

Landbrugets rolle i kulstofkampen – arealanvendelse og biomassproduktion

Professor Jørgen E. Olesen



AARHUS
UNIVERSITY
DEPARTMENT OF AGROECOLOGY

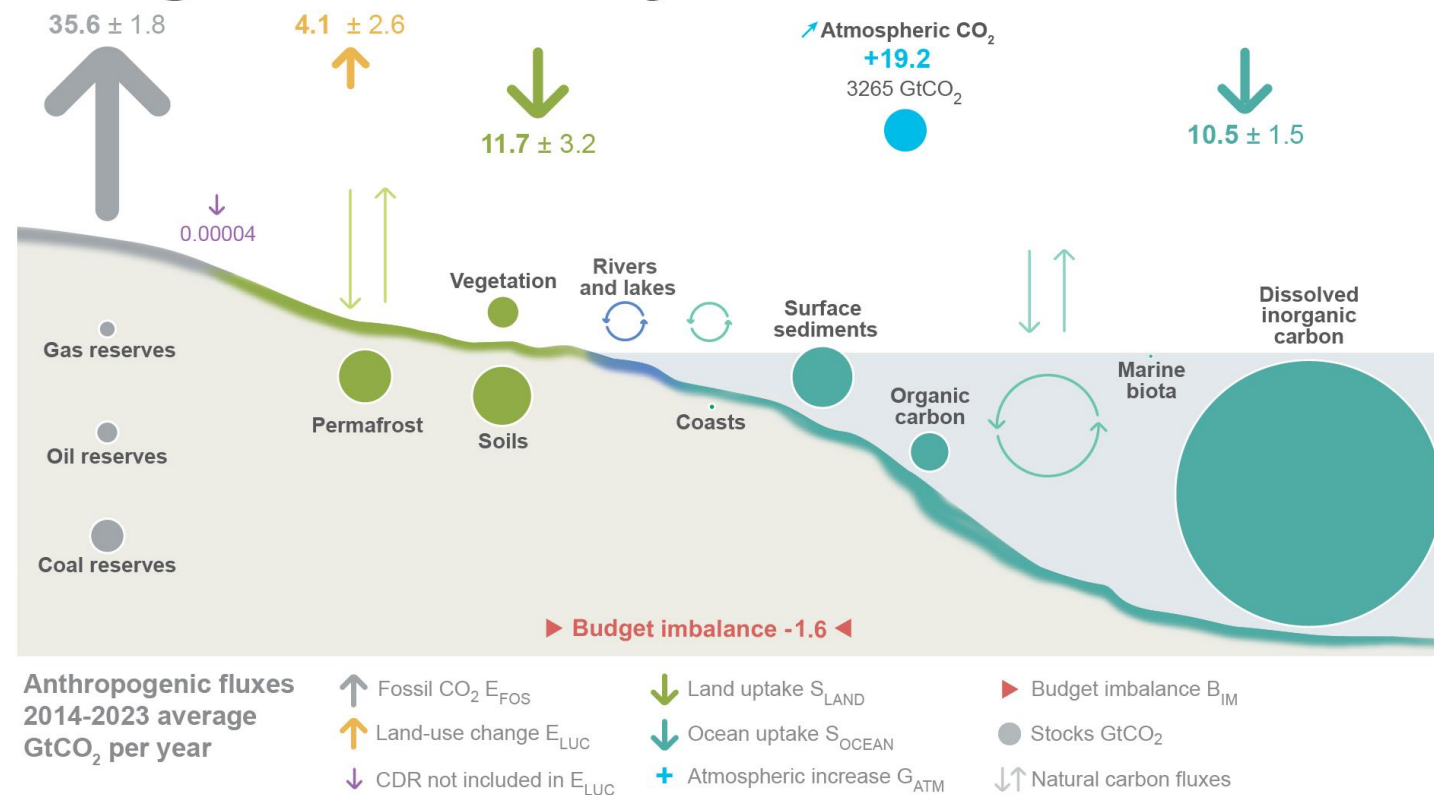
9 JANUAR 2025

JØRGEN EIVIND OLESEN
HEAD OF DEPARTMENT, PROFESSOR



Verdens kulstofkredsløb er ude af balance

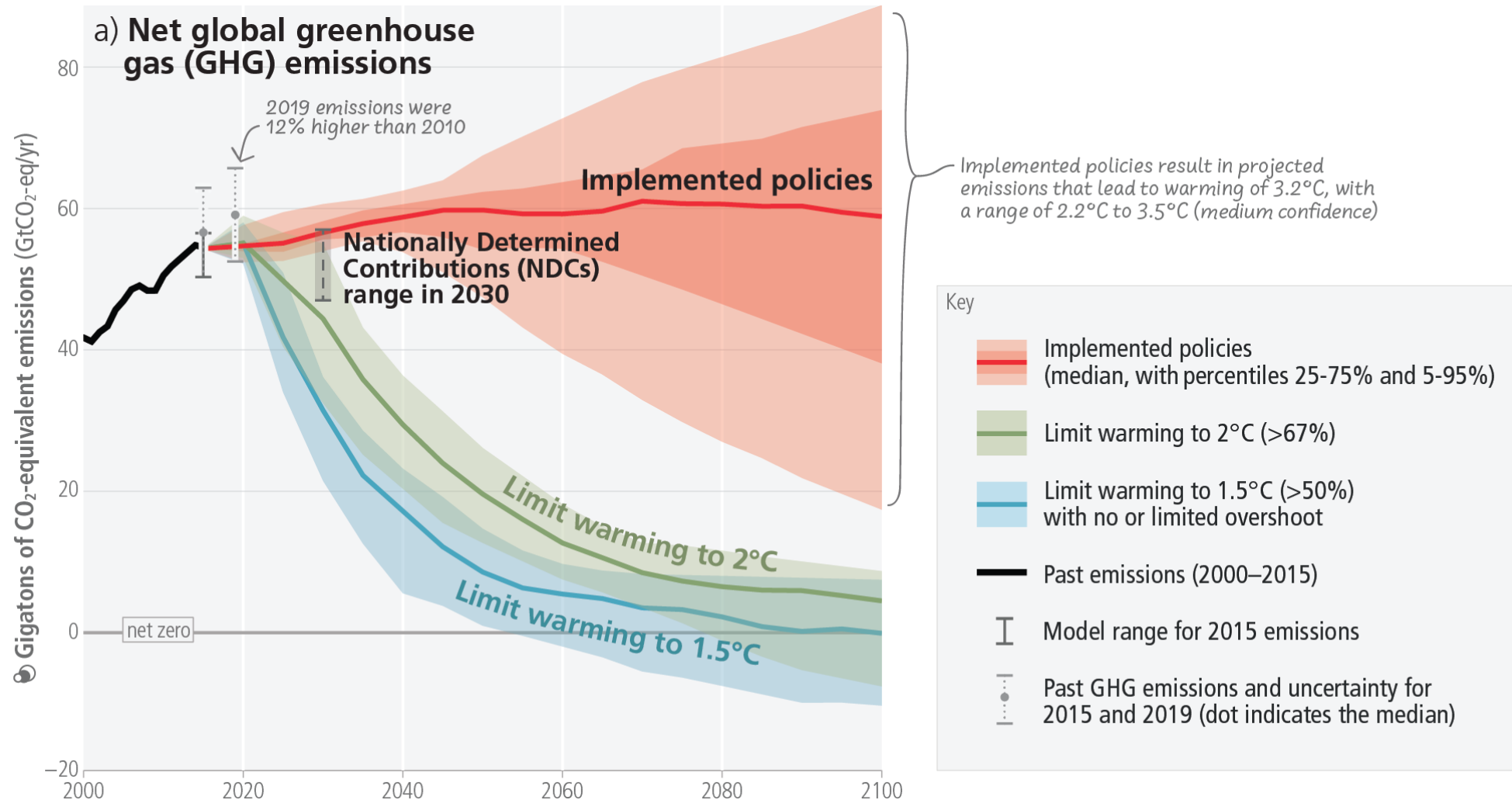
The global carbon cycle



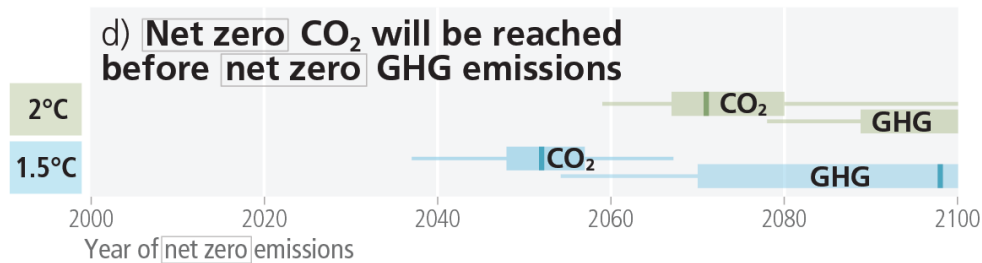
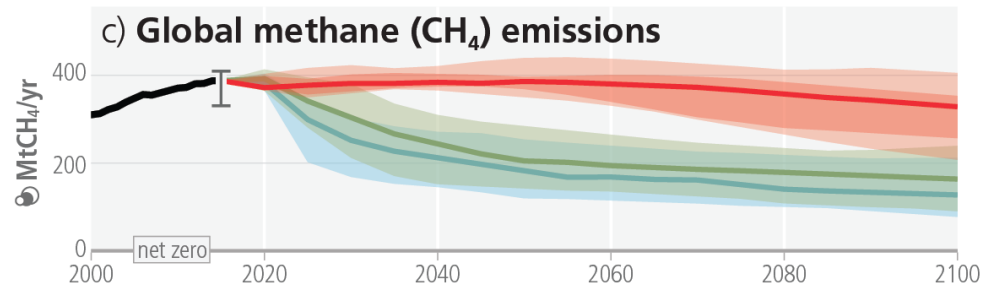
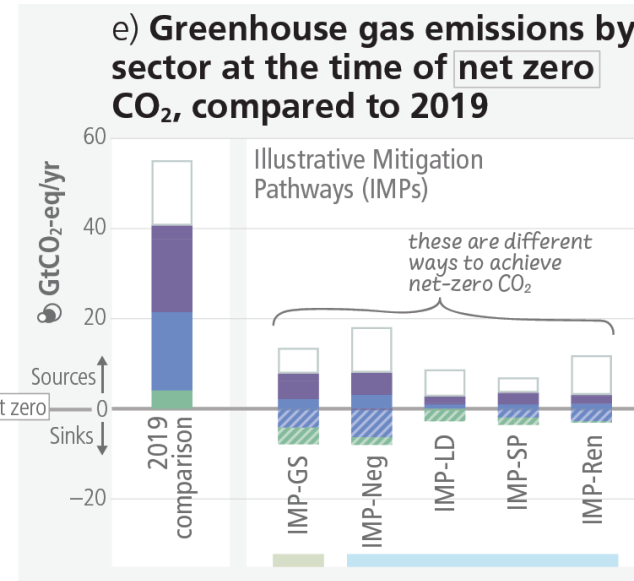
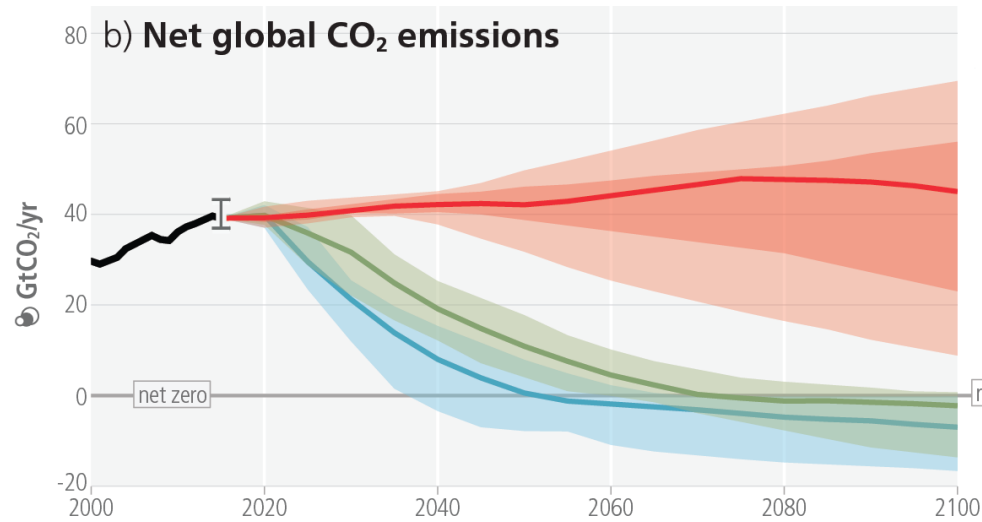
Årlig global kuldioxid (CO₂) balance for perioden 2013-2022 (Gt CO₂/år)

Bidrag	Kilde	Gt CO ₂ /år
Udledninger	Fossil energi	35
	Arealanvendelsesændring	5
Optag	Landbaserede økosystemer	12
	Oceaneme	10
Ændring	Stigning i atmosfærens CO ₂	19

De nuværende politikker fører til yderligere opvarmning

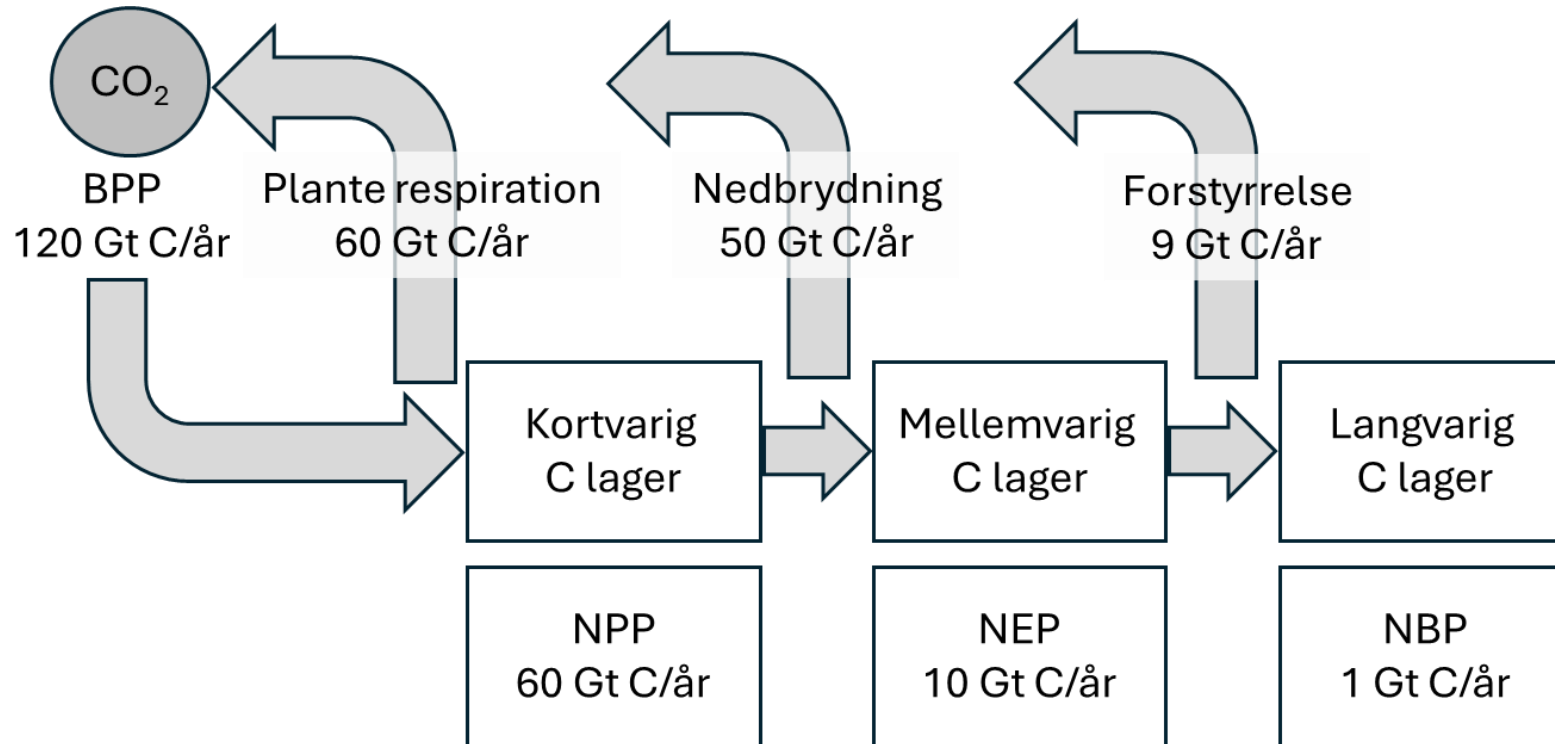


Opfyldelse af klimamål kræver negative CO₂ emissioner



- Key
- Non-CO₂ emissions
 - ▨ Transport, industry and buildings
 - ▨ Energy supply (including electricity)
 - ▨ Land-use change and forestry

Den globale biogene kulstofbalance



BPP: Brutto Primær Produktion er fotosyntesen

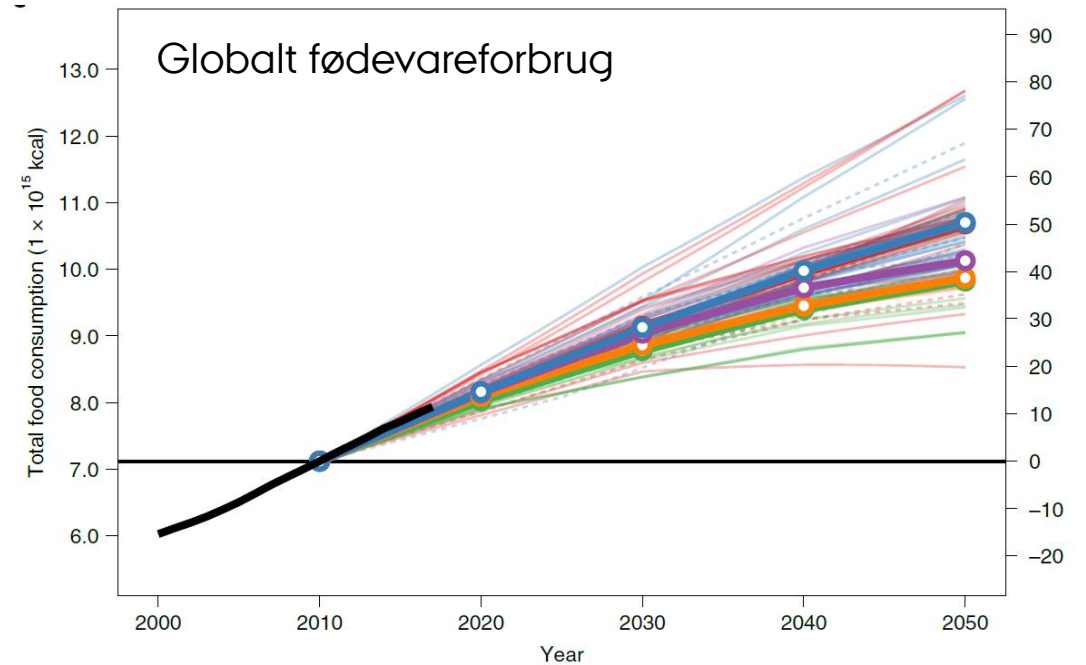
NPP: Netto Primær Produktion er kulstofmængden tilgængelig for økosystemtjenester

NEP: Netto Økosystem Produktion er kulstofmængden, der kan ophobes eller udnyttes af samfundet

NBP: Netto Biom Produktion er kulstoflagringen i systemet efter menneskelig udnyttelse og naturbrände

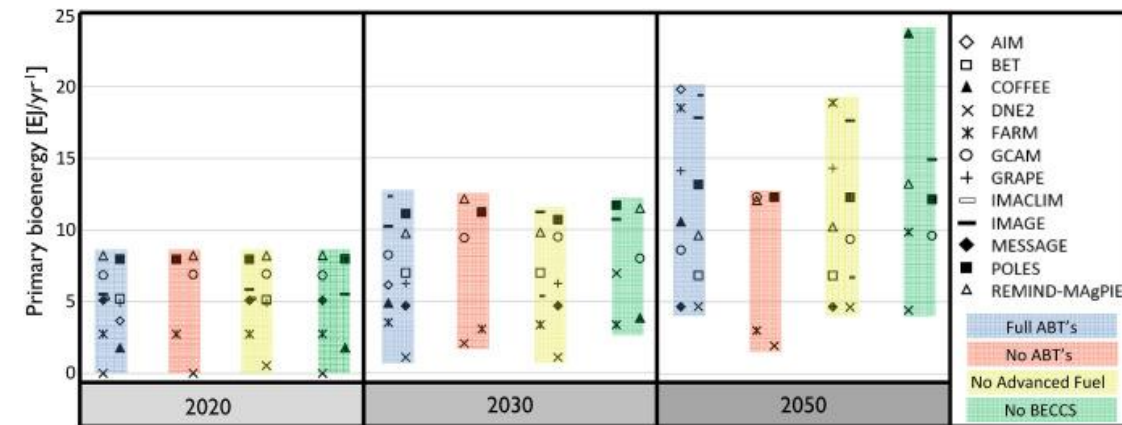
Biogent kulstof til mange formål

- Foder og fødevarer (stigende globalt forbrug, forvente 30% i 2050)
- Bioenergi (stigende globalt forbrug, især af moderne bioenergi, fx biogas)
- Materialer (fx beklædning, byggeri) forventes i stigende grad at konkurrere med behov for bioenergi
- Øget jordfrugtbarhed og kulstoflagring i vegetation og jord
- Biogent kulstof er også afgørende for økosystemers funktioner



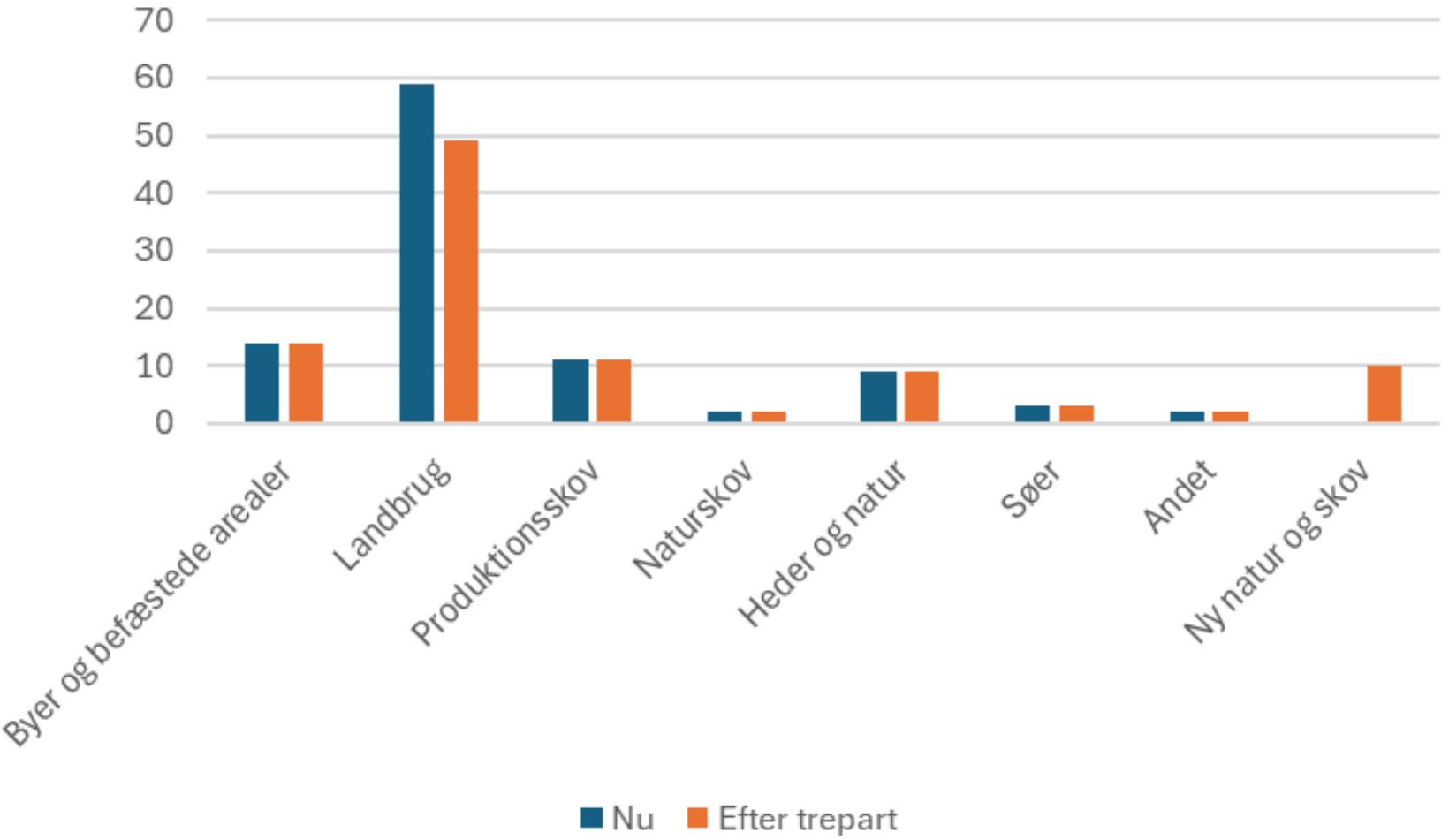
van Dijk et al. (2021) Nature Food

EU bioenergibehov



Mandley et al. (2020)

Arealanvendelse i Danmark



Kampen om kulstof og arealer i Danmark

Kulstof

- Fødevarer (bidrag til verdens fødevarer)
- Energi (bioenergi, energilagring)
- Materialer (substitution for olie- og betonbaserede produkter)
- Lagring af kulstof i jorden (kompensation)
- Natur (naturens behov for biodiversitet)

Udfordringer

- Klimacændringer truer produktionen

Muligheder

- Øget produktivitet (flerårige afgrøder)
- Bioraffinering, recirkulering, biokul

Arealer

- Foder og fødevarer
- Energi (bioenergi, solceller)
- Materialer (træ, cellulose, tekstiler)
- Natur
- Byer og infrastruktur

Udfordringer

- Planlægning til udfordringerne (produktion, miljø, natur, infrastruktur)
- Behovet overstiger det tilgængelige areal

Muligheder

- Målretning af arealer til flere formål
- Agrivoltaics (landbrug og solceller)

Kulstoflagring i jord

Øge jordens kulstof i dyrkningssystemer

- Flerårige afgrøder (især græs)
- Biokul

Kræver ændrede produktionssystemer

- Flerårige afgrøder (især græs)
- Biokul af halm, træflis og gyllefibre (pyrolyse)

Andre mindre effektive muligheder

- Skov og skovlandbrug
- Efterafgrøder
- Halm

Problemstillinger

- Permanens i lagring
- Effekt af global opvarmning på kulstoflagring

Klimamodeller har overvurderet opbygningen af kulstof i jord. Ny forskning viser at klimaændringer fører til faldende kulstofindhold.

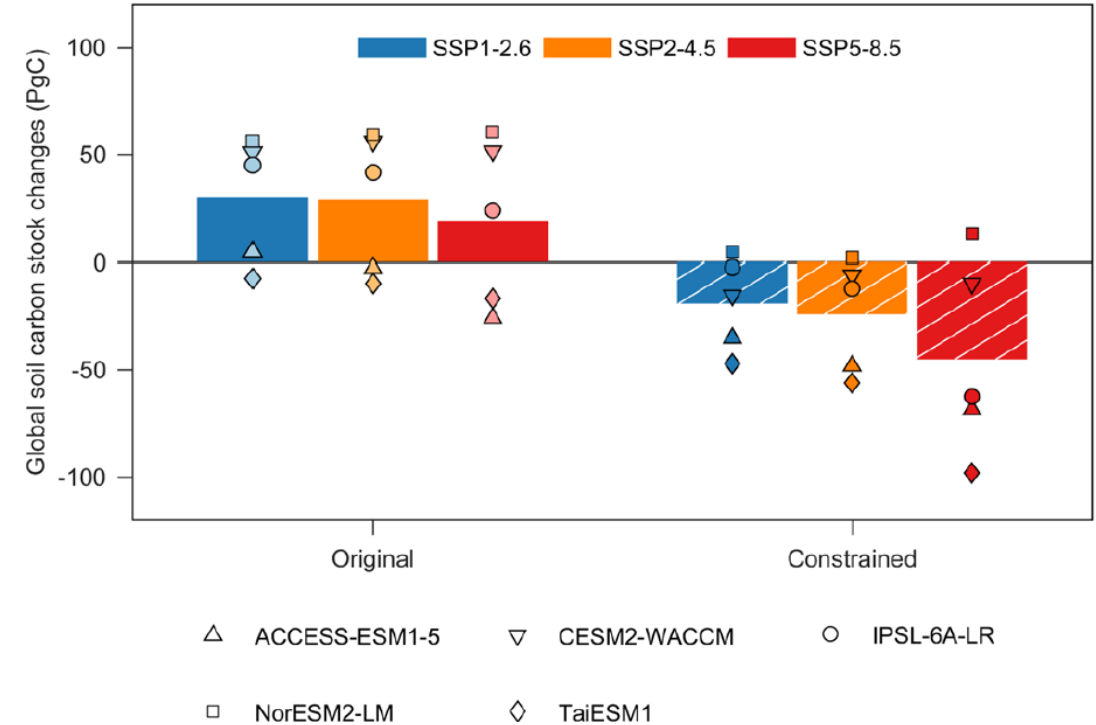


Fig. 3 | Projected changes in global soil carbon stock. Changes in global soil carbon stock between the current period (2005–2014) and the end of the century (2080–2099) from the original and constrained CMIP6 models under SSP1-2.6 (blue), SSP2-4.5 (orange) and SSP5-8.5 (red) emissions scenarios, respectively.

Ren et al. (2023) Nature Communications

Klimacændringer tærer på jordens kulstof

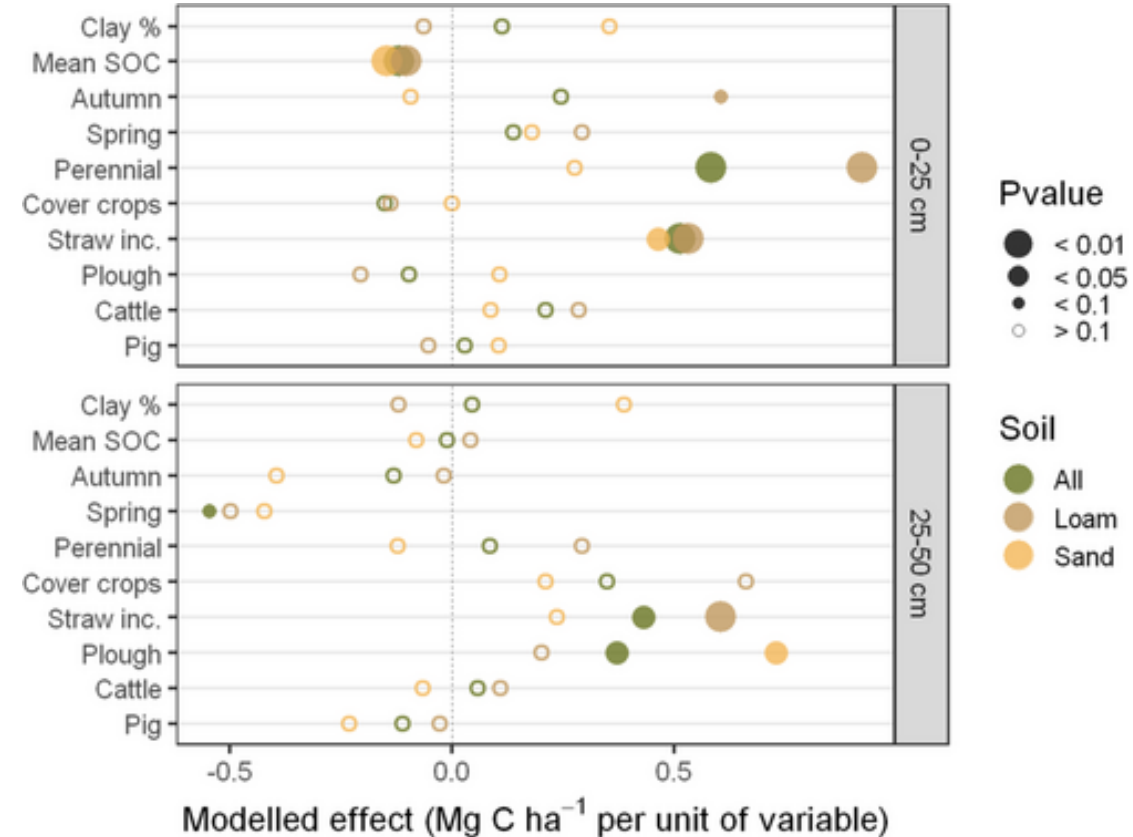
Højere temperatur øger nedbrydningen af organisk stof:

- En temperaturstigning på 1°C øger nedbrydningen med ca. 10% under danske klimaforhold
- Temperaturen i Danmark stiger med ca. 0,5°C per årti
- Temperaturen i Danmark er allerede steget med mere 2°C

Kulstoflagring i dansk landbrugsjord kræver derfor øget kulstofinput eller mere stabilt input:

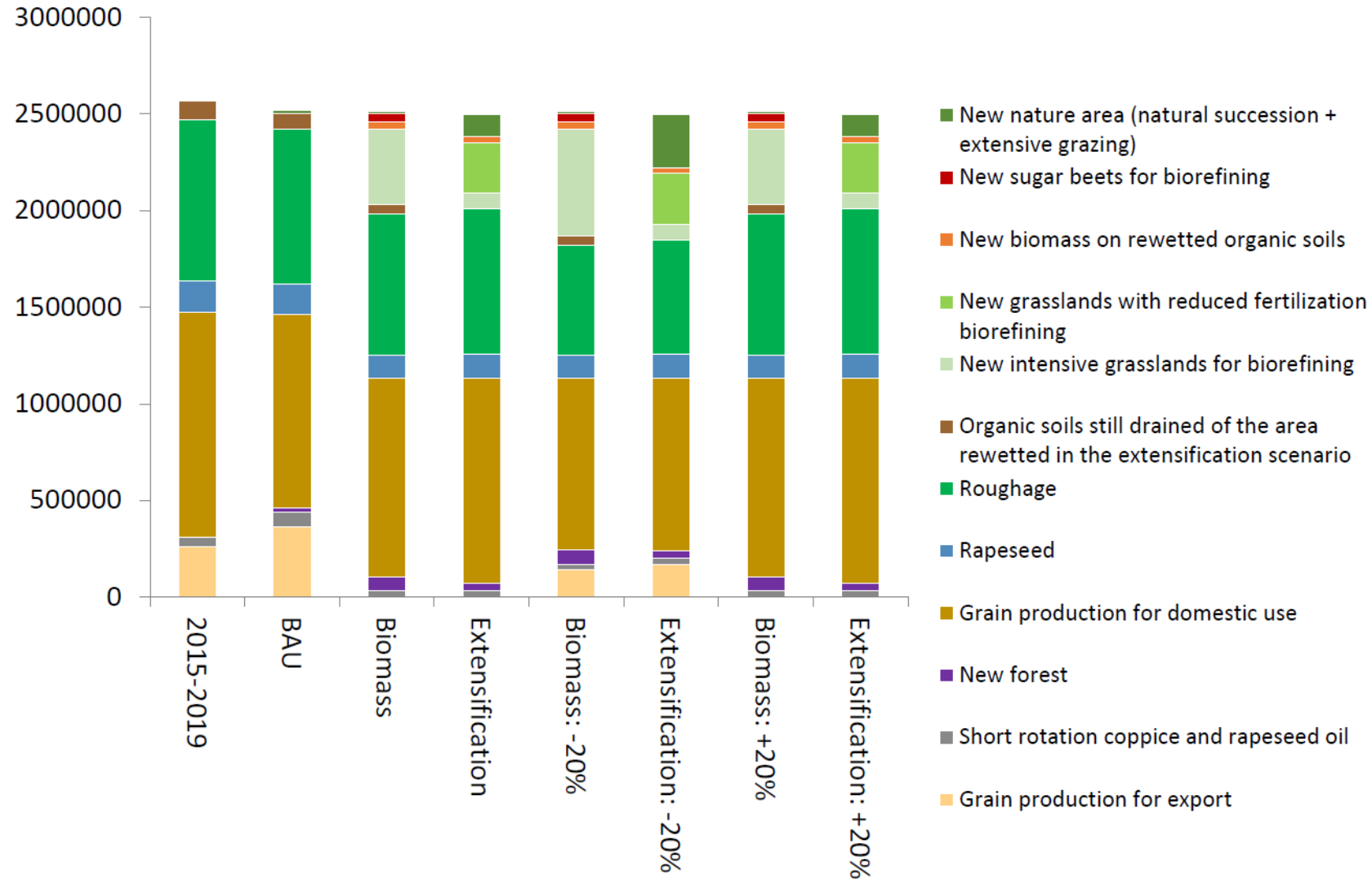
- Græsmarker
- Halm og efterafgrøder
- Biokul

Resultater fra Kvadratnettet viser at især græsmarker og halmnedmuldning kan øget jordens kulstofindhold.



Harbo et al. (2023)

Scenarier for øget biomassproduktion



Udfordringer med at ændre systemerne til øget kulstofudnyttelse

Det biobaserede samfund

- Mere arealeffektiv fødevarerproduktion (fx plantebaserede fødevarer, grøn bioraffinering til dyrefoder)
- Recirkulering og udnyttelse af næringsstoffer
- Maksimal produktion og udnyttelse biogent kulstof

Væsentlige udfordringer

- Investeringer i bioraffineringsteknologier
- Ejerstruktur for biomassehåndtering
- Regulering af arealanvendelse og biomasseudnyttelse
- Incitamentter til ændringer i status quo

Bæredygtig arealanvendelse

- Begrænse vækst i byer og infrastruktur
- Målrette arealanvendelse til flere formål samtidigt (fødevarer, energi, materialer, bosættelse, rekreation, natur, biodiversitet, miljø)

Væsentlige udfordringer

- Hvordan sikres ordentlige og transparente beslutninger om arealanvendelse?
- Hvordan øges hastigheden i beslutninger og implementering?



AARHUS
UNIVERSITY

Biomassestrategi - hvem skal have kulstoffet?

Henrik Wenzel, Professor SDU

Plantekongres 2025
9. januar 2025,
MCH Herning Kongrescenter,
Østergade 37, 7400 Herning

Det globale biomassepotentiale

- hvor skal kulstoffet komme fra?

Biomasse potentiale (EJ/y)	Publikation år	Reference
160 – 270	2010	Haberl et al.
100 – 300	2011	Chum et al. (IPCC Bioenergy working group)
≤ 190	2013	Haberl et al.
≈ 150	2017	International Energy Agency
≈ 100	2018	IPCC
≈ 100	2018	Danish Climate Council
Potentiale: 150 – 170 Med safety margin ≈ 100	2021	International Energy Agency
40 – 60	2021	Energy Transition Commission
Residualer: 5 – 50	2022	IPCC
Afgrøder: 50 – 250	2022	



10 GJ ≈ 600-700 kg halm...

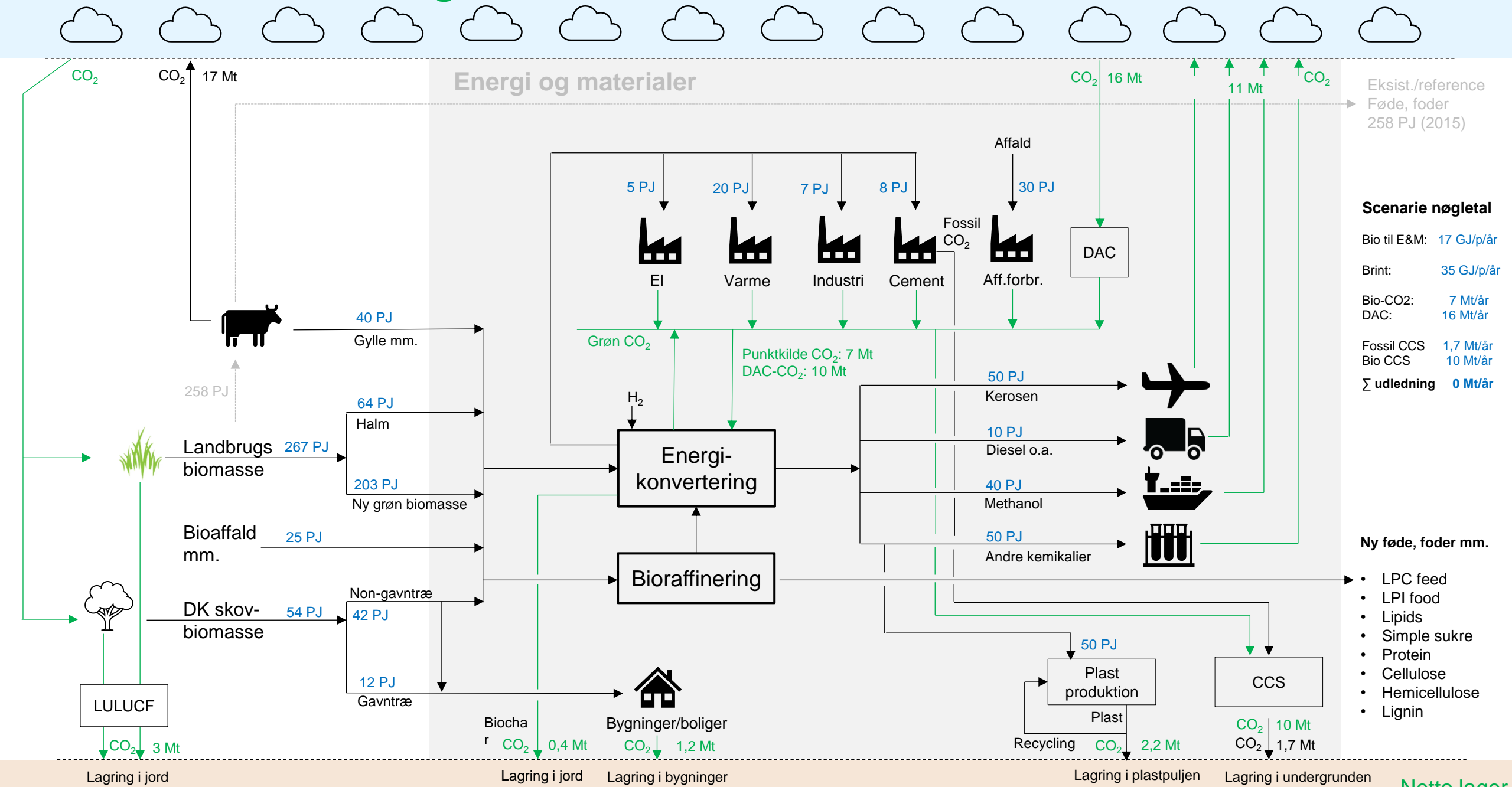
Konsensus konvergerer mod 100 EJ/y

≈ 10 GJ/person/år omkring 2050

Hvor skal kulstoffet bruges?

Hvor skal kulstoffet bruges? - scenarie eksempel for Danmark

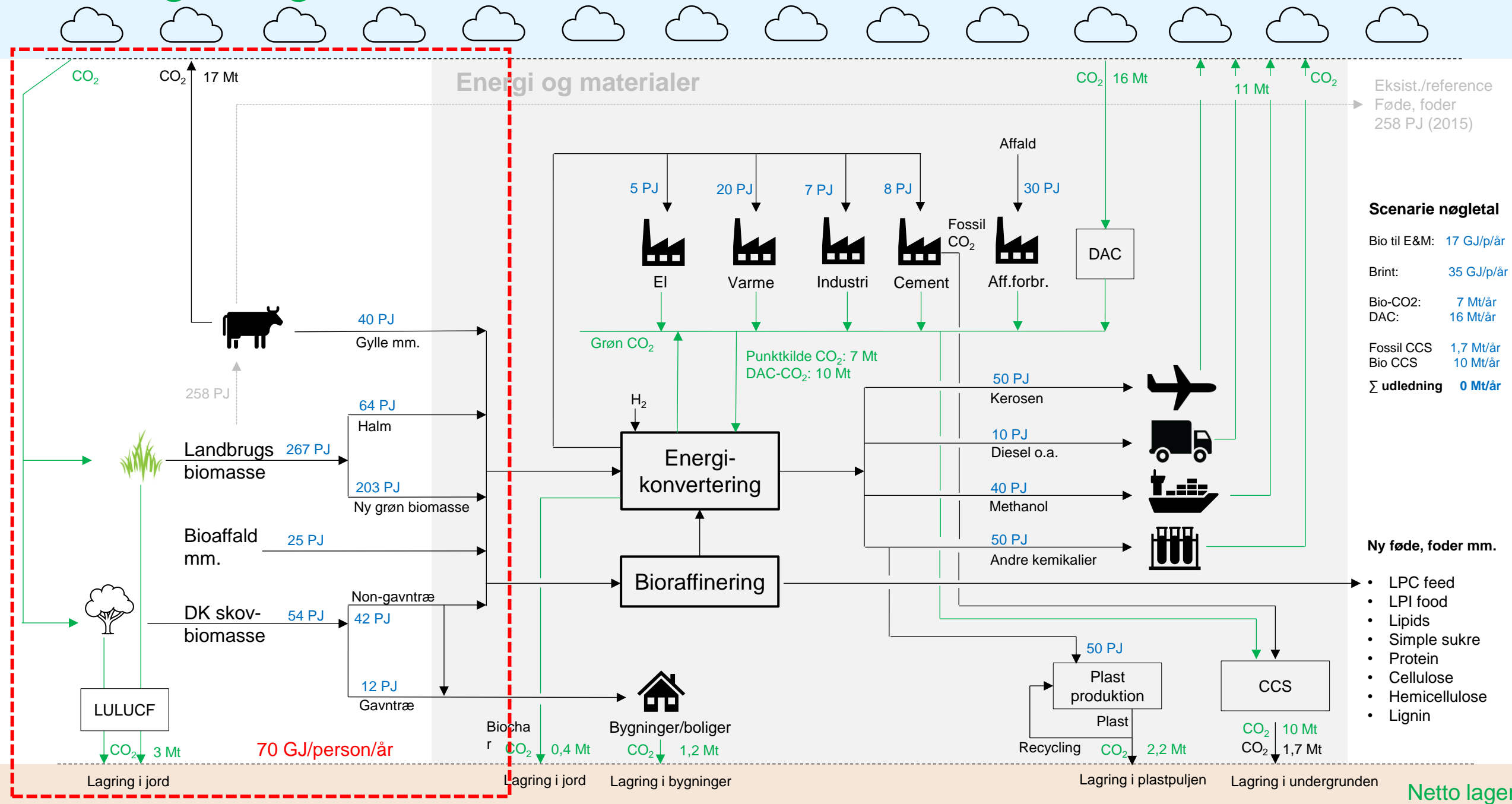
Atmosfæren



Netto lager

Hvor meget biogent kulstof har vi? - scenarie eksempel for Danmark

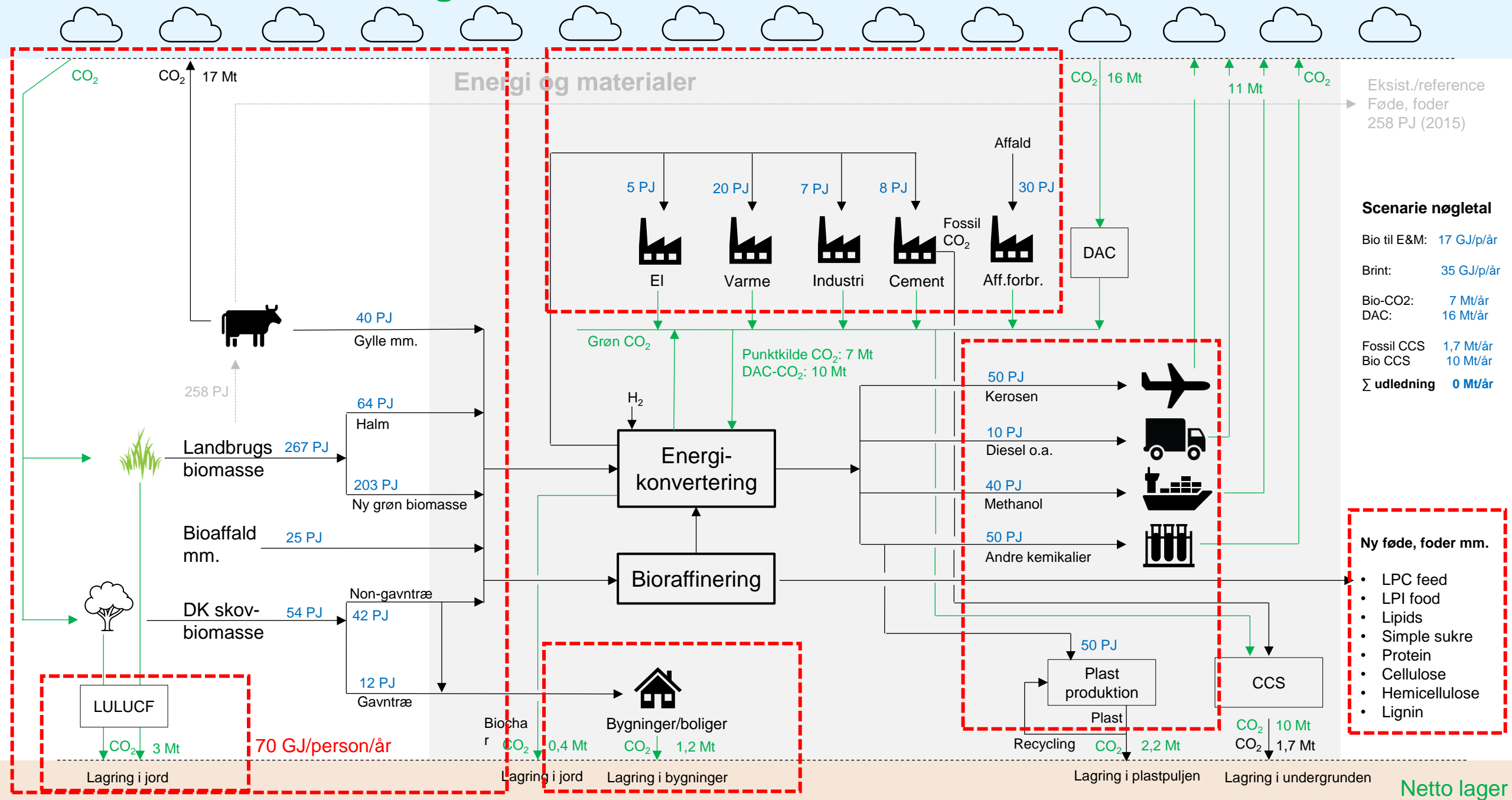
Atmosfæren



Netto lager

Hvor skal kulstoffet bruges? - scenarie eksempel for Danmark

Atmosfæren



CO₂

CO₂ 17 Mt

Energi og materialer

CO₂ 16 Mt

11 Mt

CO₂

Eksist./reference
Føde, foder
258 PJ (2015)

Scenarie nøgletal

- Bio til E&M: 17 GJ/p/år
- Brint: 35 GJ/p/år
- Bio-CO₂: 7 Mt/år
- DAC: 16 Mt/år
- Fossil CCS: 1,7 Mt/år
- Bio CCS: 10 Mt/år
- Σ udledning 0 Mt/år**

Ny føde, foder mm.

- LPC feed
- LPI food
- Lipids
- Simple sukre
- Protein
- Cellulose
- Hemicellulose
- Lignin

40 PJ
Gylle mm.

267 PJ
Landbrugs
biomasse

64 PJ
Halm

203 PJ
Ny grøn biomasse

25 PJ
Bioaffald
mm.

54 PJ
DK skov-
biomasse

42 PJ
Non-gavntræ

12 PJ
Gavntræ

LULUCF

CO₂ 3 Mt

70 GJ/person/år

Biochar
CO₂ 0,4 Mt

Bygninger/boliger
CO₂ 1,2 Mt

Punktkilde CO₂: 7 Mt
DAC-CO₂: 10 Mt

50 PJ
Kerosen

10 PJ
Diesel o.a.

40 PJ
Methanol

50 PJ
Andre kemikalier

50 PJ
Plast
produktion

Recycling
CO₂ 2,2 Mt

CO₂ 10 Mt
CO₂ 1,7 Mt

Lagring i jord

Lagring i jord

Lagring i bygninger

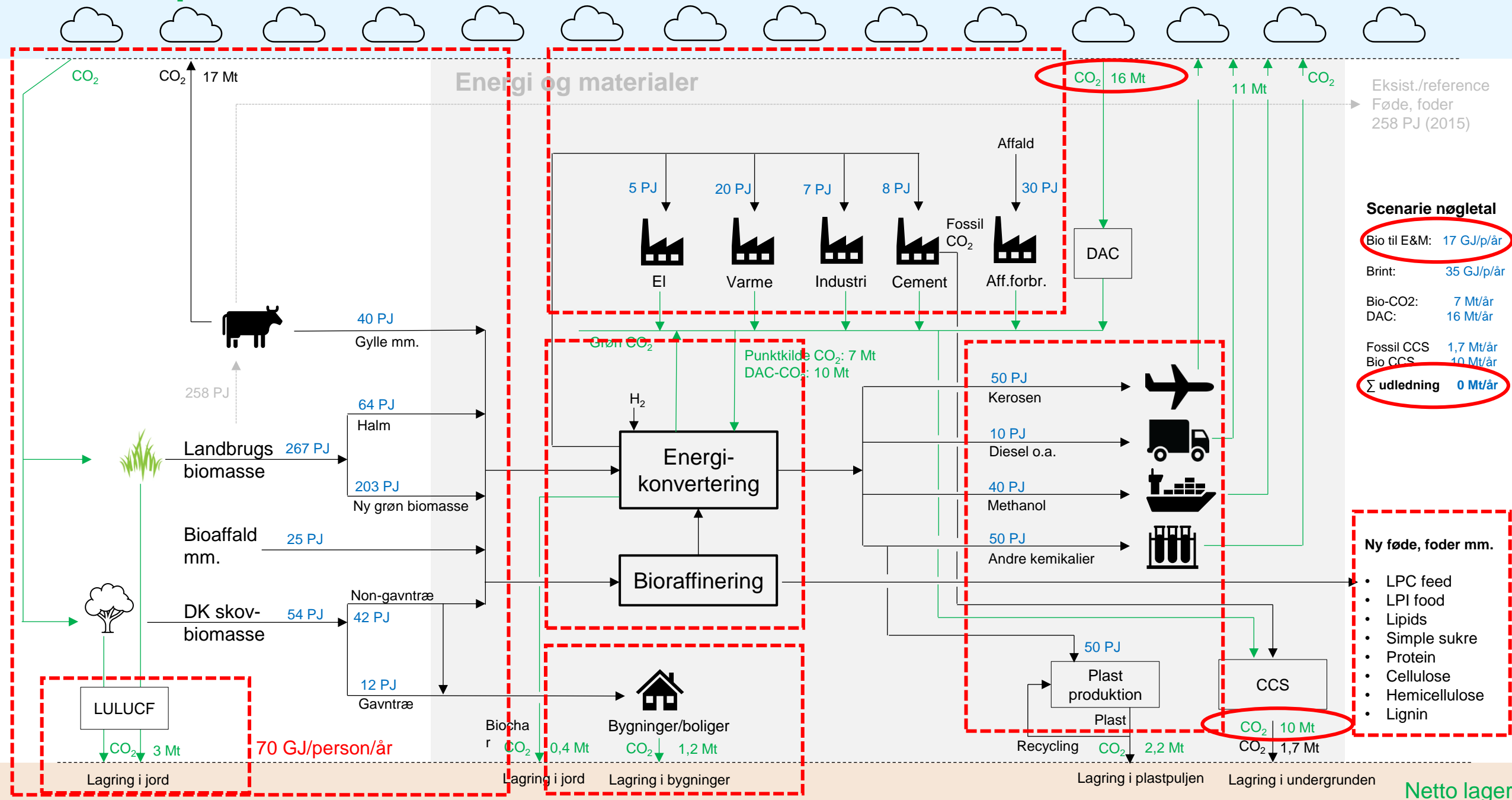
Lagring i plastpuljen

Lagring i undergrunden

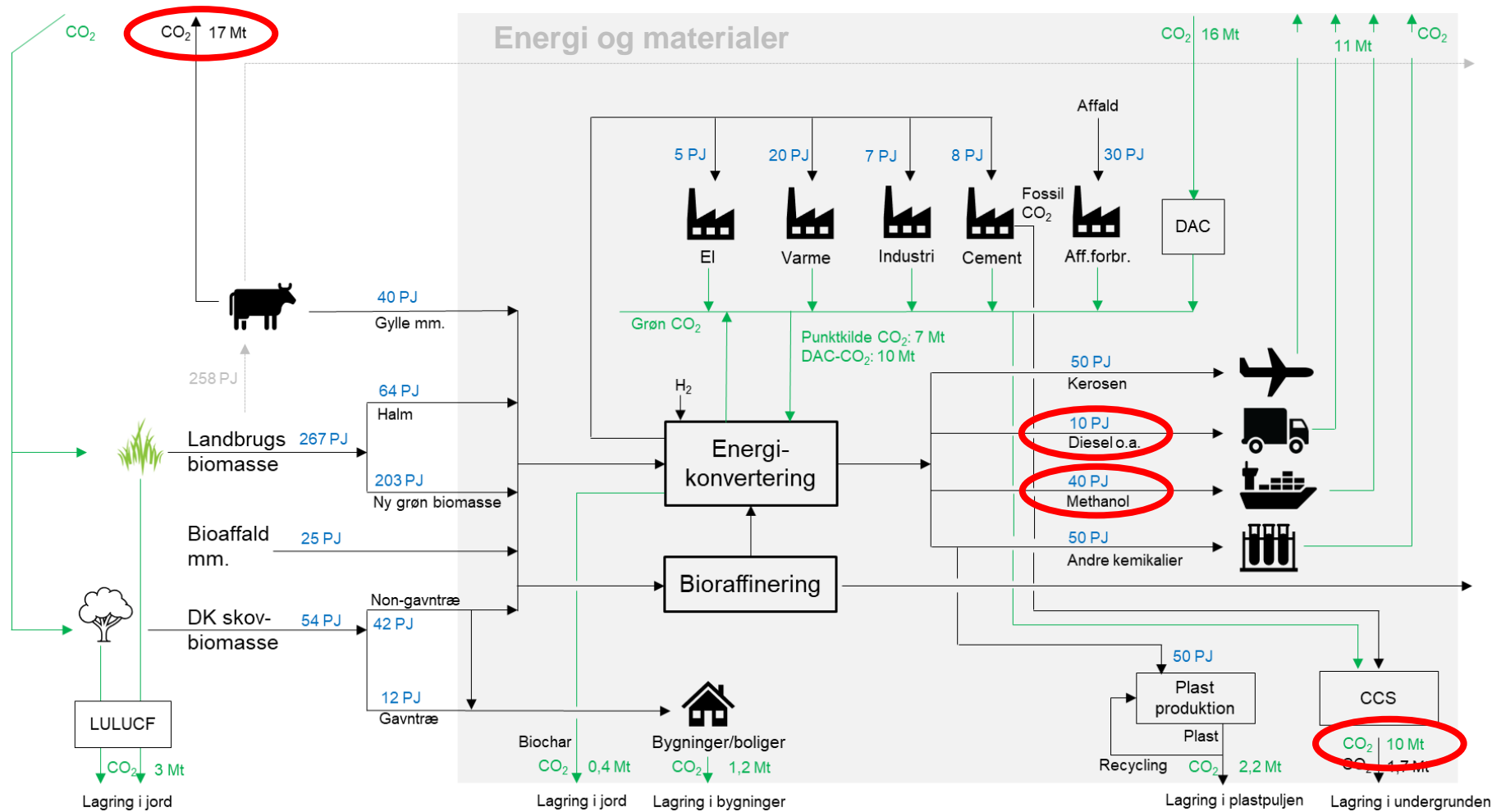
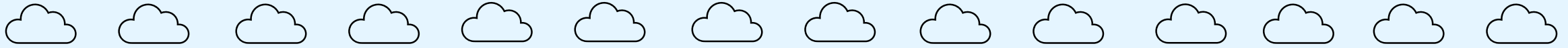
Netto lager

Hvordan prioriterer vi kulstoffet? - scenarie eksempel for Danmark

Atmosfæren



Hvor skal kulstoffet bruges? - scenarie eksempel for Danmark

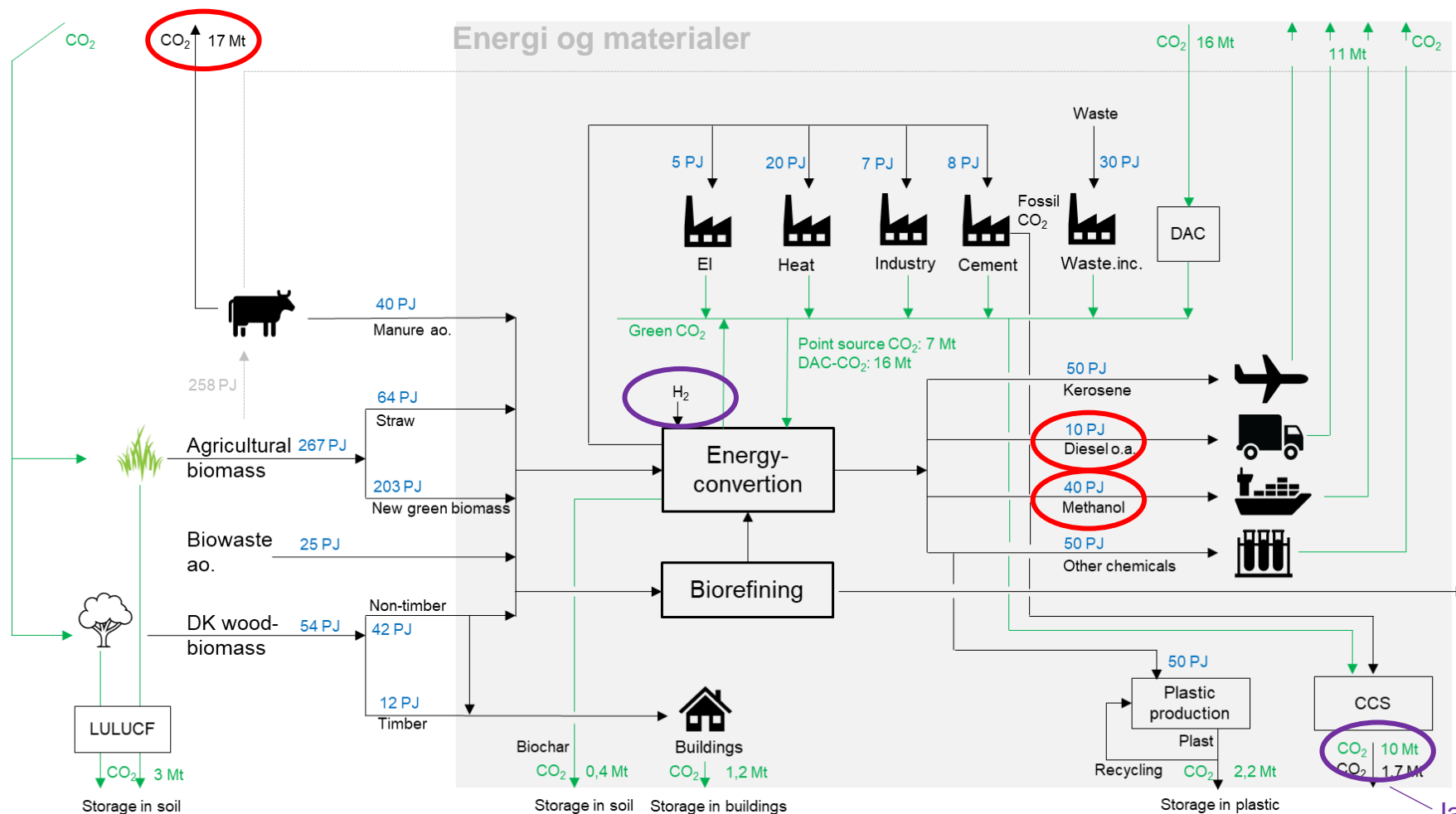


Scenarie nøgletal

- Bio til E&M: 17 GJ/p/år
- Brint: 35 GJ/p/år
- Bio-CO₂: 7 Mt/år
- DAC: 16 Mt/år
- Fossil CCS: 1,7 Mt/år
- Bio CCS: 10 Mt/år
- Σ udledning: 0 Mt/år**

Hvilke kulstofbehov kan evt. reduceres i forhold til dette scenarie?

Hvor skal kulstoffet bruges? - scenarie eksempel for Danmark



Scenario key data

Bio to E&M: 17 GJ/p/y

Hydrogen: 35 GJ/p/y

Bio-CO₂: 7 Mt/y

DAC: 16 Mt/y

Fossil CCS 1,7 Mt/y

Bio+DAC CCS 10 Mt/y

Σ emission 0 Mt/y

Ja, hvis vi fortsætter med en vis grad af fossile brændstoffer og i stedet øger lagring af CO₂ i undergrunden

Kan vi reducere behovet for brint?

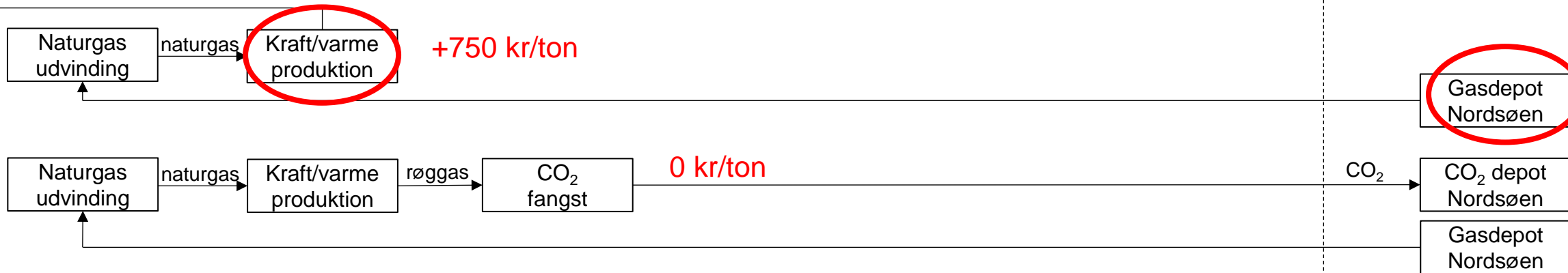
Hvor skal CO2 betalingen finde sted?

Atmosfæren

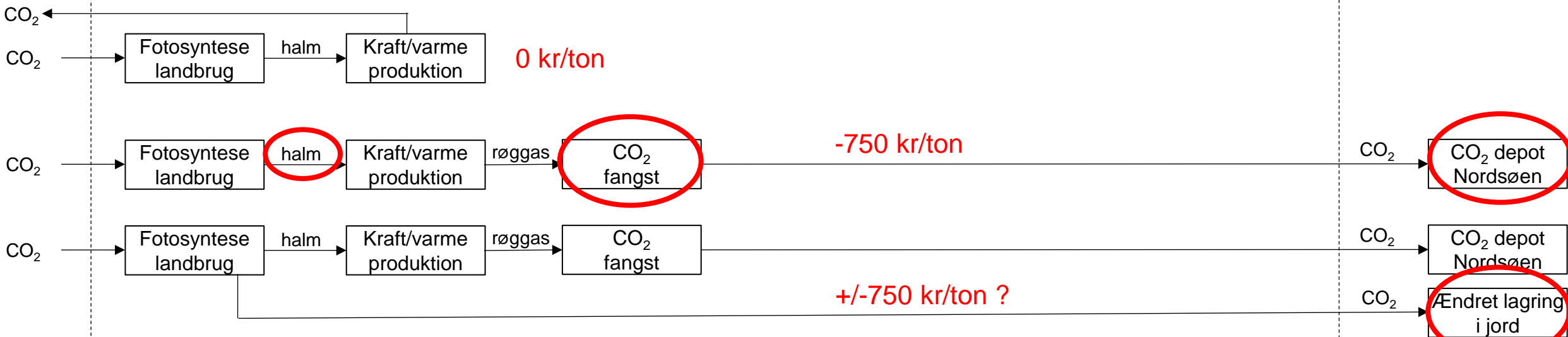
Lager

CO₂

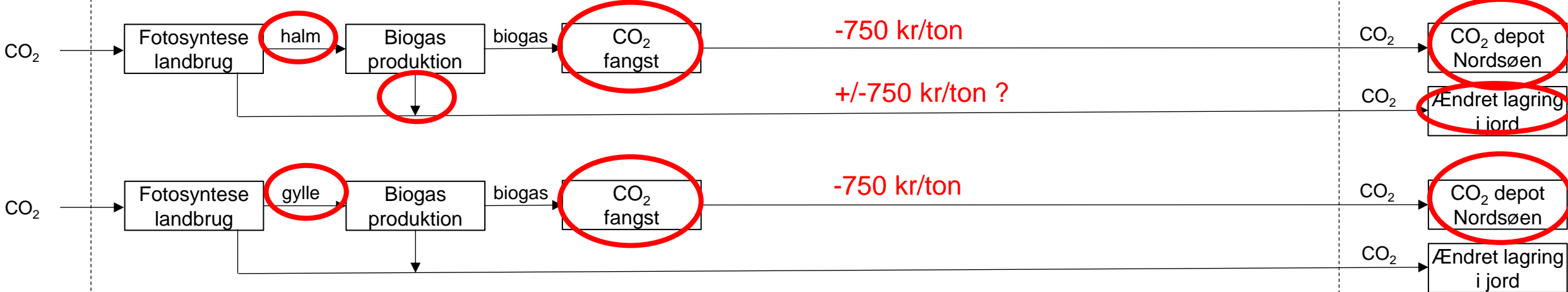
Naturgas



Landbrug – halm – kraft/varme



Landbrug – halm – biogas



Diskussion

Appendix - Den globale kulstofbalance

- bæredygtigt kulstof tilgængeligt for energi og materialer: 100 EJ/år

Sector	Demand 2050 (EJ/y)		Alternatives to fossil fuels and feedstock	Comments
	Low	High		
Steel	5	20	Hydrogen, biomass/bio-coke, CCS,	Focus on hydrogen in Germany. Hydrogen-based technology being developed by Thyssen-Krupp and other
Cement	0*	30	Waste (SRF), waste from landfill mining, CCS, bio-methane, wood chips	Can take dirty, waste-based fuels. Ålborg Portland mentions landfill mining as potential future option. Also focus on CCS. * = 0 presumes all on landfill mining or CCS. Concrete re-absorbs CO ₂ during its lifetime. Landfill mining + CCS + enhanced re-absorption => cement/concrete can have a very large negative carbon footprint
Plastic + other chemicals	100	200	Mechanical & chemical recycling, electrification, bio-plastic, e-naphta	BASF predicts ca. 2400 Mt/y polymer & other by 2050 ≈ 100 EJ/y in calorific value alone [30]. On top comes processing energy. Dow and Shell work on electrification of crackers and predict around 75 % of cracking energy to be electrifiable
Buildings	30	40	Bio-insulation e.g. PUR More timber in construction	Main demand for biomass in buildings judge to be in floors, ceilings, kitchens, furniture. Growing population and living standards judged to be main driver for increase
Industry	20	40	Electric boilers, bio-methane, e-methane	Electric boilers possible in many cases, but not for very high temperature and flame
Peak load heating/cooling	10	30	Electric boilers, heat pumps, CCS, bio-methane	Peak load heating calls for low investment cost/MW => fuel based
Electricity balancing	10	30	Bio-methane, wood chips, CCS, ammonia, hydrogen	Electricity balancing calls for low investment cost/MW => bio-methane
Road transport	0	10	Bio-methane, biofuels, e-fuels, hydrogen	All road transport incl. the heaviest can cost-efficiently be electrified
Jetfuel	15	20	Electrification, hydrogen, HVO type bio-fuel, HTL, pyrolysis/gasification, e-fuels	Airbus has some focus on hydrogen. ATAG claims more than 50 % needs kerosene type. Slow fleet transition => min 75 % needs kerosene type by 2050
Marine fuel	0*	20	Batteries, hydrogen, ammonia, bio-methanol, e-methanol, bio-methane, e-methane	End fuel demand = 20 EJ/y by 2050 + conversion losses. * = 0 presumes all on non-carbon-based propulsion like electricity, hydrogen or ammonia
Food/feed/meat	(45)	(50)	Animal feed from BMP from CO ₂ , N ₂ + H ₂	Also a competitor for land/biomass. Demand not included in summation 'Total'
Total	190	440		BAU scenario says total primary energy demand by 2050 = 900 EJ/y [26] Biomass availability = 100 EJ/y by 2050