NATURVIDENSKAB FOR ALLE

BÆREDYGTIG UDVIKLING

– DET ØKOLOGISKE FODSPOR

1. ÅRGANG NR. 1 / 2006

Bæredygtig udvikling:

Definition:

En bæredygtig udvikling er en udvikling, som opfylder den nuværende generations behov uden at bringe fremtidige generationers muligheder for at opfylde deres behov i fare.

FNs Verdenskommision for miljø og udvikling, Brundtlandrapporten Vores fælles fremtid, 1987

To små levedygtige børn dør hvert minut af diarré, som skyldes forurenet vand og manglende kloakering mange steder i Afrika og Asien. Halvdelen af verdens befolkning lever for under 12 kr. om dagen, mens en almindelig dansker har 450 kr. I Kina er der både børn og voksne, som hver dag bliver syge af deres arbejde med at genbruge metaller og afbrænde plastic fra brugte mobiltelefoner og computere. *Det er vel ikke rimeligt?*

I Skandinavien startede man på at kloakere byerne for 150 år siden, og det gav en stor forbedring af sundhedstilstanden i byerne. Men kloakvandet blev stadig ledt urenset ud i søer og vandløb indtil for 50 år siden, hvor man byggede rensningsanlæg. Mange af de gødningsstoffer og giftstoffer, som blev udledt for mere end 50 år siden, findes stadigt i søer og havområder og vanskeliggør livsbetingelserne for planter, fisk og vandfugle. *Handlede de rimeligt for 150 år siden?*

Der vil næppe være megen olie tilbage til de næste generationer, fordi mennesker formentlig har afbrændt størstedelen af verdens olie inden udgangen af dette århundrede. Til den tid vil vi sandsynligvis også have fordoblet atmosfærens indhold af CO_2 med risiko for varige klimaændringer for de næste generationer. *Er det rimeligt?*

FN har lavet en målsætning om, at alle verdens lande skal arbejde på en udvikling, som opfylder basale behov som bl.a. mad, sundhed, uddannelse og sikkerhed for alle de 6,4 milliarder mennesker i verden i dag, men også for de mere end 9 milliarder mennesker, som vi formentlig vil være om 50 år og for kommende generationer.
Det kaldes en bæredygtig udvikling.

Er FNs målsætning om en bæredygtig udvikling rimelig? Og hvad ligger der helt præcist i begrebet? Vi kan vel ikke blive uenige om, at vi skal sørge for vores

Hvad er sandt og hvad er falskt, hvad er ret og rimeligt?

Vi efterlader faktisk kloden som et bedre sted at leve på end da vi modtog den. … De børn, der fødes i dag – både i de industrialiserede lande og i udviklingslandene – vil komme til at leve længere og være sundere … – uden at klodens miljø ødelægges.

Bjørn Lomborg

Bjørn Lomborg er cand. sci. pol. og Ph. D. Han var direktør for Institut for Miljøvurdering 2002-2005

Hvordan finder vi ud af, hvem der har ret?

børns fremtid og måske også vore børnebørns, men hvad med vores efterkommere om flere hundrede år? Skal vi skrotte bilen og i stedet for tage cyklen for at spare på olien og mindske CO_2-belastningen, eller skal vi krydse fingrene og håbe på, at man finder nye energiteknologier, når olien engang er brugt op?

Beslutningerne bliver ikke nemmere af, at vi den ene dag hører, at vores CO_2-udsendelse vil forårsage voldsomme klimaændringer allerede i dette århundrede, og den anden dag hører, at eventuelle klimaændringer ikke har så meget med CO_2 at gøre, men at de især skyldes naturlige processer, som mennesker ikke har nogen indflydelse på. – *Hvad er sandt og hvad er falskt?*

114 lande i verden tror så meget på argumenterne for, at CO_2 vil ændre klimaet, at de i 2005 har ratificeret Kyoto-aftalen, som forpligter landene til kostbare reduktioner af CO_2-udsendelsen. Hvad er det for argumenter, som overbeviser dem, og hvad er det for nogle argumenter, som får andre til at hævde, at man får meget lidt klimaforbedring og dermed bæredygtig udvikling for de penge, der bruges på at opfylde kravene i Kyoto-aftalen?

Hvordan måler man i det hele taget bæredygtig udvikling? Hvordan kan vi om 10 år måle, om vi i dag har bevæget os i en bæredygtig retning?

Hvad er det ret og rimeligt for den enkelte at gøre i lyset af denne usikkerhed?

Selv om vi er blevet bedre til at klare miljøskader og gøre vores produktion mindre energikrævende, er det stadig et kæmpespørgsmål, om kloden i det hele taget er i stand til at absorbere de forøgelser, der skal til for at få noget, der bare ligner dansk standard for de hen ved ni milliarder mennesker, vi bliver om halvtreds år.

Sven Burmester

Sven Burmester er forfatter og cand. scient. Han har bl.a. været vicedirektør i Verdensbanken og leder af FN´s befolkningsfond i Kina og Nordkorea.

Det økologiske fodspor

Skoen trykker!

Hvor stort et areal skulle glashalvkuglen dække, hvis Danmark skulle opretholde sit nuværende forbrug udelukkende på de økosystemer, som ligger under den?

Så hvordan finder man ud af, om noget er bæredygtigt? Hvordan man selv kan gøre en forskel? Og hvordan kan man måle, hvor stor forskellen egentlig er?

Brundtland kommissionens definition på bæredygtighed virker jo simpel. Ud fra definitionen alene er det bare ikke så let at afgøre, om noget er bæredygtigt. Det er lidt ærgerligt, for i praksis kunne det jo være godt at vide, om det fx er bæredygtigt at køre i bil, at tale i mobiltelefon eller at spise økologiske grønsager. Det viser sig faktisk at være umuligt at afgøre præcist, hvad der er bæredygtigt og hvad der ikke er.

En af grundene er, at vi ikke kender den fulde effekt af de aktiviteter, vi udøver i dag. Et godt eksempel er den menneskeskabte drivhuseffekt, hvor alle er enige om, at den eksisterer, men til gengæld meget uenige om følgerne. Vi ved heller ikke hvilke teknologier, der bliver til rådighed i fremtiden. Hvis man i fremtiden for eksempel blev i stand til at udnytte solens energi effektivt, så kunne det måske være bæredygtigt at køre i biler drevet af brint. Men hvis det ikke lykkes, så opbruger bilkørsel vores begrænsede fossile ressourcer. Da de fossile ressourcer, kul, olie og naturgas, er absolut nødvendige i dagens samfund, så mindsker vores nuværende aktiviteter altså fremtidige generationers muligheder for at opfylde deres behov. Derfor er det ikke bæredygtigt at køre i bil i dag.

Da vi ikke kan spå om fremtiden, så kan vi i stedet prøve at se, hvad der er bæredygtigt i et samtidsperspektiv. Til dette formål har vi brug for en størrelse, der kan vise, om noget i dag er bæredygtigt eller ej. Og måske vigtigere endnu, en størrelse, der kan sige, om noget er mere eller mindre bæredygtigt end noget andet. Her er det økologiske fodspor et godt, visuelt begreb.

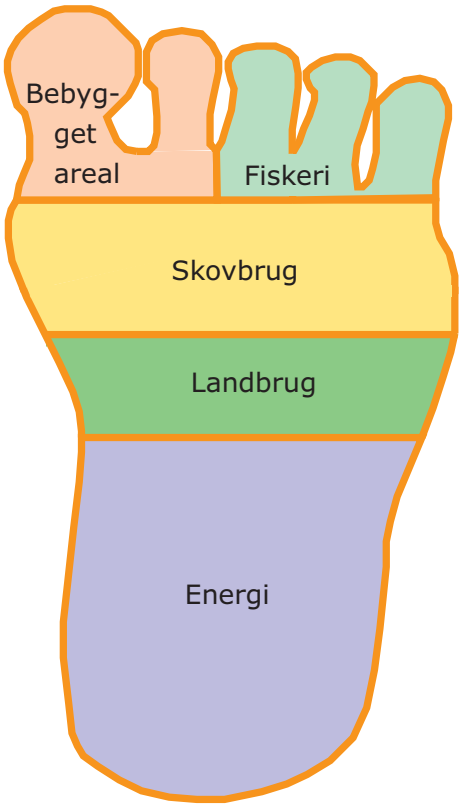
I al sin enkelhed så beskriver det økologiske fodspor, hvor stor en del af kloden hvert enkelt menneske beslaglægger med sine aktiviteter. Som illustration kan man forestille sig, at man placerer en halvkugle over en by, således at der kun transporteres sollys igennem halvkuglen. Det areal af jorden, som halvkuglen skal dække for at livet kan opretholdes uændret for alle byens beboere, er defineret som byens økologiske fodspor.

Selvom definitionen på det økologiske fodspor lyder simpel, så er det ikke nemt at beregne det præcist. Derimod kan man hurtigt lave meget gode overslag og bruge dem til sammenligninger. Det økologiske fodspor er altså ikke et præcist mål for bæredygtighed, men derimod en indikator for bæredygtighed.

Inden vi prøver at udregne økologiske fodspor, er det værd at se på, hvor meget plads hver person har til rådighed i Danmark, hvis vi antager, at pladsen fordeles ligeligt. Danmarks landareal er på ca. 43.000 km^2 og indbyggertallet er omkring 5,4 millioner mennesker. Med andre ord så har hver dansker godt 8.000 m^2 (0,8 ha) til rådighed. Hvis vores økologiske fodspor er større end 0,8 ha, så kan man vel sige, at skoen trykker.

Er der plads til alle danskernes økologiske fodspor i Danmark, eller træder vi på andre lande?

Fra levefod til fodspor:



Hovedbidrag til det økologiske fodspor.

Praktisk taget alle de aktiviteter, vi engagerer os i hver eneste dag, bidrager på den ene eller anden måde til vores økologiske fodspor. Når vi tænder for varmen, forbruger vi olie, som kommer fra et oliefelt og samtidig producerer vi CO_2, der ledes ud i atmosfæren og skal optages af planter ved fotosyntese. Begge dele beslaglægger lidt af vores planet.

Når vi spiser tomater, så bruger vi en lille smule af en tomatmark i Spanien eller et drivhus på Fyn. Faktisk er det lidt mere kompliceret, for der svarer nemlig også et vist areal til emballagen om tomaterne, hvad enten det er pap eller det er en konservesdåse. Den er fremstillet ud fra et ganske lille areal skov eller fra et område med jernmalm.

Der er også brugt energi til at varme det fynske drivhus op, til fremstilling af gødning, til udsmeltning af dåsen og til at transportere tomaterne til supermarkedet, hvad enten de kommer fra Spanien eller Odense – og også energi til at holde tomaterne kølige eller konservere dem, og til at hente dem hjem fra supermarkedet.

Hver gang har vi brugt lidt olie og produceret lidt mere CO_2. Faktisk har det hele også krævet en lille smule plads på vejene og i supermarkedet – og dagen efter måltidet bruger vi også lidt af rensningsanlægget. Det er en næsten umulig opgave at beregne fodsporet helt præcist. Derfor er det vigtigt at finde de største bidrag til fodsporet, lave nogle rimelige gæt, hvis man ikke kender alle data præcist, og så lave en beregning ud fra dem.

Der er fire hovedbidrag til en persons økologiske fodspor, nemlig:

- Bebyggelsesareal (huse, haver, veje etc.)
- Skovareal (byggematerialer, papir, møbler etc.)
- Fødevareareal (landbrugsprod., havareal til fiskeri)
- Energiareal (samlet energiforbrug, også til byggeri og fødevareproduktion)

Tal og tilnærmelser

Der er store forskelle på forskellige områders produktivitet. Ørkener og polarområder producerer ingen biomasse overhovedet. Skovarealer er normalt ikke så produktive som kornmarker, dvs. at 1 ha skov producerer mindre biomasse end 1 ha kornmark, og en kornmark i Danmark er også mere produktiv end en kornmark i Zambia.

Det giver derfor ikke umiddelbart mening at sammenligne arealforbruget for en person i Zambia og en dansker, fordi 1 ha i Danmark måske giver et større udbytte end 1 ha i Zambia. I de professionelt udførte beregninger af økologisk fodspor omregnes arealerne derfor til globale ha, som kan sammenlignes, ligesom man omregner danske kroner og engelske pund til euro, hvis man skal sammenligne priser i EU-landene.

En global ha er et mål for verdens gennemsnitlige biomasseproduktion på 1 ha i de områder på Jorden, hvor der findes en produktion af biomasse, der kan udnyttes. På hele Jorden vurderer man, at arealet af det biologisk produktive areal er $11{,}4 \cdot 10^9$ ha. Fx er 1 ha mark i New Zealand lig med 3,8 globale ha. På den måde har man beregnet, at der er 3,5 globale ha til rådighed for hver dansker, selv om der faktisk kun er 0,8 ha landareal. Forskellen skyldes, at jorden i Danmark er meget produktiv, og at havarealet til fiskeri er medregnet.

Beregningerne af danskernes økologiske fodspor for 2001 viser, at hver dansker i gennemsnit havde et fodspor på 6,4 globale ha, og det var det fjerde største i de 25 EU-lande. Men kan det overhovedet passe, når der i Danmark kun er plads til ca. det halve, nemlig et fodspor på 3,5 globale ha? Det betyder i praksis, at enten overforbruger vi af jordens ressourcer, eller også er der andre steder på jorden, hvor det økologiske fodspor er meget lille. Eller begge dele?!

Vi vil i de følgende afsnit nærmere undersøge, hvorfor danskernes fodspor er så højt. Men for at gøre beregningerne enklere vil vi regne i almindelige ha. Det betyder, at tallene ikke direkte kan sammenlignes med de professionelle beregninger. Men de arealer, vi når frem til, kan sammenlignes med, at der er 8.000 m^2 eller 0,8 ha landareal til rådighed for hver dansker, hvis vi fordelte al jord lige mellem alle danskere. I enkelte tilfælde vil vi angive tal i globale ha, men så vil det klart fremgå.

Det økologiske fodspor defineres for én person som:

"det areal, der er nødvendigt for at tilvejebringe de ressourcer, personen forbruger, og til at bortskaffe det resulterende affald"

Biomasseproduktion i skove	globale ha / ha
Verden - gennemsnit	1,4
Ungarn	4,1
Japan	2,2
Zambia	0,4

Bebyggelser
– en synlig del af det økologiske fodspor

Bebyggelse i form af huse, motorveje, broer, villaveje, gågader, virksomheder, skoler, offentlige bygninger osv. udgør 1.535 m^2 pr. dansker. Det er den del af vores fodspor, som det umiddelbart er let at få øje på. I praksis er det i første omgang ret let at opregne den del af ens økologiske fodspor, der kan tilskrives ens bolig. Her gør det selvfølgelig voldsom forskel, om man bor 4 mennesker i lejlighed på 60 m^2 i et 30 etagers hus, eller om man bor alene i en villa med en 1.000 m^2 grund.

Vi kan altså påvirke det økologiske fodspor i den rigtige retning ved alle at bo i skyskrabere i byer i stedet for på gårde på landet – men det har måske andre ulemper?

Oven i boligarealet kommer desuden et areal på 190 m^2, svarende til den andel af vejene, parkeringspladserne, fortovene og cykelstierne, som man optager. Det er klart, at hvis man cykler hver dag, så bruger man mindre af vejene end hvis man kører i bil. Og oven i disse tal skal der yderligere lægges en andel af de offentlige bygninger i byen, såsom rådhus, hospital og bibliotek. Endelig bruger man jo også en vis del af arealet på sin arbejdsplads eller sin uddannelsesinstitution.

Hvor ligger de danske skove?

Danskernes forbrug af produkter fra skove udgør 28% af vort samlede fodspor (målt i globale ha). Det er i hvert fald ikke juletræet, der giver det største bidrag, så der må åbenbart være andre væsentlige grunde til, at skovareal udgør en stor del af det økologiske fodspor.

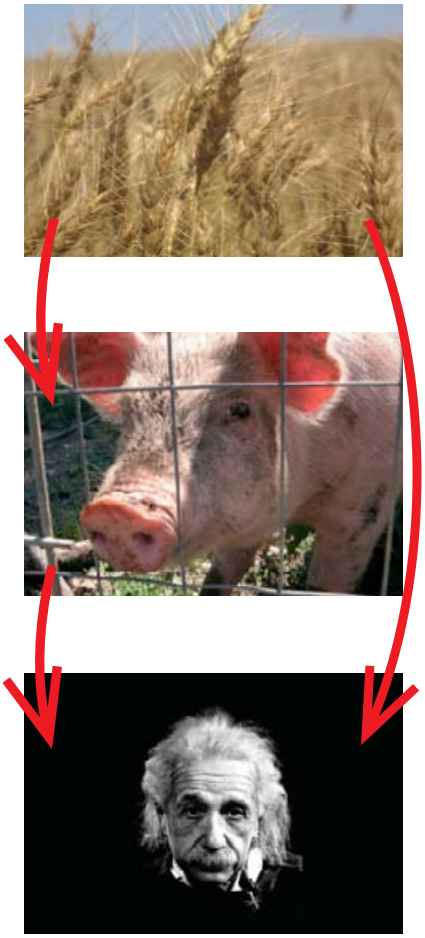
Der er to dominerende faktorer, der forklarer den væsentligste del af skovarealets anvendelse. Det er byggematerialer og forbrugsvarer, primært møbler og papir, herunder bøger, aviser og magasiner. En enkelt stor søndagsavis har fx et fodspor på ca. 5 m^2. Et års forbrug af søndagsaviser kræver derfor ca. 250 m^2.

Mængden af træ der bruges til byggematerialer afhænger af, om man bor i et murstenshus eller et træhus, men selv i et murstenshus bruges der en del træ. Der findes desuden lande i verden, hvor næsten alle huse opføres i træ, mens man andre steder næsten udelukkende bruger mursten. På den måde kan andelen af det økologiske fodspor, som tilskrives skovareal, variere meget fra person til person og særligt fra land til land. Det er dog tankevækkende, at den del af danskernes økologiske fodspor (globale ha), der stammer fra forbrugsvarer lavet ud fra træ, er syv gange så stort som det areal (globale ha), vi beslaglægger til bebyggelse.

Men de danske skoves areal er faktisk kun omkring halvt så stort som det bebyggede areal. Hvordan hænger det sammen? Det skyldes selvfølgelig, at vi importerer meget træ og papir fra andre lande, og her ser vi så noget af forklaringen på, at danskernes fodspor er større end det areal, der er til rådighed i Danmark. Vi bruger skovarealer i bl.a. Sverige og Asien.

Skovene producerer træ til bl.a. huse og papir.

Mad har fodspor



Fødekæde med planter som første led og mennesket som 2. og 3. led.

Er bæredygtig mad sund mad? Er økologisk mad bæredygtigt?

Der er mange forskellige emner, det er relevant at se på i forbindelse med produktion af fødevarer. Nogle af de vigtigste er *fotosyntese*, *respiration*, *fødekædeniveau* og *gødning*.

FOTOSYNTESE

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{lysenergi} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

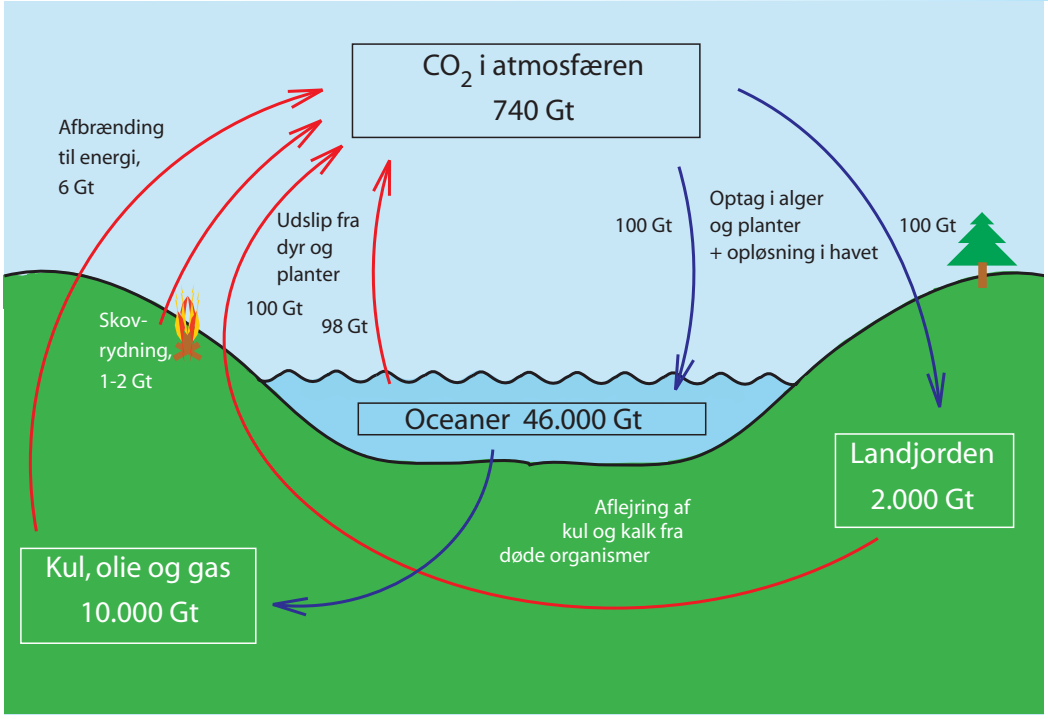
$$\text{carbondioxid} + \text{vand} + \text{lysenergi} \rightarrow \text{glucose} + \text{oxygen}$$

Den grundlæggende proces i al fødevareproduktion er *fotosyntese*. Planternes grønne klorofyl er i stand til at fange Solens energi og indbygge/binde den i organiske stoffer, fx glucose.

Hver m^2 af Danmarks areal modtager ca. 3.600 MJ energi om året fra Solen. En gennemsnitsdansker skal til sammenligning på et år have ca. 4.000 MJ. Man kunne så tro, at en person kunne klare sig med et areal på 1,1 m^2 til fødevareproduktion, men faktisk bruges der direkte et areal på mellem 2.200 m^2 og 3.000 m^2 – vi antager her 2.600 m^2 – til fødevareproduktion til en dansker.

Der er flere grunde til, at det faktiske areal er flere tusinde gange større end de 1,1 m^2. For det første er fotosyntesens nyttevirkning ikke stor, så planterne fanger kun en lille del af solenergien; i praksis kun omkring 1%. Det er denne energi, som planter bruger til at vokse. Det organiske stof i planterne bruges direkte til de næste leds produktion af organisk stof. En restdel bruges til nedbrydernes produktion og nedbrydning. Solens energi og fotosyntesen er derfor grundlaget for alt liv på jorden.

De næste led i fødekæden får organisk stof med energi fra det foregående led og bruger så en del af denne til *respiration*, hvor en stor del mistes som termisk energi, altså varme, helt på tilsvarende måde som det også er tilfældet i planten.



C-kredsløb hvor C transporteres gennem forskellige stoffer i et evigt kredsløb. Bemærk specielt C i carbondioxid i atmosfæren og C i organiske stoffer i planter og dyr i fødekæden.

Carbonlagre i Gt og omsætninger (pile) i Gt carbon/år.

RESPIRATION

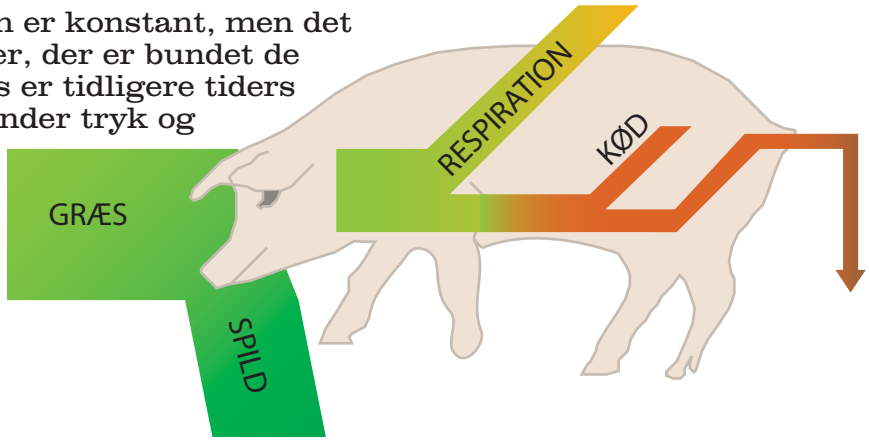
$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \rightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O + E$$

glucose + oxygen → carbon-dioxid + vand + kemisk energi og varmeenergi

Grundstoffet carbon, C, veksler således mellem placering i CO_2, $C_6H_{12}O_6$ og andre stoffer i et evigt kredsløb, samtidig med at der udveksles energi mellem organismer og omgivelser. Fotosyntese og respiration er derfor to af de væsentlige processer, som driver carbons kredsløb i naturen.

Mængden af carbon i cyklussen er konstant, men det kan variere hvor store mængder, der er bundet de forskellige steder. Eksempelvis er tidligere tiders plantemateriale blevet lagret under tryk og danner derved grundlaget for vore fossile brændstoffer. Når vi forbrænder disse, vil en større del af den samlede mængde carbon, findes som CO_2 i atmosfæren.

Skematisk gengivelse af energiomsætningen hos svin. Bredden af pilene svarer til den forholdsvise andel af energiomsætningen.



Drivhustomater Danmark	Energi MJ/kg	Frilandstomater Spanien	Energi MJ/kg	Tomater på dåse	Energi MJ/kg
Produktion	43	Produktion	8	Produktion	8
Transport til Danmark	0	Transport til Danmark med lastbil 3000 km	9	Transport til Danmark med lastbil 3000 km	9
				Kogning etc.	2
				Dåse	9
Energi i alt	43	Energi i alt	17	Energi i alt	28
Tomatenergi / Brændselsenergi	3%		8%		5%
Areal til dyrkning	0,03 m^2/kg		*)		*)
Økologisk fodspor	5 m^2		2 m^2		3 m^2

*) Data for areal til dyrkning af tomater i Spanien mangler, men det er under alle omstændigheder lille i forhold til energiarealet

Fødekæder starter altid med planter, der udfører fotosyntese. Alle organismerne i fødekæden, også planterne, udfører respiration og producerer således også CO_2 til atmosfæren. Energitabet ved respiration er som tommelfingerregel ca. 90% af energien i den indtagne føde for hvert nyt fødekædeniveau. Det betyder fx, at en ko skal spise plantefø de med et energiindhold på 10 J for at producere kød med et energiindhold på 1 J. Derfor kræver det også ca. ti gange så stort et landbrugsareal at få sit energibehov dækket med kød frem for med plantefø de.

En gennemsnitsdansker får typisk 53 % af sit energibehov dækket med vegetabilsk føde og 47 % med animalsk føde. Med disse oplysninger og oplysningerne om solindfaldet og fotosyntesens nyttevirkning (se side 10) kan vi nu beregne, at der kræves 1,1 $m^2 \cdot 100 \cdot 0{,}53 = 58$ m^2 til en persons vegetabilske føde og 1,1 $m^2 \cdot 100 \cdot 0{,}47 \cdot 10 = 517$ m^2 til den animalske føde, alt i alt 575 m^2.

Dette tal er langt tættere på det faktiske areal på ca. 2.200 m^2 – 3.000 m^2 end vores første beregning på 1,1 m^2, men stadig ca. 4 gange for lille. Afvigelsen skyldes bl.a., at vi ikke har taget hensyn til, at planterne ikke står på marken hele året, og derfor ikke udnytter Solens energi om vinteren, og vi har heller ikke fraregnet de dele på planten, vi ikke spiser. I Danmark er der faktisk et energiindhold på 10 MJ i den hvede, der vokser på 1 m^2, mens vores simple fotosynteseberegning giver et energiindhold på 36 MJ/m^2. Vi skal derfor gange vores areal på 575 m^2 med 3,6, så vi nu når op på 2.070 m^2, som ikke er så langt fra det faktiske areal på omkring 2.600 m^2.

Men de fossile brændsler, som bruges til produktion af fødevarer, har også et fodspor. I gamle dage kom madens energi næsten udelukkende fra Solen. I dag kommer en del af energien i maden fra fossile brændsler. Vi bruger bl.a. energi til at producere gødning, til landbrugsmaskiner, til pesticider, til vanding, til opvarmning af drivhuse, til opbevaring, til emballage og til transport. Det økologiske fodspor af den energi udgør omkring 600 m^2. Alt i alt bliver madens bidrag til det økologiske fodspor for en dansker ca. 2.600 m^2 + 600 m^2 = 3.200 m^2.

Har vi mulighed for at formindske fodsporet af vores mad og samtidig spise sundt? Ja, det har vi på flere måder. Først og fremmest har vi set, at animalsk føde kræver et areal, som er ti gange større end vegetabilsk føde. Hvis vi spiser mindre kød og flere grønsager og frugt vil vi derfor nedsætte fodsporet, samtidig med at vi spiser mere sundt. Vi kan også vælge et dansk æble i stedet for en spansk appelsin og dermed nedsætte fodsporets størrelse på grund af besparelsen af energi til transport.

Men vi kan også vælge at få den samme vare produceret på forskellig måde. Tabellen ovenfor viser forskellen i økologisk fodspor af tomater produceret på forskellig vis. I 1 kg tomater er der et energiindhold på 1,3 MJ. Tabellen viser nogle tilnærmelsesvise tal for brug af fossil energi og størrelsen af det økologiske fodspor af 1 kg tomater dyrket hhv. i op-

varmet drivhus i Danmark og på friland i Spanien, transporteret til Danmark. Til sammenligning er også vist tal for 1 kg tomater på dåse dyrket på friland i Spanien og transporteret til Danmark.

Man kan sammenligne bæredygtigheden af mange forskellige fødevarevalg ud fra tilsvarende beregninger, som ligger til grund for ovenstående figur/tabel. Det mest bæredygtige tomatvalg er tilsyneladende at spise friske frilandstomater fra Spanien frem for danske drivhustomater eller tomater på dåse.

Hvad med økologisk dyrkede fødevarer, er deres fodspor større eller mindre end de konventionelt dyrkede? Omkring 25 % af den fossile brændsel, der bruges til at producere de spanske tomater, går til produktion af gødning, og noget af den gødning havner i grundvandet og i havet. Hvis man dyrker en plante på ugødet jord, får man langt mindre udbytte end, hvis man gøder planten.

Forsøg har givet nedenstående resultater. Figuren viser, at landbrugsjordens udbytte kan forøges omkring fire gange ved gødning med nitrat og fosfat, og det betyder at man kan klare sig med et areal, der er fire gange så lille. Men da gødningen både skal fremstilles og køres ud på marken, kræves der også ekstra energi (og det i store mængder), som kan omsættes til et areal-krav, der i det tilfælde skal lægges til kostens økologiske fodspor.

Vi har ikke fundet undersøgelser, som kan give et endeligt svar på, om økologisk landbrug kræver mere eller mindre energi end konventionelt landbrug. De foreløbige undersøgelser tyder på, at forskellen ikke er stor. Husdyrene leverer en del af gødningen til det økologiske landbrug, men hvis man kun gødede med husdyrgødning i hele verden, ligesom man gør i økologisk landbrug, så ville der kun kunne leve omkring fire milliarder mennesker på Jorden. I dag lever der mere end dobbelt så mange mennesker. Det kan altså kun lade sig gøre, fordi landbruget gøder med store mængder kunstigt fremstillet nitratgødning. Faktisk forholder det sig sådan, at ca. 2% af hele verdens energiforbrug anvendes til fremstilling af kvælstofgødning.

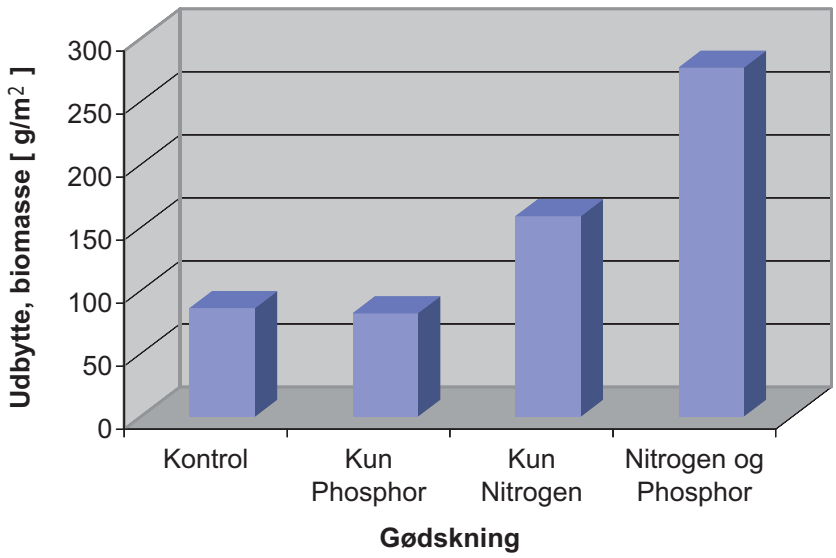
Så hvad er mest bæredygtigt:

– et dansk æble eller en spansk appelsin dyrket med kunstgødning og pesticider eller en økologisk produceret Max Havelaar banan importeret fra Peru?

– en konventionelt dyrket gulerod eller en økologisk gulerod?

– fisk eller kød?

Og hvad er sundest?



Udbyttet ved dyrkning af afgrøde uden og med tilførsel af fosfat- og nitrat-gødning.

Er der plads til en bæredygtig energiforsyning i Danmark?

Energi måles i enheden J (Joule).

Energi kan også måles i enheden kWh.

$$1 \text{ kWh} = 3{,}6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Effekt angiver, hvor meget energi, der omsættes på et sekund.

$$\text{Effekt} = \frac{\text{Energi}}{\text{Tid}}$$

Effekt måles i enheden J/s, som også betegnes W (Watt)

Er energiforsyningen i Danmark bæredygtig? Energiforbruget i verden er mere end 10-doblet de sidste 100 år. Energiproduktionen optager tilsyneladende ikke megen plads til olieboreplatforme, tankstationer, kraftværker o.l. Alligevel er det økologiske fodspor af danskernes energiforbrug større end hele Danmarks areal.

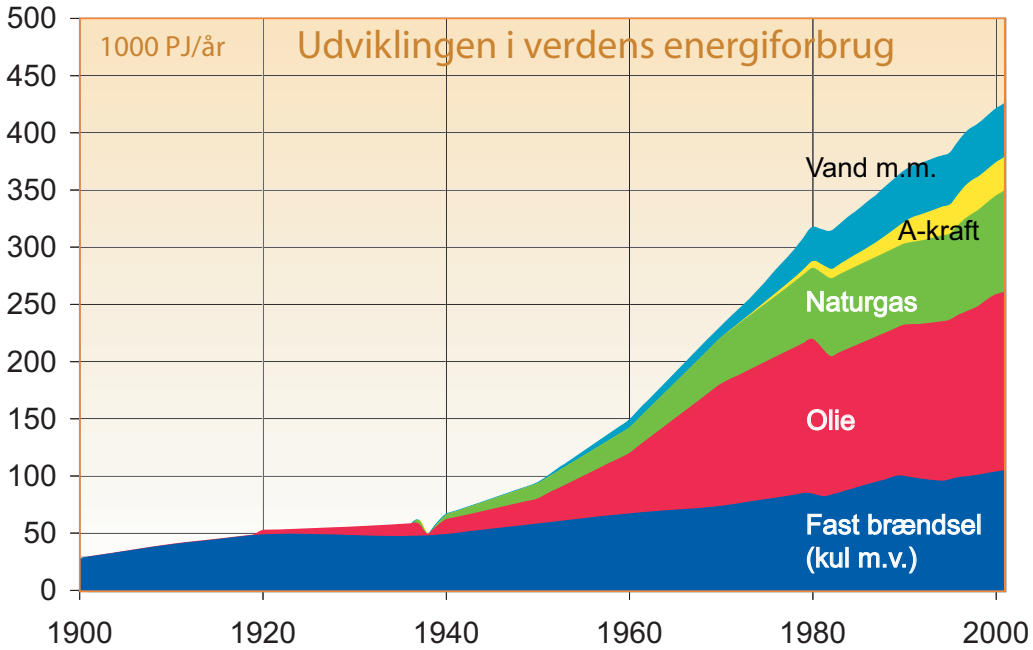
Beregningen af energiens fodspor bygger på den forudsætning, at det ikke er bæredygtigt, at mennesker sender drivhusgassen CO_2 op i atmosfæren, fordi det kan give alvorlige klimaændringer. Derfor har man valgt at beregne, hvor megen skov med dens fotosyntese der skal til for at absorbere den mængde CO_2, som afbrændingen af de fossile brændsler udsender. Skovrejsning er et middel, som bruges for at opfylde Kyoto-aftalerne, selv om det på lang sigt ikke er en bæredygtig strategi.

Vi antager her i beregningen af det danske energifodspor, at 1 ha skov absorberer 7.000 kg CO_2 pr. år, og at afbrænding af fossilt brændstof udsender 0,075 kg CO_2 pr. MJ pr. år. Hvis vi bruger de tal til at regne på, hvor megen skov der skulle til for at absorbere CO_2 fra Danmarks energiforbrug på 829 PJ i 2003, så finder man et areal på

$$\frac{829 \cdot 10^9 \text{ MJ} \cdot 0{,}075 \text{ kg/MJ}}{7000 \text{ kg/ha}} = 8{,}9 \cdot 10^6 \text{ ha} = 86.000 \text{ km}^2$$

I denne beregning er tallet 7.000 kg CO_2 pr år ret usikkert, det kan variere meget afhængigt af bl.a. skovens alder. Under alle omstændigheder er arealet større end hele Danmarks areal.

Men er det sandt, at den menneskeskabte CO_2 vil føre til alvorlige klimapåvirkninger?



Udviklingen i verdens energiforbrug.

Der er enighed om, at CO_2 er en drivhusgas, som påvirker klimaet, og om at indholdet af CO_2 i atmosfæren er steget fra ca. 280 ppmv*) i år 1800, hvor vi for alvor begyndte at afbrænde fossile brændsler, til omkring 380 ppmv i 2005.

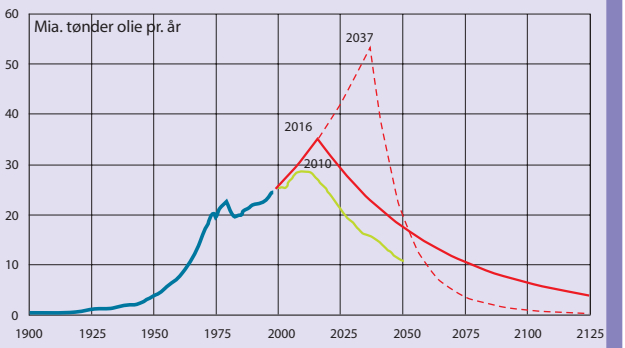
Det er vanskeligt at forudsige, hvilke temperaturændringer stigningen i drivhusgasserne vil forårsage, fordi mange komplicerede processer på Solen, i havet og i atmosfæren spiller ind. Nogle mener, at naturlige processer har større indflydelse på temperaturændringerne end den menneskeskabte drivhuseffekt. Figuren viser en vis, men ikke nogen entydig sammenhæng mellem CO_2-koncentration og temperatur, men FNs klimamodeller tyder på, at den globale temperaturstigning forårsaget af den menneskeskabte drivhuseffekt vil ligge mellem 1,4°C og 5,8°C om hundrede år.

De fleste forskere betragter udsendelsen af CO_2 fra afbrænding af fossile brændsler som en væsentlig årsag til klimaændringer, selvom der stadig mangler megen viden om klimaprocesserne. Derfor har man valgt at beregne energiens fodspor på grundlag af CO_2 fra de fossile brændsler. Der er dog indvendinger mod beregningsmetoden, fx varierer skoves evne til at absorbere CO_2 meget med alderen, og man kan måske også lagre CO_2 på andre måder, fx i gamle oliefelter.

*) **p**arts **p**er **m**illion **v**olume. Et indhold på 1 ppmv CO_2 angiver, at der er 1 cm^3 CO_2 i 1.000.000 cm^3 (= 1m^3) atmosfære.

Det økologiske fodspor medregner heller ikke, at brug af fossile brændstoffer ikke er bæredygtigt på langt sigt, fordi lagrene bliver tømt. Ligesom ved klimamodellerne er der dog heller ikke her enighed. Hvornår vil der opstå mangel? Derfor laver man scenarier for, hvordan olieproduktionen udvikler sig. Scenarier er eksperters gæt baseret på deres vurdering af den viden, der findes.

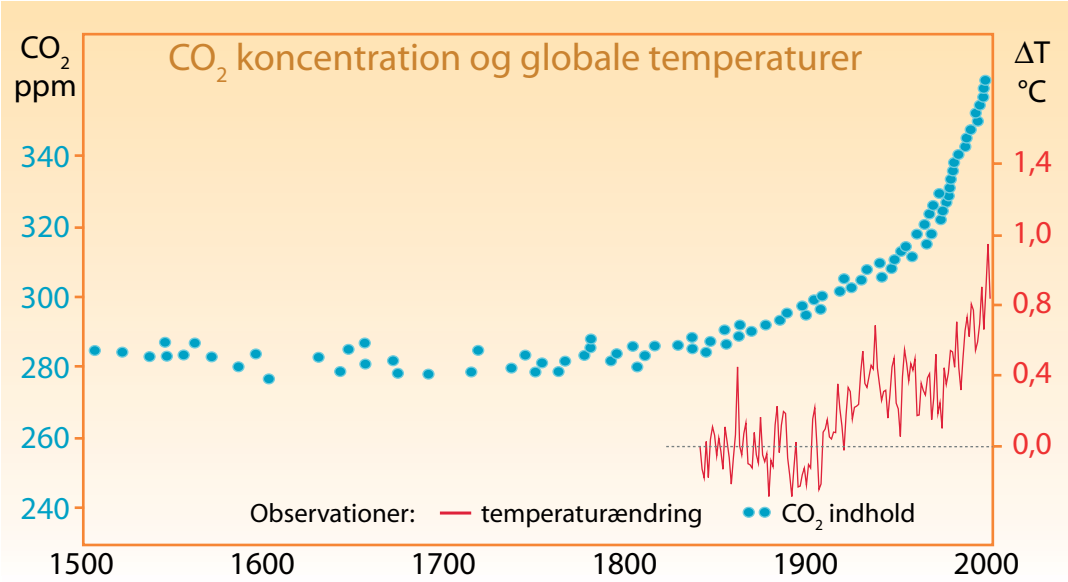
Tre scenarier for verdens olieproduktion



De to røde scenarier er beregningseksempler fra USA's energiministerium, 2000.
De røde scenarier regner med en verdensressource på 3.000 mia. tønder olie.
Det grønne scenario er udarbejdet af oliegeologen Colin J. Campbell, 2003. Han antager, at der er en verdensressource på 1.900 mia. tønder olie.*)

– *Global økologi*, februar 2004

*) 1 tønde olie er 159 L



Historisk udvikling i temperatur og CO_2-koncentration i atmosfæren. Temperaturkurven viser afvigelser fra temperaturen i 1860.
Kilde: *IPPC*

Masser af energi fra solen

Energiproduktion og energiforbrug er umuligt.

Energi kan hverken opstå eller forsvinde. Man kan transportere energi fra et sted til et andet, men der bliver hverken mere eller mindre af den. Når man taler om produktion af energi, så mener man omdannelse af energi fra en form til en anden.

Nogle væsentlige energiformer er:

- elektrisk energi
- kemisk energi, som findes i fx olie, kul, planter og dyr.
- strålingsenergi, som findes i stråling fra fx Solen.
- termisk energi, som der er mere af i varme ting end i kolde ting.

Strålingsenergi fra Solen omdannes fx til kemisk energi i planter, og den kemiske energi i planterne omdannes til termisk energi ved forbrænding. Elektrisk energi omdannes fx til termisk energi i et strygejern. Vi bruger altså ikke energi, når vi stryger, men vi omdanner den elektriske energi, som har en meget høj kvalitet, til termisk energi af en dårligere kvalitet.

Kan vi ikke klare os lige så godt med mindre energi?

Energiforbruget i Danmark har faktisk holdt sig næsten konstant fra 70'erne til i dag, samtidig med at vi har haft en økonomisk vækst på 50%. Vi har fået større huse, flere ting, flere rejser, men alligevel bruger vi ikke mere energi. Det er fordi, vi anvender mere energieffektive teknologier. Fx bruger en sparepære kun ¼ af glødepærens energi, og energiforbruget pr. m^2 til boligopvarmning er faldet med ca. 30% de sidste 25 år. EU har i 2005 vedtaget en spareplan, der siger, at energiforbruget skal nedsættes med 20% frem til år 2020.

Selv om vi udvikler mere energieffektive teknologier, så skal vi stadig bruge megen energi. Solenergien har ikke noget CO_2-problem. Men vi mangler teknologier, som kan omdanne solenergien til drivmiddel for vores biler og til alle de andre energiformer, vi har brug for.

Solen sender hele tiden strålingsenergi af høj kvalitet og i enorme mængder ned på Jorden. Energien strømmer væk fra Jorden i form af infrarød stråling med lavere kvalitet til verdensrummet. Når

Historien om at tørre hår –

Kerneenergi i Solen → strålingsenergi → kemisk energi i planter →

Udvinding af olie, som er dannet af gamle planter →

Transport ...

solenergien rammer Jorden, omdannes energien til termisk energi i luften, i jorden og i vandet, og den omdannes igen til bevægelsesenergi i vind og bølger. En lille del af energien omdannes gennem fotosyntesen til kemisk energi i planter, som er grundlaget for næsten alt liv på Jorden.

Livets eneste energikilde har indtil for nogle få århundreder siden stort set været den kemiske energi fra fotosyntesen, som har givet mad og brændsel. En meget lille del af energien fra fotosyntesen er over millioner af år blevet lagret som fossile brændsler. Men vi har nu afbrændt en stor del af disse brændsler og dermed sandsynligvis startet klimaændringer. Der er derfor to gode grunde til at lære at anvende solenergien på andre måder.

Hvordan kan man anvende solenergien? Danmarks årlige energiforbrug udgør under 1% af den enorme mængde solenergi, som vi modtager hvert år. Hvis vi direkte kunne hælde solenergien i tanken på bilen og ind i vores huse og elektriske apparater, så ville energiens økologiske fodspor være ca. ½% af Danmarks areal. Men det går ikke så let. Vi skal bruge smarte teknologier til at omdanne solenergien til praktiske energiformer, til at lagre den og transportere den.

I Danmark dækkede den vedvarende energi, især biomasse og vindenergi, men også solpaneler, solceller og geotermisk energi 14% af energiforbruget i 2004..
I Brasilien er 25% af benzinen erstattet af biobrændsel, og EU satser på, at 6% af benzinen skal være erstattet af biobrændsel i år 2010. I Danmark er der dog ikke enighed, om det er en god idé. Her i landet vil det medføre, at 1 – 2 % af Danmarks areal skal anvendes til dyrkning af planter til biobrændsel. Det skyldes både, at fotosyntesen er en meget ineffektiv 'teknologi' med en nyttevirkning omkring 1% til omdannelse af solenergi, og at benzinmotorens nyttevirkning ikke er større end ca. 20%.

Nyttevirkning

Når der tilføres 100 J strålingsenergi fra Solen til en solcelle, så er det faktisk kun ca. 10 J, som omdannes til den nyttige elektriske energi. Resten af energien omdannes til termisk energi, som bare opvarmer luften omkring solcellerne lidt og ikke bruges til noget. Det er altså kun brøkdelen 0,1 = 10% af strålingsenergien, som omdannes til nyttig energi. Nyttevirkningen er derfor 10 %.

Nyttevirkningen ved alle slags energiomdannelser er det tal, der angiver hvor stor en brøkdel eller procent af den tilførte energi, der kommer ud i form af nyttig energi:

$$\text{Nyttevirkning} = \frac{\text{Nyttig energi}}{\text{Tilført energi}}$$

... af olie →

Oliens kemiske energi omdannes til elektrisk energi i et kraftværk →

Transport af elektrisk energi →

Elektriske energi omdannes til termisk energi i luften.

Er der plads til at forsyne Dan

Teknologi	Areal til en gennemsnitlig personbil m^2	Areal til transportenergi i Danmark km^2
Solcelle, batteri, elmotor	15 – 30	60 – 140
Vindmølle,batteri, elmotor	80 – 200	350 – 900
Solcelle, brint, brændselscelle	30 – 100	140 – 400
Biobrændsel, brændselscelle	1.000 – 1.900	3.900 – 7.800
Biobrændsel, forbrændingsmotor	1.900 – 3.800	7.800 – 16.000

Fodspor af vedvarende erstatninger for benzin for transportomfanget i Danmark i 1990'erne.

Hvor stort er det økologiske fodspor af vedvarende energiteknologier? Er der plads til dem i Danmark?

Som nævnt ovenfor, så har biobrændsler store fodspor især på grund af fotosyntesens lave nyttevirkning. Men som tabellen viser, så har andre vedvarende energiteknologier, som kan erstatte benzin, men endnu ikke er så langt udviklede, et langt mindre økologisk fodspor.

For at beregne fodsporene skal man have kendskab til nyttevirkningen af teknologierne og deres produktion og til hvor megen solenergi, der rammer 1 m^2 i Danmark hvert år, eller direkte til hvor megen energi teknologien kan producere på 1 m^2 pr. år, se tabel nedenfor.

Som et eksempel på beregningerne vil vi vise, hvordan man kan beregne størrelsen af det økologiske fodspor af en elproduktion i Danmark baseret på solceller.

Energiudbytte af nogle vedvarende energiteknologier.

På 1 m^2 kommer der i Danmark solenergi på 1.000 kWh/år = 3.600 MJ/år. Med en solcelle–nyttevirkning på 10% giver det en elproduktion på 360 MJ/år. Da ca. 20% af anlæggets energiproduktion skal anvendes til produktion af anlægget selv, bliver anlæggets nettoproduktion derfor 288 MJ/år = 80 kWh/år. Danmarks elforbrug i 2004 var $7{,}8 \cdot 10^{10}$ kWh. Hvis det skulle produceres af solceller,

Vedvarende energiteknologi	Energiudbytte $MJ/m^2/år$
Vindmøller	900
Solceller	440
Solvarmepaneler	1200
Rapsolie	5,8

mark med vedvarende energi?

ville det kræve $7{,}8 \cdot 10^{10}$ kWh/80 kWh/m^2 = $9{,}8 \cdot 10^8$ m^2 = 980 km^2. Det er lidt mindre end arealet af Lolland. Men en del af solcellerne kunne anbringes på bygninger. Danmarks største nuværende solcelleanlæg på 1.000 m^2 er placeret på taget på DR's bygninger i Ørestaden.

Størrelsen af fodsporet for de forskellige vedvarende energiteknologier varierer meget. Men de fleste af dem har langt mindre fodspor end fossilt brændsel, og det kan ikke udelukkes, at der kan skaffes plads i Danmark til at klare vores egen energiforsyning. Fx er prisen på solceller og vindmøller faldet i mange år, det første store bølgekraftanlæg på 4 MW bygges for øjeblikket i Wales, og i 2005 var der stor medieomtale af en ny dansk opfindelse, en brintpille, som kan lagre brinten til fx en bil.

Hvis vi magter at udvikle energieffektive teknologier og en vedvarende energiforsyning med et rimeligt fodspor, så det både er æstetisk tilfredsstillende og til en rimelig pris, så vil rigtig mange andre problemer også kunne løses.

Ud over de vedvarende energier, som må blive den endelige løsning, men som det også vil tage lang tid at udvikle, så må vi også undersøge, om vi kan udnytte de ret store mængder kul, der stadig findes, og de enorme ressourcer af methan, der visse steder forekommer som methanhydrater på havets bund, uden at sende CO_2 ud i atmosfæren. Ligeledes må atomkraftens muligheder og risici stadig undersøges.

Energiforsyningen er den centrale udfordring for en bæredygtig udvikling.

Brintpillen - en dansk opfindelse

En af fremtidens store udfordringer er, at finde en metode til effektivt at transportere energi, fx til brug i biler, busser og lastbiler. I 2005 opfandt DTU forskere den såkaldte brintpille bestående af $Mg(NH_3)_6Cl_2$. Ved opvarmning afgiver brintpillen ammoniak (NH_3), som let kan spaltes til hydrogen (H_2) og nitrogen (N_2). Hydrogen, også kaldet brint, kan så bruges til at drive en brændselscellebil. Brintpillen er det eneste faste, og genanvendelige brintlager, der indeholder mere 9% brint og som kan håndteres relativt sikkert.

Claus Hviid Christensen
professor ved DTU

Danmarks Grundforskningsfonds
Center for Bæredygtig og Grøn kemi

Bæredygtig udvikling
– en fælles udfordring i en globaliseret verden

Danmarks økologiske fodspor var i år 2001 knap dobbelt så stort som Danmarks areal. Hvordan kan det lade sig gøre?

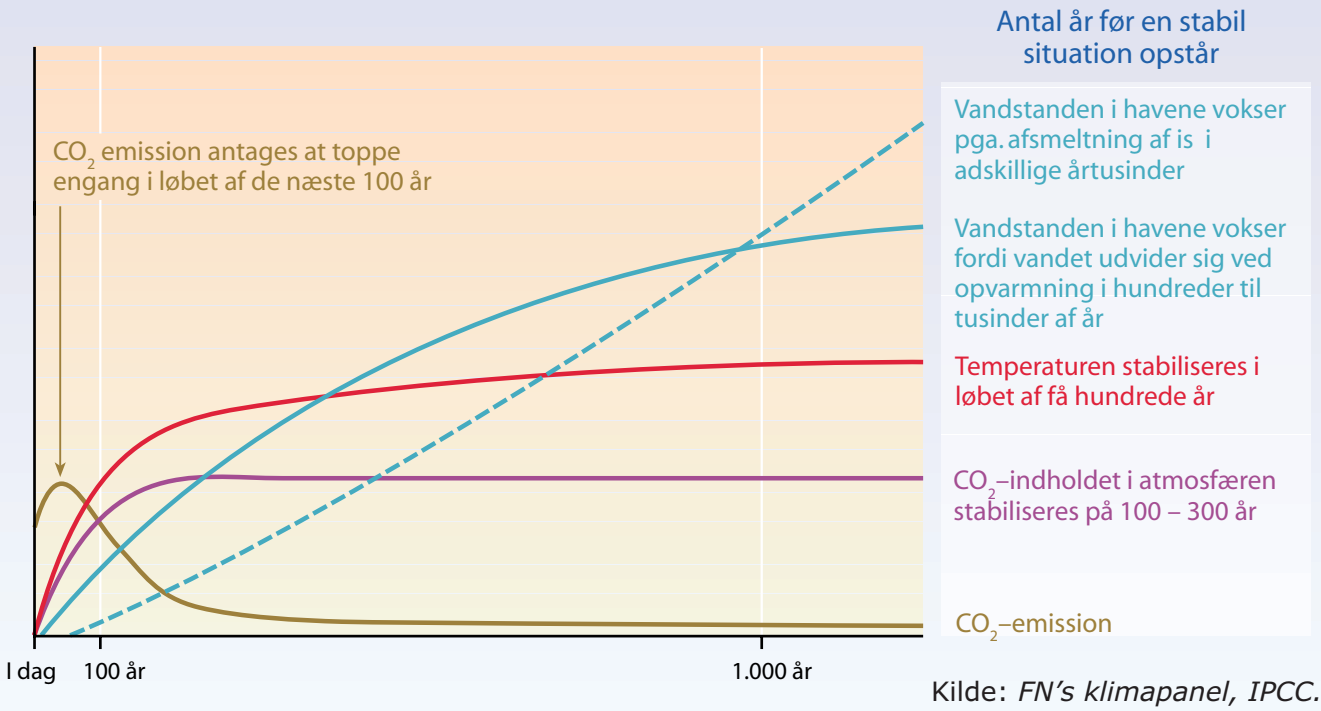
Et land kan forbruge et areal større end landet selv på to måder. For det første kan landet importere ting fra andre lande. Produktionen af disse ting beslaglægger andre landes arealer. Fx importerer Danmark tømmer og papir, og dermed bruger vi noget areal af bl.a. Sveriges og Sydøstasiens skove. Vi bruger også arealer i Perus bananplantager og noget af New Zealands græsningsarealer, når vi importerer lammekød. Til gengæld eksporterer vi svinekød til fx Japan, som derfor bruger noget af vores landbrugsareal. Hvis vi importerer mere end vi eksporterer, så lægger vi beslag på et areal i andre lande. Men Danmarks eksport og import er for øjeblikket nogenlunde lige store set fra et arealsynspunkt.

Et land kan også bruge mere end sit eget areal ved at mindske Jordens fremtidige biokapacitet, dvs. Jordens evne til at producere biomasse, og dermed forringe livsbetingelserne for fremtidige generationer. Det svarer til at stifte gæld, som fremtidige generationer skal betale tilbage. Det kan ske ved jorderosion, ved overfiskning af havene, ved forurening af jord og vand, ved udryddelse af dyr og plantearter eller menneskeskabte klimaændringer.

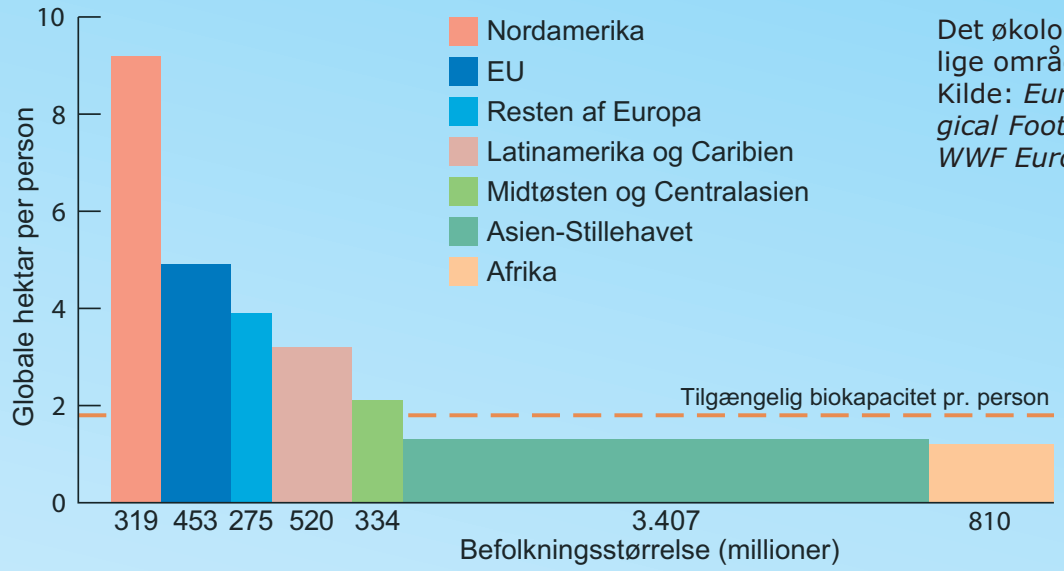
Det er det sidste, der er årsag til, at Danmarks økologiske fodspor er dobbelt så stort som landets areal. Omkring halvdelen af Danmarks økologiske fodspor stammer nemlig fra forbruget af fossile brændsler, se figur side 6.

De fossile brændslers økologiske fodspor er ikke et areal, som findes nogen steder i dag. Man kan sige, at det er en del af

Scenarier for CO_2 koncentration, temperatur og vandstand i havene



Kilde: *FN's klimapanel, IPCC.*



Det økologiske fodspor i forskellige områder, 2001.
Kilde: *Europe 2005 - The Ecological Footprint published by the WWF European Policy Office.*

fremtidige generationers areal, som vi bruger i dag. Det beregnes jo som det areal skov, der skal til for at absorbere den CO_2, som udsendes ved afbrænding af fossile brændsler. Men arealet af skoven i Danmark er i dag så lille, at det kun absorberer under 10% af CO_2-udslippet.

Hvis det nu, som nogle forskere mener, ikke er CO_2 fra de fossile brændsler, som har hovedansvaret for klimaændringer, så vil det ikke være rimeligt at beregne de fossile brændslers fodspor som et stort areal skov, og så er Danmarks økologiske fodspor ikke meget for stort. Skal vi så ikke bare bruge løs af den fossile energi, indtil vi har fået mere sikker viden om klimaprocesserne? Vi risikerer jo at tage uhensigtsmæssige og meget udgiftskrævende beslutninger, når vi ikke har fuld viden.

Men hvis vi ser et barn lege med en bold i vejkanten, mens vi kommer kørende i bil med stor hastighed, så kan vi heller ikke vide, om barnet pludselig vil løbe ud på vejen efter bolden, men vi ved, at det tager tid, fra vi ser barnet løbe ud på vejen, til bilen er bremset. Derfor nedsætter vi for en sikkerheds skyld hastigheden. På lignende vis vil det tage tid, fra vi beslutter os til at begrænse udslippet af CO_2, indtil CO_2-koncentrationen i atmosfæren bliver stabiliseret på et niveau, som forhindrer fremtidige store menneskeskabte klimaændringers uheldige konsekvenser.

Figuren til venstre viser, at FNs klimapanel vurderer, at det vil tage århundreder for CO_2-koncentrationen og temperaturen at stabilisere sig, og årtusinder for vandstanden i havene. Deres klimamodeller forudsiger, at selv med en udvikling hen mod en halvering af den årlige udledning frem mod år 2100, så vil atmosfærens CO_2-koncentration til den tid være 20 % større end i dag. Naturen kan altså reagere meget langsomt.

Opbygning af viden og udvikling af andre energiteknologier tager også tid. Det går heller ikke hurtigt, når mennesker på hele kloden skal tage fælles beslutninger. Kyotoaftalen om en gennemsnitlig nedsættelse af industrilandenes CO_2-udledninger med 5,2 % fra 1990 til 2008–2012 blev vedtaget i 1997, men først i 2005 trådte den faktisk i kraft, og da uden deltagelse af USA, som alene står for 25 % af verdens CO_2. Og på trods af vedtagelsen, regner man ikke med, at Danmark vil kunne opfylde aftalen i år 2012.

Hvad er rettidig omhu i klimasagen?

Hvis man, som FNs klimapanel, tror, at CO_2 fra afbrænding af de fossile brændsler med stor sandsynlighed vil forårsage store klimaændringer, så skal også energidelen af det økologiske fodspor tages alvorligt.

Figuren ovenfor viser, at der i gennemsnit var 1,8 globale ha til rådighed for hvert menneske i verden i 2001. Men hvert menneske brugte i gennemsnit 2,2 globale ha. Der var altså et overforbrug. Da der ikke er nogle passende planeter i nærheden, hvorfra vi kan importere det manglende areal til biomasseproduktion, så betyder dette overforbrug, at vi langsomt nedbryder Jordens biokapacitet.

Figuren viser også, at der er stor forskel på menneskers fodspor. Mennesker i Europa og i Nord Amerika har et fodspor, som er flere gange større end det, der i gennemsnit er til rådighed på Jorden. Til gengæld har over halvdelen af Jordens befolkning et fodspor, som er mindre end det, der i gennemsnit er plads til. Hvis alle mennesker på Jorden skulle have et fodspor på størrelse med det gennemsnitlige i Europa, som endda er væsentlig mindre end i Danmark, så ville det kræve 2–3 jordkloder. Og vi bliver hele tiden flere om at dele pladsen. I dag er verdens befolkning på 6 mia., men den ventes at vokse til 9 mia. i år 2050.

Beregningerne af det økologiske fodspor tydeliggør altså to store udfordringer for den nulevende generation:

– hvordan kan fodsporet fra verdens samlede befolkning tilpasses Jordens kapacitet?

– hvordan kan ulighederne i verden gøres mindre?

Der er grundlæggende fire måder, hvorpå man kan tilpasse det samlede fodspor til jordens kapacitet:

1. *At forøge eller i det mindste bevare biokapaciteten.* Det betyder, at jorderosion og jordforurening skal forhindres, at landbrugsjord ikke skal bebygges, at ferskvandsreservoirer skal beskyttes, at fiskebestanden i havene skal bevares, og store klimaændringer skal undgås.

2. *At ting og serviceydelser skal produceres ved anvendelse af mindre fossilt brændsel og andre ressourcer.* Det kræver, at vi opfinder og udvikler helt nye teknologier, ikke mindst inden for energiforsyning og energibesparelser og fødevareproduktion. Vi skal også tage stilling til miljøpåvirkninger fra nye teknologier.

Er genmodificerede fødevarer fx en miljøsikker teknologi? En af de strategier, som der arbejdes på, kaldes Faktor 4. Den går ud på at producere de samme ting, men med kun ¼ af ressourceforbruget.

Det er enorme udfordringer, der kræver initiativ, nytænkning, naturvidenskab, forskning og udvikling. Det kræver mennesker med lyst og evner til virkelig at gøre en forskel. Måske er det dig?

3. *At de fleste i vores del af verden nedsætter deres forbrug af ting og serviceydelser.* Er det realistisk? Hvad kan vi undvære, og synes vi, at sagen er vigtig nok til at ændre levevis?

Vil vi undvære en flyrejse, en bil, den nye mobiltelefon, den tykke søndagsavis, en stor bolig, et godt sundhedsvæsen? Hvad er i det hele taget vigtigt for et godt liv? Dele af vores forbrug i den rige verden nedsætter fx livskvaliteten. Det viser sig bl.a. ved fedmeepidemien, stress på arbejdspladsen og trafikdrab. Andre dele, fx at slukke for vandhanen mens man børster tænder, ændrer ikke livskvaliteten.

Hvilke aktiviteter har et stort fodspor, og hvilke har et lille fodspor? Kan nogen ting erstattes af andre med et mindre fodspor, fx en del af madens animalske fedt med grønt og frugt? Kan vi spare på ressourcerne ved omtanke i det daglige? Det kræver både viden og etiske overvejelser hos den enkelte at foretage dette valg. Det kræver også politisk arbejde bl.a. i NGO'er og i folketinget.

4. *At væksten i befolkningens størrelse bliver mindre og hurtigt helt stoppes.* Det har bl.a. vist sig, at kvinder får færre børn, når de får en uddannelse, og når sundhedstilstanden i samfundet forbedres.

Fattigdomsflygtninge dør på vej fra Afrika til Europa. Død flygtning i sandet nær den sydspanske by Tarifa.

Det er en udfordring for Europa og Nord Amerika at vise, at man kan nedsætte det økologiske fodspor samtidig med, at livskvaliteten i hvert fald ikke forringes. Det er helt nødvendigt af hensyn til kommende generationer, men også fordi en bæredygtig udvikling forudsætter, at uligheden i verden mindskes. Det skal kunne lade sig gøre at opfylde alle menneskers basale behov, uden at Jordens biokapacitet ødelægges. Den store fattigdom i dele af verden er ikke holdbar. Vi oplever presset fra en voksende del af disse mennesker for at komme ind i Europa. Globaliseringen og den moderne kommunikation med TV satellitter o. lign. gør, at disse mennesker kender til de store forskelle og vil ofre meget for at forbedre deres situation. FN har med sine otte millenium–mål for år 2015 (www.2015.dk) sat fokus på et internationalt samarbejde om at sikre miljøet og bekæmpe fattigdom og sygdom.

Kina er et fattigt land med et fodspor pr. kineser på ¼ af en danskers fodspor. Men de er i gang med en voldsom vækst, og kineserne vil også gerne køre i biler. De forventes at øge antallet af biler fra 20 millioner til 150 millioner over de næste ti år.

Det er en af grundene til, at verdens energiforbrug forventes at stige med 50% de næste 25 år, hvoraf en stor del vil være olie og naturgas. Ud over de mulige konsekvenser for klimaet øger det risikoen for internationale konflikter om olien og gassen. De nuværende konflikter i Mellemøsten handler ikke mindst om adgang til olien, ligesom Rusland ved årsskiftet 2005–2006 demonstrerede, hvor usikkert det er at være afhængig af energiforsyning fra et andet land, da de lukkede for gasforsyningen til Ukraine og Europa. Det fik en tidligere polsk sikkerhedsrådgiver til at sige, at olie og gas er mere effektive for Rusland i dag, end dets atomvåben var i kommunismens æra. Kampen om ressourcerne, herunder de fossile brændsler, og storpolitik hænger uløseligt sammen.

Også derfor skal vi begrænse vores økologiske fodspor både ved udvikling af nye teknologier, ved udvikling af det internationale samarbejde og ved overvejelser over, hvad der ligger til grund for et godt liv både individuelt og i samfundet.

Bæredygtig udvikling – det økologiske fodspor er ét ud af en række hæfter med undervisningsmateriale udarbejdet til Naturvidenskabeligt grundforløb. Hæftet er udformet, så det også kan anvendes i Almen studieforberedelse. Hæftets sidste afsnit lægger op til samarbejde med humanistiske og samfundsfaglige fag.

Begrebet bæredygtighed har præget samfundsdebatten om miljø, udvikling og globalisering stærkt siden Brundtland-rapporten i 1987. Det har bl.a. ført til, at FN har udnævnt perioden 2005-2014 til tiåret for undervisning for bæredygtig udvikling, se www.ubu10.dk.

Bæredygtighed er således et tema, der giver mulighed for at arbejde med både de samfundsmæssige og etiske perspektiver af naturvidenskab og teknologi.

Flere har søgt at sætte et mål på bæredygtighed. Dette hæfte handler om det økologiske fodspor, som er en enkel, kvantitativ model baseret på grundlæggende naturfaglige begreber, som udtrykker graden af bæredygtighed for menneskers ressourceforbrug og miljøpåvirkning. Det er en model, som bl.a. er lavet med henblik på at formidle problematikken på en klar visuel måde til et bredt publikum.

Modellen udvikles løbende, men er stadig meget simpel med ret store begrænsninger og udeladelser, og modellens forudsætninger har givet anledning til en del debat. Hæftet giver derfor oplagte muligheder for at arbejde med forskellige aspekter af modelbegrebet, herunder mulighed for at eleverne kan diskutere på et naturvidenskabeligt grundlag. I denne diskussion er nogle svar bedre begrundede end andre.

Hæftet introducerer nogle grundlæggende naturvidenskabelige begreber og giver mulighed for samarbejde mellem alle de fire naturvidenskabelige fag, men der kan også laves forskellige undervisningsforløb, som vægter fagene forskelligt. Til hæftet er knyttet en hjemmeside, www.nfa.fys.dk, hvor det er muligt at finde yderligere datamateriale, forslag til undervisningsforløb, eksperimentelle undersøgelser, opgaver og uddybninger.

Selve hæftet indeholder en koncentreret fremstilling af grundbegreber og grundlæggende problemstillinger, mens fordybelsen, herunder det mundtlige og skriftlige arbejde findes i bearbejdningen i forbindelse med de tilknyttede eksperimentelle undersøgelser og forskellige typer opgaver.

Begrebet *Det økologiske fodspor*, og også dette materiale, er bl.a. inspireret af Our Ecological Footprint, Mathis Wackernagel & Williams Rees, New Society Publishers 1992.

Naturvidenskab for alle

er udgivet af Fysikforlaget med støtte fra Hovedstadens Udviklingsråd og Undervisningsministeriets tips/lottomidler.

Redaktion, illustrationer og layout:
Niels Elbrønd Hansen

Produktionsgruppe:
Sussanne Blegaa
Claus Hviid Christensen
Grete Hansen

Tryk:
Budolfi Tryk, Aalborg

Oplag: 12.500

Billedleverandører:

NASA – 1, 4
Niels Roland, Weekendavisen – 2
Niels Elbrønd Hansen – 8.2, 16.1
Statoil – 16.2, 16.3
Trond Isaksen, Statnett – 17.2
Claus H. Christensen – 19
Polfoto – 23

Forlaget har søgt at finde frem til alle rettighedshavere i forbindelse med brug af billeder. Skulle enkelte mangle, vil der ved henvendelse til forlaget blive betalt, som om aftale var indgået.

Salg: Lmfk-Sekretariatet
Slotsgade 2, 3. sal
2200 København N
www.lmfk.dk
Tlf. 35 39 00 64

www.nfa.fys.dk