

Det bæredygtige hus – findes det?

Fra relativ til absolut bæredygtighed i byggeriet og andre steder

Michael Hauschild

DTU Management

Quantitative Sustainability Assessment

9. Juni 2021

Det bæredygtige hus?

- Hvad er bæredygtighed?
- Hvad er bæredygtighedsudfordringen?
- Hvordan måles bæredygtighed?
- Fra relativ til absolut bæredygtighed
- Det bæredygtige hus?

Den grundlæggende definition

Brundtland Kommissionen:

En bæredygtig udvikling *“...opfylder de nuværende generationers behov uden at bringe fremtidige generationers mulighed for at opfylde deres behov i fare”*

Men hvad er behovene?

Hvad vil de være fremover?

Hvordan opfyldes de?

Verdensmålene

FN's Verdensmål for bæredygtig udvikling 2015-2030



Bæredygtighedsudfordringen

“Master equation”:

$$MP = Bef \cdot \frac{BNP}{person} \cdot \frac{MP}{BNP}$$

(Graedel and Allenby (1995) *Industrial ecology*. Prentice Hall, New Jersey)

- MP er miljøpåvirkningen
- Bef er det globale befolkningstal
- $\frac{BNP}{person}$ er den materielle velstand
- $\frac{MP}{BNP}$ er *miljøintensiteten* af vores teknologi

Bæredygtighedsudfordringen

$$MP = Bef \cdot \frac{BNP}{person} \cdot \frac{MP}{BNP}$$

- Befolkningstallet vil fortsat øges markant
- Den materielle levestandard vil vokse markant i store ny-industrialiserede lande (Asien)
- Miljøpåvirkningen er allerede i dag over det bæredygtige på mange områder

→ miljøintensiteten skal reduceres markant

En bæredygtig klimabelastning?

$$MB = Bef \cdot \frac{BNP}{person} \cdot \frac{MB}{BNP}$$

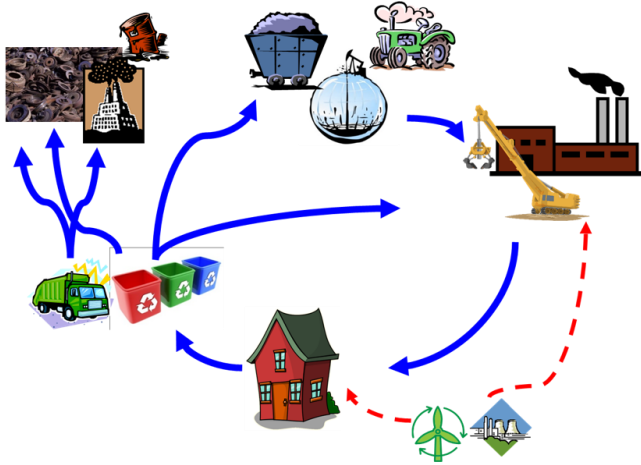
2030:

- Ca 50% reduktion i udledning af drivhusgasser
- Ca 8.5 mia mennesker (ca. 10% flere end i dag)
- Ca. 30% stigning i BNP/person

$$\frac{MB}{BNP} = \frac{0,5}{1,1 \cdot 1,3} = 0,35$$

→ teknologiens miljøintensitet skal reduceres til 1/3 i 2030!

Hvordan måler vi miljøintensitet?



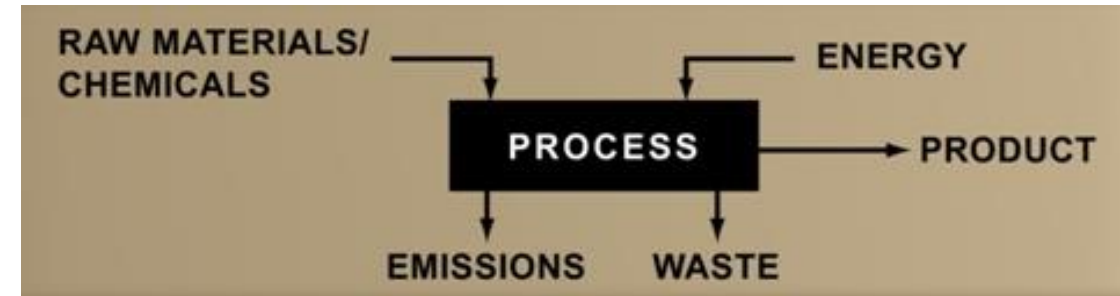
Vi har brug for et systemisk perspektiv;

- Et livscyklusperspektiv der afslører når problemet bare flyttes
- ..omfattende alle relevante typer af påvirkninger
- ... så vi kan identificere og adressere afvejninger (trade-offs)

Miljøintensitet

Gennem hele livscyklus udveksler processerne stoffer med omgivelserne

- Ressourcer og materialer går ind
- Produkter, udledninger og affald går ud



Alle disse udvekslinger kan påvirke miljøet og bidrage til de miljøeffekter, vi kender

Vi må se på alle miljøpåvirkningerne hen igennem livscyklus

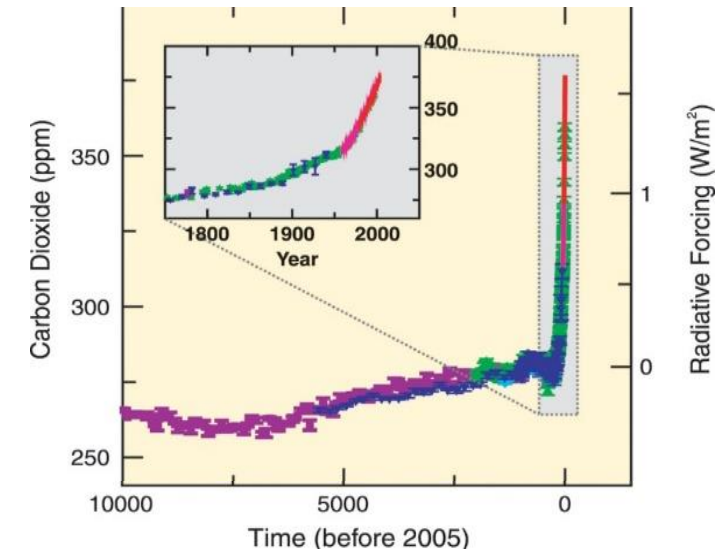
Miljøintensitet

Fra det *globale*

- Drivhuseffekten og klimaændringerne
- Nedbrydning af stratosfærens ozon
- Udtømning af ikke-fornyelige ressourcer

... over det *regionale*

- Forsuring
- Belastning med næringssalte
- Giftvirkninger på økosystemer og på menneskers sundhed
- Fotokemisk og partikelbåren luftforurening



Miljøintensitet

... til det *lokale*

- Rydning af land, tab af jord og levesteder
- Udtømning af vandressourcer



Miljøpåvirkningerne kan opgøres for hver enkelt udveksling og udtrykkes for hele produktets livscyklus

En fælles enhed for alle miljøpåvirkningerne er ***Personækvivalenten***:

Hvor stor er produktets påvirkning i forhold til ***den årlige miljøbelastning fra en gennemsnitsperson?***

Personækvivalenter

Den årlige miljøbelastning fra hver af os

Miljøeffekt	Aktuel miljøbelastning
Klimaændringer	8.1 ton CO ₂ -ækv
Ozon nedbrydning	0.041 kg CFC-11-ækv
Fotokemisk ozon	57 kg NMVOC-ækv
Terrestrisk forsurening	$7.8 \cdot 10^2$ mol H ⁺ ækv
Terrestrisk eutrofiering	$3.5 \cdot 10^2$ mol N ækv
Ferskvandseutrofiering	0.62 kg P ækv
Marin eutrofiering	9.4 kg N ækv
Ferskvandsøkotoksicitet	$6.7 \cdot 10^2$ [PAF].m ³ .dag
Arealanvendelse, jordkvalitet	9 tons eroderet jord
Vandressourcetab	395 m ³

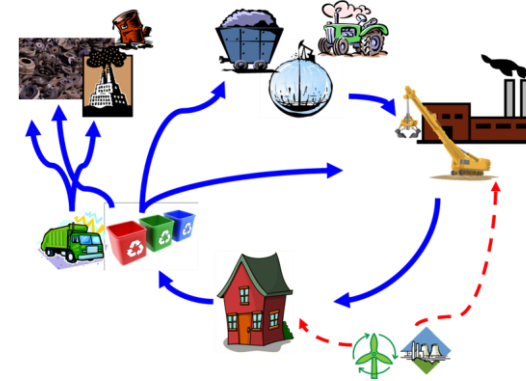
Laurent A, Olsen SI, Hauschild MZ (2011) Normalization in EDIP97 and EDIP2003: updated European inventory for 2004 and guidance towards a consistent use in practice. Int J Life Cycle Assess 16, 401-409

Livscyklusvurdering (LCA)

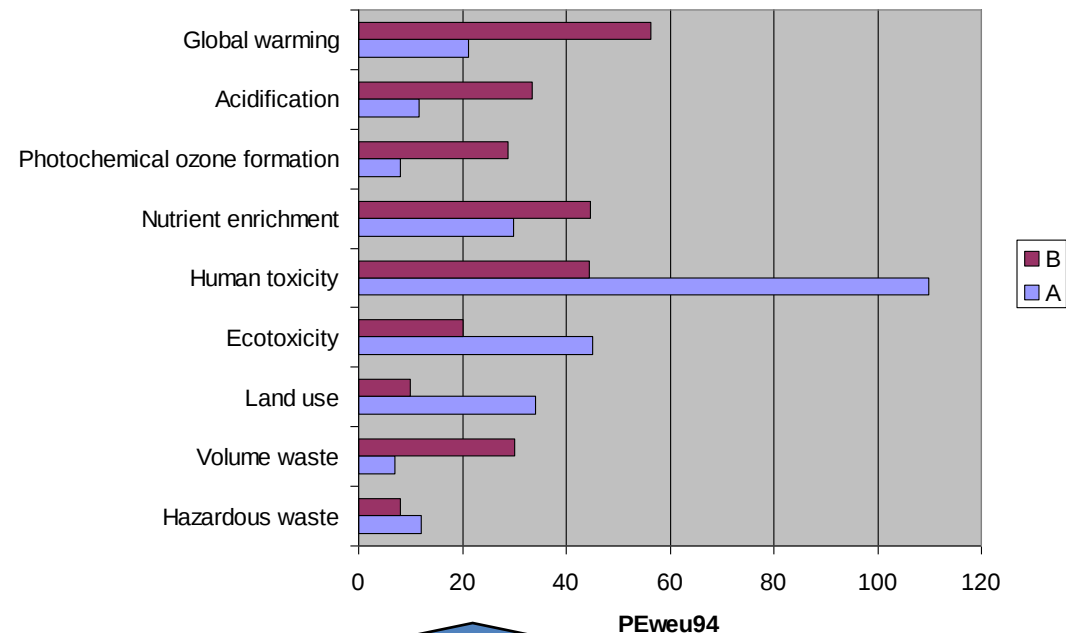
Kortlægning af udvekslinger

Substance	CAS.no.	Emission to air g	Emission to water g
2-hydroxy-ethanacrylate	816-61-0	0,0348	
4,4-methylenebis cyclohexylamine	1761-71-2	5,9E-02	
Ammonia	7664-81-7	3,7E-05	4,2E-05
Arsenic (As)	7440-38-2	2,0E-06	
Benzene	71-43-2 (cur	5,0E-02	
Lead (Pb)	7439-92-1	8,5E-06	
Butoxyethanol	111-76-2	6,6E-01	
Carbon dioxide	124-38-9	2,6E+02	
Carbon monoxide (CO)	630-08-0	1,9E-01	
Cadmium (Cd)	7440-46-9	2,2E-07	
Chlorine (Cl2)	7782-50-5	4,6E-04	
Chromium (Cr VI)	7440-47-3	5,3E-06	
Dicyclohexane methane	86-73-6	5,1E-02	
Nitrous oxide(N2O)	10024-97-2	1,7E-02	
2,4-Dinitrotoluene	121-14-2	9,5E-02	
HMDI	5124-30-1	7,5E-02	
Hydro carbons (electricity, stationary combustion)	-	1,7E+00	
Hydrogen ions (H+)	-		1,0E-03
i-butanol	78-83-1	3,5E-02	
i-propanol	67-63-0	9,2E-01	
copper (Cu)	7740-50-8	1,8E-05	
Mercury(Hg)	7439-97-6	2,7E-06	
Methane	74-82-8	5,0E-03	
Methyl i-butyl ketone	108-10-1	5,7E-02	
Monoethyl amine	75-04-7		7,9E-06
Nickel (Ni)	7440-02-0	1,1E-05	
Nitrogen oxide (NOx)	10102-44-0	1,1E+00	
NM VOC, diesel engine (exhaust)	-	3,9E-02	
NM VOC, power plants (stationary combustion)	-	3,9E-03	
Ozone (O3)	10028-15-6	1,8E-03	
PAH	ikke specifik	2,4E-08	
Phenol	108-95-2		1,3E-05
Phosgene	75-44-5	1,4E-01	
Polyeter polyol	ikke specifik	1,6E-01	
1,2-propylenoxide	75-56-9	8,2E-02	
Nitric acid	7782-77-6 (c	8,5E-02	
Hydrochloric acid	7647-01-0 (c	1,9E-02	
Selenium (Se)	7782-49-2	2,6E-05	
Sulphur dioxide(SO2)	7446-09-5	1,3E+00	
Toluene	108-88-3	4,8E-02	
Toluene-2,4-diamine	95-80-7	7,9E-02	
Toluene diisocyanat (TDI)	26471-62-5	1,6E-01	
Total-N	-		2,6E-05
Triethylamine	121-44-8	1,6E-01	
Unspecified aldehydes	-	7,5E-04	
Unspecified organic compounds	-	1,5E-03	
Vanadium	7440-62-2	1,8E-04	
VOC, diesel engine (exhaust)	-	6,4E-05	
VOC, stationary combustion (coal fired)	-	4,0E-05	
VOC, stationary combustion (natural gas fired)	-	2,2E-03	
VOC, stationary combustion (oil fired)	-	1,4E-04	
Xylene	1330-20-7	1,4E-01	
Zinc (Zn)	7440-66-6	8,9E-05	

Produkters livscyklus



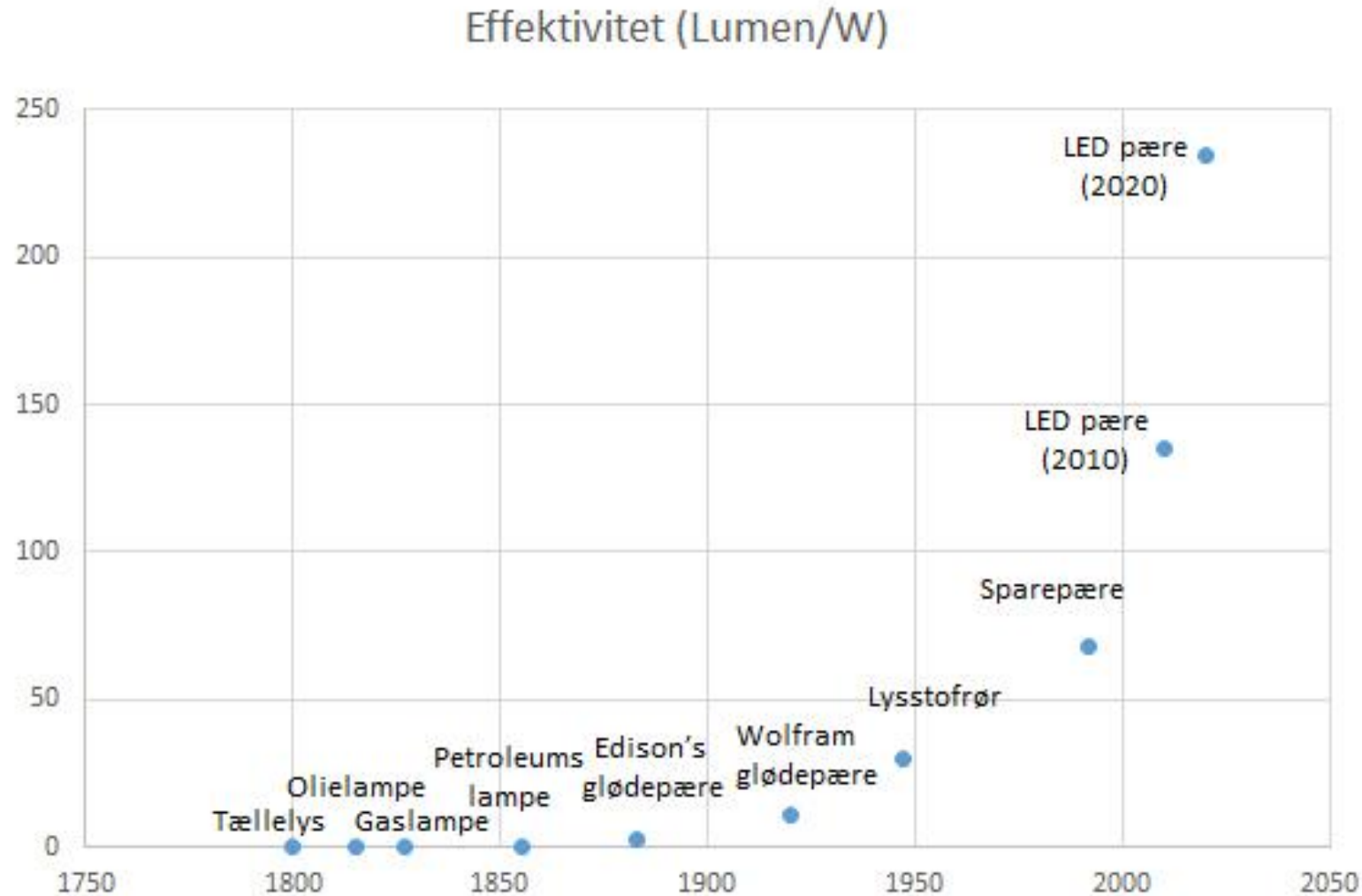
Miljøprofil for produkterne



PEwew94

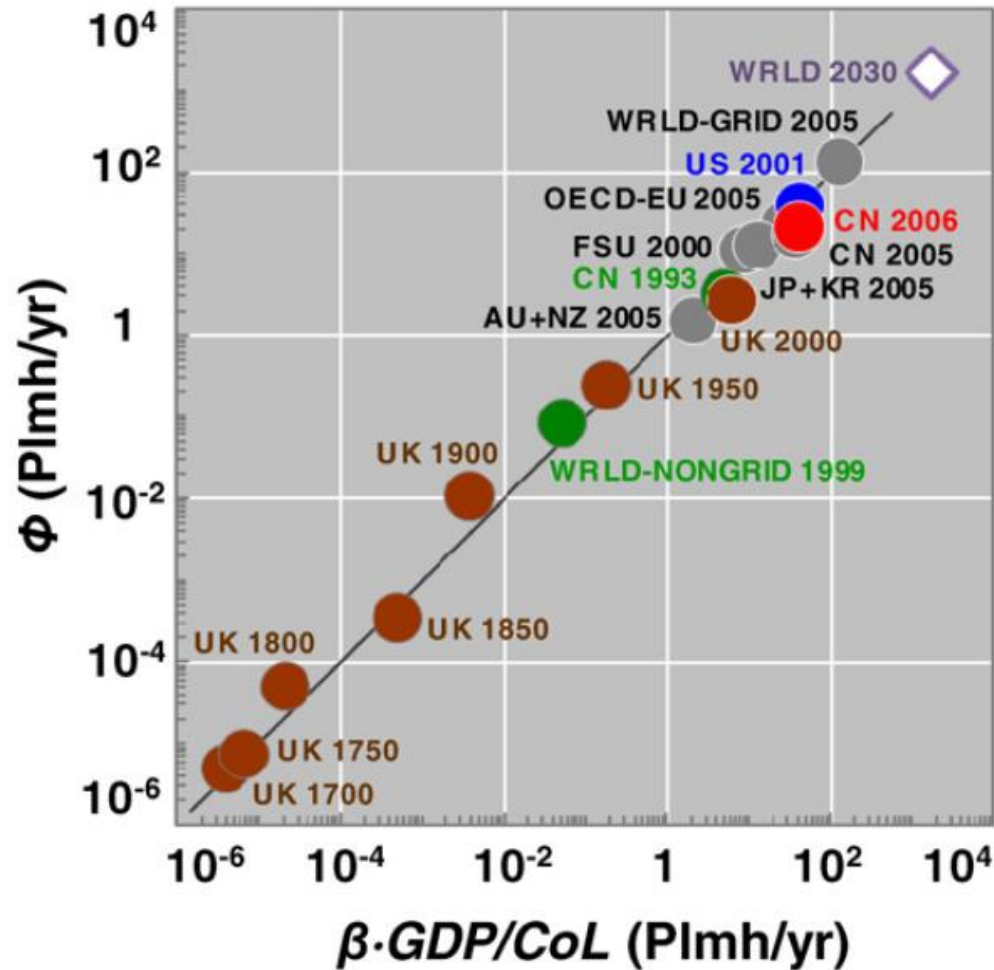
Faktor 3 forbedring i miljøintensiteten på 10 år?

Effektivitetsudvikling



Franceschini S (2015) Eco-innovation dynamics and sustainability – new perspectives in innovation studies illuminated through the case of lighting and its energy consumption. PhD thesis DTU Management Engineering, Technical University of Denmark, Lyngby

Forbrugsudvikling – rebound effekt



“Gennem de sidste tre århundreder har verden brugt 0.72% af BNP på lys og 0.54% af BNP på energi til belysning”

Tsao JY, Saunders HD, Creighton JR, Coltrin ME, Simmons JA (2010) Solid-state lighting: an energy-economics perspective. J. Phys.D: Appl. Phys. 43, 354001

Rebound effekten

$$MB = B_{ef} \cdot \frac{BNP}{person} \cdot \frac{MB}{BNP}$$

- Materiel velstand og miljøeffektivitet er ikke altid indbyrdes uafhængige
- Nogen gange leder effektivitetsforbedringer til øget forbrug
 - den samlede miljøbelastning reduceres ikke tilsvarende
 - i værste fald stiger den *som følge af* effektivitetsforbedringen

Relativ eller absolut bæredygtighed?

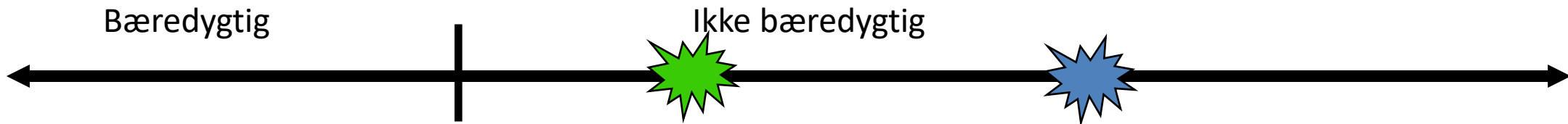
LCA giver **relative** vurderinger af miljømæssig bæredygtighed ("*mere bæredygtig end...?*")

- Samme funktionalitet med mindre miljøbelastning

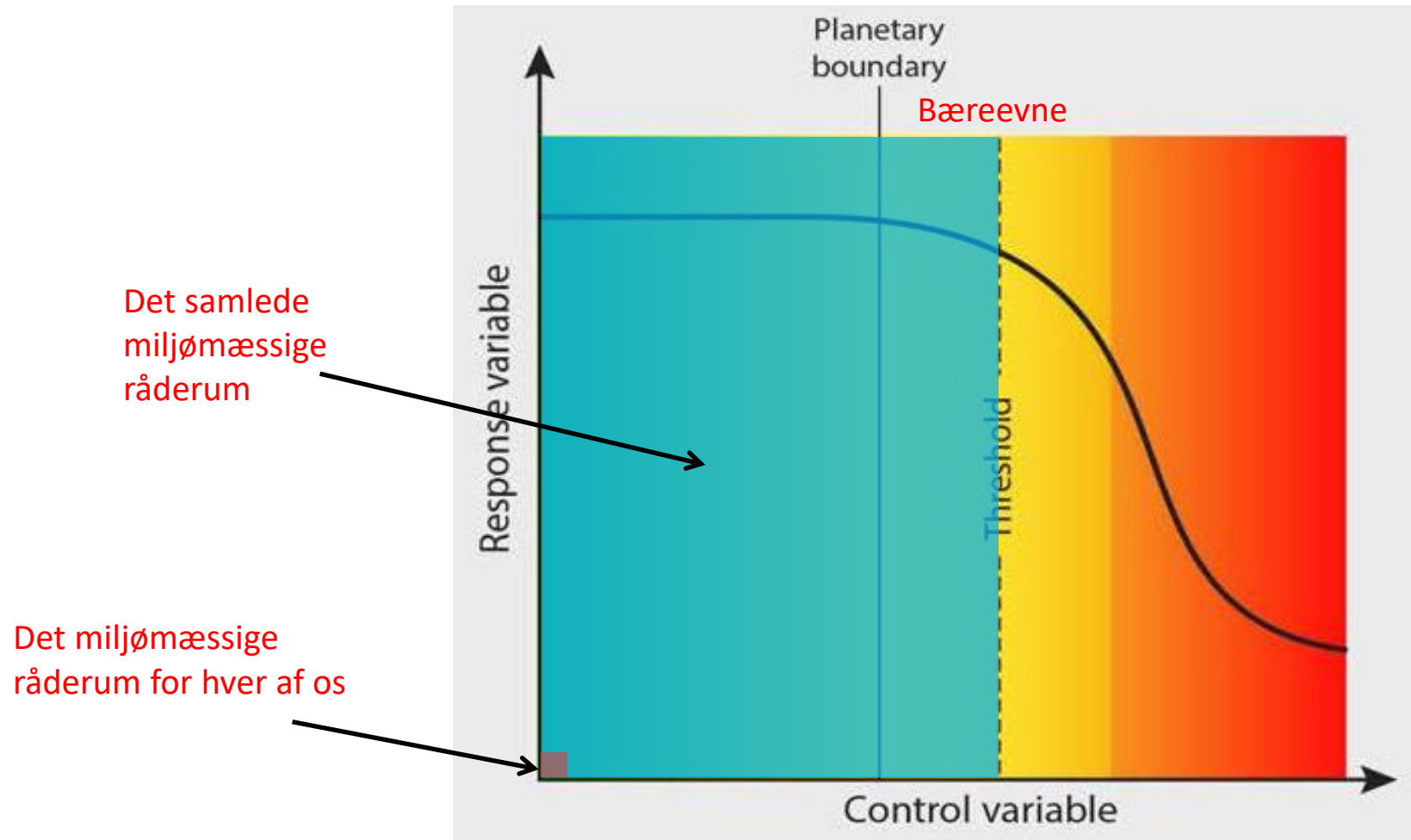


Absolut bæredygtighed ("*bæredygtig?*")

- Hvor er grænsen mellem hvad der er bæredygtigt og hvad der ikke er?
- Hvad er bæredygtigt i absolut forstand?



Det miljømæssige råderum



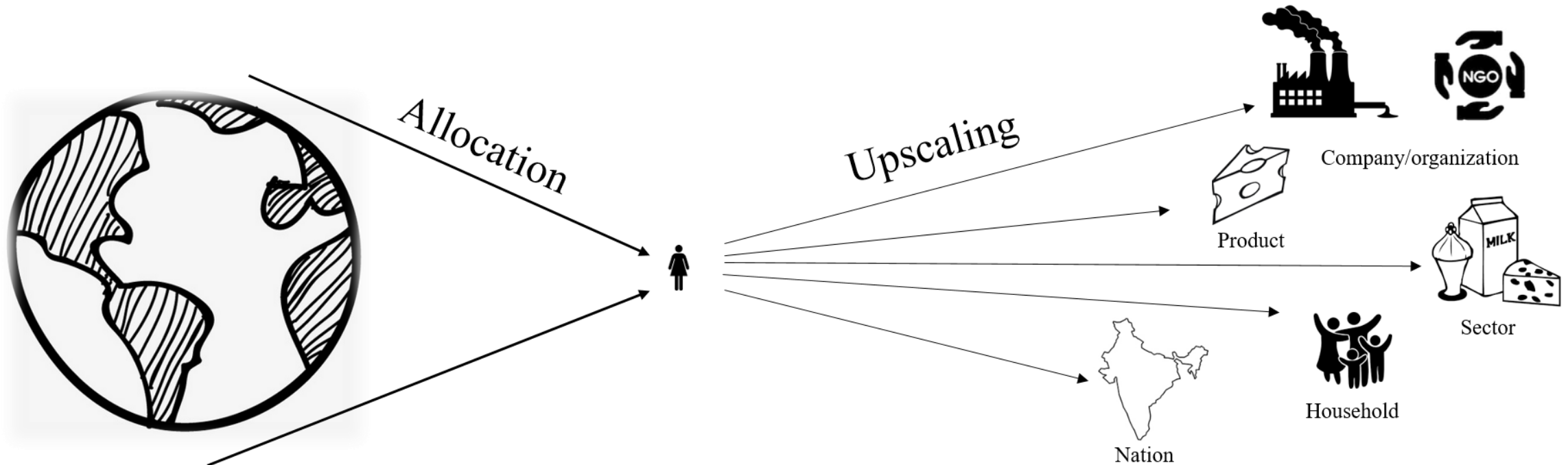
Miljømæssigt råderum per person

Den bæredygtige årlige miljøbelastning fra hver af os

Miljøeffekt	Aktuel miljøbelastning	Bæredygtig belastning
Klimaændringer	8.1 ton CO ₂ -ækv	0.98 ton CO ₂ -ækv
Ozon nedbrydning	0.041 kg CFC-11-ækv	0.078 kg CFC-11-ækv
Fotokemisk ozon	57 kg NMVOC-ækv	2.5 kg NMVOC-ækv
Terrestrisk forsurening	$7.8 \cdot 10^2$ mol H ⁺ ækv	$1.4 \cdot 10^3$ mol H ⁺ ækv
Terrestrisk eutrofiering	$3.5 \cdot 10^2$ mol N ækv	$1.8 \cdot 10^3$ mol N ækv
Ferskvandseutrofiering	0.62 kg P ækv	0.46 kg P ækv
Marin eutrofiering	9.4 kg N ækv	31 kg N ækv
Ferskvandsøkotoksicitet	$6.7 \cdot 10^2$ [PAF].m ³ .dag	$1.0 \cdot 10^4$ [PAF].m ³ .dag
Arealanvendelse, jordkvalitet	9 tons eroderet jord	1.2 tons eroderet jord
Vandressourcetab	395 m ³	490 m ³

Laurent A, Olsen SI, Hauschild MZ (2011) Normalization in EDIP97 and EDIP2003: updated European inventory for 2004 and guidance towards a consistent use in practice. Int J Life Cycle Assess 16, 401-409

Råderum til byggeri?



Miljømæssigt bæredygtigt byggeri

Kræver en masse antagelser:

- Hvor mange skal have adgang til det?
- Har de alle det samme råderum?
- Hvad forbruger de ellers?
- Hvor meget kan byggeriet belaste miljøet, hvis de skal kunne holde sig indenfor deres råderum?

For flere miljøpåvirkninger skal det være i 2050 være 10-20 gange mindre belastende end i dag

Det bæredygtige produkt?

- Hvor store er produktets miljøpåvirkninger?
- Hvor meget er det i forhold til
 - Den del af mit miljømæssige råderum, jeg vil bruge på det (*forbrugerperspektiv*)?
 - Det råderum, vi kan afsætte til det i vores samlede produktportefølje (*virksomhedsperspektiv*)?
... når vi tager væksten i markedet i betragtning (rebound effect)?
 - Det råderum, vi kan afsætte til dette produkt eller denne teknologi indenfor samfundets samlede råderum (*samfundsperspektiv i en planøkonomi*)

... og så er der de sociale og økonomiske bæredygtighedsdimensioner

Så...

- Bæredygtighed kræver **store forbedringer i økoeffektivitet**
- Økoeffektivitetsforbedringer er imidlertid ikke nok, de må kombineres med et **absolut bæredygtighedsperspektiv** for at sikre, at de bidrager til løsninger der er bæredygtige
- **Råderummet indenfor tålegrænsen** er en sparsom ressource som vi konkurrerer om
- Absolut bæredygtighed
 - Kan guide hverdagens forbrugervalg
 - Giver et stabilt langtidsperspektiv for strategiske beslutninger
- *Fuld bæredygtighedsvurdering må **adressere alle relevante SDG'er***