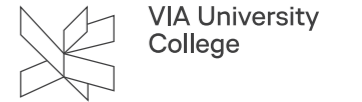


Fra marken til byggeri

Evaluering af biogene materialers betydning for byggeriets planetære grænser



Projektet er støttet af Rambøllfonden og Realdania



Kolofon

Fra marken til byggeri

Projektet er støttet af Realdania og Rambøllfonden

VIA University College

Forskningscenter for byggeri, klima, vandteknologi og digitalisering

Torsten Sack-Nielsen | Lektor, Ph.d.

Anders Mølgaard | Lektor

Andrea Mortensen | Lektor, Ph.d.

Aarhus Universitet

Institut for Agroøkologi, Center for cirkulær bioøkonomi

Uffe Jørgensen | Professor

Emil Dahl | Cand. scient. Agro- Environmental Management

Restaurant Moment

Morten Overgaard | Professor og medejer af Restaurant Moment

Rikke Overgaard | Direktør og ejer af Restaurant Moment

Henning Larsen Architects

Jakob Strømmand-Andersen | Ph.d., Direktør for Innovation og Bæredygtighed

Peer Teglggaard Jeppesen | Partner, Kreativ direktør, Arkitekt MAA, MNAL

Anders Park | Arkitekt MAA, Master i Bygningskultur – Bæredygtighed, Strategi og Transformation

Peter Bundgaard | Arkitekt MAA, Master i Bosætning, Økologi og Tektonik

Borg

Finn Borg

TræVærk Aps

Dennis Hyllegaard Nielsen

Stine Hyllegaard Nielsen

Udgivelsesår: 2024

Alle billeder, grafik, skitser og alt andet projektmateriale er udarbejdet af projektgruppen, hvis ikke andet er nævnt.

Fra marken til byggeri

Landbrug, fødevarer og byggeri.

Tre brancher, der tilsammen står for omkring 60 procent af Danmarks samlede CO₂-udledning. Og som hver især har den bundne opgave at realisere de ambitiøse, men nødvendige reduktioner.

Nu er en tværfaglig gruppe af forskere fra landbrug og byggeri, fødevarer, håndværkere, arkitekter og praktikere gået sammen om at undersøge potentialerne i sidestrømme fra landbruget til fremstilling af fremtidens biogene byggematerialer.

I stedet for lade plantefibre ende i afbrænding kan vi med fordel bruge ressourcerne i bygninger, som ikke blot erstatter CO₂- og energitunge konventionelle byggematerialer, men også bliver en meget kosteffektiv carbon capture-løsning, da CO₂ bliver lagret og bundet i materialerne i potentielt flere hundrede år.

Lige nu forsøger de tre brancher at leve op til massive CO₂-reduktioner i hver deres 'silo'. Med dette projekt vil vi vise, hvad vi kan opnå, hvis brancherne arbejder sammen på tværs om at finde fælles løsningsrum til gavn for natur, miljø og klima

Projektet består af tre spor:

I det første spor evaluerer vi tolv forskellige landsbrugsafgrøder og deres sidestrømme i forhold til de planetære grænser med korn som sammenligningsgrundlag. Dermed foretager vi en holistisk vurdering ud fra i alt seks aspekter såsom biodiversitet og nitratudvaskning for at træffe de bedst mulige valg.

I det andet spor fremstiller vi en række prototyper på biogene byggematerialer, herunder isolerings- og pladematerialer. De første indikative tests sammenligner egenskaberne med konventionelle byggematerialer, så potentialet bliver tydeligt. Der er lagt op til langt flere og mere dybdegående tests i de næste faser, så vi kan sikre gennemtestede løsninger i byggeriet.

I det tredje spor udvikler vi et koncept og design for et nyt LivingLab på en eksisterende gård, hvor alle tre brancher – landbrug, fødevarer og byggeri – kan teste kredsløbstankegangen fra mark til hhv. bord og byggeri i drift.

I projektgruppen indgår VIA University College, Aarhus Universitet, Michelin-restaurant Moment, Henning Larsen Architects, Borg Rådgivning og TræVærk.

Projektet er støttet af Rambøllfonden og Realdania.

Fortællingen

Med projektet "Fra marken til byggeri", har en unik projektgruppe fundet sammen for tværfagligt at udforske hvordan landbrug, fødevarer og byggeri, i et tæt samspil med hinanden, kan realisere nødvendige og ambitiøse gevinster for miljø, natur og klima i de enkelte sektorer. Potentialet for grøn omstilling er stort, hvis vi formår at samarbejde på tværs af sektorer. Gør vi ikke det, risikerer vi i stedet suboptimering indenfor de enkelte områder.

Projektgruppen består af:



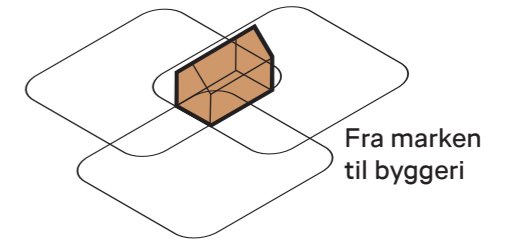
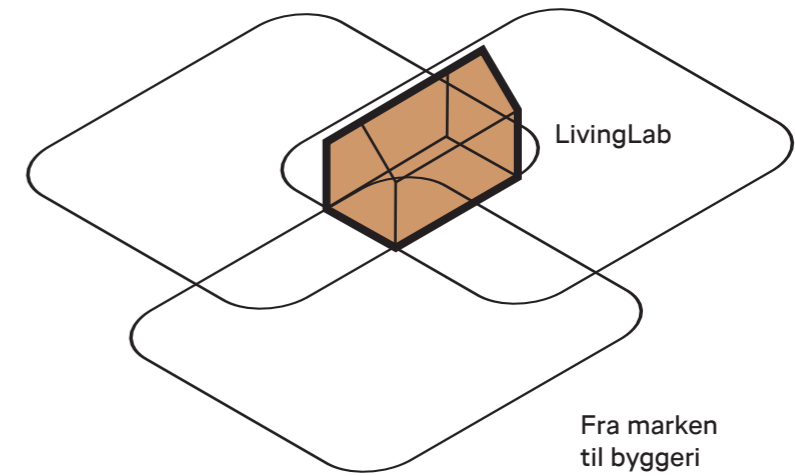
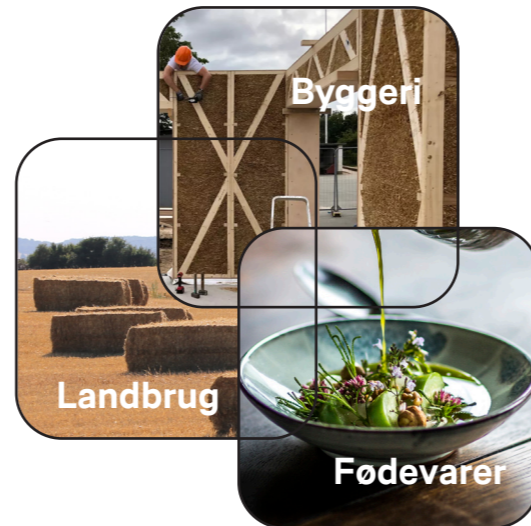
Ud fra en forståelse af, at de tre brancher landbrug, fødevarerproduktion og byggeri alle har et stort miljømæssigt aftryk og alle bidrager til et overforbrug af jordens ressourcer, vil projektet afdække reduktionspotentialer. Ikke kun for at reducere belastningen, men også for at bidrage til et tæt tværfagligt samarbejde omkring den vigtige miljø- og klimadagsorden.

Projektet kigger 360 grader ind i en værdicirkel, fra dyrkning og valg af afgrøder, over processering af ny plantebaseret mad (samt øget efterspørgsel) og sidestrømme fra landbruget, til fremstilling af regenerative biogene byggematerialer til den fremtidige bygningsmasse. Alt sammen tiltag, som kan bidrage med de vigtige negative emissioner af drivhusgas, som vores samfund har behov for, hvis Parisaftalen skal opfyldes.

Projektet er også en fortælling om en intention om at etablere et levende laboratorium på en eksisterende gård, ejet af Restaurant Moment. Gården har en tilhørende stor mark, hvor der eksperimenteres med dyrkning af afgrøder til plantebaseret mad i et Michelin-køkken, med sidestrømme fra afgrøder og kredsløb på matriklen, til proces og eksperimentel fremstilling af fiberbaserede byggematerialer og afprøvning i real-life-situationen.

Ved en transformation af gården til et levende laboratorium, skal nye materialer og processer afprøves i fuld skala, for at skabe et grundlag til at bære det videre til en industriel opskalering af løsningerne.

Fortællingen



Potentialer for CO₂ reduktion

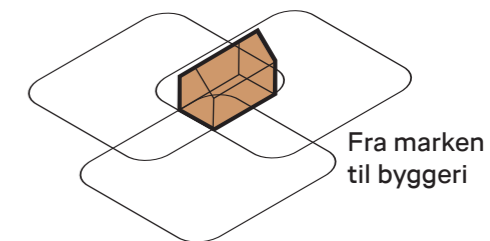
Når vi ser på opgaven og ansvaret for kraftigt at reducere vores CO₂ udledning, så er strategien fra landbruget og byggeriet i dag isoleret for hver sektor og ikke synkroniseret. Mens landbruget f.eks. har fokus på vådlægning af lavbundsarealer for at reducere dets CO₂-udledning og på efterafgrøder for at reducere nitratudvaskning, så ser byggeriet f.eks. på effektiviseringer og en større andel af træ i byggeriet (Erhvervsministeriet, 2020). Træ som CO₂-venligt konstruktionsmateriale er dog en begrænset ressource i Danmark, som ikke har tilstrækkelig store skovarealer og derfor skal træ importeres.

Det store potentiale for at trække CO₂ ud af luften ligger i at tænke sidestrømme af afgrøder fra landbruget ind som fremtidig ressource for vores byggematerialer. Ved at upcycle sidestrømme fra afgrøder til nye biogene byggematerialer undgår vi ikke kun direkte afbrænding, og dermed hurtig frigivelse af CO₂ i atmosfæren, men vi sikrer ligeledes langvarig lagring af CO₂ i bygningsmassen over potentielt flere hundrede år. Processen til at trække CO₂ ud af luften sker gennem den naturlige fotosyntese, som er fuldt udviklet og evolutionært indstillet, og kræver ingen dyr carbon capture teknologi.

I projektet ser projektgruppen på muligheden for at skabe nye forretningsmodeller og perspektiver for landbruget ved ikke kun at skulle spare sig til CO₂ reduktion, men også ved f.eks. at upcycle sidestrømme af afgrøder og dyrke nye afgrøder på vådlagte lavbundsarealer. Byggeriet vil som følge af dette kunne erstatte energi- og CO₂ -tunge mineralske

byggematerialer med nye typer biogene byggematerialer. Dermed kan kulstof fra landbrugets sidestrømme lagres naturligt i Danmarks bygningsmasse.

Potentialer for CO₂ reduktion



Hvad er anbefalinger fra fødevare- og landbrugssektoren?

Findes der fælles løsninger, som åbner nye forretningsmodeller for begge brancher, samtidig at de tilgodeser i langt højere grad natur, miljø og klima?

Hvad er anbefalinger fra bygge- og anlægssektoren?



Kilde: Erhvervsministeriet, 2020. Klimapartnerskaber. Anbefalinger til regeringen

Fødevare-/landbrugs- og bygge-/anlægssektoren gav i klimapartnerskaberne anbefalinger til regeringen om mulige CO₂ besparelser. Sidestrømme af afgrøder til byggematerialer til lagring af CO₂ i bygningsmassen indgik ikke i anbefalingerne i 2020.

Udvikling af planetære grænser

Med en ambitiøs tilgang til den grønne omstilling kan vi ikke udelukke de fokusere på reduktionen af klimagasser, fordi kloden og dens miljøtilstand er udfordret på mange flere parametre.

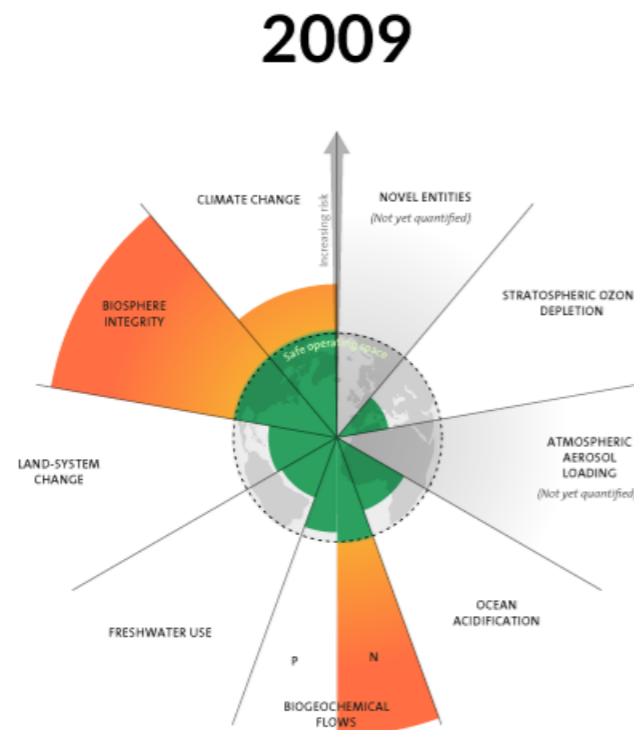
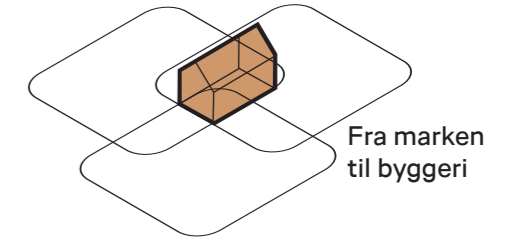
I 2009 introducerede forsker Johan Rockstrøm med et større forskerhold begrebet 'planetære grænser', som beskriver jordens tilstand, hvor ni kriterier blev udpeget som værende afgørende for at holde jorden i en miljømæssig balance.

Diagrammet med de ni planetære grænser opsummerer vores effekt af jordens systemer, hvor den indre grønne cirkel viser området, der vurderes som værende i en bæredygtig balance. Markeringen i gul, orange og rød viser overskridelsen af den sikre zone med en øget risiko.

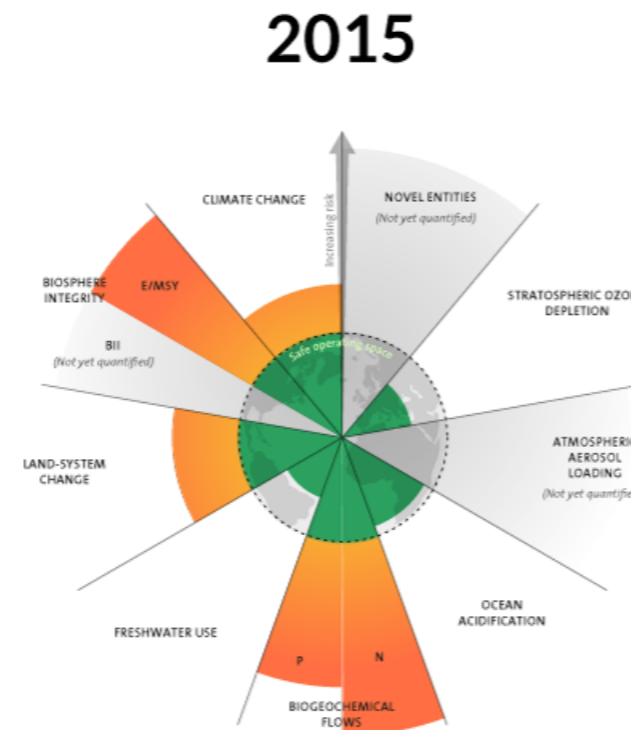
I en ny artikel fra september 2023 konkluderes det, at seks ud af ni planetære grænser allerede er overskredet (Richardson et al. 2023).

For at give en bedre og mere differentieret forståelse i udvælgelsen af sidestrømme fra afgrøder til byggematerialer, er der i projektet "Fra marken til byggeri" udvalgt afgrøder, som er evalueret på deres karakteristika med fokus på de planetære grænser. Afgrødernes fordele og ulemper adresseres dermed både for effekten på CO₂-koncentrationen i atmosfæren, men også for effekterne på biodiversitet, udvaskning af nitrat til havmiljøet, arealbehov, pesticidforbrug og ferskvandsforbrug.

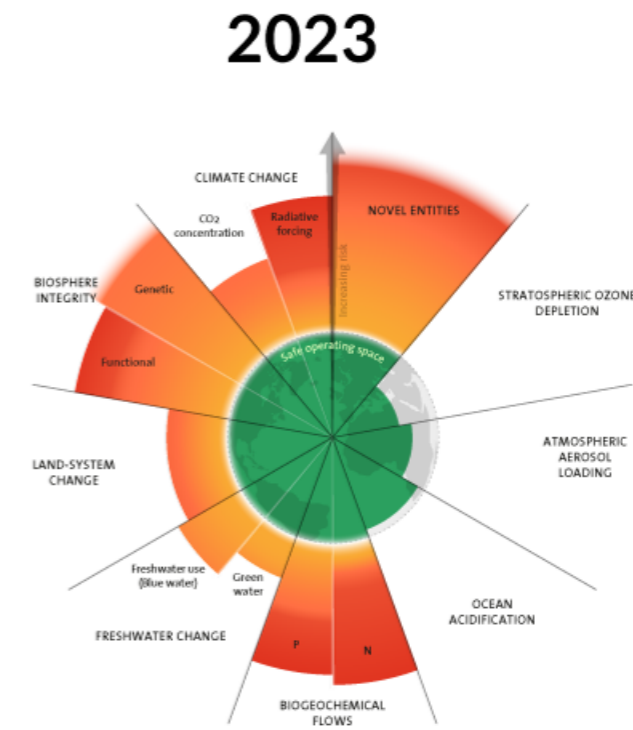
Udvikling af planetære grænser



3 grænser overskredet



4 grænser overskredet



6 grænser overskredet

Credit: Azote for Stockholm Resilience Centre, Stockholm University. Based on Richardson et al. 2023, Steffen et al. 2015, and Rockström et al. 2009

De ni planetære grænser

Klimaforandringer (climate change)

– CO₂ optag/biomasseproduktion.

Jo højere biomasseproduktion en afgrøde har både over- og underjordisk, jo mere CO₂ akkumulerer den fra atmosfæren.

Biodiversitet (biosphere integrity)

– Artsrigdom tilknyttet afgrøden, diversificering af landbrugsarealet og næringsstof-udtømning for naturforbedring.

Jo flere blomster og forskellige blomstringer i afgrøden, des mere artsrigdom er der typisk tilknyttet afgrøden. Diversificeringen af landbrugsarealet kan bidrage med biotoper til flere forskellige arter.

Ved at tømme næringsstoffer fra arealer der skal omlægges til natur vil man mindske risikoen for at planter der er gode til at udnytte de næringsrige forhold i jorden udkonkurrerer de mere naturberigende plantearter, der typisk lever ved relativt næringsfattige betingelser.

Udslip af næringsstoffer (biogeochemical flows)

– Nitratudvaskning/akkumuleringsrate. Jo mindre nitrat, der udvaskes fra afgrøden, des mindre kan der udvaskes til havmiljøet, hvor det kan forårsage iltsvind.

Arealanvendelse (land-use change)

I hvor høj grad er det et sidestrømsprodukt fra en (potentielt) igangværende produktion?

- Hvis arealet tages ud, udelukkende for at producere materialet, så kan

det meget vel føre til Indirect Land Use Change (ILUC), altså forskubning af foder/fødevarerproduktion til andre lande og dermed risiko for skovrydning.

Forurening (novel entities)

– Pesticid forbrug.

Hvor meget pesticid skal der bruges for at kultivere den specifikke afgrøde? Her bruges miljøministeriets indeksenhed for pesticidforbrug (giftighed og hyppighed i en kombineret enhed (BI)).

Ferskvandsforbrug (freshwater change) – Vandforbrug/fordampning.

- Hvor vandkrævende er afgrøden?

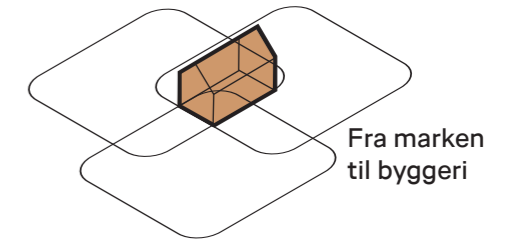
Dette afhænger typisk af afgrødehøjde og længde på vækstsæson.

Afgrøder der gror i vandmættede jorde, har ligeledes et naturligt højt ferskvandsforbrug. Det kan diskuteres hvor vigtigt dette parameter er i en dansk kontekst med de store nedbørsmængder, der kommer nu og i fremtiden.

De 3 øvrige kriterier: **Forsuring af havet, Luftforurening, Nedbrydning af ozonlaget** er vanskelige at forbinde med afgrødeeffekter (Campbell et al., 2017), og er derfor udeladt.

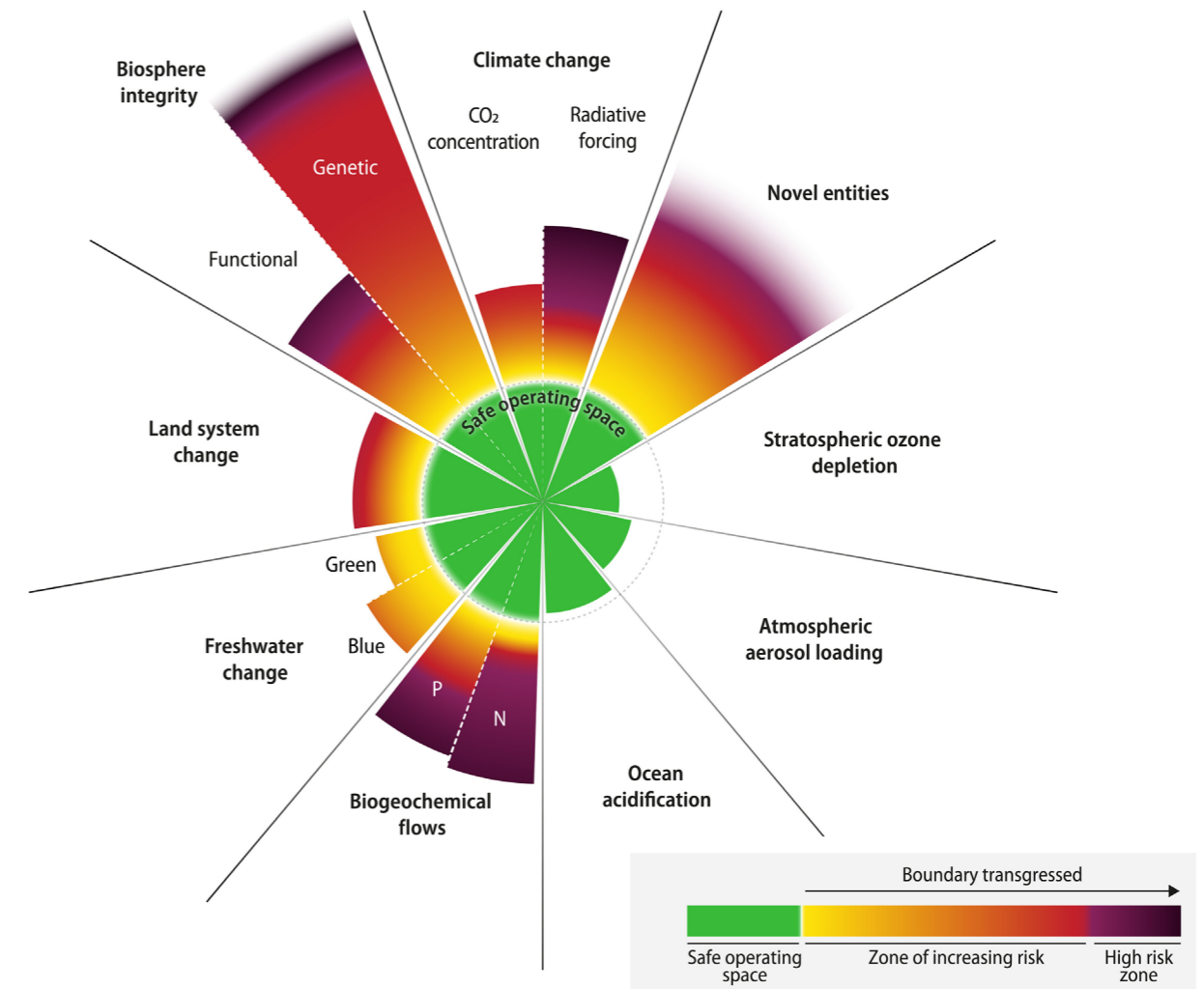
En mere detaljeret beskrivelse for de enkle vurderinger findes som oversigt i appendix i slutningen af PIXIbogen.

De ni planetære grænser



Figuren viser, hvor stort presset er på de ni planetære grænser:

- **Klimaforandringer** (climate change) **CO₂ optag**
- **Biodiversitet** (biosphere integrity) **Biodiversitetsændring**
- **Udslip af næringsstoffer** (biogeochemical flows) **Nitratudvaskning**
- **Forurening** (novel entities) **Pesticidforbrug**
- **Arealanvendelse** (land-system change) **Arealbehov**
- **Forbruget af ferskvand** (freshwater change) **Ferskvandsforbrug**
- **Forsuring af havet** (ocean acidification)
- **Luftforurening** (atmospheric aerosol loading)
- **Nedbrydning af ozonlaget** (stratospheric ozone depletion)



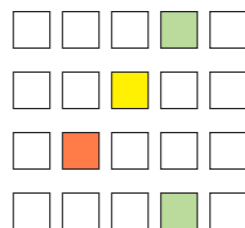
Figuren viser hvor stort presset er på de planetære grænser og at seks af ni grænser er overkredet.
Illustration: Azote for Stockholm Resilience Centre, based on analysis in Richardson et al 2023

Metode til evaluering af afgrøder

Når projektet ser på at gøre nye biogene byggematerialer på tværs i byggesektoren tilgængelige, er det ikke nok udelukkende at se på CO₂ besparelser/gevinster. Projektgruppen vil sikre et let-tilgængeligt og differentieret videngrundlag omkring afgrødernes effekt på de ni planetære grænser ift. at træffe det mest hensynsmæssige valg af afgrøder til byggematerialer.

Viden fra landbrugsforskning danner grundlag for en matrice, hvor de udvalgte afgrøder er evalueret på karakteristika der vurderes at have effekt på de vigtigste af de ni kriterier defineret som planetære grænser.

Metode til evaluering af afgrødens effekt på de planetære grænser



Signaturforklaringen afspejler afgrødens effekt på de planetære grænser, ud fra de udvalgte afgrødekaraktistika, relativt til effekten af korn, som er den mest almindelige afgrødetype i Danmark og som dermed er

referencepunktet for dansk landbrugs effekt på de planetære grænser. Effekterne evalueres som: Meget positive, positive, neutrale, negative og meget negative, relativt til afgrødeeffekten hos korn.

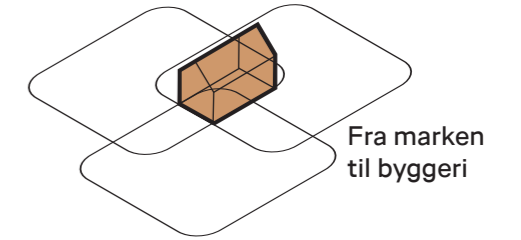
Afgrødeeffekternes rækkefølge er ikke tilfældig, men sorteret efter vigtighed af planetær grænser, og hvad det danske landbrug kan have størst effekt på. De evaluerede planetære grænser er taget ud fra Campbell et al., 2017, der netop undersøgte landbrugets effekt på jordens økosystem med udgangspunkt i de planetære grænser.

Afgrødeeffekterne på de sidste tre grænser (forsuring af havet, luftforurening og nedbrydning af ozonlaget) er vurderet til at være for usikre til at evaluere et afgrødevalg ud fra, som følge af dets tvivlsomme påvirkning af disse tre.

For hver af de undersøgte planetære grænser, er evalueret ét eller flere afgrødekaraktistika, som har direkte indflydelse på grænsen.

En uddybende forklaring på evalueringen af diverse afgrøder indenfor de planetære grænser er angivet i appendix (s. 60-61). Evalueringen er baseret på videnskabelig empiri, som er forbundet med usikkerheder og forbehold. Naturlig variation i f.eks. jordkvalitet og variation af afgrødens dyrkningsforhold er med til at definere den specifikke afgrødes vækstkaraktistika og dermed hvordan den præsterer indenfor de planetære grænser, og kan således diskuteres og evalueres i forhold til de specifikke omstændigheder.

Metode til evaluering af afgrøder



Hvilke afgrødekaraktistika skal der lægges vægt på for at udbedre de forskellige grænser?

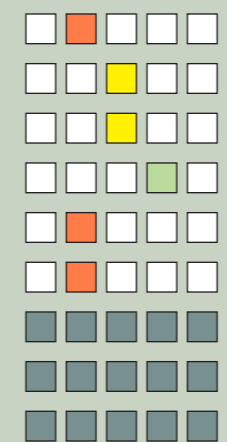
9 planetære grænser

- Klimaforandringer
- Biodiversitet
- Udslip af næringsstoffer
- Forurening
- Arealanvendelse
- Forbruget af ferskvand
- Forsuring af havet
- Luftforurening
- Nedbrydning af ozonlaget

Afgrødeeffekter

- CO₂ optag
- Biodiversitetsændring
- Nitratudvaskning
- Pesticidforbrug
- Arealbehov
- Ferskvandsforbrug
- [Ingen direkte effekt]
- [Ingen direkte effekt]
- [Ingen direkte effekt]

Evaluering af afgrøderne



Disse karakteristika kan kvalitativt evalueres

Problematikker som landbrug ikke kan løse, ift. individuelt biogent materiale valg



Signaturforklaring

Valg af afgrøder

Enårige afgrøder

Korn

Rug, hvede, byg eller havre, dyrkes for kernerne. Dermed er halmen et sidestrømsprodukt, primært fra foderproduktionen. Halmen bruges pt. primært til strøelse, nedmulding og afbrænding.

Den nedmuldede fraktion er pt. på ca. 1,5 mio tons tørstof i Danmark per år (2015-19), som sikrer en forbedret jordstruktur hos landmanden. Ved at ændre til kornsorter med mere halm og øge halm-høsten, kan de 1,5 mio tons øges til ca. 3,5 mio tons, som blandt andet kunne aftages af byggesektoren.

Raps

En enårig afgrøde uden så høj biomasseproduktion, der dyrkes til olieproduktionen.

Der efterlades ca. 1,65 tons ikke-bjærget halm per hektar, som vil kunne være af interesse for byggeriet (Statistikbanken 2006-2022).

Bælgfrugt

Ærter, hestebønner, kikærter og linser har evne til at binde atmosfærisk kvælstof. Dette erstatter kvælstof der ellers skulle tilsættes gennem gødning, og sikrer et højt proteinindhold i bønnerne, der kan bruges som blandt andet kød erstatning i diæten. Det lettilgængelige protein kan medføre en øget interesse for bælgfrugterne i fremtiden og dermed en øget sidestrøm af biomasse, som kan blive interessant for byggeriet.

Der efterlades ca. 1,6 tons ikke-bjærget halm per hektar (Statistikbanken 2006-2022).

Hamp

Ny afgrøde med varierende resultater for biomasseproduktion (Ca. 9 tons tørstof/ha (Pedersen, 2009)-14 t/ha (Sørensen et al., 2014)).

Hamp produceres enten for olien eller for de lange fibre til tekstil. Hvis de lange fibre aftages til tekstilindustrien (hvilket er forventeligt), så er der en rest tilbage, kaldet skæver, som kan være interessant for byggeriet. Da hamp er en ny afgrøde i det danske landbrugslandskab og af en anden planteslægt end de andre afgrøder, kan den have positive egenskaber i sædskiftet.

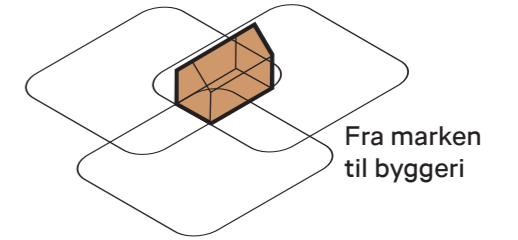
Sukkerroe

Enårig afgrøde, der har en særdeles høj biomasseproduktion (ca. 19 tons rod og 5 tons top (der efterlades) per hektar (Pedersen, 2009), som dyrkes for at producere sukker.

Ved raffineringen af sukker dannes en kulstof-pulp, som er til stor interesse for andre sektorer. Derudover efterlades en stor biomasse (ca. 5 tons/ha) i form af roetoppen på markerne, som er af interesse for bioraffineringsindustrien for proteinekstraktion, og dermed produceres en kulstof-fraktion til andre sektorer (Kristensen et al., 2013).

Valg af afgrøder

Enårige afgrøder



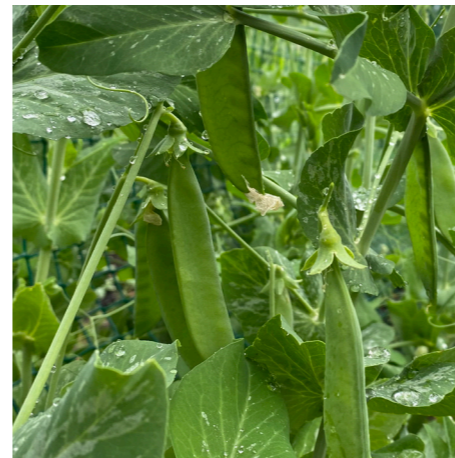
Korn



Raps



Bælgfrugt



Hamp



Sukkerroe



*Uddybende information til evalueringen og kilder er angivet i appendix

	Korn	Raps	Bælgfrugt	Hamp	Sukkerroe
CO ₂ optag	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
Biodiversitetsændring	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Nitratudvaskning	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
Arealbehov	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Pesticidforbrug	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ferskvandsforbrug	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
[Forsuring af havet]	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
[Luftforurening]	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
[Nedbrydning af ozonlaget]	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>

Valg af afgrøder

Flerårige afgrøder

Kløvergræs

Græs har et højt vækstpotentiale (Ca. 15 tons per hektar på intensivt dyrket jord og 10 på mindre intensivt dyrket jord), blandt andet fordi det er en flerårig afgrøde der kan opretholde fotosyntese, og dermed binde CO₂, som minimum hele vækstsæsonen fra april til oktober. Ved at blande kløver i afgrøden, tilføjer man kløverets evne til at binde atmosfærisk kvælstof, som er et vigtigt næringsstof for planter, og som erstatter kvælstof, der ellers skulle tilsættes gennem gødning.

Bioraffineringsteknologien kan ekstrahere græssets, ellers sværttilgængelige, proteinindhold, så det kan fodres til dyr med færre maver end køer, som f.eks. grise, kyllinger eller mennesker. Dermed mindsker man potentielt den enorme og klimatunge sojaimport og kan måske endda erstatte kød i den menneskelige diæt.

Efter proteinekstraktionen vil der være en fiberfraktion med meget kulstof, som kan være interessant for byggeriet.

Brændenælder

Brændenælde er en flerårig urt, der kan producere meget biomasse (3-12 tons stængel per hektar med lav næringstilførsel), samt producere en stor mængde protein ved høj næringstilførsel (Virgilio et al., 2015).

Man vil typisk dyrke efter de lange fiberfraktioner og/eller proteinerne, hvorefter der vil være en biomassesidestrøm som er interessant for byggeriet.

Elefantgræs

Elefantgræs er en flerårig afgrøde der kan stå i rigtig mange år før den behøver at blive udskiftet (15-25 år), og som har en rigtig høj biomasseproduktion (15 tons per hektar) uden højt pesticidforbrug eller nitratudvaskning (Larsen et al., 2014).

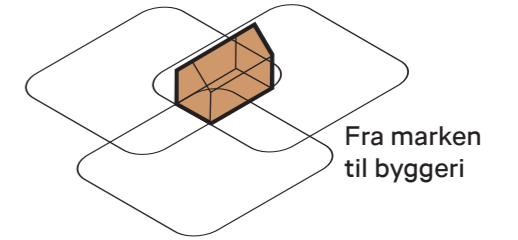
Man dyrker specifikt efter biomassen, hvilket betyder, at f.eks. byggeriet eller energisektoren ikke bliver aftager af et sidestrømsprodukt, og kommer derfor til at ændre arealanvendelsen. Det kan dog dyrkes på arealer, hvor der pt. dyrkes korn, majs og raps, som tiltag til at beskytte vandmiljøet og/eller grundvandet mod næringsstof- og pesticidudvaskning.

Pil

Pil er en hurtigtvoksende træart der kan stå i mange år. De kan producere en stor mængde biomasse (10-15 tons per hektar) (Larsen et al., 2014) og akkumulerer en høj andel af alt hvad der bliver tilsat, hvilket blandt andet giver en lav nitratudvaskning. Danske landmænd har dog haft svært ved at opnå disse høje udbytter, da afgrøden ikke passes godt nok, eller er plantet på for dårlig jord. Man dyrker specifikt efter biomassen, hvilket betyder at f.eks. byggeriet eller energisektoren ikke er aftager på et sidestrømsprodukt, og derfor er med til at ændre arealanvendelsen. Dette kan både være godt eller skidt, alt efter om man udtager naturareal eller landbrugsareal. Kan dog dyrkes på arealer, hvor der pt. dyrkes korn, majs og raps, som tiltag til at beskytte vandmiljøet og/eller grundvandet mod næringsstof- og pesticidudvaskning.

Valg af afgrøder

Flerårige afgrøder



Kløvergræs



Brændenælde



Elefantgræs



Pil



Poppel



*Uddybende information til evalueringen og kilder er angivet i appendix

	Kløvergræs	Brændenælde	Elefantgræs	Pil	Poppel
CO ₂ optag	□ □ □ □ ■	□ □ □ ■ □	□ □ □ □ ■	□ □ □ ■ □	□ □ ■ □ □
Biodiversitetsændring	□ □ □ □ ■	□ □ □ ■ □	□ □ □ □ ■	□ □ □ ■ □	□ □ □ ■ □
Nitratudvaskning	□ □ □ □ ■	□ □ □ ■ □	□ □ □ □ ■	□ □ □ □ ■	□ □ □ □ ■
Arealbehov	□ □ ■ □ □	□ □ ■ □ □	■ □ □ □ □	□ ■ □ □ □	□ ■ □ □ □
Pesticidforbrug	□ □ □ □ ■	□ □ □ □ ■	□ □ □ □ ■	□ □ □ □ ■	□ □ □ □ ■
Ferskvandsforbrug	□ ■ □ □ □	■ □ □ □ □	■ □ □ □ □	■ □ □ □ □	■ □ □ □ □
[Forsuring af havet]	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
[Luftforurening]	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
[Nedbrydning af ozonlaget]	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■

Valg af afgrøder

Paludikultur og marin biomasse

(Fortsættelse fra flerårige afgrøder)

Poppel

Har samme akkumulerende egenskaber som pil, dog med en lidt lavere biomasseproduktion end pil (7-10 tons/ha ift. 10-15 tons hos pil (Nielsen et al., 2014))

Her er der samme dilemma som ved dyrkning af pil; der dyrkes specifikt efter biomassen og dermed kan man komme til at optage areal.

Paludikultur og marin biomasse

Tagrør / dunhammer

Tagrør og dunhammer dyrkes på lavbundslande i paludikultur, hvor jorden er mere eller mindre oversvømmet. Landbruget står overfor et radikalt klimaskifte, hvor et mål blandt andet er at udtage 100.000 hektar lavbunds landbrugsjord, som skal oversvømmes for at holde på jordens kulstof, så det ikke udledes som CO₂, samt for at give øget naturværdi (Carstens, 2021).

Ved udtagningen af det forholdsvis store areal kommer et stort dyrkningspotentiale, som på den måde giver en biomasseproduktion uden at optage landbrugsareal (biomasseproduktion på ca. 11 tons/ha ved gødede lavbundslande og ca. 6-7 tons/ha på ugødede (Neumann Andersen et al., 2023)). Der bruges ingen pesticider, og i princippet heller ingen næringsstoffer ved ekstensiv produktion, idet lavbundslandene modtager

næringsstoffer fra omkringliggende arealer. På den måde kan høstningen af tagrørs-/dunhammerbiomassen bidrage til mindsket nitratudvaskning til vandmiljøet.

Ålegræs

Ålegræs samles opskyllet på stranden, og har derfor fordelen ved ikke at optage areal overhovedet.

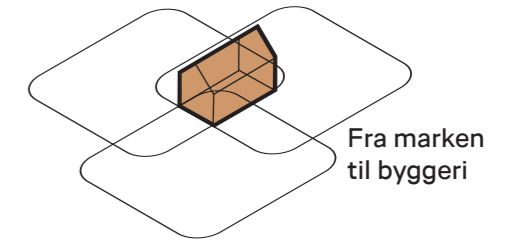
Det er testet i byggeri, hvor det høje saltindhold lader til at have en positiv effekt på blandt andet brandfare og forrådnelse.

En ny opfattelse lægger vægt på mindre tilgængelig volumen og dårligere kvalitet med det forringede havmiljø.

Det er umiddelbart svært at opskalere rent logistisk uden besluttet at skulle dyrke efter det i havet, hvilket er svært i det næringsrige miljø i havet, og desuden u hensigtsmæssigt for biodiversiteten.

Valg af afgrøder

Paludikultur og marin biomasse



*Uddybende information til evalueringen og kilder er angivet i appendix

Tagrør



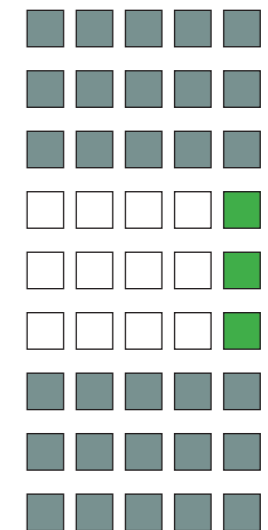
Dunhammer



Ålegræs



- CO₂ optag
- Biodiversitetsændring
- Nitratudvaskning
- Arealbehov
- Pesticidforbrug
- Ferskvandsforbrug
- [Forsuring af havet]
- [Luftforurening]
- [Nedbrydning af ozonlaget]



Nye biomasse fraktioner

I dag er diversiteten af biomassefraktioner vi betragter som potentielle biogene byggematerialer meget begrænset. Vi skal have øjnene op for langt flere fraktioner, som kan være basis for fremtidens nye regenerati-ve byggematerialer, så netop kaskadeudnyttelse og cirkulær bioøkonomi bliver en del af tankegangen.

Vi kan groft inddele biomasse-fraktioner under følgende overskrifter:

Den gule biomasse

Afgrøderester fra modne afgrøder, f.eks. halm, som i dag er en stor rest-fraktion i Danmark.

Den grønne biomasse

Friske grønne blade indeholder store mængder protein, som man nu er begyndt at ekstrahere i bioraffinaderier. Tilbage bliver en fiber, som kan benyttes til forskellige formål, herunder byggematerialer.

Den blå biomasse

Alle råvarer fra havet indgår her. Det kan være muslingeskaller, tang og ålegræs.

Den grå biomasse

Sidestrømme fra plante-baseret fødevarerproduktion og foder. Herunder husdyrgylle.

Den brune biomasse

Træbiomasse fra skovproduktionen.

Den røde biomasse

Husholdningsaffald og organiske biprodukter fra industrien.

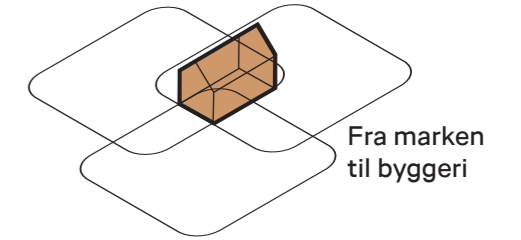
Den nye biomasse

F. eks. svampe kan bruges til at omsætte andre typer biomasse og kan bidrage til at binde materialer sammen.

Den sorte biomasse

Organisk indhold fra husholdningsaffald og spildevandsslam fra rensningsanlæg.

Nye biomasse fraktioner



Den gule biomasse

Det er fraktionen, som vi hovedsageligt ser på når vi taler biogene byggematerialer fra landbruget

F.eks. halm fra korn

Den grønne biomasse

Biomasseafgrøder, efterafgrøder, grødeskæring, høst af vejrabatter.

F.eks. Kløvergræs, roetoppe eller brændenælder.

Den blå biomasse

Eller marin biomasse

F.eks. Muslingskaller, tang eller ålegræs.

Den grå biomasse

Gylle fra husdyrproduktion.

Den brune biomasse

Træ biomasse

Fra skovproduktionen.

Den røde biomasse

Organisk industrielt affald.

F.eks. Mel-, slagte- eller mejeri-sidestrømme.

Den nye biomasse

Nye biomasse fraktioner

F.eks. svampe, mycelium, insekter, etc.

Den sorte biomasse

Organisk indhold i husholdningsaffald og spildevandsslam

Differentiering i begrebet "biomasse" hvor langt flere fraktioner åbner for fremtidig kulstoflagring i byggeriet

Tilgængelighed af biomassefraktionerne

Med vores afgrøder har vi kun set ind en lille mængde af tilgængelig biomasse.

Landbruget dækker størstedelen af Danmarks areal (61%) og har forholdsvis høje afgrødeudbytter fordi afgrøderne dyrkes intensivt. Det er derfor herfra de største mængder biomasse kan trækkes ud til at anvende f.eks. i byggesektoren. Men landbruget er optimeret til at producere fødevarer og hverken til at maksimere kulstoffangst eller producere råvarer til byggeriet. Der er derfor et stort potentiale for at optimere produktionen med denne nye efterspørgsel. I "Potential Danish biomass production and utilization in 2030" (Gylling et al., 2023) er der beregnet potentialer for øget biomasseleverance fra land- og skovbrug samt fra havet og fra industrien.

Der er analyseret på seks forskellige biomassefraktioner indenfor landets grænser, bestående af: Halm fra korn, majs, raps og bælgfrugter (den gule), biomasseafgrøder til bioraffinering (den grønne), marin biomasse (den blå), gylle fra husdyrene (den grå), træbiomassen fra skovproduktionen (den brune) og organisk affald i form af biprodukter fra industri samt husholdningsaffald (den røde).

Disse fraktioner er undersøgt igennem to forskellige fremtidsscenarier frem til 2030 (seks hvis husdyrscenarierne medregnes); et biomasse-scenarie, hvor hovedfokus er at maksimere biomasseproduktionen og samtidig imødekomme vandmiljøplanerne, samtidig med en stabil fødevarerproduktion, og et miljøscenarie, hvor der blandt andet tages endnu mere hensyn til natur, klima og miljø.

De illustrerede fraktioner viser mængden af biomasse i 'millioner tons tørstof', samt den bundne mængde CO₂ i 'millioner tons CO₂' sat i parentes.

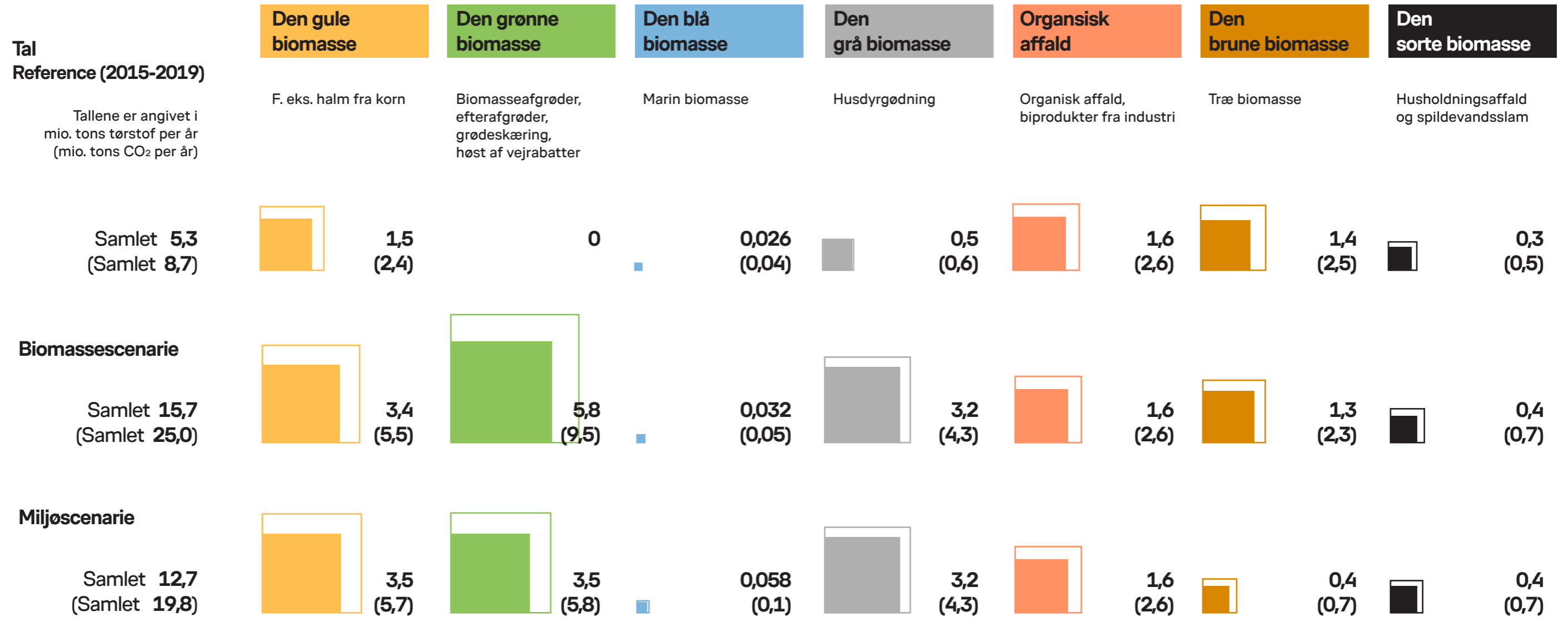
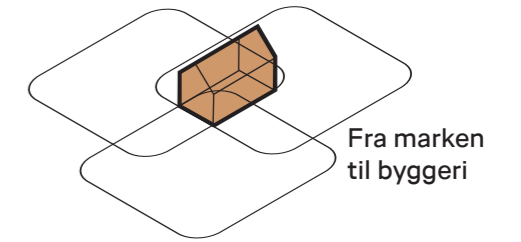
Ud af de forskellige biomassefraktioner er naturligvis udvalgt en delfraktion, som vurderes relevant for biomasseanvendelse. Den gule biomassefraktion er således et estimat på den mængde halm, som landbruget kan undvære uden at gå på kompromis med jordkvaliteten. Den grønne biomassefraktion er fiberfraktionen efter proteinerne er ekstraheret. Den blå biomasse er marin biomasse, såsom blåmuslinger, søstjerner, tang mm. Den grå biomassefraktion er gylletørstoffet. Den brune biomassefraktion er hugsten af skovbiomasse. Den røde biomasse er organisk affald fra den primære forarbejdningsindustri, såsom mejeriprodukter, fisk og skaldyr, rødder og rodfrugter mm. Den sorte biomasse er husholdningsaffald og spildevandsslam fra rensningsanlæg.

Grafikken illustrerer, hvor de potentielt lavthængende frugter er, nu og i fremtiden.

Mængden af halm på nuværende tidspunkt er betragtelig, og bør indgå i planen for at inkorporere biomasse på kort sigt.

I fremtiden kan fremtrædende bioteknologier, såsom grøn bioraffinering blive driver for at de mere klima- og miljøvenlige biomasseafgrøder dyrkes i højere grad, således at f.eks. store mængder af græs fibre bliver et sidestrømsprodukt af interesse for blandt andet byggesektoren.

Tilgængelighed af biomassefraktionerne



Kaskade udnyttelse i landbruget

På nuværende tidspunkt er anvendeligheden af den overskydende landbrugsbiomasse fra fødevarerproduktionen i meget høj grad afgrænset til forbrænding og bioforgasning i energisektoren.

Dermed er der et helt tydeligt hierarki ift. hvad landbruget skal producere, og værdien heraf. Meget paradoksalt er det, at de mest delikate og højværdisatte produkter fra landbruget typisk er i den mindste biomassefraktion, hvor de lavest værdisatte produkter er i den største volumen.

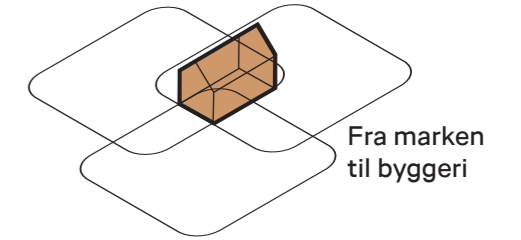
En stigende mangel på primær-ressourcer har øget fokuset på recirkulering af ressourcer i hele samfundet for at kunne opretholde en produktion. Her er produktionen af byggevarer en stor post med stort potentiale for recirkulering og udnyttelse af kaskadeeffekter (Höglmeier et al., 2017).

Samtidig er klimakrisen presserende, hvilket kommer til at ændre alle spillereglerne i samfundet. CO₂-kvoter og miljørestriktioner er politiske tiltag, der kan ændre præmissen for blandt andet at dyrke landbrug og bygge bygninger. Ved at værdisætte CO₂-reduktion og lagring vil det nuværende hierarki blive ændret, idet den store biomassefraktion i landbruget er hvor det største CO₂-lagringspotentiale ligger.

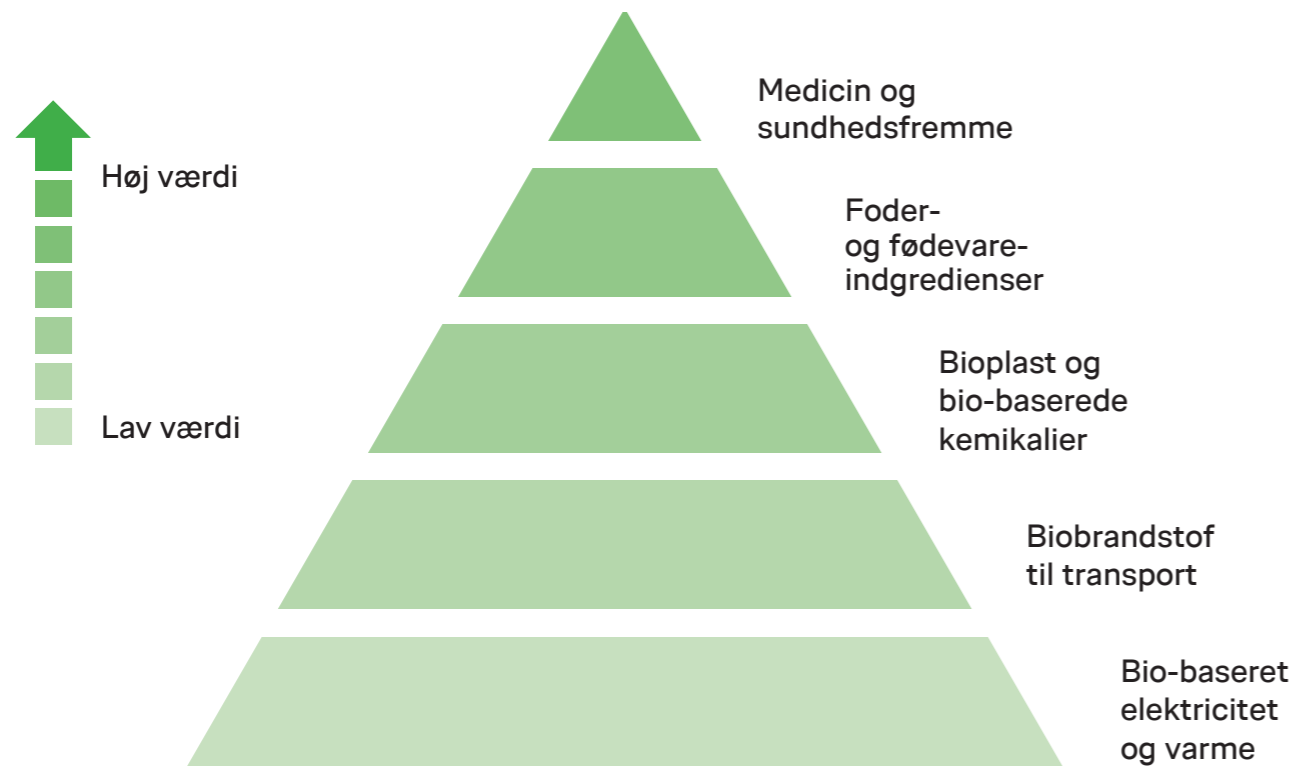
Som biogene byggematerialer er potentialet for opholdstiden af det bundne kulstof stort, og dermed kan byggemassen fungere som et kulstoflager og en klimabuffer.

Ved at lade byggesektoren indgå som aftager af biomassen, vil man kunne forlænge kaskadebrugen af produkterne, da biomassen bør kunne indgå som byggemateriale med minimal eller ingen degradering, modsat mange andre sektorer. På denne måde udnyttes der ikke energi fra biomassen, og derfor vil byggesektoren decideret forlænge anvendelsesgraden.

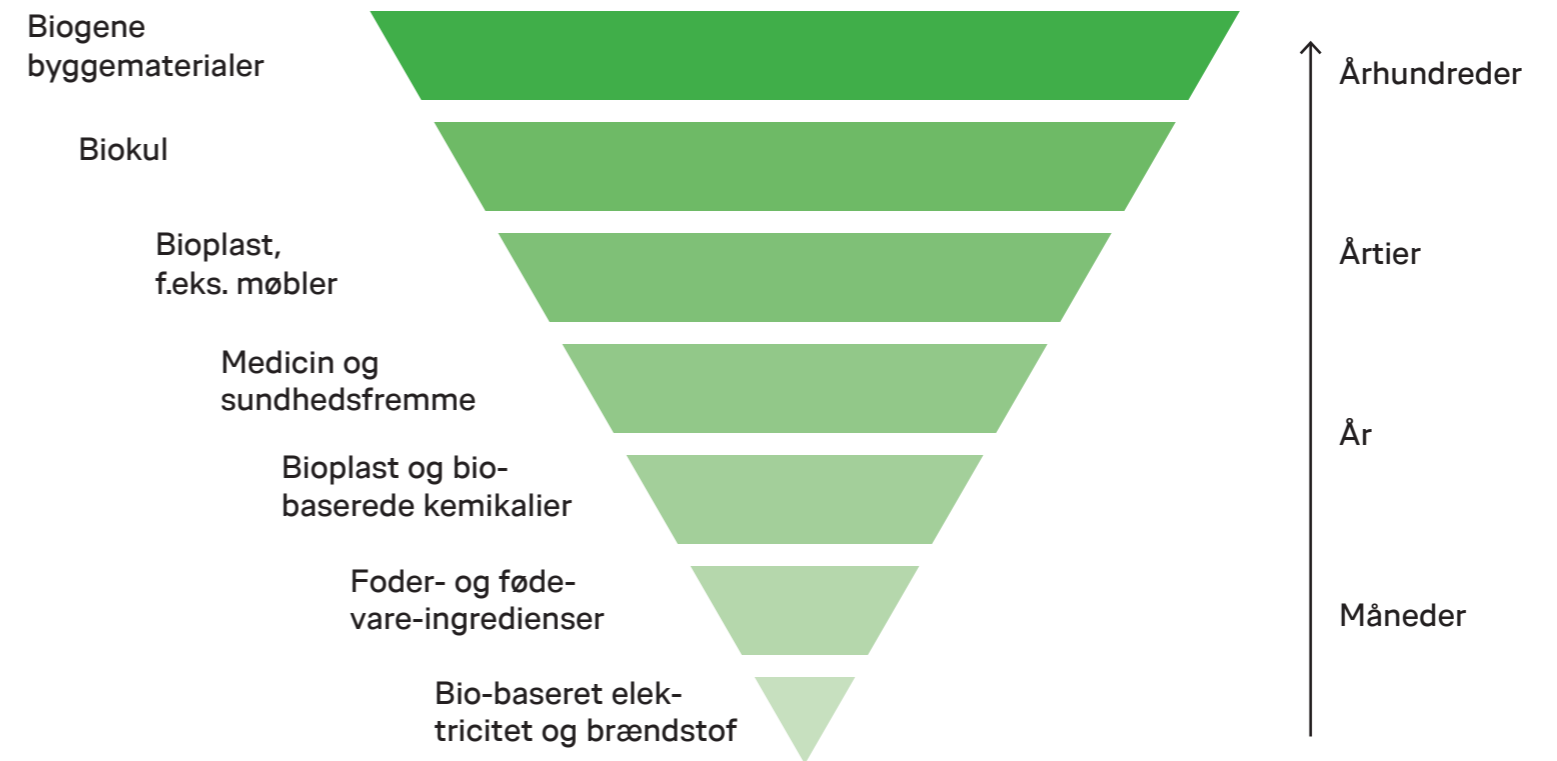
Kaskade udnyttelse i landbruget



Nuværende værdipyramide



Alternativ CO₂ pyramide



Opholdstid for bundet kulstof

Kilde: Lange, L., & Lindedam, J. (2016). The Fundamentals Of Bioeconomy. The Biobased Society. United Federation of Danish Workers 3F.

Den alternative CO₂ pyramide er udformet på præmis om CO₂ reduktion/lagring. Med CO₂ kvoter får CO₂ værdi.



Landbrug

Dyrkningspraksis

Generelt er der en skillelinje imellem de enårige og flerårige afgrøder (specielt kornsorterne, raps, bælgfrugter, hamp og sukkerroe ift. kløvergræs, elefantgræs, pil og brændenælder), idet der er en generelt højere kulstoffangst, lavere nitratudvaskning og mindre forbrug af pesticider for de flerårige afgrøder. Dette skyldes i høj grad den store forskel i vækstsæsonens længde og i dyrkningspraksis.

Den enårige afgrøde skal sås og spire hvert år, hvilket betyder, at den er i direkte konkurrence om næringsstoffer, sollys osv. med naturligt forekommende plantearter. Det gør, at det er almindelig praksis, at sprøjte med pesticider og tilføre store næringsmængder, så man kan give afgrøden en konkurrencefordel.

De flerårige afgrøder har permanent dybt rodnet, hvilket bidrager til at kunne fastholde næringsstoffer bedre end de enårige kan. De flerårige afgrøder har en lang vækstsæson og kan derfor sikre fotosyntese og kulstoffangst i en længere periode af året, end de enårige afgrøder kan.

Den enårige afgrøde høstes typisk i sensommeren, hvilket betyder, at planternes biomasseproduktion ikke bliver fuldt udnyttet i sensommeren og efteråret, hvor temperaturen er rigeligt tilstrækkelig til at lave fotosyntese. Græs, som er en flerårig plante kan gro helt indtil det fryser om vinteren og har, blandt andet derfor, en højere biomasseproduktion end f.eks. majs og korn.

Den bare jord i efteråret og om vinteren ved den enårige afgrøde betyder desuden at marken har svært ved at holde på de tilførte næringsstoffer, som kommer fra gødningen, og derfor vil der være en stor udvaskning ved de enårige afgrøder (dette forsøges dog afbødet med efterafgrøder), mens der er en væsentlig mindre nitratudvaskning fra græs, pil og brændenælder.

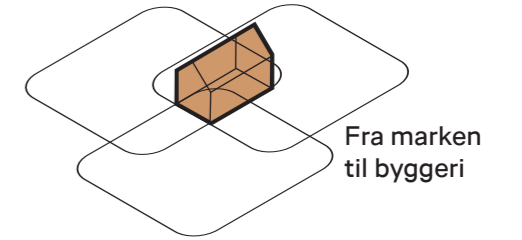
Arealanvendelse

I et bæredygtighedsperspektiv er det vigtigt at overveje sidestrømspotentialer hos den enkelte afgrøde.

Byggeriet kan, med en efterspørgsel på "hovedprodukter", som f.eks. de lange fibre fra hamp eller hør, optage landbrugsareal, som ellers kunne bruges på produktion af fødevarer, hvilket kan medføre en forskubning af landbrugsarealet til andre lande (ILUC).

Omvendt, vil byggesektoren, ved at være aftager på et sidestrømsprodukt, såsom halm eller græs fibre fra bioraffineringen, ikke optage yderligere areal. Det samme gælder for aftagningen af produkter fra arealer, der ellers ikke var tilegnet nogen anvendelse. Dette kunne gælde for brugen af rørgræsser i byggeriet fra de, i fremtiden, vådlagte lavbundslande.

Landbrug



Enårige afgrøder



Flerårige afgrøder



Paludikultur og marin biomasse





Fødevarer

I dag og historisk er landbruget primært orienteret mod fødevareproduktion. En samtænkning af landbrug og byggeri, hvor en del areal skal afsættes til produktion af råmaterialer til byggeindustrien, vil kunne give anledning til en arealkonflikt, hvis vi samtidig ønsker at skabe plads til mere vild natur og biodiversitet i Danmark. Løsningen synes oplagt at være at medtænke fødevarevalg og fødevarekultur i det tværfaglige samarbejde.

I dag anvendes cirka 80% af landbrugets areal alene til dyrefoder, hvorfor hovedparten af landbrugets produktion er etårige planter, ikke mindst korn (Miljø- og fødevareudvalget 2017-18, 2017). Da kødproduktion anvender 3-4 gange så meget areal som plantebaserede fødevarer og forbindes med betydelige klimaudfordringer, vil en transformation af vores fødevarekultur til mere plantebaserede fødevarer også naturligt påvirke, hvilke råvarer der er tilgængelige for byggesektoren. Halm vil antageligvis blive en råvare, der produceres i mindre mængder.

Det særligt interessante er fra denne synsvinkel netop at finde i de gensidige interaktioner, der kan etableres mellem de tre domæner. Menneskers fødevarevalg kan ændre, hvad der er tilgængeligt af sidestrømsprodukter, der kan være udgangspunkt for byggesektoren. Omvendt bør en råvare der har et stort potentiale i byggebranchen, ud fra planetære grænser som analytisk model også give anledning til at undersøge den pågældende råvares potentiale som fødevare, selvom den måske ikke traditionelt har haft en væsentlig plads. F.eks. kan 'sidestrømme' ikke

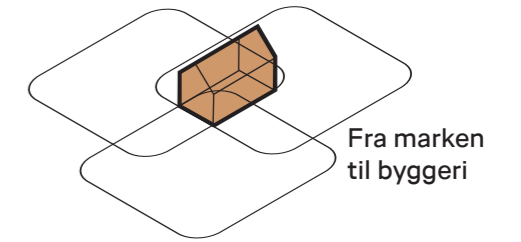
kun identificeres som potentielle byggematerialer baseret på dele af en plante, der normalt ikke bruges som fødevare, men også omvendt, som potentielle fødevarer baseret på dele af en plante, der ikke er ideelle som byggematerialer.

I den tidligere præsenterede evaluering af afgrøder, baseret på komponenterne i modellen for planteære grænser, tages udgangspunkt i råvarer der kunne tænkes at have en særlig interesse i byggebranchen, men en helt tilsvarende analyse kunne naturligvis laves for råvarer, der klassisk dyrkes som fødevare. En tilgang til det tværfaglige samarbejde kunne således være primært at interessere sig for de råvarer der præsterer godt og har interesse fra begge 'sider'.

Det er dog værd at bemærke, at der er en væsentlig fare i at udvælge kun én eller to råvarer som fremtidens byggemateriale, idet en sådan indfaldsvinkel kan øge monokultur med risiko for biodiversitetstab til følge. I en samtænkning af de forskellige fagområder kan man således både beskæftige sig med flere afgrøder i kombinationskulturer, forskellige afgrøder på tværs af geografi, hvor forskellige jordforhold og forskelligt klima begunstiger forskellige planter, og forskellige afgrøder over tid hvor f.eks. klimaforandringer og ændringer i fødevarekultur påvirker, hvad der er tilgængeligt.

Det er ligeledes værd at bemærke at dyrkningsmetode kan have afgørende betydning for, hvordan den enkelte råvare klarer sig i en evaluering.

Fødevarer



ring. F.eks. vil en hampeplante dyrket i et indendørs dyrkningssystem eller dyrket med anvendelse af pesticider antageligvis ikke have en positiv effekt på biodiversitet på samme måde som en hampeplante der er dyrket i en skovhave med høj variation af planter og uden sprøjtemidler.



Billeder viser et udvalg af plante-baserede retter fra Restaurant Moment

Credit: Restaraunt Moment

Restaurant Moment er en selvforsynende grøntsagsbaseret gourmetrestaurant, hvor idealet er at bringe dyrkning så tæt på et naturligt system som muligt. "Naturligt system" opfattes her som, at råvarer frembringes i et biodiverst og regenerativt system der ikke genererer affald. Ideen er hermed at "flytte" den belastning på naturen, der kan relateres til fødevarerpræferencer og tradition til menneskets mulighed for kreativitet.

På denne måde vil et samarbejde mellem restauranter, fødevarerproducenter, landbruget og byggeindustrien være et grundlag for en nytænkt totaludnyttelse af råvarer, hvor "Absolut bæredygtighed" og modellen for planetære grænser, som grundlag for samarbejdet, vil forventes at give anledning til et væsentligt forandret klimaregnskab.



Byggeri

I et tæt tværsektorielt samarbejde med landbrug og fødevarer, ser byggeri på projektet "Fra marken til byggeri" med en cirkulær tankegang, hvor byggeriet ligeledes indgår i biologiske kredsløb.

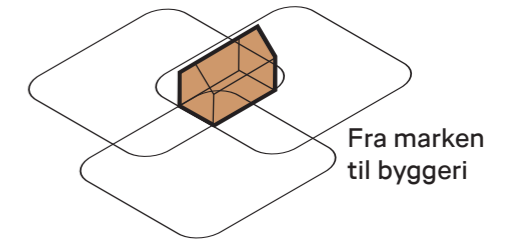
Biogene byggematerialer i byggeriet, hvor CO₂ er naturligt optaget fra atmosfæren via fotosyntese i planterne, er ikke kun begrænset til træ-produkter. Det store potentiale ligger i sidestrømme fra landbrugsafgrøder som basis for biogene byggematerialer som f.eks. plader og isoleringsprodukter. Hurtigvoksende afgrøder fra landbruget, som f.eks. græs, har en større kulstoflagring pr ha. på en mark end det vil være for træer i en skov med stor, men langsom vækst (ConTerra, 2020).

Derudover optager sidestrømme ikke landbrugsareal, dvs. byggeri kun aftager restfraktioner, som ellers f.eks. bliver brugt til afbrænding. Sidestrømme vil derfor få langt højere værdi for landbrug og klima i et tæt samarbejde og værdicirkel.

Selvom fordele miljø- og klimamæssigt er tydelige, er den industrielle dimension i dag begrænset. Projektet "Fra marken til byggeri" ønsker at vise muligheder og undersøger eksperimentelt, afprøver og udvikler nye biogene produkter og byggeløsninger.

De første prototyper af biogene byggematerialer er fremstillet i egenproduktion ud af plantefibre i blød og presset form til isolerings- og pladeprodukter. Deres egenskaber er efterfølgende indikativ testet for byggetekniske karakteristika og sammenlignet med konventionelle byggematerialer.

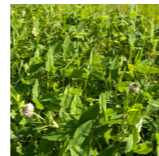
Byggeri



Rapsfibre



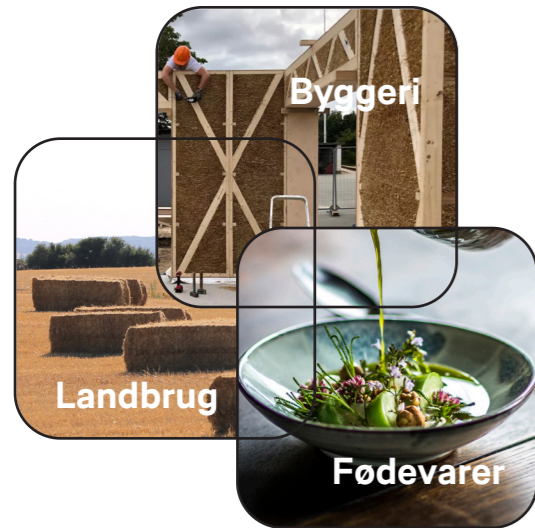
Brænde nælde



Kløvergræs



Testprøver af plademateriale fremstillet af græs- og rapsfibre.



Samarbejde på tværs

Projektet viser i sin tydelighed potentialet, som ligger i et tæt samarbejde på tværs af sektorer og kan skabe nye løsningsrum i vores fælles miljø-, natur- og klimamæssige udfordringer.

Der er et behov for at skabe nye cirkulære værdikæder, som vi i projektet kalder værdicirkler, som respekterer planetære grænser og giver store gevinster for reduktion af klimagasser. I projektet "Fra marken til byggeri" arbejder teamet bagved hands-on med hele processen, fra valg af nye typer afgrøder, dyrkning, høst, fødevarer-tilberedning, og videreforarbejdning af sidestrømme til potentielt nye byggematerialer samt test og afprøvning af disse. Ud fra et cirkulært økonomiperspektiv indgår byggeri fremover ikke kun i det tekniske kredsløb, men bliver i langt højere grad del af det biologiske kredsløb.

Projektet er også en fortælling om nye markeder og nye forretningsmodeller for en landbrugssektor, som hurtigt skal realisere store CO₂ reduktioner og samtidig finde nye indtægtskilder. Salg af sidestrømme, dyrkning af nye type afgrøder til fødevarerbranchen, upcycling og forarbejdning til biogene byggeprodukter er en lovende og muligvis indbringende vej at gå.

Det samme gælder byggebranchen, som med udvikling af nye biogene byggeprodukter og -løsninger til transformation og renovering af den eksisterende bygningsmasse og til nybyggeri kan have et betydeligt reduceret CO₂-fodaftryk. Samtidig kan der ligge en fremadrettet strategi,

som ser bygningsmassen som en fremtidig kulstofbank, hvor biogene byggematerialer bliver en naturlig 'carbon capture'-løsning som potentielt lagrer CO₂ langvarigt.

I et fødevarerperspektiv ser vi på en tydelig ændring af vores kostvaner og en tendens hvor plantebaseret mad fylder mere. Det vil få en direkte effekt på landbruget for at dyrke mindre afgrøder til dyrefoder, som i dag udgør ca. 80% af landbrugsarealet (Miljø- og fødevarerudvalget 2017-18, 2017).

Dermed skabes der mulighed for at dyrke nye type afgrøder og ingredienser, hvor sidestrømme ligeledes kan indgå i fremtidige biogene byggematerialer.

Ambitionen om en betydningsfuld grøn omstilling af alle 3 brancher samtidigt kræver først og fremmest et fælles blik på problemstillingerne og sammenhængen på tværs af brancher. Afgrænsede branchespecifikke handlinger vil ikke kunne udnytte de potentialer omkring biomassen fra landbrugets sidestrøm. Løsningsrummet som udnytter synergieffekter på tværs findes i overlap mellem hinandens aktiviteter.

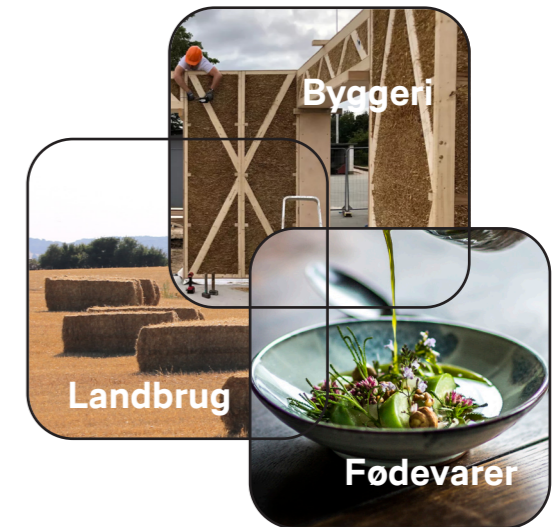
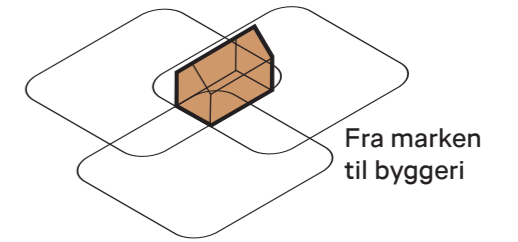
For at sætte gang i den grønne omstilling er konkrete handlinger, afprøvninger, test, måling og udvikling essentielt. Nye ideer skal demonstreres, gennemførlighed skal eftervises og løsningerne skal inspirere, så dette kan blive industrielt skaleret op. Det er her projektet "Fra marken til byggeri" kommer ind og ønsker med et fysisk sted som LivingLab, at fungere som et levende laboratorium med tilhørende mark, med faciliteter til fremstilling og afprøvninger, samt bygninger, som bliver aktive testobjekter, hvor f.eks. mock-ups af facadeelementer integreres.

Samarbejde på tværs



Teamet bagved projektet
"Fra marken til byggeriet"

(Projektpartnerne fra HLA
er ikke med på billedet)



I samarbejdet på tværs af sektorer
ligger synergier og nye forretnings-
modeller, innovation og nye marke-
der for såvel landbrug, fødevarer og
byggeri

Fra plantefibre til byggemateriale

Proces, fremstilling og afprøvning

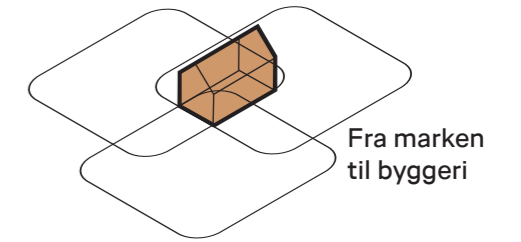
En central del i projektet "Fra marken til byggeri" er demonstration af hele fremstillingsprocessen. Sidestrømme fra udvalgte afgrøder på marken bliver upcyclet til prototyper på potentielle byggematerialer. Dette kan eksempelvis være isolering og plademateriale baseret på biogene sidestrømme.

Projektteamet har selv produceret materialeprøverne fra lidt mindre kendte afgrødefraktioner som er blevet anvendt til tests og afprøvninger. Studerende fra VIAs bygningskonstruktøruddannelse i Horsens har deltaget i projektet, både til fremstilling af materialer, målinger og dokumentation.

I projektet er der udført indikative tests i forhold til lydabsorption, varmeledningsevne og brandegenskaber af de nye materialeprøver og sammenlignet med gængse tilsvarende konventionelle byggematerialer.

Fra plantefibre til byggemateriale

Proces, fremstilling og afprøvning



Maxigræsvogn som er anvendt til høst af kløvergræs



Pulp efter proces



Container som blev brugt til tørring pga af særligt vådt høst



Transport af tørrede plantefibre i bigbag



Hands-on produktion fra plantefibre til plademateriale



Plademateriale presset i lag

Fremstilling af potentielle nye biogene byggematerialer

Proces fra landbrugssidestrøm til byggematerialer

Proof of concept

Plantefibre fra landbrugets sidestrømme upcycles i projektet "Fra marken til byggeri" til materialeprøver, som enten er biogen isolering eller plademateriale lignende spånplade-produkter.

Processen er foretaget i en pladepresser med 100 tons trykkraft og en temperatur på ca. 180°C i 3 minutter for at undersøge sammenbinding til plader med produktets egen indeholdende bindemiddel. Testmaterialet var tilført en mindre mængde på 12 til 15 procent cellulose pulp som en rimelig sikker binder. Cellulose indeholder naturligt lignin. Processen virkede efter hensigten og en kombination af varme og tryk i presseren gav en sammenbinding af fibre.

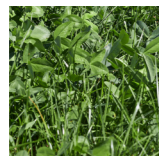
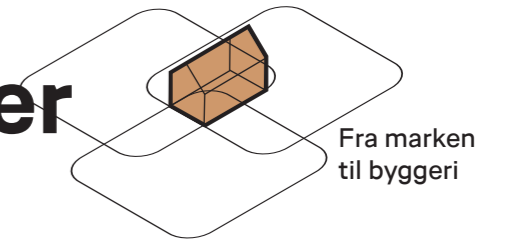
Som materialefraktioner blev kløvergræs, raps og brændenælde valgt. Brændenælde viste sig dog pga. af de lange fibre uegnet til fabriktionsmetoden og det tekniske udstyr.



Testprøver plademateriale fra græs- og rapsfibre.

Fremstilling af potentielle nye biogene byggematerialer

Proces fra landbrugssidestrøm til byggemateriale



Kløvergræs



Plade prototype
Densitet 1000 kg/m³



Rapsfibre



Plade prototype
Densitet 841,54 kg/m³

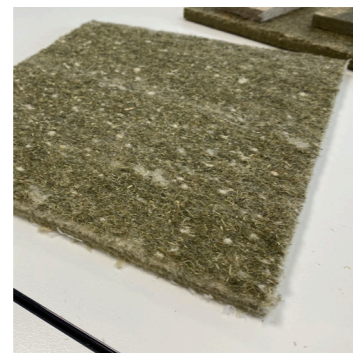


Brændenælde



Brændenælde kunne med den nuværende fremstillingsmetode pt. ikke produceres.

Plade prototype



Isolerings prototype
Densitet 68,57 kg/m³



N.N.

Isolerings prototype



N.N.

Isolerings prototype

Fremstilling og indikative tests

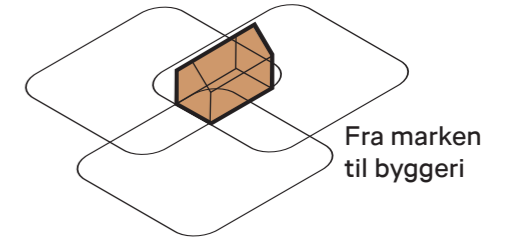
af materialeprøverne med involvering af VIAs studerende

Fremstillingen af testprøverne til projektets biogene isolerings- og pladematerialer blev gennemført i eget regi og hands-on med involvering af VIAs studerende. Også i de efterfølgende afprøvninger indgik de studerende med målinger og dokumentation.



Fremstilling og indikative tests

af materialeprøverne med involvering af VIAs studerende



Lydtests

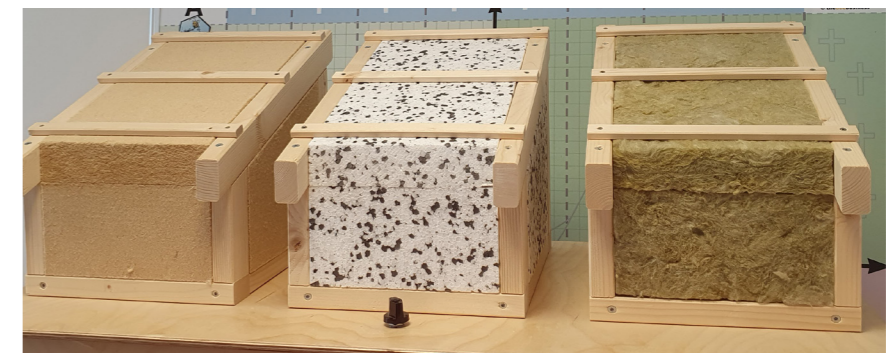
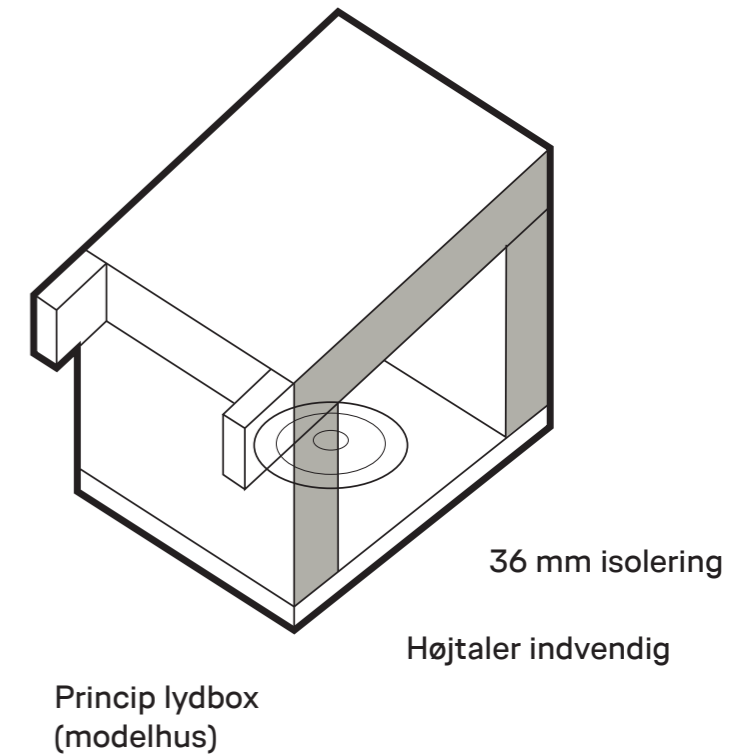
Lydisoleringsevne af biogene isoleringsmaterialer

Lydtesten går i sin enkelthed ud på at høre og måle forskellen mellem de valgte biogenes materialers egenskaber til at absorbere lyd. Som reference og til sammenligning indgår i testen også gængse mineralske isoleringsmaterialer, som f.eks. EPS og glasuld.

I forsøgsopstillingen er de udvalgte biogene isoleringsmaterialer installeret i modelhuse (lydboxe) på 300 mm x 240 mm x 165 mm (275 mm). Materialerne danner på hele indersiden af huset en homogen isolering med en tykkelse på 36 mm på både ydervæggene og taget.

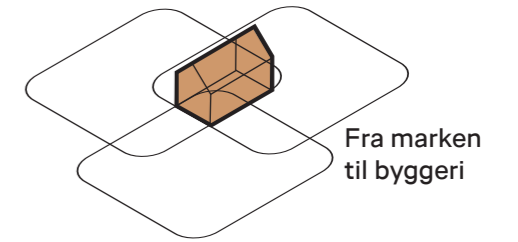
Indvendig i alle tre modelhuse er installeret en højttaler, som er forbundet til den samme lydkilde (bilradio), som kan skiftes mellem de tre huse. Dermed kan lyden indvendig og udvendig sammenlignes og foretages en komparativ lydtest for tre biogene materialer af gangen.

Det er det samme lydfil der er afspillet ved alle testene. Lydtesten er taget over 35 sekunder.



Lydtests

Lydisoleringsevne af biogene isoleringsmaterialer



Lydmåling

Lydabsorption - Evnen at absorbere lyd

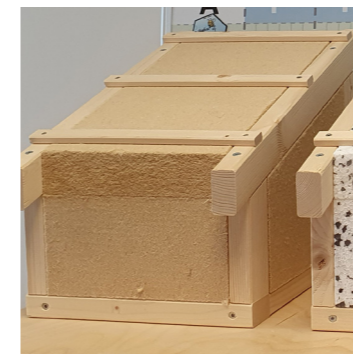
Sammenligning
Isoleret modelhus (lydbox) op
Isoleret modelhus (lydbox) ned

Det er det samme lydfil der er afspillet ved alle testene.
Lydtesten er taget over 35 sekunder.

Test

Måling

Træfiber



Lydmåling i lydbox
med Træfiber isolering

Min. 26,1 dB (lukket lydbox)
AVG 54,3 dB
Max. 87,8 dB (åben lydbox)



Kløvergræs

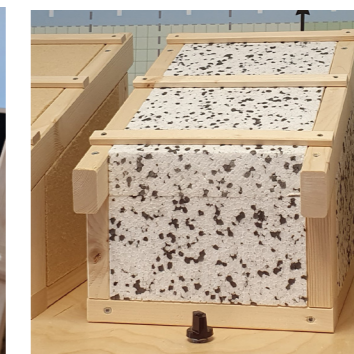


Lydmåling i lydbox
med Kløvergræs isolering
(prototype)

Min. 28,1 dB (lukket lydbox)
AVG 61,5 dB
Max. 87,8 dB (åben lydbox)



Polystyren (EPS)



Lydmåling i lydbox
med Polystyren (EPS)

Min. 32 dB (lukket lydbox)
AVG 65,9 dB
Max. 87,8 dB (åben lydbox)



Stenuld - reference



Lydmåling i lydbox
med stenuld isolering

Min. 30,9 dB (lukket lydbox)
AVG 66,6 dB
Max. 87,8 dB (åben lydbox)



Varmetests

Varmeakkumulering og -ledning i biogene isoleringsmaterialer

Varmetesten går ud på at måle forskellen mellem de valgte biogenes materialers egenskaber til at akkumulere varme og/eller isolere mod varme. Som reference og til sammenligning indgår i testen også et gængst mineralskt isoleringsmateriale med stenuld.

I forsøgsopstillingen er de udvalgte biogene isoleringsmaterialer lagt i bunden af en varmekasse, som måler indvendigt på 220 mm x 220 mm x 285 mm. Materialet er lagt i to lag med 22+36 mm tykkelse i bunden, hvor der imellem de to lag af isolering befinder sig et termometer, som måler isoleringens indvendige temperatur. En 'griselampe-pære' (varmelampe med infrarødt lys) er varmekilden med en afstand på 12 cm til isoleringsmaterialets overflade. Et anden termometer måler den indvendige temperatur i rummet. Der er installeret en automatisk afbryder hvis temperaturen overstiger 70 °C.

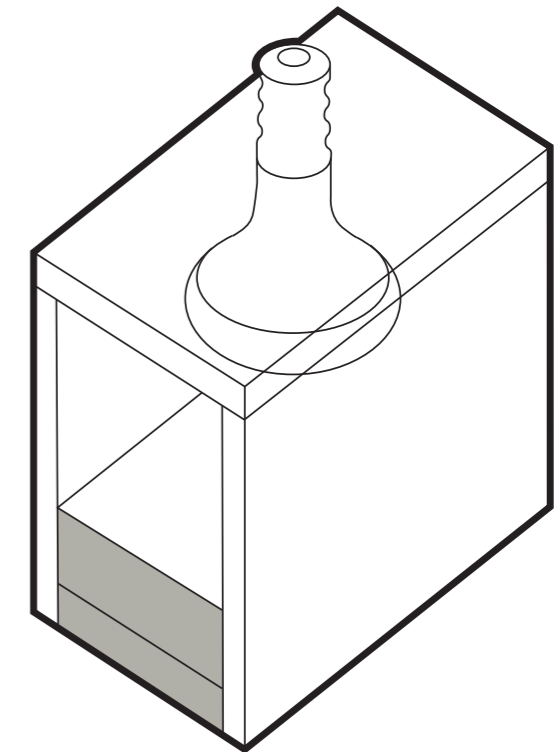
Ved forsøgene bliver varmekilden tændt i 10 minutter, og samtidig måles hastigheden af materialets opvarming og graden af temperaturstigning. Efter slukning af varmetilførelsen, bliver hastigheden og størrelse af afkøling registreret. Dette forsøg viser egenskaberne af et isoleringsmateriale f.eks. i et typisk letbyggeri, til at forsinke hurtig opvarming og temperaturstigning.

Varmekilde er en infrarød lyspære

Temperaturmåling 1 ind i varmekassen (lufttemperatur)

1 lag 36 mm
1 lag 22 mm
tyk isolering

Temperaturmåling 2 mellem begge i isoleringsmåtter indvendig (temperatur i materialet)

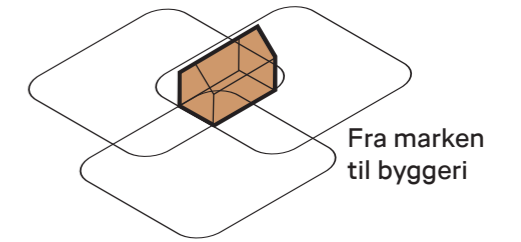


Princip varmekasse



Varmetests

Varmeakkumulering og -ledning i biogene isoleringsmaterialer



Varmekasse
Ejnen at akkumulere og lede varme (f.eks. ved indsats letbyggeri konstruktioner)
Testede materialer er fra venstre stenuld, brændenælde, kløvergræs, træfiber

Stenuld



Brændenælde



Kløvergræs



Træfiber

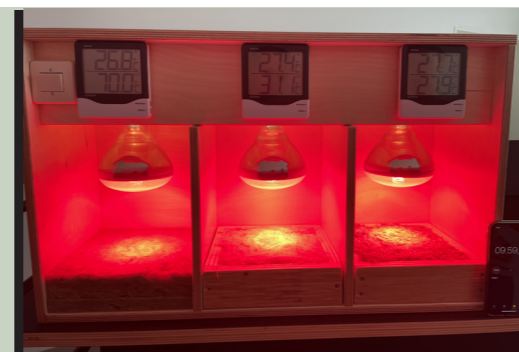


Opvarming

Måling af opvarmingen

Lampe tændt -
Hastigheden af opvarming og temperaturen i materialet

Lampe tændt
Temperaturen efter 10 minutter



Øverst: Lokal 'rum'temperatur
Nederst: Temperatur imellem isoleringslagene



Øverst: Lokal 'rum'temperatur
Nederst: Temperatur imellem isoleringslagene



Øverst: Lokal 'rum'temperatur
Nederst: Temperatur imellem isoleringslagene



Øverst: Lokal 'rum'temperatur
Nederst: Temperatur imellem isoleringslagene

Afkøling

Måling af afkølingen

Lampe slukket igen -
Hastigheden af afkøling og temperaturen i materialet

Lampe slukket
Temperaturen efter 10 minutter



Øverst: Lokal 'rum'temperatur
Nederst: Temperatur imellem isoleringslagene



Øverst: Lokal 'rum'temperatur
Nederst: Temperatur imellem isoleringslagene



Øverst: Lokal 'rum'temperatur
Nederst: Temperatur imellem isoleringslagene



Øverst: Lokal 'rum'temperatur
Nederst: Temperatur imellem isoleringslagene

Brandtests

Brandegenskaber af biogene isoleringsmaterialer

Brandtesten er en indikativ demonstration af modstandsdygtigheden af de valgte biogene isoleringsmaterialer overfor brand. Prøver af isoleringsmaterialer udsættes for en høj punktuell brandbelastning af en propan/butan gasbrænder. I testen indgår også gængse mineralske isoleringsmaterialer, som stenuld og glasuld som referencemateriale.

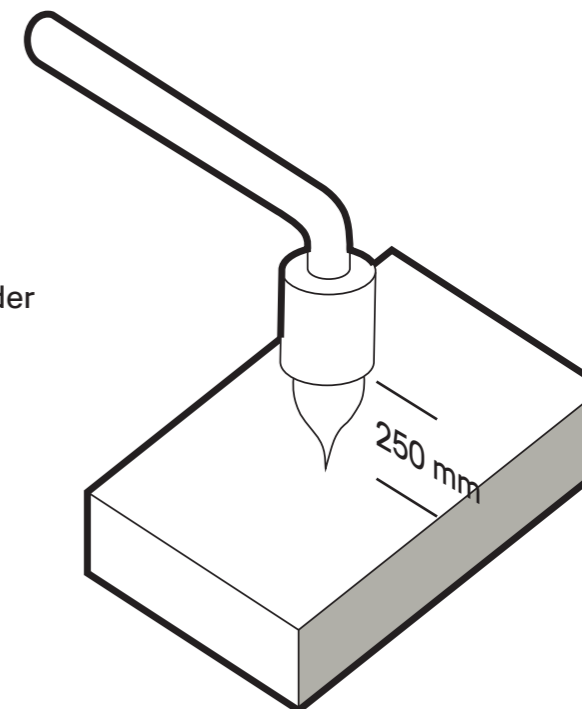
I forsøgsopstillingen er de udvalgte biogene isoleringsmaterialer installeret på en rist på ca. 800 mm højde på et underliggende papir. Størrelsen af materialeprøverne er 600 x 600 mm med en tykkelse af isoleringsmaterialet på 95 mm. Afbrænding med en propan/butan gasbrænder foregår i 250 mm afstand med ca. 1000 °C over maksimalt 10 minutter.

Ved forsøget bliver der taget tid for at måle gennembrændingstiden. Samtidig blev alle forsøg filmet undervejs for at dokumentere brandmodstandsevnen.

De biogene materialer er behandlet med en bionedbrydelig brandhæmmer, baseret på et udtræk af et gødningsstof som anvendes i landbruget. Brandhæmmeren fremstilles af APP (Ammonium polyphosphat). I modsætning til de andre brandhæmmer kan materialet efter levetid genbruges eller komposteres. Mængden som er brugt ved forsøgene svarer til ca. 10 procent af materialevegt og er tilsat manuelt.

Gasbrænder med propan/butan gas

Afstand fra brænder til overflade isolering er 250 mm

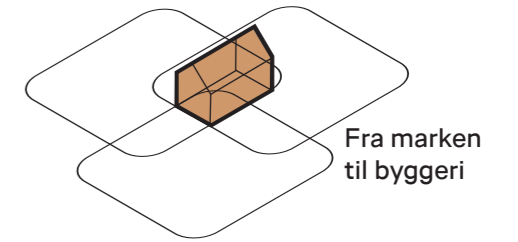


Papir på undersiden som viser når flammen er kommet igennem materialet

Princip brandtest

Brandtests

Brandegenskaber af biogene isoleringmaterialer



Brandtests II

Brandegenskaber af biogene pladematerialer

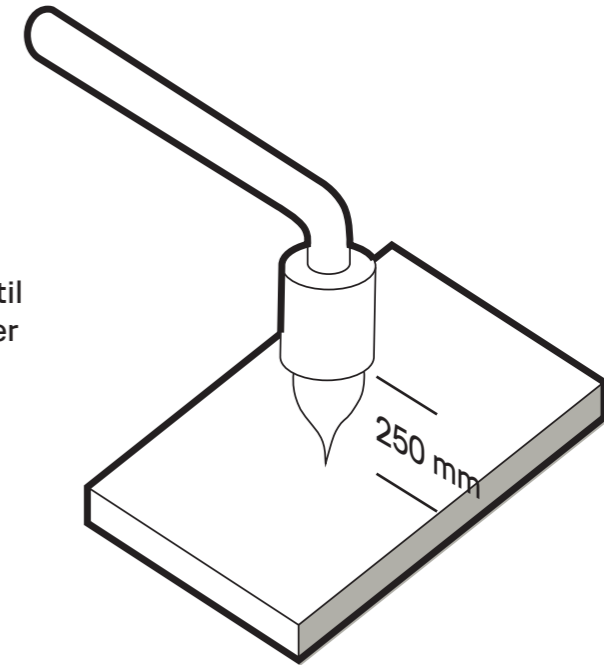
Brandtesten er en indikativ demonstration af modstandsdygtigheden af de valgte biogene isoleringsmaterialer overfor brand. Prøver af pladematerialer udsættes for en høj punktuell brandbelastning af en propan/butan gasbrænder. I testen indgår en gængs OSB plade som referencemateriale.

I forsøgsopstillingen er de udvalgte biogene pladematerialer installeret på en rist på ca. 800 mm højde på et underliggende papir. Størrelsen af materialeprøverne er 270 x 270 mm med en tykkelse af pladematerialet på 12 mm. Afbrænding med en propan/butan gasbrænder foregår i 250 mm afstand med ca. 1000 °C over maksimalt 10 minutter.

Ved forsøget bliver der taget tid for at måle gennembrændingstiden. Samtidig blev alle forsøg filmet undervejs for at dokumentere brandmodstandsevnen. Pladematerialerne er ikke tilsat brandhæmmer.

Gasbrænder med
propan/butan gas

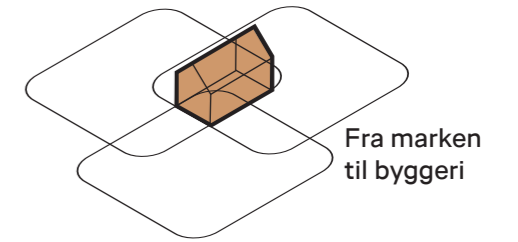
Afstand brænder til
overflade pladen er
250 mm



Princip brandtest

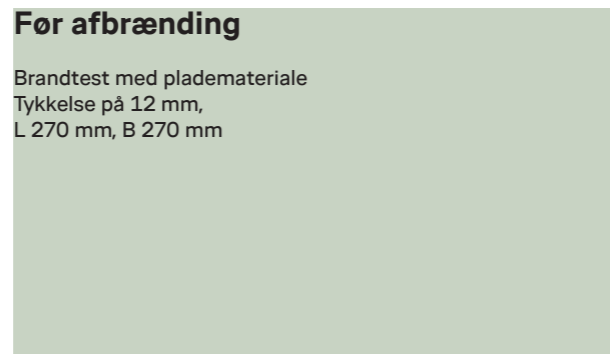
Brandtests II

Brandegenskaber af biogene pladematerialer



Før afbrænding

Brandtest med plademateriale
Tykkelse på 12 mm,
L 270 mm, B 270 mm



Kløvergræs plade



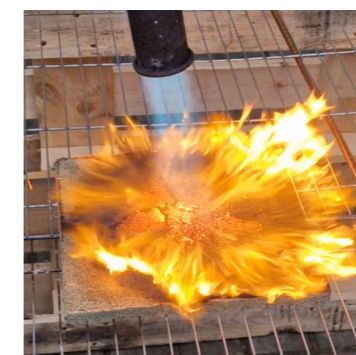
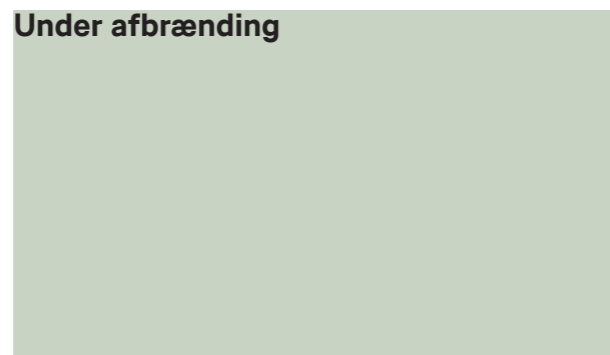
Raps plade



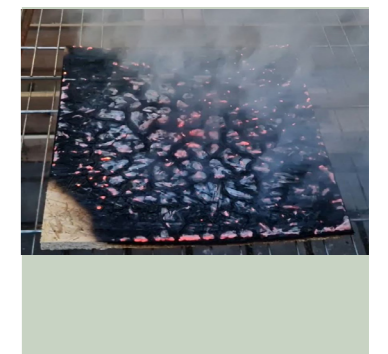
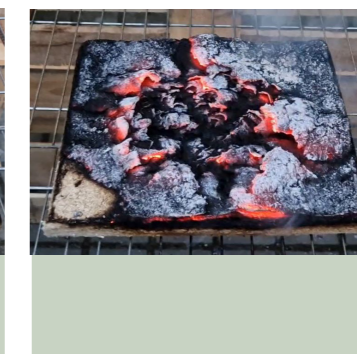
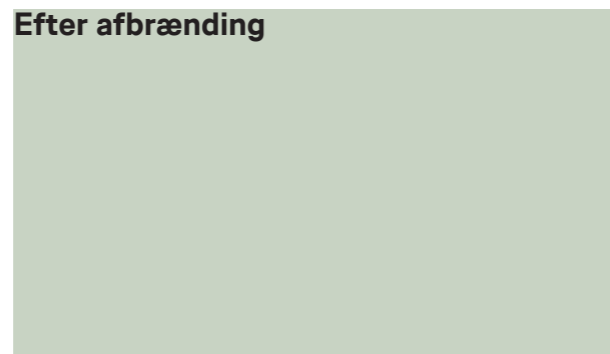
OSBplade - reference



Under afbrænding



Efter afbrænding

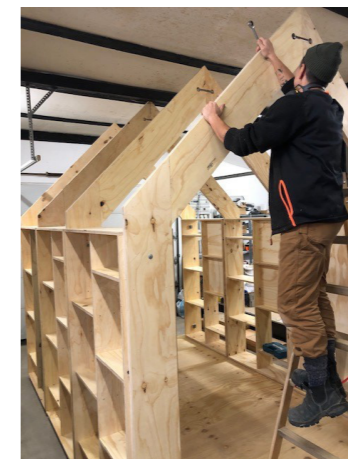
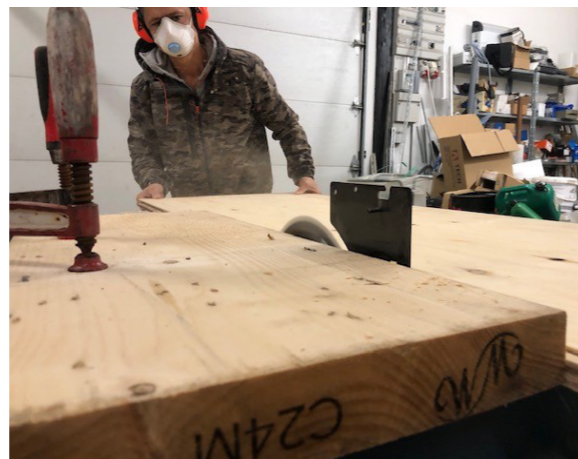
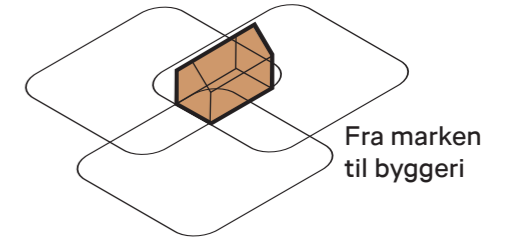


Udstillingspavillon

til formidling af resultater, håndprøver og fortællingen

Udstillingspavillon

til formidling af resultater, håndprøver og fortællingen

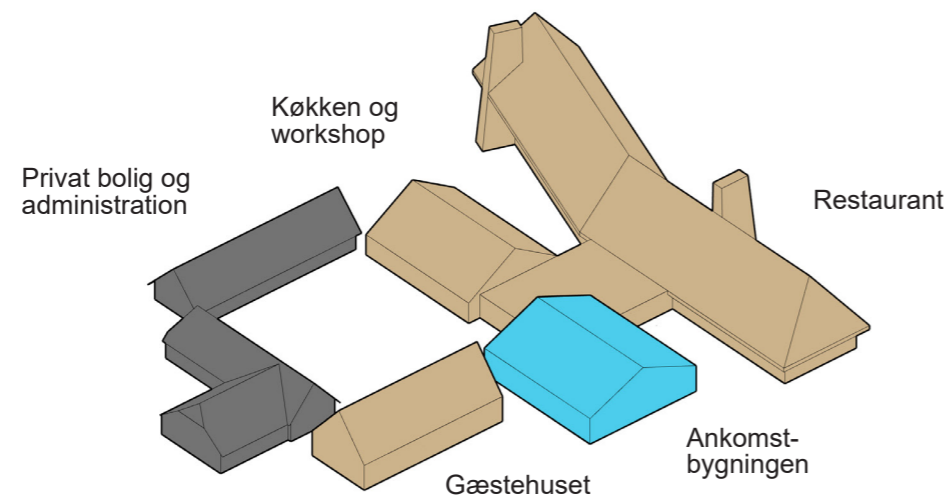


Dennis fra **TræVærk** i gang med at bygge og samle den modulære udstillingspavillon



Next step. Et nyt LivingLab med 'Moment'

På en firelænget gård ved Tvingstrup, som ligger mellem Aarhus og Horsens, kommer en helt ny restaurant for Moment.



For Moment er bæredygtighed grundlæggende for alt, hvad de gør.... Restauranten er grøntsagsbaseret, og ingredienserne er primært høstet i restaurantens egen mark og have. "Selvfølgelig", siger de. "Alt bør tages lige uden for hoveddøren". Moment støtter økologisk og biodynamisk dyrkning i meget høj grad, men de ønsker at gå meget længere. Så derfor er "fra marken til byggeri" også et naturligt next step for Moment.

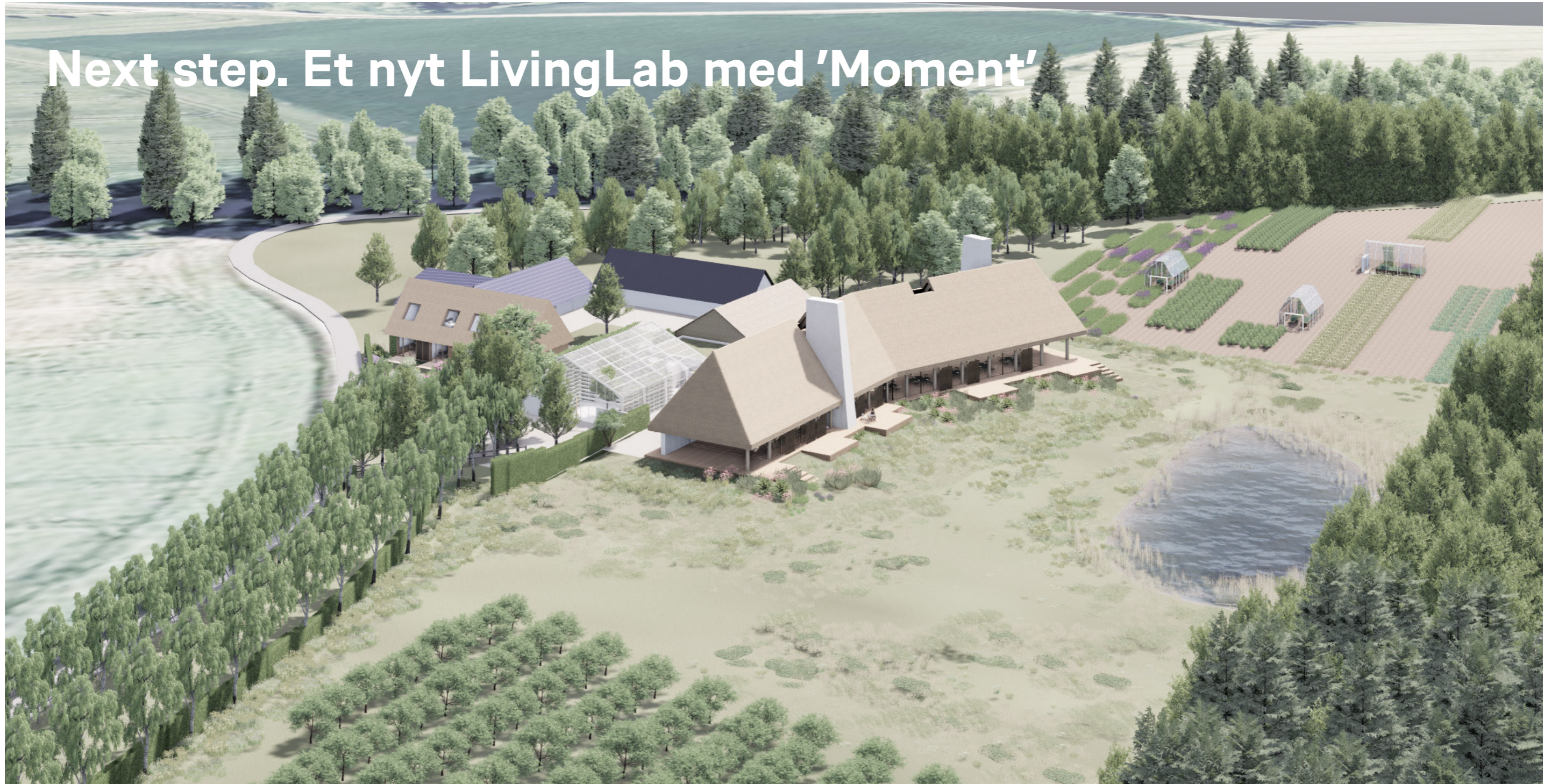
LivingLab skal bruges som et forsøgscenter for nye byggematerialer, som kan hentes lige ude på marken. Her afprøves markens afgrøder i

forsøgsbyggeri, hvor vægge, tag og gulv delvist kan udskiftes løbende alt efter de nye metoder, der udvikles til byggeriet.

I samarbejde med VIA University College, Campus Horsens, som indhenter og afprøver alle materialer, har Henning Larsen Architects udviklet konceptet til Moments nye LivingLab. De nye bygninger er tænkt opført efter gamle danske byggetraditioner for bindingsværks-huse. Den bærende konstruktion er opført i dansk egetræ, og egetræet er det gennemgående træmateriale, der bruges til gulve ude og inde, udskiftelige rammer, vinduer og døre. Stolper, bjælker og spær er tappet sammen og kan derfor let genbruges andre steder, hvis huset skal flyttes eller delvist skifte funktion.

Alle forsøg af materialer bliver indbygget i rammer. Rammens størrelse er tilpasset de naturlige størrelser, som vi kan forvente at skulle afprøve. Vi arbejder med rumhøje elementer på ca. 2,5m x 1,2m, som let kan flyttes og indsættes som moduler i bindingsværket dimensioner. Det giver en god rytme med ca. 3 rammer indenfor husenes eget gridnet. Rammestørrelsen er også tilpasset, så døre og vinduer let kan indsættes eller flyttes. Endvidere kan rammen også opdeles i mindre enheder, så også små elementer kan afprøves. Konceptet med udskiftelige elementer og dimensioner går igennem alle projektets bygninger og giver en ro og helhed, selvom bygningerne har vidt forskelligt udseende og anvendelse, f.eks. i et drivhus eller produktionsbygning.

Next step. Et nyt LivingLab med 'Moment'



Next step. Et nyt LivingLab med 'Moment'

LivingLab Moments forskellige bygninger:

Fra den nye anlagte allé kører gæsterne op mod ankomstbygningen med udsigt til frugthaven på venstre side og udsigt til områdes marker på højre side.

Drivhuset

En lille ankomstgård danner rammen for ankomstbygningen til restaurant Moment. Bygningen er en gammel lade, som er bygget om som et kæmpestort drivhus. Grunden hertil er, at bygningen har flere funktioner, hvor et af dem også er dyrkning af afgrøder indendørs.

Drivhuset skal være reception for restauranten, men også en hyggelig lobby for gæsterne, samt et eksperimentarium for forskellige dyrkningsmetoder og afgrøder, som bliver brugt i restauranten og som kommende byggematerialer til bygningerne. Gæsterne må gerne få en wow-oplevelse og en fornemmelse for det mad- og huskoncept, de nu træder ind i og bliver en del af i de næste timer.

Mellembygning

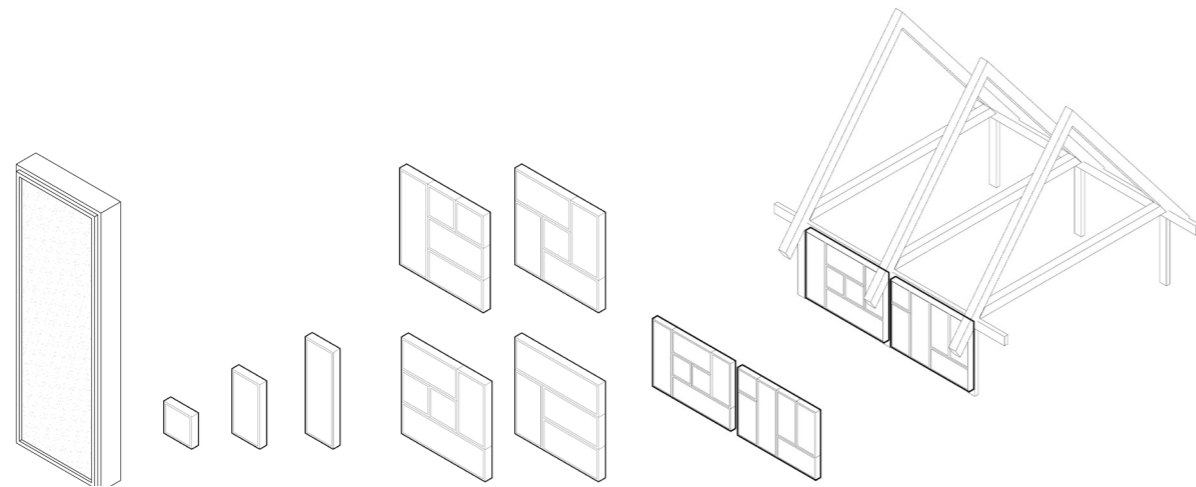
En simpel mellembygning af træ leder gæsten gennem et stille pauserum, ind til restauranten. Man kommer her forbi husets store køkken, og man får et kik ud til de mange køkkenhaver, der findes i området. Bygningen indeholder her også en let adgang til toiletter og garderobe. Mellembygningen er meget simpelt opbygget, og der etableres en særlig lyssætning gennem skodderne, så gæsterne får en ny wow oplevelse, når de kommer ind i restaurantrummet.

Restauranten

Restauranten ligger og krummer sig rundt om det landskab, hvorfra køkkenet høster sine råvarer og de forsøgsmaterialer, der bliver afprøvet i husene. Herfra er der udsigt til frugthaven, den store køkkenhave og drivhuse, der står som små lyspunkter, når det bliver mørkt. Direkte ud fra restauranten ligger også en lille sø, der opsamler regnvandet fra området, og som giver mulighed for et rigt dyreliv i området. Desuden kan vandet bruges i produktionen.

Den store restaurant er udformet som et langstrakt rum, der er let at opdele, og som giver de besøgende en god udsigt over markerne. Den store pejs, der ligger ved indgangen til restaurantrummet, opdeler rummet i to enheder, som eventuelt kan have forskellige funktioner. En mindre niveauforskel, en lidt anden udformning og et lidt andet materiale, hjælper også til at opfatte rummet som to enheder, samtidigt med, at det stadig er muligt at bruge rummet som en stor, sammenhængende enhed. Store døre til det fri giver mulighed for at åbne restauranten op ud til terrasserne til alle fire verdenshjørner i sommerperioden.

Next step. Et nyt LivingLab med 'Moment'



Figur: Plug-in facade moduler til test og udskiftning



Next step. Et nyt LivingLab med 'Moment'

Køkken og workshop

Køkken og workshop hænger sammen som én bygning, idet det er praktisk at have depotrum og kølerum tæt på begge enheder. Køkkenet ligger åbent ind til restauranten, så gæsterne kan se og følge med i tilberedelsen af maden – måske også i fremtiden med den mulighed at sidde i køkkenbaren.

Workshoppen er et rum, hvor der eksperimenteres med mad, og hvor der kan afholdes kurser i madlavning. Workshoppen og køkkenet har desuden en direkte udgang til køkkenhaverne, hvorfra de mindre produkter hurtigt kan hentes tæt på produktionen.

Gæstehuset

I tilknytning til restauranten opføres også nogle gæstehuse i den gamle lade. Her kan gæster bo i et bæredygtigt hus, hvor der afprøves nye byggematerialer, og de kan selv opleve atmosfæren, indeklimaet og de gode materialer og byggeprincipper på tæt hold. Alle gæsterum er forskellige i form og størrelser og kan være i flere plan med sin egen have med udvalgte afgrøder som inspiration til madlavning eller byggeri.

Bolig og administration

Det gamle stuehus bliver nænsomt istandsat og er tænkt anvendt som bolig og administrationsbygning for restauranten.



Next step. Et nyt Living Lab med 'Moment'

Forbindelse til naturen



Åbenhed og udblik

Bilag

Bibliografi - PIXlbogen

Appendix 1 - Uddybende forklaring omkring evalueringen

Bibliografi - Appendix 1

Appendix 2 - Oversigt over resultater af projektets
indikative tests af biogene isoleringsmaterialer

Appendix 3 - Oversigt over resultater af projektets
indikative tests af biogene isoleringsmaterialer

Konklusioner

Bibliografi

PIXIbogen

Bacci, L., Di Lonardo, S., Albanese, L., Mastromei, G., & Perito, B. (2011). Effect of different extraction methods on fiber quality of nettle (*Urtica dioica* L.). *Textile Research Journal*, 81(8), 827–837. <https://doi.org/10.1177/0040517510391698>

Carstens, A. M. (2021). Forslag til vandområdeplanerne 2021-2027.

Chen, J., Manevski, K., Lærke, P. E., & Jørgensen, U. (2022). Biomass yield, yield stability and soil carbon and nitrogen content under cropping systems destined for biorefineries. *Soil & Tillage Research*, 221, 105397. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105397>

ConTerra, Hehmdahl, H., Mikkelsen, N. (2020). *Circularity City Rapport: Biobaserede Byggematerialer, Muligheder og potentialer for produktion i Region Midtjylland*

Danmarks Statistik. (2022). *Statistikdokumentation for Høsten af korn, raps og baelgsaed 2022.*

Di Virgilio, N., Papazoglou, E. G., Jankauskiene, Z., Lonardo, S. Di, Praczyk, M., & Wielgusz, K. (2015). The potential of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) as a crop with multiple uses. *Industrial Crops and Products*, 68, 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.012>

Erhvervsministeriet. (2020). *Klimapartnerskaber. Anbefalinger til regeringen.* <https://em.dk/ministeriet/arbejdsomraader/erhvervs-og-samfundsoekonomi/klimapartnerskaber>

Gylling, M., Nord-Larsen, T., Bruhn, A., Thomsen, M., Ambye-Jensen, M., Mortensen, E.Ø., & Jørgensen, U. (2023). *Potential Danish biomass production and utilization in 2030. DCA Report 219, Aarhus University*

Höglmeier, K., Weber-Blaschke, G., & Richter, K. (2017). Potentials for cascading of recovered wood from building deconstruction - A case study for south-east Germany. Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.030>

Jørgensen, U., Kristensen, T., Ravn Jørgensen, J., Kongsted, A. G., De No-Taris, C., Nielsen, C., Mortensen, E. Ø., Ambye-Jensen, M., Krogh Jensen, S., Stødkilde-Jørgensen, L., Dalsgaard, T. K., Møller, A. H., Aage, C., Sørensen, G., Asp, T., Lehmann Olsen, F., & Gylling, M. (2021). *Green biorefining of grassland biomass Advisory report from DCA-Danish Centre for Food and Agriculture. DCA - Nationalt Center for Fødevarer Og Jordbrug.* <https://dca.au.dk/raadgivning/>

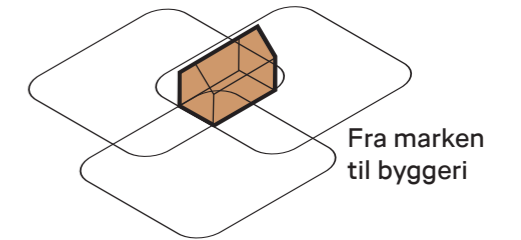
Juul, L, Møller, AH & Dalsgaard, TK (2023). *Analyse af 'grønne' proteiner til fødevarer. 93 sider. Rådgivningsrapport fra DCA - National Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 24.04.2023*

Kristensen, I. S., Jørgensen, J. R., & Jørgensen, U. (2013). *Udbytter af korn, halm, roer, majs og varigt græs, samt analyse af efterladt planterest ved høst af korn.*

Lange, L., & Lindedam, J. (2016). *The Fundamentals Of Bioeconomy The Biobased Society. United Federation of Danish Workers 3F.*

Larsen, S. U., Jørgensen, U., Kjeldsen, J. B., & Lærke, P. E. (2014). Long-Term Miscanthus Yields Influenced by Location, Genotype, Row Distance, Fertilization and Harvest Season. *Bioenergy Research*, 7(2), 620–635. <https://doi.org/10.1007/s12155-013-9389-1>

Manevski, K., Lærke, P. E., Olesen, J. E., & Jørgensen, U. (2018). Nitrogen balances of innovative cropping systems for feedstock production to future biorefineries. *Science of the Total Environment*, 633, 372–390. <https://doi.org/10.1016/j.scito->



tenv.2018.03.155

Miljø- og fødevarerudvalget 2017-18. (2017). Sådan ligger landet - tal om landbruget 2017.

Miljøministeriet. Miljøstyrelsen. (2023). Bekæmpelsesmiddelstatistik 2021 : behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug.

Neumann Andersen, M., Adamsen, A. P., Hansen, E. M., Thomsen, I. K., Hutchings, N. J., Elsgaard, L., Jørgensen, U., Munkholm, L., Duus Børgesen, C., Sørensen, P., Petersen, S. O., Laerke, P. E., Olesen, J. E., Børsting, C. F., Lund, P., Kjeldsen, M. H., Maigaard, M., Villumsen, M., Dalby, F. R., ... Kristensen, H. L. (2023). Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. <https://dca.au.dk/raadgivning/>

Nielsen, U. B., Madsen, P., Hansen, J. K., Nord-Larsen, T., & Nielsen, A. T. (2014). Production potential of 36 poplar clones grown at medium length rotation in Denmark. *Biomass and Bioenergy*, 64, 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.030>

Pedersen, J.B. (2009). Oversigt over landsforsøgene 2009. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, Skejby.

Richardson, K. et al., (2023) Earth beyond six of nine planetary boundaries, <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adh2458>

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., De Wit, C. A., Hughes, T., Van Der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature* 2009 461:7263, 461(7263), 472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>

Sørensen P., Nielsen E. & Olesen J. E. (2014). Udbytter i det økologiske planteavlssædskifte. *ICROFS nyt* 1/2014, 8-10

Vroom, R. J. E., Xie, F., Geurts, J. J. M., Chojnowska, A., Smolders, A. J. P., Lamers, L. P. M., & Fritz, C. (2018). *Typha latifolia* paludiculture effectively improves water quality and reduces greenhouse gas emissions in rewetted peatlands. *Ecological Engineering*, 124, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.09.008>

Appendix

Uddybende forklaring omkring evalueringen ^{*A}

Korn



Raps



Bælgfrugt



Hamp



Sukkerroe



Klimaforandringer

> CO₂ optag

(0)

Ca. 10 tons halm+ kerne/ha
(3,6 tons halm/ha)
(1,35 tons ikke-bjærget halm/ha)
*6 C

(-)

Ca. 7,3 tons halm+ kerne/ha
(3,5 tons halm/ha)
(2,8 tons ikke-bjærget halm/ha)
*6 C

(-)

Ca. 5,6 tons halm+ kerne/ha
(1,9 tons halm/ha)
(1,65 tons ikke-bjærget halm/ha)
*6 C

(0)

Ca. som kornafgrøder

*7

(++)

Meget høj biomasseproduktion
(20,2 tons rod/ha + 5 tons top/ha)

*4,5

Biodiversitet

> Biodiversitetsændring.

(0)

Referencepunktet

(0)

(+)

Blomstrende

(+)

(0)

*D

Udslip af næringsstoffer

> Mindsket nitratudvaskning

(0)

Indeks 0,00
Gennemsnitsestimat af hovedafgrøden
*12

(0)

Indeks -2,87
Gennemsnitsestimat af hovedafgrøden
*12

(0)

Indeks -2,87
Gennemsnitsestimat af hovedafgrøden
*12

(+)

(++)

Indeks -0,64
Gennemsnitsestimat af hovedafgrøden
*12 G

Arealanvendelse

Arealbehov

(0)

Ca. 1,3 tons ikke bjærget halm/hektar

(0)

Ved at udnytte halmen, som er en sidestrøm, skal yderligere areal ikke sættes til side.
(2,8 tons/ha ikke-bjærget)

(0)

Der er et stort sidestrømpotentiale ved bælgfrugtsprod., da det er bedre fødevarer end f.eks. Kløverprotein. De er dog væsentligt mindre produktive, og optager dermed mere areal.
(1,6 tons/ha ikke-bjærget)

(-)

Kulstof til energi og byggeri fra hamp kan være et sidestrømsprodukt. Hvis produceret specifikt til fibre i byggeriet får den dårligere rating.

(0)

Stort uudnyttet sidestrømpotentiale for at bruge roetoppen

Forurening

> Pesticidforbrug

(0)

Ca. 3 BI/ha

*14 I

(-)

4,40 BI/ha

*14

(0)

2,12 BI/ha

*14

(++)

Lavt behov for pesticider

*15

(0)

3,49 BI/ha

*14

Ferskvandsforbrug

> Ferskvandsforbrug

(0)

Har kort vækstsæson, men er høj og transpirerer meget

*J16

(-)

Har relativt kort rodnet, og skal vandes en del i tørre perioder

(0)

Har kort vækstsæson, men er høj og transpirerer meget

(-)

Har kort vækstsæson, men er høj og transpirerer meget

(0)

Neutral

Neutral

Neutral

Neutral

Neutral

Neutral

Neutral

Neutral

Neutral

Neutral

Neutral

Neutral

Neutral

Neutral

Neutral



Bibliografi

Appendix 1 matrix

Fodnoter:

A_ Alle afgrødeeffekter er sat relativt til korn-sorternes afgrødeeffekter. Dette, fordi det er den mest almindelige afgrødetype i Danmark, og er dermed referencepunktet for Dansk landbrugs effekt på de planetære grænser.

B_ Mangel på data - Antaget samme effekt på de planetære grænser, som tagrør.

C_ Gennemsnit fra 2006-2022

D_ En øget diversificering af det danske landbrug, samt næringsudtømmning, er de vigtigste afgrødekaraktistika, som landbruget kan bidrage med til en øget biodiversitet.

E_ Selve materialet er det opskyllede tang, der ikke har nogen effekt på biodiversiteten, men det er selvfølgelig en anden historie med levende ålegræs i havet. Dette forsøges holdet adskilt

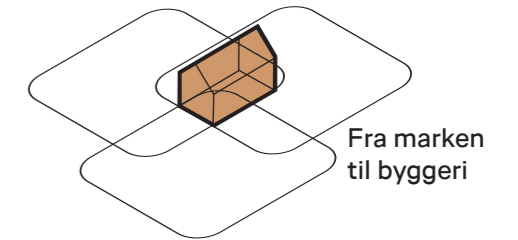
F_ Det lave udslip forudsætter at man sikrer sig mod den potentielle udvaskning der er ved omlægningen af græsset efter nogle år.

G_ Rigtig lav nitratudvaskning hvis toppen opsamles, hvilket er den relevante del for bioraffineringen og dermed byggeriet.

H_ Antaget lavt pesticidforbrug ved den høje konkurrenceevne og flerårige egenskaber.

I_ Gennemsnit af vår- og vinterkorn

J_ Ikke så relevant i dansk kontekst med et stigende grundvand pga. klimaforandringerne.



Kilder:

1_Mortensen, E. Ø. & Jørgensen, U. *Danish agricultural biomass production and utilization in 2030 Advisory memorandum from DCA-Danish Centre for Food and Agriculture*. <https://dca.au.dk/raadgivning/> (2022).

2_Bacci, L., Baronti, S., Predieri, S. & di Virgilio, N. Fiber yield and quality of fiber nettle (*Urtica dioica* L.) cultivated in Italy. *Ind Crops Prod* 29, 480–484 (2009).

3_Larsen, S. U., Jørgensen, U., Kjeldsen, J. B. & Lærke, P. E. Long-Term Miscanthus Yields Influenced by Location, Genotype, Row Distance, Fertilization and Harvest Season. *Bioenergy Res* 7, 620–635 (2014).

4_Kristensen, I. S. J., Johannes Ravn Jørgensen & Uffe Jørgensen. *Udbytter af korn, halm, roer, majs og varigt græs, samt analyse af efterladt planterest ved høst af korn*. (2012).

5_Juul, L, Møller, AH & Dalsgaard, TK (2023). Analyse af 'grønne' proteiner til fødevarer. 93 sider. Rådgivningsrapport fra DCA - National Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 24.04.2023

6_Danmarks Statistik. *Statistikdokumentation for Høsten af korn, raps og bælgsæd 2023 Formidlingsrapport*. (2023).

7_Ministeriet for Fødevarer, L. og F. *Oversigt over landsforsøgene*. (2009).

8_Jørgensen, J. R., Boelt, B. & Kristensen, E. F. *Notat om danske afgrøder der kan*

være relevante i forhold til produktion af biopolymerer. <http://dca.au.dk> (2019).

9_Larsen, S. U., Jørgensen, U., Kjeldsen, J. B. & Lærke, P. E. Long-term yield effects of establishment method and weed control in willow for short rotation coppice (SRC). *Biomass Bioenergy* 71, 266–274 (2014).

10_Nielsen, U. B., Madsen, P., Hansen, J. K., Nord-Larsen, T. & Nielsen, A. T. Production potential of 36 poplar clones grown at medium length rotation in Denmark. *Biomass Bioenergy* 64, 99–109 (2014).

11_Bondgaard, F., Olsen, D., Toft, L. V. & Østergaard, N. *Dyrkning af paludikulturer - Effekt på klima, miljø og natur*. (2021).

12_Børgesen, C. D. et al. NLES5 – An empirical model for estimating nitrate leaching from the rootzone of agricultural land. *Elsevier* (2022).

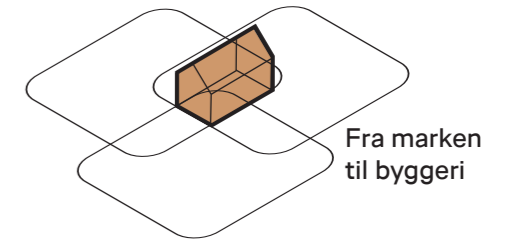
13_Mortensen, J., Nielsen, K. H. & Jørgensen, U. Nitrate leaching during establishment of Willow (*Salix viminalis*) on two soil types and at two fertilization levels. *Biomass and Bioenergy* (1998).

14_Miljøministeriet. Miljøstyrelsen. *Bekæmpelsesmiddelstatistik 2021: behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug* (2023).

15_van der Werf, H. M. G. & Turunen, L. The environmental impacts of the production of hemp and flax textile yarn. *Ind Crops Prod* 27, 1–10 (2008)

Appendix 2

Oversigt over resultater af projektets indikative tests af biogene isoleringsmaterialer



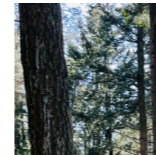
Appendix 2

Oversigt over resultater af projektets indikative tests af biogene isoleringsmaterialer

Træfibre



Densitet
42 kg/m³



Brændenælde



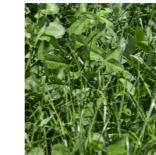
Densitet
33 kg/m³



Kløvergræs



Densitet
22 kg/m³



Glasuld



Densitet
34 kg/m³

mineralsk
isolering

(ikke regene-
rativ)

Mineraluld



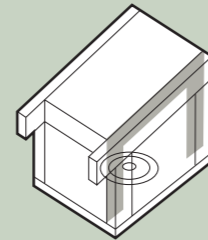
Densitet
30 kg/m³

mineralsk
isolering

(ikke regene-
rativ)

Lydbox

Lydabsorption - Evnen at absorbere lyd



Sammenligning
Isoleret modelhus (lydbox) op
Isoleret modelhus (lydbox) ned

(++)

Betydelig lydabsorbering
Min. 26,1 dB (lukket lydbox)
AVG 54,3 dB
Max. 87,8 dB (åben lydbox)

Væsentlig forskel i lydabsorbering

(/)

Fibrene kun i løs form.
Ingen test gennemført

-

(+)

Bedre lydabsorbering
Min. 28,1 dB (lukket lydbox)
AVG 61,5 dB
Max. 87,8 dB (åben lydbox)

Græsmåtte med 3 lag af ca. 12
mm, i alt 36 mm. Opmærksom-
hedspunkt er at lagene ikke er
limet sammen og de er heller ikke
skåret i smig i lydboksen.

(/)

Ingen test gennemført

-

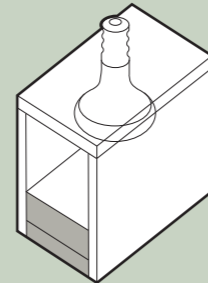
(0)

Baseline for evnen at lydabsorbere
Min. 30,9 dB (lukket lydbox)
AVG 66,6 dB
Max. 87,8 dB (åben lydbox)

Forskil lyd åben/lukket lydboks
minimalt

Varmekasse

Evnen at akkumulere og lede varme
(f.eks. ved indsats letbyggeri konstruktioner)



Måling
Lampe tændt - hastigheden af opvarming
og temperaturen i materialet
Lampe slukket igen - hastigheden af afkøling
og temperaturen i materialet

(++)

Lang opvarmings-
tid
Lang nedkølingstid

Lang opvarmings-
tid
Lang nedkølingstid

(+)

Middel opvarmings-
tid
Middel nedkølingstid

Middel opvarmings-
tid
Middel nedkølingstid

(+)

Middel opvarmings-
tid
Middel nedkølingstid

Middel opvarmings-
tid
Middel nedkølingstid

(/)

Ingen test gennemført

-

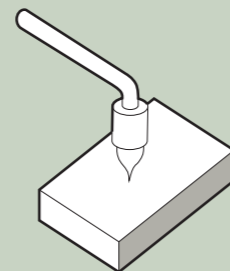
(0)

Baseline
Meget hurtig opvarming,
meget hurtig afkøling

Temperaturen fortsætter et stykke
tid med at stige efter varmelampe
er slukket.

Brand

Brandmodstandsdygtighed



Måling
Tid til gennembrænding og visuelt forkulning

(++)

Ingen gennembrænding
efter 10 minutter

Øverst ca. 1/4 del forkullet
Ingen gennembrænding

(+)

1 minut og 6 sekunder
til gennembrænding af
løs isolering

Ca. 1/3 del forkullet
Forsøg stoppet pga.
gennembrænding

(+)

1 minut og 35 sekunder
til gennembrænding af
løs isolering

Ca. 1/3 del forkullet
Forsøg stoppet pga.
gennembrænding

(/)

42 sekunder
til gennembrænding af
isoleringsmåtte

Forsøg stoppet pga.
gennembrænding

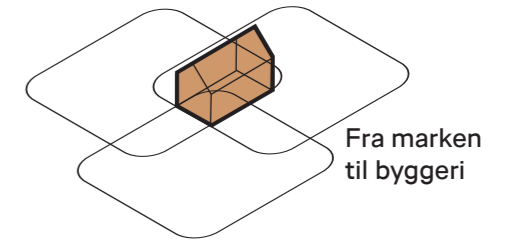
(0)

Baseline. 24 sekunder
til gennembrænding af
isoleringsmåtte

Forsøg stoppet pga.
gennembrænding

Appendix 3

Oversigt over resultater af projektets indikative tests af biogene isoleringsmaterialer



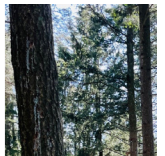
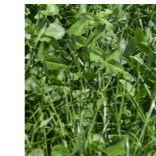
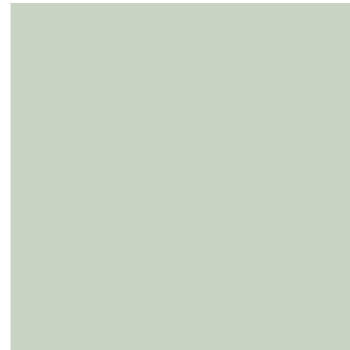
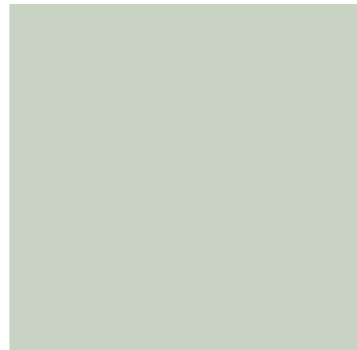
Appendix 3

Oversigt over resultater af projektets indikative tests af biogene pladematerialer

Kløvergræs

Raps

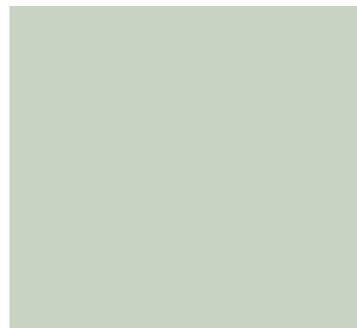
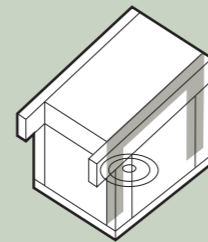
OSB plade



Lydbox

Lydabsorption - Evnen at absorbere lyd

Sammenligning
Isoleret modelhus (lydbox) op
Isoleret modelhus (lydbox) ned



(/)
Ingen test gennemført

(/)
Ingen test gennemført

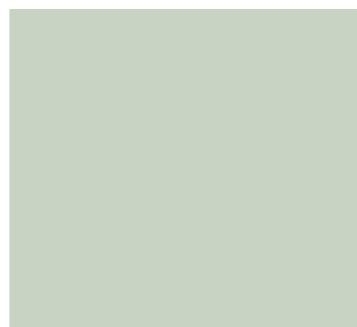
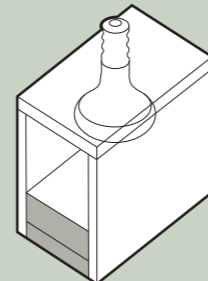
(0)
Ingen test gennemført



Varmekasse

Evnen at akkumulere og lede varme
(f.eks. ved indsats letbyggeri konstruktioner)

Måling
Lampe tændt - hastigheden af opvarming
og temperaturen i materialet
Lampe slukket igen - hastigheden af afkøling
og temperaturen i materialet



(/)
Ingen test gennemført

(/)
Ingen test gennemført

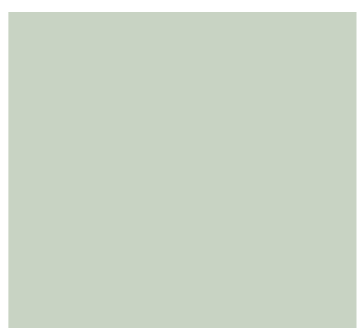
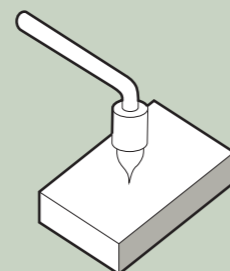
(0)
Ingen test gennemført



Brand

Brandmodstandsdygtighed

Måling
Tid til gennembrænding og visuelt forkøling



(+)
5 minutter og 41 sekunder
til gennembrænding af
12 mm tyk plademateriale

(0)
4 minutter og 48 sekunder
til gennembrænding af
12 mm tyk plademateriale

(0)
Baseline. 4 minutter og 28 sekunder
til gennembrænding af
12 mm tyk plademateriale

Densitet 1000 kg/m³
Forsøg stoppet pga.
gennembrænding

Densitet 842 kg/m³
Forsøg stoppet pga.
gennembrænding

Densitet ca. 570 kg/m³
Forsøg stoppet pga.
gennembrænding

Konklusioner

Projektet konkluderer, at det tværfaglige samarbejde mellem landbrug, fødevarer og byggeri har et betydeligt potentiale til at skabe bæredygtige omlægninger af alle tre brancher. Vi kan undgå potentielle konflikter om dyrkningsareal og skabe maksimal værdi af afgrødernes sidestrømme.

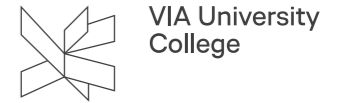
Det har vist sig muligt at omsætte planetære grænser til et analytisk værktøj til evaluering af afgrøder. I projektet har vi evalueret en række afgrøder – primært med det formål at demonstrere metoden, idet vi ikke mener, at formålet bør være at finde én afgrøde, der skal udgøre fremtidens byggemateriale.

Ved at anvende sidestrømme fra landbruget, defineret af fødevareresektoren, som udgangspunkt for byggematerialer, er det muligt at transformere byggesektoren fra at udlede drivhusgasser til at oplagre dem.

Ud fra indikative tests i sammenligning med konventionelle referencematerialer har de udvalgte biogene materialer vist en tilsvarende eller bedre performance i forhold til brand, lyd og varmeakkumulering. Vi ser et stort potentiale i fortsat at teste potentielt kommercielle byggematerialer.

Et tæt samarbejde mellem landbrug, fødevarer og byggeri er nødvendigt, hvis vi vil realisere ambitiøse klimamålsætninger og en holistisk kredsløbstankegang med de planetære grænser for øje. Biogene, CO₂-lagrende byggematerialer er afgørende for at komme i mål.

Fremstillingen af disse kræver flere grundige tests, så projektgruppen vil følge op på en opskalering af projektet samt etablering af et LivingLab, hvor vi løbende kan afprøve og udskifte materialer i et simuleret naturligt miljø.



Projektet er støttet af Rambøllfonden og Realdania

RAMBØLL
FONDEN

Realdania

Credit: Colourbox