

Bæredygtighedsudfordringen – og teknologiens rolle

Michael Hauschild
Danmarks Tekniske Universitet
mzha@dtu.dk

Bæredygtighedsudfordringen



- Miljømæssig bæredygtighed og kravet til miljøeffektivitet
- Hvordan vurderer vi miljøeffektivitet?
- Teknologiens rolle
- Relativ og absolut bæredygtighed
- Et absolut bæredygtighedsperspektiv på teknologi

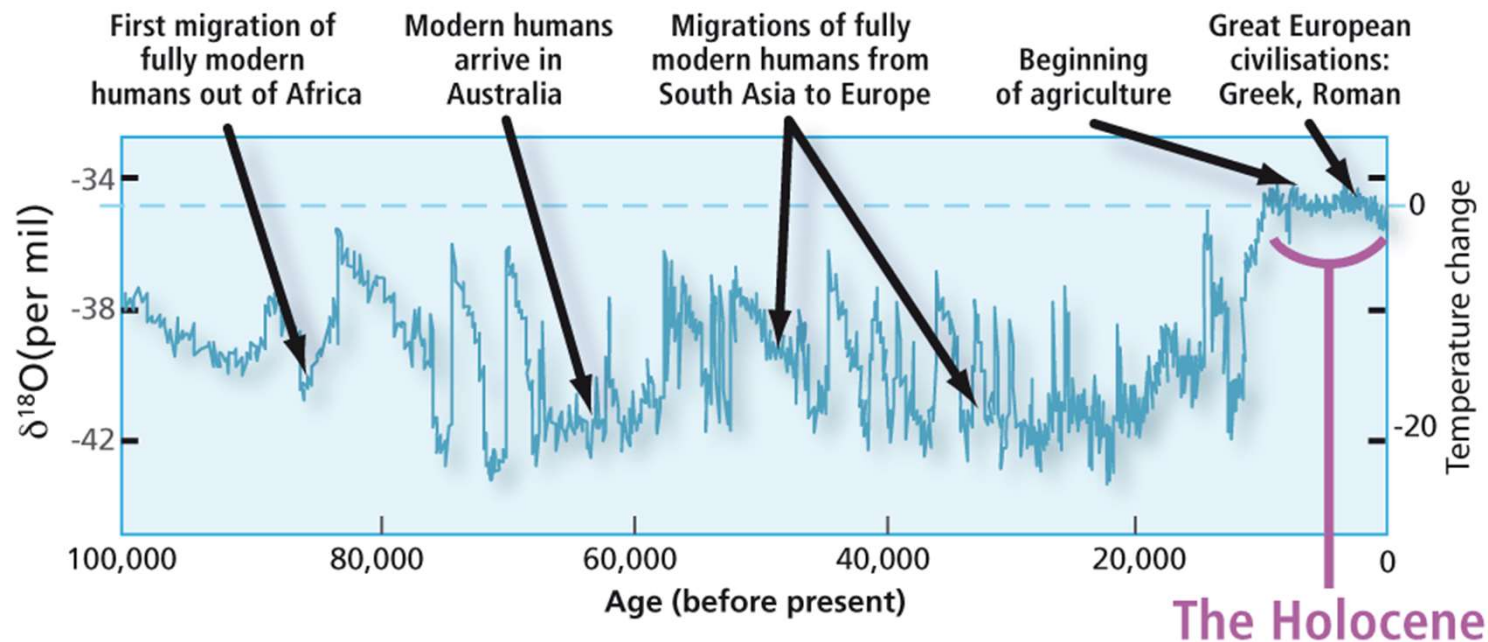


Hvad kendetegner et bæredygtigt
produkt?

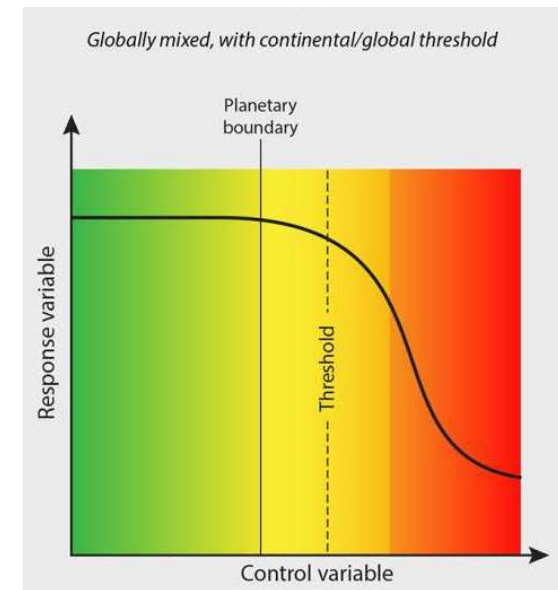
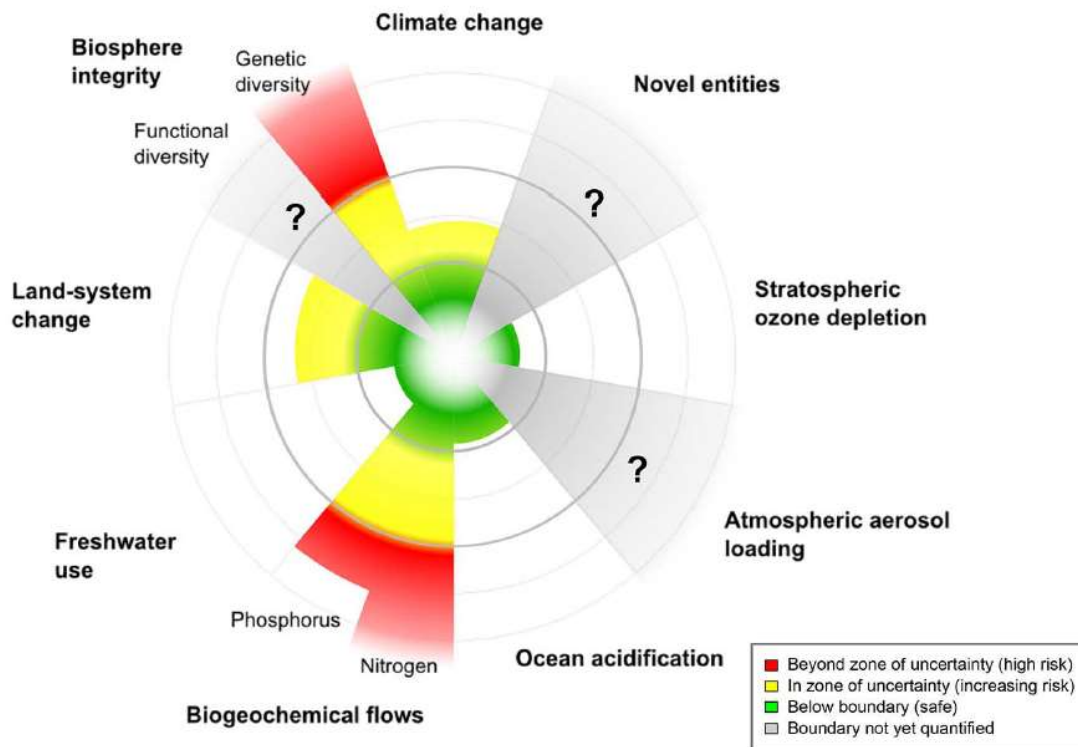
gå til www.menti.com
14164919

Bæredygtighedsudfordringen

Bevare planeten i Holocæn



Planetariske grænser



Steffen W, Richardson K, Rockström J et al. (2015)
Planetary boundaries: Guiding human development
on a changing planet. Science 347(6223), 736-746

Bæredygtighedsudfordringen



$$I = P \cdot A \cdot T = Pop \cdot \frac{GDP}{person} \cdot \frac{I}{GDP}$$

Ehrlich P, Holdren J (1971) Impact of population growth. Science 171, pp. 1212–1217.
Commoner B (1972) The environmental cost of economic growth. In Ridker RG (ed.) Population, Resources and the Environment, pp. 339–63. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
Graedel and Allenby (1995) Industrial ecology. Prentice Hall, New Jersey.

- I er miljøpåvirkningen
- Pop er den **globale befolkning**
- $\frac{GDP}{person}$ er den materielle velstand (**Affluence**)
- $\frac{I}{GDP}$ er **Teknologifaktoren** – miljøpåvirkning per genereret værdi

Bæredygtighedsudfordringen

$$I = Pop \cdot \frac{GDP}{person} \cdot \frac{I}{GDP}$$

- Verdensbefolkningen stabiliseres måske omkring 10 milliarder
- Den materielle velfærd vil fortsat stige stærkt i vækstøkonomierne i Asien, Sydamerika og Afrika
- Miljøpåvirkningen overstiger allerede det bæredygtige på mange områder
- Så hvad er udfordringen?

2030 Drivhuseffekten

$$I = P \cdot A \cdot T$$

$$T = \frac{I}{P \cdot A}$$

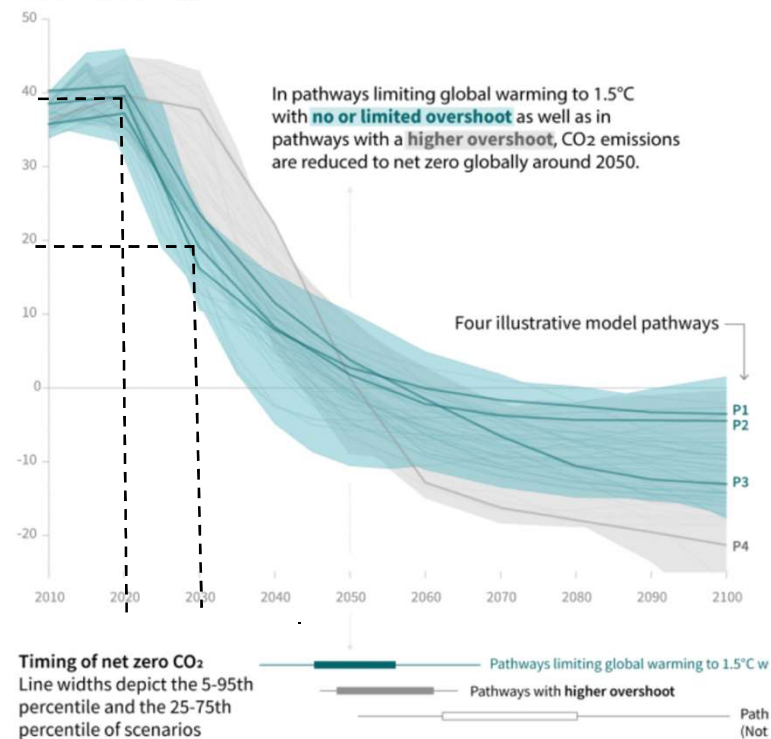
2030 Drivhuseffekten

$$I = P \cdot A \cdot T$$

$$T = \frac{0.5}{P \cdot A}$$

Global total net CO₂ emissions

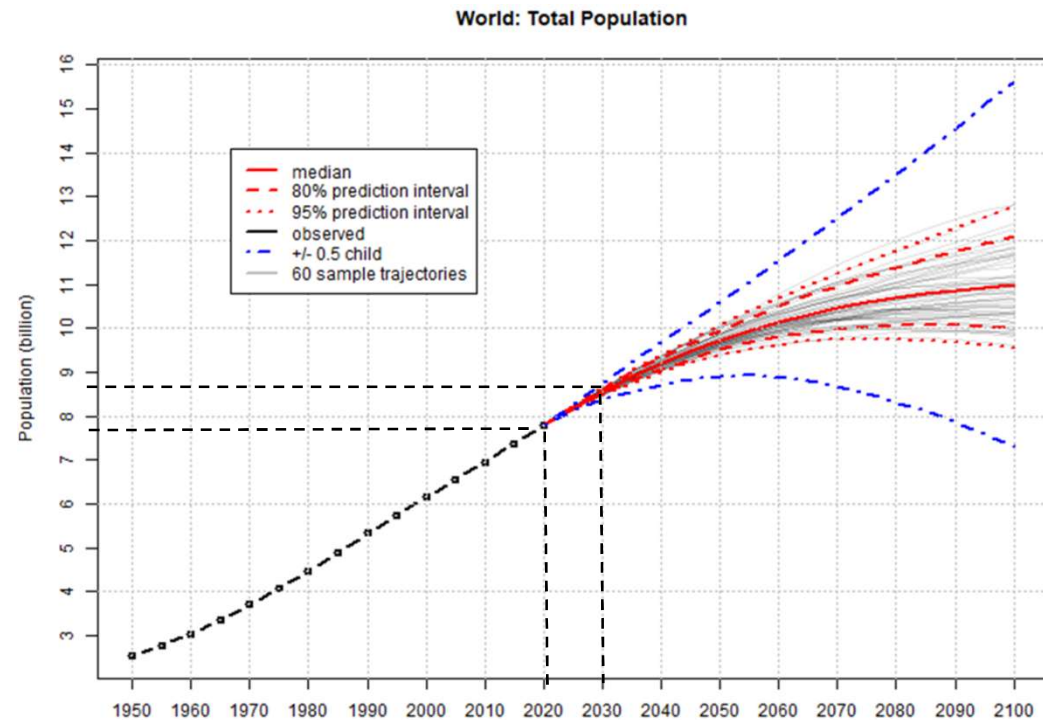
Billion tonnes of CO₂/yr



2030 Drivhuseffekten

$$I = P \cdot A \cdot T$$

$$T = \frac{0.5}{1.1 \cdot A}$$



© 2019 United Nations, DESA, Population Division. Licensed under Creative Commons license CC BY 3.0 IGO.
United Nations, DESA, Population Division. *World Population Prospects 2019*. <http://population.un.org/wpp/>

2030 Drivhuseffekten

$$I = P \cdot A \cdot T$$

$$T = \frac{0.5}{1.1 \cdot 1.3} = 0.35$$

Year	GDP/person (USD)	Decade increase
1960	452	
1970	804	1,8
1980	2533	3,2
1990	4285	1,7
2000	5498	1,3
2010	9551	1,7
2019	11436	1,2

Faktor 3, 10 eller 50



Teknologifaktoren $\frac{I}{GDP}$

$$I = Pop \cdot \frac{GDP}{person} \cdot \frac{I}{GDP}$$

– den miljøpåvirkning, vi forårsager når vi skaber velfærd og økonomisk værdi

skal falde 3-50 gange for at

- kompensere den forventede vækst i befolkning og materielt forbrug
- muliggøre den nødvendige reduktion i miljøbelastningen

...dvs. understøtte miljømæssig bæredygtighed

Miljøeffektivitet

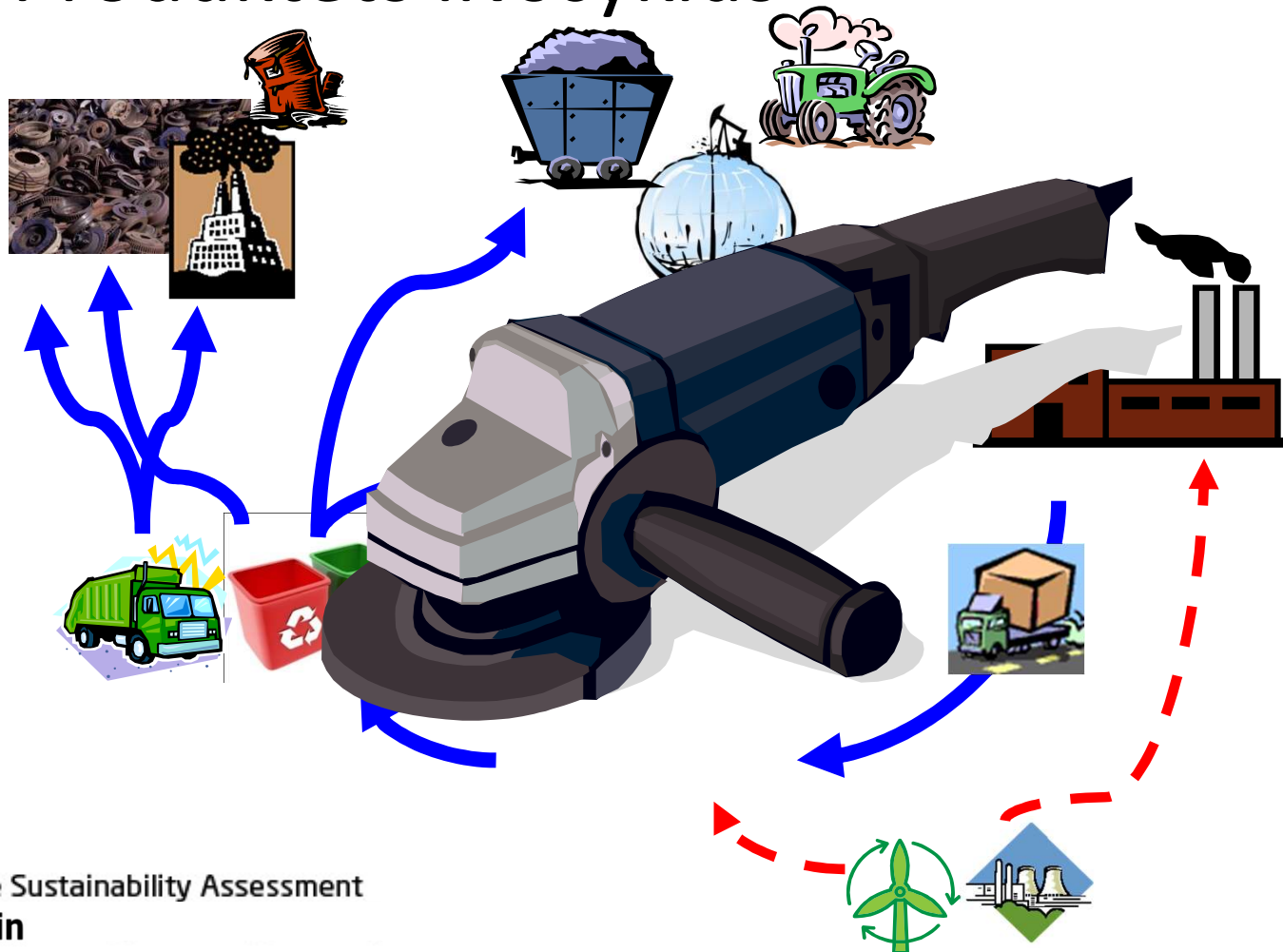
Miljøeffektiviteten af en aktivitet kan defineres som brøken mellem dens funktionelle output og den miljøbelastning, den forårsager

$$\text{Miljøeffektivitet} = \frac{\text{Leveret ydelse}}{\text{Miljøpåvirkning}} = 1/T$$

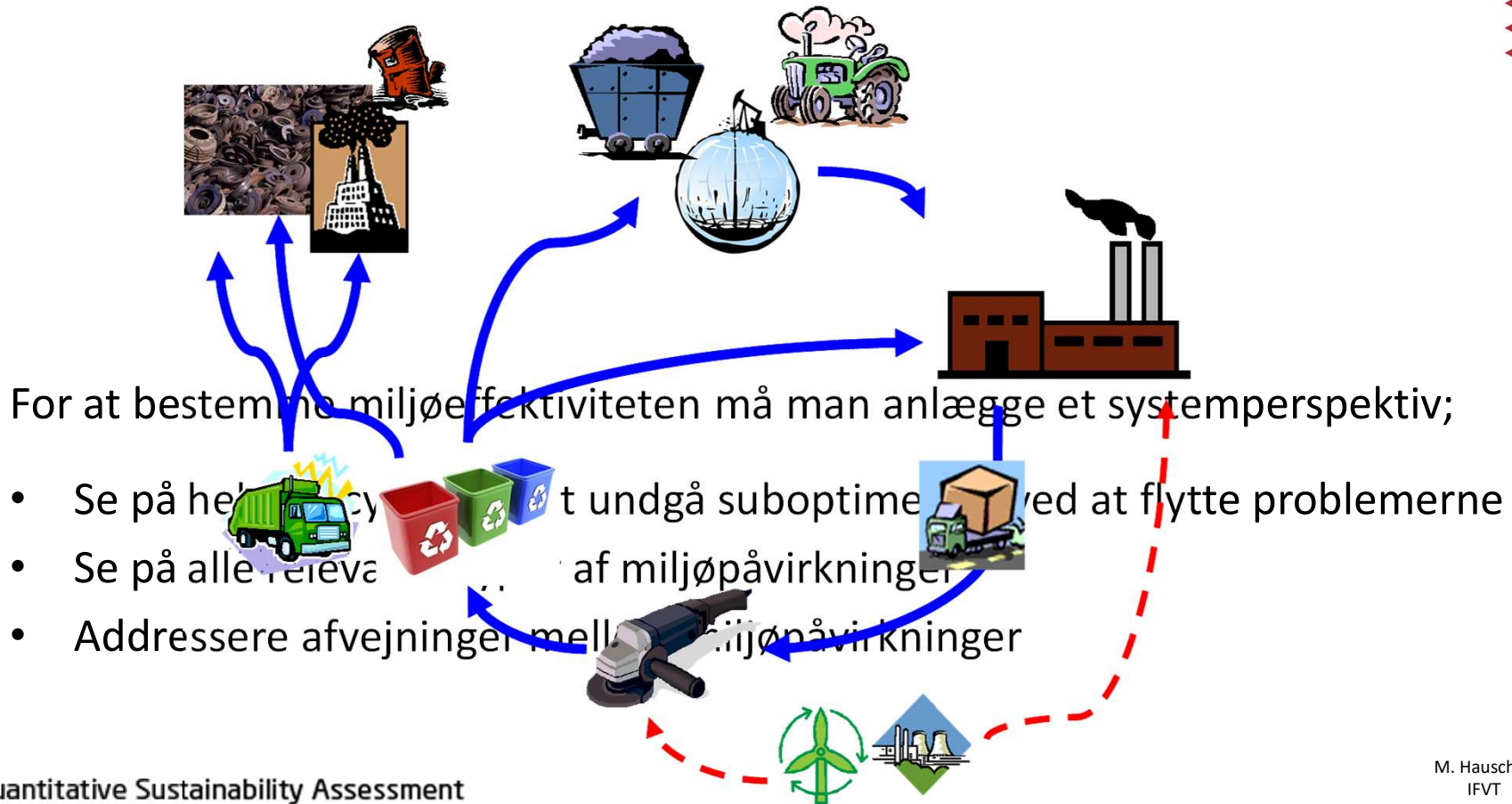
Større miljøeffektivitet betyder at skabe mere nytte med mindre miljøskade

Miljøeffektiviteten er den reciproke af teknologifaktoren i IPAT ligningen, men hvordan bestemmes den?

Produktets livscyklus



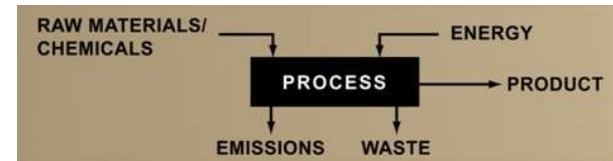
Tal på miljøeffektiviteten



Miljøpåvirkninger

Gennem hele livscyklus udveksler processer stof-, material- og energistrømme med omgivelserne

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



Ale disse udvekslinger kan potentielt påvirke miljøet og bidrage til de miljøproblemer, vi kender

Vi må analysere miljøpåvirkningerne gennem hele livscyklus – fra vugge til grav

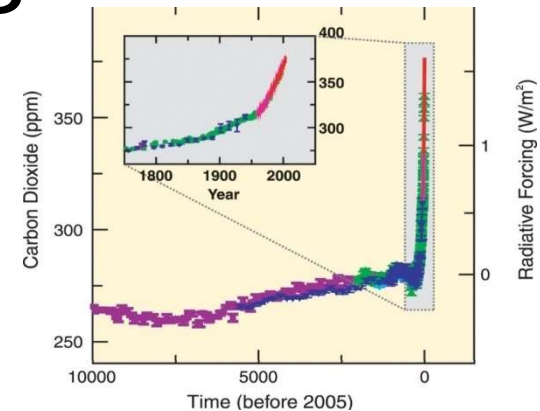
Miljøpåvirkninger

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
- Fotosmog og partikelforurening



Miljøpåvirkninger

... 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?*

Person ækvivalenter



Miljøpåvirkning	Årlig miljøbelastning fra en gennemsnitsperson, 2010 (person.år)	
	Europa	Verden
Klimaændringer	9.2 ton CO ₂ ækv	8.1 ton CO ₂ ækv
Ozonedbrydning	0.022 kg CFC-11 ækv	0.041 kg CFC-11 ækv
Fotokemisk ozon	32 kg NMVOC-ækv	57 kg NMVOC-ækv
Terrestrisk forsurening	7.4·10 ² mol H ⁺ ækv	7.8·10 ² mol H ⁺ ækv
Terrestrisk eutrofiering	5.5·10 ² mol N ækv	3.5·10 ² mol N ækv
Ferskvandseutrofiering	1.49 kg P ækv	0.62 kg P ækv
Marin eutrofiering	17 kg N ækv	9.4 kg N ækv
Ferskvandsøkotoksicitet	8.7·10 ³ [PAF].m ³ .dag	6.7·10 ² [PAF].m ³ .dag
Arealanvendelse, jordkvalitet	11 tons eroderet jord	9 tons eroderet jord
Arealanvendelse, biodiversitet	7.5·10 ³ m ² .år	6.2·10 ³ m ² .år
Vandressourcetab	256 m ³	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

Benini L, Mancini L, Sala S, Manfredi S, Schau EM, Pant R (2014) Normalisation method and data for Environmental Footprints. Report EUR 26842 EN. Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability. European Commission.

Björn A, Hauschild M (2015) Introducing carrying capacity based normalization in LCA: framework and development of midpoint level references. Int J Life Cycle Assess 20(7), 1005-1018, 2015

Livscyklusvurdering

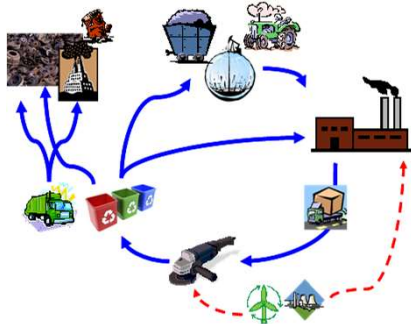


Kortlægning af udvekslinger

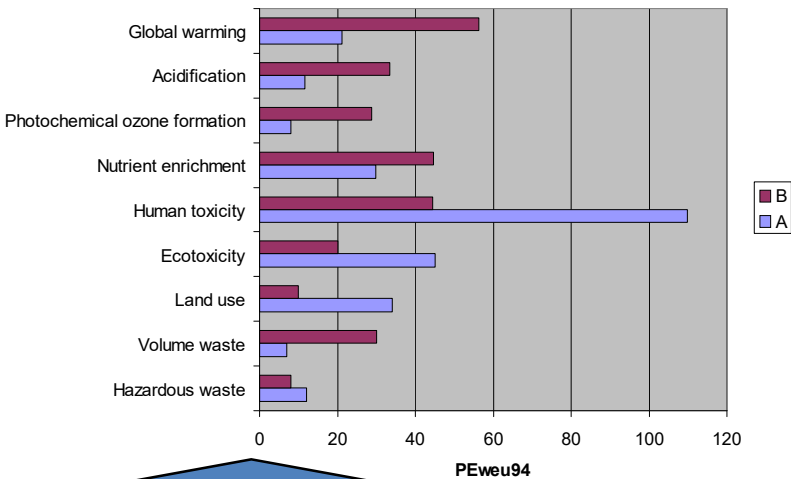
Substance	CAS.no.	Emission to air g	Emission to water g
2-hydroxy-ethanacrylate	816-61-0	0,0348	
4,4-methylenebis cyclohexylamine	1761-71-2	5,9E-02	
Ammonia	7664-81-7	3,7E-05	4,2E-05
Arsenic (As)	7440-38-2	2,0E-06	
Benzene	71-43-2 (cur)	5,0E-02	
Lead (Pb)	7439-92-1	8,5E-06	
Butoxyethanol	111-76-2	6,6E-01	
Carbondioxide	124-38-9	2,6E+02	
Carbonmonoxide (CO)	630-08-0	1,9E-01	
Cadmium (Cd)	7440-46-9	2,2E-07	
Chlorine (Cl ₂)	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(N ₂ O)	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 combust)	-	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 (NO _x)	10102-44-0	1,1E+00	
NM VOC, diesel engine (exhaust)	-	3,9E-02	
NM VOC, power plants (stationary combustion)	-	3,9E-03	
Ozone (O ₃)	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(SO ₂)	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



Tal på miljøeffektiviteten

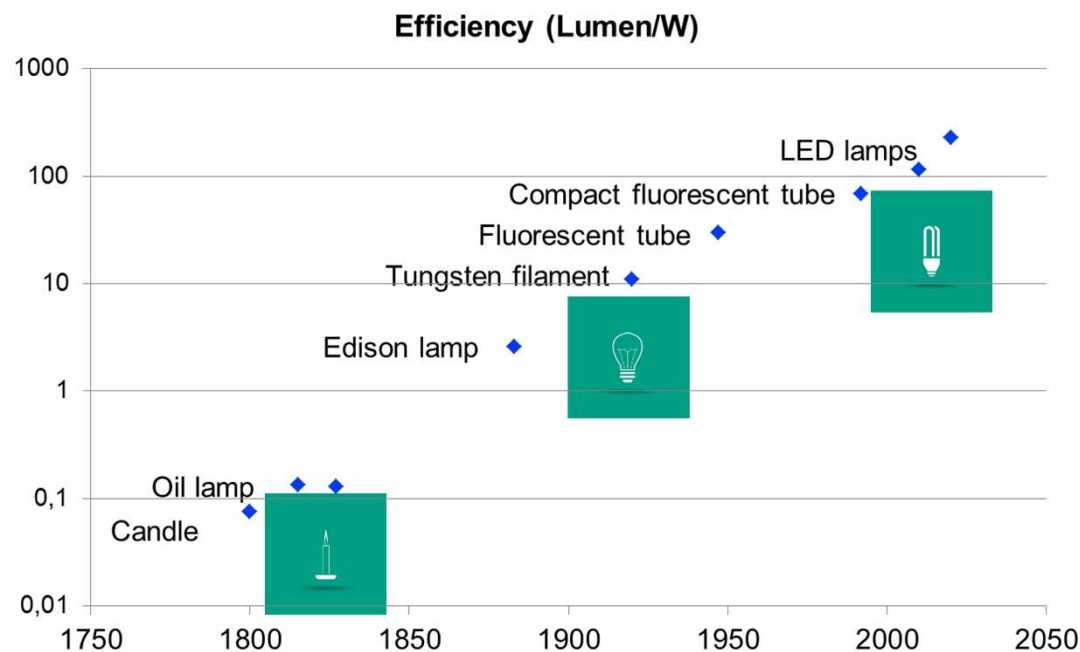
- LCA analyserer forskellige måder at opnå samme ydelse på
- LCA kvantificerer miljøpåvirkningerne fra hele livscyklus per leveret ydelse og medtager alle relevante miljøpåvirkninger

→ LCA er værktøjet til at kvantificere miljøeffektivitet

Faktor 3 forbedringer i 2030?

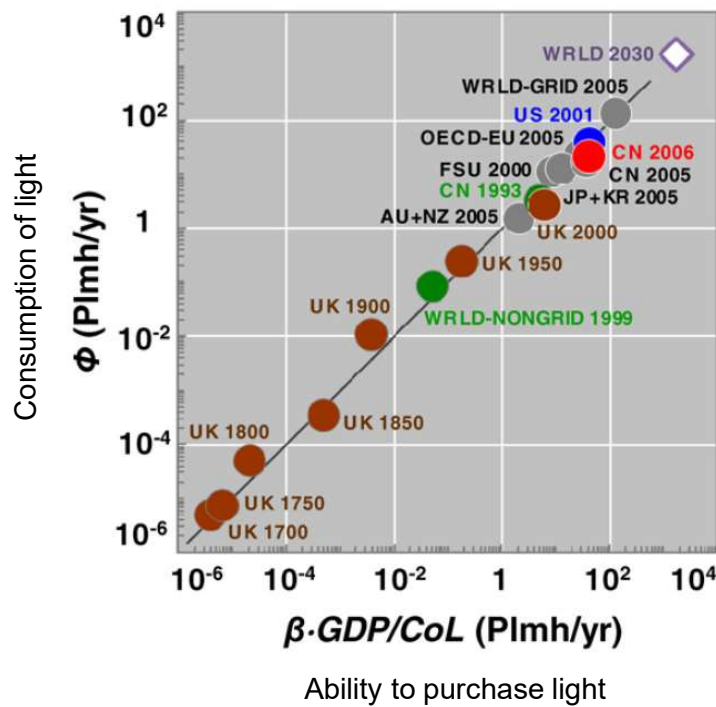
Udvikling i effektivitet

Eksemplet belysningsteknologi



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

Udvikling i forbrug



“Over the past three centuries, and even now, the world spends about **0.72%** of its GDP on light and **0.54%** of its GDP on the consumption of energy associated with light”

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 (17p)

M. Hauschild
IFVT
24/34

Rebound effekten

$$I = P \cdot A \cdot T$$

- Forbruget (Affluence) og effektiviteten (Teknologifaktoren) er ikke altid indbyrdes uafhængige
- Nogen gange kan øget effektivitet drive et øget forbrug, så $A \cdot T$ forbliver konstant eller måske endda stiger, så resultatet bliver større miljøpåvirkning



Kender du eksempler på rebound effekt, hvor forbedringer i miljøeffektivitet helt eller delvist neutraliseres af øget (for)brug af produktet?

gå til www.menti.com

14164919

Relativ og absolut bæredygtighed



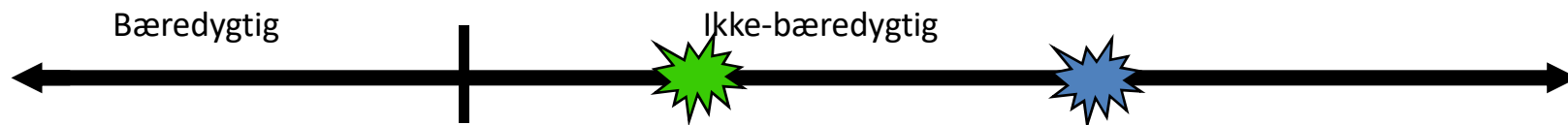
LCA giver **relative** vurderinger af miljømæssig bæredygtighed ("*mere bæredygtig end...?*")

- Samme eller større ydelse med mindre miljøpåvirkning i livscyklus



Absolut bæredygtighed ("*sustain-able*")?

- Hvornår bliver aktiviteten ikke-bæredygtig?
- Hvad er bæredygtigt i absolut forstand?



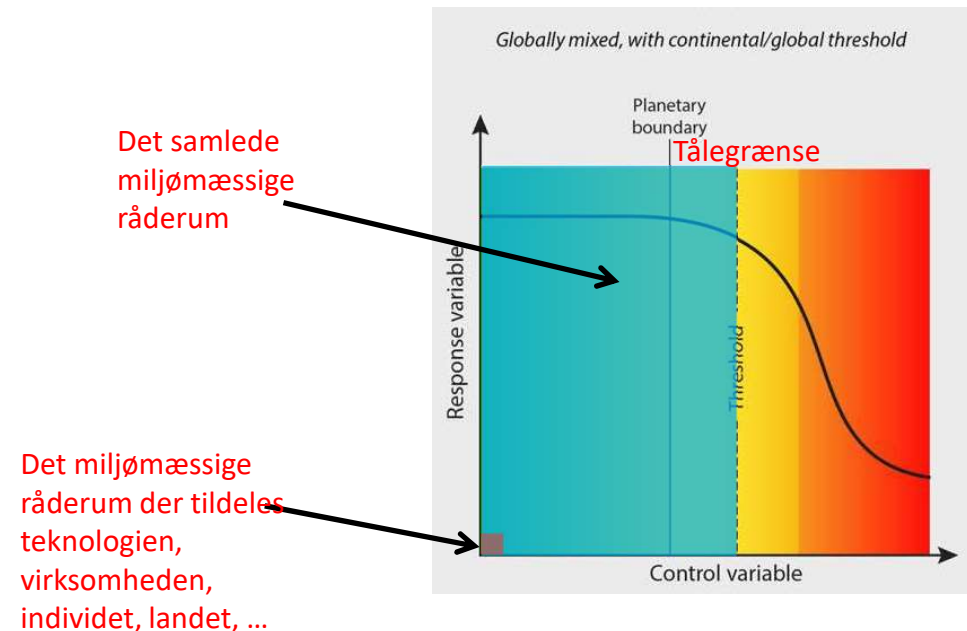
Bæredygtigt?



Uden en absolut skala i bæredygtigheds-vurderingen af vore aktiviteter og produkter får vi ofte 'Greenwashing'

En bæredygtig belastning

- Respekterer miljøets tålegrænser
- Fordeler 'forureningsrummet' mellem vore aktiviteter



Steffen W, Richardson K, Rockström J et al. (2015)
Planetary boundaries: Guiding human development
on a changing planet. Science 347(6223), 736-746

Forbruger perspektiv

- Bæredygtighedsbudget:
 - Hvor stor en del af mit miljømæssige råderum bruger dette produkt eller denne aktivitet?
 - Er det OK, hvis mit forbrug skulle holde sig indenfor bæredygtighedsgrænserne?

Miljømæssigt råderum per person

Miljøpåvirkning	Aktuel miljøbelastning	Bæredygtig belastning
Klimaændringer	8.1 ton CO ₂ ækv	0.98 ton CO ₂ ækv
Ozonedbrydning	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

Bjørn A, Hauschild M (2015) Introducing carrying capacity based normalization in LCA: framework and development of midpoint level references. Int J Life Cycle Assess, 20(7), 1005-1018.

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

Bæredygtighed – ifølge verdensmålene



Så...



- Bæredygtighed kræver **store forbedringer i miljøeffektivitet**
- Miljøeffektivitetsforbedringer 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 afgørende langtidsperspektiv for strategiske beslutninger
- *Fuld bæredygtighedsvurdering må **adressere alle relevante SDG'er***