

Vejen til et bæredygtigt samfund

Hvordan vurderer man, om et samfund er bæredygtigt? Forfatterne har udviklet et værktøj, der kan bruges til at opstille et bæredygtighedsregnskab for et samfund og vurdere, om samfundet over tid udvikler sig i en mere bæredygtig retning.

Forfatterne



Søren Nors Nielsen,
Center for Design, Innovation and Sustainable Transition (DIST)
Department of Development and Planning,
Aalborg University
soerennorsnielsen@gmail.com



Sven Erik Jørgensen,
professor emeritus,
Københavns Universitet,
Sundhedsvidenskabeligt fakultet, Institut for farmaci og analytisk kemi
msijapan@hotmail.com

Hvis man i dag spørger en person om, hvad bæredygtighed er, vil langt de fleste formodentlig være i stand til at give et nogenlunde referat af Brundtland-rapportens udsagn herom. Bæredygtighed er noget med, at vi bevarer vort samfunds nuværende niveau for liv/eksistens, uden at vi ødelægger fremtidige generationers mulighed for at leve på samme niveau og med de samme muligheder, som vi har haft.

Dette er et meget vagt udsagn, og det er klart, at en sådan erklæring ikke kan stå alene. Det er simpelthen væsentligt at få givet en stærkere definition af, hvad bæredygtighed egentlig er. Selvom Brundtlandrapporten giver en række anvisninger på, hvordan man kan forbedre bæredygtigheden, rummer den ingen eksakt definition og giver derfor ikke mulighed for at give et kvantitativt mål for, hvor bæredygtigt et samfund er.

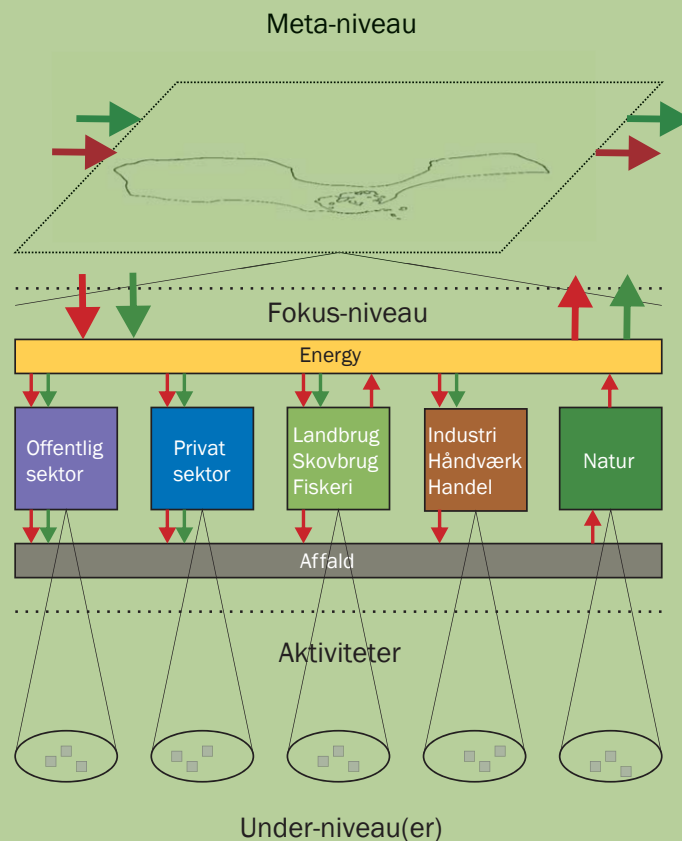
Hvis det er muligt at opstille og beregne et sådant mål for et samfund, vil det også være muligt at følge dette gennem tid og rum. Dermed kan man afgøre, hvorvidt et givet samfund er bæredygtigt eller om det bevæger sig i den rigtige retning, dvs.

mod større bæredygtighed. Ved opstilling af indikatorer vil det være muligt at afgøre 1) hvad der er væsentligt, 2) om eventuelle tiltag har bragt det i en retning mod større bæredygtighed eller 3) muliggøre beregning af konsekvensen af påtænkte tiltag.

Bæredygtighedens dilemmaer

Bæredygtighed bliver ofte opdelt i fire typer: human, økologisk, social og økonomisk bæredygtighed. De fire typer rummer begreber af vidt forskellig karakter, der dog samtidig hænger så stærkt sammen, at det er umuligt at tænke på en type uden samtidig at skulle indtænke de andre typer for bæredygtighed. Uanset hvilken type af bæredygtighed, man tænker på, er det klart, at bæredygtighed forudsætter forekomst af det materielle grundlag for eksistens, nemlig solens energi og depoter af de (grund-)stoffer, som vor kloses jordlag indeholder. Den økologiske bæredygtighed kommer altså før alt andet. Uden den, ingen opretholdelse af mennesker og samfundet og altså heller ikke nogen sociologi eller økonomi.

Der er altså brug for at opstille et mål for bæredygtighed, der i så vid udstrækning som mulig kan tjene til at løse de problemer, der opstår ved



En opdeling af et samfund i sektorer, der rummer essentielle funktioner spændende fra energiforsyning og affaldsbortskaffelse til erhverv, håndværk og privat eksistens. Ved at opdele samfundet på denne måde, kan de forskellige sektorer forbrug af arbejdsenergi opgøres og vurderes. Grønne pile repræsenterer energi- eller stofstrømme, der er baseret på vedvarende ressourcer, røde pile repræsenterer samme, men består af ikke vedvarende eller tabte ressourcer.

at skulle sammenligne og forene så vidt forskellige typer af bæredygtighed som ovenstående. Ved sammenligning kommer man ofte til at skulle drage konklusioner på tværs af tilsyneladende uforenelige størrelser, fx energi, stof og penge. Det er som at sammenligne æbler, appelsiner og bananer.

Begrebet arbejdsenergi

Imidlertid findes der indenfor fysikken et hidtil overset koncept, der gør det muligt at sammenligne energi og stof, nemlig begrebet "arbejdsenergi". Begrebet kan anvendes til opgørelse af både energi- og stofstrømme på den samme enhed, hvormed et væsentligt første trin til at finde en løsning på problemet er taget. Begrebet er desværre ikke umiddelbart tilgængeligt; men det vil på længere sigt være en fordel, hvis vi vænnede os til tanken om, at ikke al energi er lige god, og at energi bør udtrykkes ved og behandles ud fra dens kvalitet, nemlig dens evne til at udføre arbejde.

Samtidig rummer begrebet den fordel, at det rent semantisk sender et helt klart signal om, at det, vi skal fokusere på i forbindelse med omstilling af vort samfund til at være mere bæredygtigt, er de for-

skellige energi- og stofstrømmes evne til at kunne yde arbejde for os. Store, ens mængder af energi er ikke lige interessante. Hvis de har et lavt indhold af arbejdsenergi, må de anses for tabte og er dermed uinteressante, og vi kan så koncentrere os om at identificere andre energier med højt indhold af arbejdsenergi. Hvis man kunne udvikle en metode, der muliggør en økonomisk værdisætning, der knytter sig til energi- og stofstrømmes indhold af arbejdsenergi, vil man være nærmere et stærkt værktøj, der kan hjælpe med at identificere den nemmeste og mest effektive vej til bæredygtighed.

Tanken er så nærliggende, at vi har prøvet at formulere og udvikle en sådan metode til vurdering af bæredygtighed på grundlag af arbejdsenergi og samtidig gøre metoden anvendelig. Udvikling og testning af metoder er ingen simpel sag, hvorfor vi er startet med et meget simpelt og afgrænset system, der kan tjene som model for et samfund, nemlig Samsø.

Samsøs bæredygtighed

Flere steder i Danmark og på Samsø især har man taget det første skridt mod et bæredygtigt samfund ved at gøre øens energiforsyning uafhængig af fos-

sile brændsler. Omstillingen er sket i forbindelse med, at Samsø i 1997 vandt en konkurrence om at skulle være "vedvarende energi ø". I 2001 påbegyndtes de første projekter, og siden 2005 har øen haft overskud i elproduktionen. Øens elektricitet produceres i dag af 21 vindmøller med en samlet kapacitet på 34 MW. Derudover bidrager afbrænding af halm, i nogle tilfælde kombineret med solvarmeanlæg, til øens varmforsyning.

Det er helt klart nogle vigtige skridt, der allerede hermed er taget. Men der forbruges eksempelvis stadig en del fossile brændsler på øen i forbindelse med opvarmning og ikke mindst transport. Færgedrift er en nødvendighed for at bevare vore øsamfund. Varer, forbrugsgoder og mennesker skal transporteres til og fra og rundt på øen, og øboere har samme sociale og økonomiske behov og forhold som resten af befolkningen. Den altdominerende aktivitet for mange af vore øer er landbrug, der også danner baggrund for Samsøs eneste produktionsaktivitet.

Siden 1997 er der hvert andet år opstillet et energiregnskab for øen, hvilket er værdifuldt i forbindelse med opstilling af et arbejdsenergi-regnskab. Men regnskabet dækker altså kun energi, så spørgsmålet er hvordan et regnskab, der inkluderer både energi og stofstrømme tager sig ud.

Samsøs bæredygtighed som eksempel

Vi besluttede at koncentrere os om en kortlægning af øen i seks sektorer: energisektoren, den offentlige sektor, den private sektor, landbruget, industri (incl. handel og håndværk) og naturen.

Ikke overraskende afgøres Samsøs bæredygtighed i dag af det overskud af el, der stammer fra de eksisterende vindmøller. Samsøs balance for arbejdsenergi er positiv (nettogevinst 193 TJ overfor et input på 1410 TJ), hvilket giver øen nogle store potentialer for en omstilling fremover. Regnskabet for øen domineres derudover af forbruget af arbejdsenergi til transport (offentlig såvel som privat), opvarmning og de ressourcer, der er forbundet med øens landbrug. Samtidig viser regnskabet, at en ganske betydelig mængde af forskellige ressourcer er bundet op i øens infrastruktur (fx veje), og at den nødvendige fornyelse af denne kan være problematisk på sigt.

Man kan så opstille et samlet regnskab for øen og beregne forskellige indikatorer for bæredygtighed. Hvor meget struktur skal opretholdes, og hvad er omkostningerne/investeringerne forbundet hermed? Hvordan er forholdet mellem mængderne af vedvarende og ikke vedvarende ressourcer? Hvad er arbejdsenergi-balancen, og hvad er forholdet mellem den arbejdsenergi, der skabes og forlader øen, og den arbejdsenergi, der bruges til at drive

øen? Metoden er udviklet og regnskabet opstillet på basis af året 2011, som er det seneste år for hvilket et energibudget er blevet udarbejdet. Med udgangspunkt i eksisterende ideer og planer for øens fremtid har det været muligt at undersøge, om de påtænkte initiativer også vil bringe øen i en mere bæredygtig retning samt i hvilken udstrækning en sådan udvikling vil afspejles i de opstillede indikatorer. Det har også været muligt at undersøge, hvordan det forholder sig med øens udledning af drivhusgasser og kulstofbalance, og hvordan disse vil ændres med de påtænkte initiativer.

Samsøs kulstofregnskab

Samfundets udledning af kuldioxid er også vigtig at tage i betragtning, og derfor er der opstillet en model til beskrivelse af kulstofpuljerne og processerne på øen. For at gøre dette indeholder modellen beskrivelse af tre forskellige puljer af kulstof i jord, der nedbrydes med forskellig hastighed. Det er bl.a. forholdet mellem disse puljer, der påvirkes kraftigt gennem forskellige af landbrugets aktiviteter som fx jordbehandling.

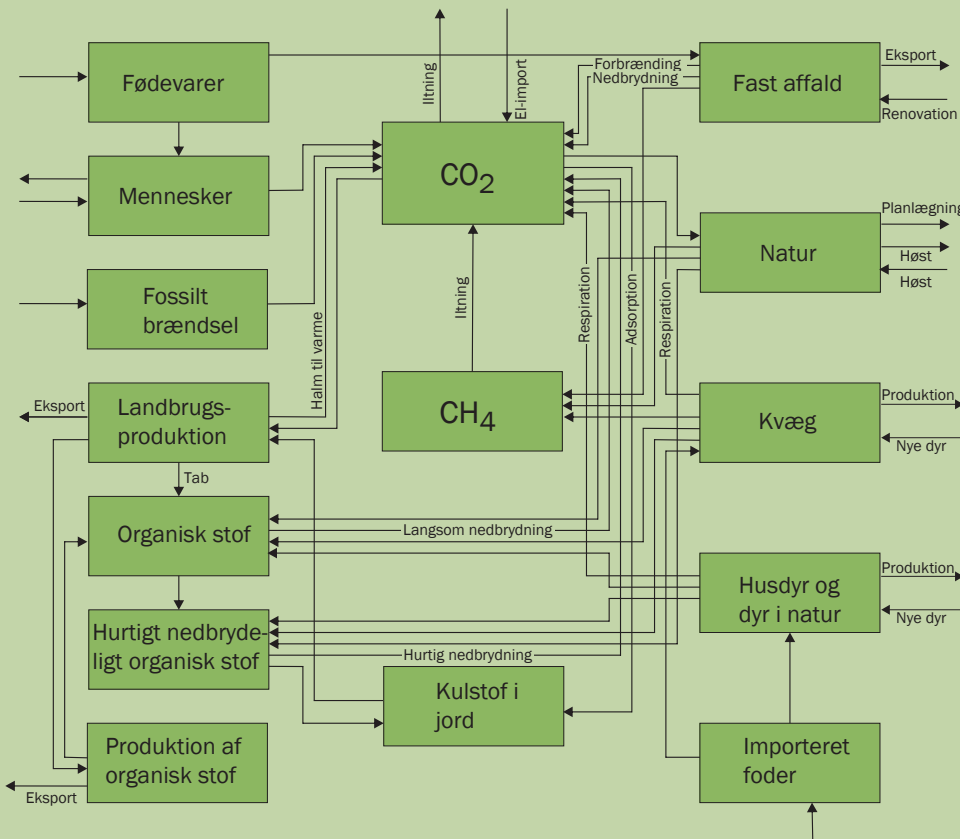
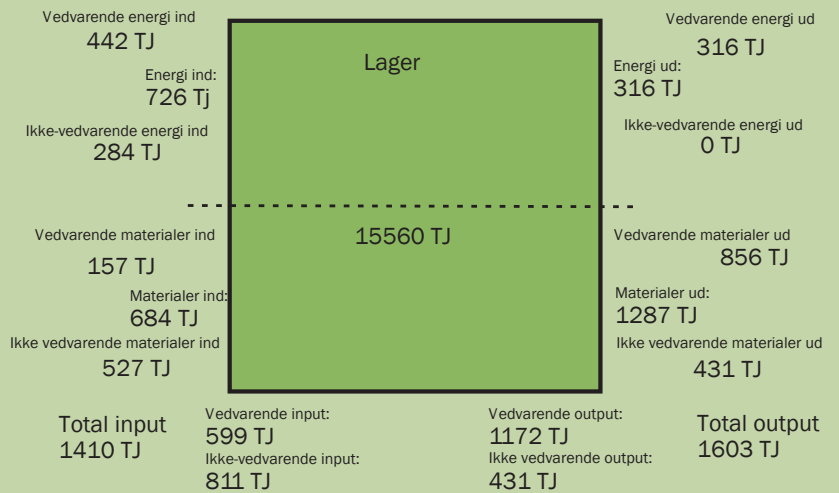
Modellen gør det muligt, at man kan beregne landbrugets og naturens optag og udledning af kulstofbaserede drivhusgasser (kuldioxid og metan) samt opgøre udvekslinger af fast kulstof som resultat af import og eksport til og fra øen. Ved hjælp af modellen kan man kortlægge puljer og overførsler mellem dem, således at man kan opstille et kulstofregnskab for øen.

Anvender man modellen på de data, der blev udredt i forbindelse med bæredygtighedsanalysen, kan man se, hvordan balancen for øen er med hensyn til drivhusgasser. I bund og grund vil dette være forskellen mellem den mængde kuldioxid, der optages gennem fotosyntesen og den mængde, der udvikles ved respiration og afbrænding.

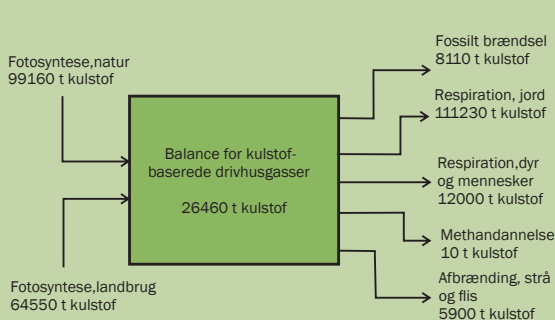
Samsøs balance med hensyn til drivhusgasser i 2011 er positiv, idet øen årligt netto optager knap 26.500 t kulstof fra atmosfæren svarende til ca. 232 t/km². Denne balance er alene opnået ved omlægning af øens el-forbrug til at være baseret på el fra øens 21 vindmøller. Regner man tilbage til 1997 ved at gå ud fra energi-regnskabet for dette år, havde øen højst sandsynligt en negativ balance mht. drivhusgasser på omtrent 5.000 t kulstof pr. år.

Kombineres ovenstående tal for balancen af drivhusgasser for 2011 med den anden del af kulstofkredsløbet, der udgøres af den kulstof, der er bundet i materialer, bliver regnskabet noget mindre nemlig små 2.000 t kulstof. Hvis man tager usikkerheden på beregningerne i betragtning, er dette tal næppe betydeligt forskelligt fra nul og øens kulstofbalance må i 2011 overordnet set betragtes som neutral.

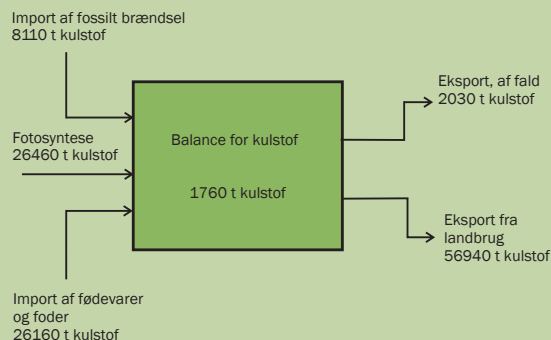
Det samlede budget for arbejdsenergi på Samsø opgjort for 2011. Figuren er opdelt i import og eksport af arbejdsenergi bundet i energi (øverste halvdel) og materialer (nederste halvdel). Arbejdsenergiene er desuden underopdelt i forhold til, hvorvidt de kan anses at stamme fra vedvarende eller ikke-vedvarende ressourcer. Samsø eksporterer mere arbejdsenergi end der importeres (ca. 193 TJ), hvoraf en stor del kan forklares ved eksport af elektricitet og fødevarer. Øen er stadig afhængig af arbejdsenergi hidrørende fra ikke-bæredygtige ressourcer, både i form af fossile brændsler og materialer. Desuden er en betragtelig mængde arbejdsenergi bundet op i samfundets infrastrukturer, fx veje og bygninger.



Diagrammet viser en forenklet udgave af en model udviklet til at simulere kulstofbudgetter for lokale samfund. Nederste del beskriver hovedsageligt puljer og strømme relateret til landbruget, mens den øverste del viser den resterende del af samfundet. En del af de viste puljer og aktiviteter giver anledning til udveksling af drivhusgasser (kulstofbaserede), kuldioxid (CO₂) og metan (CH₄) med atmosfæren. Den mængde kulstof, der indbygges ved fotosyntesen kan ophobes, nedbrydes eller eksporteres.



Regnskabet for drivhusgasser viser, at fotosyntese i natur og landbrug giver anledning til binding af omkring 26.000 t kulstof på Samsø. Af den optagne mængde forsvinder dog mere end 2/3-dele ved respiration i jord.



Regnskabet for partikulært kulstof viser sig stort set at være i balance, da der eksporteres lige så mange tons kulstof fra landbruget som fødevarer, som der importeres i fossilt brændsel, fotosyntese og (re-)import af fødevarer til mennesker og foder til dyr.

Indikatorer for bæredygtighed

Værdier på udvalgte indikatorer for bæredygtighed beregnet på grundlag af de opstillede regnskaber for arbejdsenergi bundet i både energi og stof for hele Samsø år 2011. Udviklingen i indikatorerne er samtidig beregnet for et hypotetisk scenarie, der tænkes realiseret i år 2020 i forbindelse med omstilling til et samfund uafhængigt af fossilt brændstof.

Med de første tiltag vil overskuddet i arbejdsenergi falde med ca. 40 TJ, men der refterer stadig et overskud på 153 TJ. Samtidig forandrer struktur-indikatoren (S/I) sig fra 11-12, en ganske beskedne ændring, der dog betyder, at den samme struktur opretholdes for lavere omkostninger. Forholdet mel-

lem vedvarende energi og ikke-vedvarende energi i driften af Samsø som samfund ændrer sig til at være større end en (1), hvilket også reflekteres i effektivitets-indikatoren. Den viser, at man vil opnå, at 51 % af øens arbejdsenergi dækkes af vedvarende former. Grunden til at medtage to tilsyneladende ens indikatorer er, at de forventes at have forskellig følsomhed over tid. Hermed vil de spille forskellige roller under forskellige faser af omstillingen. Effektivitets-indikatoren (O/I-indikatoren) er i begge tilfælde over en (1), hvilket skyldes eksporten af arbejdsenergi fra el-produktionen. I 2020 forudsiger modellen, at den er faldet en anelse i forhold til 2011, hvilket skyldes stigningen i intern anvendelse af overskuddet.

Indikator	2011 (seneste data)	2020 (overgang)	
Arbejdsenergi-balance (O minus I)	193	153	
Struktur-indikator (S/I)	11	12	
Vedvarende/Ikke vedvarende ratio	0,73	1,03	O = Eksporteret arbejdsenergi (Output)
Vedvarende effektivitet	0,43	0,51	I = Importeret arbejdsenergi (Input)
Effektivitets-indikator (O/I)	1,14	1,12	S = Arbejdsenergi indlejret i samfundets struktur (Storage)

Arbejdsenergi

Alle materialer i strukturer og stofstrømme har et givet indhold af arbejdsenergi normalt angivet per masseenhed (m) og varierer med stof (i), $\xi_{m,i}$ (normalt i enheden kJ g^{-1}).

Mængden af arbejdsenergi, $\Xi_{m,i}$ i massen m af et givet stof i, m_i , kan således beregnes som:

$$\Xi_{m,i} = \xi_{m,i} \cdot M_i$$

Indeholder en strukturel komponent, eksempelvis flere stoffer eller materialer (fx) bygninger, må den samlede arbejdsenergi beregnes ud fra summen

$$\Xi_{\text{total}} = \sum \Xi_{m,i}$$

Denne beregningsmetode betragter arbejdsenergi som en additiv størrelse, hvilket ikke er strengt korrekt, da den eksempelvis ikke medtager forøgelse i arbejdsenergi som følge af ændringer i struktur.

Videre læsning

Jørgensen, S.E. og Nielsen, S.N., A carbon cycling model developed for the renewable Energy Danish Island, Samsø. Ecological Modelling, In Press, Corrected Proof, Available online at ScienceDirect on 2 July 2014.

Nielsen, S.N., Jørgensen, S.E., In Press, Sustainability Analysis of a Society based on Exergy Studies - A case study of the island of Samsø (Denmark). Jour. of Cleaner Production, Accepted Manus., Available online at ScienceDirect on 23 August 2014

Samsø Energiakademi, 2014. Bæredygtigheds-vurdering af Samsø år 2011 - med udgangspunkt i arbejdsenergi og kulstof-balance. Samsø Energiakademi/VELUX FONDEN, 30 pages. (<http://energiakademiet.dk/samsoes-kulstof-balance-er-positiv/>)

Projektet blev finansieret af VELUX-fonden og udført ved Energiakademiet Samsø med villig hjælp fra såvel denne institution som kommune og beboere, der forhåbentlig vil bruge resultaterne i den omstillingsproces, der vil foregå fremover.

Overgangen til et fuldt bæredygtigt samfund vil dog rumme en del aktiviteter, der forventes at ville forbedre denne balance betydeligt.

Et fremtidsscenarie

Det er muligt at anvende både bæredygtighedsanalysen og kulstofmodellen til at anskueliggøre effekten af fremtidige tiltag. Samsø har allerede en betydelig overskudsproduktion af el, der kan anvendes til at gøre øen endnu mere bæredygtig i stedet for at eksporteres. Man kan således forestille sig, at man i årene frem til 2020 erstatter al det fossile brændstof til opvarmning og transport med elektricitet, dvs. udskifter eksisterende oliefyr med varmepumper og kun kører i elbiler. Desuden er der indregnet en stigning på 5 % i produktionen af el samt delvis ændring af en planlagt ny færge til at sejle på en kombineret el- og biobrændselsmotor.

Hvis man anvender mere af øens elproduktion i forbindelse med omstilling, kan man ikke samtidig eksportere så meget el fra øen som nu. Der vil

dog stadigvæk være et betydeligt overskud, der kan investeres i yderligere omstilling.

På samme tid vil man ved de hypotetiske tiltag samt en intensiveret dyrkning af efter- og mellem-afgrøder kunne ændre kulstofregnskabet til at være endog meget positivt. Således vil øen i år 2020 kunne optage i alt ca. 40.000 ton kulstof i form af kuldioxid om året og udvise en balance i det totale kulstofregnskab på omkring 30.000 ton kulstof.

Overordnet kan det konkluderes, at det er lykkedes at konstruere en nogenlunde enkel metode til opstilling af et bæredygtighedsregnskab for et samfund. Det er samtidig muligt at opstille en række indikatorer for bæredygtighed, som kan anvendes som målepunkter i forbindelse med en omstilling af et samfund til at være bæredygtigt. Beregningerne er samtidig baseret på data, der generelt er tilgængelige for alle kommuner i Danmark. Metoden kan således overføres til anvendelse på kommunalt og regionalt plan. ■