

Rolf Peter Sieferle

## **ENERGISYSTEMET – ET GRUNNBEGREP I MILJØHISTORIEN**

Den vedvarende økologiske krisen siden 1970-tallet er en utfordring: vi skal ikke bare utrede dagens problemer, men også forstå hvordan de har vokst fram historisk. Når vi rekonstruerer tidligere tiders økologiske utvikling og kriser har vi noen store fordeler: Vi kan observere dem over lange tidsspenn, vi tvinges ikke til å foreslå «løsninger», og vi kan betrakte sosiale systemer og sosiale verdier som funksjonelt integrerte deler av en human-økologisk helhet – uten at vi tvinges til å akseptere fortidens meninger, verdier eller interesser. På den annen side blir det nødvendig å knytte resultater fra forskjellige naturvitenskapelige disipliner sammen med historiske forklaringer.

### **Historie og økologi**

Dette betyr at den akademiske historiedisiplinens vedtatte sannheter og prosedyrer må utvides med et nytt sett av synspunkter og metoder. Perspektivet må endres fra antroposentrisme til et syn bygget på økosystembegrepet. Det er miljøhistoriens viktigste utfordring. «Økosystem»-terminologien kan brukes som et heuristisk begrep. Den tillater oss å forklare komplekse livsprosesser ved hjelp av modeller utviklet innenfor generell systemteori. Begreper som «selvregulering», «balanse», «motstandsdyktighet» og «tilbakekobling» må således forstås som rent heuristiske hjelpemidler, ikke som grunnleggende kvaliteter ved «naturen».

Den økologiske vitenskapen lærer oss at økosystemenes viktigste karakteristika er energistrøm og sirkulasjon av stoff. I energitermer kan biosfæren betraktes som et åpent system. Den drives av en energistrøm som syntetiserer biomasse, konverterer denne til bevegelse og reproducerer organismens stoffskifte. Komplekser med høyt informasjonsinnhold kan derfor organiseres og overføres. Stoff og materialer sirkulerer innen systemet, mens energi strømmer gjennom det og utgjør dets motor.

Økosystemers «balanse» og «stabilitet» er ganske enkelt et spørsmål om perspektiv og tidshorisont. Økosystemer preges vanligvis av regelmessighet og et visst organisasjonsnivå. De har evne til å hente seg inn igjen når de utsettes for forstyrrelser. Men på lang sikt er de ikke stabile eller balanserte, de gjennomgår evolusjon. Fra et konvensjonelt historisk og antropomorfisk synspunkt framstår naturen som noe balansert og uforanderlig, men det er fordi økosystemers evolusjon skjer over tidsspenn som ikke er tilgjengelig for elementær menneskelig erfaring.

Menneskehetens spesielle rolle ligger i dens helt særegne overlevelses-«strategi»: kulturell evolusjon. Atferdsendringer og økologisk relevante karakteristika oppstår i dette tilfelle ikke lenger bare som følge av den prosessen som preger alle arter: variasjon og seleksjon av genotyper. Slik «darwinistisk» evolusjon erstattes av en «lamarckisk» metode som forårsaker en kraftig akselerasjon av menneskehetens kulturelle evolusjon, sammenliknet med normalt treg, molekylært fiksert biologisk evolusjon. Denne forskjellen gjør at mennesket har potensiale til å bli en svært forstyrrende faktor i sitt naturlige miljø. Kulturell evolusjon åpner for et endringstempo som er mange størrelsesordener hurtigere enn tempoet innen den biologiske evolusjonens tidshorison. De to er ikke synkronisert. I det biologiske kappløpet har ingen arter (bortsett fra mikroorganismer og visse generalister) noen sjanse mot mennesket.

Den kritiske enheten i humanøkologien er ikke menneskerasen, men forskjellige typer menneskekultur. I den kulturelle evolusjonsprosessen finner vi mønstre som preges av en iboende sosial utviklingslogikk. «Mennesket» som biologisk art er bare en formell betingelse for menneskelige kultursystemer, for disse utvikler seg med sitt eget moment og får karaktertrekk som ikke på noen enkel måte kan deduseres fra deres «menneskelige» elementer. Subjektet for økologisk historie er derfor forholdet mellom kulturdannelser og de spesifikke økologiske nisjer disse har formet, nisjer som så igjen setter visse grenser for kulturenes utvikling.

Sosialt modifiserte energisystemer er et eksempel på denne interaksjonen mellom kultursystemer og økosystemer. I økologisk antropologi betrakter man energistrømmer innen visse samfunnstyper i analogi med energistrømmer i naturlige økosystemer.<sup>1</sup> Som enhver annen art i naturen må mennesket delta i den naturlige energistrømmen. Bare ved vellykket energikonvertering for egne formål kan mennesket opprettholde sin fysiske struktur og dermed reprodusere bevegelses- og arbeidsevne. Videre kan de sosialt/kulturelle/institusjonelle rammene rundt menneskets tilværelse bare bygges og vedlikeholdes hvis store mengder energi mobiliseres. Det kreves mye mer energi enn hva som trengs for å opprettholde menneskets fysiske stoffskifte i snever forstand.

Derfor gir det mening å analysere visse samfunnstyper med utgangspunkt i hvordan de organiserer sine energistrømmer og hvilke energimengder de bruker. Det er vanlig å avgrense tre stadier i den sosiale evolusjonen og tre typer energibruk:

- 1) Jeger/sankersamfunnet og det ukontrollerte solenergisystemet;
- 2) Jordbrukssamfunnet og det kontrollerte solenergisystemet;
- 3) Industrisamfunnet og det fossile (eller nukleære) energisystemet.

### **Jeger/sankersamfunnet**

«Primitive» jeger/sankersamfunn deltar i den naturlige energistrømmen på samme måte som andre rovdyrarter. De modifiserer den ikke.<sup>2</sup> De bruker solenergi som er fiksert gjennom grønne planters fotosyntese eller som er konvertert til biomasse av planteetere. Energien brukes primært gjennom stoffskifteprosessen: menneskene konverterer den kjemiske energien i maten de spiser til mekanisk energi slik at de kan arbeide. Denne kontinuerlige konverteringsprosessen preges av at både temperatur og energitetthet er lav. Eneste unntak er bruk av ild, der energi som er kjemisk fiksert i biomasse gjennomgår en akselerert konvertering til varme. Gjennom å bruke ild kan menneskene endre matens fysiske og kjemiske struktur. Råvarer som i utgangspunktet er vanskelige å fordøye, gjøres spiselige gjennom koking/steking. Ild etablerer dessuten et mikroklima som gjør at mennesket kan oppholde seg i habitat som det ikke er fysiologisk tilpasset. Slik kunne det primitive mennesket leve i helt forskjellige områder av jordkloden, fra tropene til arktiske regioner langt nord.

### **Jordbrukssamfunnet**

Jordbrukssamfunn er også begrenset til bruk av solenergi, men kan foreta betydelige endringer i energistrømmen. Den grunnleggende strategien i jordbrukssamfunnet er rydding av land, dyrking av jorden, luking av skadelig ugress, bekjempelse av skadedyr, kultivering av nye typer dyr og vekster, samt endring av jordoverflatens geomorfologiske struktur gjennom terrassing, irrigasjon, drenering, osv. På basis av jordbruk kan flere mennesker opprettholde livet på et bestemt område enn hva som var mulig i jeger/sanker-samfunnet. Denne økte befolkningstettheten er et direkte resultat av den modifiserte energistrømmen. Siden mengden solenergi som når et bestemt område er gitt, og siden denne solenergiens energitetthet er relativt lav, må den samles og konsentreres av planter over en tidsperiode. Det menneskesamfunn som for egne formål er i stand til å monopolisere den største energistrømmen inn i sin biosfære, kan tillate seg å ha en større folke-mengde enn et samfunn som må dele denne energien med andre livsformer. Fjerning eller tilintetgjørelse av ubrukelige og skadelige dyr og planter er således et grunnleggende trekk ved jordbruket.

Jordbrukssamfunn har stort potensiale for innovasjon. Siden de har høyere befolkningstetthet utvikler de sosial differensiering og arbeidsdeling. Dermed produserer de et overskudd. Det oppstår spesialiserte økonomiske aktiviteter. Visse grupper fritas fra tvangen til fysisk arbeid, og kan dermed vie seg til kunnskapsutvikling. De som har konsentrert sosial og politisk makt mobiliserer ressurser for visse kulturelle målsetninger, så som å bygge byer, pyramider og katedraler. Siviliserte jordbrukssamfunn utvikler en særegen «antroposfære» som vokser inn i biosfæren og tenderer til å vokse raskere

enn denne.<sup>3</sup> Sosial-institusjonelle organisasjoner styrer energistrømmen gjennom systemet slik at det bygges en ny verden av menneskeskapt ting, samtidig som kulturen stabiliseres og får en helt egen dynamikk. Gjennom denne innovasjons- og utviklingsprosessen kan hele befolkningen vokse, og det kan også konsumeres energi per hode.

Det viktigste ved utviklede jordbrukssivilisasjoner var oppdagelsen av nye metoder for konvertering av solenergi, metoder som gikk ut over tradisjonell konvertering gjennom arbeid utført av mennesker og husdyr. En metode var bruk av vind, hovedsakelig til seiling. Slik ble transport over store avstander mulig. En annen metode var vannkraft, noe som gjorde det mulig å mekanisere enkle arbeidsoppgaver som kverning eller pæleramming. Men alle disse metodene for energibruk var begrenset av det tradisjonelle solenergisystemets snevre rammer. Mennesket tok del i den naturlige energistrømmen og modifiserte denne med stor kløkt. Men jordbrukeren var ikke i stand til å bruke mer energi enn det som kontinuerlig strømmer gjennom økosystemet. Hun kunne bruke biomasse lagret i skog, men i det lange løp kunne hun ikke bruke større energimengder enn det som strømmer – fra solen som eneste kilde – gjennom økosystemet i løpet av samme tidsperiode.

Gitt disse grunnleggende økologiske betingelsene rammes jordbruks-samfunn av et fundamentalt dilemma. På den ene siden kan de utvikle temmelig komplekse sosiale og kulturelle systemer med sofistikerte mekaniske innretninger. Dette skaper en spesiell økonomisk og demografisk vekstdynamikk. På den andre siden er de grunnleggende sett fanget innen rammene av en kontinuerlig energistrøm. Over en gitt periode kan et slikt samfunn som helhet ikke bruke mer energi enn det som stråler fra solen. Dessuten strømmer denne energien inn over et vidstrakt område. Jordbrukerne må derfor bruke store mengder materialer og arbeid på å samle og konsentrere den. Dette er hovedgrunnen til at det alltid råder energiknapphet i jordbruksøkonomier. De preges av stadige klager om overhengende mangel på energi, hovedsakelig til brensel.

Innen skogbrukets historie har det lenge gått en debatt om hvorvidt europeiske samfunn var rammet av alvorlig mangel på trevirke i etterkant av industrialiseringen.<sup>4</sup> Trevirke var selvsagt en sentral ressurs i slike økonomier, ikke bare som brensel, men også som materiale i en lang rekke anvendelser. Problemet med mangel på brensel i førindustriell tid hadde følgende omfang: Når et jordbruksamfunn ekspanderte, med voksende befolkning og produksjon, måtte den dyrkede marken utvides, men samtidig var det nødvendig med flere produkter fra skogbruket, særlig trevirke. Siden tilgjengelig landområde var gitt, var problemet alternativ bruk av dette. Skulle et lands territorium bestå av skog og småskog til tømmer eller brensel, eller skulle det brukes til korndyrking eller beitemark, som ga avkastning i form av kjøtt eller ull?<sup>5</sup>

Muligheten for teknologisk endring forelå selvsagt alltid. Nye metoder i dyreholdet økte produksjonen av mat på et gitt område. Tilsvarende kunne man nyttiggjøre seg teknologisk endring innen skogbruket. Men hovedproblemet forble det samme: et solenergisystem avhenger av arealet på jorden der energien samles og lagres. Fra disse grunnleggende særtrekkene slutter vi at jordbruksivilisasjoner preges av følgende tendenser:

1. En konsument som ønsker å bruke brensel må høste denne fra et bestemt område før den kan brennes. Forholdet mellom hans innsats og avkastningen vil i alle tilfelle være lineær. Økende skalaavkastning er ikke mulig, tvert om: jo lengre avstanden er fra skogsområdet til konsumenten, jo vanskeligere blir transporten av denne tunge og forgrenede materien. Energiforhold setter altså grenser for hvor stor den produktive enheten kan bli. Ser vi på smelting av jern, viser det seg at et jernverk på 1700-tallet ikke kunne produsere mer enn omtrent 2000 tonn pr år. Vannhjul var underlagt tilsvarende begrensninger. Maksimum tilgjengelig mekanisk energi var begrenset av vassdragets kapasitet og av problemer med å overføre mekanisk energi.<sup>6</sup> Et førindustrielt solenergisystem var dømt til å forbli desentralisert.
2. Siden energiinntekten fra biosfæren er eneste energikilde i et solenergisystem, kan ikke noe land på lang sikt bruke mer energi enn hva som strømmer inn over dets overflate. Det kan selvsagt forekomme teknologisk innovasjon, så den absolutte grensen vil være relativt fleksibel. I siste instans må det imidlertid være grenser for vekst i en slik økonomi. Videre kan ikke den økonomiske veksten ta seg særlig opp i et system som alltid er på randen av energiknapphet. En jordbruksøkonomi må derfor alltid leve med dystre utsikter til stasjonær utvikling i produksjon, konsum og befolkningsutvikling. I 1700-tallets Europa skapte det sosio-økonomiske systemets egendynamikk tendenser til sosial endring og økonomisk/demografisk vekst. Denne veksten ville raskt ha blitt kvalt, dersom ikke energisystemet hadde gjennomgått en fundamental endring.

### **Energisystem og industriell revolusjon**

Disse generelle overveielser viser at noen «industriell revolusjon» aldri kunne oppstå på basis av et solenergisystem. Europas industrialiseringsprosess over 200 år var nødvendigvis knyttet til endring i energisystemet. Sagt på en annen måte: det var nødvendig å utvikle et energisystem med fysiske egenskaper som ga rom for at en industriell dynamikk kunne utfolde seg. Det historiske skiftet fra det kontrollerte solenergisystemet til det fossile energisystemet var funksjonelt knyttet til industrialiseringen. Forskjellig bruk av energi setter forskjellige krav til sosio-økonomiske systemer. I et energiperspektiv er overgangen fra jordbruk til industriøkonomi *identisk* med overgangen fra et solbasert til et fossilt energisystem. Drivkraften i den nye

industrielle økonomien som dannet seg fra slutten av 1700-tallet var den relative overfloden av energi som bruken av fossilisert biomasse resulterte i. Bruddet med begrensninger satt av det tradisjonelle solenergisystemet var grunnlaget for nye prosesser innen kjemi, metallurgi, transport og jordbruk.

Vi skal ikke her gå i detalj om den historiske endringen fra solbasert til fossilt energisystem.<sup>7</sup> Kort fortalt startet det hele med noen lokale situasjoner der det rådet knapphet på energi. Slik knapphet preget som vist alle jordbruksøkonomier, men det var i England mulig å motarbeide den, siden helt spesielle betingelser åpnet for bruk av steinkull. Dette utløste en selvforøkende og selvintensifiserende prosess. Den startet med lokal og sporadisk bruk av fossilt brensel (steinkull). Etter hvert oppsto et nytt energisystem med egenskaper og kvaliteter uten sidestykke, et system som svarte til den industrielle økonomiens krav. Mange teknologiske problemer måtte løses mens denne prosessen utfoldet seg, og noen av løsningene var ikke lette å finne. Mot slutten av 1700-tallet var imidlertid nøkkelinnovasjonene innen gruvedrift, metallurgi og transport på plass. Dermed var de grunnleggende særtrekkene ved det nye energisystemet klart synlige. For verden utenom England forelå det dermed et press i retning av å bygge ut et fossilt energisystem. Dette systemet utgjorde et nytt evolusjonært trinn i humanøkologien. Land som sammenliknet seg med England kunne ikke klare å hente inn igjen dette landets forsprang uten selv å bygge ut et fossilt energisystem. De kunne ikke lenger respektere grensene for det tradisjonelle solenergisystemet. Land som ikke hadde kapasitet til å utvikle et fossilt grunnlag, ville bli fanget i en fullstendig marginalisert posisjon, eller ville i høyden bli knyttet til verdensøkonomien som råvareleverandør til kjernelandene hvis produksjonssystem var drevet av fossile brensler.

Med utgangspunkt i England er det lett å vise hvilke økologiske konsekvenser denne endringen av energisystemet hadde. En jordbruksøkonomi krever at det alltid råder et bestemt forhold mellom dyrket mark, beitemark og småskog. Når man i en slik økonomi begynte å bruke steinkull som erstatning for brensel fra skog, kunne man bruke områder der man tidligere måtte ha skog til andre formål, eksempelvis til sauedrift eller korndyrking.<sup>8</sup> Finner man en alternativ energikilde trenger man ikke lenger å bruke landområder til energivækster, framfor alt småskog. Det blir da mulig å sammenlikne en bestemt mengde steinkull med en tilsvarende mengde brenselvirke, som igjen er avkastningen av et bestemt areal skog. Dette er det arealet som fristilles takket være steinkullet.

Dette kan illustreres med noen omtrentlige data. En hektar småskog har en årlig avkastning på omtrent 5 kubikkmeter ved. Siden et tonn steinkull har et energiinnhold ekvivalent med omtrent fem kubikkmeter ved, vil bruk av denne mengden steinkull frigjøre et småskogsområde på 1 hektar til andre formål. Vi kan slik bedømme hvor stort område England vant på å gå over til å bruke steinkull som brensel. Dette gjøres i Tabell 1, som sammenlikner den

historiske utviklingen av den britiske steinkullproduksjonen med den mengde ved og det skogareal den erstattet.

*Tabell 1. Britisk steinkullproduksjon og dens anslåtte ved- og areal-ekvivalenter*

Årsgjennomsnitt	Steinkull i millioner tonn	Ved i millioner kubikkmeter	Skogsareal i 1000 kvadratkilometer
1551-60	0.2	1.0	2.0
1681-90	2.9	14.5	29.0
1751-60	4.3	21.5	43.0
1781-90	8.0	40.0	80.0
1801-10	13.9	69.5	139.0
1821-25	22.6	113.0	226.0
1841-45	46.3	231.0	463.0
1913	287.4	1437.0	2874.0

*Kilde:* R. P. Sieferle, *Der unterirdische Wald. Energiekrise und Industrielle Revolution*, München 1983, s. 138 (men denne tabellen har rettet noen mindre regnefeil i den opprinnelige kilden), med ytterligere detaljer.

Siden hele England og Wales har et areal på omtrent 150 000 kvadratkilometer, ser vi her hva endringen av energisystemet betyr for hva man kan bruke jorden til. De 210 000 tonn steinkull som ble produsert hvert år mellom 1551 og 1560 erstattet omtrent 2000 kvadratkilometer småskog, hvilket er om lag 1,4 prosent av England/Wales' totale areal. Slike data tyder på at bruk av steinkull i tidlig moderne tid ikke hadde noen sammenheng med alvorlig mangel på trevirke. Det var snarere bare et sporadisk og lokalt spørsmål om substitusjon. Steinkull ble brukt innen en generell ramme definert av solenergisystemet, men hadde noen fordeler for bestemte yrkesgrupper. Tallene for 1681-90 antyder at dersom det ikke hadde vært noe steinkull tilgjengelig, måtte man ha brukt småskog tilsvarende om lag en femtedel av hele England/Wales' område. Her finner vi overgangen til det nye energisystemet. Tidlig på 1800-tallet måtte nemlig *hele* Englands areal ha vært beplantet med skog for energiformål dersom man ikke hadde hatt steinkull. Med andre ord: Takket være fossilt brensel kunne England på et tidlig stadium av den industrielle revolusjonen bruke en landekvivalent dobbelt så stor som sin egen overflate.

Samme forhold kan påvises for enkeltbransjer, eksempelvis jernsmelting, en nøkkelindustri for den moderne utviklingen. Jern ble tradisjonelt smeltet og videreforedlet i trekullfyrte smelteovner. Produksjonen av et tonn råjern krevde 23 kubikkmeter trekull, og videreforedlingen til smijern ytterligere 28 kubikkmeter.<sup>9</sup> Den totale mengden trekull som var nødvendig for å produsere ett tonn smijern måtte produseres fra 51 kubikkmeter ved. Dette tilsvarer den vedvarende årlige avkastningen av 10 hektar småskog. Vi får således grovt

regnet en likning der et tonn smijern = 10 hektar land. Fra disse dataene kan vi anslå arealekvivalentene for britisk stålproduksjon (tabell 2).

Tabell 2. Anslåtte arealekvivalenter for britisk stålproduksjon

Årsgjennomsnitt <sup>1</sup>	Stålproduksjon (1000 tonn)	Arealekvivalent (1000 km <sup>2</sup> )
1620	19	1.9
1690	23	2.3
1720	25	2.5
1781-90	69	6.9
1800-14	127	12.7
1820-24	669	66.9
1850-54	2716	271.6
1900-04	8778	877.8

<sup>1</sup> Data fra tidligere og senere tidspunkter er ikke presist sammenliknbare, siden tidlige data ikke alltid skiller mellom råjern, smijern og stål, og siden det kan være store regionale forskjeller. Dataene gir bare visse grove holdepunkter, de viser tendens og størrelsesorden.

*Kilde:* Beregnet etter Hammersley, «The charcoal iron industry and its fuel, 1540-1750», *Economic History Review* 26, 1973, 593-613 og B. R. Mitchell, «Statistical appendix 1700-1914», *Fontana economic history of Europe*, Vol. 4.2, Glasgow 1973, s. 738-820.

Disse opplysningene viser at utviklingen av britisk stålproduksjon har nær forbindelse med utviklingen av steinkullproduksjonen. Man har lenge diskutert hvorvidt knapphet på trekull førte til at den britiske stålproduksjonen stagnerte på 1600-tallet og fram til midten av 1700-tallet.<sup>10</sup> Det er ikke mulig å gå i detalj om denne debatten her. Men det synes klart at om britiske stålprodusenter omkring 1820 hadde vært nødt til bare å bruke trekull som energikilde, da måtte allerede om lag en tredjedel av hele England og Wales' areal ha vært omgjort til småskog. Midt på 1800-tallet ville det nødvendige skogsområdet for dyrking av ved til trekull ha vært større enn landets totale areal. Dette viser igjen hvilke virkninger overgangen til et system basert på fossile brenslere hadde på bruk av land: Det var som om England skulle ha fått en helt ny engelsk øy i tillegg til den de allerede bodde på.

Steinkull har vært en fundamental forutsetning for industrialisering. Men det var ikke en forutsetning menneskesamfunnet hadde kontroll over. Steinkullforekomster foreligger som resultat av geologiske tilfeldigheter. I mange områder av verden finnes det ikke steinkull i det hele tatt. I andre deler av verden er graving etter steinkull, eller utvinning av andre fossile brennstoffer så som petroleum, forbundet med så store vanskeligheter at selv ikke omfattende energimangel førte til skifte av energisystem. Det er to grunnleggende geografiske betingelser for en steinkulløkonomi: (1) tilgjengelige forekomster av steinkull, og (2) egnede transportmuligheter for denne omfangsrike varen. Dette bidrar til å forklare at overgangen til et fossilt



energisystem bare kunne starte i England. Dette må igjen ses i sammenheng med at landets indre sosioøkonomiske dynamikk ga opphav til kapitalistisk produksjon.

Ser vi på Italia og Hellas, så var ikke transport noe problem, siden begge land kunne nås fra sjøen. Men uheldigvis var det ingen steinkullforekomster der. Derfor var det umulig å slippe unna problemet med vedvarende energimangel. Dette kan ha vært en alvorlig hindring for industriutvikling i denne regionen, for det manglet ikke på kommersiell eller teknologisk motivasjon. Motsatt fantes det i Ruhrdalen og Schlesien store steinkullforekomster, noen av dem åpent i dagen.<sup>11</sup> Disse hadde vært tilgjengelige fra middelalderen, ja sågar tilbake i romersk tid. Men siden steinkullet vanskelig kunne fraktes over land, var det ikke lett å levere det til de store befolkningssentrene og industriene.

Bare i England opptrådte begge betingelser samtidig. I Tynedalen var det overflateforekomster av steinkull, og landet hadde mange byer som lett kunne nås vannveien, fra sjøsiden eller via kanaler. Hvis det var et sted i verden, i det minste i Europa, der det nye energisystemet kunne oppstå, så var det i England. Med en gang denne grunnleggende terskelen var oversteget, kunne utviklingen kopieres i andre land, i det minste etter at dampdrevet jernbanetransport over land ble utbygget.

Man kan spekulere om hva som ville skjedd dersom det ikke hadde eksistert steinkull i England. Da ville den industrielle revolusjonen ha utviklet seg i en situasjon preget ikke bare av energiknapphet, men også av knapphet på jern og stål. Beregninger viser at midt på 1700-tallet ble om lag 30 til 50 prosent av Englands jern brukt innen jordbruket.<sup>12</sup> Så omfattende anvendelse av jern var en konsekvens av store gjennombrudd i jordbruks-teknologi på 1700-tallet. Om vi antar at europeisk jernproduksjon hadde nådd et stasjonært nivå ved inngangen til 1800-tallet, ville mesteparten av jernet ha gått til å produsere mat til en voksende befolkning. Det ville ikke vært mye igjen til dampmaskiner eller jernbaner.

Det kan selvsagt hevdes at England kunne ha importert trevirke, for ennå eksisterte det enorme skogsområder i Baltikum og i Skandinavia. Det var rent faktisk stor import av skogsprodukter til England, særlig materialer til skipsbygning, så som tømmer, master, planker, tjære og bek, for ikke å snakke om jern og pottaske (kaliumkarbonat).<sup>13</sup> På 1700-tallet lå den årlige britiske tømmerimporten mellom 40.000 og 200.000 kubikkmeter.<sup>14</sup> Det var en anselig mengde, men ingenting i sammenlikning med de steinkullmengdene (målt i vedekvivalenter) som ble brukt i samme periode. Siden skipsfrakt av en omfangsrik vare som tømmer var temmelig dyrt, ble tømmeret forbeholdt byggeprosjekter, særlig skipsbygging.<sup>15</sup> Importert tømmer var altfor dyrt til å bruke som brensel.

Det som gjelder for ved, gjelder på samme måte for andre energiintensive varer. Poenget kan illustreres ved å sammenlikne vekten på visse produkter med vekten på veden som trengs for å produsere dem (tabell 3).

Tabell 3. Vektforholdet mellom produkter og anvendt brensel (ved)

Salt	1:7
Råjern	1:15
Smijern	1:30
Sølv	1:200
Glass	1:2400

Kilde: R. J. Gleitsmann, «Aspekte der Ressourcenproblematik in historischer Sicht», *Scripta Mercaturae* 15, 1981, 33-89.

Tilsvarende forhold finnes i andre materialer eller kjemiske produkter. I så henseende synes det temmelig usannsynlig at trevirke til ved skulle transporteres til England bare for å brennes opp og dermed smelte eller viderebearbeide et stoff som det i seg selv ville være mye enklere å transportere. Det er et slående eksempel: på grunn av alvorlige teknologiske problemer kunne smijern produseres økonomisk med koks bare siden siste tredjedel av 1700-tallet. Den britiske jernindustrien gikk nesten inn i stagnasjon sent på 1600-tallet, siden det ble billigere å importere jern fra Skandinavia. Noe liknende ville ha skjedd med andre industribransjer som var avhengige av store mengder brennstoff. Det er således ingen overdrivelse å påstå at den europeiske industrielle revolusjonen ville ha vært adskillig mer desentralisert (og langsommere) om det ikke hadde vært noe steinkull i England. Landet ville ikke ha blitt verdens ledende produsent av industriprodukter. Det eneste mulige unntaket er tekstilproduksjon, der dampkraft ble introdusert relativt sent, mens bransjen før dette var helt ut basert på solenergi: biomasse, vann og vind (seil).

Våre data viser hvilket enormt omfang av energi som ble tilgjengelig gjennom fossile brensler. Selvsagt inneholder også steinkull kjemisk fiksert solenergi, men det er vesentlige forskjeller mellom et solenergisystem og et fossilt energisystem. I fossilsystemet brukes energi som har vært lagret over tidsperioder som er mange størrelsesordener lenger enn den tid det tar å konsumere den. Vi kan sammenlikne dette med første gang man bruker av en jomfruelig skog. Den inneholder en energimengde som er fiksert gjennom fotosyntese over 300 år. Når en slik skog brukes første gang, frigjøres en stor mengde av lagret energi i løpet av kort tid. Men fra en skog som er forvaltet gjennom skogrøkt kan man derimot bare høste den årlige tilveksten, den mengden som fikseres gjennom samme tidsperiode. I lys av dette betyr bruk av fossil energi at vi kan bruke noe i nærheten av en enorm, men dog ikke uuttømmelig skog. Et samfunn som går over til et fossilt energisystem går derfor inn i en tilstand av energioverflod. Dette er historisk sett en pioner-

situasjon. Store, nesten uendelige energiressurser gjør det mulig å forandre et helt sett av økologisk relevante parametere. Pionersituasjonen varer imidlertid ikke evig. En dag vil den «underjordiske skogen» være brukt opp, og i motsetning til en faktisk skog, er det ikke mulig å gå over til konservere den, altså å høste kontinuerlig en vekst som kommer igjen og igjen.

### **Fossilt energisystem, industriell økonomi og forurensning**

Visse fysiske trekk ved en industriell økonomi kan forklares med referanse til de grunnleggende karaktertrekkene ved det fossile energisystemet. For det første kan antallet mennesker øke nesten ti ganger på et gitt areal. For det andre kan materialstrømmene som løper gjennom det sosiale og økonomiske systemet mangfoldiggjøres i ennå større omfang. Materialenes naturlige syklus kan brytes opp. Bevegelsen av materielle ressurser økte i tempo: fra utvinning av konsentrerte forekomster via høyere konsentrasjoner i industrielle prosesser og fram til avsluttende spredning over hele jordens overflate, både land og hav. Slik sett er skiftet i energisystem en formell betingelse for industriell forurensning. Mobiliseringen av en slik gigantisk mengde materialer, som effektivt forstyrrer store naturlige systemer som klodens atmosfære, krever store mengder energi, så store at de aldri ville vært tilgjengelig innen rammene av et tradisjonelt solenergisystem.

I dette perspektivet er det interessant å undersøke hva som skjedde med jordbruket selv. I et solenergisystem er jordbruket en helt sentral del av energisystemet. Det er jo selve midlet til å samle energi for menneskelig konsum. Førindustrielt jordbruk måtte altså ha positiv energiavkastning. Innsatsen av energi til matproduksjon kunne umulig være (gjennomsnittlig og totalt) større enn energimengden som ble produsert. Men slik ble det i moderne jordbruk: samlet innsats av energi til jordbearbeidelse, gjødsling, sprøyting, høsting, produktbearbeidelse og konservering er mye større enn matens energiinnhold. Jordbruket har således endret seg fra et energi-produserende til et materialtransformerende system, med positiv innsats av fossil energi.<sup>16</sup>

Ytterligere noen sider av den industrielle økonomien kan forklares med henvisning til det fossile energisystemets grunnleggende karakteristika. Mens solenergi stråler over store områder og må samles inn og konsentreres før den kan brukes, finnes steinkull og olje i store konsentrasjoner, fiksert i bestemte lokaliteter. Arbeidsinnsatsen som kreves for å skaffe til veie denne energien er forholdsvis moderat. Når en kullgruve anlegges, vil steinkullet som regel foreligge i store mengder nær gruveåpningen. Det gir da mening å bygge kanal eller jernbane for å transportere det. Etablering av en tilsvarende transportinfrastruktur ville ikke vært særlig effektivt om det gjaldt bare skog. Nye transportsystemer muliggjør konsentrasjon av industri og økende størrelse på produksjonshetene. Stigende skalaavkastning gjør seg

gjeldende, særlig i valseverk, smelteverk og kjemisk prosessindustri. Når slik konsentrasjon og sentralisering av industriell aktivitet en gang er etablert, blir dette avgjørende for virksomheter som vil overleve i konkurransen på det industrielle området.

En annen viktig konsekvens av det fossile energisystemet er teknologisk akselerasjon i mange produksjonsprosesser. Prosessen med å foredle råjern til smijern i en førindustriell åpen esse fyrt med trekull tok om lag to uker. Sent på 1700-tallet gikk man over til «the puddling process», basert på koks, som tok to og en halv dag. 1800-tallets Bessemer eller Thomas-prosesser tok bare 20 minutter.<sup>17</sup> Dette viser at selv om det hadde vært mulig å øke antallet trekullfyrte esser, ville den industrielle utviklingen ha sakk bak dersom det ikke hadde vært mulig å øke tempoet i en slik nøkkelprosess.

Slår vi sammen disse poengene blir det vanskelig å forestille seg at industrialiseringen – med sin særegne akselerasjon av kulturell, teknologisk og økonomisk evolusjon – kunne ha vært mulig uten bruk av fossile energiresurser. Et enormt reservoar av energi ble tilgjengelig gjennom bruk av steinkull, petroleum og naturgass. Dette energireservoaret ble katalysator for en helt ny sosioøkonomisk dynamikk. Det betyr da også at en slik dynamikk bare kan vedlikeholdes så lenge denne tilstanden av energioverflod varer ved.

### **Konklusjon – dagens økologiske krise**

Vi har vist at særtrekk ved energisystemer i stor grad definerer området for økologisk relevant adferd i menneskesamfunn. Dette er selvsagt et temmelig globalt og abstrakt argument. Økonomiske antropologer som White, Harris og Sahlins har forsøkt å demonstrere dette poenget for «primitive» samfunn, særlig for jeger/sanker-samfunn og tidlige jordbrukssamfunn. Men vi har her forsøkt å vise at samme energisystemtilnærming også kan brukes både for komplekse jordbrukssamfunn og sågar for industrisamfunn, så lenge vi tar hensyn til at disse samfunnene må respektere spesifikke fysiske betingelser knyttet til den dominerende økonomiske aktiviteten. Vi har her vist til energibruksmønstre – for eksempel energipotensialet i England – på et svært aggregert nivå. Den historiske realiteten er imidlertid mye mer kompleks. Det som holder for helheten kan være ganske forskjellig på lokale delområder. Mine systematiske merknader må derfor mer ses som spørsmålsstillinger enn som et sett svar.

Som konklusjon vil jeg sette analysen av energisystemer inn i en bredere ramme ved å knytte det til miljøhistoriens mer generelle problemer i en tidsalder preget av økologisk krise. Miljøhistorien kan forsøke å besvare spørsmålet om hva som er denne krisens mest grunnleggende trekk. Et slikt svar krever at man tar det universalhistoriske perspektivet på alvor. Man må da spørre hva som særmerker menneske-miljø-forhold, og ta med i betraktningen at det er det sosiale systemet – med sin egen evolusjon og

differensieringslogikk – som bringer «menneskerasen» i spesifikk kontakt med «naturen».

Den nåværende økologiske krisen kan slik ses som resultat av en radikaliseringsprosess av det primitive menneskets potensiale for økologiske forstyrrelser. Miljøproblemer finner man langt tilbake, men de har i vår tid fått ny kvalitet gjennom industriell økonomi og moderne samfunn, som er helt nye dimensjoner. Følgende faktorer kan nevnes: veksten i verdens befolkning; nye materialsynteser; utvikling av store landområder; menneskeskapte produkter er allestedsværende; emisjon av materiale i en historisk uovertruffen grad (forurensningsproblemet); ødeleggelse av forskjellige økosystemer og arter; endring av biosfærens elementære parametere, så som sammensetningen av gasser i atmosfæren, nedbørens surhet, strålingsmiljøet og sågar – i nær framtid – klimaendring.

Kjernen i dagens og framtidens miljøproblemer kan defineres som følger: det er lite trolig at de mange og raskt ekspanderende økologisk relevante menneskelige aktivitetene nøytraliserer hverandre på en slik måte at akkurat de miljøbetingelser vi har vent oss til, vil vare ved. Men at nettopp disse betingelsene varer ved er ønskelig eller nødvendig for at menneskene skal overleve. Det er imidlertid mer sannsynlig at vi vil oppleve uønskede, uforutsette, ukontrollerte og ukontrollerbare effekter. På den annen side er moderne teknologi på langt nær sofistikert nok til å reparere skadene og til å gjenopprette de naturlige selvregulerende mekanismene som reproducerer gunstige betingelser. Teknologi er egnet til å overskride naturlige systemers selvregulerende kapasitet, men det er fare for at den ikke kan stabilisere seg selv på et nivå under det som skaper selvødeleggelse.

Derfor er miljøhistoriens kritiske spørsmål hvordan og når man overskrider den terskelen der denne selvødeleggende dynamikken settes fri. Eksakt når er vi ved det punkt der det ikke er noen vei tilbake? Hvor ligger det punktet der dagens tendenser i retning av en økologisk krise er blitt irreversible, slik at krisen er mulig eller sågar sannsynlig? Jeg har hevdet at energisystemenes omvandling har spilt en hovedrolle i denne prosessen, selv om det selvsagt ikke er hele historien.

Universell økologisk historie er et nivå. På et lavere nivå reiser det seg en rekke ytterligere spørsmål. Kan man skille mellom forskjellige faser av økologisk relevant aktivitet, samsvarende med forskjellige samfunnstyper og evolusjonstrinn? Hvilke andre strukturelle bestemmelsesfaktorer enn energisystemet definerer de evolusjonære betingelsene for menneske/naturforholdet? Kan man utpeke hovedaktiviteter, nøkkelindustrier, sentrale teknologiske tendenser? Hvilken rolle spiller sosiale verdier, preferanser, oppfattelsesevne, typer av sosial organisasjon og lagdeling, samt politiske konflikter? Disse spørsmålene må besvares av en miljøhistorie som ikke slår seg til tåls med å formulere noen interessante bemerkninger innen den sosiale og økonomiske historiens tradisjonelle rammer.

### Etterord (2014)

Denne artikkelen kom ut i en antologi som samlet innleggene ved Den Første Europeiske Konferanse for Miljøhistorie, arrangert i Bad Homburg i 1988. Artikkelenes substantive teser la jeg første gang fram i studien *Den underjordiske skogen* i 1982.<sup>18</sup> Dette er mange år siden, så det er grunn til å spørre om mine overveielser fortsatt har gyldighet, om noe bør korrigeres og hvilke andre perspektiver som bør anlegges.

Selv har jeg framfor alt forsket videre på dette området i samarbeid med forskergruppen om «Sosial økologi» i Wien. Dette har gitt opphav til en rekke senere utgivelser.<sup>19</sup> Jeg har primært beskjeftiget meg med spørsmålet om hvordan industrisamfunnets historiske transformasjon var knyttet til en endring i energiregimet og hvordan man kan forklare denne endringen. Det er åpenbart ikke slik at energiregimet som sådan er industrialiseringens «årsak». Snarere har det vært en rammebetingelse for utfoldelsen av industrialiseringens dynamikk.<sup>20</sup> Slik sett var energisystemet en formell forutsetning for den endringen av det sosiale stoffskiftet, selv om denne ikke kan identifiseres med endringen i energisystemet.

Innen et universalhistorisk perspektiv, er skillet mellom de tre energiregimene i dag problematisk. Om vi regner varig anvendelse av ild som dets startpunkt, varte jeger- og samlersamfunnenes «ukontrollerte solenergisystem» om lag en million år. Jordbrukssamfunnenes «kontrollerte solenergisystem» varte om lag 10 000 år. Industriens anvendelse av fossile energibærere strekker seg derimot drøyt 200 år tilbake i tiden, og vil neppe vare i mer enn 100 år til. Jordklodens samlede fossilenergiperiode vil altså strekke seg over om lag 300 år, noe som ikke er lenge for et universalhistorisk regime, særlig ikke om vi forutsetter at økonomi og samfunn fortsatt vil være industrialisert selv etter at avhengigheten av fossile energibærere er avviklet, altså at vi i framtiden kommer til å bygge et nytt regime for det sosiale stoffskiftet.

Slik sett kan anvendelsen av fossil energi ikke forstås som et element i et universalhistorisk «regime», men bare som et element ved en universalhistorisk «transformasjon». Fossil energi var et springbrett for å overvinne jordbruksregimet, den trakk i gang en rekke prosesser med en dynamikk som var utenkelig innen rammene for jordbrukssamfunnet. Dette gjelder både i teknisk, vitenskapelig, kulturell, økonomisk, politisk og demografisk forstand. Slik brøt den fossile energien opp et eldre mønster, den hjalp fram en ny verden, men den kan ikke selv utgjøre det energimessige grunnlaget for et stabilt regime. Dette betyr at vi ennå ikke kjenner de fysiske og energimessige egenskapene ved et bærekraftig industrisamfunn.

Fossil energi har to begrensninger. For det første er forekomstene endelige. Slik energi kan ikke fornyes, den er et forråd som irreversibelt brukes opp. Det har vært kjent helt siden 1800-tallet. Siden midt på 1900-

tallet vet vi dessuten at det ikke bare foreligger et ressursproblem, men at også deponiproblematikken er svært viktig, ja antakelig aller viktigst. Konsentrasjonen av CO<sub>2</sub> i atmosfæren endrer klimaet med ubehagelige konsekvenser for mennesker og økosystemer. Det er i denne sammenheng viktig at det i jordskorpen ligger lagret en karbonmengde som er omtrent femten ganger så stor som hva det er mulig å forbrenne på en klimanøytral måte. Dette betyr at deponiproblemet er mye alvorligere enn ressursproblemet. Lenge før man når til *peak-oil* eller *peak-coal* må man stanse utslippene av CO<sub>2</sub> til atmosfæren.

Her står vi overfor et graverende problem: Økende ressursknapphet gir seg utslag i økende priser, slik at man kan reagere på den gjennom innsparinger og utvikling av tekniske alternativer. At det blir stadig mindre rom til deponering gir seg derimot ikke utslag i noen pris. Her må man treffe politiske beslutninger. Siden vi da har med typisk maktspill å gjøre, kan disse beslutningene ikke gjøres på rent økonomisk (og slett ikke på økologisk) grunnlag.

Vi må ærlig innrømme at vi ikke har svar på spørsmålet om hvordan en post-fossil energiforsyning kommer til å ta seg ut: Fossil energi er opplagret energi. Dette lageret er (likegyldig hvor stort det er) begrenset, og en eller annen gang er det tomt. Prinsipielt kan et bærekraftig energisystem bare fungere på basis av kjerneenergiprosesser som forvandler masse til energi. Her foreligger fire muligheter:

1. *Teknisk kjernespalting.* Dette medfører radioaktivt avfall. I dag råder et moratorium i forhold til dette problemet. Men det er ikke utelukket at man her (kanskje i Kina) snart vil se ny forskning og utvikling.
2. *Naturlig kjernespalting.* Dette dreier seg om geotermiske prosesser. I land som Island og New Zealand utnyttes slike kilder allerede intensivt. Men hvilket systematisk potensiale de representerer, er ennå ikke avklart og heller ikke hvilken risiko som er knyttet til dem (så som faren for å utløse jordskjelv).
3. *Teknisk kjernefusjon.* Dette er prinsipielt mulig, men de tekniske problemene er ennå enorme. Siden jeg først, for om lag 35 år siden, begynte å beskjeftige meg med energispørsmål, har man hele tiden sagt at disse problemene vil være løst om 50 år. Kanskje må man betrakte disse 50 årene som en konstant?
4. *Naturlig kjernefusjon.* Dette dreier seg om å utnytte solenergi i form av biomasse, vind, vannkraft eller fotovoltaikk, altså om å gripe tilbake til forutsetningene for jordbruksregimet, selvsagt under helt andre tekniske betingelser. Men det avgjørende kjennetegnet ved utnyttelse av solenergi vil bestå: Riktignok treffes jordoverflaten av store mengder solenergi, men energitettheten er liten, så energien må konsentreres før den kan benyttes. Dette betyr imidlertid at man (slik tilfellet var i jordbruks-

samfunn) må ty til store flater, og til store mengder materialer på disse områdene. Imidlertid er flaten (et land eller jordkloden) en gitt størrelse, og derfor oppstår det nødvendigvis konflikter om hvordan den skal utnyttes, ikke minst mellom arealer til produksjon av næringsmidler, drivstoff og brennstoff. Slik var det i jordbrukssamfunnet. De fossile energibærerne gjorde det mulig å «oppheve flaten», en oppheving som nok blir revidert i framtiden. Vil dette sette en stopper for natur- og landskapsvern og føre til en omfattende industrialisering av landskapet?

En framtidig bærekraftig organisering av stoffskifteprosessene i et industri-samfunn kommer på en eller annen måte til å kombinere disse fire formene for utnyttelse av energi.<sup>21</sup> Det er lite sannsynlig at et framtidig regime vil være begrenset til bare en energikilde, som for eksempel solenergi. Hver av disse energikildene har sine spesifikke fordeler og ulemper. Så kort den fossile energiens æra universalhistorisk sett enn var, så framstår den i tilbakeblikk som et «lykkens øyeblikk». I en ny æra må den fossile energien erstattes av mer kompliserte, men nettopp derfor også mer bærekraftige alternativer. Denne nye transformasjonen er en oppgave som må løses i løpet av de neste årtier. Til forskjell fra de som levde ved inngangen til fossil-energiens intermesso, vet vi i dag – i det minste prinsipielt – hva vi nå gjør eller må gjøre, selv om vi dessverre ikke ennå vet hvordan dette kan gjennomføres.

*Oversatt av Lars Mjøset*

## NOTER

- 1) L. A. White, «Energy and the evolution of culture», *American Anthropologist*, 45, 1943, 335-56; L. A. White, *The evolution of culture*, McGraw Hill, New York 1959; F. Cottrell, *Energy and society*, McGraw Hill, New York 1955; W. B. Kemp, «The flow of energy in a hunting society», *Scientific American* 224, 1971, 55-65; R. A. Rappaport, «The flow of energy in an agricultural society», *Scientific American*, 224, 1971, 116-33, R. N. Adams, *energy and structure*, Austin 1975; R. N. Adams, «Man, energy and anthropology», *American Anthropologist*, 80, 1978; D. L. Hardesty, *Ecological anthropology*, Wiley, New York 1977.
- 2) Det er dette som ligger i begrepsparet ukontrollert kontra kontrollert solenergi-system, se punkt 1 over. De engelske ordene er «unmoulded» kontra «moulded», på norsk: «uformet» kontra «formet». Men i det etterordet Sieferle har skrevet for Vardøger bruker han begrepene «ukontrollert» kontra «kontrollert» (i anførselstegn). Merk også at han i etterordet påpeker at siden det fossile energisystemet vil ha så kort historisk varighet, er det egentlig ikke riktig å kalle det et eget system eller regime. – *O.a.*
- 3) K. E. Boulding, *The world as a total system*, Sage, Beverly Hills 1985.
- 4) Jfr J. Radkau, «Zur angeblichen Energiekrise des 18. Jahrhunderts», *Vierteljahresschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte*, 73, 1986, 1-37.



- 5) Den engelske termen *coppice* og *coppice woods* er her oversatt med småskog, i kontrast til tømmerkog. Termen betegner på engelsk også en måte å forvalte skog på, der trær som skyter nye skudd fra stubben periodisk kuttes, skuddene kuttes igjen når de har nådd en viss størrelse, osv. Et skogsområde der man driver «coppicing» kan bestå av flere sektorer der alderen på trærne varierer, slik at man hvert år kan ta ut en viss avkastning. – *O.a.*
- 6) Jfr H. L. Hills, *Power in the industrial revolution*, Kelly, New York 1970; G. N. von Tunzelmann, *Steam power and British industrialization to 1860*. Oxford University Press, Oxford 1978.
- 7) Jfr R. P. Sieferle, *Der unterirdische Wald. Energiekrise und Industrielle Revolution*. Beck, München 1982.
- 8) På engelsk brukes termen «coal» for steinkull, som er et fossilt brensel, i kontrast til «charcoal» (trekull), som er basert på trevirke og således ikke et fossilt brensel. – *O.a.*
- 9) G. Hammersley, «The charcoal iron industry and its fuel, 1540-1750», *Economic History Review* 26, 1973, 593-613.
- 10) Hammersley, «The charcoal iron industry and its fuel, 1540-1750», C. K. Hyde, *Technological change and the British iron industry, 1700-1870*, , Princeton University Press, Princeton 1977; M. W. Flinn, «Technical change as an escape from resource scarcity. England in the 17th and 18th centuries», i A. Maczak, W. N. Parker, et.al. *Natural resources in European history*,. Johns Hopkins University Press, Baltimore 1979.
- 11) Området der grensene for dagens Polen, Tsjekia og Tyskland møtes. – *O.a.*
- 12) P. Bairoch, «Agriculture and the industrial revolution 1700-1914», i *Fontana economic history of Europe*, Vol. 3, Fontana, Glasgow 1978, s. 491.
- 13) Råjern produsert ved hjelp av trekull. – *O.a.*
- 14) S. E. Åstrøm, «English timber imports from northern Europe in the 18th century», *Scandinavian Economic History Review*, 18, 1970, s. 20.
- 15) Jf. R. G. Albion, *Forests and sea power*, Harvard University Press, Cambridge 1926, R. Davis, *The rise of the English shipping industry*, Macmillan, London 1962.
- 16) G. Leach, *Energy and food production*, IPC Science and Technology Press, Guilford 1976.
- 17) Oppvarming av råjern med trekull i åpne esser med sterk innblåsing, gjorde at karbon, svovel og fosfor forsvant i gassform. På norsk ble prosessen kalt *fersking*. Denne ble erstattet av «the puddle process», som på norsk ble kalt *flammeovnsfersking*, der råjern ble smeltet i en flammeovn med koks, som er tørdestillert (forkokset) steinkull. Bessemer-metoden fra 1855 var *vindfersking*, som blåste luft gjennom smeltet råjern i en konverter. Kilde: <http://snl.no/jern> (avlest 15.6.2014). - *O.a.*
- 18) Se note 7 over. Revidert engelsk oversettelse: *The Subterranean Forest. Energy Systems and the Industrial Revolution*, The White Horse Press, Cambridge 2001 (nyutgave 2010).
- 19) Se særlig Rolf Peter Sieferle, Fridolin Krausmann, Heinz Schandl, Verena Winiwarter, *Das Ende der Fläche. Zum gesellschaftlichen Stoffwechsel der Industrialisierung*, Böhlau, Köln 2006. Et engelsk sammendrag er Fridolin Krausmann, Heinz Schandl and Rolf Peter Sieferle, «Socio-ecological regime

transitions in Austria and the United Kingdom», *Ecological Economics*, 65, 2008, 187-201.

- 20) Rolf Peter Sieferle and Bernd Marquardt, *La Revolución Industrial en Europa y América Latina. Interpretaciones ecohistóricas desde la Perspectiva de la Teoría de los Sistemas de Energía y del Metabolismo Social*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá 2009.
- 21) Sieferle foretrekker nå å bruke begrepet «sosialt stoffskifte» (eller «sosial-metabolsk regime») I stedet for «energisystem». Energisystemet er en viktig del av et slikt regime. Han knytter slik an til terminologien hos Marina Fischer-Kowalski, f. eks hennes artikkel «Society's metabolism» i Michael Redclift og Graham Woodgate, red., *The Handbook of Environmental Sociology*, Edward Elgar, Cheltenham 1997, s. 119-137. For Sieferles utredning av begrepet se Sieferle et. al., *Das Ende der Fläche* (note 19 over), og hans «Cultural Evolution and Social Metabolism», *Geografiska Annaler. Series B*. 93(4), 2011, s. 315-324. – *O.a.*