

Notat

# Analyse af biobaserede materialer

*Lisbeth M. Ottosen, Ida G.M. Bertelsen (DTU Byg), Torben Lenau, Birgit Bonefeld, Vibeke Riisberg (DTU MEK), Alessio Boldrin, Thomas Astrup (DTU Miljø), Anne Meyer (DTU Bioengineering)*

## Indhold

1. Introduktion	1
1.1 Definitioner	1
2. Bioplast	2
2.1 Markedspotentialer	2
2.2 Danske styrkepositioner	7
2.3 Miljø- og klimaudfordringer og -potentialer	9
2.3.1. Miljøudfordringer	11
2.3.2. Sortering og genanvendelse	
3. Biobaserede byggematerialer	12
3.1 Markedspotentialer	13
3.1.1. Biobaseret materiale samlet med ikke-biobaseret bindemiddel	14
3.1.2 Mineralske aggregater med (delvist) biobaseret bindemiddel	16
3.1.3. Rene biobaserede materialer	17
3.1.4 Byggetekniske udfordringer og muligheder	17
3.2 Danske styrkepositioner	20
3.3 Miljø- og klimaudfordringer og -potentialer	
4. Tekstiler	21
4.1 Markedspotentialer	23
4.2 Danske styrkepositioner	24
4.3 Miljø- og klimaudfordringer og -potentialer	26
5. Råvaregrundlag	27
6. Kaskadeudnyttelse	31
7. Samlet diskussion og konklusion	32
7.1 Markedspotentialer	32
7.2 Danske styrkepositioner	34
7.3 Miljø- og klimaudfordringer og -potentialer	34
7.4 Råvaregrundlag og kaskadeudnyttelse	35
7.5 Kort sammenfatning	35
8. Referencer	36

## 1. Introduktion

Dette notat formidler en analyse, som belyser en række aspekter omkring nye værdikæder indenfor bioplast, tekstiler og byggematerialer. Analysen skal anvendes af Det Nationale Bioøkonomipanel og skal give et fælles vidensgrundlag, der kan indgå i panelets prioritering af indsatsområder indenfor biobaserede materialer og som afsæt for yderligere og mere dybdegående analyser.

Det Nationale Bioøkonomipanel besluttede i juli 2018 at igangsætte denne analyse med temaet: ”Nye værdikæder indenfor biobaserede materialer med fokus på højværdiprodukter, deres råvaregrundlag (herunder rest- og sidestrømme) samt videre kaskadeudnyttelse af biomassen.” I første omgang ønsker panelet at der udarbejdes analyse af højværdi-potentialer indenfor bioplast, byggematerialer og tekstiler. Analysen for disse nye værdikæder, har fokus på markedspotentialer, danske styrkepositioner, miljø- og klimaudfordringer og -potentialer ved disse biobaserede materialer, råvaregrundlag (herunder ift. rest- og sidestrømme, men også råvarer fra skov og hav) samt kaskadeudnyttelse af råvaregrundlaget til de biobaserede materialer.

Analysen er udført på Danmarks Tekniske Universitet i et samarbejde mellem forskere fra forskellige institutter. Analysen tager udgangspunkt i litteraturstudier og interviews med danske interessenter.

### 1.1 Definitioner

Definitioner på de tre materialer bioplast, biobaserede byggematerialer og bio-tekstiler er:

#### **Bioplast**

Bioplast er en samlet betegnelse for biobaseret plast, biosyntetisk plast og biokompositter.

*Biobaseret:* alle former for plast produceret fra biomasse, hvor biomasse kan stamme fra specifikke afgrøder (fx majs) eller fra organiske restprodukter og bioaffald.

*Biosyntetisk:* det dækker over all typer plast, der produceres gennem biokemiske synteseprocesser.

*Biokompositter:* Materialer, som består af en kombination af biologisk materiale og konventionelt ikke-biologisk materiale. Det kan f.eks. være materialer hvor cellulosefibre kombineres med epoxy eller forskellige typer plast.

#### **Biobaserede byggematerialer**

Indenfor biobaserede byggematerialer, skelnes der mellem rene biobaserede materialer og biokompositmaterialer, som består af flere komponenter hvoraf en eller flere er biobaserede.

Biokompositmateriale inddeling:

*Biokomposit 100%:* Både fibre/aggregater samt bindemiddel er biobaseret

*Biobaserede fibre/aggregater:* Bindemiddel såsom lim, cement, bitumen er ikke-biobaseret

*Biobaseret bindemiddel:* Fibre/aggregater er ikke biobaserede

### **Biobaserede tekstiler**

Biobaserede tekstiler består af enten naturfibre (fx. uld eller bomuld) eller af man-made naturfibre, der fremstilles af kemisk raffinerede naturmaterialer (fx. cellulosebaseret viskose)

## **2. Bioplast**

I dette notat dækker betegnelsen bioplast over biobaserede og biosyntetiske plasttyper samt biokompositter og råmaterialet i produktionen er således ikke fossilt, som i de gængse plasttyper i dag, men i stedet biomasse. I andre sammenhænge kan man finde, at også bionedbrydelige plasttyper, som er produceret fra fossile kilder, benævnes som bioplast. Sådanne bionedbrydelige plasttyper er ikke medtaget i definitionen i dette notat, fordi notatet omhandler materialer, som er produceret med baggrund i biologisk materiale.

### *2.1 Markedspotentialer*

Mængderne af plastik, der bliver produceret årligt, er støt stigende og er blevet fordoblet indenfor få årtier (DAKOFA, 2018). I 2017 blev der produceret ~350 Mt plastik på verdensplan, hvoraf kun omkring 4,5 Mt falder under definitionen ”bioplast” (dvs. ca. 1%) (Nova-Institute GmbH (2018). Markedet for bioplast stiger markant, specielt i forbindelse med produktion af emballage (dvs. produkter, som anvendes til indpakning og opbevaring), hvor bionedbrydeligt plast betragtes som en mulig løsning til plastforurening i naturen (Force Technology, u.å.).

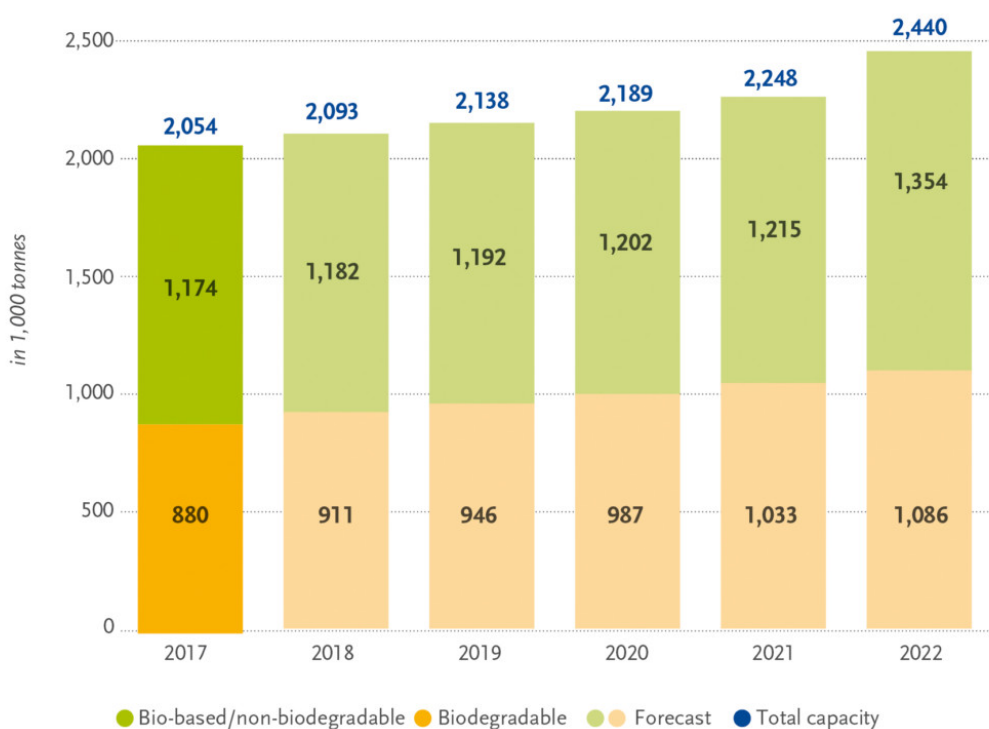
Plast, som er baseret på biomasse, er i dag generelt dyrere at fremstille end oliebaseret plast. De største bidrag til omkostningerne kommer fra biomasseforsyning, biomasseomdannelse og raffinering samt logistik (van den Oever et al., 2017). Biobaseret plast er typisk 10-100% dyrere end traditionel plast, se Tabel 1, og med store variationer afhængigt af polymertypen. Olieprisen har også stor indflydelse på prisforskellen. Det betyder at bioplast, på et marked i fuldstændig konkurrence, kun vil blive anvendt dedikeret i specifikke produkter, der kan sælges til en højere pris pga. fx grønnere profil. En øget produktion af bioplast vil muligvis sænke produktionsprisen i forbindelse med stordriftsfordele.

Produktionskapaciteten af bio-baserede polymerer vokser med omkring 3 til 4% om året (Figur 1), dvs. med omtrent samme hastighed som petrokemiske polymerer. Produktionen af visse bio-baserede polymerer vokser hurtigere end andre bioplasttyper, fordi de ikke har nogen direkte konkurrent i den petrokemiske produktion, idet de tilbyder nye egenskaber og funktionaliteter (Figur 2). For eksempel forventes det, at produktionen af PLA (Polyactic acid) og PHA (Polyhydroxyalkanoat), som begge er biobaserede, fordobles fra 2011 til 2020 (Nova-Institut GmbH, 2017). PLA anvendes i stigende grad til produktion af poser, mens anvendelsen af PHA i emballage ligeledes stiger.

Tabel 1: Prisniveau for biobaseret og/eller bionedbrydelig plast i 2016 for Holland. Kilde: van den Oever et al. (2017). CA, PBAT, PHA, PLA, Starch Blends er dedikerede bio-baseret plast der kun produceres fra biomasse.

Plast	Prisniveau 2016 (€t)	
	Traditionel plast	Bioplast
CA		5000
PA		+ 10–20%
PE	1200-1500	+ 20–40%
PET	850-1050	No info
PP	1000-1200	+ 40–100%
PBAT		3500
PBS		4000
PHA		5000
PLA		2000
PTT		4000
Starch blends		2000–4000

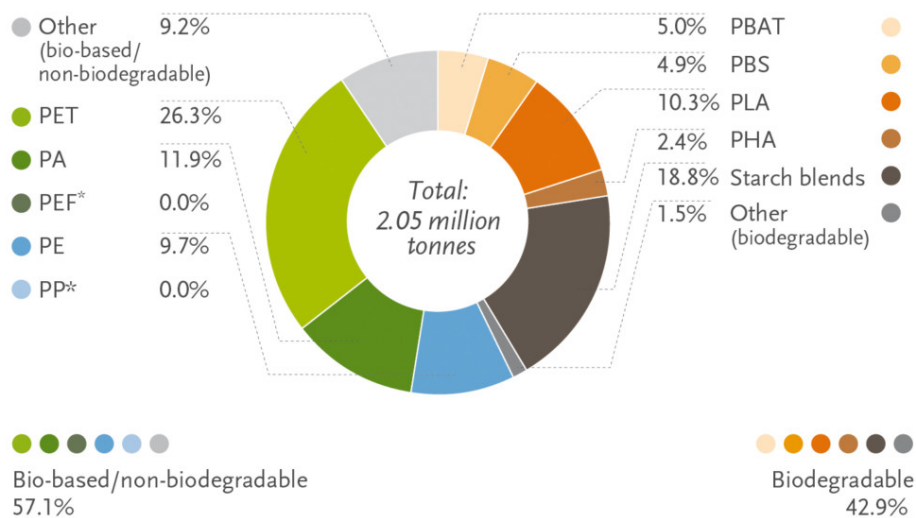
### Global production capacities of bioplastics



Source: European Bioplastics, nova-Institute (2017).  
 More information: [www.bio-based.eu/markets](http://www.bio-based.eu/markets) and [www.european-bioplastics.org/market](http://www.european-bioplastics.org/market)

Figur 1: Global produktionskapacitet af bioplast, fordelt på nedbrydelighed ( Kilde: [www.european-bioplastics.org/market](http://www.european-bioplastics.org/market))

## Global production capacities of bioplastics 2017 (by material type)



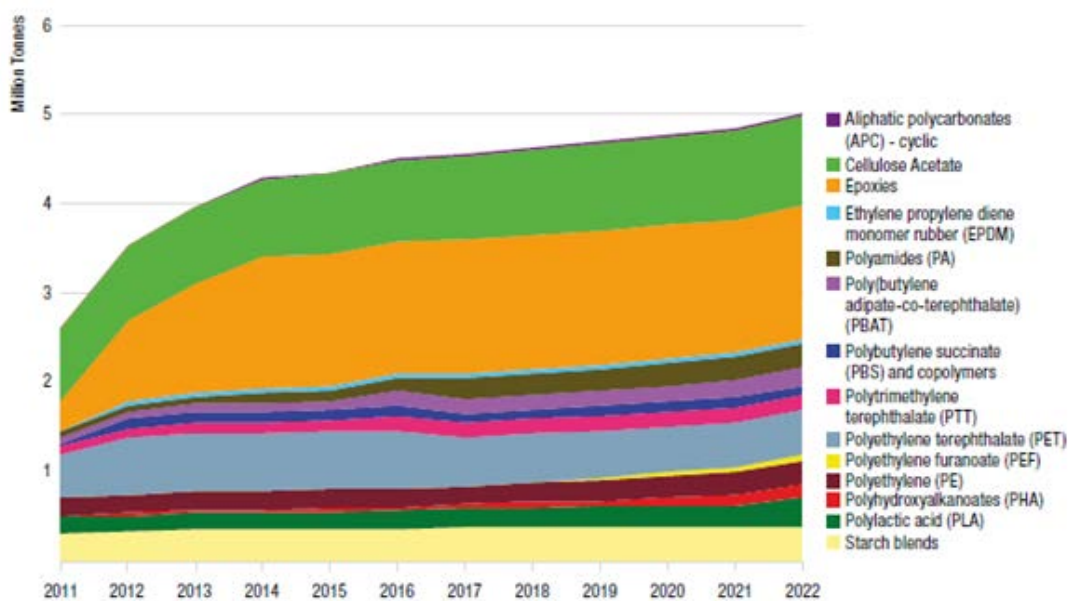
\*Bio-based PP and PEF are currently in development and predicted to be available in commercial scale in 2020.

Source: European Bioplastics, nova-Institute (2017).

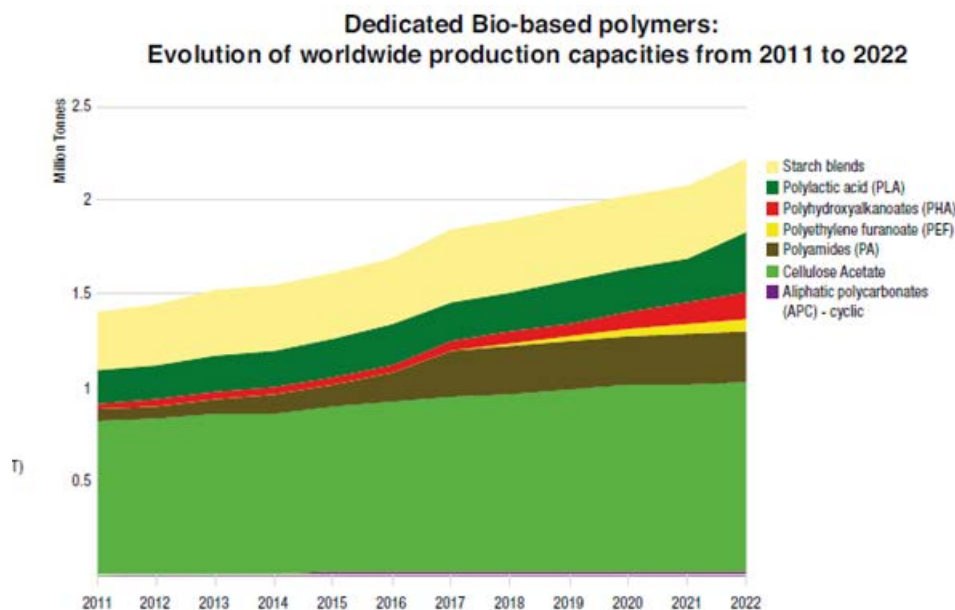
More information: [www.bio-based.eu/markets](http://www.bio-based.eu/markets) and [www.european-bioplastics.org/market](http://www.european-bioplastics.org/market)

Figur 2: Global produktionskapacitet af bioplast efter markedssegment (Kilde: [www.european-bioplastics.org/market](http://www.european-bioplastics.org/market))

## Bio-based polymers: Evolution of worldwide production capacities from 2011 to 2022 (without PUR)



Figur 3: Global produktionskapacitet af bio-baserede polymerer. (Kilde: Source nova-Institut GmbH (2018))



Figur 4: Bio-baserede polymerer, som ikke har et modstykke i de petrokemiske plasttyper. (Kilde: Source nova-Institut GmbH (2018)).

Ud fra et økonomisk perspektiv får bioplastindustrien støtte fra flere og flere investorer til udvikling af nye produkter eller til effektivisering af produktionen af bioplast (Health Research Funding, 2015). Derudover skaber bioplastindustrien nye arbejdspladser. Det ser man eksempelvis i Europa, hvor der i 2013 var 30.000 som arbejdede i bioplastindustrien, mens det forventes, at dette tal i 2030 vil tidobles til 300.000 (European Bioplastics, 2017).

Hvorvidt markedet for bioplast fortsat vil vokse afhænger af flere forhold. På den ene side er væksten i produktion af biobaseret plast bestemt af flere faktorer: 1) prisen; 2) teknisk ydeevne og muligheden for at bruge standardmaskiner nedstrøms; og 3) Social opfattelse, især hvis bioplast er baseret på fødevarer og/eller GMO'er. På den anden side, kan markedet (fx for bionedbrydelig plast) vokse som følge af politiske beslutninger eller frivillige ordninger. For eksempel, indførte Frankrig i 2016 et forbud mod tynde engangsplastikposer. Andre lande, hovedsageligt i Afrika, har fulgt i Frankrigs fodspor og har også forbudt brugen af engangsplastikposer. I 2020 træder endnu en lov i kraft i Frankrig. Her bliver plastservice, herunder plastikbestik, plastik-tallerkener og plastikkopper også forbudt i kampen mod et overforbrug af plastik. Alene i Frankrig bliver der brugt 4,7 milliarder plastikkopper, hvor blot én procent af denne plastik bliver genanvendt. Producenterne har fået til 2020 til at kunne nå at omstille deres produktion til en mere bæredygtig produktion, hvor materialerne skal være lavet af genanvendelige biomaterialer. Hvis de franske tiltag blev implementeret på verdensplan, ville forbruget af plastik kunne reduceres markant og gøre omstillingen til bioplast nemmere. Reduktion af emballage og markedsføring af mere bæredygtig emballage er også to af de strategier, der gennemføres i Danmark. For eksempel, har Coop en ambitiøs strategi, hvor de systematisk gennemgår varer for at optimere emballagen til fordel for miljøet. Dette sker gennem 6 trin: genanvendelig emballage, genanvendte materialer, fornybare materialer, mindre skadeligt kemikalier, optimering af emballage, reduktion af engangsprodukter og introduktion af biobaserede

materialer (COOP, 2018). Dansk Supermarked er også gået ind i kampen mod det høje plastikforbrug i samarbejde med WWF Verdensnaturfonden. Dansk Supermarked forsøger at fjerne unødvendigt plast fra deres butikker og indfører pant på engangsbæreposer. Fra statens side har man allerede indført afgifter på bæreposer og anden emballage, der er fremstillet af plast. Den såkaldte emballageafgiftslov skal være med til at nedbringe mængden af emballage, således at der ikke bliver produceret så store mængder af unødvendig emballage (Skatteministeriet, 2017).

## 2.2 Danske styrkepositioner

Flere danske virksomheder er involveret i det bioplastiske marked. De fleste af dem er producenter af bioplastprodukter eller er leverandører, der er involveret i import og eksport af færdige produkter fremstillet af bioplast. Der er kun få virksomheder, der producerer polymerer (fx pond i Århus), og den samlede produktion er lille. Derudover er flere andre virksomheder involveret i forsyningskæden af bioplast. Det kan f.eks. være bruger af emballage (fx Novo Nordisk, Arla, Roskilde Festival, Københavns Kommune), leverandører af kemikalier og farvestoffer (fx Novozymes, Danisco, Haldor Topsøe), producenter af høj-Tech produkter (fx Novo Nordisk, Coloplast) eller konsulenter involveret i produkt og teknologiudvikling (fx Teknologisk Institut, Danmarks Tekniske Universitet, Miljømærkning Danmark, Biorefining alliance) (Nielsen, 2014).

Med et ekspanderende bioplastmarked kunne flere virksomheder være involveret på forskellige punkter i værdikæden for bioplast. Medens de seneste teknologiske fremskridt i høj grad har accelereret de industrielle anvendelser af bioplast, er der flere udfordringer, der skal tages op i de kommende år. Blandt disse forbliver omkostningerne ved bioplaster en nøgelfaktor for at produkterne bliver kommercielt levedygtige (Fredsted, 2018). Det betyder, at prisen på bioplast skal ned i mindst samme prisklasse som fossiltbaseret plast. Eller alternativt bør markedet forstå miljømæssige merværdien af bioplast sammenlignet med traditionel plast.

Tidligere analyser viste, at der i Danmark er behov for kompetencer indenfor områderne af materialekendskab, procesforståelse og forretningsforståelse er påkrævet (Industriens Uddannelser, 2014). Danmark har store kompetencer inden for højteknologisk produktion, bioteknologi og affaldshåndtering, der kan være relevante i forbindelse med bioplast. Specifikke emner, der kunne nævnes, er:

- *Bioplast produktionsmetoder.* Der er behov for yderligere udvikling af bioteknologi inden for bioplastproduktion; for eksempel, skal anvendelsen af mikrobielle blandede kulturer i biosyntetiske processer undersøges for at konkludere, om dette er en bedre mulighed end rene kulturer. Anvendelsen af forskellige råmaterialer fra rest-og sidestrømme bør også udvides; dette kan kræve yderligere udvikling af biologisk proceskontrol i kontinuerlige processer til behandling af varierende og heterogene materialer.
- *Raffinering af biopolymerer.* Forbedrede og billigere metoder til raffinering af biopolymerer skal udvikles. Isoleringen og rensningen af polymerer udviklet gennem biosyntese er centrale trin i processens rentabilitet. Den ideelle metode skal føre til et højt genvindingsniveau for polymerer med høj renhed (indikativ over 90% for begge parametre) til en relativ lav

produktionsomkostning. Forskellige teknologier til nyttiggørelse er blevet undersøgt, især i lille skala; få tilfælde af storskala planteproduktion eksisterer. I almindelighed rapporteres to forskellige tilgange til polymerisering: solubilisering ved hjælp af opløsningsmiddel efterfulgt af udfældning og fordøjelse af ikke-polymercellemasse (NPCM) med kemikalier eller biokatalysatorer (enzymmer), hvori polymeren frigives uden opløsning. Generelt er der brug for nye tilgange, hvor brug af tunge kemikalier undgås, mens nedbrydning af polymererne minimeres. Disse nyudviklede tilgange skal demonstreres i industriel skala.

- *Bionedbrydelighed.* Bionedbrydelighed af bioplast skal være bedre designet og kontrollerbar. Dette kunne opnås ved at målrette for eksempel to forskellige faser af bioplastens livscyklus. Specifikke katalysatorer kunne udvikles og blandes i bioplast for at gøre dem nedbrydelige under specifikke betingelser. Mikroorganismer kan udvikles til brug for nedbrydning af plast i visse situationer (fx i biogasplanter). Produktion af katalysatorer til at producere bionedbrydelig bioplast er et andet emne.
- *Bioplast i cirkulær økonomi.* En stor udvikling af det bioplastiske marked kan kun ske, hvis det understøtter udviklingen mod cirkulær økonomi, hvilket betyder at hele kæden skal overvejes (Andersen, 2018). Hvis bioplast skal sorteres og håndteres separat fra strømme af traditionel plast, er der brug for nye koncepter og metoder til sortering af bioplast. Dette omfatter for eksempel både nye tilgange til plastikmærkning samt udvikling af effektive optiske/mekaniske værktøjer, der kan sortere bioplast.
- *Infrastruktur.* Det er relevant at undersøge mulighederne for at integrere nye løsninger i eksisterende infrastruktur (fx renseanlæg, biogasanlæg). Fokus kan være på faciliteter med uudnyttet kapacitet. Denne mulighed kan muligvis reducere produktionsomkostningerne og derved reducere investeringsrisikoen, samtidig med at produktionskæderne bliver mere fleksible.
- *Råmaterialer.* Der bør udvikles teknologi til brug af lavere råmaterialer til fremstilling af biobaseret plast. Der er behov for at udvikle koncepter til at øge kaskadeudnyttelsen af biomasse, fremme af industrielle symbioser, samt med nye koncepter til integrerede bioraffinaderier, hvor bioplast bliver produceret samtidig med andre biokemiske og bioprodukter med høj værdi.
- *Anvendelse af bioplast.* I øjeblikket er flere bioplasttyper uegnede til produktion af varer med høj værdi, da de ikke har en kombination af tekniske egenskaber, der er bred nok til at opfylde tekniske specifikationer som højtydende produkter, såsom f.eks. elektroniske enheder kræver. Hvis markedet for bioplast skal udvikles yderligere, så bør emballagesektoren være det første fokus, da dette er en stor aktør på plastmarkedet (Fredsted, 2018). Omvendt for at stimulere udviklingen af bioplast med bedre egenskaber, så bør muligheder for anvendelse af bioplast også i applikationer med høj ender identificeres (fx designprodukter, medicinske genstande, farmaceutisk emballage).
- *Oparbejdning af naturlige plantefibre til brug i bl.a. bio-kompositter,* til erstatning eller delvis erstatning af syntetiske komponenter såsom glas fiber, epoxy. Plantefibre såsom cellulose består fra naturens hånd af mikrofibriller som har lav densitet og stor styrke. Cellulosefibre fra visse planter såsom hør, hamp, og kokos kan anvendes i kompositmaterialer forudsat at de naturligt lange cellulosefibre ikke beskadiges ved processering. Nyere metoder hvor



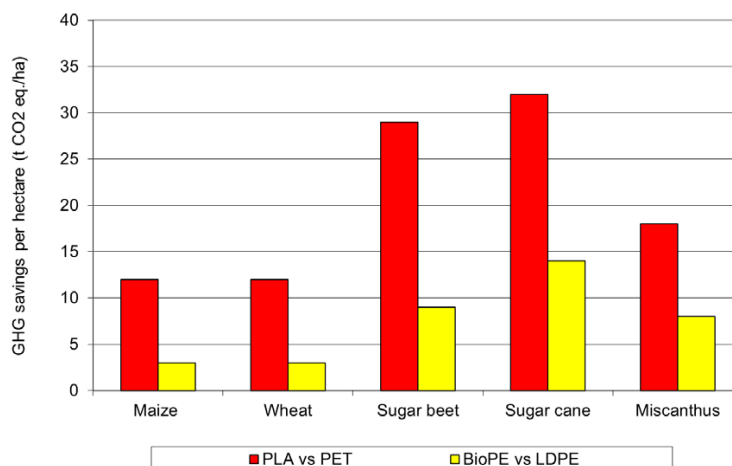
planternes egne komponenter yderligere polymeriseres eller krydsbindes (feks ved brug af enzymer) kan forbedre cellulosefibrener mekaniske styrke og tillige forbedre fibrener kontakt til kompositmaterialer så det samlede resultat bliver en forstærket biokomposit. I Danmark er der stærke miljøer indenfor planteteknologi (KU), enzymteknologi (DTU) og materialeteknologi (DTU og TI), og der er igangværende projekter også med international deltagelse, bl.a. støttet af Innovationsfonden indenfor dette emne, som viser lovende resultater.

## *2.3 Miljø- og klimaudfordringer og -potentialer ved disse biobaserede materialer*

### *2.3.1. Miljø- og klimaudfordringer*

I Europa genanvendes kun ca. 15% af al plast. Resten bliver enten brændt til energiudnyttelse, deponeret på losseplads eller dumpet i naturen. Da bioplast ikke håndteres individuelt, må det forventes, at det i øjeblikket håndteres på samme måde som anden plast. Det er estimeret, at mellem 1,5% og 4% af al plast ender i verdenshavene (DAKOFA, 2018). Det svarer til mellem 5-12 mio. Mt. plast. Ca. 80% af al den plast, der flyder rundt i verdenshavene er estimeret til at stamme fra landjorden og de resterende 20% kommer fra skibsindustrien (f.eks. fiskenet). Generelt er plast i naturen et problem, fordi det indtages af dyr; det er dog ikke et særskilt stort problem i Danmark takket være det velfungerende affaldshåndteringssystem, som sikrer at det meste affald indsamles. Et yderligere problem, som hidtil ikke er velundersøgt, er relateret til det faktum, at plast indeholder kemikalier, der kan frigives i miljøet. Alle disse problemer vedrører fossiltbaseret plast såvel som bioplast.

Der eksisterer kun få miljøvurderinger af bioplast, der kan danne grund for at vurdere om og hvor meget bedre bioplast er end traditionel plast (DAKOFA, 2018), eller om bioplast er bedre end andre materialer. Selv ved at bruge veletablerede værktøjer som LCA, er det svært at konkludere på CO<sub>2</sub>-balancen af bioplast i sammenligning med traditionel plast (Nielsen, 2014). Årsagen er mangfoldigheden af råmateriale, de potentielle affaldsscenarier (fx energi substitueret i forbrænding) og at produktionen af biobaseret plast ofte er mere energikrævende end produktionen af traditionel plast. Bioplast er generelt ikke CO<sub>2</sub> neutral, fordi forskellige klimaemissioner forekommer i forskellige faser af bioplastens livscyklus (Force Technology, u.å.). Det vides, at hvis f.eks. PLA havner i en kompostbunke eller losseplads og nedbrydes ukontrolleret, så udledes der metan under nedbrydningsprocessen. Billedet er således ikke entydigt, idet miljøpåvirkningen vil afhænge af, hvilken kategori (f.eks. klimaforandringer, eutrofiering eller giftighed) der betragtes. Ikke-vedvarende energianvendelse og drivhusgasemissioner generelt er mere gunstige for biobaseret plast, og substitutionen af traditionel plast med bioplast fører således til lavere ikke-vedvarende energiforbrug og drivhusgasemissioner (Figur 5).



Figur 5: Drivhusgas (GHG) besparelser pr. hektar til produktion af biobaseret plast i forhold til fossilbaseret plast (kopieret fra van den Oever et al., 2017).

### 2.3.2. Sortering og genanvendelse

I forbindelse med håndtering og (specifikt) genanvendelse af bioplastaffald er udfordringerne:

- Sortering af bioplaster er kompliceret, om muligt overhovedet. Der er ikke specifik mærkning for at oplyse, at plast er fremstillet af biomasse. Biobaseret plast er kun mærket ifølge polymertypen og har ikke specifikke fysiske-kemiske egenskaber, som gør dem forskellige og genkendelige fra andet plast, hvilket betyder, at sortering er vanskelig.
- Det er ikke fastlagt, i hvilket omfang bioplast kan genbruges. Det vil afhænge af plasttypen. Særligt for bionedbrydelig plast gælder, at da det skal nedbrydes over en relativ kort periode, er det måske ikke egnet til genbrug.
- Bioplast kan indeholde en række kemikalier og additiver, der enten kan akkumulere ved genanvendelse eller, hvis det drejer sig om bionedbrydelig plast, potentielt kan ende i miljøet, for eksempel gennem biologisk behandling (kompost, biogas) og den efterfølgende anvendelse på landbrug af de resulterende biosolids.

Bioplastaffald kan potentielt sorteres ved kilden (dvs. af borgere) eller i centraliserede anlæg. Det kan dog være svært for forbrugerne at vurdere, om deres bioplast skal til kompost eller i en genbrugscontainer, da bioplast ikke er systematisk mærket. RIC (Resin identification code), som er det tal plastikprodukter er mærket med, fortæller hvilken polymer, det er lavet af, men skelner imidlertid ikke mellem biogent og konventionel plast. Selv hvis mærkning af bioplast blev systematisk implementeret, kan dette ikke løse problemet fuldstændigt, da mærkning måske ikke kan læses i affaldsprodukterne (for eksempel fordi produktet nedbrudt).

Et andet eksempel relaterer til Coca-Cola, der tilbage i 2009 begyndte at fremstille plantebaseret (30%) PET flasker, der blev kaldt "PlantBottle". Man kunne derfor tro, grundet navnet "PlantBottle", at flasken skal komposteres, men det er ikke tilfældet, da flasken er fremstillet af PET, som ikke er

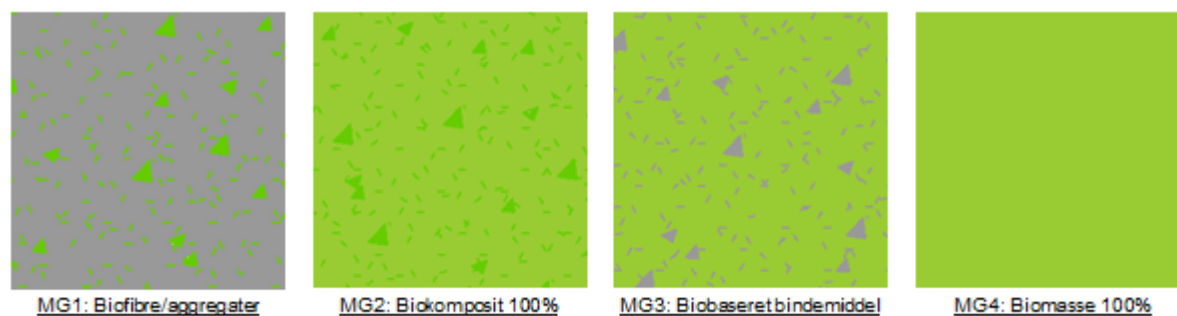
bionedbrydeligt. Det viser, at det er brug for bedre informationer på etiketterne, som for eksempel, om det skal komposteres, eller til biogas produktion, eller til genanvendelse.

Når bioplast ankommer til sorterings eller genbrugsanlæggene, skal det sorteres, inden det kan genanvendes. Dette er nødvendigt, da forskellige typer bioplast har forskellige polymeropbygninger, der vil forurene den færdige plastikblanding. En infrarød scanner er ofte brugt til at afgøre, hvilken plastiktype, der er tale om. Information om typen af plast og bioplast, bliver videregivet til en computer, der via sensorer aktiverer et luftryk og sender de forskellige plastiktyper videre i hver deres beholder. Nogle firmaer sorterer plast i hånden via manuel arbejdskraft (Gertman, 2013). Stivelse-baseret blandinger kan ikke genbruges, på grund af de forskellige sammensætninger af blandingerne (Ellen MacArthur Foundation, 2016). Nogle undersøgelser har vist, at et indholdet af bionedbrydelig plast i plastikstrømmen til genbrug på mindre end 10%, ikke har væsentlig negativ virkning på de genanvendte produkters egenskaber (van den Oever et al., 2017). Et højere indhold kan imidlertid være skadeligt for kvaliteten af genbrugsmaterialer (Fredsted, 2018).

Flere ikke-bionedbrydelige bioplast polymerer kan muligvis genbruges på samme måde som konventionel plast. Der er dog kun få eksempler på bioplast genanvendelse på markedet, f.eks. Bioplastic Recycling i USA, en proces, som imidlertid kun behandler specifikke (fx PLA) og meget rene plaststrømme. Det betyder, at de mulige processer til genanvendelse af ikke-bionedbrydeligt bioplast, hvad enten det er mekanisk, biologisk eller termisk, skal stadig demonstreres. Det er sandsynligt, at der er behov for yderligere udvikling af bioplastmaterialer, således at polymererne kun begynder at nedbrydes under ønskede omstændigheder (fx ved anvendelse af katalysatorer og enzymer).

### **3. Biobaserede byggematerialer**

Biobaserede byggematerialer defineres i dette notat som både rene biobaserede materialer og biokompositter. Biokompositter er materialer, som er sammensat af to eller flere komponenter, hvoraf en eller flere af disse er biobaserede. Hvor stor en del af kompositmaterialet, der skal være biomasse, før byggematerialet kan kaldes biobaseret, ligger der ikke nogen alment anerkendt definition på (Hastrup, 2018). I dette notat er biobaserede byggematerialer inddelt i fire grupper (se Tabel 2 og Figur 6). Materialegruppe (MG) 1 er biobaserede materiale, som bindes sammen med et ikke-biobaseret bindemiddel. MG 2 kan i princippet inkludere alle materialerne nævnt i MG 1, såfremt bindemidlet også er biobaseret. MG 3 er materialer, hvor aggregaterne er mineralske og bindemidlet er (delvist) biobaseret. MG 4 er rene biobaserede materialer. I afsnittet under ”Markedspotentialer” gennemgås de nævnte typer af biobaserede byggematerialer og deres anvendelsesmuligheder.



Figur 6: Inddeling af biobaserede byggematerialer i ren biomasse og biokompositter. MG = Materialegruppe, grå = ikke-biomateriale, grøn = biomateriale.

Udover denne inddeling, dækker biobaserede byggematerialer også meget vidt i forhold til materialebrug. Det dækker over alt fra f.eks. isoleringsmaterialer, biobaserede tagbelægninger, trækonstruktioner, facadebeklædninger og innovative materialer, som endnu kun er på et forsøgsstadium etc. Vi har i dette notat derfor valgt yderligere at opdele materialerne i grupper ift. anvendelse: konstruktioner, isolering, komplettering tag og facader, samt komplettering indvendig.

### 2.1 Markedspotentiale

Som følge af stigende befolkningstal i Danmark og at befolkningen i højere grad koncentrerer omkring byerne, bliver der stadig stigende behov for opførelse af nye bygninger i fremtiden. Det samme billede tegner sig i endnu højere grad globalt (Conversation, 2018). Ifølge en analyse lavet af Dansk Byggeri løber behovet op på 20.000 nye boliger årligt indtil år 2025 bare i Danmark (Dansk\_Byggeri, 2018). Derudover vil behovet for renovering af eksisterende bygninger også stige i fremtiden, både ift. almindeligt vedligehold, men også for at øge energieffektiviteten (Glavind, n.d.). Disse behov har skabt et stort fokus på bæredygtigheden i byggebranchen i forhold til klimaforandringer, energiforbrug ved produktion af byggematerialer samt forbrug af ikke-fornybare ressourcer (Jones, 2017). De fleste traditionelle byggematerialer (på nær træ), såsom beton, mursten, stål og plast, består af ikke-fornybare ressourcer og er energikrævende at producere. De klare fordele ved at anvende biobaserede byggematerialer er, at de er fornybare, at de ofte kan dyrkes lokalt, så transporten reduceres, at de kan have mange forskellige egenskaber, samt at de ofte er genanvendelige og nemme at affaldsbehandle (Jones, 2017). Der er dog også ulemper såsom at biobaserede byggematerialer ofte er brandbare, følsomme overfor biologiske angreb såsom råd og skimmel, fugtsugende og kan afgive partikler/gasser til indeklimaet.

Byggebranchen samt bygningers drift er både nationalt og globalt en af de mest miljøbelastende industrier og står i Danmark for omkring 40% af energiforbruget, udleder 40% af samlede CO<sub>2</sub>, og genererer 30% af Danmarks affald (Altinget, 2018). Disse mængder er fordelt ud på hele byggeriets livscyklus. Der er derfor potentiale for, at byggebranchen spiller en central rolle i forhold til at opnå et mere bæredygtigt samfund. Selvom det er tydeligt, at der er et stort behov for opførelse af nye bygninger i fremtiden, er det svært at estimere, hvor stor en rolle biobaserede byggematerialer vil spille.

Tabel 2: Oversigt over biobaserede byggematerialer der gennemgås i nærværende notat. MG = Materialegruppe

	Materialegruppe	Produkter
MG1	Biobaseret materiale samlet med ikke-biobaseret bindemiddel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isoleringsmateriale af biobaserede fibre/granulat med bindemiddel</li> <li>• Hampe-kalk kompositter til isolering</li> <li>• Træbetonplader til lydisolering</li> <li>• Plader af træfibre, spån og lign.</li> <li>• Krydslamineret træ</li> <li>• Fiberarmerede byggematerialer (beton, gips, ler, polymer)</li> </ul>
MG2	Bio-kompositter: Biobaserede fibre/skæver/granulat samt bindemiddel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isoleringsmateriale af biobaserede fibre/granulat</li> <li>• Plader af træfibre, spån og lign.</li> <li>• Krydslamineret træ</li> </ul>
MG3	Mineralske aggregater med (delvist) biobaseret bindemiddel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aggregater med biobaseret bindemiddel</li> <li>• Selvhelende beton</li> <li>• Mycelium som binder</li> <li>• Asfalt</li> </ul>
MG4	Rene biobaserede materialer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Traditionelle trævarer</li> <li>• Isolering af rene biobaserede materialer</li> </ul>

I de følgende afsnit gennemgås forskellige typer byggematerialer, hvor der er et markedspotentiale for biobaserede materialer.

### 3.1.1 Biobaseret materiale samlet med ikke-biobaseret bindemiddel

Biobaserede fibre, pulp, granulat eller skæver af materialer såsom hør, hamp, halm, majs, tang etc. kan dyrkes i Danmark og har vist sig at have mange gode anvendelsesmuligheder indenfor byggematerialer både i form af deres mekaniske og isolerende egenskaber. Globalt er mulighederne for udnyttelse af biobaserede materialer til byggematerialer stor. Især i tropiske lande som f.eks. Brasilien og Indien er udvalget af natur (fiber)materialer meget større og der anvendes fibre af f.eks. kenaf, sisal, jute, bambus, kokos etc. (Laborel-Préneron, Aubert, Magniont, Tribout, & Bertron, 2016; Onuaguluchi & Banthia, 2016; Sen & Reddy, 2011), hvilke vil være mulige at importere, men ikke mulige at producere i Danmark. Man skal imidlertid være opmærksom på risici forbundet med at anvende nye materialer i en anden tradition og under andre klimatiske betingelser.

I de følgende afsnit beskrives eksempler på muligheder for anvendelse af biobaserede materialer der kan produceres i Danmark/Europa.

Som alternativ til isoleringsmaterialer af sten- og glasuld, dukker der flere nye isoleringsprodukter op hvoraf flere er biobaserede (GrønForskel, 2018). Isoleringsmåtter af recirkulerede materialer som hør, hamp, træ og ålegræs produceres vha. ny teknologi, hvor de biobaserede fibre samles til måtter

med en polymerbinder på ca. 5-30 % polypropylen (PP) og/eller polyethylen (PE) fibre, som varmes op til over polymerenes smeltepunkt. Produktet består altså af 70-95% naturfibre. Også granulatisering med træuld eller papiruld produceret af genanvendte aviser vinder frem på det danske marked. De to største udfordringer for isoleringsmaterialerne er krav til brandresistens og modstandsdygtighed mod råd og skadedyr. Til dette anvendes i nogle tilfælde forskellige tilsætningsstoffer, som f.eks. borsyre og borax. F.eks. ålegræs skulle naturligt være et særligt velegnet materiale til disse isoleringsmåtter, eftersom de i uvasket form indeholder salte fra havvandet hvilket modvirker svamp og virker ligeledes brandhæmmende. Isoleringsmåtterne er testet i et dansk projekt (Pallesen, 2018).

Hampebeton anvendt som et isolerende materiale består af hampeskæver, kalkbinder og vand (Collet & Pretot, 2014; Williams, Lawrence, & Walker, 2018). I Danmark er hampebeton blevet anvendt til et enkelt nybygget hus, samt i flere renoveringsopgaver (Vædele-Larson, 2018).

De nævnte isoleringsmaterialer anvendes oftest i sammenspil med et bærende træskelet til nybyggeri. Af denne grund har præfabrikerede halmkassetter til vægelementer bestående af halmisolering, et bærende træskelet samt lerpuds (altså uden fugtmembran) vundet frem i Europa i de senere år. Et internationalt projekt, ISOBIO, har ligeledes haft fokus på udvikling og test af vægelementer og der er flere virksomheder i Europa, der producerer lignende sandwichelementer til vægkonstruktioner.

Spånplader kan produceres med spåner produceret fra affaldstræ, men kun efter en god sortering af affaldstræet for at undgå træimprægneringsmidler og svampesporer fra nedbrudt træ.

Udvikling og tests af flere forskellige pladetyper baseret på biobaserede fibre, herunder restprodukter fra landbrugs- og fødevarerproduktion var en del af MUDP projektet Det Biologiske Hus (Miljøstyrelsen, 2017). Arbejde pågår for at udvikle og teste biobaserede bindemidler i et samarbejde mellem danske og udenlandske virksomheder, hvilket vil gøre det muligt at producere pladematerialer bestående af 100% biobaserede ressourcer som samtidigt er formaldehydfrie (Hastrup, 2018).

Træbetonplader bestående af træspåner og cement, anvendes som akustikregulerende lofts- og vægbeklædning og består af træspåner og cement-baseret bindemiddel.

Ift. biobaserede materialer anvendt til bærende konstruktioner, har krydsslamineret træ (CLT) og kertotræ (LVL) vundet ind på det danske marked pga. den høje styrke og større grad af fleksibilitet i udformningen. Globalt er der allerede bygget flere højhuse i trækonstruktioner i især CLT (TræInfo, 2018). Også i Danmark er der i de seneste år udført træbyggerier i flere etager (bl.a. Lisbjerg Bakke i 4 etager) og flere projekter er på vej (Koch, 2018). Selvom vi i dag importerer omtrent 70% af vores træprodukter fra Sverige, kan man, ifølge Koch (Koch, 2018), producere CLT af dansk træ såsom bøg, hvor en 3-lags CLT plade bestående af 1 lag bøg og 2 lag nåletræ har samme styrke som en 5-lags CLT plade udelukkende af nåletræ. Dermed vurderes der også at være et markedspotentiale for at lave højkvalitetsmaterialer af danske træsorter. Fordelene ved at bygge i træ omfatter bl.a. den økonomiske gevinst, reduceret byggetid samt den lavere vægt af træelementer sammenlignet med betonelementer (TræInfo, 2018).

Også indenfor byggematerialer såsom beton, gips og ler er der fokus på at anvende biobaserede fibre for at forbedre de mekaniske egenskaber og/eller mindske revnedannelsen pga. svind i materialet. Det er muligt at opnå gode resultater med nogle fibertyper, men det kommer an på fibrenes egenskaber. Når man specifikt ser på de mekaniske egenskaber, er det ikke tilladt at medregne fibrenes mekaniske egenskaber ved dimensionering af konstruktioner. I betonmaterialer drejer det sig i de fleste studier kun om få volumenprocent fibre (op til 2%), men selvom det kun er en lille fraktion, vil man muligvis kunne udskifte de polymerfibre som man i høj grad anvender i dag med biobaserede fibre (Onuaguluchi & Banthia, 2016; Pacheco-Torgal & Jalali, 2011). Grundet betonens høje pH-værdi er der dog en udfordring ift. fibrenes holdbarhed, og flere studier har derfor undersøgt, hvordan man kan modificere fibrene, så de bliver mere modstandsdygtige overfor det basiske miljø (Ramakrishna & Sundararajan, 2005). I ler og gips-baserede materialer er der ikke i samme grad problemer med fibrenes holdbarhed pga. disse materials mere neutrale pH-værdi. (Calatan, Hegyi, Dico, & Mircea, 2016; Danso, Martinson, Ali, & Williams, 2015). Polymer-træ kompositter vinder frem på det danske marked til bl.a. terrassebeklædning. I disse kompositter anvendes der i dag ca. 25% biobaserede fibre, men der arbejdes på at forbedre teknologien og produktionsmetoden, så væsentlig højere fiberfraktioner anvendes (Hastrup, 2018).

### 3.1.2 Mineralske aggregater med (delvist) biobaseret bindemiddel

Denne gruppe af materialer omfatter mineralske aggregater (sten, grus, sand), hvor bindermaterialet såsom cement, brændingsproces eller bitumen, helt eller delvist erstattes af andre former for biobaserede bindemidler eller bakterier som er i stand til at ”gro” selve kompositmaterialet.

Der pågår forskning om, hvordan man delvist kan erstatte cementen i beton med bindemidler af forskellige typer biopolymer (biobaseret) til produktion af lastbærende materialer. Bindemidlets ret enkle produktionsmetode (afkogning af biologisk materiale, fx madaffald, alger eller lignende, med sammenligneligt lave temperaturer) kan føre til et fald i CO<sub>2</sub>-emissionerne og en decentralisering i betonproduktionen. Biopolymeren som bindemiddel i beton viser, på grund af hurtige hærdningsegenskaber, at der er gode anvendelsesmuligheder for storskala 3D-print, hvilket dermed yderligere kan øge dens udnyttelse. Lokale produktionskæder kunne derfor styrke oprettelsen af SMV'er og reducere omkostninger og emissioner i forbindelse med transport. Projektet er stadig i opstartsfasen.

Biopolymerer kan også anvendes til at forbedre ydeevnen af cement i beton i form af mekaniske og kemiske egenskaber samt holdbarheden, hvilket bliver undersøgt i et projekt på University of Miami (University\_of\_Miami, 2018).

Der er udviklet en patenteret teknologi, der gør det muligt at undgå brændingsprocessen og tilsætningen af cement ved produktion af byggesten (Ginger Krieg Dossier, 2014). Byggestenen består af mineralske aggregater som sand og grus, men hærdeprocessen er erstattet af tilsætningen af enzymer og bakterier, som gror selve byggestenen i forme. Fordelene ved materialet er at det ikke skal brændes, og dermed den meget lave udledning af CO<sub>2</sub>, samt at der ikke produceres noget affald ved produktionen. Der mangler dog stadig tilstrækkelig med information om tekniske egenskaber samt stenenes holdbarhed.

Selvhelende beton blev udviklet under det internationale projekt, HealCon med partnere fra Belgien, Holland, Tyskland, Danmark, Finland og Spanien. Materialet er en traditionel betontype tilføjet biobaserede kalkstens-producerende bakterier, som er i stand til at reparere sig selv når revner opstår i betonen (Jonkers, Thijssen, Muyzer, Copuroglu, & Schlangen, 2010). Bakterierne bliver indstøbt i beton i små kapsler, som først aktiveres når vand når ind til kapslen, hvilken ofte sker i forbindelse med revner i betonen. Når bakterieindholdet i kapslen reagerer med vand og selve betonen, vil det begynde en proces hvor kalksten udfældes og udfylder revnen. Denne proces vil altså forlænge betonens levetid. Udfordringerne drejer sig på nuværende tidspunkt hovedsageligt om den prismæssige forskel mellem traditionel beton og selvhelende beton på omkring det dobbelte (IFLScience, 2018).

I et hollandsk projekt forskes der i, hvordan man kan udvikle en delvist biobaseret asfalt ved at erstatte ca. halvdelen af bitumen massen med et biobaseret bindemiddel af lignin (WUR, 2018). Et andet hollandsk forskningsprojekt i samarbejde med Icopal undersøger hvordan man kan erstatte bitumen i tagpap med 100% biobaseret materiale (BioBasedPerformance, 2018).

### 3.1.3 Rene biobaserede materialer

De rene biobaserede materialer omfatter hovedsageligt trækonstruktioner og andre trævarer, da disse anvendes som bærende konstruktioner. Der sker stadig en udvikling indenfor forbedring af træs holdbarhed og styrkeegenskaber og det vurderes, at potentialet for udvikling af nye træ-baserede produkter er enormt (Koch, 2018). Forskere fra University of Maryland har undersøgt, hvordan man kan fjerne al træets lignin ved kemisk behandling, hvorefter man kan komprimere det, så det bliver fem gange tyndere end den oprindelige form og samtidig tolv gange stærkere (Song et al., 2018). Processen er dog på nuværende stadie meget energikrævende i forhold til ubehandlede trækonstruktioner, men projektet viser, at der stadig er et stort potentiale for videreudvikling af trækonstruktioner.

### 3.1.4 Byggetekniske udfordringer og muligheder

Med de krav som bygningsreglementet i dag stiller til lufttæthed og varmeisolering i nybyggeri, betragtes det i de fleste tilfælde som nødvendigt at anvende dampspærremembran i lette ydervægge og i alle lofter mod det fri (SBI-224, 2013). Dampspærren placeres på den varme side af isoleringen for at forhindre fugtindtrængning i isoleringslaget, hvilket fungerer fint, så længe fugtmembranen er intakt. Det er acceptabelt at placere dampspærren op til en tredjedel inde i isoleringstykkelsen set fra den varme side, hvilket kan være en fordel for at den kommer til at ligge bedre beskyttet mod perforeringer. Man har dog gennem tiden set mange eksempler på en utæt fugtmembran, hvilket fører til, at fugten kan trænge ind i isoleringen i et koncentreret område, hvilket kan føre til fugtskader.

Der pågår i disse år eksperimenter og forskning for at udvikle løsninger som baserer sig på træ- og biobaserede materialer til varmeisolering i klimaskærmen og uden brug af dampspærremembran og således opnå en diffusionsåben klimaskærm. Her søger man at udnytte disse materialers egenskaber for fugtabsorption og fugtafgivelse. Det er dog ikke tilstrækkeligt kun at betragte spørgsmålet vedr.



diffusionsåben/lukket, da faktorer såsom ventilation og fugtabsorption også spiller en vigtig rolle og spiller sammen som et komplekst hele.

Disse to byggeteknikker strider altså på nogle punkter imod hinanden og mange fagfolk stiller sig kritiske overfor at undlade dampspærren i en konstruktion. Det, der især kan være kritisk er at vurdere randbetingelserne, fx om der er en høj indendørs fugtbelastning. En diffusionsåben konstruktion, der kan fungere godt i én situation, kan måske blive udsat for fugtophobning i en anden – der skal altså en sikker fugtdimensionering til. Der mangler således i dag viden som kan lægges til grund for mere nuancerede løsninger; fx test af materialer, dokumentation af løsningers ydeevne og demonstrationsprojekter for denne type byggerier.

Andre generelle byggetekniske udfordringer ifm. biobaserede byggematerialer relaterer sig til branddimensionering, fugtmekaniske forhold, biologiske angreb og andre former for nedbrydningsmekanismer.

### 3.2 Danske styrkepositioner

Når man skal definere styrkepositioner indenfor biobaserede byggematerialer, er det relevant at se på hele materialets livscyklus. Der er på nuværende tidspunkt i Danmark både aktører indenfor dyrkning og forarbejdning af biomasse (dog kun få), produktion af biobaserede byggematerialer, leverandører af udenlandske biobaserede produkter, vidensinstitutioner, samt aktører indenfor affaldssortering og genanvendelse, som er relevante at tage i betragtning, når de danske styrkepositioner vurderes.

Sammenlignet med andre europæiske lande som Frankrig, England, Holland, Tyskland og Belgien, produceres og anvendes biobaserede byggematerialer i Danmark i mindre grad. Der er de seneste år udført flere internationale projekter med partnere fra flere europæiske lande: Grow2Build arbejder med anvendelsen af hør og hampefibre i byggematerialer (Grow2Build, 2018); ISOBIO har udviklet og gennemtestet sandwich-vægelementer bestående af hampebeton som isolering til både indvendig og udvendig brug (ISOBIO, 2018); Sustainable Bio & Waste Resources project for Construction (SB&WRC) udvikler byggematerialer baseret på affalds- og sidestrømme fra landbrugssektoren (SB&WRC, 2018). Projekter som disse er med til at sætte fokus på emnet samt at fremme partnerskaber på tværs af landegrænser og faggrupper, og det er derfor essentielt at danske aktører i fremtiden kommer med som partnere på flere af denne slags projekter.

De nedenstående punkter giver et overblik over danske styrkepositioner samt over områder, hvor manglende indsatsområder nemt vil kunne omdannes til en styrkeposition.

Styrkepositioner:

- *Arkitektur:* Vi har i Danmark mange fremstående arkitektvirksomheder, som i de seneste år har fået fokus på bæredygtighed indenfor byggeriet både i forhold til genanvendelse, men også anvendelse af fornybare ressourcer.
- *Affaldssortering og genanvendelse:* Et stort potentiale for eksport af danske løsninger inden for affaldssektoren på ca. 4 mia. (i 2015) er blevet identificeret (DAKOFA, 2017). Dette bliver yderligere fremhævet i (Regeringsgrundlag\_Marienborgaftalen, 2016), hvor

den nuværende regering udtrykkeligt nævner, at der skal prioriteres midler til indsatsen til MUDP til blandt anden demonstrationsanlæg, så Danmark fortsat kan være foregangsland indenfor miljøtekniske løsninger.

- *Værktøjer og certificeringer til vurdering af miljøbelastninger:* LCAByg er et værktøj som til livscyklusvurderinger for bygninger (miljøprofil, ressourceforbrug etc., se f.eks. Figur 7). Det er relevant at udvikle LCA værktøjer i retning af, at de kan sammenholdes med forudsigelser i den teknologiske udvikling, således at der tages højde for, at de traditionelle materialer, som de nye biobaserede sammenlignes med, har haft tid til at modnes og blive mere effektive over tid. DGNB er en certificeringsordning der bygger på en helhedsorienteret forståelse af bæredygtighed. Det betyder, at man med DGNB ikke blot evaluerer et byggeri eller et byområde ud fra, fx hvor miljømæssigt bæredygtigt det er, men også ud fra, hvor socialt og økonomisk bæredygtigt det er, hvilket vil være relevant ved indførelse af biobaserede byggematerialer.

Forslag til handlinger, som vil kunne omdannes til styrkepositioner:

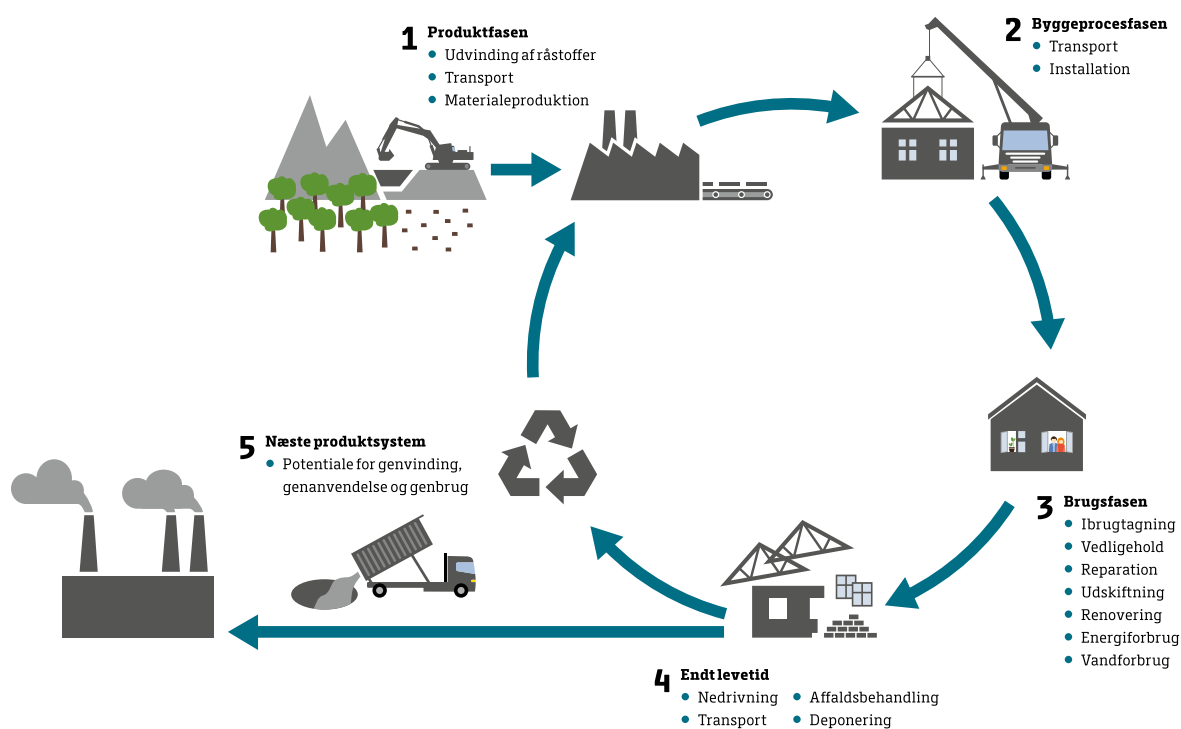
- *Oplysning:* For at Danmark kan være foregangsland indenfor udvikling af biobaserede byggematerialer, er det vigtigt, at man sikrer tilstrækkelig oplysning om emnet til befolkningen og særligt aktører indenfor byggebranchen. Der skal være tilstrækkelig viden til, at lave en vurdering af, om der er et alternativt biobaseret produkt på markedet samt om produktet lever op til de ønskede krav.
- *Uddannelse:* Øget oplysning om anvendelsen af biobaserede byggematerialer kan f.eks. komme gennem uddannelse af fagfolk. Dette gælder for alle niveauer i byggebranchen, altså både håndværkere, konstruktører, ingeniører, arkitekter og bygherrer. Der er tendens til at der i høj grad anvendes kendte udførelsesmetoder og materialer, eftersom man kender deres holdbarhed, ved hvordan man arbejder med materialet etc.
- *Forskning:* Forskning indenfor nye biobaserede materialetyper vil udfolde mulighederne for nye byggematerialer med særlige egenskaber. Før nye produkter introduceres til markedet, er det vigtigt, at kunne dokumentere løsningernes egenskaber på såvel kort som lang sigt. Der er behov for karakterisering af materialeegenskaber og en bedre forståelse af materialernes langtidsegenskaber i forhold til den givne anvendelse. Der bør etableres en forskningsbaseret beskrivelse og afgrænsning af træ- og biobaserede byggematerialer.
- *Demonstrationsbyggerier:* Der er behov for systematisk afprøvning af nye materialer og løsninger i blandt andet demonstrationsbyggerier, hvor bygbarhed, ydeevne og udførelsesteknikker kan afprøves i fuldskala.
- *Strategi:* De seneste år er der kommet øget fokus på Cirkulær Økonomi, et fokus som i høj grad omfatter byggebranchen og relaterede aktører (Besenbacher, 2017). Der peges her bl.a. på samarbejder mellem de forskellige aktører i byggeriet, lige fra producenter til affaldsbehandlere, så man betragter hele materialets/byggeriets levetid i stedet for blot de enkelte dele hver for sig. For at Danmark kan blive et foregangsland inden for biobaserede byggematerialer, er en national strategi nødvendig for at fremme udviklingen.

### 3.3 Miljø og klimaudfordringer og -potentialer

I det samfundsmæssige fokus på reduktion af energiforbrug, CO<sub>2</sub>-udledning og andre negative miljøkonsekvenser fra produktion og drift spiller byggeriet en meget stor rolle, og har derfor har stort potentiale til at bidrage med forbedringer.

De seneste årtier, har der i byggesektoren været fokus på energiforbrug i bygninger, og en række stramninger i kravene til energiforbrug i nybyggeri har medført, at driftsenergi til opvarmning, ventilation og køling er blevet reduceret ganske betydeligt. Nu rettes opmærksomheden mod byggematerialernes indlejrede energiforbrug og miljøpåvirkninger som en mulighed for i de kommende år fortsat at øge byggesektorens bæredygtighed (Birgisdóttir & Rasmussen, 2015). Det er yderst relevant at få undersøgt potentialet for hvor langt man eventuelt kan komme i forhold til miljø- og klimabelastning ved at substituere de traditionelle byggematerialer med biobaserede.

Når miljøudfordringer og potentialer ifm. byggematerialer fastlægges, er det vigtigt at tage hele materialets livscyklus i betragtning. Se Figur 8, som illustrerer de forskellige faser i byggeriet.



Figur 7: Bygningens livscyklus med livscyklusfaser som defineret i CEN/TC 350-standarderne (Birgisdóttir & Rasmussen, 2015)

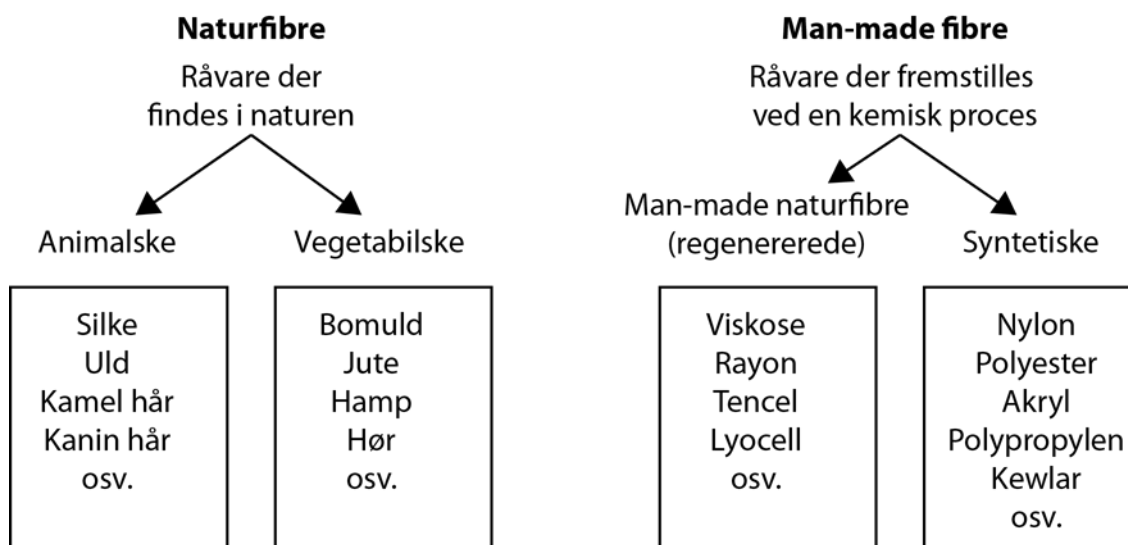
- *Energiforbrug til produktion:* De enkelte materials energiforbruget forbundet med (1) produktionen indebærer råvareudvindingen, transport og selve materialeproduktionen. Hvor produktionen af traditionelt anvendte byggematerialer såsom beton, stål, mursten, mineraluld etc. har et højt energiforbrug og dermed udskiller store mængder CO<sub>2</sub> pga. opvarmning/brænding, er det muligt at producere biobaserede byggematerialer, som er

langt mindre skadelige for miljøet. En anden fordel ved at anvende fornybare ressourcer som byggematerialer er, at materialerne ofte kan dyrkes lokalt, hvilket mindsker miljøbelastningen ift. transport.

- *Energiforbrug til drift:* Energiforbruget til bygningsdrift (baseret på krav i bygningsreglementet) har været støt faldende siden de første krav blev fremsat i 1961. Energiforbruget ved drift har nu nået et så lavt niveau, at der i højere grad også bør fokuseres på den samlede miljøbelastning over hele byggeriets levetid (Birgisdóttir & Madsen, 2017). Dette inkluderer altså, udover produktionen, belastninger såsom transport, opførelse, vedligehold, bortskaffelse og genanvendelse, som udgør en væsentlig del af den samlede miljøbelastning, og som i mange tilfælde overstiger miljøbelastningen for drift (Birgisdóttir & Madsen, 2017). Miljøbelastningen afhænger altså derfor både af det specifikke produkt, men også dets forhistorie, altså hvor og hvordan det er produceret.
- *Tekniske egenskaber og tilsætningsstoffer:* Biobaserede byggematerialer kan variere iht. mekaniske, fysiske og udseendemæssige egenskaber. Derudover kan visse materialer være med udsatte for biologiske angreb, mindre resistente overfor brand og mere tilbøjelige til at blive nedbrudt ved eksponering for UV-lys. Eftersom nogle biobaserede materialer ikke er naturligt resistente overfor brand, tilsættes der ofte brandhæmmende midler. Også fibre der anvendes som fiberarmering i beton bør modificeres for at forbedre holdbarheden af fibrene i det basiske miljø. Der forskes i forskellige teknikker, bl.a. ved coating af fibrene for at reducere absorptionsevnen.
- *Affaldssortering og genanvendelse:* Bio-kompositmaterialer kan blive en udfordring at affaldsbehandle/genanvende, eftersom de består af flere materialer hvoraf alle ikke nødvendigvis er biobaserede. Den klare fordel ved de rene biobaserede materialer og biokompositter udelukkende produceret af biobaserede materialer, er, at de er nemmere at adskille fra de øvrige komponenter, genanvende og i sidste ende kompostere. Hvis kompositterne imidlertid både består af biobaseret materiale og ikke-biobaseret materiale kan de være svære at adskille/genanvende/kompostere og skal forbrændes, behandles eller deponeres.

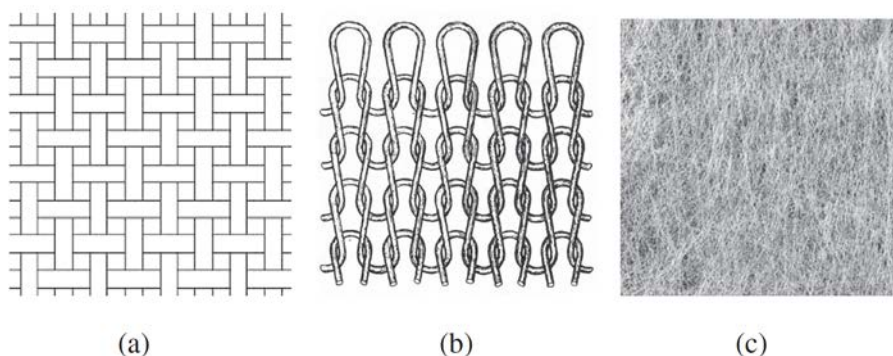
#### 4. Tekstiler

Tekstile materialer består af fibre, der vha. forskellige forarbejdningsprocesser og tekstile produktionsteknikker forbindes med hinanden. Tekstil fibre kan bestå af enten naturfibre eller menneskeskabte fibre, de såkaldte man-made fibre. Begge fiber typer kan være biobaserede og bestå af natur-polymererne kulhydrater eller proteiner (fx naturfibrene bomuld og uld eller man-made regenereret cellulose, som i dag overvejende fremstilles af træcellulose). Derudover kan man-made fibre fremstilles af syntetiske polymerer (fx polyester og nylon). Uanset om fibre er naturlige eller man-made, er processering af fibre ressourcekrævende; naturfibre skal dyrkes, renses, sorteres og "ensrettes" (kortes), mens polymererne til man-made fibre kræver råstoffer som skal raffineres eller produceres, inden de kan benyttes til fiber-fremstilling. Figur 8 giver et overblik over de forskellige fibre.



Figur 8: Klassificering af tekstile fibre.

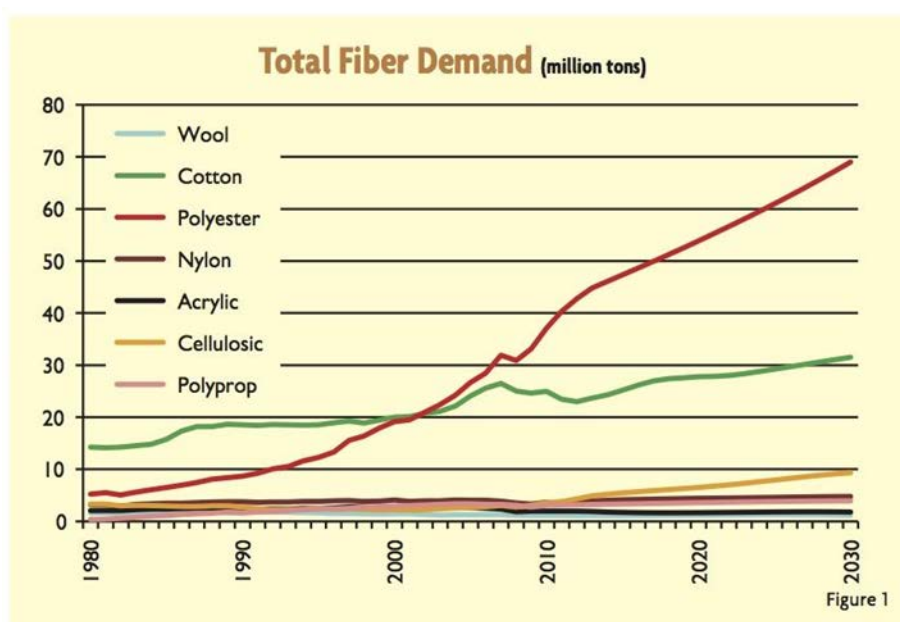
Tekstiler kan fremstilles på forskellige måder. De tekstile fibre kan spindes eller ekstruderes til garn, der forarbejdes til tekstil, ved for eksempel strikning eller vævning; fibrenes retning er her ordnet og defineret. Dette er i modsætning til fiber-måtter, der betegnes non-woven, hvor tekstilet er dannet af fibre i mere eller mindre tilfældig orden. Fibermåtter kan dannes ved at eksisterende fibre anbringes i lag, ved for eksempel air-layering eller wet-layering, eller ved at fiberlaget dannes i forbindelse med at fibre fremstilles, ved for eksempel smelte-spinding, centrifugal-spinding eller elektro-spinding. Fibermåtter bearbejdes til sammenhængende non-woven flader enten ved pres og opvarmning og/eller ved at tilføje et bindemiddel. Figur 9 viser tre typer tekstiler. Tekstiler anvendes indenfor en lang række områder såsom beklædning, bolig, tekniske tekstiler fx til filtrering af væsker eller partikler og industrielt i eksempelvis biler, geotekstiler, emballage, fiskenet og bleer/bind. Tekstiler kan tilføres forskellige egenskaber fx vandafvisende, flammehæmmende eller kombineres med elektronik til såkaldt smarte tekstiler, ligeledes kan de indgå i fiber-kompositter.



Figur 9: Tekstil: a) vævet, b) strikket og c) nonwoven/ikke-vævet

#### 4.1 Markedspotentialer

Globalt set forventes efterspørgslen efter fibre til tekstilproduktion at stige fra 80 mil tons til 110 mil tons i løbet af de næste 10 år, bla. grundet højere levestandard i BRIC landene (Textile World 2015). I Europa, er forbruget domineret af bomuld, polyester, polyamid og akryl (Beton et al. 2014). For beklædning er fordelingen mellem fibertyper ca. 62% naturfibre (44% bomuld, 9% uld, 8% viskose) og 38% syntetfibre. Til boligformål er fordelingen ca 34% naturfibre (hovedsageligt bomuld) og 66% syntetfibre (Beton et al. 2014). Produktionen af cellulose-baserede man-made fibre (fx viskose) viser en stigende tendens efter at produktionen har været faldende i nogle år (Textile World 2015).



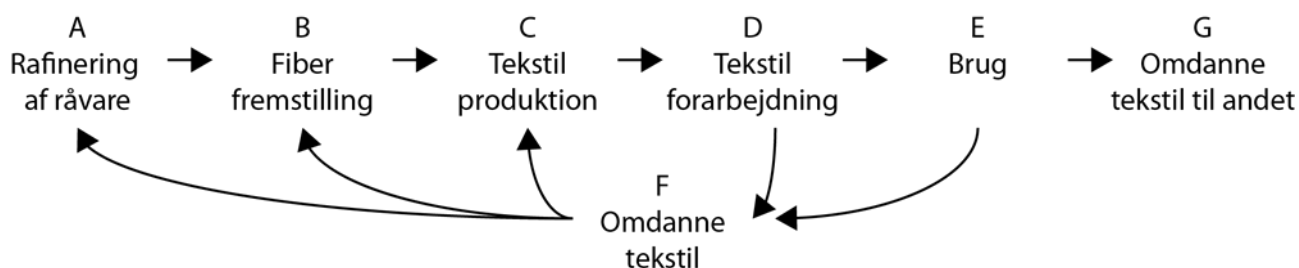
Figur 10: Global fiber efterspørgsel, figur baseret på data fra det britiske PCI Fibres i deres fremskrivning til 2030 (Textile World 2015)

Tekstil og beklædning er verdens anden største økonomiske aktivitet (\$353 milliarder i 2001) (Retail Forum for Sustainability 2013). Ellen MacArthur Foundation skriver at mens salget af tøj stiger falder udnyttelsen af tøjet kraftigt, målt som antallet af gange tøjet bliver vasket (Ellen MacArthur Foundation 2018). Textileworld forudsiger en stigning i den globale efterspørgsel efter tekstilfibre, se figur 10. Fra 2014 til 2030 forventes mængden af man-made fibres (både naturlige og syntetiske) at stige fra 55 mil tons til 80 mil tons mens tilvæksten i naturlige fibre går fra 25 mil tons til 30 mil tons (Textile World 2015). Tøj og tekstiler er lige efter mobilitet, fødevarer og boliger det europæiske forbrugsområde, der udgør den største miljøbelastning (Watson 2018). Både økonomisk og miljømæssigt er det mest fordelagtige at anvende non-woven, da det stiller mindre krav til fiberen og kan laves ved en simplere produktionsproces. Det er dog normalt ikke muligt at opnå de samme tekniske/funktionelle egenskaber og æstetiske udtryk ved non-woven, som ved strikkede og vævede tekstiler, herunder træk- og slidstyrke.

## 4.2 Danske styrkepositioner

Tekstiler bør betragtes i bredeste forstand. Ud over vævede og strikkede stoffer til beklædning og interiør, samt de tekniske tekstiler, så er der en stor gruppe af nonwovens i industri- og sundhedssektoren samt privatforbrug. De anvendes fx til diverse filtre, taginddækning, fiberkarklude, engangs-overtrækstøj, lagner, bleer/bind/servietter etc. Derudover anvendes fiber/tekstil materialer i fiber-komposit produkter fx laminater og syntet-"læder".

Når der ses på markedspotentiale for tekstiler af man-made naturfibre bør man derfor se på de enkelte dele af værdikæden, som er illustreret i figur 11. I Appendix er der en oversigt over danske aktører med en indikation af hvilken del af værdikæden de bidrager til.



Figur 11: Værdi-kæden for tekstiler. A: Raffinering af råvare (dyrehår og planter til naturfibre, råolie til polymerer / man-made syntetfibre og bio-råvarer til man-made naturfibre). B: Fremstilling af tekstile fibre og garn ud fra råvarer. C: Fremstilling af tekstiler (metervare). D: Tekstil forarbejdning (tilskæring og syning). E: Brug, herunder serviceordninger. F: Omdannelse/genanvendelse af tekstiler til en anden form for tekstiler. G: Omdannelse af tekstiler til andet.

Produktionen af naturfibre kan ikke øges særligt meget globalt, da det vil indvirke på fødevarer produktion, man taler derfor om et såkaldt fiber-gab, hvor der ikke er fibre nok, og det vil formentlig blive løst ved at øge produktionen af fossilbaserede syntetiske fibre og recykling af indsamlet tekstilmateriale. Der er imidlertid et alternativ i form af man-made naturfibre, som er fibre, der fremstilles af vegetabiliske eller animalske bio-ressourcer ved at nedbryde massen kemisk for herefter at lave den om til sammenhængende fibre. En velkendt man-made naturfiber er viskose, der typisk laves af træ. Her er der sket en enorm teknisk udvikling de sidste 20 år, således at en stagnerende produktion nu er vendt til en stigning. Den tekniske udvikling gør det nu realistisk at udnytte mange flere forskellige bio-ressourcer.

Produktionen af naturfibre (uld, hør, hamp) er meget lille i Danmark, men der er store mængder bio-ressource i form af affaldsprodukter og side-streams, som kan anvendes til man-made naturfibre i non-wovens, spindes og væves eller strikkes til tekstiler samt anvendes som hjælpematerialer i fx backing på gulvtæpper og fiberkompositter. Danske producerende tekstilvirksomheder har stor ekspertise i at anvende både naturfibre, man-made naturfibre og syntetiske fibre, men der er næsten ingen primær produktion af fibre. For at udnytte de danske bio-ressourcer fra primær produktion,

sidestrømme og affald til produktion af man-made naturfibre, kan der etableres partnerskaber med producenter i eksempelvis vores nordisk nabolande eller i Tyskland/Østrig/Schweitz, hvor der er stor erfaring i denne form for produktion, dog hovedsageligt baseret på træ. De danske bio-ressourcer som fx halm og græs kan være lettere at raffinere end træ grundet en anderledes kemisk komposition og nye fiberproduktionsteknikker kan gøre dem til en attraktiv råvare for fiberproduktion. Der findes en masse spredt viden i Danmark om udnyttelse af bioressourcer til fiberproduktion i form af biorrafinerings forsknings- og howhow området (Gylling et al. 2016), som vil kunne udnyttes til at muliggøre dansk fiberproduktion. Også indenfor modeverdenen er der interesse for øget brug af man-made naturfibre hvilket bl.a. ses i Bestsellers brug af TENCEL (Bestseller 2018) og deres samarbejde med Pond om stivelsesbaserede bio-polymer fibre (Haa 2018). Et nyt EU direktiv om indsamling og sortering af tekstilaffald træder i kraft fra 2025, derved øges incitamentet for at finde økonomisk attraktive anvendelsesområder for denne type affald såvel som andre af de ovenfornævnte alternative råstoffer fra side-streams i landbrug og industri. Her har Danmark en stor styrke indenfor innovation og design, som bør udnyttes. Udfordringen ligger dels i at etablere den nødvendige viden, i at sikre at offentlige politikker ikke favoriserer brugen af ressourcerne som energi samt sikre at den nødvendige infrastruktur er til stede.

Tekstiler anvendes også indenfor kompositmaterialer, og her kan man-made naturfibre sammen med bio-resiner på sigt udgøre et alternativ til fossilbaserede fiberkompositter, i første omgang nok til anvendelser hvor der ikke er høje performance krav, eksempelvis interiør i biler, bygninger fx plader til vægbeklædning og akustisk regulering og møbler. En række komposit-fremstillings virksomheder såsom Bodotex, House-of-composites samt Vestas og Siemens har gennem en længere årerække opbygget en vægtig knowhow og en del af dem er repræsenteret i Plastindustriens komposit-sektion (Plastindustrien 2018). Markedet for fiberforstærkede kompositter forventes at stige grundet bl.a. ønsket om lettere produkter. Langt hovedparten af kompositmaterialerne er fremstillet med glasfiber eller kulfiber. Fremtidens kompositter må forventes at blive underlagt krav om miljøvenlig genanvendelse, så der er stor interesse i at anvende naturfibre, ikke mindst begrundet i mulighederne i at reducere brugen af fossile råvarer og for kontrolleret bionedbrydning ved bortskaffelse. Der er dog aktuelle udfordringer i at styre den tekniske kvalitet af naturfibre, herunder sikre en lang levetid.

Det er væsentligt at en øget brug af bio-ressourcer til fibre og tekstiler sker på en bæredygtig måde. Ved brug af LCA-metoder er det essentielt at medtage brugs- og bortskaffelsesfaserne, da vask og tørring for beklædningstekstiler vejer tungt og muligheden for biologisk nedbrydning er væsentlig for engangstekstiler såsom bleer og klude.

### *Cases*

- I Danmark har den Aalborgensiske produktions-virksomhed Fibertex en produktion af durable og disposable nonwovens. Især disposable nonwovens fremstilles som man-made naturfibre på cellulosebasis. Fibertex forventer at en dansk biprodukt/sidestream raffineret cellulose vil kunne anvendes til sådan produktion (Fibertex 2018).



- Egetæpper producerer gulvtæpper, som typisk er opbygget af et overfladelag i polyamid eller uld og en backing i form af en non-woven og gummi-lignende belægning, der skal sikre facon og skridsikkerhed. Der er interesse i at undersøge om bio-baserede sidestrømme kan anvendes til en nedbrydningsvenlig og recirkulerbar backing (Egetæpper 2018).
- Det Aalborgensiske møbeltekstilfirma Gabriel anvender i dag viskose man-made fibre i den bærende kædefiber i nogle af deres møbelstoffer (Gabriel 2018).
- Really er en genbrugsvirksomhed knyttet til tekstilfirmaet Kvadrat, med fokus på at genoparbejde brugte bomuld og uld tekstiler til non-woven fibermåtter, der bl.a. bruges til stive plader og akustikpaneler (Really 2018b; Really 2018a). De recirkulerede naturfibre sammenbindes med en plastbinder, og noget tilsvarende vil formentlig kunne gøres med man-made naturfibre.
- Bestseller er et af de største mode og beklædningsfirmaer i Danmark, som producerer og sælger tøj under en række forskellige brands. I samarbejde med det Aarhusianske startupfirma Pond arbejder de på at udnytte biorrafineret stivelse til tekstilfibre (Haa 2018).

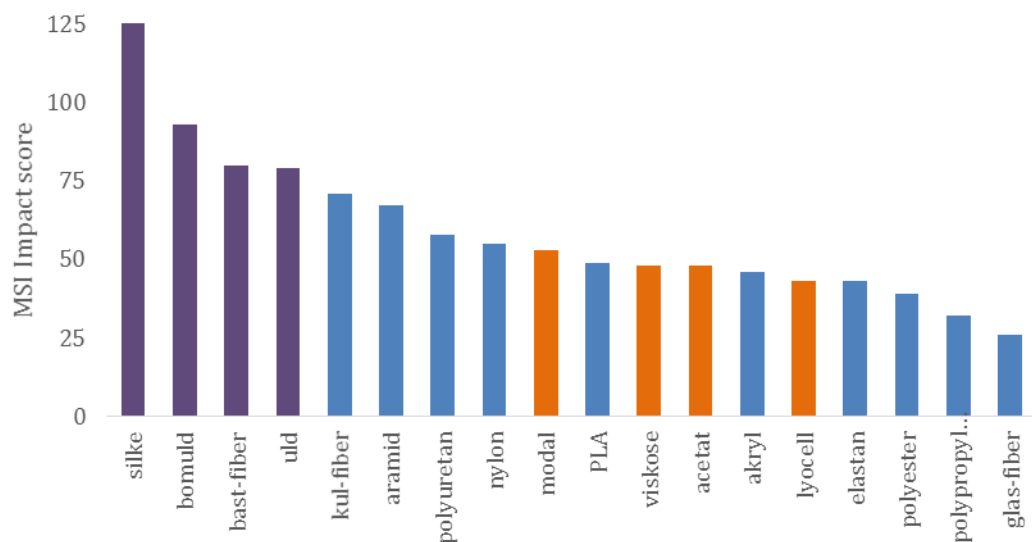
#### 4.3 Miljø- og klimaudfordringer og -potentialer

Tekstilbranchen er en af de mere miljøbelastende brancher (Laitala et al. 2018). Miljøbelastningen i de forskellige livsfaser afhænger af et væld af faktorer; materialer, anvendelse, geografisk placering, regionale forskelle i affalds-håndtering, etc. Miljøbelastningen ved europæernes tøjforbrug er opgjort i EU rapporten IMPRO – Textiles (Beton et al. 2014). For beklædning, i livscyklus perspektiv, finder en overvejende andel af miljøbelastning sted i produktions-fasen (40-70% afhængig af hvilken miljøparameter der ses på) og brugsfasen (30-50%), mens bidraget fra henholdsvis transport af tekstiler, og fra “end-of-life”-fasen er ganske begrænset i forhold til bidraget fra produktions- og brugsfase. EU's medlemslande vedtog i 2018 ambitiøse mål for affaldslovgivningen, som skal støtte op omkring EU's bredere politik indenfor cirkulær økonomi, og en ambition er, at affaldstekstiler skal indsamles separat fra 2025 (EU kommissionen 2018).

Miljøbelastning ved fremstilling af forskellige tekstile materialer er bl.a. vurderet i MSI (material sustainability Index) databasen. Opgørelse af samlet miljøbelastning foretages af SAC (Sustainable Apparel Coalition), og publiceres i det såkaldte Higgs-index, der er en forsimpning af konventionel LCA-metodik (Sustainable Apparel Coalition 2018; Laitala et al. 2018). Databasen opdateres jævnligt, men man bør dog være opmærksom på at SAC finansieres af medlemmerne og derfor ikke kan siges at være neutral. I den aktuelle version indgår 79 materialer, med mange muligheder for at modificere outputtet, afhængig af information vedrørende fremstilling. I figur 12 vises relativ miljøbelastning for 22 hyppigt anvendte materialer. Det generelle billede er at naturmaterialer har en markant højere negativ miljøbelastning end fremstillede man-made fibre, af biopolymer såvel som af syntetisk polymer.

Higgs indekset skal dog bruges forsigtigt, idet det kun siger noget om selve materialet og ikke medtager miljøbelastningen fra for- og efterbehandlinger af tekstiler herunder farvning, vandafvisning og flammehæmning samt de efterfølgende livscyklusfaser (Laitala et al. 2018). Der er

en ret stor miljøbelastning ved at fremstille strik/væv stof, da der benyttes en del energi-, vand- og kemikaliekrævende hjælpeprocesser (Koc & Çinçik 2010). For beklædningstekstiler er tilsmudsning og dermed vask og tørring miljømæssigt meget væsentligt ligesom det har stor betydning hvor lang tid et produkt bruges. Muligheden for biologisk nedbrydning er væsentlig for engangstekstiler såsom bleer og klude.



Figur 12: Higgs-index der viser relativ miljøbelastning ved fremstilling af forskellige tekstile materialer (Sustainable Apparel Coalition 2018). Lilla søjler: Naturfibre, Blå søjler: syntetiske fibre, Orange søjler: man-made naturfibre. OBS: vær opmærksom på at indekset kun medtager materialefasen.

## 5. Råvaregrundlaget

Bioplast, biobaserede byggematerialer og biobaserede tekstiler har det i det store hele sammenfaldende mulige råvaregrundlag: dedikerede dyrkede vegetabiliske råvarer (mark, skov, hav) og biologiske side- og rest strømme fra andre industrier samt organisk affald (fra husholdninger eller spildevand). I forhold til biobaserede tekstiler er der også en mindre produktion af animalske fibre.

### 5.1 Dedikerede dyrkede råvarer

Ud over træ til byggeri er vegetabilisk produktion med det primære formål at producere råmaterialer til bioplast, biobaserede byggematerialer eller biobaserede tekstiler er begrænset i Danmark. Den nationale produktion af træ til byggeriet udgør ca. 30% af forbruget. Ifølge Det Europæiske Miljøagentur (European\_Environmental\_Agency, 2018) udnytter vi i Danmark omkring 40% af det træ vi dyrker. Eksportlande for trævarer som f.eks. Sverige, Finland, Rusland udnytter omkring 50-80% af den årlige tilvækst, hvilket betyder at skovarealerne i flere europæiske lande vokser og at der derfor er god mulighed for at øge udbuddet af træ på en bæredygtig måde (Træ, 2018b). Mærkningsordninger som FSC og FEFC er med til at sikre en bæredygtig dyrkning.

Traditionelt dyrkes hør og hamp med henblik på produktion af fibre til tekstiler, byggematerialer eller biokompositter i Danmark, men produktionen er meget lille. En række danske projekter har adresseret potentialet for udnyttelse af lokalt dyrket hamp, til tekstile eller isoleringsmæssige formål. Teknologisk Institut samarbejder med en række firmaer om et koncept til produktion af bæredygtige hampe-tekstiler (Pallesen 2017; Pallesen 2016). Aktuelt udnyttes hampefiber biprodukt til airlaid vækst- og isolerings-måtter i begrænset skala (Advanced\_Nonwoven 2018). I Europa produceres der årligt omkring 85.000 tons hamp (i år 2013), hvoraf Frankrig er klart førende (Carus, 2016). Af de 85.000 tons udgør ca. 25.000 tons fibre hvoraf 26% anvendes til isolering, og 43.000 tons skæver, hvoraf ca. 16% anvendes til andre byggematerialer (hampe-kalk kompositter). Danske Hempcrete importerer hampeskæver fra Frankrig til produktion af hampe-kalk kompositter til isolering og Advance NonWoven producerer isoleringsmåtter af hampefibre. Begge produkter produceres dog kun i begrænset skala og forudsætningen for dansk produceret hamp er, at der er et marked. Ifølge (Pallesen, 2010) synes økonomien ved at dyrke hamp at være gunstig for de få landmænd der har fået en produktion i gang og miljøprofilen skønnes at være bedre end bomuld og kunne komme tæt på polyester (Pallesen, 2016). Tidligere var der en stor produktion af hørfibre til tekstil i Danmark, men efter at vi kom med i EU i 1972 var konkurrencen for hård fra Beneluxlandene, Frankrig og Rumænien, der har en meget effektiv produktion. Da både hamp og hør er mere nøjsomme og har en bedre klimarobusthed kan dyrkning i Danmark dog vise sig at være fordelagtig.

## 5.2 Industrielle sidestrømme

Det er relevant at se på forskellige sidestrømme (f.eks. fra skovbrug eller landbrug) til oparbejdning af plantefibre til brug i biokompositter. Sådanne processer vil sikre en relevant ressourceudnyttelse, idet lav-værdi strømme anvendes til nye materialer i bioøkonomien. Sidestrømmene kan også raffineres til biopolymerer og f.eks. udnyttes til bioplast eller man-made fibre i tekstiler. Dette vil kunne ske ved at udnytte eksisterende udenlandske produktions-faciliteter. Der er national viden og know-how om bioraffinering på bl.a. Teknologisk Institut, de bioteknologiske forskningsmiljøer på universiteterne og de i de virksomheder, der i dag forarbejder bio-affalds og sidestrømme.

Fra en række eksisterende afgrøder er der mulige sidestrømme, der vil kunne udnyttes som råvare for man-made fibre. Udgangspunktet er den eksisterende vegetabiliske produktion, hvor der eksempelvis produceres græs svarende til ca. 740.000 tons protein (Hermansen, Mogensen, et al. 2017). Gennem en årerække er der pågået en del arbejde omkring udvinding af protein fra dansk dyrket græs til dyrefoder, som alternativ protein-kilde til soja. Græs-protein kan udvindes fra græs ved presning; biproduktet "presse-kagen" kan anvendes som kvægfoder eller til biogas-produktion. Presse-kagen indeholder 15-25% cellulose (tørstof), og andelen af lignin er begrænset (5-10% af presse-kagens tørstof-indhold), sammenlignet med træ, da græsset høstes på et relativt tidligt vækststadium, hvor lignificering endnu ikke er udpræget. Dette "presse-kage" biprodukt kan bruges til bioethanol (Hermansen, Jørgensen, et al. 2017) og er måske et egnet udgangspunkt for raffinering af cellulose til man-made fibre. Tilsvarende er der muligvis et man-made fiber potentiale i strå fra korn. Der produceres i dag korn svarende til ca. 880.000 tons protein (Hermansen, Mogensen, et al. 2017). En

anden mulig råvare er bælgfrugter (ærter/hestebønner) som biprodukt fra protein-fremstilling, men den aktuelle produktion er lav (Hermansen, Mogensen, et al. 2017). Energipil kunne også være en mulig råvare til man-made fibre, i 2010 var ca. 400 Ha tilplantet med pil (Larsen 2010).

Ved afskalning af kerner fra frø og korn genereres store mængder "klid" og skal-dele. Skal-dele/avner er et bi-produkt. Ud over at forarbejdes til human kost ("klid"), anvendes det til brændsel eller foderpiller. I Danmark er der, ud over en række mindre, 2 store mel-møller: Havnemøllerne (Lantmännen Cerealia) og Valsemøllen. Havnemøllen producerer nogle tusinde tons "klid-piller" årligt samt en mindre mængde "skaldelspiller" ved egne faciliteter (Cerealia 2018). Det er muligt, at denne klid fraktion kan være råmateriale til biomaterialerne.

Novopan anvender en betydelig del af det danske affaldstræ til spånplader. Ift. produktion af spånplader af andre biobaserede (rest)materialer er det ifølge Hastrup (Hastrup, 2018) økonomisk set svært for plader af materialer såsom tomatstængler, ålegræs, halm, græs og lignende at konkurrere med plader produceret af genbrugstræ. Dette skyldes det nuværende råvaregrundlag der er væsentlig mindre end råvaregrundlaget for genbrugstræ samt de i nogle tilfælde forringede mekaniske egenskaber. Man skal derfor i højere grad drage fordel af de spændende designmæssige udtryk, som adskiller sig fra traditionelle spånplader.

### *5.3 Organisk affald*

Fra fiskeproduktion kan der ekstraheres kollagen fra fiskeskæl, som vil kunne udnyttes til tekstilfibre (Umorfil 2018). Indenfor slagteriaffald/sidestrømme er der flere produkter, der i dag bruges til lavværdianvendelser men vil kunne opgraderes til højværdianvendelser. Eksempelvis vil keratin fra fjer gennem en kemisk raffinering kunne laves om til en fiber (Kammiovirta et al. 2016; Bonefeld 2018). Kitin fra reje- og krabbeskaller kan bruges som hjælpestof ved tekstilproduktionen (Teli & Sheikh 2012) til at syntetisere til fiber fx brugt i crabyon® (Swicofil 2018). Der er dog brug for mere forskning for at sikre høj fiberkvalitet og lav pris.

### *5.4 Strand-opskyl*

Der er store mængder såkaldt strand-opskyl langs Danmarks 7.200 km kystlinje, i million ton størrelsesorden. Det er problematisk at anvende strandopskyllet til food eller feed, da evt. forurening er ukendt. Grundig raffinering, for eksempel i forbindelse med udvinding af højværdistoffer, er påkrævet. Der anvendes betydelige ressourcer til strandrydning eksempelvis i Guldborgsund, der i 2016 brugte ½ million på at fjerne 12.000 tons opskyl, som efterfølgende blev kasseret. Strandopskyldet er vanskeligt at affaldshåndtere. Der har været forsøg med udnyttelse af strand-opskyl til biogas-produktion, men det er vanskeligt pga. højt indhold af salt. Strand-opskyl har potentiale som kilde til cellulose. Cellulose-andelen er i samme størrelsesorden (40-50%) som træ, men fraktionens kemiske opbygning er "simplere", pga. meget lavere lignin-indhold. Raffineringsprocessen, må derfor forventes at være mindre bekostelig og omstændig end traditionel pulpning af træ-cellulose. På globalt plan er vækst af flydetang et tiltagende problem (Langin 2018), hvor

bekæmpelse og oprydning er stadig større økonomisk udgift. Knowhow for høstning, raffinering og udnyttelse af strand-opskyl har potentiale til at blive en dansk eksportvare.

Tidligere blev ålegræs systematisk “høstet”, med henblik på anvendelse til tagdækning. Denne praksis med høstning er indstillet, for at skåne havmiljøets fauna. Ålegræs kan i stedet høstes fra strand-opskyl og anvendes i dag til tagtækning samt isoleringsmåtter, hvor det naturlige saltindhold er en positiv faktor, da det virker som brandhæmmer (Pallesen 2018).

### *5.5 Animalske fibre i tekstilproduktion*

Der produceres årligt ca. 140.000 får (Hansen et al. 2014), men det er kød-får eller græsningsfår (naturpleje), som ikke producerer specielt fiberegnet uld. Ved efterspørgsel af fibre vil der kunne sættes på andre fåre-racer og desuden udnyttes fåreuld fra Færøerne og Grønland. Der er en lille produktion af animalske naturfibre i form af dansk uld, herunder uldgarn fra erdebøllefåret (Uldfiskeriet 2018) og fra Hjelholdt Uldspinneri (Hjelholt 2018). Det danske modefirma Sandemann har et projekt, hvor de udnytter affaldsuld fra danske slagterier (Sandemann 2018). I Norge har et større forskningsprojekt fra 2015-18 fokuseret på udnyttelse af norsk uld (HIOA 2018). Danmark, Grønland og Færøerne har ikke afdækket eventuelle potentialer i den uudnyttede uld.

### *5.6 Bioraffinering af cellulose*

Cellulosen fra sidestrømme, affald og genbrug kan i mange tilfælde udnyttes hensigtsmæssigt til bla. fiberfremstilling. Vi har råvarerne her i Danmark, men har ikke tilstrækkeligt med ekspertise i bioraffineringen. I Europa har den østrigske fiber producent Lenzing været toneangivende og til dels markedsførende, med deres cellulose-baserede fibre; tencel, modal og viscose, siden 1950'erne. I Skandinavien er der stor interesse for at udvikle knowhow og produktion af bio-baserede man-made fibre. I Sverige med Renewcell initiativet, og i Finland med udvikling og opskalering af IonCell-F teknologi (Laine & Sinivuori 2018). Andre fremstillingsmetoder er i støbeskeen såsom Carbamat cellulose (VTT 2018) og keratin/cellulose-wetspuns (Kammiovirta et al. 2016). Perspektivet er at Danske firmaer gennem samarbejder med eksempelvis sådanne europæiske aktører kan opbygge en dansk ekspertise, så Dansk bioraffinering kan udvikles.

### *5.7 Mycelievækst*

På universiteterne er der undersøgelser af hvorvidt mycelieforstærket plantemateriale kan benyttes som en miljøvenlig erstatning af syntetisk skum i kompositmaterialer (Thomsen 2018). F.eks. dyrkes champignon og andre spisesvampe i dag i baller af halm eller hampe-strå (Skyttegården 2018), og efter sidste høst af svampe kan ballerne med det endnu levende svampemycelium sønderdeles og gro videre i en form hvorved den ønskede form af kompositten opnås. Forskning pågår også med at skabe byggeblokke bestående primært af mycelium (bl.a. initieret på DTU).

## 5. Kaskadeudnyttelse

Det er relevant og nyt at udnytte bioressourcer, dvs. alle typer biomasse og biologiske materialer, i en kaskade. I relation til biomaterialer kan defineres to typer kaskadeudnyttelse:

1) Bioprocesser, hvor der produceres biomaterialer fra sidestrømmene: Hvor de mest kostbare eller unikke dele udtrækkes fra materialet først (det kunne være sukker fra sukkerroer, eller stivelse fra forskellige typer korn-kerner og herunder f.eks. tillige øl produktion fra byg). Dernæst oparbejdes biprodukterne/sidestrømmene så der produceres andre produkter. Sådanne andre produkter kan være forskellige biokompositter, biobaserede tekstiler eller bioplast, der oparbejdes via forskellige metoder, herunder ved brug af forskellige konverteringsmetoder til nye materialer. Det anbefales at der prioriteres meget mere forskning i denne gren af kaskadeudnyttelseskonceptet ved at understøtte nye kombinationsprocesser såsom produktion af nye typer materialer fra sidestrømme. Der er allerede styrkeområder på universiteterne, især på DTU og KU og i samarbejdskonstellationer mellem disse og virksomhedsaktører (Innovationsfondsprojektet Assembly er et eksempel). Der er store potentialer i ny teknologiudvikling her med henblik på at opnå vækst via ny teknologiudvikling. De dele af råmaterialer, der ikke udnyttes hertil, de sekundære sidestrømme, kan evt. omdannes til slut til bioenergi. Således er kaskaden også en værdikaskade hvor bioressourcerne udnyttes maksimalt.

2) Processer hvor biologisk materiale omdannes til materialer direkte som første produkt. Det kunne være oparbejdning af f.eks. hampefibre eller hørfibre til tekstiler eller forskellige typer kompositmaterialer baseret på cellulosefibre. De dele og substanser som fjernes fra planten, herunder f.eks. bladene, og pektin og lignin kan søges udnyttet til andre produkter. Dette er både kaskadeudnyttelse og bioraffinering, og der mangler teknologiudvikling på dette område, som forventes at stige i takt med udfasning af konventionel plast.

På tekstilområdet er genbrug og recirkulering af ødelagte eller brugte/slidte tekstiler som en del af den cirkulære økonomi en mulighed. Der er tale om kaskadeudnyttelse, hvis tøj fremstillet af naturmaterialer bomuld, uld recirkuleres. Til visse typer tekstiler er bomuld flettet sammen med f.eks. nylonfibre så for at genbruge tekstilerne i recirkulering skal det prioriteres at udvikle helt nye strategier og teknologier til at re-processere blandt andet bomuld og bomuldsrester, som reelt er cellulose. Mange forbrugere er i de senere år blevet klar over, at tøjproduktion ikke er bæredygtigt og at bl.a. fremstilling af bomuld kræver store mængder vand i den nuværende produktion. På verdensmarkedet eksisterer mekaniske/maskinelle metoder hvor bomuldsrester rives op og presses til billige produkter (ikke tøj). Der er behov for udvikling af nye metoder, inklusive f.eks. biologisk baserede omdannelsesmetoder i genbrug og recirkulering af tøj og tøjrester, og især til at udvikle nye selektive metoder til fraktionering og reprocessering af tekstiler, der er flettet sammen af forskellige typer tråd såsom cellulose og nylon. Bioraffineringsmetoder, hvor bomuld og andre cellulosebaserede tekstiler kemisk opløses og bruges til at producere nye lange man-made fibre til højværdiprodukter vil også imødekomme den kritik der kommer fra tekstilindustrien, hvor den opkrattede bomuld er for kortfibret og ikke har tilstrækkelig kvalitet.

## 7. Opsummering, sammenligninger og konklusion

### 7.1 Markedspotentialer

Den samfundsmæssige bevægelse mod cirkulær økonomi, som blev sat i gang på europæisk plan i 2015 (COM, 2015) rummer store forretningsmæssige potentialer for danske virksomheder (Advisory Board for cirkulær økonomi, 2017) også indenfor biobaserede materialer. Transformationen fra lineær til cirkulær økonomi kræver et paradigmeskifte, og regeringens Advisory Board for cirkulær økonomi udtrykker en klar ambition om, at Danmark bliver et foregangsland i denne omstilling ved at gentænke den måde, vi designer, producerer og forbruger på. Regeringen arbejder på en strategi for cirkulær økonomi i Danmark, men denne endnu ikke er offentliggjort. Ellen MacArthur Foundation har tidligere udgivet to rapporter f.eks. (Ellen MacArthur Foundation, 2015a) som påpeger store muligheder i nye teknologier og forretningsmodeller for europæiske virksomheder som led i transformation til en cirkulær økonomi. Med Danmark som specifik case (Ellen MacArthur Foundation, 2015b), vurderes en intelligent omstilling af det danske samfund fra en lineær til en cirkulær økonomi at kunne give en årlig gevinst på op mod 45 mia. kr. i 2035.

De store, kommende markedspotentialer for bioplast, biobaserede byggematerialer og biobaserede tekstiler må forventes at ligge i at understøtte transformationen til cirkulær økonomi. Danmark har med nuværende viden og knowhow indenfor disse bio-materialer (beskrevet i de foregående kapitler) mulighed for at udvikle sig til en vægtig international spiller i forhold til knowhow og teknologiekspertise. Ikke mindst i samarbejde med de øvrige nordiske lande. I en tid, hvor cirkulær økonomi i stigende grad sætter dagsordenen, er det naturligt at betragte markedspotentialet for de forskellige biobaserede materialer i den kontekst (se Tabel 3).

Nordisk Ministerråd har netop udgivet et strategisk program for at styrke den nordiske bioøkonomi i de næste 5 år (Nordic Council of Ministers, 2018). I programmet foreslås at fokusere på vidensdeling og strategiske partnerskaber, analyser og forskning, samt udvikling af politik på området. Fordi udgangspunkt og potentialer er forskellige i de nordiske lande fokuserer programmet på, hvordan landene kan fastholde og styrke den ledende position indenfor omdannelse af forskellige typer af biomasse til værdifulde og bæredygtige teknologier, produkter og eco-services, frem for at identificere eller fremme specifikke biomasse-værdikæder.

Nærværende notat peger på at den danske industri indenfor de hvert af de tre biobaserede materialer er ret fragmenteret og uden landsdækkende netværk. For at få det fulde udbytte af det nordiske program kan det være en fordel at samle og geare de danske aktører gennem støtte til dannelse af netværker og relevante partnerskaber, gerne på tværs af materialegrupperne.

En væsentlig styrkeposition er desuden, at der er betydende danske virksomheder med stor eksport indenfor alle 3 områder, som har afgørende indflydelse gennem design, udvikling og salg på hvilke materialer der anvendes i produkterne, også selvom selve produktionen i nogle tilfælde foregår i andre lande.

Tabel 3: Opsummering af markedspotentiale

	Generel markedstendens	Markedspotentiale bio-materialer
Plast	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktionen af plast er stigende på verdensplan.</li> <li>• Markedet for engangspast er generelt under omstilling (faldende) med afsæt i politiske midler og frivillige initiativer.</li> <li>• Politisk og folkelig fokus på problematikken med plast i naturen især havene kan ændre den generelle adfærd i forhold til brugen af traditionel plast</li> </ul>	<p>Bioplast:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Efterspørgslen efter genbrugeligt eller bionedbrydeligt plast forventes at stige i takt med transformation mod cirkulær økonomi</li> <li>• Bioplast er p.t. dyrere at fremstille end traditionel plast. Der er et stort forretningspotentiale i at udvikle nye produktionsmetoder, bioplast typer og produkter med egenskaber, som støtter op om den cirkulære omstilling, og som prismæssigt matcher traditionel plast.</li> </ul>
Byggematerialer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Der vil i de kommende år være stor efterspørgsel efter byggematerialer både til nybyg og renovering (nationalt som internationalt)</li> <li>• Byggebranchen er en af de brancher, som af Ellen MacArthur Foundation (2017) blev udpeget til at have størst potentiale for vækst i Danmark i forhold til cirkulær økonomi.</li> </ul>	<p>Biobaserede byggematerialer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Potentialer ligger i at udvikle materialer og systemer, som støtter op omkring cirkulær økonomi så som nye teknologier til industriel produktion, inkluderende udvidelse af genbrug og høj-kvalitets genanvendelse af bygningskomponenter og materialer.</li> <li>• For biobaserede byggematerialer og systemer er holdbarhed og brandsikkerhed to iboende udfordringer. Der er store potentialer i at udvikle biobaserede byggematerialer og bygningssystemer, hvor holdbarhed og brandsikkerhed sikres uden anvendelse af miljøskadelige kemikalier, og hvor den cirkulære tankegang indarbejdes allerede i produktionsfasen.</li> </ul>
Tekstiler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Globalt set forventes efterspørgslen efter fibre til tekstilproduktion at stige ca. 40% i løbet af de næste 10 år.</li> <li>• Produktionen af cellulose-baserede man-made fibre (fx viskose) viser en stigende tendens</li> </ul>	<p>Biobaserede tekstiler:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Der er økonomisk og miljømæssigt potentiale i at udvikle non-woven produkter, som opnår samme tekniske/funktionelle egenskaber som strikkede og vævede tekstiler.</li> <li>• I forhold til cirkulær økonomi ligger der store potentialer i at udvikle teknologi til udvinding af man-fibre fra nye side- og reststrømme, og teknologi til at genanvende/udvinde fibre fra kasserede tekstiler, herunder bioraffinering.</li> </ul>

## 7.2 Danske styrkepositioner



Der er en rivende udvikling indenfor de biobaserede materialer i disse år. Danske virksomheder og forskningsinstitutioner er involveret, men der er potentiale og mulighed for meget mere. Indenfor hver af de tre materialegrupper i dette notat, er der peget på forskellige områder, hvor en fokuseret indsats kan skabe danske styrkepositioner. Disse er summeret på stikordsform i Tabel 4.

Tabel 4: Fokuseret indsats der kan skabe stærke danske styrkepositioner

	Bioplast	Biobaserede byggematerialer	Biobaserede tekstiler
Forskning/udvikling	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktionsmetoder</li> <li>• Innovative raffineringsmetoder og modifikation af biopolymerer (inklusive naturfibre)</li> <li>• Egenskaber og anvendelse</li> <li>• Kombinationsmaterialer: Biokompositter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Innovative materialer med nye egenskaber</li> <li>• Innovative byggesystemer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metoder til udvikling af man-made fibre</li> </ul>
Produktion og implementering	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infrastruktur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oplysning</li> <li>• Uddannelse</li> <li>• Demonstrationsbyggerier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Innovation og design</li> <li>• Produktion af man-made fibre</li> </ul>
Miljømæssige egenskaber	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioplast i cirkulær økonomi</li> <li>• Bioplast i substitutions-anvendelser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strategi, cirkulær økonomi</li> <li>• Værktøjer til miljøvurdering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forretningsmodeller og forbrugsmønstre i cirkulær økonomi</li> <li>• Værktøjer til miljøvurdering</li> </ul>

Processer til udvikling af nye fibertyper med designede egenskaber til forskellige formål kan udvikles til en dansk styrkeposition, som kan få afgørende indvirkning på alle tre materialegrupper, bioplast, biobaserede tekstiler og biobaserede byggematerialer. Produktionen af naturfibre kan ikke øges ubegrænset globalt, da det vil indvirke på fødevarerproduktion, og man taler derfor om et fiber-gab, hvor der ikke er fibre nok. Med afsæt i rest og- sidestrømme kan oparbejdning af naturfibre og udvikling af biobaserede, syntetiske fibre udvikle sig til danske styrkepositioner. Danmark har store kompetencer inden for f.eks. højteknologisk produktion, bioteknologi og affaldshåndtering, der kan være relevante som afsæt for denne udvikling.

### 7.3 Miljø- og klimaudfordringer og -potentialer

Der er et generelt opmærksomhed på miljøbelastningen (inkl. klima) for de tre materialegrupper plast, byggematerialer og tekstiler. For plast er det primært affaldsproblematikken, som er i fokus, og især forureningen af havmiljøet med plast. I takt med at energiforbruget i bygninger er faldet, får byggematerialernes betydning for byggeriets samlede energiforbrug og udledning af drivhusgasser øget fokus. For tekstiler er det generelt produktionsfasen, som er identificeret som den mest miljøbelastende. I forhold til miljøbelastningen generelt og til transformationen til cirkulær økonomi

er det dog nødvendigt at betragte hele livscyklus for hver af materialerne, og her er også rum til forbedring indenfor alle de tre materialegrupper.

Miljø-potentialerne for bioplast, biobaserede byggematerialer og biobaserede tekstiler ligger netop i muligheden for at møde udfordringerne der ses for de ikke bio-baserede materialer.

#### *7.4 Råvaregrundlag og kaskadeudnyttelse*

Bio-materialerne produceres ud fra specielt producerede afgrøder eller fra restmaterialer. I begge tilfælde vil der være konkurrence på markedet, enten til arealanvendelse eller brugen af affald til andre formål (f.eks. energiudnyttelse). Det er uhyre kompliceret og værktøjerne er ikke udviklet at vurdere, hvilken arealanvendelse eller anvendelse af affald, der er bedst for miljø og samfund i en global eller lokal kontekst. Sandsynligvis er der ikke et enten-eller svar, og eftersom potentialerne for bio-materialerne (såvel som fødevare og energiproduktion) ikke er fuldt udfoldede vil en sådan vurdering også ændres løbende.

Udvikling af robuste processer og teknologier til anvendelse af forskellige side- og reststrømme som råmateriale til produktion af bioplast, biobaserede byggematerialer og tekstiler kan danne fundament for en optimal udnyttelse af råvaregrundlaget. Kaskadeudnyttelse, hvor fødevareproduktion, bio-materialeproduktion og energiproduktion sammenholdes, kan sandsynligvis give den optimale udnyttelse af den biologiske ressource.

#### *7.5 Kort sammenfatning*

Afslutningsvis konkluderes, at de økonomiske og miljømæssige potentialer for bioplast, biobaserede byggematerialer og tekstiler er meget store, men potentialet er udfoldet og det teknologiske stade generelt præmaturt. Dette billede tegner sig i Danmark såvel som internationalt. Samtidig er en rivende udvikling i gang internationalt for at udvikle nye innovative materialer indenfor alle de tre biobaserede materialetyper.

De væsentligste mulige danske styrkepositioner tager afsæt i teknologiudvikling til produktion af nye biobaserede råmaterialer fra side- og affaldsstrømme, idet en sådan udvikling kan funderes i de eksisterende stærke nationale kompetencer indenfor højteknologisk produktion, bioteknologi, affaldshåndtering og miljøvurdering. Med afsæt i de nye råmaterialers egenskaber kan innovativ anvendelse af materialer og design af nye produkter udvikle danske styrkepositioner indenfor alle de tre biobaserede materialetyper.

## 8. Referencer

- Advanced\_Nonwoven, 2018. Natural fiber solution. Advanced Nonwoven. Available at: <http://www.advancenonwoven.dk/fiber.php> [Accessed August 15, 2018].
- Advisory Board for cirkulær økonomi (2017) *Anbefalinger til regeringen*
- Altinget. (2018). <https://www.altinget.dk/by/artikel/ingenioerer-saadan-sikrer-vi-et-staerkt-bygget-miljoe-i-fremtiden> . Visited 2018.08.17.
- Andersen, H.B. (2018) Kommunikation med Henrik B. Andersen, Group Technology Development Director, Færch Plast Group, Holstebro, 17/08/2018
- Besenbacher, F. (2017). *Advisory Board for cirkulaer økonomi. Anbefalinger til regeringen.*
- Bestseller, 2018. Sustainable product initiatives at Bestseller. Available at: <https://about.bestseller.com/sustainability/sustainable-product-initiatives> [Accessed August 13, 2018].
- Beton, A. et al., 2014. Environmental Improvement Potential of textiles (IMPRO Textiles), Available at: <http://europa.eu/>. [Accessed August 10, 2018].
- BioBasedPerformance. (2018). <https://www.biobasedperformancematerials.nl/en/bpm/Show/Icopal-develops-first-100-biobased-roofing.htm>. Visited: 2018.08.17.
- Birgisdóttir, H., & Madsen, S. S. (2017). *Bygningers indlejrede energi og miljøpåvirkninger.*
- Birgisdóttir, H., & Rasmussen, F. N. (2015). Introduktion til LCA på bygninger. *Energistyrelsen.*
- Bonefeld, 2018. Personlig kommunikation med Birgit Bonefeld,
- Bos HL, Meesters KPH, Conijn SG, Corré WJ, Patel MK (2010) Sustainability aspects of biobased applications, Wageningen Food & Biobased Research report 1166, URL: <http://edepot.wur.nl/170079>
- Bos HL, Meesters KPH, Conijn SG, Corré WJ, Patel MK (2012) Accounting for the constrained availability of land: a comparison of bio-based ethanol, polyethylene and PLA with respect to non-renewable energy use and land use. *BioFBR* 6(2), 146-158, DOI:10.1002/bbb.1320
- Calatan, G., Hegyi, A., Dico, C., & Mircea, C. (2016). Determining the Optimum Addition of Vegetable Materials in Adobe Bricks. *Procedia Technology*, 22(October 2015), 259–265. <http://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.077>
- Ceralia, L., 2018. personlig kommunikation med Britta Mølgaard
- Collet, F., & Pretot, S. (2014). Experimental highlight of hygrothermal phenomena in hemp concrete wall. *Building and Environment*, 82, 459–466. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.09.018>
- COM(2015) Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy
- Conversation. (2018). <https://theconversation.com/the-world-needs-to-build-more-than-two-billion-new-homes-over-the-next-80-years-91794>. Visited: 2018.08.18.
- COOP (2018) Coops emballagestrategi. URL: <https://ansvarlighed.coop.dk/vores-fodaftryk/emballage/>
- DAKOFA. (2017). *DANSK AFFALDSTEKNOLOGI Analyse af ønsker og potentialer i den danske affalds- og ressourcesektor.*
- DAKOFA (2018), 'Oversigt over affaldsfraktionen - Plast'. URL: <https://dakofa.dk/vidensbank/affaldsfraktioner/plast/>

- Dansk\_Byggeri. (2018). <https://www.danskbyggeri.dk/presse-politik/magasiner-og-nyhedsbreve/dansk-byggeri-barometer/tidligere-udgivelser/2016/nr-19-2016-1/behov-for-at-bygge-20000-boliger-hvert-aar/>. Visited 2018.08.16.
- Danso, H., Martinson, D. B., Ali, M., & Williams, J. B. (2015). Physical , mechanical and durability properties of soil building blocks reinforced with natural fibres. *CONSTRUCTION & BUILDING MATERIALS*, 101, 797–809. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.069>
- Egetæpper, 2018. Personlig kommunikation med Brian Meldgaard
- Ellen MacArthur Foundation (2015a) Towards a Circular Economy: Business rationale for an accelerated transition <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition> [Accessed August 30, 2018]
- Ellen MacArthur Foundation (2015b) Potential for Denmark as a circular economy A case study from: delivering the circular Economy – a toolkit for policy makers [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/government/20151113\\_DenmarkCaseStudy.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/government/20151113_DenmarkCaseStudy.pdf) [Accessed August 30, 2018]
- Ellen MacArthur Foundation (2016) The new plastics economy – Rethinking the future of plastics, Ellen MacArthur Foundation. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/the-new-plastics-economy-rethinking-the-future-of-plastics>
- Ellen Macarthur Foundation (2018) Circular Fashion - A New Textiles Economy: Redesigning fashion’s future. Ellen Macarthur Foundation. Available at: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/a-new-textiles-economy-redesigning-fashions-future> [Accessed August 13, 2018]
- EP (2015) EU biofuels policy, Dealing with indirect land use change. URL: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/548993/EPRS\\_BRI\(2015\)548993\\_REV1\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/548993/EPRS_BRI(2015)548993_REV1_EN.pdf)
- EU kommissionen 2018. [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-18-3846\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3846_en.htm)
- European Bioplastics (2017) Bioplastics market data 2017 - Global production capacities of bioplastics 2017-2022. Report, European Bioplastics, Berlin, Germany. URL: <https://www.european-bioplastics.org/market/market-drivers/>
- Fibertex, 2018. Personlig kommunikation med Direktør Jørgen Bech Madsen,
- Force Technology (u.å): Bioplast og miljøet – hvad er fup og hvad er fakta. Force Technology.
- Fredsted, L. (2018) Kommunikation med Lars Fredsted, Managing Director, RESINEX Denmark A/S, Hellerup, 16/08/2018
- Gabriel, 2018. Personlig kommunikation med Kurt Nedergaard. Gabriel.
- Gertman, R. (2013). Sorting out bioplastics. *Resource Recycling*, 32(7), 21–28.
- Ginger Krieg Dossier. (2014). United States Patent No. US 8,728,365 B2.
- Glavind, M. (n.d.). *Fremtidens renoverede byggeri i et totalværdi perspektiv*.
- GrønForskel. (2018). <https://groenforskel.dk/baeredygtig-isolering/>. Visited 2018.08.16.
- Grow2Build. (2018). <http://www.grow2build.eu/>. Visited: 2018.08.18.
- Gylling, M. et al., 2016. The + 10 million tonnes study, Available at: [http://cbio.au.dk/fileadmin/Timiotonsplan\\_2016Nyversion.pdf](http://cbio.au.dk/fileadmin/Timiotonsplan_2016Nyversion.pdf).

- Haa, E.A., 2018. Århusianske Pond i nyt samarbejde med Bestseller-ejer: Skal udvikle miljøvenligt tøj | Erhverv | stiften.dk. Århus Stiftstidende. Available at: <https://stiften.dk/erhverv/AArhusianske-Pond-i-nyt-samarbejde-med-Bestseller-ejer-Skal-udvikle-miljoevenligt-toej/artikel/513616> [Accessed August 13, 2018].
- Hansen, D., Larsen, K. & Meyer-Dissing, M.K., 2014. Jordbruget i Danmark, Danmarks Statistik.
- Hastrup, A. C. S. (2018). Personlig kommunikation med Anne Christine S. Hastrup, Teknologisk Institut.
- Health Research Funding (2015), '6 Pros and Cons of Bioplastics | HRFnd'. URL: <https://healthresearchfunding.org/6-pros-and-cons-of-bioplastics/>
- Hermansen, J.E., Jørgensen, U., et al., 2017. GREEN BIOMASS-PROTEIN PRO-DUCTION THROUGH BIO-REFINING, Available at: [www.digisource.dk](http://www.digisource.dk) [Accessed August 11, 2018].
- Hermansen, J.E., Mogensen, L., et al., 2017. Kortlægning af proteinværdikæder,
- HIOA, 2018. KRUS - økt utnyttelse av norsk ull. Høgskolen i Oslo og Akershus. Available at: <http://www.hioa.no/Om-HiOA/Senter-for-velferds-og-arbeidslivsforskning/SIFO/Prosjekter-SIFO/KRUS-oekt-utnyttelse-av-norsk-ull> [Accessed August 15, 2018].
- Hjelholt, 2018. Hjelholt Uldspinderi. Hjelholdt Uldspinderi.
- IFLScience. (2018). <http://www.iflscience.com/chemistry/self-healing-concrete-repairs-its-own-cracks/>. Visited: 2018.08.14.
- Industriens Uddannelser (2014) Hvilke kompetencer kræver anvendelse af nye plastmaterialer? Udarbejdet af Kubix ApS for Industriens Uddannelser, [www.kubix.dk/publikationer.php](http://www.kubix.dk/publikationer.php)
- ISOBIO. (2018). <http://isobioproject.com/>. Visited: 2018.08.12.
- Jones, D. (2017). *Introduction to the performance of bio-based building materials. Performance of Bio-based Building Materials*. Elsevier Ltd. <http://doi.org/10.1016/B978-0-08-100982-6.00001-X>
- Jonkers, H. M., Thijssen, A., Muyzer, G., Copuroglu, O., & Schlangen, E. (2010). Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete. *Ecological Engineering*, 36(2), 230–235. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.12.036>
- Kammiovirta, K. et al., 2016. Keratin-reinforced cellulose filaments from ionic liquid solutions. *RSC Advances*, 6(91), pp.88797–88806.
- Koc, E. & Çinçik, E., 2010. Analysis of Energy Consumption in Woven Fabric Production. In *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. pp. 14–20.
- Koch, M. (2018). Personlig kommunikation med Mikael Koch, Træinfo.
- Laborel-Préneron, A., Aubert, J. E., Magniont, C., Tribout, C., & Bertron, A. (2016). Plant aggregates and fibers in earth construction materials : A review, *111*, 719–734. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.119>
- Laine, J. & Sinivuori, K., 2018. ioncell. Aalto University. Available at: <https://ioncell.fi/commercialization/> [Accessed August 15, 2018].
- Laitala, K., Klepp, I.G. & Henry, B., 2018. Does Use Matter ? Comparison of Environmental Impacts of Clothing Based on Fiber Type. *Sustainability*, 10(2524), pp.1–25.
- Langin, K., 2018. Mysterious masses of seaweed assault Caribbean islands. *Science*. Available at: <http://www.sciencemag.org/news/2018/06/mysterious-masses-seaweed-assault-caribbean-islands> [Accessed August 11, 2018].

- Larsen, S.U., 2010. Arealer med energiafgrøder i Danmark. Seges - Teknologisk Institut. Available at: [https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Afgrøeder/Energiafgrøeder/Sider/pl\\_10\\_243.aspx](https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Afgrøeder/Energiafgrøeder/Sider/pl_10_243.aspx) [Accessed August 15, 2018].
- Miljøstyrelsen. (2017). MUDP projekt *Det Biologiske Hus*.
- Nielsen, K.D., Merrild, H., Kløverpris, N.H., Poulsen, P.B., Schmidt, A. (2010) Engangsartikler i bioplast i Danmark - Marked, egenskaber og miljø. Afdelingen for Anvendt Miljøvurdering, FORCE Technology, December 2010.
- Nielsen, K.D. (2014) Anvendelse og potentiale for brug af bioplast i Danmark. Kortlægning af kemiske stoffer i forbrugerprodukter nr. 133. Miljøstyrelsen, Miljøministeriet, København, Danmark, 2014
- Nova-Institut GmbH (2017) Bio-based Building Blocks and Polymers – Global Capacities and Trends 2016-2021. Tilgængelig på: <http://www.bio-based.eu/reports/>
- Nova-Institut GmbH (2018) Bio-based Building Blocks and Polymers – Global Capacities and Trends 2017-2022. Tilgængelig på: <http://www.bio-based.eu/reports/>
- Nordic Council of Ministers (2018) Nordic Bioeconomy Programme: 15 Action Points for Sustainable Change. <http://norden.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1222743&dsid=8103> [Accessed August 30, 2018]
- Onuaguluchi, O., & Banthia, N. (2016). Plant-based natural fibre reinforced cement composites : A review. *Cement and Concrete Composites*, 68, 96–108. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.02.014>
- Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2011). Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: A review. *Construction and Building Materials*, 25(2), 575–581. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.024>
- Pallesen, B.E., 2016. Bæredygtige hør- og hampetekstiler,
- Pallesen, B.E., 2018. Bæredygtige Tangisoleringsmåtter fra ålegræs, Available at: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/06/978-87-93710-35-1.pdf> [Accessed August 11, 2018].
- Pallesen, B.E., 2017. Projekt - Koncept til produktion af bæredygtige hampetekstiler - Projekter - Teknologisk Institut. Teknologisk Institut. Available at: <https://www.teknologisk.dk/projekter/projekt-koncept-til-produktion-af-baeredygtige-hampetekstiler/39011> [Accessed August 14, 2018].
- Plastindustrien, 2018. Kompositsektionen. Plastindustrien. Available at: <https://plast.dk/sektion/komposit-sektionen/> [Accessed August 15, 2018].
- Ramakrishna, G., & Sundararajan, T. (2005). Studies on the durability of natural fibres and the effect of corroded fibres on the strength of mortar. *Cement and Concrete Composites*, 27(5), 575–582. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.09.008>
- Rasmussen, F. N., & Birgisdóttir, H. (2015). *Bygningens livscyklus*.
- Really, 2018a. Personlig kommunikation med Wickie Meier Engström,
- Really, 2018b. Solid textile boards. Really. Available at: <http://reallycph.dk/> [Accessed August 17, 2018].
- Regeringsgrundlag\_Marienborgaftalen. (2016). *For et friere og mere trygt Danmark*.

- Retail Forum for Sustainability, 2013. Sustainability of textiles, Available at:  
[http://ec.europa.eu/environment/industry/retail/pdf/issue\\_paper\\_textiles.pdf](http://ec.europa.eu/environment/industry/retail/pdf/issue_paper_textiles.pdf).
- Sandermann, 2018. Two Sides of One. Sandermann. Available at:  
<https://sandermann.net/projects/two-sides-of-one.html> [Accessed August 15, 2018].
- SB&WRC. (2018). <https://www.construction21.org/static/sbwrc-project.html>. Visited: 2018.08.18.
- SBI-224. (2013). *SBI-ANVISNING 224. FUGT I BYGNINGER* (2. udgave).
- Sen, T., & Reddy, H. N. J. (2011). Application of Sisal , Bamboo , Coir and Jute Natural Composites in Structural Upgradation. *International Journal of Innovation, Maagement and Technology*, 2(3), 186–191.
- Skatteministeriet (2017), 'Emballageafgiftsloven'. URL: <http://www.skm.dk/skattetal/satser/satser-og-beloebsgraenser/emballageafgiftsloven>
- Skyttegården, 2018. Skyttegårdens Østershatte. Available at: <https://www.oestershatte.dk/> [Accessed August 17, 2018].
- Song, J., Chen, C., Zhu, S., Zhu, M., Dai, J., Ray, U., ... Hu, L. (2018). Processing bulk natural wood into a high-performance structural material. *Nature Publishing Group*, 554(7691), 224–228. <http://doi.org/10.1038/nature25476>
- Sustainable Apparel Coalition, 2018. Higg MSI. Sustainable Apparel Coalition. Available at:  
<https://msi.higg.org/page/learn-more> [Accessed August 10, 2018].
- Swicofil, 2018. Crabyon. Swicofil. Available at: <http://www.swicofil.com/crabyon.html> [Accessed August 16, 2018].
- Teli, M.D. & Sheikh, J., 2012. Simultaneous pigment dyeing and antibacterial finishing of denim fabric using Chitosan as a binder. *International Dyer*, 197(4), pp.28–31.
- Textile World, 2015. Man-Made Fibers Continue To Grow. Textile World. Available at:  
<http://www.textileworld.com/textile-world/fiber-world/2015/02/man-made-fibers-continue-to-grow/> [Accessed August 14, 2018].
- Thomsen, J.M., 2018. Studerende dyrker surfboards af hamp og svampe - DTU. Danmarks Tekniske Universitet. Available at: <http://www.dtu.dk/nyheder/2018/07/studerende-dyrker-surfboards-af-hamp-og-svampe?id=7b0788d4-b8e7-43b9-aca1-2d2dd50203af> [Accessed August 15, 2018].
- TræInfo. (2018). <http://www.traeinfo.dk/hvorfor-bygger-london-mere-og-mere-i-trae-og-hvem-er-drivkraften-bag/>. Visited: 2018.08.27.
- University\_of\_Miami. (2018). <http://www.coe.miami.edu/innovative-bio-based-binder-for-concrete-infrastructure/>. Visited: 2018.08.27.
- van den Oever, M., Molenveld, K., van der Zee, M., Bos, H. (2017) Bio-based and biodegradable plastics – Facts and Figures - Focus on food packaging in the Netherlands. Wageningen Food & Biobased Research number 1722, April 2017. <http://dx.doi.org/10.18174/408350>
- Uldfisker, 2018. Ertebøllegarn. Uldfisker. Available at: <https://www.uldfisker.dk/ertebollegarn> [Accessed August 15, 2018].
- Umorfil, 2018. Umorfil. Umorfil. Available at: <https://www.umorfil.com> [Accessed August 16, 2018].
- VTT, 2018. Wood based textile fibres and the carbamate technology. VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND LTD. Available at:

<https://www.vttresearch.com/services/bioeconomy/biobased-materials/wood-based-textile-fibres> [Accessed August 15, 2018].

Vædele-Larson, C. (2018). Personlig kommunikation med Christian Vædele-Larson.

Watson, D., 2018. Kortlægning af tekstilflows i Danmark, Available at:

<https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2018/jun/kortlaegning-af-tekstilflows-i-danmark/>.

Williams, J., Lawrence, M., & Walker, P. (2018). The influence of constituents on the properties of the bio-aggregate composite hemp-lime. *Construction and Building Materials*, 159, 9–17.

<http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.109>

WUR. (2018). <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Research-Institutes/food-biobased-research/show-fbr/Sustainable-bio-asphalt-from-lignin.htm>. Visited: 2018.08.18.