

INSTITUT FOR FØDEVARE- OG RESSOURCEØKONOMI  
DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIG FAKULTET

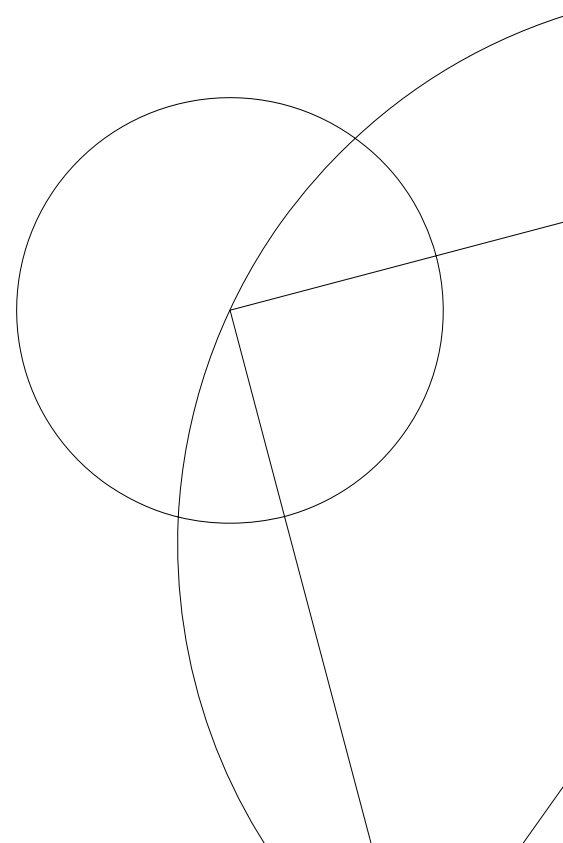
RÅDGIVNING OG BISTAND  
FRA EN OFFENTLIG FORSKNINGSINSTITUTION



## **Analyse af det eksisterende og potentielle råvaregrundlag og forarbejdningsteknologier til produktion af biopolymerer**

**Morten Gylling  
Frederik Lehmann Olsen  
Astrid Hagelund  
Andreas Baattrup Jakobsen**

**Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi (IFRO)  
Københavns Universitet  
December 2019**



## Indhold

1	Formål.....	2
2	Indledning og afgrænsning .....	2
3	Råvaregrundlag.....	4
	3.1 mængde og tilgængelighed .....	4
	3.2 Råvarer – bæredygtighed ved anvendelse og dyrkning .....	8
	3.3 Substitution af fossile råvarer .....	9
4	Værdikæder .....	10
	4.1 Konverteringsteknologier .....	10
	4.2 Første og anden generations bioethanol til biopolymerproduktion.....	10
	4.3 Biogas til biopolymerproduktion .....	12
	4.4 Biopolymerer fra spildevand .....	13
	4.5 Grøn biomasse – protein og biogas.....	14
	4.6 Gul biomasse – halm .....	15
	4.7 Fibre til tekstiler og emballage .....	18
5	Omkostninger .....	20
	5.1 Omkostninger til konverteret mellemprodukt.....	20
	5.2 Omkostning til opgradering til bionaturgas.....	21
	5.3 Økonomisk potentiale for anvendelse af biomasse råvarer .....	22
6	Beskæftigelsespotentiale .....	22
7	Opsamling – økonomi og mængder .....	24
	Referencer .....	27

## 1 Formål

Det nationale Bioøkonomipanel har ønsket en analyse af det eksisterende og potentielle råvaregrundlag og forarbejdningsteknologier til produktion af biopolymerer

Der skal udarbejdes en analyse med henblik på at få overblik over:

- 1) Det eksisterende og potentielle råvaregrundlag for produktion af biopolymerer. Udover beskrivelser af voluminer, tekniske egenskaber og forventet prisleje skal analysen indeholde betragtninger om miljø- og klima, mulige alternative anvendelser af biomassen samt evt. perspektiver for kaskadeudnyttelse af disse (rest)biomasser.
- 2) Potentialer og udfordringer for forarbejdning til biopolymerer (hhv. "drop in" of "new bio"), herunder en beskrivelse af danske styrkepositioner.
- 3) Udvalgte værdikæder; potentialer og identificerede flaskehalse i relation til drifts- og samfundsøkonomi samt teknologier i Danmark og evt. i Nordeuropa og Sydkandinavien.

## 2 Indledning og afgrænsning

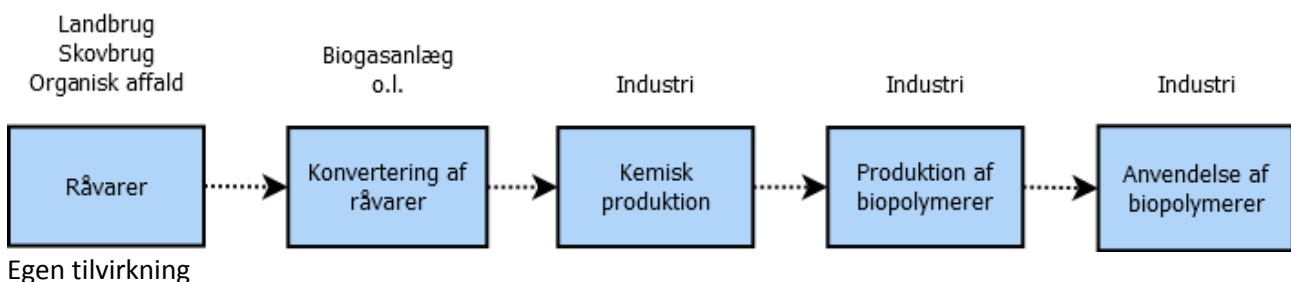
Analysen gennemføres med udgangspunkt i en række eksempler på udvalgte værdikæder. Værdikædebetraktningen sikrer at alle led i kæden fra råvare over forarbejdning til slutprodukt bliver analyseret indenfor den samme referenceramme. Det vil også give mulighed for at identificere primært tekniske og økonomiske flaskehalse.

Biobaserede polymerer eller biopolymerer er polymerer hvor kulstofatomerne stammer fra fornybare ressourcer. Typiske eksempler på bionedbrydelige biopolymerer er PLA, PHA og PBS, mens eksempler på ikke nedbrydelige biopolymerer er PE, PET, PA og PTT. Der findes flere kemiske processer hvormed biomaterialer kan omdannes til biopolymerer. Bioethanol og bio-naturgas kan omdannes til ethylen og derfra til ethylenglycol, som er en central byggesten i polymerproduktion.

Udover at anvende biomasse i det direkte input, kan det for nogle materialer være en fordel at udvinde højværdiprodukter ved bioraffinering og anvende restprodukter herfra til biogas, der så igen kan anvendes til produktion af biopolymerer, et eksempel på dette er den gule værdikæde i afsnit 4.6

Nedenstående illustration 2.1 viser den overordnede værdikæde fra råvare til slutprodukt for biopolymerkæden.

Illustration 2.1: Værdikæde, fra råvare til biopolymerer



Fra et dansk udgangspunkt udfordres værdikæde betragtningen dog til en vis grad af, at der for de fleste biopolymer værdikæder ikke er dansk kommerciel aktivitet i alle led i værdikæderne. Danmark har ikke større fuldskala kemiske produktionsindustrier eller kommerciel biopolymer produktion. Der er dog en række danske virksomheder med væsentlige styrkepositioner indenfor procesudvikling, katalyse og enzymproduktion. Der er her tale om både store etablerede virksomheder og om opstarts virksomheder. En del af disse virksomheder er beskrevet i Teknologisk Institut, 2018: *Analyse af danske styrkepositioner inden for biopolymerværdikæden*. I de fleste tilfælde vil opfindelser og udviklingsresultater skulle testes og kommercialiseres i samarbejde med større udenlandske produktionsvirksomheder. Udvalgte konverteringsveje og værdikæder omfattende råvare, udbytte og slutprodukt vil blive beskrevet. Med hensyn til slutproduktet vil det typisk være råvaren til den endelige produktion af biopolymeren (afhænger dog af "kæden"). Anvendelsen af biopolymeren (det endelige produkt) vil kun blive berørt hvor det er relevant (f.eks. resin til *spånplader*). Der kan i øvrigt henvises til Teknologisk Institut, 2018: *Analyse af danske styrkepositioner inden for biopolymerværdikæden*, hvor der er beskrevet forskellige anvendelsesområder af biopolymerer.

Biopolymerer består af en lang række produkter fra rene naturprodukter som uld, hør og hampefibre, over bindere, byggematerialer som spånplader og MDF plader til bioplastik produkter. Især bioplastik har stor opmærksomhed og produktionen forventes at stige betragteligt i de kommende år idet biopolymererne kan erstatte fossilt baserede polymerer i plastprodukter.

Der kan skelnes mellem to typer bioplast råvarer:

- bio-similar biopolymer. En bio-similar biopolymer har samme anvendelses områder og egenskaber som fossilt baserede polymerer og kan derfor indgå direkte i de eksisterende værdikæder for fossil plast både med hensyn til produktion og genanvendelse. Bio-similar vil typisk ikke være bionedbrydelig (se neden for).
- new-bio biopolymer har nye kemiske opbygninger og nye egenskaber som typisk kan være bionedbrydelighed. Disse kan ikke nødvendigvis indgå i eksisterende systemer (TI 2018).

Biopolymerer kan fremstilles med sukker som råstof. Med sukker som basis, kan man via ethanol fremstille en række polymerer, som for eksempel PET og PE, (TI 2018). Det er i denne sammenhæng uden forskel om der tages udgangspunkt i 1.generations eller 2.generations bioethanol. Et andet udgangspunkt kan være bio-metan der omdannes til bio-ethylen.

Den samlede globale produktion af biobaseret plast er på 2,11 mio. tons, heraf er ca. 57% biobaseret men ikke bionedbrydeligt mens ca. 43% er biobaseret og bionedbrydeligt. Af de biobaserede, men ikke bionedbrydelige plasttyper er PET langt den største med over 25% af den samlede globale bioplast produktion svarende til 0,6 mio. tons. Den bionedbrydelige bioplast domineres af stivelsesblandinger, der tegner sig for godt 18% af den bionedbrydelige bioplast . Bionedbrydelig plast kan også produceres med udgangspunkt i PHA, der kan produceres i en biologisk proces fra spildevand.

PET fremstilles primært fra ethylenglycol (EG), der produceres årligt omkring 25 mio. tons EG. Ethylenglycol produceres hovedsageligt ud fra ethylen fra olie/gas eller ethanol. Det er således muligt at producere bio-ethylenglycol ud fra bio-naturgas eller bioethanol. (Esben Taarning 2019 – personlig kommunikation). En

meget lille del af den samlede EG produktion er bio EG (ca. 1 %) produceret på bioethanol. Dette er dog i dag ikke prismæssigt konkurrence dygtigt. (Miljøstyrelsen 2016).

Det er således muligt at producere bio EG ud fra bio-naturgas og bioethanol, hvor især 2. generations bioethanol baseret på halm var tæt på kommercialisering gennem det danske INBICON projektet.

Bio-naturgas og 2. generations bioethanol er omfattet af danske styrkepositioner både med hensyn til teknologi, proces, hjælpestoffer og råvarer. Der burde således være gode muligheder for at forfølge disse konverterings spor.

### ***Biomasseressourcer som råvarer til polymerfremstilling i Danmark***

Danmark har forholdsvis store ressourcer af biomasse, der kan anvendes i biogasanlæg og gennem forgasning til fremstilling af metan, eller anvendes som råvare til fremstilling af 1. og 2. generations bioethanol. Begge produkter, kan som nævnt omdannes til ethylen, der er en byggesten til polymerfremstilling. (TI 2018)

Der er som nævnt ovenfor ikke en dansk produktion af biopolymerer. De kommercielt tilgængelige biopolymerer produceres i dag af to hovedaktører, det tyske BASF og det Brasilianske Braskem. De Brasilianske biopolymerer er baseret på rørsukker.

Bio råvarerne bliver kun i få tilfælde anvendt direkte i produktionen af biopolymerer, men til produktion af platformskemikalier. Der fokuseres her hovedsageligt på anden generations råvarer.

Hovedparten af de kommercielt tilgængelige biopolymerer i dag bliver dog produceret på 1.generations råvarer som med den nuværende teknologi og markedsforshold er mest omkostningseffektive.

1. generations råvarer som kartoffelstivelse og roesukker samt hvede vil dog kun blive behandlet i mindre grad i denne analyse, da der ikke vurderes at være specifikke danske styrkepositioner i forbindelse med produktion af disse råvarer.

Dansk jord- og skovbrug vurderes at have styrkepositioner indenfor frembringelse, udnyttelse og behandling af bi- og restprodukter, der efterfølgende kan danne grundlag for produktion af 2. generations biopolymerer

Biopolymer råvarer som træ og andre lignocellulose råvarer, organisk affald og tekstil fibre vil også blive behandlet i analysen

## **3 Råvaregrundlag**

### **3.1 Mængde og tilgængelighed**

I dette afsnit vurderes råvaregrundlaget til biopolymer-produktion med hovedvægt på rest- og bi produkter fra land- og skovbrug samt husholdningsaffald, organisk industriaffald og tekstilaffald. Vurderingen bygger på forskellige kilder og omfatter råvare-potentialet til produktion af biogas (metan) og bioethanol (2.generation) idet begge som tidligere nævnt kan være råvare til produktion af Etylen Glykol (EG). Andre råvarer er grundlaget for fysisk opgradering og/eller råvarer til direkte produktion.

Især biogas er interessant fordi Danmark har en styrkeposition indenfor produktion af biogas fra biologiske ressourcer og en efterfølgende opgradering til Bionaturgas der kan føres ind i naturgasnettet (TI 2018).

I forbindelse med de tilgængelige mængder af biomasse vil der være tale om flere typer af potentialer (Energistyrelsen 2015), et teoretisk potentiale, et teknisk potentiale, et implementeringspotentiale samt et økonomisk potentiale. Desuden kan der ofte være et bæredygtigheds potentiale der kan indeholde de miljømæssige konsekvenser ved fremskaffelse og anvendelse af de enkelte biomasser.

Opgørelsen af de enkelte potentialer vil normalt have det teoretiske potentiale som udgangspunkt. Andelen af det teoretiske potentiale der vil være til rådighed for de respektive potentialer vil variere betragteligt mellem biomasser og restprodukter.

I ovennævnte rapport angives der et økonomisk potentiale mellem 2 og 21 % af det teoretiske potentiale. Der vil dog være en række muligheder for at påvirke både det tekniske og det økonomiske potentiale gennem forbedret teknologi og forskellige økonomiske incitamenter. Der er ikke i det følgende ikke forsøgt at vurdere de enkelte typer af potentialer for de enkelte råvarer, men kun en mere generel samlet vurdering. Potentialerne er i det følgende angivet som det teoretiske/tekniske potentiale.

Råvaregrundlaget for biopolymer stammer, bortset fra organisk affald og tekstil affald, fra jord- og skovbrug.

### **Landbrug**

Landbrugsarealet i Danmark er svagt faldende mens skovarealet er stigende. Der er for skovbrugets vedkommende tale om en national strategi om en fordobling af skovarealet i løbet af en skovgeneration (ca. 100 år).

Det fremgår af tabel 3.1 viser også at det dyrkede areal, som nævnt, er svagt faldende. Samtidig kan fremtidige mængder af bi- og rest produkter også forventes at være svagt faldende som følge af teknologiske og biologiske fremskridt. Sammensætningen vil også kunne ændres hvis der sker skift i afgrødefordelingen som følge af nye anvendelsesmuligheder og ændrede markedsforhold.

Tabel 3.1 viser, at den forventede afgrødesammensætning i perioden fra 2020 til 2030 er relativt stabil, dog sker der et fald i græs og grøntfoder i omdrift og en stort set tilsvarende stigning i græs udenfor omdrift.

Tabel 3.1: Anvendelse af det dyrkede areal i 1.000 ha.

	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>
<b>I alt</b>	2.594	2.534	2.475
<b>Heraf:</b>			
<b>Korn</b>	1.429	1.386	1.335
<b>Raps</b>	149	148	147
<b>Roer</b>	38	35	33
<b>Kartofler</b>	47	47	47
<b>Helsæd, majs mv. til grovfoder</b>	240	248	261
<b>Græs og kløver i omdrift</b>	273	274	279
<b>Vedvarende græsareal</b>	228	217	206

Kilde: Jensen, J. D., (2019)

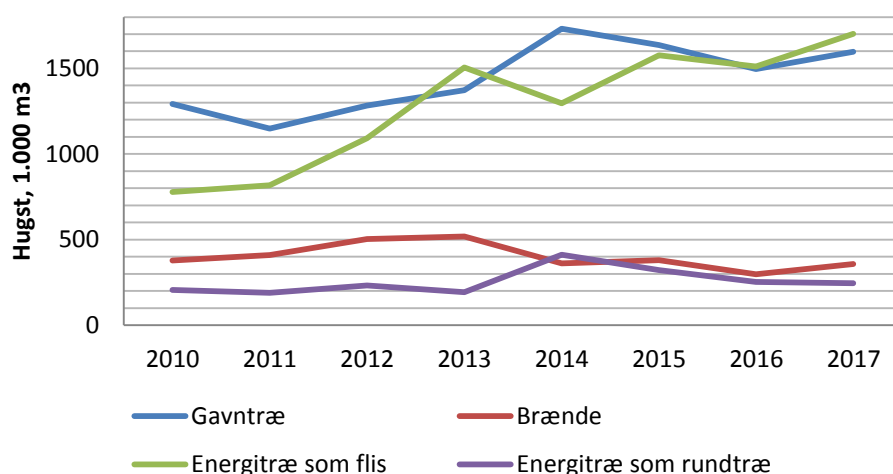
Jensen (2019) angiver at denne tendens frem mod 2030 er en følge af en stigende effektivitet i kvægbruget samt et fald i antal dyr. Samtidig kan der forudses en produktivitetsudvikling i græsmarksproduktionen, der

er dog ikke indregnet eventuelle nye teknologier til bioraffinering af græs. De andre hovedgrupper af afgrøder udvikler sig nogenlunde i samme takt. Dette indikerer at der vil ske et mindre fald i mængden af bi- og rest produkter fra landbruget på mellemlangt sigt.

### Skovbrug

Som det fremgår af figur 3.1 er energi træ inklusive brænde langt den største anvendelse af den danske hugst i skovbruget.

Figur 3.1: Udvikling i hugsten i dansk skovbrug



Kilde: Danmarks Statistik

Det danske forbrug af flis til energi kan dog langt fra dækkes af den danske produktion. Det danske forbrug af flis og træpiller er steget væsentligt over de sidste år, og som det fremgår af nedenstående tabel er der især sket en væsentlig stigning i importen af træflis og træpiller. Denne stigning må forventes at fortsætte blandt andet som følge af at Ørsted senest i 2023 har omstillet til elproduktion uden kul.

Tabel 3.2: Dansk import samt produktion af energitræ (ton)

	2015	2016	2017	2018
<b>Import af skovflis</b>	177.788	182.682	319.812	743.193
<b>Import af træpiller</b>	2.084.142	2.134.478	3.207.254	3.976.410
<b>Dansk produktion af energitræ som flis</b>	985.375	944.438	1.063.688	

Kilde: Danmarks Statistik

### Bi- og restprodukter

Tabel 3.3 viser det samlede teoretiske/tekniske råvaregrundlag for produktion af biopolymerer. Som det fremgår af tabel 3.3 er husdyrgødning, halm, have-parkaffald og husholdningsaffald blandt de råvarer med det mængdemæssige største potentiale.

Tabel 3.3: Råvarer fra bi- og restprodukter

2020 ton tørstof	
Gylle	2.004.000
Dybstrøelse	900.000
Fast staldgødning	20.000
Halm (korn, raps, frøgræs)	2.550.000-3.060.000
Have-parkaffald	510.000
Organisk Industriaffald	2.450.000

Kilde: Birkmose .T et.al 2015. Jensen. M.V. et.al 2018. Miljøprojekt nr. 2091. Juni 2019

Der er for husdyrgødning etablerede og velfungerende "produktionskæder" til produktion af eksempelvis biogas og der er store mængder af råvare til rådighed. Halm er anden potentiel råvare, her kan der være betragtelige mængder til rådighed og der er etableret effektive og gennemprøvede logistikkæder. Halm er samtidig en lagerfast råvare der kan være til rådighed hele året. Man skal dog her være opmærksom på at halm også har en række andre potentielle anvendelsesmuligheder. **Den samlede danske halmproduktion ligger i normal år på 4,4 - 5,2 mio. tons(ts) årligt. Af denne produktion anvendes der i landbruget 1,3 - 1,5 mio. tons(ts) til foder og strøelse, som traditionelt fraregnes inden der angives hvor stor en mængde halm der er til rådighed for anvendelse til andre formål. Der er mellem 1,9 og 2,4 mio. tons(ts) halm der ikke bjærges men bliver nedmuldet. En væsentlig del af denne mængde vil kunne komme på markedet hvis landmændene finder prisen attraktiv.**

### Organisk affald

I tabel 3.4 er mængde og næringsstofindhold opgjort for organisk affald. Som det fremgår, er der tale om ganske betragtelige mængder af næringsstof og et stort biogaspotential.

Tabel 3.4: Organisk affald (2017)

Affaldstype	Mængde Tons (ts)	Næringsstof i 100 ton			
		N	NH4	P	K
<b>Husholdningsaffald</b>	<b>257.000</b>	<b>1.199</b>	<b>50</b>	<b>222</b>	<b>709</b>
Vegetabilsk (79%)	203.000	948	-	115	633
Animalsk (21%)	54.000	252	50	107	75
<b>Servicesektor</b>	<b>113.000</b>	<b>603</b>	<b>22</b>	<b>98</b>	<b>313</b>
Vegetabilsk (79%)	89.000	418	-	51	279
Animalsk (21%)	24.000	185	22	47	33
<b>Primærproduktion</b>	<b>2.476.000</b>	<b>25.206</b>	<b>1.055</b>	<b>3.947</b>	<b>7.396</b>
Vegetabilsk	1.380.000	5.777	-	599	2.538
Animalsk	1.096.000	14.387	1.055	2.889	3.433
<b>Øvrige</b>	<b>475.500</b>	<b>5.042</b>	<b>-</b>	<b>460</b>	<b>1.425</b>
<b>Total</b>	<b>3.321.500</b>	<b>27.009</b>	<b>1.126</b>	<b>4.267</b>	<b>8.418</b>

Kilde: Jensen, M. V., et al. (2018)

Det organiske affald fra husholdninger og service sektoren udgør en ressource med en veldefineret værdikæde, da dette affald bliver indsamlet og leveret på centrale modtagesteder. En stor del af dette affald går i dag til forbrænding. Den centrale indsamlingsandel for det organiske affald fra primærproduktionen er mere usikker.



## Tekstilaffald

EU's affaldsrammedirektiv kræver, at alle medlemsstater fra den 1. januar 2025 har etableret separate indsamlingssystemer for brugte tekstiler. Formålet er at sikre størst mulig genbrug og genanvendelse af tekstilprodukterne.

Det samlede årlige forbrug af tekstiler i Danmark har været stabilt siden 2010. I 2016 var det samlede forbrug på ca. 85.000 tons, hvor husholdningernes tekstilforbrug udgjorde ca. 75.000 tons, erhvervets tekstilforbrug løb op i ca. 5.000 tons, og den offentlige sektors tekstilforbrug var tilsvarende på ca. 5.000 tons.

Der blev indsamlet 36.000 tons brugte tekstiler fra husholdninger i 2016. Indsamlingen af brugte tekstiler er fortsat domineret af velgørende organisationer og private indsamlere. I løbet af de sidste par år har flere kommunale affaldsselskaber også startet aktiviteter indenfor området. (Miljøstyrelsen 2018).

Af de 36.000 tons separat indsamlede tekstiler blev 21.800 tons eksporteret til genbrug og genanvendelse i udlandet. Omtrent 70% (15.400 tons) af eksporten blev genbrugt, og 19% (4.140 tons) blev genanvendt andre steder i verden. Resten (2.300 tons) ender på lossepladser eller på forbrændingsanlæg i sorteringslandene. (Miljøstyrelsen 2018).

Det vurderes at over 50% af de tekstiler som husholdningerne kasserer går til forbrænding, svarende til en samlet mængde af brændte tekstiler i Danmark på 42.130 tons om året.

Det skønnes at værdien af de tekstiler der går til forbrænding ville være på 90 - 110 mio. kr. hvis de i stedet var gået til genbrug og genanvendelse. (Miljøstyrelsen 2018).

## 3.2 Råvarer – bæredygtighed ved anvendelse og dyrkning

Der tales normalt om bæredygtighed i forbindelse med produktion af afgrøder og produkter, mens de miljømæssige aspekter ved anvendelse af landbrugets restprodukter ikke har samme fokus.

I forbindelse med en større udredning om potentialer for biomasseudnyttelse i Danmark blev der foretaget en vurdering af bæredygtigheden ved anvendelse af biomasse. Bæredygtigheden blev målt på 5 parametre nitratudvaskning, C i jord, pesticidforbrug, biodiversitet og ILUC.

Tabel 3.5: Vurdering af bæredygtighed ved anvendelse af restprodukter fra land- og skovbrug.

Biomasse	Nitratudvaskning	Kulstofindhold i jord	Pesticidforbrug	Biodiversitet	ILUC <sup>1</sup>
Gylle <sup>2</sup>	A/B	C	B	B	B
Halm <sup>2</sup>	B	C	A/B	B	A/B
Skovningsrester <sup>2</sup>	B	C	B	C	B
Husholdningsaffald til biogas	B/C	A	B	B	B
Makroalger (tang) <sup>2</sup>	B/C	A/B	B	A/B	A/B
Efterafgrøder <sup>2</sup>	A/B	C	B	B	B
Pil <sup>3</sup>	A	A	A	A	C
Elefantgræs <sup>3</sup>	A	A	A	A/B	B/C
Sædskiftekløvergræs <sup>3</sup>	A/B	A	A	A	C
Skovrejsning <sup>3</sup>	A	A	A	A	C
Ekstensiv vedvarende græs <sup>3</sup>	A	A	A	A	C

Notation: A: Positiv påvirkning, B: Neutral påvirkning, C: Negativ påvirkning

Kilde: Jørgensen et. al (2013)

Som det fremgår af tabel 3.5 er der ganske få negative effekter ved anvendelse af gylle og halm som er de mest relevante råvarer i "biopolymer" sammenhæng.

I rapporten: Danske afgrøder (hør og hamp) der kan være relevante i forhold til produktion af biopolymerer Jørgensen. R et. al. (2019), sammenlignes den miljømæssige effekt af hamp, hør og diverse landbrugsafgrøder.

Tabel 3.6: Miljømæssig effekt ved dyrkning af hamp, hør og diverse landbrugsafgrøder.

	Gødning	Pesticider	Erosion	Jordstruktur	Agro-biodiversitet
Kløvergræs	A	A	A	A	A
Hør	B	B	B	A	A
Hamp	A	A	A	A	A
Hvede	B	B	B	B	C
Raps	B/C	C	A	A	A/B
Sukkerroer	C	C	C	C	B
Kartofler	B/C	C	C	C	C

Notation: A: Lille påvirkning af miljøet, B: Medium påvirkning, C: Stor påvirkning af miljøet

Kilde: Jørgensen R. et. al. (2019)

Som det fremgår af tabel 5.2 har raps, sukkerroer og kartofler en mindre god miljøprofil, især som følge af et relativt højt gødnings- og pesticid forbrug.

### 3.3 Substitution af fossile råvarer, klimapåvirkning

En substitution af fossile råvarer med biobaserede råvarer vil mindske klimapåvirkningen af polymererne. Beregninger har vist at fossilt baseret PET ved afbrænding efter endt brug frigiver 2,29 kg CO<sub>2</sub> pr. kg. materiale. Til sammenligning viser beregningerne at en 100% biobaseret PET ikke frigiver yderligere CO<sub>2</sub> til miljøet idet det antages at den frigivne CO<sub>2</sub> bindes i ny biomasse i samme vækstsæson. (Teknologisk Institut (2018).Anvendes der biogas som råvare, har man en råvare hvor der samtidig er en CO<sub>2</sub> reduktion ved produktionen af biogassen.

Tabel 3.7 – Samlet netto-reduktion i drivhusgasudledninger samt reduktion pr. produceret enhed biogas.

År	Brændsels-substitution	Reduktion Fra landbrug etc.	Lækager	Netto-Reduktion i Alt	Reduktion pr. Produceret Enhed biogas
	1000 ton CO <sub>2</sub> -ækv./år				Kg CO <sub>2</sub> -ækv./GJ
2016	525	143	-99	570	61,7
2017	685	162	-134	713	59,2
2018	752	167	-143	776	58,8
2019	824	178	-151	851	58,8
2020	877	186	-159	905	58,8
2021	918	193	-158	953	59,1
2022	960	199	-156	1.003	59,5
2023	1.001	205	-154	1.053	60,0
2024	1.042	212	-150	1.103	60,4
2025	1.084	218	-146	1.155	60,8

Kilde: Energistyrelsen (2016)

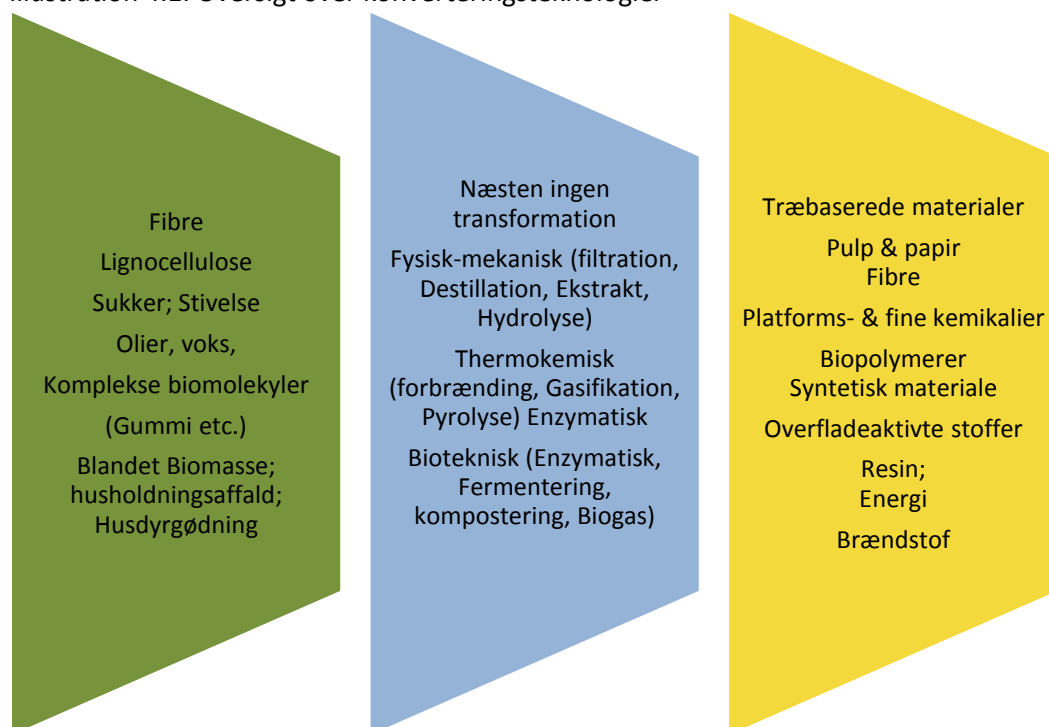
Som det fremgår af tabel 3.7 er der en netto reduktion omkring 60 kg CO<sub>2</sub>-ækv./GJ når det antages at substitutionen af fossile råvarer svarer til samme niveau som den angivne brændsels reduktion.

## 4 Værdikæder

### 4.1 Konverteringsteknologier

Nedenstående illustration 4.1 illustrerer en række konverteringsteknologier af bioråvarer til forskellige biopolymer produkter og mellemprodukter.

Illustration 4.1: Oversigt over konverteringsteknologier



Kilde: Egen tilvirkning efter Nova-Institute 2019

I det følgende er der beskrevet og illustreret værdikæder for forskellige biomasseråvarer til produktion af biopolymerer. Teknologiernes kommerciæliseringstatus i form af Technology Readiness Level (TRL) er ligeledes beskrevet på en skala fra 1-9. TRL 1 betyder at teknologien kun er på forskningsniveau, mens TRL 9 betyder at teknologien er kommercielt lanceringsklar.

### 4.2 Første og anden generations bioethanol til biopolymerproduktion

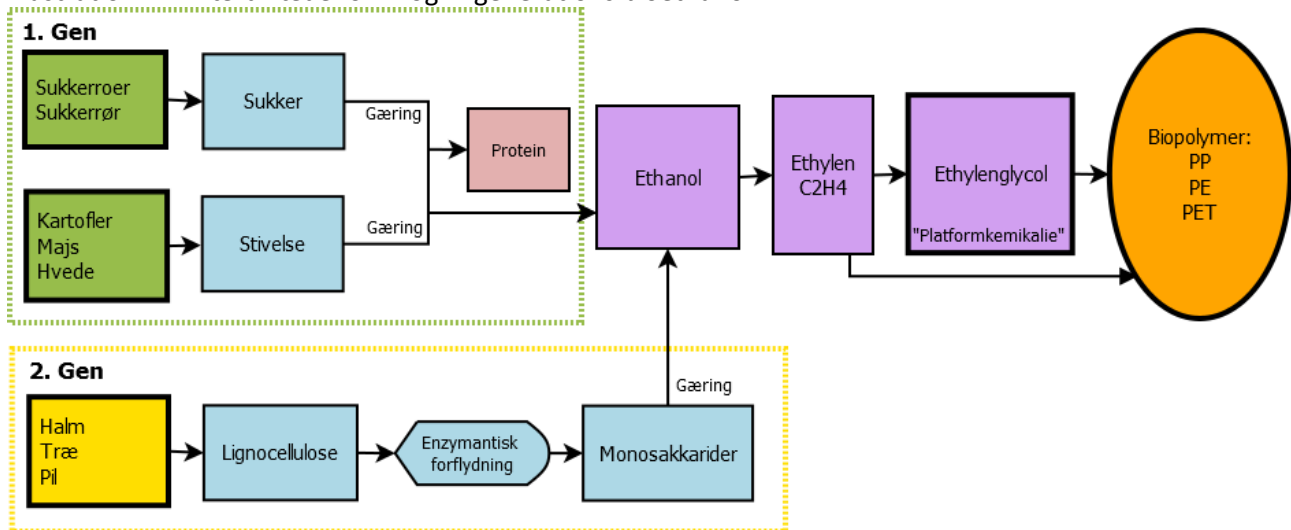
Bioethanol kan produceres fra såvel 1. generations som 2. generations råvarer, hvor 1. generations råvarer betegner råvarer der anvendes/kan anvendes som fødevarer eller foder mens 2. generations råvarer er biprodukter fra den primære produktion eller reststrømme. Lignocellulose råvarer som træflis og halm nævnes som de mest oplagte 2. generations råvarer. Under danske forhold er halm en naturlig råvare der er til stede i rigelige mængder (ca. 2 mio. tons årligt). Der er her vist et teoretisk udbytte på 524 kg

bioethanol/ton TS. for hvedehalm (Haugaard.H et. al (2006) mens der i pilotskala forsøg/produktion (INBICON) er opnået omkring 250 kg bioethanol/ton TS for hvedehalm.

Til produktion af 1. generations bioethanol gæres sukker fra sukkerroer og sukkerrør og stivelse fra kartofler, majs og hvede mv. Ved 2. generations bioethanol anvendes enzymer til at nedbryde lignocellulose fra eksempelvis halm, pil og træflis til cellulose, der igen kan nedbrydes til monosakkarider (sukker).

Sukker og stivelse forgæres videre til ethanol. Ved dehydrering af ethanol produceres der ethylen/ethen, hvorfra der ved katalytisk oxidation kan produceres ethylenglycol som er et primærmateriale i produktion af en række polymerer (Sprekrijse *et al.*, 2019).

Illustration 4.2: Værdikæde for 1. og 2. generations bioethanol



Egen tilvirkning

1. generations bioethanol-produktion har en TRL på 9. 2. generations bioethanol-produktion er en nyere enzymteknologi med en mindre grad af kommerialisering. Processen er succesfuldt demonstreret i storskala på eksempelvis Ørstedes Inbicon-anlæg ved Kalundborg. Dette anlæg blev dog sat på stand-by da de finansielle og markedsmæssige vilkår ikke tillod en profitabel drift (<https://ing.dk/artikel/dong-energy-lukker-bioethanol-anlaeg-i-kalundborg-172391>). TRL vurderes til 6-7. Omdannelsen fra ethanol til ethylenglycol er kommerialiseringbar med TRL 8-9 (Teknologisk Institut, 2018). Flere sydamerikanske integrerede rørsukkeraffinaderier/bioethanol-producenter anvender enzymteknologi til også at udnytte restbiomasse til bioethanol-produktion.

Udover, at de finansielle og markedsmæssige forhold skal være på plads for at en fuldskala kommerialisering af 2. generations bioethanol-produktion kan finde sted, skal råvaregrundlaget også være robust og tilstrækkeligt. I Danmark er der rigelige mængder halm til rådighed, denne ressource kan derfor umiddelbart let anvendes. Placeringen af produktionsanlægget er dog væsentlig for at sikre mindst mulige transportomkostninger. Se eksempelvis Bojesen *et al.* (2016).

### 4.3 Biogas til biopolymerproduktion

Der er et samlet skønnet årligt metan potentiale i 2020 på 1.457-2.089 mio. Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> når alle råvarer medtages (teoretisk potentiale). Birkmose .T et.al 2015. Jensen. M.V. et.al 2018. Miljøprojekt nr. 2091. Juni 2019)

Der er en række aktuelle råvarer til biogas produktion, men det største potentiale er baseret på husdyrgødning, halm, organisk industriaffald og husholdnings affald. En relativt ny ressource er roetop-ensilage. Roetop-ensilage har et stort gaspotentiale (pr. tons tørstof), der vil dog være en del udfordringer hvis dette skal introduceres i stor skala, men der er lavet lovende semi-/fuldskalaforsøg. Roetoppe har en lav tørstofprocent og er en "sæsonvare" med begrænset holdbarhed hvis den ikke ensileres, for at undgå saft afløb anbefales der samensilering med halm. Roetoppe har også et godt potentiale til bioethanol fremstilling.

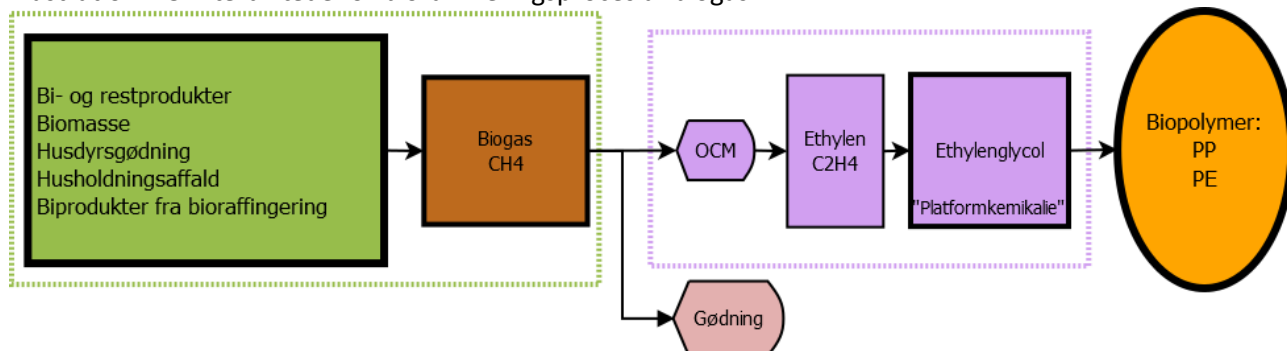
Energimajs, energiroer og kløvergræs har også et stort biogas potentiale, men der er for disse afgrøder en begrænsning på 12% (vægt input) som råvare i et biogasanlæg, hvis støtten til produktionen skal opretholdes. Denne begrænsning gælder for perioden 2018 – 2020 og forventes at blive videreført i en tilpasset form.

Hvis biogas skal bruges som råvare til biopolymer produktion, er det nødvendigt at opgradere den til naturgas kvalitet. I følge Energistyrelsen, forventes produktionen af opgraderet biogas til naturgas kvalitet at blive mere end fordoblet fra 2019 til 2022 til 20 PJ.

Den opgraderede naturgas kan sendes ind i naturgas nettet. De enkelte biogasanlæg, forudsat at de har opgraderingsfaciliteter, får herved adgang til et lager og nationale/internationale transportfaciliteter. Når den opgraderede biogas først er i naturgas nettet kan den naturligvis ikke længere adskilles. Såfremt at man ønsker at udnytte den opgraderede biogas 2. generations status, kan man benytte masse balance systemet som er kendt og anvendt eksempelvis i forbindelse med bæredygtig palmeolie.

Det er muligt at producere bioplast med afsæt i biogas. Biogassen produceres ved forgasning af husdyrgødning, biomasse som bi- og restprodukter fra landbruget, husholdningsaffald, restprodukter fra bioraffinering og andre organiske materialer. Teknologien er velfungerende såvel teknisk som økonomisk (under de gældende støtteordninger). Gennem en proces kaldet oxidativ kobling (OCM), kan metan (CH<sub>4</sub>) omdannes til ethylen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), der igen kan omdannes til ethylenglycol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>). Som tidligere nævnt er dette et platformskemikalie og råmateriale til produktion af forskellige biopolymerer såsom PE, PP og PET (Teknologisk Institut, 2018). Værdikæden er skitseret i illustration 6.2, nedenfor.

Illustration 4.3: Værdikæde for bioraffineringsproces af biogas



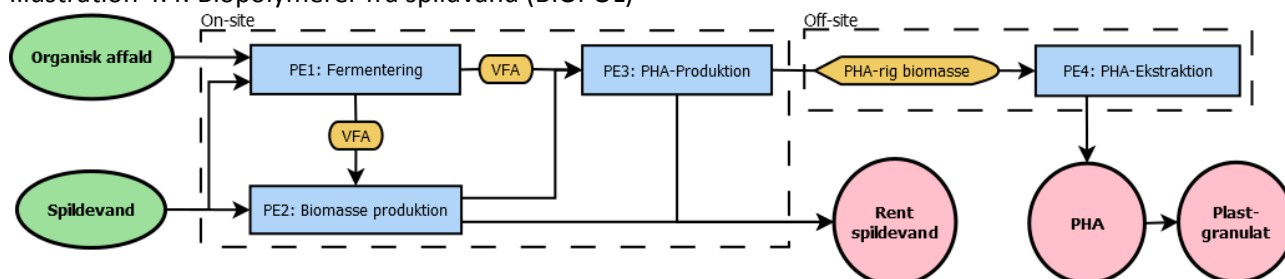
Egen tilvirkning.

OCM-processen til at omdanne metangas til ethylenglycol har været i demonstrationsdrift siden 2014 (Teknologisk Institut, 2018). Processen forudsætter dog at biogassen er opgraderet til naturgaskvalitet. TRL vurderes til omkring 7.

#### 4.4 Biopolymerer fra spildevand

PHA' er en råvare til bionedbrydelig plast. I projektet "BIOPOL - Udvinning af biopolymer fra spildevand" har man undersøgt og udviklet potentialet for produktion af biopolymer (PHA) til bioplastproduktion fra industri- og by spildevand. I et pilotforsøg med spildevand fra KMC, der producerer kartoffelbaserede ingredienser, er der i projektet udviklet en proces til produktion af biopolymer, der kan opskaleres til kommerciel skala. PHA'en produceres gennem en proces, der er udviklet og patenteret af Veolia (CellaTM - processen). Processen består af 4 trin, hvor spildevandet fermenteres til let-omsætteligt kulstof, og de bakterier, der lagrer PHA, favoriseres og opformeres ved at de udsættes for skiftevis substratoverskud og -underskud. Den producerede PHA ekstraheres og oprensnes endelig til en biopolymer, der har egenskaber, som er sammenlignelige med kommercielt tilgængeligt PHA.

Illustration 4.4: Biopolymerer fra spildevand (BIOPOL)



Kilde: Miljøstyrelsen (2018a)

Der er blevet udviklet et målrettet design til KMC, og biopolymerproduktion vil kunne realiseres på basis af det eksisterende industrirensaneanlæg ved blot at tilføje en 200 m<sup>3</sup> beluftet tank. Potentialet for PHA-produktion på KMCs anlæg er 450 t PHA/år af en pris af 4,5 EURO pr kg hvilket svarer til godt 15 mio. kr. pr år. Laboratorie forsøg har vist at den årlige mængde af by spildevand vil kunne danne grundlag for en produktion på godt 70.000 tons PHA.

#### 4.5 Grøn biomasse – protein og biogas

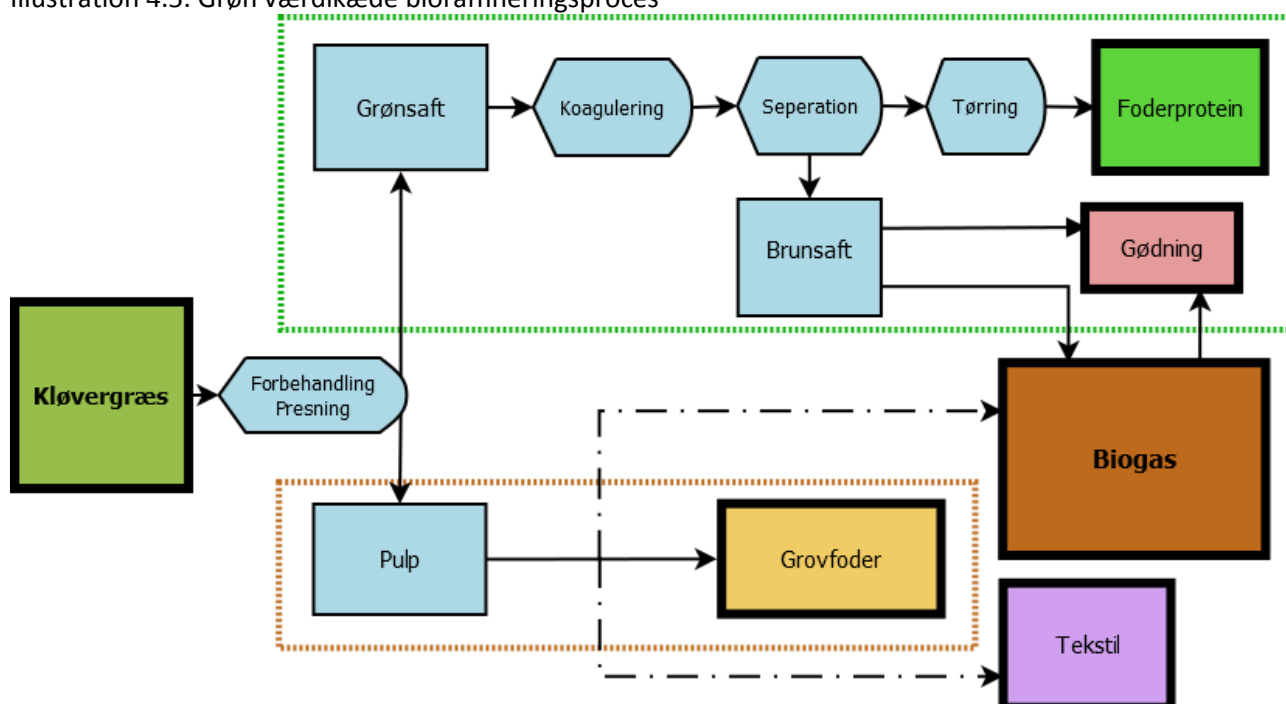
Bioraffinering af grøn biomasse som kløvergræs til protein af sojakvalitet, en pulp med samme foderværdi til grovfoder som det oprindelige kløvergræs samt et restprodukt (brunsaft) som råvare til biogasproduktion er et eksempel på en kaskade produktion. Konceptet vil kunne indgå både i protein og biopolymer strategierne.

Der kan være et betydeligt produktionspotentiale i løbet af få år. Det er estimeret, at der kan inkluderes 200.000 ha i Jylland på bekostning af korn og tilsvarende 200.000 ha på øerne. I Jylland kan fiberfraktionen hensigtsmæssigt udnyttes til kvægfoder, mens den på Øerne evt. kan udnyttes til energiproduktion. På 200.000 ha udgør potentialet fra 0,3 til 0,6 mio. tons proteinfoder (sojaskråækvivalenter) afhængig af afgrødetype, svarende til ca. 30 pct. af den danske import af proteinfoder.

Jensen og Gylling (2018) opstiller et eksempel på et grønt bioraffineringsanlæg med en kapacitet på 20 000 tons TS. Kløvergræs antages at have et tørstofindhold på 18 % så der skal anvendes 111.000 tons kløvergræs i bioraffinaderiet. Græsset forbehandles og presses, således at massen deles i en pulp og grønsaft. Pulpen udgør omkring 70 % svarende til 14.000 tons TS og kan anvendes direkte som grovfoder med en foderværdi pr. kg tilsvarende det oprindelige 'våde' græs eller alternativt som input i et biogasanlæg. Grønsaften udgør den resterende mængde og separeres i hhv. 3.500 tons protein af sojakvalitet og 2.500 tons TS brunsaft der anvendes som råvare til biogas. Brunsaft har et biogaspotentiale på 370 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> pr. ton TS, svarende til et totalt biogaspotentiale på 925 000 m<sup>3</sup> metangas. Pulpen har et gaspotentiale på 46-72 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> pr. ton TS (Lübeck, 2019). Med udgangspunkt i midten af dette interval udgør det samlede gaspotentiale for pulpen omkring 826.000 m<sup>3</sup> metangas.

Anvendelsen af pulpen til grovfoder eller til biogas skal afvejes i forhold til værdien af pulp som grovfoder eller som råvare til biogas. Som beskrevet ovenfor kan biogassen anvendes til produktion af biopolymerer.

Illustration 4.5: Grøn værdikæde bioraffineringsproces



Egen tilvirkning

Produktion af foderprotein fra græs er endnu ikke kommerialiseret i fuld skala, men produktionen er demonstreret i kontinuerlig pilotskala.

En væsentlig flaskehals er håndteringen af græsset. Græsset skal meget hurtigt efter høst processeres i bioraffinaderiet for at opretholde proteinkvaliteten. Dette indebærer at græsset skal transporteres med et lavt tørstofindhold, hvilket betyder relativt høje transportomkostninger. Lokaliseringen af det grønne bioraffinaderi i forhold til græsproduktionen er derfor af stor betydning for driftsøkonomien.

Det grønne bioraffinaderi kan kun operere i græssæsonen på 7 – 8 måneder. Dette stiller store krav til organiseringen af drift og anlægget. Teknologien for processen er næsten færdigudviklet, er der fortsat udfordringer omkring håndteringen af græsset. TRL vurderes til omkring 6-7.

Hvor halm er et restprodukt der i forvejen produceres, er græsproduktion ikke udbredt i tilstrækkelig grad til at understøtte et grønt bioraffineringsanlæg. For at sikre råvaregrundlaget, skal en del af landbrugsproduktionen omstilles. Her er det væsentligt at afregningsprisen på græs er konkurrencedygtig med de i forvejen producerede afgrøder. En fordel ved græsproduktion er, at den kan høstes flere gange hvert år, hvilket giver et stort biomasseoutput. Da græs samtidig har en god kvælstofudnyttelse er de miljømæssige konsekvenser ved en øget græsproduktion og tilhørende protein- og biogas produktion positive.

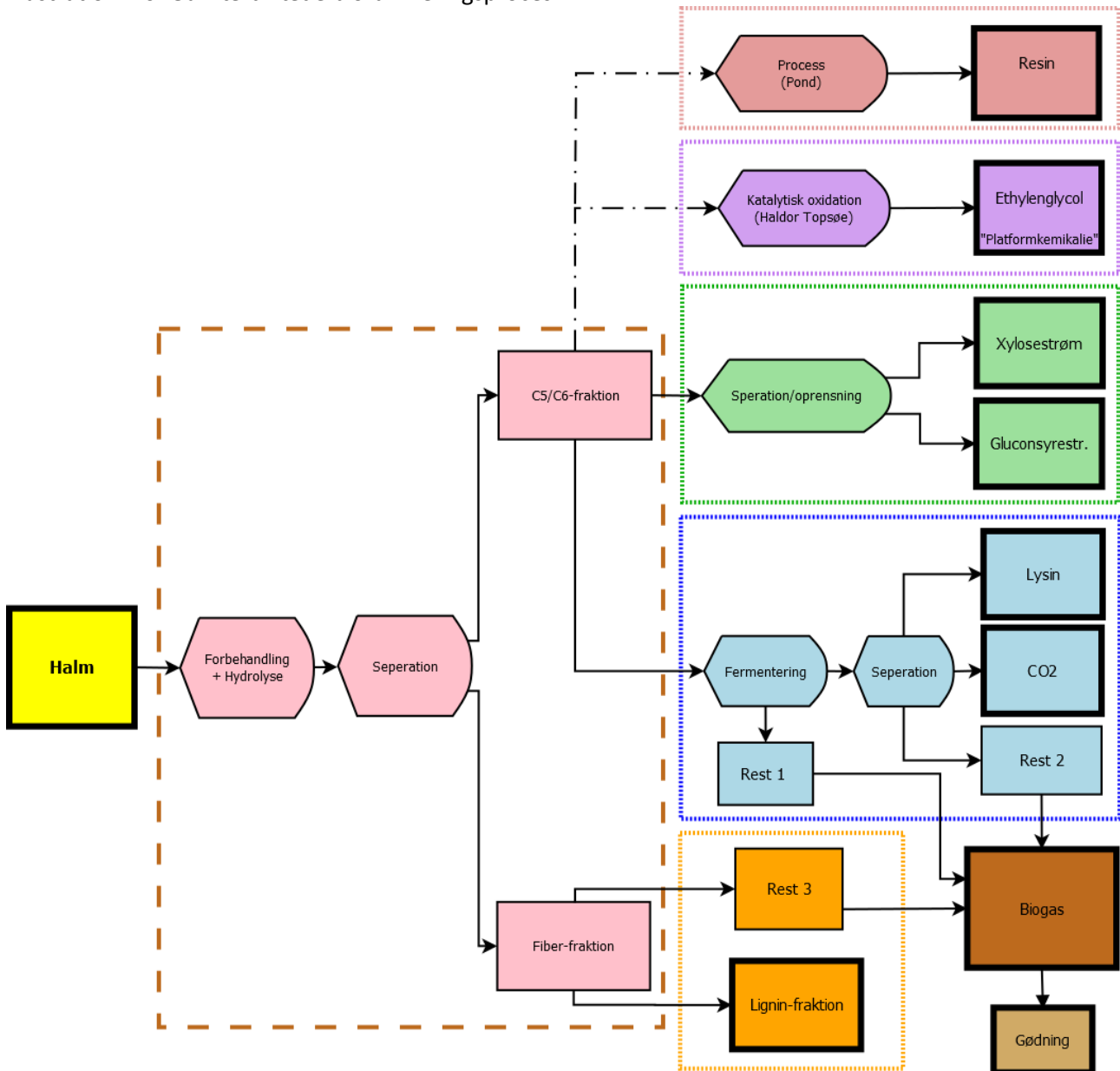
#### 4.6 Gul biomasse – halm

Bioraffinering af gul biomasse såsom halm har ligeledes et stort potentiale. Her er det muligt at udvinde en lang række højværdiprodukter såsom lysin, lignin, biogas og ethylenglycol. Ud fra Jensen, Gylling og Jørgensen (2018) illustreres nedenfor værdikæden for et bioraffinaderi med et årligt input på 300.000 tons halm. Produktionssporet for ethylenglycol er tilføjet til modellen som en alternativ anvendelse af sukkerfraktionen



300.000 tons hvedehalm til produktion af C5/C6 sukre og lignin. Der produceres 193.000 ton ts. C5/C6 sukre der eksempelvis kunne forarbejdes videre til ethylenglycol. Samtidig vil der være rest produkter fra produktionen der har et biogaspotentiale på 20.000 tons metan svarende til en produktion af 10.000 tons plast. Da der anvendes 300.000 tons hvedehalm vil der hvis der kun ses på biogas være et "tab" på 20 tons bioplast.

Illustration 4.6: Gul værdikæde bioraffineringsproces



Kilde: Jensen, Gylling og Jørgensen (2018) og JRC (2019) med yderligere tilføjelser

Som vist i illustrationen ovenfor forbehandles halmen (snittes og dampes), hvorefter den hydrolyseres og separeres. Ud fra den enzymatiske hydrolyse og separationen fremkommer en fraktion som indeholder C5/C6 sukkerstoffer og en lignin fraktion. Der antages tre produktionsstrømme i værdikæden: ligninstrømmen til lignin-baseret bindemiddel, en kulhydratstrøm som gennem katalytisk oxidation ender som ethylenglycol eller forædles til aminosyren lysin og/eller opgraderes til xylose og gluconsyre, samt sidst

at resterne fra de øvrige strømme anvendes til biogasproduktion, der kan anvendes til enten energi eller polymerproduktion som tidligere beskrevet (Gylling og Jørgensen, 2018).

Der gælder de samme flaskehalse for gul bioraffinering som for anden generations bioethanol produktion, hvor finansiering og geografisk lokalisering ift. råvarebasen skal være på plads. Sammenlignet med bioraffinering af grønne biomasser som græs, har halm den store fordel, at det kan lagres. Dermed er håndteringen en del enklere. Dog er teknologien mere kompliceret og endnu ikke udbredt på kommercielt niveau, men de respektive processer med undtagelse af ethylenglycol sporet er demonstreret på storskala. Ethylenglycolsporet er baseret på Haldor Topsøes MOSAIK™-teknologi, der skal gøre omdannelsen af sukker til ethylenglycol enklere og mere effektiv end den tidligere beskrevne rute via ethanol fermenteringsproces. MOSAIK afprøves i 2019 med målsætning om et kommercielt anlæg i Danmark i 2023<sup>1</sup>. TRL for det generelle gule bioraffineringsanlæg vurderes til 8, mens ethylenglycolsporet endnu mangler at blive demonstreret på storskala og TRL derfor vurderes til omkring 5. Haldor Topsøe vurderer TRL for MOSAIK™ til PET-produktion til at ville være 6-7 efter demonstrationen.

Der er også tilføjet et resinspor baseret på PONDs teknologi. POND har udviklet en biobaseret resin, som eksempelvis kan erstatte den formaldehydholdige lim der almindeligvis anvendes i spån-, OSB- og MDF-plader. Resinen er i dag baseret på majsstivelse, men kan også være baseret på kulhydrater fra 2. generations råvarer (TI 2018).

En spånplade består af 6-10% lim (træ.dk, 2009) den danske spånpladeproducent NOVOPAN bruger 380.000 tons træ (flis og spåner) og 35.000 tons lim årligt til spånpladeproduktionen. (Novopan, u.a.).

Hvis man tager etylenglycol sporet samt biogas produktionen vil der samlet være et produktionspotentiale på ca. 39.000 tons bioplast, hertil kommer de andre produkter.

300.000 tons halm vil via biogas have et produktionspotentiale på godt 30.000 tons plast.

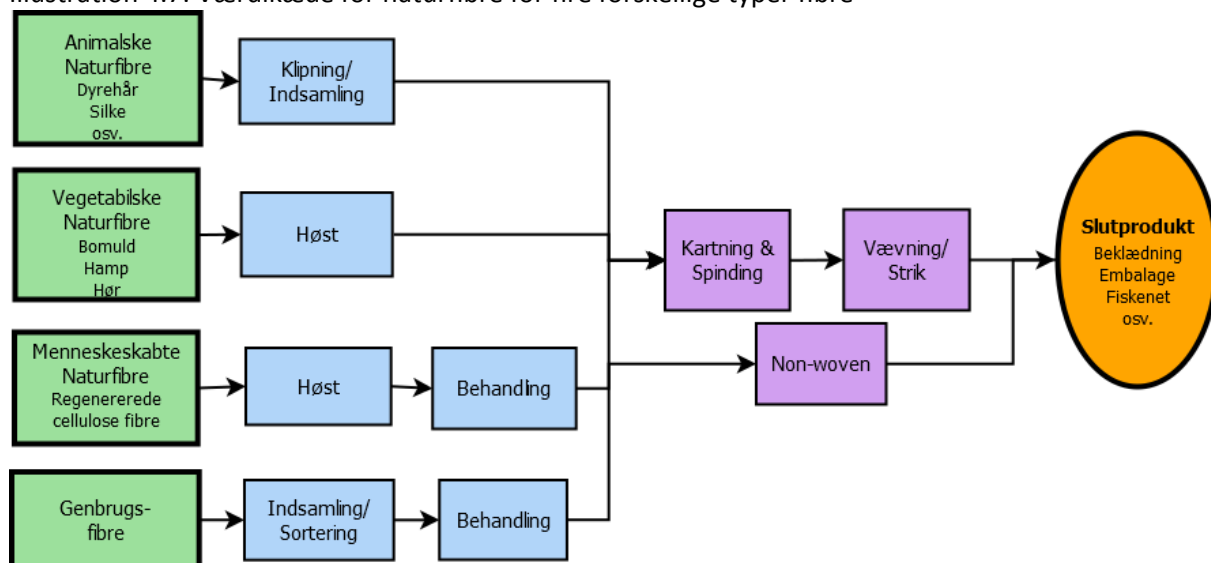
---

<sup>1</sup> Se Teknologisk Institut (2018), <https://info.topsoe.com/biochemicals> og [https://plast.dk/wp-content/uploads/2019/02/Sourcing-of-feed-stock-for-biopolymers\\_Lars\\_Storm\\_Pedersen.pdf](https://plast.dk/wp-content/uploads/2019/02/Sourcing-of-feed-stock-for-biopolymers_Lars_Storm_Pedersen.pdf).

## 4.7 Fibre til tekstiler og emballage

Nedenstående illustration viser værdikæden for Naturfibre af fire forskellige typer. Animalske fibre, heriblandt silke, uld og andre dyrehår, vegetabiliske fibre såsom bomuld, hamp og hør samt menneskeskabte (Man-made) fibre lavet af regenereret cellulose, typisk udvundet af træ men med nye teknikker kan også halm og græs blive interessant. Animalske naturfibre indsamles og forarbejdes hvorefter de typisk vil kunne benyttes både i industrien og til tekstiler. Vegetabiliske naturfibre dyrkes hvorefter de renses, sorteres og kartes for senere at kunne videreforarbejdes til eksempelvis tekstiler. Menneskeskabte fibre såsom eksempelvis Viskose, Rayon, Lyocell og i nogen grad også Polyester (der kan produceres af bio PET) bliver brugt i stor udstrækning. Til sidst er der genbrugsfibre, der eksempelvis kunne være genbrugstøj der er blevet indsamlet, men efter sortering ikke er fundet egnet til direkte genbrug og i stedet blevet kasseret.

Illustration 4.7: Værdikæde for naturfibre for fire forskellige typer fibre



Egen tilvirkning

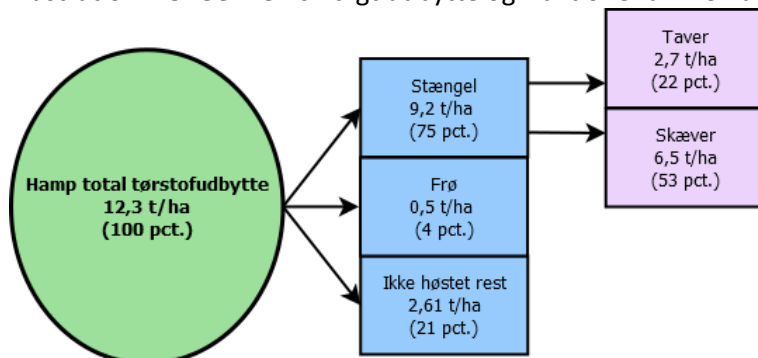
I tilfældet for hamp og hør gælder, at for at fremstille en god fiber til tekstil anvendelse skal ligninen samt så meget som muligt af hemicelluloseindholdet fjernes for at gøre fiberen stærk samt let at spinde. Dette kan gøres ved kogning, kemisk-, mikrobiel-, eller enzymatisk behandling. En fordel ved den enzymatiske behandling er at kvaliteten af fibrene bliver forbedret og blødgjorte der gør dem bedre egnede til tekstilproduktion (Pallesen, 2016).

På nuværende tidspunkt er der i Danmark en beskedent hørproduktion med i omegnen af 100 ha dyrket areal i 2018 (Danmarks statistik), i Europa er Frankrig den førende producent af fiberhør med over 98 000 ha med en tilhørende høst på omkring 600.000 ton i 2017 (Eurostat). Danmark importerer i underkanten af 200 ton heklet hør og omtrent 140 ton garn eller allerede forarbejdede tekstiler af hør (linned) (Danmarks statistik). Danmark importerer primært hamp i form af garn og tovværk svarende til 267 ton. På Europæisk plan bliver der ikke produceret specielt store mængder hamp, igen er Frankrig her den største europæiske producent med en produktion på 17.000 ha svarende til ca. 129.000 ton. Der blev i 2018 dyrket omkring 300 hektar med industrihamp i Danmark, og der forventes en stigende produktion af industrihamp (olie) til produktion af medicinsk cannabis-olie. Dyrkning af industri hamp i Danmark kræver en tilladelse udstedt af

lægemiddelstyrelsen, men administreret af landbrugsstyrelsen. Tilladelsen gælder i et år ad gangen (Miljø- & Fødevareministeriet).

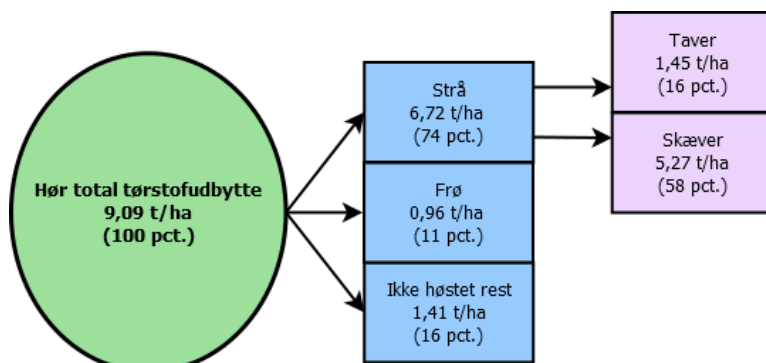
Følgende illustrationer 4.8 og 4.9 viser gennemsnitlige tørstof udbytter for hamp og hør dyrket under danske forhold samt udbytte af de enkelte fraktioner.

Illustration 4.8: Gennemsnitligt udbytte og fraktioner af fire hampesorter afprøvet i Danmark 1998-2000



Kilde: Deleuran og Flengmark (2005)

Illustration 4.9: Gennemsnitligt udbytte og fraktioner af tre hørsorter afprøvet i Danmark 1962-68



Kilde: Nordestgaard (1969)

## 5 Omkostninger

### 5.1 Omkostninger til konverteret mellemprodukt

Omkostningerne til produktion af biogas og ethanol er meget afhængig af råvareprisen leveret på anlægget. Birkmose et.al. (2015) har beregnet råvareprisen pr. Nm<sup>3</sup> metan for forskellige råvarer og en transportafstand på 10 km til biogasanlægget, resultaterne er vist i tabel 5.1.

Tabel 5.1: Råvarepris i kr. pr. Nm<sup>3</sup> metan ved transportafstand på 10 km.

<b>Mavetarmindhold, (slagteriaffald)</b>	-0,19
Halm, våd, ukurant	0,69
Dybstrøelse hest	0,99
Dybstrøelse fjerkræ	1,06
Dybstrøelse kvæg	1,08
Dybstrøelse svin	1,09
Fiberfraktion fra svinegylle	1,23
Fast staldgødning	1,25
Minkgylle (3-7 %)	1,26
Slagtesvinegylle	1,39
Have parkaffald	1,46
Kvæggylle	1,52
Glycerin	2,54
Sogylle	2,59
Naturarealer sen 60 %	2,59
Halm, tør/ knusning	2,90
Halm, tør, briket/ekstrudering	3,14
flotations slam	3,43
Husholdningsaffald - pulpet	3,54
Affald fra servicesektoren, pulpet	3,54
Naturarealer tidlig 25 %	3,62
Kløvergræs	3,67
Randzoner	3,83
Roer	3,87
Roetopensilage	3,87
Majs	4,37
Grøftekanter	4,40
Akvatiske biomasser	4,67
Efterafgrøder	8,09

Kilde: Birkmose & Gregersen (2015)

Ikke overraskende er råvareprisen pr. Nm<sup>3</sup> metan stærkt afhængig af råvarens tørstof indhold. Som det fremgår, er omkostningerne markant lavere ved dybstrøelse og fast gødning end ved gylle.

## 5.2 Omkostning til opgradering til bionaturgas

Hvis biogas skal anvendes som råvare til biopolymer fremstilling er det nødvendigt at opgradere biogassen til naturgas kvalitet. Som det fremgår af tabel 5.2 koster det 127 kr. og 155 kr. at levere en GJ biometan til naturgasnettet.

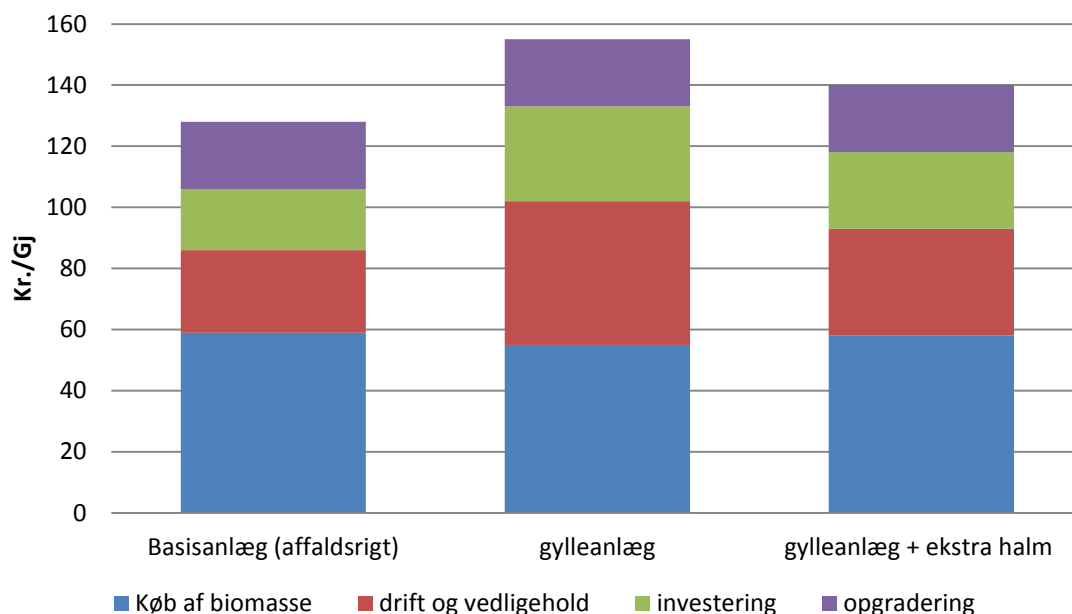
Tabel 5.2: Produktionsomkostninger for biogas leveret på naturgasnettet (Kr./GJ)

	Basisanlæg (affaldsrigt)	Gylleanlæg	Gylleanlæg + ekstra halm
<b>Køb af biomasse</b>	59	55	58
<b>Drift og vedligehold</b>	27	47	35
<b>Investering</b>	20	31	25
<b>Produktionspris</b>	106	134	117
<b>Opgradering</b>	22	22	22
<b>Produktionspris inkl. Opgradering</b>	127	155	139

Kilde: Energistyrelsen (2018)

Som det ses af tabel 5.2 og figur 5.1 er det især investering og drift og vedligehold der adskiller de tre anlægstyper.

Figur 5.1 Fordeling af produktionsomkostninger til biogas i 2020 (kr./GJ)



Kilde: Energistyrelsen (2018)

Det gyllebaserede anlæg har de højeste produktionsomkostninger på 155 kr./GJ mens det affaldsrige anlæg ligger lavest med produktionsomkostninger på 127 kr./GJ.

### 5.3 Økonomisk potentiale for anvendelse af biomasse råvarer

Tabel 5.3 viser de estimerede priser og den samlede omsætning i EU for platformskemikalier og biobaserede råvarer til biopolymer industrien.

Tabel 5.3: Produktion, priser og omsætning i EU

Produktkategori	Biobaseret produktion (kT/år)	Total produktion (kT/år)	EU i pct.	Biobaseret produktion i pct.	EU bio- forbrug (kT/år)	Pris (DKK/kg)	Omsætning (mia. DKK/år)
<b>Platformskemikalier</b>	181	60.791	0,3	197	11,04	2 000	
<b>Opløsningsmidler</b>	75	5.000	1,5	107	7,54	0,567	
<b>Polymerer til plast</b>	268	60.000	0,4	247	22,23	5.961	
<b>Maling, coatings, blæk og farvestof</b>	1.002	10.340	12,5	1.293	12,08	12.109	
<b>Overfladebehandlere</b>	1.500	3.000	50,0	1.800	12,31	18.486	
<b>Kosmetisk og personlig pleje</b>	558	1.263	44,0	558	90,05	8.617	
<b>Bindemidler (lim mv.)</b>	237	2.680	9,0	320	12,31	2.917	
<b>Smøremidler</b>	237	6.764	3,5	220	17,38	4.118	
<b>Blødgørere (platicisers)</b>	67	1.300	9,0	117	26,86	1.798	
<b>Man-made fibre</b>	600	4.500	13,0	630	19,77	11.863	
<b>I alt</b>	<b>4.725</b>	<b>155.639</b>	<b>3,0</b>	<b>5.489</b>		<b>68.394</b>	

Kilde: Spekreijse *et al.* (2019)

Note: Priser omregnet fra EUR med kurs 7,46

Som det fremgår af tabellen er der alene for polymerer til bioplast en omsætning i Europa på 5.951 mia. kr./år.

Set fra et dansk udgangspunkt vil platformskemikalier og polymerer til plast være områder hvor der kunne skabes en forretning i en eller flere dele af værdikæden.

## 6 Beskæftigelsespotentiale

Med nye industrier følger naturligt et behov for arbejdskraft. En væsentlig samfundsmæssig effekt ved udvidelsen af biopolymer aktiviteterne er en forøget beskæftigelse. Det er oplagt at investering, opførelse og drift af nye produktions anlæg til bioteknologi industrien skaber jobs på både kort og lang sigt. Den nøjagtige effekt heraf er svær at forudsige, da den afhænger af teknologien og det øvrige marked. En meget generel tommelfingerregel er at en investering på 1 mia. kroner skaber i omegnen af 1000 jobs<sup>2</sup>. Her gælder at der skabes flest jobs i byggefasen, og at den langsigtede jobskabelse i driftsfasen er en del lavere.

Damvad Analytics (2017) beregner eksempelvis at opførelsen af i alt 10 biogasanlæg til en samlet pris på 2,9 mia. kroner vil medføre 2300 årsværk i bygge- og planlægningsfasen, mens driften af anlæggene vil medføre en omsætning på 1,4 mia. kr. og omkring 120 fuldtidsstillinger, plus yderligere 708 stillinger i

<sup>2</sup> Se <https://www.dr.dk/nyheder/penge/3f-invester-i-energirigtige-job> til eksempel.

landbrugs- og transportsektoren og i relation til vedligehold mv. Dertil kommer en beskæftigelseeffekt relateret til de ansattes privatforbrug på 497 stillinger.

Til sammenligning beregner Arbejdernes Erhvervsråd (2015) at opførelsen af et bioraffineringsanlæg til 3,4 mia. kr. vil medføre 2450 årsværk i byggefasen og ydermere 1000 jobs i en årrække efter etableringen. Den faste beskæftigelse vurderes dog til at ville være aftagende mod 200 stillinger. Det er dog uvist om beregningen inkluderer beskæftigelsen forbundet med produktion og transport af biomasse til anlægget.

Jensen, Gylling og Jørgensen (2018) estimerer at lønomkostningerne for et bioraffineringsanlæg forventeligt vil svare til 22 % af den samlede produktionsværdi. For et anlæg der kan behandle 300.000 tons halm (illustreret i afsnit 4.) vil dette svare til 44 mio. kr. eller 90 fuldtidsansatte.

Generelt forventes det at den største beskæftigelseeffekt findes uden for de bioteknologiske industrianlæg. Produktionen, håndteringen og transporten af biomasse vil kræve en stor mængde arbejdskraft. Ligeledes vil en forøget affaldshåndtering medføre en øget beskæftigelse. Den samlede beskæftigelseeffekt ved håndtering af organisk husholdningsaffald er mellem 1,33 og 1,86 pr. 1000 tons affald. Med en total mængde organisk husholdningsaffald på 850 000 tons er det potentielle beskæftigelsespotentiale ved en totalhåndtering således 1581 fuldtidsstillinger (Gylling et. al., 2016).

Det fremgår at beskæftigelseeffekten ved håndtering af biomasse til biogasanlæg er en væsentlig del af den potentielle beskæftigelsesforøgelse ved investeringer. Det primære input til biogasanlæg i Danmark er gylle. For forgasning af gylle gælder, at der opnås en merværdi i form af biogas til energiproduktion uden at gødningsværdien mindskes (Jensen, 2015). Modsat gælder det for bioraffinering at inputtet i udgangspunktet ikke kan sendes tilbage til landmanden. Bioraffineringsanlæg skal dermed konkurrere med andre anvendelsesmuligheder om biomasse til input. Markedet for energiproduktion er forventeligt en del større end markedet for højværdiprodukter fra bioraffinering. Det er dermed sandsynligt at der vil være en del flere biogasanlæg end bioraffinaderier og det må derfor formodes at det samlede beskæftigelsespotentiale for biogas er en del større end for bioraffinering.



## 7 Opsamling – økonomi og mængder

Med et fokus på produktion af plastråvare vil de teoretiske biogaspotentialer være som opgivet i tabel 7.1.

### Potentialet af plast fra biogas (CH<sub>4</sub>), bioethanol og PHA fra industrielt rensningsanlæg

#### *Biogas - potentiale*

Som det fremgår af tabel 7.1. er det teoretiske potentiale for biogas, hvis alle råvarer anvendes til biogas på 1.2– 1.6 mio. tons metan, svarende til (600.000-800.000 tons bioplast), Det danske forbrug af plast ligger på omkring 600.000 tons årligt.. Det ses også at værdien af den potentielle plastråvare er mellem 13 og 17,6 mia. kr.

Tabel 7.1: Opsummering (biogas)

	Tons metan	Plastråvare	Værdi i DKK
<b>Biogaspotentiale - teoretisk</b>	1.2– 1.6 mio. tons	600.000 – 800.000 tons	Ca. 13 – 17,6 mia.
<b>Grønne bioraffinaderier baseret på 400.000 ha.</b>			
<b>Både fibre og brunsaft</b>	262.000 tons	131.000 tons	Ca. 2.4 mia.
<b>Kun brunsaft</b>	138.000 tons	69.000 tons	Ca. 1.4 mia.
<b>Gult bioraffinaderi baseret på 300.000 tons halm</b>			
<b>Biogas fra restprodukter</b>	20.000 tons	10.000 tons	Ca. 222 mio.

Note: priser omregnet fra EUR med kurs 7,46.

### Potentialet af plast fra biogas (CH<sub>4</sub>), bioethanol og PHA fra industrielt rensningsanlæg

#### *Biogas - potentiale*

Som det fremgår af tabel 9.1. er det teoretiske potentiale for biogas, hvis alle råvarer anvendes til biogas på 1.2– 1.6 mio. tons metan, svarende til (600.000-800.000 tons bioplast). Det ses også at værdien af den potentielle plastråvare er mellem 13 og 17,6 mia. kr.

Såfremt der anvendes 300.000 tons halm til det gule bioraffinaderi, vil potentialet være 20.000 tons metan mindre.

#### *Biogaspotentiale fra grøn bioraffinering*

Af tabel 9.1. ses det også at grønne bioraffinaderier, baseret på 400.000 ha, hvor både fiber og brunsaft anvendes til biogas har et biogaspotentiale på godt 262.000 tons metan. Dette svarer til ca. 131.000 tons plastråvare, som repræsenterer en værdi på ca. 2.4 mia. kr.

Anvendes kun brunsaften til biogas mens fiberen anvendes som grovfoder vil gaspotentialet være på 138.000 mio. tons metan svarende til et produktionspotentiale på 69.000 tons plastråvare med en værdi af ca. 1.4 mia. kr.

Hvor stor en del af det skitserede biogaspotentiale der vil være en nettoforøgelse vil afhænge hvilke afgrøder der erstattes og hvor stor del af brunsaften og pulpen der vil blive anvendt til biogas.

#### *Biogaspotentiale fra gul bioraffinering*

Et "gult" bioraffinaderi baseret på 300.000 tons halm vil fra restprodukterne give et biogaspotentiale på 20.000 tons metan, der ved en konverteringsrate på 50 % kan svarer til en produktion på 10.000 tons plast.

Den estimerede værdi af dette ses af tabel 9.1. og er ca. 222 mio. kr.

### **Det teoretiske potentiale**

De her angivne teoretiske potentialer er baseret på det teoretiske råvaregrundlag, og skal sammenlignes med energistyrelsens prognose for produktion og anvendelse af biogas i 2025. Det forventes at den samlede produktion af biogas i 2025 vil være på 270 mio. tons metan, hvoraf omkring 193 mio. tons opgraderes til naturgas kvalitet. Denne mængde vil være til rådighed som råvare for bioplast og den vil svare til knapt 100.000 tons plast råvare.

### **Potentiale for PHA-produktion – teoretisk**

PHA er en råvare til produktion af bionedbrydelig plast. PHA produceres ud fra spildevand gennem fermentering og bakterielle processer.

Tabel 7.2: Potentiel PHA-produktion

	<b>Kilde</b>	<b>Potentiale</b>	<b>Pris</b>
Potentiale for PHA-produktion, KMC	Spildevand fra KMC	450 tons PHA/år	4,5 Euro / kg Ca. 15 mio. kr.
Rensnings anlæg	By spildevand	70.380 tons PHA/år	Ca. 316 mio. kr.

Kilde: Miljøstyrelsen (2018a)

Fuldskalaforsøg har vist at der PHA potentialet ved anvendelse af spildevand til KMC's rensningsanlæg vil ligge på 450 tons PHA pr år, hvilket har en anslået værdi på ca. 15 mio. kr. Der var i 2018 480 spildevandsanlæg, der rensede tilsammen mere end 656 mio. m<sup>3</sup> spildevand svarende til knapt 7,7 mio. personækvivalenter (PE). Laboratorie forsøg har vist at den årlige mængde af by spildevand vil kunne danne grundlag for en produktion på godt 70.000 tons PHA. Man skal dog her være opmærksom på at potentialet er baseret på laboratorie forsøg fra et enkelt rensningsanlæg og at spildevandsanlæggene anvender flere forskellige teknologier hvilket kan påvirke udbyttet af PHA på de enkelte anlæg.

### **Produktion af plast fra 2. gen bioethanol**

Tabel 7.3: Opsummering (bioethanol)

	<b>Tons tørstof</b>	<b>Ton bioethanol</b>	<b>Plastråvare</b>	<b>Værdi i DKK</b>
<b>Halm</b>	2.000.000	250 kg/tons ts	168.000 tons	3,7 mia.
<b>Energitræ</b>	850.000	250 kg/tons ts	71.400 tons	1,6 mia.
<b>Sukkerroetop</b>	275.000	250 kg/tons ts	23.100 tons	509 mio.

Kilde: Haugaard-Nielsen.H et al. 2006.

2. generationsråvarerne kan her være 2,0 mio. tons ts. halm med et aktuelt udbytte 250 kg bioethanol/ton tørstof. Dette vil svare til ca. 168.000 tons plastråvare til en værdi af 3,7 mia. kr. Såfremt de 2 mio. tons tørstof i halm anvendes som råvare til bioethanol vil der være en potentiel reduktion i den teoretiske biogasproduktion på omkring 300 mio. Nm<sup>3</sup> metan.

Anvendes dele af eller hele den danske den danske produktion af energitræ vil en tilsvarende mængde skulle importeres for at dække den manglende mængde energi.

Roetop anvendes kun i meget lille omfang i dag, men bliver typisk snittet på marken i forbindelse med roeoptagningen.

Anvendelsen af halmen og energitræet vil i sidste ende afhænge af hvilken anvendelse der har det bedste økonomiske potentiale.

### **Allokering af råvaren**

Som det fremgår af ovenstående er der tale om meget store potentielle værdier hvis al potentiel biogas og al potentielt bioethanol blev anvendt som bioplastråvare. Mængderne af biogas og bioethanol er estimeret på basis af opgørelser af de potentielle råvarer. Opgørelserne kan betragtes som det teoretiske potentiale som i de fleste tilfælde vil være væsentligt mindre end det tekniske og økonomiske potentiale. Energistyrelsen (2018) angiver det økonomisk potentiale på mellem 2 og 21 % af det teoretiske potentiale.

Der vil dog være en række muligheder for at påvirke både det tekniske og det økonomiske potentiale gennem forbedret teknologi og forskellige økonomiske incitamenter.

Samtidig skal man være opmærksom på, at en del af råvarerne indirekte er forudsat anvendt til flere formål. Når der tages højde for dette vil det samlede potentiale blive mindre.

## Referencer

Arbejdernes Erhvervsråd (2015): Potentialet for grønne jobs i Danmark.

[http://www.projectzero.dk/Files/Files/dokumenter/2015%20filer/3F\\_Potentialet\\_for\\_gr%C3%B8nne\\_job\\_i\\_Danmark.pdf](http://www.projectzero.dk/Files/Files/dokumenter/2015%20filer/3F_Potentialet_for_gr%C3%B8nne_job_i_Danmark.pdf)

Arla, u.a.(a): *Grøn karton*. <https://www.arla.dk/produkter/arlaoko/gron-karton/>

Arla, u.a.(b): *Et grønt kvotesystem*. <https://www.arla.dk/produkter/arlaoko/gron-karton/et-gront-kvotesystem/>

Birkmose, T., Hjort-Gregersen, K., Hinge, J & Hørfarter, R., (2015): *Kortlægning af hensigtsmæssig lokalisering af nye biogasanlæg i Danmark*, SEGES & AgroTech

Bojesen, M. H., Jensen, M. V., Lillethorup, T. R., Gylling, M., & Jakobsen, A. B. (2016). Helårsforsyning af bioraffinaderier: *Udbudskurver for biomasse fra halm, majs, pil og slætgræs*. Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Rapport, Nr. 252

Copenhagen Resource Institute, (2017): *Udvikling i affald i de lande hvorfra der importeres affald til forbrænding i Danmark*, Copenhagen Resource Institute.

Dammer, L., Carus, M. og Dr. Piotrowski, S., (2019): *Sugar as Feedstock for the Chemical Industry – What is the most sustainable option?*, Nova-Institut GmbH, Hürth (Tyskland).

Damvad Analytics (2018): Samfundsøkonomiske effekter af investeringer i biogasanlæg.

<file:///C:/Users/fsm158/Downloads/Samfundsøkonomiske%20effekter%20af%20biogasanl%20g.pdf>

DANVA (2018) : Vand i tal

Deleuran, L. og Flenmark, P., (2005): *Yield potential of hemp (Cannabis sativa L.) cultivars in Denmark*. Journal of Industrial Hemp 10: 19-31

Ea Energianalyse, (2016): *Biogas og andre VE brændstoffer til tung transport*, Ea Energianalyse i samarbejde med Syddansk Universitet.

Energistyrelsen, (2014): *Teknologivurdering af udvalgte energiteknologier nr. 2 2014: Biogas og biogasopgradering*, Energistyrelsen.

Energistyrelsen, (2015): *Biomassepotentialer i Danmark, EU og globalt*. Københavns Universitet, Cowi og Energistyrelsen.

Energistyrelsen, (2016): *Effekt af biogasproduktion på drivhusgasemissioner*, Energistyrelsen.

Energistyrelsen, (2018): *Perspektiver for produktion og anvendelse af biogas i Danmark*, Energistyrelsen.

Fødevarer- & Miljøstyrelsen, <https://lbst.dk/landbrug/planteavl/hamp/#c8729>

Gylling, M., Lillethorup, T. R., & Jensen, M. V., (2016). Organisk affald fra husholdninger og servicesektoren samt effekter af nuværende anvendelse, 39 s., jan. 12, 2016. IFRO Udredning, Nr. 2016/03

Haugaard-Nielsen, H. et al. 2006. Plantekongres (2006). 13.1.3 Bioenergi

Hjort-Gregersen, K., Larsen, S.U. og Pedersen, J., (2017). *Fleksibel kraft-varmeproduktion fra biogas baseret på restbiomasser fra landbruget.*, Teknologisk institut – AgroTech

Ingeniøren u.a.: *Nye legoklodser skal fremstilles af sukkerrør.* <https://ing.dk/artikel/nye-legoklodser-skal-fremstilles-sukkerroer-210905>

Jensen, L. S. (2015). *Udvikling af beregningsmodel til bestemmelse af gødningsværdi og fastsættelse af udnyttelsesprocent for biomasser til biogasanlæg.* Rapport for Miljøstyrelsen, udgivet af Institut for Plante- og Miljøvidenskab, Københavns Universitet.

Jensen, J. D., & Gylling, M. (2018). *Økonomiske vurderinger i forhold til værdikæden for Grøn Bioraffinering.* Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Dokumentation, No. 2018/3

Jensen, J. D., Gylling, M., & Jørgensen, H. (2018). *Økonomiske vurderinger i forhold til værdikæden for Gul Bioraffinering.* Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Dokumentation, No. 2018/6

Jensen, J. D., (2019). *Fremskrivning af dansk landbrug frem mod 2030 – december 2018*, 14 s., IFRO Udredning, Nr. 2019/02

Jensen, M. V., Gylling, M., Jacobsen, A. B., Hansen, E. W., & Lillethorup, T. R. (2018). *Redegørelse om bi- og restprodukter – fra forarbejdningen af fødevarer inklusiv madspil og fra nonfoodindustrien, og om hvordan denne ressource bedst udnyttes.* Frederiksberg: Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Rapport, Nr. 268

Jørgensen, R. et al., (2019): *Danske afgrøder (hør og hamp) der kan være relevante i forhold til produktion af biopolymerer*

Jørgensen, U., Elsgaard, L., Sørensen, P., Olsen, P., Vinther, F.P., Kristensen, E. F., Ejrnæs, R., Nygaard, B., Krogh, P. H., Bruhn, A., Rasmussen, M. B., Johansen, A., Jensen, S. K., Gylling, M. & Bojesen, M., (2013): *Biomasseudnyttelse i Danmark – Potentielle ressourcer og bæredygtighed*, Aarhus Universitet.

Landbrug og Fødevarer, (2017): *Mejeristatistikken 2017.*  
<file:///C:/Users/fsm158/Downloads/Mejeristatistik-2017.pdf>

Lego, u.a.: *Lego - Plants from plants*. <https://www.lego.com/da-dk/themes/plantsfromplants#section-2>

Lübeck, A. (2019): *Biogaspotentialiet i græspulp og restvæske fra et grønt bioraffinaderi*. [http://icrofs.dk/fileadmin/user\\_upload/8 - Biogaspotentialer - Hinrich Uellendahl - 2018\\_09\\_Biogas fra restprodukter af et groent bioraffinaderi HU.pdf](http://icrofs.dk/fileadmin/user_upload/8_-_Biogaspotentialer_-_Hinrich_Uellendahl_-_2018_09_Biogas_fra_restprodukter_af_et_groent_bioraffinaderi_HU.pdf)

Miljø- og fødevarerministeriet - <https://mst.dk/natur-vand/vand-i-hverdagen/spildevand/kilder-til-spildevandsudledning/reanseanlaeg/>

Miljøstyrelsen (2018a). *BIOPOL – udvinding af biopolymerer fra spildevand*. MUDP-rapport. Januar 2018

Miljøstyrelsen (2018b). *Kortlægning af tekstilflows i Danmark*. Miljøprojekt nr. 2017. Juni 2018

Nordestgaard, A. (1969): *Forsøg med sorter af spindhør 1962-68*. Beretning nr. 1325 fra statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.

Novopan, u.a.: *Miljøvenlig produktion – fra spåner til plader*. <http://www.novopan.dk/Produktion-124.aspx>

Pallesen, B.E., (2016); *Bæredygtige hør- og hampetekstiler – Udvikling af tekstilkoncept med nye enzymatiske færdigbehandlingsmetoder på basis af lokalt producerede tekstilråvarer*, Styrelsen for Forskning og Innovation.

Plastindustrien, u.a.: *Brancheforeningen for danske plastvirksomheder*. <https://plast.dk/2018/03/nye-lego-klodser-bliver-produceret-i-sukkerroer/>

Spekreijse, J., Lammens, T., Parisi, C., Ronzon, T., Vis, M., (2019): *Insights into the European market of bio-based chemicals*. Analysis based on ten key product categories, EUR 29581 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-79-98420-4, doi:10.2760/549564, JRC112989

Statistikbanken.dk <http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1920>

Teknologisk Institut, (2018): *Analyse af danske styrkepositioner inden for biopolymerværdikæden*, Teknologiske Institut

Tojo, N., Kogg, B., N. Kiørboe., Kjær, B & Aalto, K., (2012): *Prevention of Textile Waste – Material flows of textiles in three Nordic and suggestions on policy instruments*. Norden.

Træ.dk, (2009): *Spånplader*. <https://www.trae.dk/leksikon/spaanplader/>

Århus Stiftstidende, (2017): *Milliardordre på vej: Århusiansk bioplast-virksomhed kan have fået historisk gennembrud*. <https://stiften.dk/erhverv/Milliardordre-paa-vej-AArhusiansk-bioplast-virksomhed-kan-have-faaet-historisk-gennembrud/artikel/468687>

af bioplast (PET/PE) kan producere klodserne med samme nøjagtighed som med den nuværende ABS plast vil der alene her være et betragteligt marked.