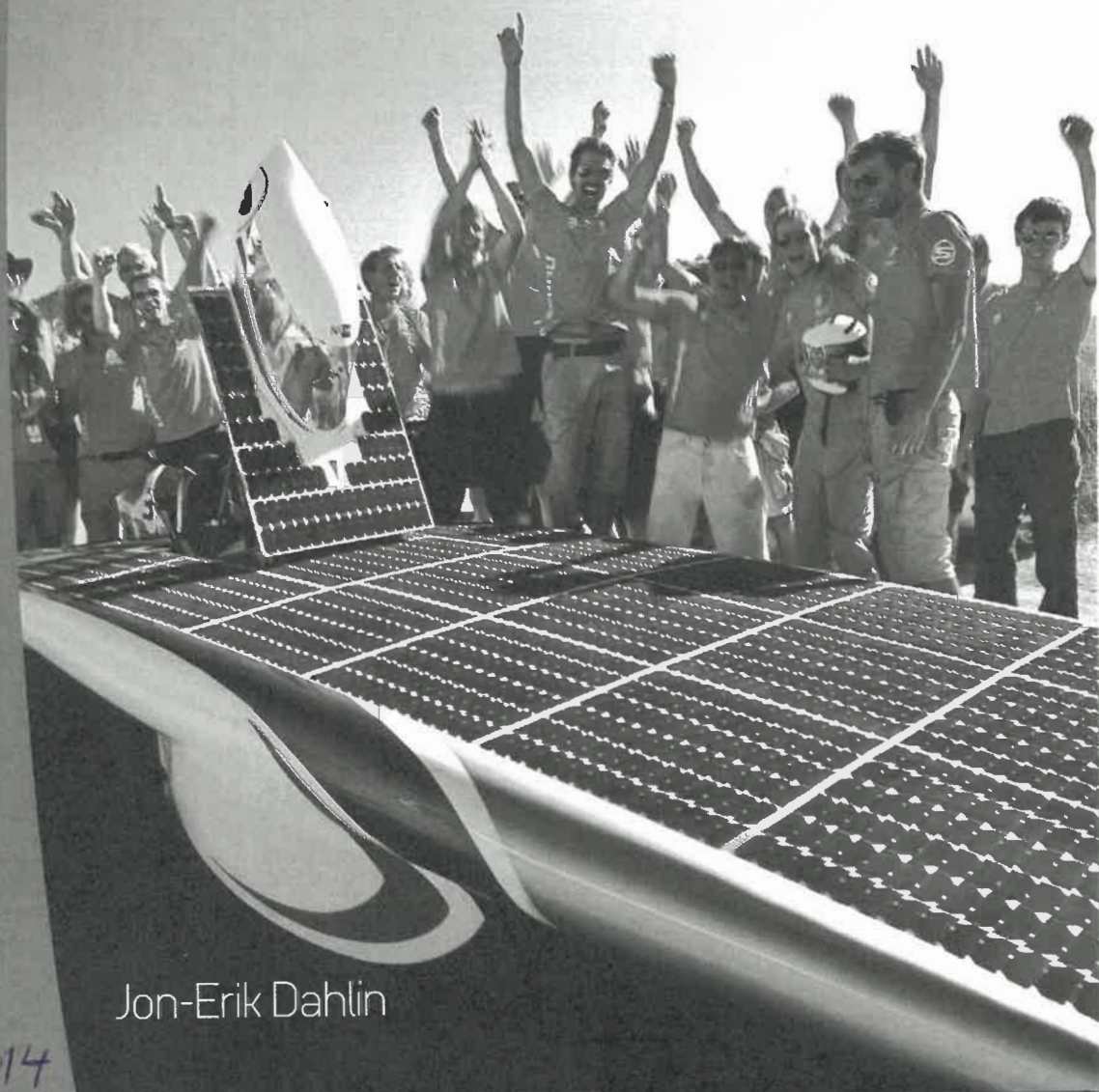


Hållbar utveckling

- en introduktion för ingenjörer





Jon-Erik Dahlin är teknologie doktor i fusionsplasma-fysik och lärare vid KTH med en bakgrund inom hållbar energiteknik. Under sin karriär har han arbetat med bland annat fusionskraft och förnybar energi. Han har även bidragit till den högskolepedagogiska utbildningen av lärare, där han har tränat lärare på KTH i att integrera hållbar utveckling i enskilda kurser och hela utbildningsprogram.

Hållbar utveckling

– en introduktion för ingenjörer

Vardagen för olika ingenjörer kan se väldigt olika ut, men den klassiska bilden av ingenjören är densamma: problemlösaren och möjlighetsskaparen. Ingenjören ser hur man kan förändra det vi gör i dag så att världen kan bli lite bättre. Och det är precis detta som hållbar utveckling handlar om – att hitta och genomföra ständiga förbättringar, överallt i samhället, som bidrar till ett bättre liv för alla.

Den här boken vänder sig till studenter som ska bli ingenjörer och till ingenjörer som vill lära sig mer om de utmaningar vi står inför i dag. Boken introducerar begreppet hållbar utveckling och diskuterar hur teknik kan bidra till en hållbar eller en ohållbar utveckling. Men författaren går även vidare och diskuterar perspektivfrågan, olika tankeparadigm och vikten av reflektion och diskussion för att nå pragmatiska lösningar på svåra värderingsproblem. Boken innehåller exempel på möjliggörande teknik, instuderingsuppgifter och diskussionsfrågor.

”Från problem till möjlighet. Så kan omvärldens syn på oss ingenjörer beskrivas under en 30–40-årsperiod. Teknisk utveckling är en väldigt stark kraft. Men utveckling är ett hantverk. Tuffa krav kommer att resas och olika lösningar måste därför prövas. Resultatet kommer om enskilda individer och grupper får möjlighet att delta i denna utveckling. Vi ska ha med oss en insikt om utmaningarnas storlek och det ska vara en viktig drivkraft. Denna kan under rätt förutsättningar omvandlas till viktiga framsteg, men helt avgörande för detta är goda kunskaper i både helhet och detaljer. Denna bok är en utmaning men också en möjlighet för dig att ge ditt bidrag till en mer hållbar värld. Ingenjörer är helt avgörande. Lycka till med din uppgift.”

Peter Larsson, samhällspolitisk direktör för Sveriges Ingenjörer

Art.nr 37770

ISBN 978-91-44-09266-9



9 789144 092669

Våren och sommaren 2010 drabbades Mexikanska golfen av världshistoriens värsta marina oljeutsläpp efter att BP:s oljeplattform Deepwater Horizon hade drabbats av en explosion som dödade 11 oljearbetare och skadade 17 (figur 4.1). Explosionen ledde till att plattformen förliste, varvid oljekällan exponerades för den omgivande vattenmassan och började trycka ut över 60 000 fat råolja per dag direkt ut i havet. Det tog tre månader innan man lyckades täta källan och under den tiden släpptes nästan 5 miljoner fat olja ut.

Oljekällan är belägen på över 1 500 meters djup, vilket var en kraftigt försvårande omständighet för att stoppa flödet. Både de miljömässiga, sociala och ekonomiska konsekvenserna av olyckan var extremt svåra. Tusentals arter av marina organismer påverkades, en del av dem endemiska till området (dvs. de finns bara där) med följder för såväl ekosystem som fiskerinäring. Även turismen drabbades mycket negativt. Arbetet med att städa upp stränder och hav engagerade både kustbevakning, kommersiella aktörer och frivilliga. Olja påverkar havet både som en tjock, klibbig massa som skadar och dödar djur och växter direkt, men även genom att den löses upp och påverkar systemen indirekt. Stora mängder metan släpptes ut, som tränger undan syre och gör stora arealer av havsbotten syrefria, vilket dödar allt liv där. I havet i det påverkade området spreds även stora mängder av *polycykliska aromatiska kolväten* (PAH), som är cancerogena och påverkar såväl det marina livet som människor.

BP:s direkta kostnader för att ta hand om olyckan, för att bidra till uppstädningen samt betala de böter som företaget drabbades av uppgår till minst 37 miljarder USD, men sannolikt kommer de verkliga kostnaderna att bli väsentligt högre. Förutom direkta kostnader drabbades bolaget dessutom av en omfattande förtroendekris som ledde till att BP:s värde reducerades så mycket att företaget föll från att ha varit världens näst största oljebolag till att bli det fjärde största.

Trots de enorma konsekvenserna av olyckan med Deepwater Horizon utgjorde den totala mängden olja som spreds till havet endast en bråkdel av den mängd olja som omsätts varje år – cirka 30 miljarder fat per år. Olja utgör världens viktigaste råvaruresurs, och utvinningen av olja står för ungefär 5–7 procent av världens samlade BNP. Det största användningsområdet är som energibärare och olja utgör den viktigaste primärenergiresursen på de flesta energimarknader (32 procent av energiomsättningen i Europa och Asien, omkring 40 procent i Nord- och Sydamerika samt Afrika och över 50 procent i Mellanöstern). En fjärdedel av all olja som omsätts i världen konsumeras i USA, medan hälften av all olja produceras på den Arabiska halvön och angränsande länder. Dessa förhållanden gör olja till en synnerligen strategisk resurs, samt är den avgörande faktorn bakom en stor del av det politiska spelet mellan världens stater. Förbränning av olja och andra fossila bränslen leder dessutom till utsläpp av växthusgaser som redan i dag är på väg att förändra jordens klimat. Klimatförändringarna kommer i sig att förändra världen ur både ett ekologiskt, socialt och ekonomiskt perspektiv, men konsekvenserna av hanteringen av de fossila resurserna är långt större än endast klimatförändringar. Den ohållbara hanteringen av världens viktigaste råvara utgör på flera sätt ett utmärkt exempel för att demonstrera några av kärnfrågorna inom (o)hållbar utveckling.

Miljömässigt är klimatfrågan den absolut största, när man diskuterar effekterna av förbränning av fossila bränslen (se kapitel 5). Men som olyckor av Deepwater Horizons slag visar, kan oljeutvinningen ha även annan negativ påverkan, t.ex. på den biologiska mångfalden och utsläpp av miljögifter. Förbränning av kol och olja har även lett till försurning, smogproblem och utsläpp av kväveoxider, för att nämna ytterligare miljöpåverkan.

Ekonomiskt utgör oljan en stor risk för världsekonomin, genom att den på samma gång är den viktigaste handelsvaran och en av de mest prisvolatila. Under 1980-talet och början av 1990-talet låg oljepriset relativt konstant på omkring 20 USD per fat, men på bara några få år steg priset till sju-åtta gånger så mycket (som mest 147 USD per fat hösten 2008), och har sedan legat på en hög nivå (i dag över 100 USD per fat). Denna kraftiga prisstegring och sedermera fortsatt höga pris kan sägas utgöra en friktion i världsekonomin, som fungerar som en broms. Det ligger nära till hands att spekulera i om världens oljeresurser är på väg att tömmas. Man räknar med att omkring hälften av den (ekonomiskt) tillgängliga oljan i dag har utvunnits och bränts upp¹. Dessutom är det

1 Nya utvinningsmetoder (t.ex. så kallad *frackning*) och utvinning på tidigare oåtkomliga platser (såsom i Arktis och i djuphavet) kan dock förändra detta.

den billigaste och mest högkvalitativa oljan som hittills har tagits upp, vilket gör att råolja i framtiden troligen kommer att vara dyrare att utvinna och raffinera. Förr eller senare når man en punkt där den ständigt ökande efterfrågan på olja inte längre kan mötas av motsvarande ökning av utvinningstakten. Vid denna punkt, som kallas för **peak oil**, kan oljepriset förväntas stiga i det närmaste exponentiellt, med starkt negativa effekter på världsekonomin. Det debatteras bland forskare om huruvida och i så fall på vilket sätt som ekonomisk tillväxt är möjlig att upprätthålla under sådana omständigheter.

Sociala faktorer som påverkas kraftigt av oljeutvinningen är t.ex. den spänning inom världspolitiken som tillgången och handeln av olja ger upphov till. Just den kombinerade effekten av att tillgången på resursen är så geografiskt begränsad, och den vikt den har inom såväl ekonomin samt den betydelse den därmed har i allas vår vardag (för energi, transporter och material samt indirekt för tillgång på mat och vatten), medför att såväl demokratiskt som auktoritärt styrda regimer har stora incitament att försäkra sig om en trygg tillgång på denna resurs. Många av efterkrigstidens konflikter har haft tillgången till olja som drivande motiv. Såväl försörjningstrygghet i själva resursen samt trygghet från förtryck och väpnade konflikter är sådant som påverkar själva fundamentet till våra möjligheter att leva de liv vi vill leva. Därför påverkas vi alla av tillgången på samt möjligheten att fortsätta att utvinna olja.

4.1 Systemgränser för hållbarhet

Den planet vi bor på sätter ett ramverk för vilka verksamheter som över huvud taget är möjliga att varaktigt upprätthålla på dess yta. Detta ramverk utgör en yttre systemgräns för hållbarhet ur ett planetärt perspektiv. Att utnyttja ändliga resurser på ett sådant sätt att de inom en överskådlig framtid inte tar slut, och att inte utnyttja förnybara resurser så intensivt att deras tillväxtpotential förbrukas, är exempel på hållbar resursanvändning ur ett planetärt perspektiv.

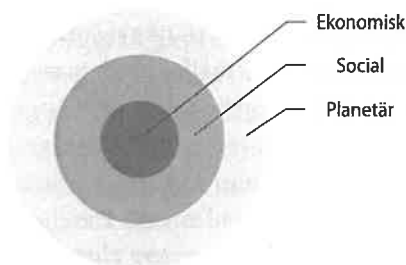
Om vi betraktar planeten Jordens livsuppehållande geo-biologiska system, så kan vi konstatera att det finns en hållbarhetsgräns för hur det kan nyttjas av oss människor. Det är förstås möjligt att tänka sig många tänkbara mänskliga civilisationer som kan upprätthållas inom ramen för denna systemgräns – och en sådan civilisation kan se ut på många olika sätt. Ur ett planetärt perspektiv finns det ingenting som säger att en varaktig mänsklig civilisation inte skulle kunna vara auktoritär, åsidosätta mänskliga rättigheter eller vara dominerad av våld. Däremot kan vi definiera en systemgräns *inom ramen för den yttre planetära*

systemgränsen för de sociala krav som vi ställer på samhället för att vi ska anse att detta är socialt hållbart. Eftersom social hållbarhet handlar om att långsiktigt upprätthålla ett stabilt och dynamiskt samhälle som uppfyller vissa grundläggande krav för den enskilde samhällsmedborgarens möjligheter att leva ett fritt och självständigt liv, kan en sådan social systemgräns betraktas som en avgränsning inom ramen för den mer omfattande planetära systemgränsen. Det sociala systemet (samhället) utgör således ett delsystem inom det planetära systemet (planeten Jorden). Exakt var gränsen för social hållbarhet sätts beror på ett antal värderingsmässiga ställningstaganden och beror delvis på politisk ideologi och övertygelse. Dock finns det ett antal värden som de flesta (åtminstone i vår kultur) brukar kunna enas om bör ingå, såsom upprätthållande av grundläggande mänskliga rättigheter, trygghet samt begränsad fattigdom. Social hållbarhet brukar även inkludera frihet och demokrati, god hälsa, tillgång till utbildning och meningsfull sysselsättning, en god arbetsmiljö samt frihet från diskriminering.

Det ekonomiska systemet kan på motsvarande sätt definieras som ett delsystem inom ramen för det sociala systemet. För att det ska upprätthållas långsiktigt måste det uppfylla vissa kriterier, t.ex. att handel med resurser tar hänsyn till resursernas tillgång, att ekonomiska externaliteter tas om hand samt att det finansiella systemet är långsiktigt hållbart.

Det ekonomiska systemet fyller dock ett bredare syfte, och det finns fler skäl att säkerställa dess upprätthållande: det är det ekonomiska systemet som styr flödet av resurser, både inom det sociala systemet och flödet in och ut genom dess systemgräns. Samhället behöver ett flöde av material och energi för att kunna upprätthållas, och utformningen av det ekonomiska systemet är det som till sist avgör om det sociala systemet kommer att kunna upprätthållas inom ramen för (och i beroende av) det planetära systemet.

Det hierarkiska förhållandet mellan de tre dimensionerna: det planetära livsuppehållande systemet, det sociala systemet (samhället) och det ekonomiska systemet visas översiktligt i figur 4.2.



Figur 4.2 Hållbarhetsdimensionerna kan beskrivas som en hierarki av system. Här definieras dimensionerna som en ekonomisk, en social och en planetär dimension.

4.2 Planetens gränser

Den grundläggande principen för ekologisk hållbarhet är att inte exploatera naturen i större utsträckning än naturen hinner återskapa uttagna resurser. Denna princip grundlades redan då det hållbara skogsbruket etablerades, men har fått en utvidgad betydelse i dag, då man i princip försöker tala om all miljöbelastning i dessa termer. T.ex. har ekosystemen och de naturliga kretsloppen en viss kapacitet att ta upp och buffra utsläpp från industriella processer, och principen för ekologisk hållbarhet är följaktligen att begränsa dessa utsläpp så att de naturliga systemen kan ta hand om dem.

Det är alltså inte bara uttag ur de geologiska och biologiska systemens produktion som måste begränsas så att dessa inte utarmar systemen, utan även den naturliga buffertkapaciteten som inte får överskridas.

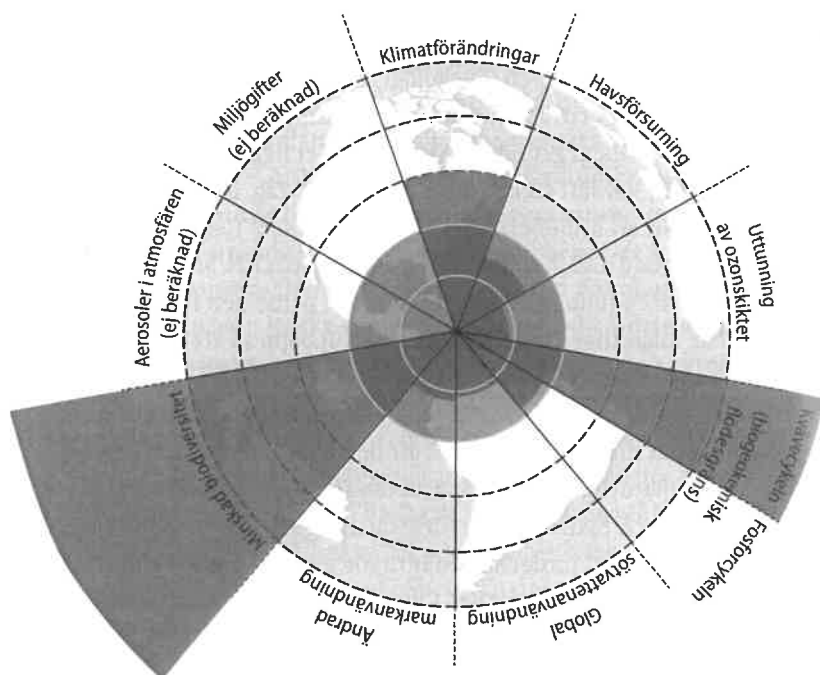
Geologiska och hydrologiska förutsättningar samt produktionen av ekosystemtjänster i jordens biosfär utgör grundläggande förutsättningar för all mänsklig verksamhet. Ofta talar man i detta sammanhang om fyra typer av ekosystemtjänster:

- **Understödjande:** grundläggande systemfunktioner och strukturer, t.ex. närings- och vattencykler
- **Reglerande:** rening av luft och vatten, pollinering av växter osv.
- **Kulturtjänster:** estetiska och rekreationella värden
- **Tillgodoseende:** produktion av mat, material, bränslen osv.

Det har gjorts många försök att beräkna det ekonomiska värdet av de tjänster som de ekologiska systemen förser samhället med "gratis". Detta är extremt svårt att göra, men storleksordningsmässigt uppgår de sannolikt till åtminstone 50 procent av världens samlade BNP (Costanza, m.fl., 1997).

Insikten att den ekologiska produktiviteten är begränsad och till och med riskerar att minska om de ekologiska systemen belastas för hårt har under det senaste halvseket lett till ett fördjupat fokus på och genuint intresse för att minska samhällets miljöpåverkan. Oavsett om man bekänner sig till en ekocentrisk eller antropocentrisk syn på hållbar utveckling, kan en pragmatisk hållning i frågan vara att konstatera att oavsett om naturen har ett egenvärde i sig eller inte, är samhället beroende av ekosystemtjänsterna för sin överlevnad, varför det är av central vikt att verka för deras bevarande.

I ett stort tvärdisciplinärt forskningsprojekt som leddes av *Stockholm Resilience Centre* har nio miljöproblem definierats. Om dessa inte hanteras, riskerar de att underminera och begränsa ekosystemens produk-



Figur 4.3 Kvalitativ grafisk återgivning av huruvida och i hur stor utsträckning de nio viktigaste planetära gränserna är överskridna. Inom tre av nio områden anses påverkan i dag vara så stor att ett tänkt "säkert operationsområde" är passerat. Två av områdena är inte kvantifierade och kan därför inte bedömas. Källa: Stockholm Resilience Centre.

tionsförmåga (Rockström, m.fl., 2009). Försök har gjorts att kvantifiera dessa **planetära gränser** för och att säga något om hur stor påverkan som är acceptabel innan tröskeleffekter kan förväntas sätta in – som ett verktyg för beslutsfattare för att sätta ramarna för en progressiv miljöpolitik. I detta stycke följer en uppräknings av dessa nio områden samt något om i vilken utsträckning den ekologiska hållbarhetsgränsen anses vara passerad eller riskerar att passeras för respektive område. I figur 4.3 illustreras detta grafiskt.

KLIMATFÖRÄNDRINGAR

Det faktum att jordens klimat styrs av förekomsten av ett antal växthusgaser i atmosfären samt att människans utsläpp av framför allt koldioxid har potential att förändra klimatet har varit känt i över hundra år. Under de senaste årtiondena har det blivit uppenbart att dessa klimatförändringar både riskerar att bli högst påtagliga och kosta enorma summor både ekonomiskt och i mänskligt lidande. Det blir också tydligare att

otillräckliga åtgärder har genomförts för att begränsa klimatförändringarna, och det anses i dag till och med att en relativt stor påverkan är omöjlig att förhindra.

Den planetära gränsen för det globala klimatsystemet är passerad och systemet har inte tillräcklig resiliens för att absorbera den påverkan som utsläppen av klimatpåverkande gaser har. Däremot kan de värsta scenariorna fortfarande förhindras om kraftfulla utsläppsminskningar genomförs tillräckligt snabbt.

Vid sidan om åtgärder för att minska utsläppen så kommer en anpassning att behöva ske till de klimatförändringar som ofrånkomliga kommer att inträffa. Behovet av sådana anpassningar är i sig innovationsdrivande och utgör ett bra exempel på hur behovet av smarta ingenjörslösningar kommer att kunna underlätta livet för många människor.

I kapitel 5 går klimatfrågan igenom mer i detalj.

FÖRLUST AV BIOLOGISK MÅNGFALD

Begreppet biologisk mångfald kan syfta på den totala mängden av variation i arter och genetisk information inom en population, ett ekosystem eller totalt i jordens biosfär. Ofta definieras biologisk mångfald som "summan av alla gener, arter och ekosystem i en region" och drivs av evolutionen genom slumpvisa mutationer.

Livet uppstod på jorden för senast omkring 3,5 miljarder år sedan genom en process som fortfarande inte är kartlagd. Under de första 3 miljarder åren fanns endast relativt enkla livsformer på jorden; komplext liv uppkom inte förrän för cirka 600 miljoner år sen. Under en relativt kort tidsperiod som kallas för den kambriska explosionen för 540 miljoner år sen (sannolikt endast 5–20 miljoner år lång) utvecklades komplexa livsformer i en takt och omfattning som är unik i jordens historia.

Tillväxthastigheten i antal arter kan i haven beskrivas med en logistisk funktion:

$$N(t) = \frac{AN_0 e^{rt}}{A + N_0 (e^{rt} - 1)} \quad (4.1)$$

där r är tillväxthastigheten för uppkomsten av nya arter, som drivs av mutationer och specialisering i ekologiska nischer. Antalet arter vid tidpunkten t_0 anges som N_0 , medan A är den evolutionära bärformågan, vilket är en begränsande faktor. En logistisk tillväxt är till en början exponentiell, men avtar sedan, för att så småningom mattas av vid någon jämviktsnivå.

Livet på land däremot, uppvisar generellt en exponentiell tillväxt i antal:

$$N(t) = N_0(1 + r)^t \quad (4.2)$$

där N_0 är antalet arter vid tidpunkten t_0 och där r är tillväxthastigheten för uppkomsten av nya arter. Sedan den kambriska explosionen har den totala biologiska mångfalden på jorden således i allmänhet ökat, men vid fem tillfällen har det inträffat massutdöenden då mer än 50 procent (ibland upp till 90 procent eller mer) av alla djurarter på jorden dött ut. Den senaste av dessa ägde rum för 65 miljoner år sen, då bland annat dinosaurierna dog ut som en följd av ett asteroidnedslag. En sjätte sådan period pågår just nu. Takten med vilken arter dör ut är just nu omkring 100 gånger högre än den naturliga takten, beroende på människans påverkan (bland annat genom utsläpp av miljögifter, undanträngning av biotoper, klimatförändringar, överutnyttjande, osv.). Om denna takt fortsätter utan förändring beräknas enligt vissa studier 30 procent av alla arter på jorden ha försvunnit år 2050.

I dag uppskattas det finnas omkring 9 miljoner arter på jorden, varav 2 miljoner lever i haven. Den biologiska mångfalden är störst på land, och störst i regioner där det finns rikligt med värme, solljus, vatten och näringsämnen. I jordens regnskogar finns dessa i rik tillgång, och de är också de artrikaste områdena man känner till, vilket även beror på en extremt stabil miljö med begränsad variation (av temperatur, nederbörd etc.) över dygnet, året och under längre perioder. I regnskogarna är graden av specialisering extremt hög, och en del arter existerar endast inom mycket små begränsade områden.

Genom den biologiska mångfalden produceras ett antal ekosystemtjänster direkt eller indirekt. Dessutom har tillgången på genetisk information i sig ett värde, som förstörs om den biologiska mångfalden reduceras. Till exempel är många av de läkemedel, kemiska substanser och tekniska lösningar som vi i dag tar för självklara utvecklade genom *biomimetik*, dvs. man har utgått från biologiska förebilder i naturen för att ta fram en teknisk produkt.

De viktigaste hoten mot biologisk mångfald i dag utgörs av:

- Destruktion av habitat
- Introduktion av arter i nya miljöer
- Överexploatering
- Klimatförändringar
- Överbefolkning.

Det finns strategier för hur industri, jordbruk, fiske och så vidare kan skötas utan att den biologiska mångfalden behöver förstöras, ofta utan att den kortsiktiga merkostnaden behöver vara särskilt stor. Historiskt har detta gjorts endast i undantag, vilket i stor utsträckning beror på en brist på kunskap om vikten av biologisk mångfald.

Den planetära gränsen för biologisk mångfald har numera vida överstigit eftersom antalet arter som dör ut på grund av mänskliga aktiviteter är alldeles för hög. Det är svårt att beräkna ett tröskelvärde, men siffran måste sänkas för att minska risken för att en tröskel passeras.

ÖVERGÖDNING

Varje år, på sommarhalvåret, sker en algblooming i Östersjön och i andra kustnära hav. Ytvattnet färgas grönt av encelliga mikroalger: först kiselalger på våren och senare cyanobakterier (även kallade blå-gröna alger) på sommaren. Detta är en naturlig process och beror på att näringsämnen som följer med floder och älvar ut från havets avrinningsområden ackumuleras under vintern, och att livsvillkoren under kort tid övergår till optimala för mikroalgerna när vattnet värms upp.

För kiselalgerna krävs god tillgång till både nitrater (kväve) och fosfater (fosfor), medan cyanobakterierna kan tillgodogöra sig kväve från luften och därför har en konkurrensfördel när kvävetillgången så småningom blir begränsad. I naturen råder en balans mellan tillväxten av mikroalger och de djur som lever på dessa, men när tillgången på näringsämnen ökar markant blir tillväxten av alger större än ekosystemen hinner absorbera. Detta medför att mängder med döda mikroalger så småningom samlas på havsbotten. När dessa bryts ned av bakterier förbrukas syre, vilket leder till syrefria bottenar och minskande fiskbestånd. Dessutom producerar cyanobakterierna gifter som i alltför stora mängder stör de etablerade ekosystemen och ytterligare minskar deras produktionsförmåga.

Östersjön mottar 30 000 ton fosfor och en miljon ton kväve varje år genom tillrinning från flodsystemen i avrinningsområdet. I detta område lever omkring 85 miljoner människor och de verksamheter som sysselsätter dessa – såsom industrier, trafik och jordbruk – leder till att utsläppen av fosfor och kväve vida överstiger de naturliga nivåerna: de är omkring fyra gånger högre än vad som tillförs från de naturliga systemen vilket är betydligt mer än vad de naturliga systemen har möjlighet att absorbera genom resiliens. Ett effektivt sätt att minska produktionen av cyanobakterier är att minska utsläppen av fosfor. Det råder dock inte konsensus kring huruvida det räcker med att endast begränsa fosforutsläppen, eftersom tillgång på kväve gynnar andra alger som blommar,

med syrefria bottnar som följd, vilket paradoxalt nog frigör fosfor från dessa bottnar – så en minskning av utsläppen av fosfor kan i värsta fall vara gynnsam för cyanobakterierna. Mycket tyder därför på att utsläppen av både fosfor och kväve måste minskas radikalt.

Det finns både punktkällor och diffusa (utspridda) källor till näringsämnen. Exempel på punktkällor är reningsverk och vissa industrier (t.ex. massa- och pappersbruk), där det i dag är kostnadseffektivt att sätta in rening, om så inte redan har skett. De flesta stora punktkällorna i Sverige är försedda med rening, men det återstår mycket att göra i andra länder runt Östersjön, och runt om i världen. Enskilda avlopp från privatfastigheter och utsläpp från fartyg sker fortfarande ofta helt utan eller med endast begränsad rening. Jordbruket och skogen står också för en betydande andel av utsläppen, genom att näringsämnen sköljs ut genom avrinningen till havet. Andra viktiga källor till utsläppen av näringsämnen är vägtrafiken, som genom utsläpp av kväveoxider bidrar till kvävetillgången, och dräneringen av våtmarker, som annars fungerar som naturliga filter för näringsämnen.

OZONSKIKTSFÖRTUNNING

Det ljus som solen sprider i rymden, av vilket en bråkdel träffar jorden, upptar hela det elektromagnetiska spektrumet, varav många våglängder är direkt skadliga för biologiskt liv. Jordens atmosfär absorberar alla våglängder som därmed hindras från att nå jordytan, utom radiovågor och synligt ljus, som inte är farliga. Absorptionsprocessen ser väldigt olika ut för olika våglängder, men för kortvågigt ultraviolett ljus (särskilt i våglängderna mellan 200 och 315 nm) är det molekylen ozon (treatomigt syre, O_3) som effektivast absorberar strålningen. Ozon förekommer i relativt höga halter i stratosfärens nedre del (på 15–30 km höjd).

Vissa kemiska föreningar har en starkt ozonnedbrytande effekt. Särskilt utsläpp av freoner (klorfluorkarboner) har bidragit till att skiktet av ozon i stratosfären förtunnats. Freoner används som köldmedier och var tidigare vanliga i kylskåp. Eftersom de inte är giftiga, inte reagerar lätt med andra ämnen och inte är brännbara hann de få stor spridning innan de negativa effekterna på ozonskiktet blev kända: freoner har använts som drivgas i sprejflaskor, i medicinska applikationer och som lösningsmedel. På grund av dessa egenskaper är de även extremt långlivade i naturen, och de freoner som hittills har släppts ut kommer att fortsätta att katalysera en nedbrytning av ozon i stratosfären i över 100 år.

Konsekvensen av ozonskiktsförtunningen är att en större andel av särskilt UVB-strålningen från solen (280–315 nm) når jordytan, vilket redan anses ha resulterat i ett förhöjt antal hudcancerfall. Vidare riskerar produktiviteten för många av de viktigaste jordbruksgrödorna att bli lägre. Även effekter på andra organismer har observerats, t.ex. har en kraftig ökning av hudskador observerats hos en population av valar i Californiaviken, som förklarats med ökad utsatthet för UVB-strålning på grund av ett tunnare ozonskikt.

Även om den fulla omfattningen av konsekvenserna av freonutsläppen och den därmed följande ozonuttunningen inte är kända, har den internationella hanteringen av ozonfrågan ofta lyfts fram som ett lyckat exempel på hur världssamfundet kan samla sig i stora och svåra globala miljöfrågor och enas om och genomföra åtgärder. En serie förbud i olika länder under 1970- och 1980-talen medförde att världsproduktionen av freoner sjönk kraftigt och i Montrealprotokollet från 1987 konkretiseras hur ozonnedbrytande ämnen ska fasas ut. Samtliga medlemsländer i FN har ratificerat Montrealprotokollet, som har beskrivits av FN:s före generalsekreterare Kofi Annan som "kanske den mest framgångsrika internationella överenskommelsen någonsin".

FÖRSURNING AV HAVEN

Koldioxid (CO_2) är löslig i vatten (H_2O), varvid den bildar kolsyra (H_2CO_3), som är en svag syra. Eftersom luften normalt innehåller en viss mängd koldioxid har haven genom årtusendena löst upp en del av den, och innehåller därför naturligt en liten andel kolsyra. Om halten av koldioxid i atmosfären däremot ökar, så ökar också den andel som löses i havsvatten eftersom atmosfären växelverkar med havet. Detta medför att haven försuras.

Den kanske allvarligaste effekten av försurningen av haven är att syran löser upp kalk, vilket gör att organismer som bygger skal av kalk får svårare att överleva. Koraller är ett exempel: med den försurning som hittills har konstaterats, i kombination med en allmän höjning av ytvattentemperaturen, har redan i dag stora områden av tidigare livskraftig korall dött eller är på väg att dö. Ett annat exempel är plankton, som också bygger skal av kalk och utgör basen för de flesta marina näringskedjorna.

Man räknar med att ungefär 25 procent av utsläppen av koldioxid, som framför allt kommer från förbränning av fossila bränslen, absorberas av haven och bidrar till försurningen. Redan i dag är haven omkring 30 procent surare än för 200 år sen, och surhetsgraden kan öka med

ytterligare 100–150 procent under de närmaste 100 åren. Atmosfären har förvisso haft högre halter av koldioxid vid tidigare tillfällen i jordens historia än den har för närvarande, och haven har sannolikt varit ändå surare, men det som är unikt med den ökning som nu äger rum är den oerhört höga takt som den sker med – alldeles för snabbt för att arter och ekosystem ska hinna anpassa sig.

Det är i dag oklart hur allvarliga följderna för de ekologiska och ekonomiska systemen kommer att bli på grund av havsförsurningen, men mycket tyder på att denna konsekvens av förbränningen av fossila bränslen kan komma att få allvarliga återverkningar ändå snabbare än klimatförändringarna. Åtgärder för att begränsa och minska effekterna av försurning går hand i hand med åtgärder för att minska klimatpåverkan, men effekterna kan stanna kvar länge eftersom havscirkulations-systemet fungerar på tidsskalor som mäter i tusentals år. Den kolsyra som löses i havet riskerar därför att finnas kvar mycket länge.

GLOBAL FÄRSKVATTENANVÄNDNING

En femtedel av världens befolkning lever i områden där det råder vattenbrist (som även kallas **vattenstress**) och tredjedel av världens befolkning har inte tillgång till rent dricksvatten.

En människa behöver dricka ungefär 2–5 liter vatten per dag, beroende på var man bor. På de flesta håll i Sverige kan man tycka att tillgång till rent färskvatten är en självklarhet – det är bara att vrida på kranen (även om vattenförsörjningen på vissa ställen inte är lika självklar, t.ex. på Gotland, Öland, på många håll i skärgårdarna och längs kusterna). I ett genomsnittligt hushåll i Sverige använder varje individ 168 liter vatten per dag, varav knappt 10 liter används i dryck och för matlagning. Räknar man dessutom samman hur mycket vatten som används i industrin, inom jordbruket med mera, används i Sverige cirka 800 liter färskvatten per person, varje dag. På många håll i världen är motsvarande siffra nedåt 10 liter per person och dag. Detta betyder naturligtvis inte att det är fel att använda stora mängder vatten i Sverige, där resursen finns i rik tillgång (Sverige har en komparativ fördel i vattenintensiva verksamheter). Dock kan det vara intressant att reflektera över att det går åt 2–4 liter rent dricksvatten varje gång vi spolat toaletten.

Planeten jorden är en vattenplanet: 71 procent av dess yta är vatten – totalt cirka $1,3 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$. För 50 år sedan betraktades vatten som en outtömlig resurs, och vattenbrist var endast ett begrepp som användes för att beskriva situationen i områden med exceptionella förhållanden. Numera finns det mer än dubbelt så många människor på jorden, som

dessutom är rikare, äter mer kött och driver intensivare industrier. Man beräknar att två tredjedelar av världens vattenanvändning går till konstbevattning och matproduktion i torra områden, där det kan gå åt 2 000–3 000 liter vatten för att producera mat motsvarande det dagliga näringsbehovet för en person. Trots den oerhörda mängden vatten som finns på jorden, är tillgången på vatten ändå en bristvara, och många geopolitiska konflikter har sin grund i tillgången till vattenresurser. Av denna mängd är det endast 3 procent som utgörs av färskvatten, resterande är havsvatten. Av färskvattnet är två tredjedelar bundet i glaciärer och en tredjedel utgörs av grundvatten; endast 0,3 procent av världens färskvatten utgörs av ytvatten i sjöar och floder.

Behovet av rent vatten är ett mänskligt basbehov, och knappheten i färskvatten på en del håll är en innovationsdrivande kraft. Det finns flera goda exempel på innovativa vattenreningsprodukter, och det kommer nya sådana varje år. Det är även möjligt att använda havsvatten för bevattning och som dricksvatten om det avsaltas först, vilket kan göras med omvänd osmos. Kostnaderna för att avsalta havsvatten har drivits ned väsentligt under de senaste årtiondena, och priset på avsaltat havsvatten i Israel (som är ett land där vattenförsörjningen är en viktig fråga) är i dag nere i en nivå på cirka fyra gånger vattenpriset i Sverige. Det har länge varit accepterat att den energi som behövs för att avsalta havsvatten genom omvänd osmos är alldeles för hög för att motivera att det görs i stor skala – särskilt som att det finns ett stort behov av generella energibesparingar – men detta kan i dag ifrågasättas eftersom energiåtgången också har gått ner kraftigt, tack vare att ny teknik har utvecklats på detta område.

LANDANVÄNDNING

Hur mark används har en stor inverkan på hur tillgången på olika naturresurser förändras, såsom vatten, jord, näringsämnen, samt tillväxt i ekosystemen. Information om markanvändning kan användas för att utveckla lösningar för hanteringen av naturresurser. T.ex. kommer vattenförekomsten och vattenkvaliteten i en region drabbad av erosion på grund av kalhyggen att se helt annorlunda ut än på områden som är täckta av skog. Avskogning är sannolikt den viktigaste förändringen av markanvändning, åtminstone på tempererade breddgrader, som följd av röjning för jordbruk och/eller urbanisering. Effekter av förändrad markanvändning kan ha negativa effekter på naturens produktionsförmåga t.ex. genom jorderosion, försaltning och ökenspridning.

Degradering av markresursen kan förvärras om det saknas fysisk planering för hur samhället utvecklas, eller om ekonomiska och juri-

diska incitament är utformade så att de leder till överutnyttjande av markresurser. Resultatet kan bli försämrade förutsättningar att försörja den egna befolkningen samt att värdefulla ekosystem förstörs. Strategier för att kompensera och vända en sådan utveckling bör inkludera tekniker för planering och förvaltning av markresurser som är integrerande och holistiska samt tar med markanvändarna i processen.

KEMISKA FÖRORENINGAR

Utsläpp av kemiska föroreningar till luft, mark och vatten kan vara skadliga för organismers funktioner, såväl för människor som för djur och växter i naturen. Miljögifters farlighet för natur och hälsa är en funktion av deras spridningsförmåga, nivån av giftighet samt den takt med vilken de bryts ned i naturen.

Olika åtgärder för att förhindra användandet och spridningen av miljögifter har genomförts allsedan 1960-talet, då problemen på allvar började uppmärksammas. Några av de allvarligaste miljögifterna är historiskt PCB, DDT och olika tungmetaller som t.ex. bly, kadmium och kvicksilver. De farligaste miljögifterna är i dag reglerade, men fortfarande är den potentiella farligheten en stor andel av de ämnen som används i samhället outforskade.

Ibland förespråkas den så kallade **försiktighetsprincipen**, som innebär att ett ämne ska betraktas som farligt tills dess att det har bevisats ofarligt. Detta kan vara en sund princip att tillämpa i många fall, men ett ämnens påstådda eller potentiella farlighet måste även balanseras med dess ekonomiska värde och vilka alternativen är. Ibland kan även en sådan princip leda till att ämnen som befaras ha en negativ hälso- och/eller miljöpåverkan förbjuds eller regleras och ersätts med ämnen om vilka sådan kunskap saknas, varigenom en förhastad lagstiftning kan göra det potentiella problemet värre. Som i så många andra fall krävs det således ett omfattande analysarbete och ett vetenskapligt förhållningssätt för att konstruera ett genomtänkt och förnuftigt regelverk för hantering och användning av kemikalier.

PARTIKLAR (AEROSOLER) I ATMOSFÄREN

En **aerosol** är en partikel som är så liten att den kan bäras upp av en gas utan att falla ur. Sådana partiklar är ofta omkring en nanometer till en mikrometer stora, men större partiklar kan också förekomma. Exempel på aerosoler är rök, dimma och luftföroreningar.

Aerosoler kan avskiljas med hjälp av partikelfilter, varför det ofta har visat sig vara fullt möjligt att få bukt med smogproblemen i många storstäder genom krav på rökgasrening från fabriker och kraftverk.

I atmosfären utgör förekomsten av partiklar kondensationskärnor för vatten, vilket bidrar till molnbildning. Eftersom moln, genom att reflektera inkommande solljus, har en avkylande effekt på klimatet bidrar förekomsten av aerosoler negativt till växthuseffekten. Eftersom aerosoler släpps ut genom förbränning, och förbränning huvudsakligen sker med fossila bränslen i dag, bidrar förbränning *både* till en ökad växthuseffekt (genom utsläpp av koldioxid) *och* en minskad växthus-effekt (genom utsläpp av aerosoler). Det första bidraget är visserligen större, men kompenseras i dag delvis av utsläppen av aerosoler. I och med att rökgasrening blir allt bättre minskar dock utsläppen av aerosoler – med förbättrad luftkvalitet och hälsa som följd i storstäderna – vilket även leder till att den kompenserande effekten minskar. Bättre rökgasrening kan därför komma att bidra till växthuseffekten.

4.3 Sociala gränser

För en social hållbarhet krävs att åtgärder vidtas för att säkerställa ett långsiktigt stabilt och dynamiskt samhälle som uppfyller mänskliga rättigheter, trygghet samt begränsar fattigdom. Social hållbarhet handlar om frihet och demokrati, hälsa, utbildning, arbetsmiljö samt frihet från fattigdom och diskriminering. Det finns många kopplingar mellan social hållbarhet och ekologisk och ekonomisk hållbarhet, men sammanfattningsvis kan sägas att den sociala hållbarheten slår vakt om det mänskliga perspektivet – om individen. Exakt vilka lösningar man finner för att tillfredsställa den sociala hållbarheten beror naturligtvis på värderingar, åsikter och inte minst på politisk ideologi.

ÅT RÄTT HÅLL

Världen är ur detta perspektiv kanske inte speciellt socialt hållbar i dag, men även om hälften av världens befolkning fortfarande lever i mer eller mindre auktoritära stater (vilket dock kan definieras på olika sätt) så kan man även se en positiv trend. Många av problemen med auktoritära regimer, konflikter och fattigdom kan spåras till det postkoloniala arvet, men samtidigt genomgår många av världens länder just nu en imponerande utveckling mot en högre nivå av välfärd. Några av de största hindren för en socialt hållbar utveckling är bristande demokratiska