elektriska-monster>

Shelley, Wollstonecraft Mary (1831) Frankenstein, or the modern Prometheus Lackington, Hughues, Harding., Mavor, & Jones <http://www.gutenberg.org/ebooks/42324>

Wennerberg, Tor (2010) Vi är våra relationer. Om anknytning, trauma och dissociation. Bokförlaget Natur & Kultur

Filmer:

Whale, James (1931) Frankenstein

McGuigan, Paul (2015) Victor Frankenstein

Skapat liv och livets värde

Erik Persson

Om människan någon gång kommer att få förmågan att skapa nya livsformer, hur kommer det att påverka livets värde? Detta är en fråga som kan vara en källa till oro när man diskuterar konstgjort liv, men är oron befogad? I ett försök att svara på den frågan kommer jag att gå igenom några möjliga skäl till varför förmågan att skapa konstgjort liv skulle hota livets värde, och se om de verkligen ger oss skäl att oroa oss.

I nnan vi börjar diskussionen, låt mig först förklara lite mer vad jag menar, och vad jag inte menar, när jag talar om livets värde. Vad innebär det att liv har värde? Som jag tänker mig det så handlar det om våra attityder till liv. De allra flesta människor tycks ha en generell positiv attityd till liv. Det hindrar förstås inte att man har en negativ eller neutral attityd till vissa individuella liv. Man kanske är av uppfattningen att ett visst liv, eller till och med en viss slags liv, till exempel ett liv i ständig smärta och utan hopp om lindring, är ett negativt liv som man helst skulle vilja avsluta. De flesta av oss är väl också av den uppfattningen att det är fullt acceptabelt att göra slut på miljontals bakteriers liv med hjälp av antibiotika, eller för den delen, varje gång vi tvättar händerna (se även Melins kapitel). Inget av dessa fall hindrar dock att man rent generellt tycker att liv är något bra. Det kan yttra sig i allt från att man är glad att livet uppstod till att man ägnar sitt eget liv åt att skydda andras liv. Kanske innebär det också en nyfikenhet på hur livet uppstod, hur det fungerar och om det finns liv utanför vår planet. I vissa fall innebär det till och med att man förespråkar spridning av liv från jorden till planeter som inte har något liv. Om liv är något gott, varför inte se till att det finns på så många ställen som möjligt i universum? I lite mer filosofiskt språkbruk kan man säga att liv har värde om man, allt annat lika, tycker att liv är något bra. Hur det värdet sedan står sig i förhållande till andra värden beror på *hur* värdefullt man menar att livet är, och hur höga *de konkurrerande värdena* är, men det kommer jag inte att gå in på här. Jag kommer inte heller att tala om en viss individs liv och jag kommer inte att begränsa mig till någon särskild livsform, till exempel människor eller däggdjur. Det värde jag tänker på här är något mer grundläggande. Det handlar inte om värdet av specifika levande individer, utan om värdet av livet i sig. Alltså ett värde som är oberoende av vilken levande varelse vi pratar om, liksom av vilka andra egenskaper det levande har. När jag talar om livets värde så talar jag alltså inte om

ditt, din katts eller dina krukväxters värde som individer, utan om det faktum att ni är levande.

Jag kommer inte heller att tala om liv kontra död, utan om liv kontra icke-liv, alltså om värdet av att vara levande i kontrast till saker som stenar, bord och annat icke-levande.

Att skapa liv i den mening jag diskuterar här innefattar inte heller den ständigt pågående tillkomsten av nya individer. Istället handlar det om att på något sätt kopiera livets uppkomst.

En annan sak som också är viktig att påpeka, är att när jag talar om livets värde, eller värde generellt, så menar jag inte moralisk status. Moralisk status är något man har i kraft av att man har intressen som andra behöver ta hänsyn till när de agerar. För att kunna ha det behöver man ha ett medvetande (se Melins kapitel för exempel på andra sätt att se på moralisk status). Man behöver vara ett subjekt som kan uppleva saker som händer positivt eller negativt. Man kan, enkelt uttryckt, säga att moralisk status inte innebär att *du har värde* men att en förutsättning för moralisk status är att *saker har värde för dig*. Om en varelse inte har subjektiva upplevelser som kan klassificeras som positiva eller negativa för den varelsen i åtminstone en rudimentär bemärkelse så är det väldigt svårt att förstå vad det ens skulle betyda att denna varelse har intressen och ännu svårare att se vad det skulle innebära att ta hänsyn till denna varelse. Om varelsen å andra sidan har sådana upplevelser så är det på motsvarande sätt svårt att motivera varför dess upplevelser av vad som är bra eller dåligt skulle vara mindre viktiga än dina. Det är det som är själva grundidén bakom det här sättet att se på etik.

Värde är annorlunda. En antik vas kan ha ett väldigt högt värde helt oberoende av om den själv upplever något. Om vasen ramlar i golvet och går i småbitar så innebär det en förlust av värde även om det inte gör ont på vasen och även om vasen inte känner sig kränkt eller ledsen och inte får uppleva de beundrande blickarna från framtida gäster. Vasen har därför ingen moralisk status men den har värde. Om vi har någon moralisk plikt att inte krossa vasen eller till och med att skydda vasen från att bli krossad av andra, så är det alltså inte en plikt gentemot vasen utan gentemot dem för vilka vasen har värde, kanske dess ägare eller kanske alla som besöker muséet där den är utställd, eller kanske hela mänskligheten om vasen till exempel är en del av vårt mänskliga kulturarv.

Jag tänker inte gå in mer i detalj än så här på *vad för slags värde* vi pratar om när vi pratar om livets värde. Det finns massvis med filosofiska texter som behandlar den frågan. Jag kommer, som jag nämnde ovan, inte heller att försöka uppskatta *hur högt* livets värde är, varken i absoluta termer eller i förhållande till andra saker. Jag lämnar det helt upp till läsaren. Kanske du är av uppfattningen att livet i sig inte har något värde alls. Kanske är du av uppfattningen att liv är något som är oerhört värdefullt och måste skyddas och bevaras till varje pris, eller, kanske mest troligt, så befinner du dig någonstans däremellan. Oavsett var man befinner sig på

den skalan så kan man emellertid alltid ställa frågan om värdet kommer att förminskas den dag vi människor lär oss tillverka liv på egen hand. Det gäller faktiskt även om man anser att livet har noll värde. Inget värde alls är ju ändå bättre än ett negativt värde.

En svårighet när vi talar om livets värde är att det inte finns någon allmänt accepterad definition av liv. Det är naturligtvis en utmaning i sig att tala om värdet av något som man inte är helt överens om vad det är. Det finns dock också ett annat mer specifikt problem här. Man kan nämligen ifrågasätta att det verkligen skulle finnas en specifik egenskap eller en specifik uppsättning egenskaper som delas av allt levande. Om det istället är så att livet bäst definieras av en uppsättning egenskaper som alla associeras med liv men där varje enskild egenskap inte nödvändigtvis måste delas av allt levande (som hävdas i Abbotts och Perssons kapitel), då kanske man måste göra motsvarande med livets värde. Det vill säga, det kanske är olika egenskaper som ger värde åt olika levande varelser. Jag kommer inte att gå närmare in på den frågan här då det skulle leda för långt från huvudfrågan, men det kan vara bra att ha i åtanke att de egenskaper jag kommer att diskutera kan vara egenskaper som ger värde åt livet även om de inte delas av alla levande varelser.

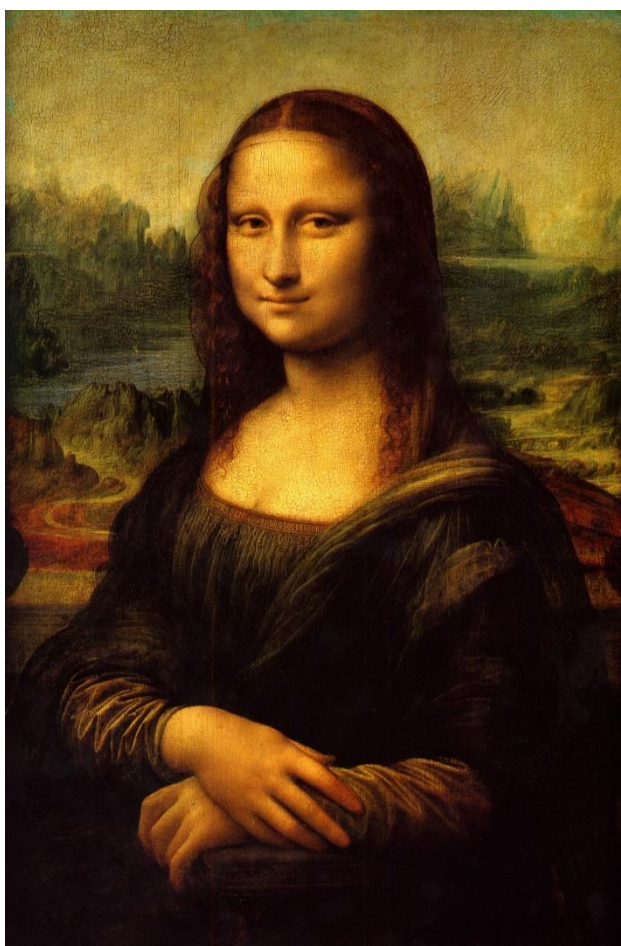
De egenskaper jag kommer att titta närmare på är originalitet, livets uppkomst, den mystik som omgärdar livet och dess uppkomst, det till synes självklara faktum att liv är ett naturligt fenomen, samt det faktum att liv är något som tenderar att finna sin egen väg, det vill säga dess autonomi. Dessa egenskaper har alla det gemensamt är att de associeras med liv, att de associeras med värde, och att de kan tänkas vara hotade av att vi tillägnar oss förmågan att skapa liv. Dessutom kommer jag att kort diskutera mångfald som exempel på en egenskap som associeras starkt med liv och som också kan tänkas vara en värdeskapare, men som inte hotas av en mänsklig förmåga att skapa liv utan som kanske till och med kan förstärkas om det leder till tillkomsten av fler och mer olika livsformer. Jag kommer dock inte att gräva så djupt i denna fråga då den ligger lite utanför ämnet för kapitlet.

Livets originalitet

Ett vanligt skäl att tillmäta till exempel konstverk ett extra högt värde är att det i någon mening är originellt. Vi tenderar att värdera konstverk högre om de är originella. Om något är påtagligt annorlunda än allt annat så blir det också mer intressant. Ett konstverk som skiljer sig radikalt från alla andra konstverk, eller till och med från alla andra föremål i världen, skapar intresse och höjer konstverkets värde, ofta oberoende av om det betraktas som vackert eller ej. Konstverk som är mindre originella betraktas som mindre värdefulla och saker som är massproducerade har, ur detta perspektiv, ett mycket lägre värde även när de är lika vackra som en originalmålning. Det handlar inte bara om ekonomiskt ”värde” (pris). De

mest värdefulla konstverken betraktas som ”ovärderliga” ur ekonomiskt perspektiv, inte därför att de inte skulle gå att sälja (det finns samlare som är beredda att betala fantasisummor för konstverk som de aldrig kommer att våga visa upp eller erkänna att de har), utan för att deras estetiska, kulturella, historiska eller andra värden vida överstiger deras potentiella marknadsvärde. Om någon till exempel skulle vilja köpa ett unikt konstverk, säg Mona Lisa (Figur 1), med syftet att förstöra det så misstänker jag att det skulle leda till oerhört upprörda känslor oavsett hur mycket pengar köparen är beredd att betala för ”nöjet”.

Hur påverkar detta frågan om livets värde? Betyder det att om vi lär oss att tillverka liv och på så sätt får flera upplagor av liv, så skulle det förringa värdet av



Figur 1: Leonardo da Vincis Mona Lisa. Exempel på originalitet inom konsten.

det befintliga livet eftersom det skulle göra att livet som vi känner det inte längre kommer att vara en unik företeelse?

Det vi måste fråga oss här är om livet verkligen är originellt på samma sätt som ett konstverk, och i så fall, om det verkligen är därifrån livet får sitt speciella värde.

Alla levande varelser skiljer sig ju från alla andra levande varelser på något sätt, men det räcker knappast. Det gäller ju för allt och kan knappast vara ett skäl att tilldela något extra högt värde. (Vad skulle ”extra högt värde” betyda om allt har det?) Dessutom är ju många levande varelser trots allt rätt lika. Det är därför vi kan dela in livet i arter, släkten och så vidare. Det är ju till och med så att allt liv vi känner till på jorden idag är släkt, visserligen på avstånd, men ändå. Vi härstammar alla från en gemensam förfader, vad vetenskapen kallar *Last Universal Common Ancestor (LUCA)* (mer om detta finns att läsa i P. Perssons kapitel). Det betyder visserligen att var och en av oss inte är så originell som vi kanske vill tro, men det gäller ju i förhållande till andra levande varelser. I förhållande till sådant som inte är levande kanske man ändå kan hävda att vi är rätt originella. Kom ihåg att det inte är värdet av enskilda levande varelser vi diskuterar här, utan värdet av livet som sådant. Exakt hur mycket livet som vi känner det idag skiljer sig från icke-liv är en fråga som i hög utsträckning beror på hur man skall definiera ”liv”. Det är (som vi kunde se i Abbotts och Perssons kapitel) en uppgift som inte är så enkel som man kan tro, vilket gör att det kan vara vanskligt att basera livets värde på hur och hur mycket vi skiljer oss från det icke-levande. Det faktum att allt liv på jorden härstammar från samma ”ur-förfader” (eller ”ur-population”), vilket alltså betyder att vi kanske inte skiljer oss så mycket från varandra, betyder ju å andra sidan att vi levande varelser (så länge vi håller på jorden) tillsammans skiljer oss på ett tydligt sätt från allt som är icke-levande, nämligen genom vi har ett gemensamt ursprung. Kan man använda det för att hävda livets originalitet? Om det är så att livet på jorden faktiskt bara har uppkommit en gång så kan man ju med fog säga att livet verkligen är originellt.

Svaret på frågan om huruvida livet på jorden bara har uppkommit en gång är dock att vi inte vet. Det kan vara så, men det kan också vara så att det har uppkommit flera gånger men att det bara en av gångerna har lyckats, i den meningen att livet lyckades överleva och sprida sig över planeten. Dessutom vet vi ju ännu inte om det finns liv utanför vår planet (se Dravins respektive Dunérs kapitel för mer om hur man söker efter utomjordiskt liv).

Om det skulle vara så att liv bara har uppkommit en gång i universums historia så kan man ju verkligen säga att det är originellt, till och med unikt, på samma sätt som ett unikt konstverk, som Mona Lisa till exempel. Om det istället är så att liv har uppkommit på jorden flera gånger, så tycks det dock ändå vara så att ”vårt” liv är unikt i den meningen att det är det enda nu existerande livet på jorden. Det är då inte unikt i universell mening men det är fortfarande väldigt originellt, tillräckligt för att tillmätas ett väldigt högt värde. Det betyder att livet som existerar på jorden idag inte är unikt på samma sätt som Mona Lisa i den meningen att det



Figur 2: Om det finns liv på andra planeter, hur påverkar det livets originalitet? (foto: NASA)

bara har uppkommit en gång, utan mer som ett arkeologiskt fynd av något föremål som det en gång fanns flera exemplar av men som det nu bara finns ett enda bevarat exemplar av. Även i det fallet verkar det dock befogat att tillmäta det ett ganska högt värde baserat på dess originalitet trots att det då inte är helt unikt i ett bredare perspektiv.

Om det istället är så att liv visserligen kanske bara har uppkommit en gång på jorden, men även har uppkommit på flera platser i universum, kanske på miljoner eller miljarder andra planeter (Figur 2), vad innebär det för livets originalitet? Man skulle kunna resonera som så att de fysikaliska och kemiska förutsättningarna på olika planeter är rätt olika, så om det finns liv på andra planeter är det förmodligen ganska annorlunda jämfört med livet på vår planet. Om vi jämför med konstverk igen, så finns det ju en mängd ovärderliga konstverk på jorden idag, men så länge vi talar om konstverk som skiljer sig tillräckligt mycket från varandra (man kan förstås diskutera vad som är tillräckligt) så tycks det inte vara något problem att se vart och ett av dem som originellt. De är alla konstverk men de är fortfarande tillräckligt olika sinsemellan för att tillmätas ett särskilt värde. Kanske kan man säga detsamma om livet på olika himlakroppar? Om universum skulle vara fullt av liv, men livet på varje planet är tillräckligt annorlunda än livet på vår planet, kan

vi kanske fortfarande säga att livet på jorden är tillräckligt originellt för att det skall förtjäna ett extremt högt värde.

Beror då livets värde på dess originalitet? Den frågan är inte helt enkel att svara på. Vi känner ju faktiskt bara till ett fall av liv och har aldrig upplevt en situation där vi haft att göra med flera upplagor av liv (i betydelsen liv med olika ursprung). Kanske kan vi jämföra med hur vi ser på individer av sällsynta arter? Det är naturligtvis en helt annan fråga än den som vi diskuterar här, det vill säga hur vi ser på en situation där allt liv har samma ursprung jämfört med en situation med liv som har olika ursprung, men låt oss i alla fall börja där för att ha något att utgå ifrån.

De flesta av oss tycker nog att det är mer spännande när vi upptäcker en individ från en sällsynt art än när vi ser en individ från en mycket vanlig art. Om man någon gång skulle få se det sista exemplaret av en art skulle det förmodligen vara en oerhört speciell upplevelse. Den som besökte Galapagos medan ”Lonely George”, det sista exemplaret av arten *Chelonoidis abingdonii*, fortfarande levde, hade till exempel chansen att uppleva detta.



Figur 3a,b: Är en kungsörn mer värdefull än en skata? (foto: 3a: Adamantios, 3b: Luis García)

Så långt verkar det alltså som att även när det gäller levande varelser så spelar sällsynthet en roll för dess värde. Jag är dock inte helt övertygad om att hur vi värderar *upplevelsen* av att träffa på en individ från en sällsynt art enkelt kan över sättas till hur vi värderar arten. Vi kan värdera upplevelsen av att se en kungsörn högre än upplevelsen av att se en skata, men det är inte exakt samma sak som att värdera till exempel arten kungsörn (*Aquila chrysaetos*) högre än arten skata (*Pica pica*). Om vi värderar arten kungsörn högre än arten skata kan det kanske bättre förklaras av andra faktorer än egenskapen att vara sällsynt. Det kan till exempel handla om örnens majestätiska karaktär, dess livsstil, dess roll i ekosystemet, eller dess roll i mytologin (Figur 3). Det kan till och med handla om påstådda egenskaper som inte längre är vetenskapligt giltiga men som ändå har format vår bild

av arten. Alla dessa saker påverkar säkert hur vi uppskattar arten. Ett annat faktum som talar för att andra saker är viktigare än sällsyntheten är att de flesta människor som inte är experter värderar till exempel kungsörnar högre än kornsparvar (*Emberiza calandra*) trots att kornsparven som art är mer sällsynt än kungsörn (åtminstone i Sverige). Å andra sidan reser entusiaster gärna långa sträckor för att beskåda ett exemplar av en sällsynt art även om den inte är särskilt uppseendeväckande på andra sätt, men det är kanske ett specialfall och något som säger mer om vad det innebär att vara entusiast? En riktig entusiast är intresserad av andra saker än den breda allmänheten. Dessutom talar vi ju här åter om värdet av upplevelsen att se ett exemplar av arten, vilket alltså inte nödvändigtvis var detsamma som värdet av arten.

En indikation på att vi kanske ändå värderar sällsynta arter högre är att vi anstränger oss mer för att rädda sällsynta arter än vanliga arter, men det kan lätt förklaras i termer av behov, inte hos arten utan hos oss som värderar den. Om vi värderar två arter lika högt och den ena är mer sällsynt än den andra, så behöver vi anstränga oss mer för att den sällsynta skall finnas kvar.

Det finns alltså alternativa förklaringar till uppmärksamheten vi ger sällsynta arter och det finns alternativa förklaringar till att vi värderar kungsörn högre än skata, men det måste ju inte betyda att inte sällsyntheten trots allt spelar en roll. Det kan fortfarande vara så att sällsynthet har betydelse för hur vi värderar arter, även om det inte är det som har störst betydelse. Det är dock inte säkert att vi kan överföra den slutsatsen till frågan om livets värde. När vi säger att en art är sällsynt, menar vi inte att det finns få arter, utan att det finns få exemplar av den arten. Vi kan inte mena samma sak när vi pratar om livet som sällsynt. Det finns en oerhörd mängd levande varelser. Det finns till och med en oerhörd mängd olika sorters levande varelser. Livet är oerhört mångfacetterat, bland det mest mångfacetterade man kan tänka sig. I själva verket kan man misstänka att detta nog är en viktigare förklaring än originalitet till att vi värdesätter livet så mycket. Är det då rimligt att förvänta sig att detta förändras om vi skapar mer liv på ett konstgjort sätt? Jag skulle inte tro det. Ett tillskott av livsformer i form av syntetiskt liv skulle ju inte göra livet mindre mångfacetterat. Om de nya livsformerna kommer att "räknas" och på så sätt tillföra värde till livet genom att öka dess mångfald är svårt att säga, men det är åtminstone svårt att tro att det skulle minska värdet.

Låt oss emellertid återvända till frågan om originalitet. Vi har så här långt kommit fram till att originalitet inte nödvändigtvis är den bästa förklaringen till att vi tillmäter livet ett särskilt värde, men att det trots allt inte är osannolikt att det spelar en viss roll i sammanhanget. Även om vi också tycks ha andra, och till och med starkare skäl att värdera arter än att de är sällsynta så kan vi inte helt utesluta sällsyntheten ur resonemanget. Dessutom är ju sällsynta arter något annat än livet som sådant. Att en del av livets värde är baserat på dess mångfald hindrar ju inte heller att en del av värdet också är baserat på dess originalitet. Vi har ju till exempel konstaterat att originalitet tycks spela en stor roll inom konsten, och även om

förmågan att skapa konstgjort liv inte förminskar den del av livets värde som är baserad på till exempel dess mångfald, så kanske livets värde ändå minskar även om bara en del av dess värde är baserat på originalitet.

Vi har också kommit fram till att livet som vi känner det på jorden idag förmodligen inte är unikt, det kan ju ha uppkommit liv vid fler tillfällen på jorden och mycket talar för att det kan finnas liv även utanför vår planet. Ändå tycks det vara åtminstone hyfsat originellt i betydelsen att det är det enda liv som existerar på jorden idag och i betydelsen att även om det finns annat liv i universum så är det förmodligen väldigt annorlunda än vårt, samt att även om det har uppkommit liv vid fler tillfällen på jorden så tycks inte detta liv längre finnas kvar.

Vad betyder detta för frågan om hur livets värde kommer att påverkas om vi människor lär oss tillverka liv? För att besvara den frågan behöver vi börja med att klargöra vilket liv vi pratar om, det konstgjorda livet, det ursprungliga ”naturliga” livet, eller båda?

Vi kan åter jämföra med hur det ser ut inom konsten. Vi konstaterade tidigare att ett massproducerat verk inte alls har samma värde som ett verk som det bara finns ett exemplar av, till exempel Mona Lisa. Å andra sidan finns det ju faktiskt hur många bilder som helst av Mona Lisa (Figur 4). Man kan till och med köpa vykort med Mona Lisa på i museishopen på Louvren. Det finns alltså rent faktiskt en otalig mängd Mona Lisa-kopior. Vad betyder det för värdet av Mona Lisa?

För att ge ett vettigt svar på den frågan måste vi alltså fråga oss vad det är vi syftar på. Är det Leonardos originalmålning, är det kopiorna, eller är det båda?

Om vi börjar med kopiorna så är det lätt att konstatera att de inte tycks tillmätas något större värde. De kan köpas ganska billigt och om ett vykort med Mona Lisa-motiv förkommer så är det inget som bekymrar oss särskilt mycket. Detta ligger



Figur 4: Hur påverkar alla de otaliga massstillverkade kopior som finns av Mona Lisa värdet av da Vincis originalmålning?

helt i linje med vårt tidigare konstaterande att massproducerade verk inte tillmäts ett tillnärmelsevis lika stort värde som något det bara finns en av.

Vad betyder då existensen av alla dessa Mona Lisa-kopior för värdet av originalmålningen? Svaret tycks vara: Ingenting. Oavsett hur många kopior vi gör av Mona Lisa, så tycks inte detta på något sätt förringa originalets originalitet och därmed tillhörande värde. Det ligger i själva begreppet ”original” att originalet alltid är originalet oavsett hur många kopior som tillverkas. Det faktum att kopian är en kopia gör dess värde mindre, men det förringar inte värdet av originalet.

Kanske kan vi säga samma sak om livet? Det skulle betyda att om vi lyckas göra flera instanser av liv på jorden med oss som skapare så skulle dessa kopior ha ett lägre värde, åtminstone ur det här speciella perspektivet (men som vi har sett tycks ju inte originalitet vara det enda som ger livet värde), medan originalet inte påverkas alls, det är ju fortfarande originalet.

Om det verkligen fungerar att göra en sådan här jämförelse mellan livet och konsten är svårt svara på, vilket delvis säkert beror på att det är så svårt att sätta fingret på vad det är som är så speciellt med liv till att börja med. Till en del beror det förmodligen också på att vi idag inte har någon kopia av livet och därför inte kan veta säkert hur våra värderingar kommer att ändras när en sådan väl dyker upp, men det skulle förstås vara bra att ha en antydning till svar innan vi börjar göra kopior. När de väl finns är det ju för sent att ändra sig. Resonemanget om originalitet och jämförelsen med konst tycks inte ge någon stark indikation på att det existerande livets värde skulle minska av att vi lär oss att kopiera det, men kanske kan det vara ett problem om det leder till att det nya, konstgjorda livet tillmäts ett lägre värde än originalet. Å andra sidan vet vi inte hur avgörande bristen på originalitet kommer att vara. Det finns ju som sagt också andra värden som kanske är viktigare? Vi såg till exempel ovan att mångfald tycks vara något som ger livet värde. Frågan om huruvida det nya livet kan sägas tillföra mångfald till originallivet och därmed faktiskt öka dess värde är inte helt lätt att svara på. Däremot kan vi säkert säga att det skapade livet till en början kommer att innehålla mycket lägre mångfald än originallivet vilket skulle förstärka bilden av en klasskillnad mellan de två. Detta torde ju hur som helst vara lätt att komma till rätta med genom att tillåta eller till och med uppmuntra skapandet av många olika konstgjorda livsformer. Om detta är tillrådligt ur andra perspektiv är förstås en annan fråga.

Livets uppkomst

En annan anledning till att vi värdesätter en del konstverk mer än andra är att det har krävts en hel del skicklighet för att åstadkomma dem. Detta är för övrigt något som inte bara är sant för konst. Vi tenderar att värdera saker i allmänhet högre om de är svåra att uppnå och vi tenderar att värdera saker högre om färre människor kan utföra dem. Så här långt har ingen människa lyckats skapa liv, och det beror inte på att man inte har försökt. Om en av anledningarna till att vi värderar livet



Figur 5: Den italienske fysikern Enrico Fermi var den förste att klyva atomer. Idag klyvs atomer hela tiden i kärnkraftverk och laboratoriet jorden runt, men att vara den förste som gör något utan någon annan att lära från är en extraordinär bedrift oansett hur många som sedan lyckas göra om bedriften. (Foto: United States Department of Energy)

så högt är att det är väldigt svårt att kopiera, hur kommer då livets värde att påverkas när vi lär oss att kopiera liv?

Livet som finns på jorden idag, ”liv 1.0”, skiljer sig förstås från konstverk genom att det inte har tillkommit på samma sätt som konstverk, och framför allt genom att det inte finns någon konstnär som ligger bakom tillkomsten. (Jag utgår här från att det inte finns någon gudomlig skapare bakom livets tillkomst, men även om man tror att livet som vi känner det har en skapare så finns det i alla fall ingen mänsklig konstnär bakom tillkomsten av liv.)

Går då livets uppkomst att jämföra med tillkomsten av ett konstverk även om det inte finns någon skapare av livet som vi känner det idag? Det är naturligtvis svårt att tala om skicklighet när det inte finns någon skapare, men vår uppgift är

ju inte att identifiera någon skicklig konstnär bakom liv 1.0 som vi kan hedra, utan att reda ut vad som ger livet dess värde och om det förminskas av att människan tillskansar sig förmågan att skapa nytt liv. Om vi återvänder till Mona Lisa så kan man säga att vi har anledning att beundra både verket och konstnären. När det gäller liv 1.0 har vi ingen konstnär, men kan sättet på vilket det har tillkommit ändå ge oss skäl att beundra ”verket”, det vill säga livet?

Vi vet ännu inte exakt hur livet har uppkommit, så hur kan vi då säga att omständigheterna för dess tillkomst ger oss anledning att tillmäta det ett speciellt värde? Ett svar på den frågan kan vara att just det faktum att vi ännu inte har klurat ut hur det gick till tyder på att det inte är gjort i en handvändning. Att tillskansa sig ”tekniken” att skapa liv är något som det krävs oerhört mycket jobb och förmodligen en rejäl dos genialitet för. Ingen har ju gjort det hittills. Det gör att analogin med konstverk fortfarande kan hålla. Visserligen skiljer sig konstverket från liv 1.0 i att det förra har en konstnär medan det senare inte har någon, men livet har fortfarande det gemensamt med de mest värdefulla konstverken att de är saker som inte vem som helst kan skapa. Kanske är det där fokus skall ligga snarare än på frågan om originalet är skapat eller inte?

Om vi kommer på hur man kan skapa liv och faktiskt lär oss att göra det, kommer det då att förminska livets värde? Om åtminstone en del av livets värde är baserat på att det är oerhört svårt att skapa, så talar ju det för att så skulle vara fallet.

Även här kan det vara på sin plats skilja mellan hur det kommer att påverka det skapade livets värde och hur det kommer att påverka värdet av det existerande livet. Oavsett hur många kopior det finns så är originalet fortfarande originalet. På samma sätt gäller att oavsett hur många som kopierar något så är det alltid en större prestation att vara den första som gör någonting. Om någon lyckas kopiera ett konstverk så handlar det fortfarande bara om kopiering. Att åstadkomma en bra kopia kan vara mycket svårt och kräva en färdighet som få lyckas förvärva fullt ut, men det kan inte jämföras med den skicklighet och kreativitet som krävs för att vara den första att komma på någonting. Samma sak gäller för uppfinningar och vetenskapliga upptäckter. Uppfinnaren eller upptäckaren hedras mycket mer än de som gör kopior av uppfinningen eller upprepar experimentet eller observationerna bakom upptäckten, och det med rätta (Figur 5). Att göra någonting för första gången, från början, utan någon att kopiera eller lära av är en extraordinär prestation. Det betyder alltså att tillkomsten av konstgjort liv inte kommer att påverka det nuvarande livets värde men att det skulle kunna innebära att det konstgjorda livet tillmäts ett lägre värde.

Å andra sidan kan man också hävda att med tanke på hur svårt det är att kopiera livet så måste ju också kopierandet betraktas som en oerhörd bedrift som kräver mycket kunskap och stor skicklighet. Om en sak som aldrig kan kopieras är värdig stor respekt, förtjänar en sak som tar mer än 4 miljarder år att kopiera, nästan lika mycket respekt. Det borde i sin tur betyda att även om värdet av det

konstgjorda livet är lägre än originalets så är det fortfarande mycket högt. Personen eller forskargruppen bakom den första instansen av konstgjort liv kommer att ha gjort en fantastisk vetenskaplig prestation. Det kommer naturligtvis att vara en prestation som bygger på en intensiv studie av livet som redan existerar. I jämförelse med det existerande livet kommer det därför att förbli en kopia, men i jämförelse med andra mänskliga prestationer kommer det första skapandet av konstgjort liv ändå att vara en av de mer imponerande prestationerna i vetenskapshistorien.

Kanske kommer tekniken att skapa liv så småningom att bli allmänt tillgänglig och kanske kommer det efter några år inte att krävas särskilt mycket skicklighet att skapa liv, men även när så är fallet så kommer livet fortfarande att vara ett av de naturfenomen som det har tagit människan längst tid att kopiera, vilket borde göra det bara marginellt mindre värdefullt i detta avseende jämfört med någonting som aldrig kopierats, och mycket mer värdefullt än allt annat som har kopierats, inklusive alla världens konstverk.

Livets mystik

Det har ibland hävdats att en av de saker som gör livet speciellt är att vi inte riktigt förstår det. I så fall skulle själva kunskapen som krävs för att skapa konstgjort liv utgöra ett problem även om den aldrig används för att skapa liv. Kunskapen i sig skulle ta bort något av mystiken kring livet och det skulle vara detta som förringar dess värde.

I likhet med vad vi har sett tidigare så skulle det finnas en viss skillnad mellan liv 1.0 och liv 2.0, alltså mellan det liv som finns på jorden idag och det konstgjorda livet. Skillnaden ligger i det här fallet i att även om vi lyckas komma på hur man kan skapa liv så måste inte det betyda att vi därmed också har ett svar på frågan om hur livet uppstod på jorden. Det skulle strängt taget bara betyda att vi har kommit på *ett* sätt på vilket liv *kan* uppkomma. Vi kan fortfarande inte veta säkert om originalet uppstod på samma sätt. Det skulle ju kunna tänkas att det finns fler sätt på vilka liv kan uppkomma. Det är med största sannolikhet också så att det som krävs för att skapa liv i ett laboratorium på jorden idag är något annat än vad som krävdes för att liv skulle uppstå spontant för cirka 4 miljarder år sedan då jorden och dess atmosfär såg helt annorlunda ut. Förmågan att skapa liv skulle utan tvekan hjälpa oss att skingra en del av mystiken kring hur liv 1.0 uppstod men det skulle inte ta bort den helt på samma sätt som skulle vara fallet för liv 2.0 vars uppkomst skulle bli beskriven in i minsta detalj av dess skapare. Det betyder att om mystiken är viktig för livets värde så befinner vi oss återigen i den situationen att vi behöver göra skillnad mellan originallivets värde och det konstgjorda livets värde. Mystiken kring originallivet och dess uppkomst skulle skingras till viss del men mycket av den skulle fortfarande finnas kvar. För det konstgjorda livet skulle åtminstone mystiken kring dess uppkomst vara helt frånvarande. Värdet av liv 1.0

skulle därför påverkas men i lägre grad än värdet för det konstgjorda liv som upp-
kommer tack vara vår kunskap om hur man skapar liv (Figur 6).

Är då mystiken kring livets uppkomst viktig för dess värde? Vi kan återigen jämföra med konsten. En del av fascinationen över Mona Lisa ligger utan tvivel i dess mystik. Å andra sidan finns det många andra berömda verk vars tillkomst är väl känd utan att det tycks ha påverkat deras värde. Kanske är trollkonster ett bättre exempel. Här har vi en hel konstform där mystiken kring utförandet utgör själva kärnan. Å andra sidan, om vi bevittnar ett fantastiskt och till synes obegrip-
ligt trolleritrick och vi efter mycket funderande faktiskt lyckas lista ut hur det gick till, vad betyder det för vår fascination? Jag kan inte låta bli att misstänka att det faktiskt skulle leda till att vi minns den där kvällen på teatern med ännu större tillfredsställelse än om vi aldrig lyckas lista ut hur tricket genomfördes. Däremot skulle vi säkert bli besvikna om någon talade om det för oss och därmed berövade oss chansen att lista ut det själv. I det fallet tycks det dock inte vara det att de berövar oss mystiken i sig som är problemet utan att de berövar oss chansen att utmana vår egen förmåga. Icke desto mindre tycks mystiken i sig spela en stor roll i vår uppskattning av trolleritricket.



Figur 6: Att skapa liv i laboratoriet kan ge oss en fingervisning om vad som krävs för att liv skall uppstå men det kommer inte nödvändigtvis att en gång för alla tala om hur och var det uppstod på jorden. Ett förslag på var livet först uppstod som fått nytt vetenskapligt stöd är att livet uppkom i beta vulkaniska källor på land, som här i Grand Prismatic Spring of Yellowstone National Park. (Foto: Jim Peaco, National Park Service)

Å andra sidan finns det också många fall där det är uppenbart att mer kunskap om en företeelse snarare leder till att vi värderar den högre. De som arbetar med naturvård påpekar ofta att ett av de bästa sätten att förmå folk att vara mer rädda om naturen är att informera, inte bara om naturens sårbarhet utan om naturen generellt. Det finns flera undersökningar som pekar på att information om vilka arter som finns i ett område och om dessa arters biologi, beteende, historia i området och så vidare, leder till att besökare allmänt sett värderar naturen i området högre jämfört med vad som är fallet för andra likvärdiga områden.

Mystikens roll som värdeskapare är alltså inte helt entydig. Dels verkar den fungera på olika sätt för olika fenomen. Dels verkar det som att även om mystiken kan göra att vi värderar något högre så kan ökad kunskap, i synnerhet om det handlar om kunskap som förklarar något vi har funderat över hårt och länge, också leda till att vi värderar det högre. Dessutom tycks det skilja sig från person till person. Min personliga erfarenhet är att ju mer jag förstår av ett fenomen, desto mer spännande blir det. Det är naturligtvis en personlig reflektion och det hindrar inte att det kan vara så för andra att "av-mystificering" faktiskt är ett problem. Det faktum att det är något personligt kommer å andra sidan också att göra det till mindre av ett problem. Om någon känner att förståelsen som krävs för att skapa liv kommer att förringa deras värdering av livet, så kommer de förmodligen inte att vara villiga att investera den tid och ansträngning som det utan tvekan kommer att krävas för att uppnå denna typ av kunskap om livet. Kanske kommer man till och med att aktivt undvika att utsätta sig för sådan kunskap. När vi fascineras av ett trolleritrick så är vi ju (åtminstone de flesta av oss) fullt medvetna om att det är ett trick och att trollkonstnären själv naturligtvis är väl förtrogen men hur tricket egentligen går till. I det fallet tycks det alltså räcka med att vi själv inte vet hur tricket utförs för att vi skall uppleva mystiken. Det betyder att så länge det är frivilligt att lära sig om livet till den grad som krävs för att återskapa det (vilket borde vida överstiga vad som till exempel kan krävas för ett godkänt avgångsbetyg i gymnasiet), och så länge det är den personliga känslan av mysterium som det handlar om så blir det lätt att välja bort denna kunskap för den som så önskar och fortsätta att förundras över livets mysterier.

Det blir en annan sak om ens värdering av livet förminskas av vetenskapen att *någon* vet tillräckligt om livet för att återskapa det. Det här är utan tvekan en möjlig position men det verkar ganska extremt och det skulle vara ännu mer extremt att kräva att andra slutar undersöka ett ämne av det skälet. Det är viktigt att komma ihåg att det finns andra värden än ökad kunskap och det är något vetenskapen måste ta hänsyn till, men att sluta undersöka något för att det finns de för vilka det upplevs som negativt att någon (även om det inte är de själv) vet hur det fungerar, vore att gå alldeles för långt. Det gäller väl särskilt med tanke på att många andra (inte bara jag) faktiskt kommer att påverkas i motsatt riktning, det vill säga, kommer att se livet som ännu mer spännande och fantastiskt tack vare denna typ av kunskap.

Slutsatsen måste bli att det är svårt att se att risken för av-mystifiering skulle kunna vara ett starkt argument för att avstå från att skaffa den kunskap som krävs för att skapa konstgjort liv.



Figur 7a,b: Är en varg mer naturlig än en tambund och har vargen i så fall högre värde än tambunden?

Livets naturlighet

En annan möjlig anledning till att utvecklandet av en förmåga att skapa konstgjort liv kan minska livets värde skulle kunna vara att det då blir onaturligt. Det är en vanlig tanke att det som är naturligt har högre värde än det som är onaturligt (se även Melins kapitel). Liv i dess ursprungliga form får betraktas som typexemplet på naturlighet. Liv som har modifierats och därmed i någon mening har blivit mindre naturligt betraktas däremot redan idag med skepsis i många fall (Figur 7). Om livets naturlighet är något som bidrar till dess värde, så kanske tillkomsten av konstgjort liv kommer att förringa livet värde.

Uttrycket "onaturligt" är precis som dess motsats "naturligt", notoriskt svårt att definiera. Det är särskilt svårt att definiera dem på ett sätt som är rimligt informativt och normativt samtidigt. Det vill säga, det är svårt att definiera dem på ett sådant sätt att det preciserar vad som är naturligt respektive onaturligt och varför, samtidigt som det förklarar varför det ena skulle vara mer värdefullt än det andra.

I litteraturen finns hundratals definitioner av "naturlig" respektive "onaturlig" och det är omöjligt att gå igenom alla här. Ett kriterium på onaturlighet som finns med i många definitioner och som skulle vara relevant i vårt fall är att om något är människoskapat så är det onaturligt. Det måste inte innebära att människan som sådan är onaturlig. Det verkar som att många intuitioner om gränsen mellan naturlig och onaturlig går just vid vad människan gör, inte vid människan som sådan. I många fall verkar det också vara en gradfråga snarare än "antingen-eller". Man tänker sig alltså att saker kan vara mer eller mindre naturliga. Om man resonerar på det sättet skulle till exempel en hundras som har tillkommit genom avel vara mindre naturlig än en varg men mer naturlig än en som har tillkommit genom

genetisk modifiering. Avel innebär att vi griper in i naturen genom att välja ut de hundar för avel som bäst stämmer överens med våra ideal. Vi tar alltså över rollen som ”det naturliga urvalet”, vilket leder till att vi dels skyndar på evolutionen och dels leder den i en viss, för oss önskvärd riktning. Genetisk modifiering innebär att vi tar ytterligare ett steg genom att också (åtminstone delvis) ta över rollen att skapa de genetiska förändringar som urvalet baseras på. Att skapa liv helt från grunden skulle enligt det här resonemanget vara att ta ytterligare ett långt steg från det naturliga, och förmodligen nå så långt man kan komma ifråga om onaturlighet när det gäller just liv.

Det är dock långt ifrån självklart att det är meningsfullt att göra den här typen av åtskillnad. Dels är det oklart varför en högre grad av mänsklig påverkan på en process gör den mindre naturlig om vi samtidigt accepterar att människan är en del av naturen. Dels är det oklart hur frågan om naturlighet påverkar värdefrågan. Om naturlighet bara är ett sätt att ange hur lite människan har varit involverad, hur går vi därifrån till att säga att mer naturligt är bättre än mindre naturligt? I många fall har förvisso mänsklig påverkan lett till problem i naturen, men samtidigt är det svårt att förneka att många mänskliga uppfinningar inom till exempel medicin och teknologi faktiskt har varit väldigt användbara och gjort våra liv bättre. Dessutom får man inte glömma de uppfinningar som vi tillmäter ett värde i sig, såsom konst och litteratur. Det tycks alltså som att det åtminstone finns en del uppenbara undantag från antagandet om att mänsklig påverkan måste vara något negativt. Därmed kan det också vara svårt att upprätthålla en allmän princip som säger att ju mer mänsklig påverkan, desto lägre värde. Att gå vägen via termen ”naturlighet” tycks inte ändra på detta. Det kan till och med uppfattas som ett sätt att försöka skymma ett tveklaktigt samband genom att använda en luddig terminologi.

Om vi nu ändå accepterar, dels att graden av mänsklig påverkan är vad som avgör hur naturligt något är och dels att mindre naturlighet också gör det mindre värdefullt – två antaganden som alltså är mycket kontroversiella – så återstår frågan vad detta betyder för livets värde om och när vi lär oss att skapa konstgjort liv.

Återigen måste vi skilja mellan det konstgjorda livet (liv 2.0) och originalet (liv 1.0). Om vi accepterar resonemanget ovan som säger att mer mänsklig inblandning innebär mindre naturlighet och därmed lägre värde, så blir det uppenbart att konstgjort liv blir mindre naturligt och därmed mindre värdefullt än det liv vi känner idag som uppstod långt, långt innan människans inträde på scenen. Därmed ser vi återigen den skillnad vi har talat om tidigare, det vill säga att det konstgjorda livet påverkas mer (i det här fallet mycket mer) än det ursprungliga, vilket i sin tur leder till en bekymmersam skillnad i värde mellan dem. Man kan till och med misstänka att det konstgjorda livet kommer att fungera som kontrast mot vilket det ursprungliga livet kommer att te sig än mer naturligt, vilket skulle kunna göra skillnaden ännu större, åtminstone i våra medvetanden.

Vi bör emellertid också se det i ett längre perspektiv. Vad händer efter några generationer när det nya livet inte är så nytt längre och de organismer som skapades av oss har förökat sig och givit upphov till nytt liv? Är allt liv som kommer från den/de ursprungliga konstgjorda organismerna onaturligt för evigt, eller kommer de organismer som härstammar från de första konstgjorda organismerna att så småningom börja betraktas som naturliga?

Sammanfattningsvis kan man säga att om man baserar värde på grad av naturlighet så pekar det i samma riktning som de flesta av de egenskaper vi har diskuterat ovan, det vill säga att även om vi tillskansar oss förmågan att tillverka liv så kommer det inte nämnvärt att påverka värdet av det existerande livet men däremot kommer det att skapa en klyfta mellan det nya och det gamla livet som kan vara en källa till oro. Dock måste vi också konstatera att naturlighet tycks vara en högst tveksam egenskap att basera livets värde på.

Livets autonomi

Den sista möjligheten jag kommer att diskutera för varför förmågan att skapa konstgjort liv skulle kunna försämra livets värde är att om vi skaffar oss förmågan att skapa liv så innebär det att vi skaffar oss en makt som tidigare bara naturen själv har haft.

Man talar ibland om att vi ”leker Gud” (se mer om detta i Melins kapitel). I litteraturen finns det gott om varnande exempel – alltifrån *Frankenstein* till *Jurassic park* – som visar hur fel det kan gå om människan skaffar sig en sådan makt. I dessa fall tycks det dock handla om andra problem än att livets värde som sådant skulle vara i fara. I fallet *Frankenstein* (se till exempel Cebak Rédeis kapitel där hon diskuterar just Frankenstein) tycks det handla om att skaparen inte är en vidare föredömlig ”förälder” till livet han skapade och i fallet *Jurassic Park* tycks det handla om att John Hammond och hans bioingenjörer överskattar sin förmåga att kontrollera det liv man har skapat. Båda dessa verk kan ge god anledning till att tänka efter både en och två gånger innan vi ger oss till att skapa (eller som i *Jurassic Park*, återskapa) liv, men de tycks inte direkt ha att göra med livets värde som sådant.

En generell svårighet med argumentet att vi tar över makten att skapa liv från naturen är att det är lite oklart hur det skall tolkas. Om vi med ”naturen” menar livet som sådant så har den ju aldrig haft förmågan att skapa liv i den mening vi pratar om här. Liv har förmågan att skapa mer liv, men det kommer den ju att ha även fortsättningsvis och det kommer även att gälla det konstgjorda livet. Livet har emellertid aldrig haft förmågan att skapa liv från början så att säga (livet fanns ju inte när livet först uppstod). I själva verket skulle man kunna vända på argumentet och säga att när människan väl skaffar sig förmågan att skapa liv så innebär det faktiskt att liv för första gången på vår jord kan skapa nytt liv (inte bara mer av detsamma). Om man vill kan man uttrycka det så att människan blir livets sätt

att skaffa sig makten att skapa liv. Vi ökar alltså därmed livets makt över sig själv snarare än att minska den.

Man kan emellertid också se det ur ett jämlikhetsperspektiv. Vi ”ger” livet en förmåga som inget liv tidigare har haft, men det är en förmåga som bara en livsform har – människan (och dessutom bara vissa människor). Det förstärker därmed det redan existerande maktförhållandet i naturen där vår art har en närmast ofattbar makt över allt annat liv. Hur stor skillnad det gör i praktiken är svårt att spekulera om. Faktum är ju att vi redan i stor utsträckning har makten att påverka livsförhållandena för i stort sett allt liv på jorden. I värsta fall kanske det nya livet kommer att utgöra ett hot mot det existerande livet. I bästa fall kanske de kunskaper vi får genom våra försök att skapa konstgjort liv leder till att vi också blir bättre på att ta hand om existerande liv. Att leda forskningen och utvecklingen åt rätt håll är därför en oerhört viktig utmaning, men det tycks återigen inte handla om livets värde som sådant utan snarare om hur vi på bästa sätt tar hand om livet givet att det faktiskt har ett högt värde.

Det finns dock en annan aspekt av detta som kan ge anledning till oro. Vissa tror att det nya livet kommer att ses som maskiner eller varor och att detta kommer att smitta av sig på vår attityd till existerande liv. Detta är en inställning till liv som verkligen kan ge anledning till oro. Tanken är att genom att vi tillägnar oss förmågan att producera liv när och hur vi vill, så kommer vi att betrakta alla levande organismer som produkter bland andra produkter. Detta är ett sätt att ta kontroll över livet som skulle vara klart negativt.

Man kan här invända att levande varelser i stor utsträckning redan betraktas som råvaror på detta sätt. Det sätt som icke-mänskliga djur betraktas och behandlas i samhället som helhet, som råvaror, underhållning och annat, är ett av vår arts allra största och mest stötande moraliska fiaskon. Den verkliga frågan här är dock om detta kommer att förvärras med tillkomsten av det artificiella livet. Vi kan inte förneka att det finns en risk för det. Vi har å andra sidan också sett att samhällets normer i allmänhet rör sig långsamt mot att vara mer inkluderande.

Fler och fler grupper har kommit att inkluderas i den moraliska gemenskapen och det gäller också, åtminstone till en del, icke-mänskliga djur. Vi vet inte om den här trenden fortsätter och vi kan inte säkert veta hur det kommer att påverkas om vi lyckas skapa konstgjort liv. Som Cabak Rédei berättar i sitt kapitel om Frankenstein och hans ”monster” så verkar det dock som att den allra viktigaste frågan är hur vi behandlar det liv vi skapar, inte att det skapas i sig. Det tycks gälla även när det handlar om icke-mänskligt liv.

Slutord

De vanligaste argumenten för att livets värde riskerar att undermineras om och när vi skaffar oss förmågan att skapa konstgjort liv tar sig uttryck i en serie egenskaper som dels är starkt förknippade med liv, dels är starkt förknippade med värde, och dels riskerar att påverkas av att vi människor lär oss att skapa liv. De egenskaper som vi har diskuterat här är originalitet, egenskapen att vara svårskapad, mystik, naturlighet, samt autonomi.

Det visade sig att om vi accepterar både att de här nämnda egenskaperna faktiskt är en viktig grund för livets värde, och att de kommer att påverkas genom vår förmåga att skapa liv, så tycks ändå inte det ursprungliga livets värde vara i fara. Däremot kan det vara så att det konstgjorda livets värde kommer att bli avsevärt lägre, vilket i sin tur kan leda till en oroväckande skillnad i värde mellan olika slags liv.

Å andra sidan kom vi också fram till att det verkar tveksamt om de diskuterade egenskaperna verkligen är så avgörande för livets värde, och i många fall också om en kommande mänsklig förmåga att skapa liv verkligen kommer att ha den stora negativa påverkan på dessa egenskaper som hävdas. Vi måste också komma ihåg att vi här i stort sett bara har diskuterat egenskaper som har valts ut just därför att de kan komma att påverkas negativt. Det finns också många andra skäl att tilldela liv ett högt värde, skäl som inte alls kommer att påverkas av att vi skaffar oss förmågan att skapa liv.

Detta sagt så återstår naturligtvis en hel rad andra frågor att reda ut och ta ställning till vad gäller konstgjort liv innan man sätter igång att skapa. När det gäller konstgjort liv gäller ju samma sak som för alla andra forskningsfält. Det räcker inte att fråga ”kan vi göra det”. Man måste också ställa frågan ”bör vi göra det?”.



Lästips

Bedau, Mark; Parke, Emily C. (red.) (2009) *The Ethics of Protocells*. MIT Press

Crichton, Michael (1991) *Jurassic Park* Ballantine Books

Dunér, David (red.) (2013) *Extrema världar – Om sökandet efter liv i rymden* Pufendorfinstitutet

Kaebnick, Gregory E. & Murray, Thomas H. (2013) *Synthetic Biology and Morality: Artificial Life and the Bounds of Nature*. MIT Press

Shelley, Mary (2017) *Frankenstein – eller den moderne Prometheus*. Novapress

Bildkällor

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SciAm_Wavy_Text_Divider.svg
<https://www.pexels.com/photo/chair-furniture-furniture-pieces-sit-279690/>
<https://pixabay.com/en/chair-butterfly-chair-sit-chairs-1355327/>
<http://maxpixel.freegreatpicture.com/Png-Chair-Furniture-Pieces-Furniture-Antique-1904883>
<http://www.freestockphotos.biz/stockphoto/9530>
https://www.flickr.com/photos/ergonomic_office/3604453020
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rockingchair.JPG>
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ZigzagChair.png>
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zika-chain-colored.png>
https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Mycoplasma_pneumoniae#/media/File:1995dkdj,x.jpg
<https://www.pexels.com/photo/silver-tabby-cat-lying-on-brown-wooden-surface-126407/>
http://zookasbooks.com/wp-content/uploads/2017/02/La_pluralite_des_Mondes_habites_Camille_Flammarion_zookasbooks_3.jpg
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=46113620>
https://research-development.hetnieuweinstituut.nl/sites/default/files/styles/pages_slider/public/mars_atlas_by_giovanni_schiaparelli_1888.jpg?itok=ZVE0JS-7
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/Percival_Lowell_observing_Venus_from_the_Lowell_Observatory_in_1914.jpg
<http://collections.rmg.co.uk/collections/objects/567262.html>
<http://hubblesite.org/image/1102/gallery/56-hubble-telescope>
<http://www.sen.com/news/esa-mars-express-reull-vallis-where-a-river-once-flowed.html>
<http://www.planet.geo.fu-berlin.de/eng/projects/mars/hrsc582-Upper-ReullVallis.php>
<http://www.planet.geo.fu-berlin.de/eng/projects/mars/hrsc582-Upper-ReullVallis.php>
<https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA01127>
<http://seagerexoplanets.mit.edu/research.htm>
<https://www.spacetelescope.org/images/potw1225a/>
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/03/Adult_tardigrade.jpg

<http://www.publicdomainpictures.net/view-image.php?image=34074&picture=happy-dog>
NASA JPL, Golden Record: <https://voyager.jpl.nasa.gov/golden-record>
NASA, Pioneer Mission: https://www.nasa.gov/mission_pages/pioneer/index.html
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Repliec_Q2.jpg
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Turing-statue-Bletchley_14.jpg
<https://www.flickr.com/photos/maxbraun/1525101748>
<https://www.flickr.com/photos/jurvetson/6818431732>
<https://www.flickr.com/photos/jiuguangw/4981810943/>
https://en.wikipedia.org/wiki/Military_robot#/media/File:FCS-MULE-ARV-2007.jpg
[https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Soldiers#/media/File:120705-N-DW912-025_\(7588779676\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Soldiers#/media/File:120705-N-DW912-025_(7588779676).jpg)
<https://pixabay.com/sv/pussel-dna-forskning-genetiska-2500333/>
<https://pixabay.com/sv/koli-bakterier-escherichia-coli-123081/>
<https://pixabay.com/sv/skapelsen-av-m%C3%A4nniskan-god-finger-1159966/>
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Mona_Lisa.jpg
<https://www.nasa.gov/topics/universe/features/planet20110518.html>
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aquila-chrysaetos-golden-eagle-0b.jpg>
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Magpie_in_Madrid_\(Spain\)_08.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Magpie_in_Madrid_(Spain)_08.jpg)
<http://maxpixel.freegreatpicture.com/Leonardo-Da-Vinci-Portrait-Monalisa-People-Antique-726797>
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Enrico_Fermi_1943-49_\(cropped\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Enrico_Fermi_1943-49_(cropped).jpg)
https://en.wikipedia.org/wiki/Life#/media/File:Grand_prismatic_spring.jpg
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eurasian_wolf.JPG

Medverkande författare

Jessica Abbott är lektor i evolutionär genetik på biologiska institutionen, Lunds universitet. Hennes forskning handlar framförallt om utvecklingen av könsskillnader och könskromosomer. Hon är även aktiv inom olika former av populärvetenskap.

Christian Balkenius är professor i kognitionsvetenskap vid Lunds universitet. Hans forskning kretsar kring inlärning, kognitiv utveckling och uppmärksamhet och använder datormodeller av den mänskliga hjärnan för att styra humanoidrobotar. Målet är att förstå hur barns kognitiva förmågor utvecklas i samverkan med omgivningen.

Anna Cabak Rédei, docent i kognitiv semiotik vid Lunds universitet. Hon forskar om film, litteratur, (1700- och 1800-tal) hällristningar och psykologi.

Klára Anna Čápková är doktor i antropologi vid Durham University i Storbritannien. Hon arbetar inom området *Science and Technology studies* (sambällsvetenskapliga studier av vetenskap och teknologi). Hon studerar särskilt samhällsliga aspekter av astrobiologi. Hennes senaste arbete inkluderar studiet av transformationer av människans förhållande till yttre rymden och populära uppfattningar om vetenskap samt rymdforskningens samhällsliga kontext med särskilt fokus på vetenskapligt sökande efter liv bortom vår planet och populära föreställningar om utomjordiskt liv. Doktor Čápková var även gästforskare i projektet "A Plurality of Lives" som ligger bakom den här boken.

Dainis Dravins, professor i astronomi vid Lunds universitet. Forskar om hur solen och stjärnor ser ut på sina ytor och arbetar med att utveckla nya observationsmetoder för astronomiska precisionsmätningar. Dessa syftar till att direkt kunna upplösa detaljer på stjärnytor och även att hitta små planeter vilka liknar jorden och som kretsar kring solliknande stjärnor.

Webbplats: <http://www.astro.lu.se/~dainis/>

David Dunér är professor i idé- och lärdomshistoria vid institutionen för kulturvetenskaper, Lunds universitet. Han har också varit verksam som forskare i kognitiv semiotik vid Lunds universitet samt har under ett antal år forskat om

astrobiologins historia och filosofi bland annat inom ett europeiskt forskningsprojekt om livets ursprung och utveckling på jorden och i universum. Åren 2010–2011 ledde han ett forskningstema vid Pufendorfinstitutet om astrobiologi.

Markus Gunneflo är vikarierande universitetslektor på Juridiska fakulteten, Lunds universitet. Hans forskning rör folkrättens teori och historia.

Maria Hedlund är universitetslektor vid statsvetenskapliga institutionen vid Lunds universitet. Hennes forskningsintressen är expertinflytande i demokratin, särskilt i relation till ny teknik, och hon har tidigare bland annat skrivit om experters roll i politiska beslutsprocesser om genteknik och epigenetik.

Mats Johansson är filosof och docent i medicinsk etik. Hans doktorsavhandling behandlade filosofiska aspekter på empatisk förståelse. Efter disputationen har hans forskningsfokus främst legat på etiska frågor inom medicin, medicinteknik och forskning.

Anders Melin är docent i etik vid Malmö högskola. Han har framför allt arbetat med miljöetiska problemställningar, exempelvis frågor om biologisk mångfald och etik. Melin har också studerat miljöetiken inom nutida kristendom och buddhism samt frågor om energipolitik och rättvisa.

Erik Persson är doktor i praktisk filosofi och forskare i tillämpad etik vid Lunds universitet och Center of Theological Inquiry i Princeton. Hans forskning rör framför allt aktuella frågor inom områdena miljö, biologi, rymdforskning och ny teknik.

Petter Persson är universitetslektor i teoretisk kemi vid Lunds universitet. Han är utbildad naturvetare från Cambridge University i England, doktorerade vid Uppsala universitet på en avhandling om kvantfotoelektrokemi, och har bedrivit postdoktoral forskning vid California Institute of Technology (CALTECH). Hans forskning handlar huvudsakligen om att förstå och utveckla nya molekylära solenergitillämpningar med hjälp av avancerade materialberäkningar. Han intresserar sig sedan flera år tillbaka också för centrala frågor inom astrokemi och molekylär astrobiologi, som livets molekylära ursprung och de kemiska förutsättningarna för att hitta liv i universum.



Liv är ett centralt begrepp inom många forskningsområden, exempelvis inom biologi, astrobiologi, kemi och medicin, såväl som inom juridik, teologi och filosofi. Liv är också ett centralt tema i konsten. Det behandlas och begrundas i åtskilliga konstverk, i dikt, roman och film. Hur vi skall förstå, värdera och skydda livet, är oerhört fundamentala frågor. I framtiden kommer dessa frågor att bli än svårare och om möjligt ännu viktigare. Forskargrupper från hela världen arbetar idag med att skapa liv i laboratoriet, leta efter liv i rymden och förse maskiner med egenskaper som tidigare bara har varit förunnade levande varelser, och utvecklingen går fort. Det är viktigt att vi samtidigt funderar över de utmaningar som detta innebär. Det kommer att ta tid att hitta sätt att leva i en värld där liv finns i former vi idag knappt kan föreställa oss och där gränsen mellan levande varelser och maskiner blir alltmer suddig. De beslut vi fattar idag kommer också att påverka utvecklingen inom samhälle, forskning och utveckling under lång tid framöver.

Den här boken är ett resultat av ett tvärvetenskapligt projekt vid Pufendorfinstitutet, Lunds universitet. Tolv forskare från lika många discipliner har ingått i projektet. Syftet har varit att belysa utmaningar som följer med utomjordiskt, artificiellt och syntetiskt liv. Det tvärvetenskapliga angreppssättet har gett oss möjlighet att belysa frågorna från alla upptänkliga vinklar, men också att hitta helt nya kombinationer av metoder och synsätt. Med tanke på livets mångsidighet och stora betydelse ur så många olika perspektiv, har detta grepp varit helt nödvändigt.

Vår förhoppning är att boken skall inspirera till nya tankar och diskussioner om liv. Boken vänder sig både till de som redan är intresserade och de som ännu inte har börjat fundera kring de utmaningar som utomjordiskt, artificiellt och syntetiskt liv innebär.



LUNDS UNIVERSITET

Pufendorfinstitutet/Pufendorf Institute for Advanced Studies