

Populærvidenskabelig rapport



POWER BIO

Anvendelse af halm

Udarbejdet af Roskilde Universitet



Interreg



Medfinansieret af
Den Europæiske Union

Øresund-Kattegat-Skagerrak

REGION
SJÆLLAND
- vi er alle på

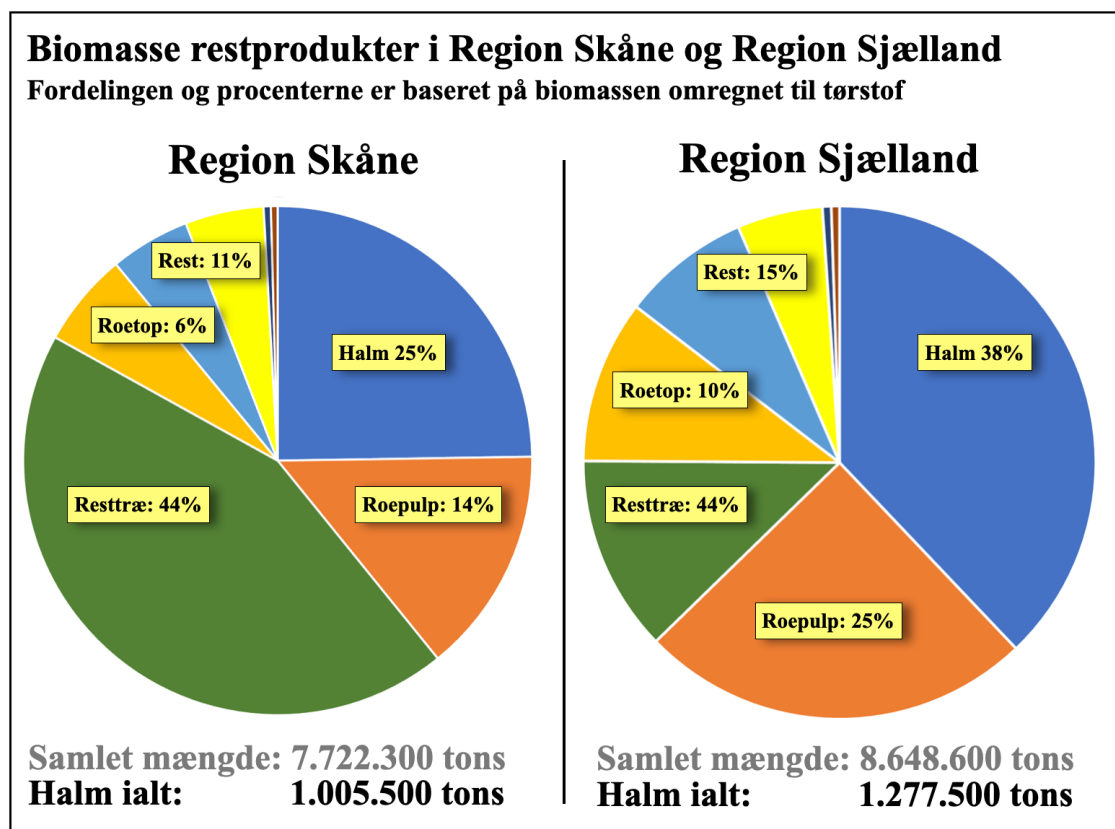
Halm

Tyge Kjær

1. Introduktion

Vi ser det på markerne: Halm i striber efter mejetærskerne eller halm presset sammen til halmballer eller presset til rundballer. Omregnet til tørstof er halm den største biomasse i vores to regioner. Der er relative store ligheder i sammensætningen af biomasserne mellem de to regioner; men også forskelle, som hænger sammen med at Region Sjælland er en mere skovfattig region. Det kan illustreres med nedenstående figur.

Figur 1. Biomasse restprodukter i Region Skåne og Region Sjælland, estimerede mængder omregnet til tørstof.¹



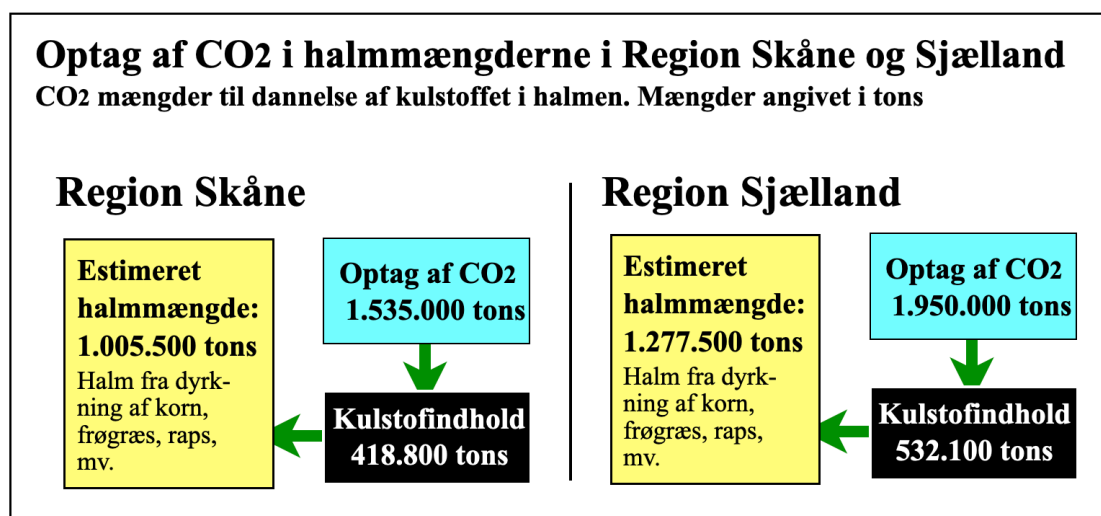
Figuren viser, at halmen udgør 25% af restbiomasserne i Region Skåne og 38% af de tilsvarende biomasse i Region Sjælland. Halm-mængderne er så betydelige i begge regioner, hvor halmmængden i Region Skåne er opgjort til **1.005.500 tons** årligt og i

¹⁾ Baseret på **Biomasseværktøjet** fra projektet Power Biomasse. De forskellige biomasser indeholder varierende mængder af vand, f.eks. er tørstofindholdet i halm typisk 85%; medens tørstofindholdet i gylle varierer mellem 4-7%. For at kunne sammenligne de forskellige biomasser er det derfor nødvendigt at omregne mængderne til tørstof. I praksis kan tørstofindholdet for de forskellige biomasse varierer fra dag til dag. De ovenstående beregninger er derfor kun et generelt skøn.

Region Sjælland til **1.277.500 tons**. I opgørelsen er der medtaget alle de halmtyper, som kommer fra dyrkningen i landbruget, nemlig halm fra korn, hvor hvede- og byg-halm er domineret. Desuden består det af halm fra frøgræs samt halm fra olieplanter (raps) og bælgafrøder, m.v.

Halmen indeholder kulstof - **biogent kulstof** - som er den kulstofmængde, der optages ved plantens vækst. Noget af kulstoffet ender i kornkernerne (som fødevarer), andre dele af kulstoffet ender i roden, og en del ender i plantens stængler og blade, altså som halm. Hvor meget kulstof dannes der og hvor meget CO₂ optages der? Det kan illustreres med nedenstående figur:

Figur 2. Beregning af den CO₂ mængde, der går til dannelsen af det kulstofindhold, som findes i de estimerede halmmængder i Region Skåne og Region Sjælland.²



Figuren viser, hvor store mængder CO₂ der skal til for at danne de halmmængder, der er estimeret for de to regioner. Rundt regnet kræver dannelsen af 1 tons halm et optag på 1,5 tons CO₂ gennem plantens vækst. Der er på den måde tale om biogen kulstof, som aktuelt er dannet gennem fotosyntesen. Kulstof er en vigtig ingrediens i planterne og vil typisk udgøre mellem 40 til 55% af halmvægten.³

Biogent kulstof er pr. definition CO₂-neutral. Den indeholdte CO₂ kommer fra atmosfæren; optaget mindsker CO₂ koncentrationen her og kan tilbageføres uden forøgelse af CO₂-koncentrationen i atmosfæren. Det er i modsætning det fossile kulstof, som er indeholdt i kul, olie og naturgas. Fossilt kulstof har også en biogen oprindelse, men det er fossilt lagret i en fjern fortid. Når den indvindes som kul, olie og naturgas og anvendes, tilføres der ekstra kulstof i form af CO₂ til atmosfæren og skaber dermed de klimaforandringer, vi ser, bl.a. med stigende globale temperaturer.

²⁾ Beregnet efter halmens gennemsnitlige tørstofindhold på 85%, og et gennemsnitlig kulstofindhold i halmen på 49,0% (se uddybningen i note 3). Dette optages omregnes dernæst til CO₂-optag. Det må understreges, at der i de konkrete processer kan være en række naturlige variationer, som naturligvis ikke afspejles direkte i de anvendte gennemsnitlige tal.

³⁾ Baseret bl.a. på dataudtræk fra datasystemet Phyllis 2. Et gennemsnit for 69 samples (målinger) viser, at hvedehalm består af 37,6% cellulose, 26,6% hemicellulose og 18,1% lignin samt andre komponenter på 17,7%. De tre hovedingredienser har i stor udstrækning dannet grundlag for anvendelse af halm (se senere). Kulstof er den største komponent; i hvedehalm svinger procentandelen mellem 46,4% til 54,4% med et gennemsnit på **49,0%**. Den næststørste komponent er ilt, som svinger mellem 37,9% til 47,9% med et gennemsnit på 43,9%.

Udledningen af fossilt CO₂ fra anvendelse af de fossile kilder (olie, kul og naturgas) går globalt set den forkerte vej med en stigende tendens. Hvis denne udvikling skal vendes, vil behovet for biogent kulstof vokse.

Food & Bio Cluster formulerer det sådan: »I takt med at vi skal bremse brugen af fossilt kulstof, er eksperter enige om, at der i nær fremtid bliver mangel på det biogene kulstof, som skal dække de mange behov, vores samfund har for at producere fx fødevarer, energi, medicin, foder, byggematerialer og meget andet. [...] Derfor må vi finde nye måder at *recirkulere*, *bioraffinere* og skabe *nye biosolutions*, så vi både får nok og en højere værdi ud af vores biomasser«.⁴

Halm er en eftertragtet råvare af især tre grunde: For det *første* har halmen et højt organisk tørstofindhold. Der er ikke meget vand, der skal flyttes. For det *andet* er halm - som påvist - én af de største restprodukter vi har, regnet i tørstof, og derfor også tilgængeligt i større omfang - uden kompliceret 'minedrift'. For det *trede* er halm som nævnt biogent kulstof, som vil stå i front som fossilfri udvikling af biobaserede produkter og energiforsyning i de kommende års udvikling.

Hvad gør vi for at opnå den bedst mulige udnyttelse af det biogene kulstof i vores biomasser? Hvilke udviklinger og erfaringer har vi? Problemstillingen skal belyses med tre emner:

- Danske erfaringer med storskala anvendelse af halm. De hidtidige erfaringer har en stor læringsværdi i spørgsmålet om en optimal udnyttelse af det biogene kulstof.
- EU's nyorientering. Nyorienteringen griber ind over en række områder, som har et vigtigt slogan, nemlig at »Fremtiden bygges på naturen«.
- Hvordan kan vi udvikle en optimal udnyttelse af det biogene kulstof til en lang række produkter og energi.

2. Danske erfaringer med storskala anvendelse af halm

2.1. Halm cellulosefabrik

I 1956 etablerede en gruppe landmænd en Fredericia cellulosefabrik til papirfremstilling, og fabrikken udviklede sig efterhånden til en førende producent af halm-cellulose.⁵ Anlægget havde et betydeligt vandforbrug på 4,5 mio. tons ferskvand; urensset spildevand blev i mange år ledt direkte ud i Lillebælt, hvor den primære forureningskomponent var sortlud, som er et restprodukt fra kogning og ekstrahering af cellulosen; anlægget var dimensioneret til 100.000 tons halm. Virksomheden blev pålagt at finde en løsning på forureningen af Lillebælt, hvor der blev gjort forsøg på en afbrænding af sortlud i en fluid bed kedel, dog uden det ønskede resultat; virk-

⁴) Se publikationen: *Det Store C: Dansen om det biogene kulstof*; Food & Bio Cluster, april 2024, s. 4. Food & Bio Cluster; mine fremhævelser. Food & Bio Cluster er en statslig udpeget forsknings- og udviklingsklynge, som skal fremme innovation og bæredygtig udvikling indenfor fødevarer og bioressourcer. Rapportens beskrivelse af kulstof og kulstoffets rolle er tankevækkende: »**Kulstof** (også kaldet Carbon eller forkortet C) er nok det vigtigste grundstof for livet og findes i alt levende. Kulstof er ofte bundet sammen med ilt (Oxygen) til CO₂ og/eller brint (Hydrogen) fx til metan (CH₄) eller metanol CH₃OH, sukkerstoffer eller lange kæder heraf, som cellulose, træstof (lignin) osv.«.

⁵) Se *Jørgen Boldt: Industrielle kraftvarmeanlæg*; artikel i bogen: Vedvarende energi i Danmark, OVEs Forlag, 2000.

virksomheden stod med et uløst miljøproblem. Fabrikken gik konkurs i **1993**. Der blev gjort forsøg på genetablering af anlægget, bl.a. med et ønske om en ekstraktion af sødestoffer og fiber til fødevarerindustrien, som supplement til produktion af cellulose. En videreførelse af anlægget blev endeligt opgivet i 1998.

Lærdom: Utilstrækkelig anlægsdesign, som ikke er baseret på et bioraffineringskoncept eller et biokaskaderingsprincip, men på en delvis ekstraktion af det biogene kulstof, men hvor hovedparten af råvarerne derfor ender som affald.⁶

Halmcellulosefabrikken er begyndelsen, men også slutningen på en mere højværdig anvendelse af halm. Fra 1980'erne og frem bliver halm set som et billigt og indenlandsk erstatningsbrændsel for olie og kul:

2.2. Fjernvarme og kraftvarmeværker

I begyndelsen af 1980'erne blev der investeret i halmfyrede fjernvarmeværker. I 1989 blev det første halmfyrede kraftvarmeværk (en samtidig el- og varmeproduktion) etableret i Haslev, Region Sjælland. I dag bruges der **344.600 tons** halm i Region Sjælland til halmfyring (27% af halmen).

Lærdom: Halm har været med til at fremme udfasning af fossile energikilder i Regionen Sjælland; men det er ikke en ideel løsning – der er større potentialer ved en optimal udnyttelse af halm. Kulstoffet ender i bundaske og i røggasserne uden yderligere udnyttelse. Dele af bundasken kan dog tilføres som jordforbedring til markerne.

2.3. Verdens største halmpillefabrik

En nyopført fabrik i **2003**, lokaliseret i Køge, skal levere 150.000 tons halmpiller til erstatning for kul på kraftværket Amagerværket. Anlægget havde økonomiske problemer, og blev i 2006 overtaget af Vattenfall, som imidlertid lukkede fabrikken endeligt i **2013** - 10 år efter dens etablering.

Lærdom: Halmpiller kan ikke konkurrere med træpiller; halmpillerne er dyrere og forbrændingsteknisk svært at håndtere for et kraftværk. Denne lærdom var kendt på forhånd. Der er ingen tvivl om, at udviklingen var dirigeret af et politisk ønske om at bruge halm i kraftværkerne og finde en praktisk løsning på denne prioritering.⁷

2.4. Termisk forgasningsanlæg

I **2011** byggede det statslige energiselskab Dong en lavtryksforgasser i Kalundborg med en kapacitet på 6 MW og et forventet halmforbrug på 12-13.000 tons årligt. Anlægget skal »... omdanne meget vanskelige - og potentielt billige - brændsler som halm, energiafgrøder [...] til gas, og dermed gøre det muligt at fyre med **meget mere biomasse**, end teknikken tillader ved en traditionel forbrændingsproces«. Anlægget har kostet 125 mio. kr. i anlæg og støtte.⁸

⁶⁾ Sortlud kan oparbejdes til produkter. Den vigtigste del af sortlud er lignin, som kan ekstraheres og anvendes f.eks. til coating af tekstiler til erstatning for plast-baseret coating. Det giver en naturlig coating og øget genbrugsmuligheder; udviklingsprojekt hos det tyske udviklingselskab Frauenhofer.

⁷⁾ Sanne Wittrup: **Dansk halm taber til udenlandske træpiller – fabrik i Køge Lukkes**. Artikel i Ingeniøren, den 4. marts 2013. Synspunkterne er i artiklen fremsat af direktøren for Vattenfalls aktiviteter i Danmark, Jørgen Nielsen.

⁸⁾ Se **Nyt Dong-anlæg skal gøre halm, pil og affald til kraftværksgas**; Ingeniøren, den 10. marts 2011. Citater fra anlæggets leder Niels Bergh-Hansen. Det drejer sig om Pyroneer-demonstrationsanlæg, bygget til 6 MW, men forventet udvidet til 60 MW.

Lærdom: Anlægget blev lukket 3,5 år efter etableringen, i efteråret **2014**. En plan om et udvidet anlæg på 60 MW, altså til 120-130.000 tons halm blev opgivet. Dong henviser til, at markedet for konvertering af kraftværker fra kul til biomasse slet ikke havde udviklet sig som forventet, selvom den højt profilerede teknologi blev anset for fuldt udviklet.⁹

I 2006 blev der gjort nye forsøg på at sætte halm i centrum, hvor der blev arbejdet med en ny og flersidig udnyttelse af halmen, omtalt som IBUS (Integrated Biomass Utilisation System). Denne teknologitænkning resulterer i det koncept, som får navnet Inbicon.¹⁰

2.5. Inbicon Biomass Refinery

I **2009** blev periodens mest avancerede anlæg bygget og idriftsat i 2010. På basis af hvedehalm ville man gennem den udviklede proces for det **første** producere ethanol til transport, for det **andet** C5 molasses til foder, substitution af olie til transport, og biokemikalier samt for det **tredje** lignin biofuel til erstatning for kul i elproduktionen.

Anlægget blev bygget af det statslige energiselskab Dong og sat i drift i 2010 med en upfront investering på ca. 476 mio. kr.¹¹ Anlægget blev lukket i **2015**, knap 5 år efter opstart og havde da samlet kostet omkring 1 mia. kroner i anlæg, driftsunderskud, udviklingstilskud og skatterefusion.¹²

Lærdom: Perspektiverne i projektet kunne sikre en højværdig udnyttelse af biomasserne. Fagbladet Ingeniøren har analyseret forløbet og lukningen af de ovennævnte anlæg med et synspunkt om, at det går galt igen og igen. Det skyldes, at »... de nye energiteknologier fejler, fordi de paces frem«. Det er bl.a. drømmen om et 'nyt vindmølleeventyr', der får »... politikere, energiselskaber og private til at presse uprøvede energiteknologier ud af laboratorierne og frem til pilotanlæg eller produktion – længe inden teknologierne er færdigudviklede«. ¹³

⁹) Se **Dong lukker sit højt profilerede forgasningsanlæg til 150 millioner kr.** Ingeniøren, den 30. oktober 2014.

¹⁰) Jvf. **Integrated Biomass Utilisation System** (IBUS); Dong Energy; den 9. november 2006.

¹¹) Se beskrivelsen i oplægget **Inbicon demonstration plant**; Michael Person, Inbicon; Brussels, april 2010, slide 11-12. Se også indledende præsentationer af ideerne i **Nye perspektiver i energisektoren. Partnerskab i jordbrug, energi og industri**; Charles Nielsen, DONG Energy, den 11. december 2006.

¹²) Sanne Wittrup: **Dong Energy lukker bioethanol-anlæg i Kalundborg**, Artikel i Ingeniøren, den 19. november 2014. I artiklen nævnes, at anlægget kun i starten producerede lidt bioethanol, der blev solgt til Statoil; »... Siden har anlægget dog mest kørt som forsøgsanlæg og showroom, idet Inbicon satser på at sælge teknologien til udenlandske selskaber«. Det er delvist sket på følgende måde: I 2020 solgte Dong bioethanol-fabrikken i Kalundborg. Anlægget blev videreført som Meliora Bio, og som efter ombygning startede en håndspritproduktion, relateret til COVID-19. Meliora Bio har udviklet processer yderligere, så man - dog på en lille produktion på ca. 38 tons halm årligt - har opnået en udnyttelsesgrad af den tilførte halmmængde på 98%; jvf. **Meliora Bio, Something out of Nothing**. Virksomhedspræsentation, den 29. august 2023.

¹³) Jvf. **Derfor går det galt igen og igen, Nye energiteknologier plukkes umodne**. Ingeniøren, den 9. november 2014. Det er tankevækkende, at det amerikanske selskab **New Energy Freedom LLC** i 2024 købte alle patenter, varemærket og knowhow fra Inbicon og er nu i gang med at etablere anlæg bl.a. i Iowa. NewEnergyFreedom udvikler biomasseraffinaderier, der omdanner landbrugsaffald til biobrændstoffer og biokemikalier. Se: <https://new-energyblue.com/neb-acquires-inbicon/>

2.6. Sammenfatning af de danske halmerfaringer

Der er i realiteterne ingen direkte positive erfaringer med en storskala anvendelse af halm i Danmark. Anlæggene har haft en meget kort levetid, bortset fra halmcellulosefabrikken, som eksisterede i 37 år, dog med en meget betrængt økonomi og uløste miljøproblemer, der sluttede med en konkurs.

De resterende anlæg har eksisteret mellem 3-10 år, hvor der er ofret betydelige anlægsinvesteringer og tilskud. **De positive erfaringer** fra dette forløb er indsigten i, at det er nødvendigt at skabe helt andre rammerne for den nødvendige udvikling og modning af de forskellige halmbiomasseteknologier.

Opfyldelse af dette udviklingsbehov er ikke mindst vigtige, hvis man søger at opnå en **integreret og flersidig** udnyttelse af potentialerne i halmbiomassen. Det stiller større krav til længden og dybden i udviklingsprocesserne.

3. Fremtiden bygges på naturen – biomasse i centrum

Vi lever udpræget i en fossil kulstoføkonomi. Vores produkter og energiservicer er i udpræget grad baseret på olie (produkter og energi), kul (energi) og naturgas (energi og produkter). Brugen af vedvarende produkt- og energikilder stiger, men en række tankegange er stadig præget af den fossile kulstoføkonomi, hvor vi står overfor en betydeligt forøget usikkerhed om forsyningerne.

EU er meget afhængig af import af især olie og naturgas, fordi vi har opbrugt vores reserver, og fordi der kun er beskedne mængder tilbage hos EU-landene.¹⁴ Importafhængighed og forsyningssikkerhed har længe været et tema, og dannede grundlag for EU-planen: **REPowerEU**, som har til formål at udfase al import af russisk gas, fremskynde udbredelsen af vedvarende energi, diversificere energiforsyningen og fremme energieffektivitet og cirkulær økonomi.¹⁵

Der er ikke noget valg - de fossile bioråstoffer er både endelige og geopolitisk problematiske. De **eneste** ressourcer, som vi i EU i virkeligheden har til rådighed, er de nydannede og vedvarende biomasserne. Den erkendelse er nået frem i et dokument fra EU-Kommissionen i 2024 med overskriften: **Fremtiden bygges på naturen: Fremme af bioteknologi og bioproduktion i EU**.¹⁶

I dokumentet hedder det bl.a. »... Bioteknologi og bioproduktion er på grund af det store potentiale for vækst og øget arbejdsproduktivitet afgørende for vores økonomis

¹⁴) EU har kun **0,1%** af verdens oliereserve; men havde et forbrug i 2024 svarende til **11,0%** af verdens olieforbrug. EU's naturgasreserver svarer til **0,2%** af verdens gasreserver; men har et forbrug, som svarer til **7,8%** af verdens forbrug i 2024. Det giver tydeligvis et billede af en stort og stigende importafhængighed. Det er knap så slemt for kul's vedkommende, hvor EU har en kulreserve på **7,3%** af verdens reserver; men kun et forbrug på **2,9%** i 2024; jvf. **The Statistical Review of World Energy 2025**; The Energy Institute Statistical Review of World EnergyTM.

¹⁵) Jvf. Europa-Kommissionen: **REPowerEU: En fælles europæisk indsats for mere sikker og bæredygtig energi til overkommelige priser**. COM (2022) 108 final; den 20.3.2024.

¹⁶) Jvf. Europa-Kommissionen: **Fremtiden bygges på naturen: Fremme af bioteknologi og bioproduktion i EU**; COM (2024) 137 final; Bruxelles den 20.3.2024. Dette dokument må ses i forlængelse af en statusrapport EU's bioøkonomi: Statusrapport om EU's bioøkonomiske strategi. Den europæiske bioøkonomiske politik: status og fremtidig udvikling; EU-Kommissionen COM (2022) 283 final; Bruxelles den 9.6.2022.

konkurrenceevne og modernisering. De bidrager også kraftigt til at styrke EU's åbne strategiske autonomi og modstandsdygtighed ved at mindske industriens afhængighed af fossile råstoffer og andre kilder til råstoffer og ved at øge cirkulariteten.«¹⁷

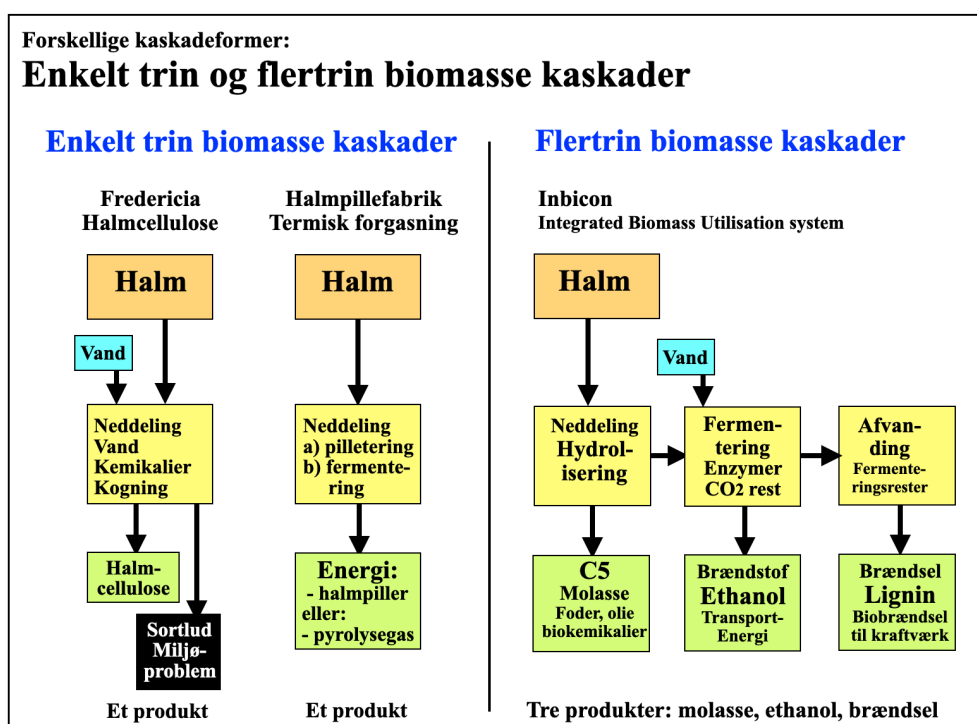
Endvidere hedder det, at bioteknologi og bioproduktion er væsentlige elementer i bio-økonomien som helhed, som indeholder alle de sektorer og systemer, der er afhængige af biologiske ressourcer. Bioteknologien og bioproduktionen er afhængig af biomasse inputtet og selvfølgelig også afsætningsmuligheder for bioprodukterne.

Der er tale om en vidtgående ændring og nytænkning af indsats, mål og midler, som har sit udgangspunkt i Draghi-rapporten.¹⁸ Det vigtigste budskab i de mange dokumenter er, at biomasse ikke er på vej ud; men for alvor på vej ind som en central del af den udvikling, som EU-reguleringerne og den europæiske industri forventes at bidrage med i de kommende år.

3.1. Kaskadeprincipperne

Der er ikke ubegrænsede biomasser til rådighed. Det er derfor nødvendigt at udvikle det biobaserede produktionsapparat på en sådan måde, at man nyttiggør biomassernes kulstofindhold til flest mulige servicier i størst mulig omfang. Det forudsætter systematisk anvendelse af *kaskadeprincipperne*. Det kan illustreres med nedenstående figur.

Figur 3. Kaskadeprincipperne: Sammenligning af forskellige former for kaskade i de omtalte danske forsøg på storskala anvendelse af halm.



Figuren viser den tydelige forskel mellem de to typer af kaskader. Enten anvendes halmen til fremstilling af *ét produkt*, eller også udnyttes halmen til en mere fuldstændig anvendelse af halmens produkt- og energipotentialer til produktion af *3-5 produkter*.

De tidligere omtalte anlæg — Fredericia halmcellulose, halmfyrede energianlæg, halmpillefabrik og den termiske forgasning — er alle eksempler på en ét trins kaskade.

¹⁷⁾ Jvf. *Fremtiden bygges på naturen* Op.cit, s. 1.

¹⁸⁾ Jvf. The future of European Competitiveness; Part A og Part B; EU-kommissionen, september 2024.

Der er forskel på dem. Fredericia halmcellulose havde mulighed for at udvikle en flertrins kaskade; men undlod det. De øvrige ét trins kaskadeanlæg er kun beregnet på at tilvejebringe halm, i den ene eller anden form, som kan anvendes som brændsel på kraftværker til substitution af kul.

Historien viser, at ét trinskaskaderne er meget økonomisk udsat. Ved kun at producere ét produkt, bliver produktionen tydeligvis udsat for de konkurrerende verdensmarkedspriser. Faldende cellulosepriser, lavere verdensmarkedspriser på træpiller og lavere europæiske naturgaspriser, som er særlig karakteristisk i perioden efter 2010, blev afslutningen på ét trins halmkaskaderne.

Inbicon repræsenterer en flertrinskaskade, som betyder en ekspansion af værdikæden, altså af de produkter og services, som biomasse halm potentielt rummer. Der er her tale om tre koblede produktionsforløb, som betyder flere produkter og services fra det sammen mængde halm. Problemstillingen her er tydeligvis, at der ikke satses på at udvikle konceptet til et kommercielt niveau. Som nævnt er konceptet overtaget af det amerikanske udviklingsselskab New Energy Freedom, som i 2026 bygger et anlæg i Iowa under mottoen: »What Denmark proved, Iowa is doing« (se også note 13).

3.2. Nyorienteringen — sammenfatning

Halm er til stede i større mængder i de to regioner – Skåne og Sjælland. Den fremtidige storskala udnyttelse bør indtænkes med udgangspunkt i følgende prioriteringer:

- **Proriteringer:** Biomasse og i særlig grad biomasse restprodukter er en vigtig europæisk ressource, som – ikke mindst på længere – sigt skal kunne erstatte en række af de services og produkter, som i dag hentes fra de fossile ressourcer. Det kræver en mere fuldstændig udnyttelse af ressourcerne.
- **Biokaskader:** Historien viser, at et trins biomasse kaskader ikke giver teknisk og økonomisk mening. Det er nødvendigt at udvikle flertrins biomasse kaskader.

Denne indsigt understreges i den seneste reformulering i EU's direktiv om fremme af vedvarende energi. Formålet med biomasse kaskadering angives til »... hvor det er muligt at *prioritere anvendelsen til biomassematerialer højere* end til energiudnyttelse og dermed øge mængden af biomasse, der er til rådighed i systemet«.¹⁹

4. Fremtiden bygges på flertrins biomasse-kaskader

Hovedspørgsmålet er: Hvordan kan vi udvikle en optimal udnyttelse af det biogene kulstof til en lang række produkter og energi. Hvordan skal det biomasse baserede produktionsapparat se ud? ²⁰

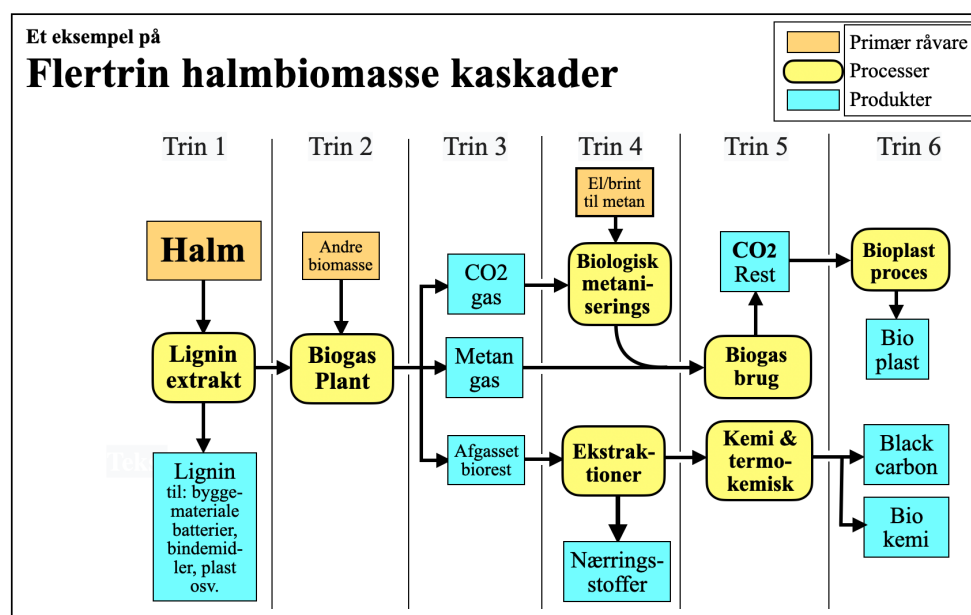
Det er nødvendigt at sammentænke tre hovedelementer: (1) Den tilgængelige biomasse, mængder og kvalitet. (2) Forskellige produktionstrin i en flertrins kaskade, herun-

¹⁹) Jvf. Direktiv (EU) 2023/2413 af 18. oktober 2023, s. 3; betragtning (10). Direktivet, som ophæver en række foregående direktiver, handler om at fremme af vedvarende energi. Omtalt som VE III-direktiv. Min fremhævelse.

²⁰) Det spørgsmål stilles i rapporten *Jagten på det biobaserede produktionsapparat – At finde nålen i høstakken*; Rapport fra projektet Veje til biobaseret byggeri; A. Wittchen og M.A. Thomassen; den 19. september 2024.

der eventuelle prioritering (teknik, økonomi, miljø). (3) Anvendelsesmuligheder, herunder særlig fokus på substitution af fossil kemi, fossile produkter og fossil energi. Ifølge en europæisk undersøgelse findes der en del biomasse kaskader, men de er typisk enten kemi- og materiale drevne kaskader eller også energi drevne kaskader.²¹ Det har en selvstændig værdi at kombinere kaskaderne, så de både leverer biokemi, biomaterialer og energi. Den mulighed skal belyse med følgende figur:

Figur 4. Eksempel på kaskadeprincipperne anvendt på halm med ekstraktion af lignin, biogasanlæg samt efterfølgende udnyttelser.



Figuren viser sekstrins kaskade-udnyttelse af halm. I dette eksempel er hovedmotoren et biogasanlæg.²² Trinene skal kort beskrives:

- Trin 1:** Halm er blevet en populær råvare til biogas. Men inden halmen sendes til biogasanlægget ekstraheres lignin, som kan bruges til et utal af produkter indenfor byggeri, kemi, plast, osv. Lignin kan ikke omsættes bakteriologisk i biogasanlægget, men vil kun tage plads op i biogasanlægget og dermed nedsætte effektiviteten.
- Trin 2:** Biogasanlægget omsætter halmbiomassen sammen med andre råvarer. Der er anlæg under udvikling, som kan køre alene på halm.
- Trin 3:** Her får vi tre produkter, nemlig metan og CO₂, som normalt separeres i opgraderingsanlægget, hvor CO₂'en typisk udledes. Den afgassede biorest kan anvendes på markerne, hvorved næringsstofferne recirkuleres (kvælstof og fosfor).
- Trin 4:** Med tilførsel af brint er det muligt at omsætte CO₂'en fra biogasproduktion til metan ved en biologiske metaniseringsproces. Desuden er det muligt at separere næringsstofferne fra den afgassede biomasse med henblik på direkte

²¹) Jvf. Kommissionsrapporten *EU Bioeconomy Strategy Progress Report*; EU-Kommissionen, maj 2022. Der er her nogle hovedmeddelelser, nemlig at kaskade princippet bør anvendes for alle biomasser, at kaskadeprincipperne har fået en vis anvendelse for træ restbiomasser, men ikke udpræget indenfor landbrug og fødevarer, se bl.a. s. 8.

²²) Se *Biogas Technology as an "Engine" for Facilitating Circular Bio-Economy in Denmark - The case of Lolland & Falster Municipalities within Region Zealand*. Rikke Lybæk og Tyge Kjær; Frontiers in Energy Research; august 2021, Vol. 9.

anvendelse af næringsstofferne og en kaskadering af restbiomassen fra biogasanlægget.

Trin 5: I dette trin bruges restproduktet CO₂ fra anvendelse af metanen til plastproduktion (Teknologisk Institut); CO₂'en kan også anvendes som dyrkningsmedie i gartnerier.

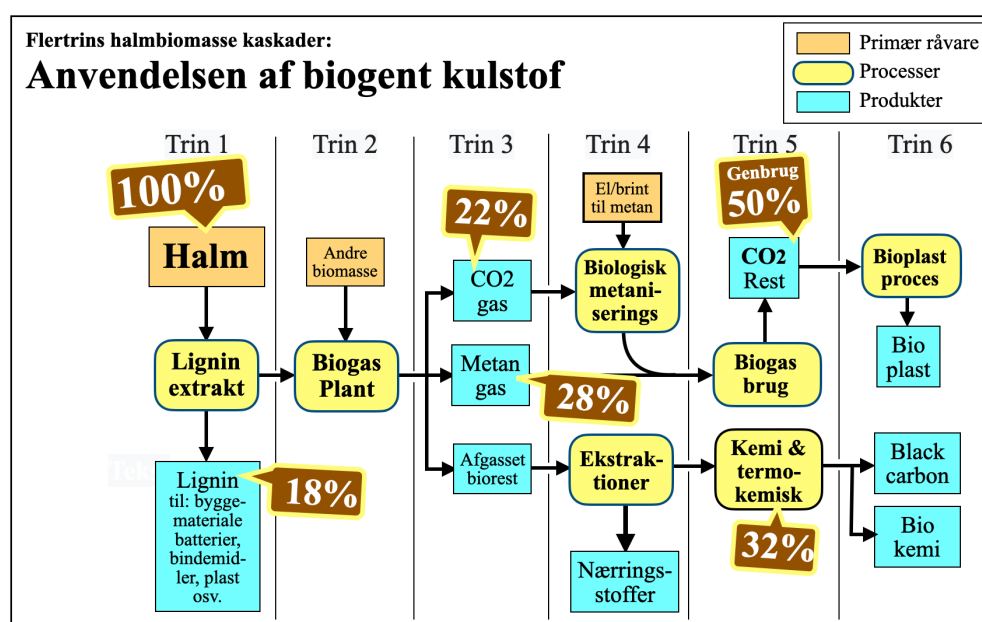
Trin 6: I det sidste trin får vi forskellige produkter, der i særlig grad fortrænger de fossile, nemlig bioplast, black carbon (bl.a. byggemateriale) og biokemiske produkter.

De beskrevne processer er i store træk kendt teknologi. Det nyskabende består i at udvikle koblingerne mellem de forskellige dele. De første fire trin kan med fordel samlokaliseres (placeres på samme geografiske lokalitet); den viste kaskade er blot en af mange muligheder.²³

4.1. Hvad med det biogene kulstof – bliver det brugt?

Som nævnt har Region Skåne og Region Sjælland godt 950.900 tons biogent kulstof til rådighed i den halm, der produceres årligt i de to regioner (se figur 2). Det biogene kulstof skal bruges, fordi den kan frigøre os fra de fossile kulstoffer, som EU efterhånden ikke har meget af. Det er baggrunden for at vurdere biomasse kaskadesystemets evne til at udnytte det biogene kulstof. Udnyttelsen kan illustreres med nedenstående figur:

Figur 5. Udnyttelsen af det biogene kulstof fra den anvendte halm i et seks trins kaskadesystem. I procnterne er ikke indregnet eventuel tab i de respektive processer.



Figuren tager udgangspunkt i det biogene kulstof, der tilføres med halmen, som er sat til **100%**. Ved ekstraktion af lignin indsamles **18%** af kulstoffet, som forventes omsat i de forskellige materialer, som lignin-materialet anvendes til. I trin 3 bliver **28%** af kulstoffet omsat til metan. Den CO₂, der dannes i biogasprocessen, kan gennem biologisk metanisering omsættes med høj effektivitet til yderligere metan, svarende til, at **22%**

²³) En halmbaseret kaskade kan i sagens natur have mange forskellige udformninger. Her er den centrale »engine« biogasanlægget. Bemærk, at Inbicon er anderledes opbygget. Ligninen tages først ud efter fermenteringsprocessen; det koster formentlig på effektiviteten, men reducerer omkostninger samtidig omkostningerne til ekstraktion af lignin.

af kulstoffet omsættes til mere metan. Bruges metanen til energiformål (proces og stationære anlæg) vil den CO₂, der bliver frigjort ved anvendelsen, kunne genbruges. Det kan betyde en biogen kulstof-recirkulering på op til **50%** af den oprindelige biogene kulstofmængde. Det afgassede restprodukt fra biogasanlægget indeholder den resterende biogene kulstofmængde, som oparbejdes til biokemiske produkter og til black carbon, som bl.a. kan anvendes til byggemateriale. Her er potentialet **32%**, men dette restmateriale kan naturligvis - som i dag - tilføres markerne som jordforbedring.

Det drejer sig om kulstof, om biogent kulstof. Forskning/udvikling af de halm baserede flertrins kaskader må i sagens natur optimerer processer og koblingen mellem processer, så flowtab af biogent kulstof i den valgte kaskade bliver mindst muligt, og forventelig slet ikke med højden med flowtabet i fossile olieøkonomi.

5. Fremtiden og fremtidens halm

Man kan ikke fortænke nogle i udsagn som »halm kan ikke bruges«, »lad det rådne på markerne«, eller »det er en vanskelig genstridig råvare«. Den danske halmhistorie med de store halmprojekter, der er beskrevet i de foregående, er ikke opløftende. De omtalte halmprojekter ikke været befordrende for en videre positiv udviklingsindsats.

Halm har en betydelig fremtid i afviklingen af den fossile kulstoføkonomi. Som nævnt har de to regioner tilsammen halm med en forventet biogen kulstofmængde på de tidligere nævnte 950.900 tons. Det svarer til det fossile kulstofindhold i 1.125.300 tons råolie. Det siger lidt om de mængdemæssige potentialer.

Udfordringen er at udvikle én eller flere *flertrins kaskadesystemer*, som muliggør anvendelsen af halmen og det biogene kulstof til byggematerialer, til bioplast og -kemi, til tekstiler, til kostfibre, til energi og meget andet.

Den centrale udviklingsopgave består i at sammenkæde ressourcen (halm) med en række teknologier og koblinger, som kan levere en lang række af nyttige efterspurgte produkter og energiservicer. Den hidtidige halmhistorie har her lært os én ting: Udviklingen af potentialerne for udnyttelse af halm stiller større krav udviklingsprocesserne, til teknologi og frem for alt til samarbejde i hele værdikæden - til samarbejde i hele kaskaden. Lad os slå 'pjalterne' sammen i Region Skåne og Region Sjælland, så vi ikke forærer hele udviklingen til Iowa!