



# Statusnotat for Pyrolyse og Biokul

Juli 2022/FBCD for Samsø Kommune i projekt Beyond Waste – og til Pyrolysenetværket

## Indhold

Intro .....	2
Europæisk status på biokul.....	2
Certificering af biokul .....	3
Kort Nordisk status .....	3
Danske igangværende F&U projekter. ....	4
EUDPprojekt: SkyClean.....	4
Innomission LOWHIGH .....	5
Innomission MitiChar .....	5
Innomission BioStore.....	5
EU KASK Interreg project: Skridt mod et klimaneutralt landbrug .....	5
Frichs Pyrolysis & Springkilde æg .....	5
GUDP project: STABIL .....	5
GUDP project: Grass Biochar .....	5
BioAdapt .....	5
Greater Bio .....	6
Metode-udvikling ved AU & GEUS .....	6
Aqua Green full scale anlæg i drift .....	6
Stiesdal projekt i Greenlab. ....	6
Dansk review på vej – hovedpunkter klar .....	6
Klima fodaftryks analyse af Biokul og biogas .....	7
Diskussion og konklusioner .....	8
Litteratur/kilder .....	8



## Intro

Mens Beyond Waste ansøgning blev behandlet/bevilget ændrede forudsætningerne for Samsø Kommunes muligheder og opgaver i projektet. Samsø Kommune blev af økonomiske og tekniske grund nødsaget til at trække sig fra et parallelt projekt (GUDP-STABIL) der skulle demonstrere pyrolyse og produktion af biokul, og dermed demo af biokul til jordforbedring på Samsø.

I stedet kan vi levere dette statusnotat for Pyrolyse og biokul på restbiomasser, som et andet produkt end det beskrevet i Beyond waste. Dermed er det håbet, at den viden om teknologier til behandling af restbiomasser fra husholdninger, spildevand og landbrug kan komme projektpartnerne til gode.

Det er i foråret besluttet at stifte Dansk Pyrolyse og Biokuls netværk med sekretariat i Food & Biocluster Denmark. Det kan anbefales at følge med i netværkets aktiviteter, det kører rigtig stærkt med udviklingen og kommuner kan 'kun' hægte sig på udviklingen og tilbyde sig – ikke drive udviklingen.

## Europæisk status på biokul

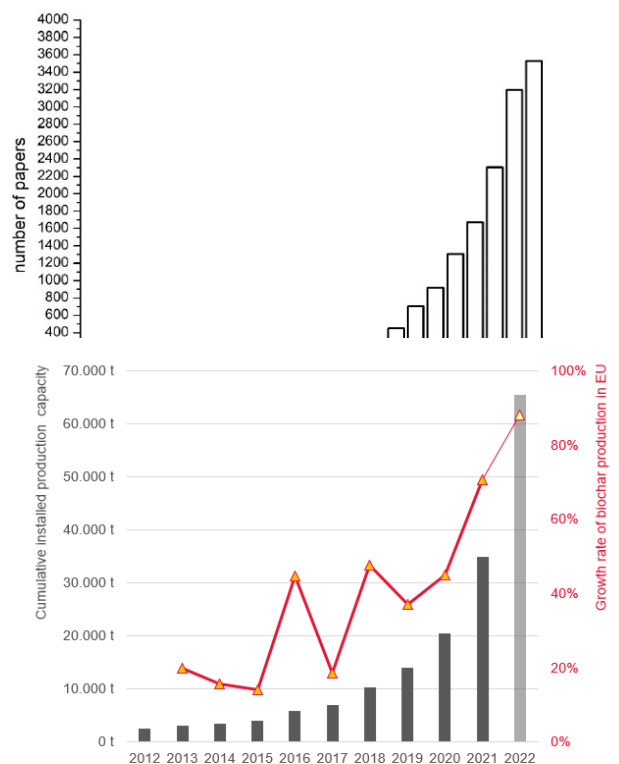
European Biochar Industry's Definition af biokul og PyCCS (Bier 2022)

- **Biochar is a stable form of carbon, obtained from biomass pyrolysis and a highly versatile material used in agriculture and in construction materials**
- **Pyrogenic Carbon Capture and Storage (PyCCS) enables the capture & sequestration of atmospheric carbon through the carbonization of biomass**

Viden om Pyrolyse og biokul stiger voldsomt de seneste år og senest er der udkommet et review af 26 meta-analyser (Schmidt, H.P. et al. 2021) hvor konklusionerne er ret entydige: Biokul har gode egenskaber for anvendelse i landbrugssektoren. Det gælder for udbytter, rodbiomasse, vandhusholdning mikrobiel aktivitet og drivhusgasudledninger.

Biokul anvendes i dag især til landbruget i stalde, gylle, i biogas, til kompost og i mark og skov. Desuden anvendes biokul til urbane beplantninger (vejtræer, parker) især i de nordiske lande og iblandet i byggematerialer, som beton, veje, facader, hvor det binder kulstof og giver nye egenskaber.

Biokul produktions-teknikkerne er stadig under udvikling, men der findes i dag en del producenter af anlæg, som er tilpasset forskellige input-materialer. I DK har AquaGreen og Stiesdal anlæg i drift, mens Frichs, Organic Fuel Technology og Dall Energi har teknologier under udvikling.



[www.biochar-industry.com/market-overview/](http://www.biochar-industry.com/market-overview/) © EBI 2022



Produktionskapaciteten vokser og man forventer en produktion på 40.000 tons i EU i 2022, som svarer til 100.000 tons CO<sub>2</sub>e. Pyrogenic Carbon Capture and Storage (PyCCS) ser ud til at være den mest effektive CCS teknologi, som allerede nu fungerer.

Den danske målsætning er at nå op på 2 mio. tons CO<sub>2</sub>e akkumuleret i 2030 alene i Danmark. PÅ EU plan siger man at 1 mio ton er inden for rækkevidde i 2026 og 10 mio tons i 2030 med den vækst man har set...

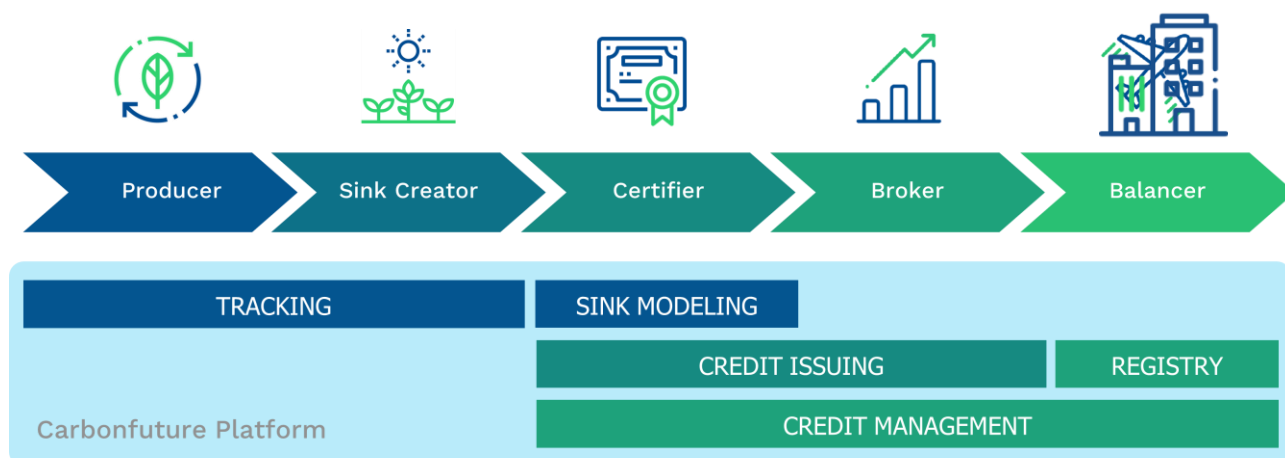
### Certificering af biokul

Det europæiske certificeringssystem udvikles samtidigt og det er en forudsætning at kunne dokumentere hvad biokul konkret er til forskellige formål. Der er således forskellige klasser til forskellige anvendelser:

- EBC-Agro, EBC-AgroOrganic, EBC-Feed, EBC-ConsumerMaterials, EBC-BasicMaterials, EBC-Urban og den nyeste er **EBC-Sink (siden 2020)**

Her er krav til feedstock, energieffektivitet og C-sink potentialet og en karakterisering af C – indeholder H/C og O/C forhold, pH, Tungmetaller og PAH indholdet.

Der arbejdes på fælles kriterier for processen med at dokumentere hvem der producerer, køber og ejer C-kreditterne. Man arbejder på at etablere en C-sink register.



Figur 1 Principskitse for et system til at håndtere klimakreditter i reaktion til biokul

### Kort Nordisk status

- baseret på RUC præsentationer 23/6-2022

**I Sverige** (Paulsson, M., Lunds Kommune pers, komm) har man en række projekter med forsøg og produktioner af biokul, særligt omkring Stockholm og i Sydsverige. Fokus er i høj grad på biokul til urbane beplantninger ('Stockholm modellen') hvor man tager knus granit, biokul og kompost i forholdet 6:1:1 til træplantninger – som har givet gode resultater, fx i tørre perioder, da det suger meget vand til sig.



Substratet kan være træ, have park affald eller frørens. Man har også markforsøg og forsøg med at bruge biokul i 'filtergrøfter' til at opsuge næringsstoffer og pesticider. Biokul sælges til havekompost, til grønne tage, fodboldbaner og gartnerier. Der er forsøg med iblanding i beton.

En svensk håndbog til anvendelse af biokul er udkommet (Fransson et al 2021). Læs mere på [www.biokol.org](http://www.biokol.org)

I **Finland** (Anakaisa Elo, Pers. Kom.) har man produceret 2-3000 tons biokul især baseret på bark og træ, men også på slam. Biokuls-*potential* baseret på skov-restbiomasser vurderes til at være på 1,4 mio tons biokul/år

Byer og kommuner har drevet udviklingen og fokus på anvendelse har været alta i Sverige. De forventer en øget efterspørgsel i metalindustrien som brændstof til at erstatte fossilt kul. Desuden forventes en efterspørgsel i husdyrproduktionen /i strøelse.

Der forskes intenst i Biokul i Finland, fx på biokul til filtrering, materialer, beton og batterier. Finsk Biokulsforening etableret i 2016 er blevet en del af Finsk Bioenergiforening med 250 industrimedlemmer, som laver policy arbejde.

**Norsk** Biokulsnetværk (Knut Skinnes, Pers. Kom.) har 39 medlemmer fra forskning, industri, landbrug, affaldselskaber, metalindustri og offentlig sektor. Der er pt 3 produktionsanlæg (flere under opførsel) og flere piloter. 600 tons biokul er produceret og man forventer 12.000 ton i 2024.

Europas største produktionsanlæg starter op i 2023 ved Vow Green Metals i Follum/Hønefoss, hvor man med 35.000 t feedstock (træ) skal producere 10.000 tons biokul/år til metalindustrien.

Forsøg med anvendelse er inden for gødning, husdyrfordring, strøelse, iblanding i gylle, kompost og direkte udspreddning. Også forsøg med at iblande 90 kg biokul/ton beton, samt filtrering og luftrensning. Endvidere forsøg med lerstabilisering ift. jordskred.

## Danske igangværende F&U projekter.

Afsnittet er baseret på præsentationer af Tobias Pape, Esben W. Bruun, Andreas Dyreborg, Haned Sanei og Henrik Petersen, Jesper Ahrenfelt, Anders Pedersen og Tue Damsø, primært fra konference i Juni 2022.

I Danmark er der en lang række aktører der driver udviklingen. Landbruget som sektor er særdeles interesseret, men også kommuner (ifl. klimahandlingsplaner) forskningen og de grønne organisationer.

Regeringens klimaaftale fra 2021 har sat et særdeles ambitiøst mål med at vi skal have lagret 2 mio. ton CO<sub>2e</sub> i landbrugsjorden i 2030. Som antydnet i det foregående EU-overblik synes det overambitiøst. Der er afsat midler til investeringer i produktionsanlæg og de første 200 mio. er sat i værk i sommeren 2022. Flere (nødvendige) midler er på vej for at nærme sig målet.

### EUDPprojekt: SkyClean

2 mw procesudvikling og industriel demo, 2021-24, i GreenLab Skive. Development, optimization and demonstration of Industrial scale **production and use of pyrolysis bio-oil** and early-phase development and demonstration of hydrogen enriched **methanation of syngas**.

Partnere: Stiesdal SkyClean, DTU, Haldor Topsøe, Danish Gas Technology Centre (DGC), Ørsted & Energy Cluster Denmark. **Budget:** 36 mio. DKK, 23 mio. fra EUDP



### Innomission LOWHIGH

**Integrate new technologies** – Acidification, Anaerobic digestion, separation and pyrolysis, to reduce emissions and increase energy production from **manure management**, 2022-24. Partnere SEGES, University of Copenhagen, Aarhus University, Stiesdal SkyClean, Nature Energy, JH agro, Klimafonden Skive & Samson Agro. **Budget:** 7.3 mio DKK, 5 mio funded by IFD

### Innomission MitiChar

Potential of **straw + digestate fiber mix biochar** to mitigate climate impacts and improve **soil health**. Practical experience with production and use, and explore barriers & incentives related to **agricultural use**, 2022-25. **Partners:** University of Copenhagen, Aarhus University, Stiesdal SkyClean, HedeDanmark, Agrovi. **Budget:** 6.9 mio DKK, 5 mio funded by IFD

### Innomission BioStore

**Carbon stability** and agro-ecosystem and groundwater quality effects of soil amendment with **high doses** of biochars produced by Danish companies. **Legal & economic governance + LCA** to frame potentials and reduce barriers, 2022-26. **Partners:** University of Copenhagen, DTU, AAU, RUC, GEUS, SEGES, Stiesdal SkyClean, AquaGreen & MASH Makes. **Budget:** 8.8 mio DKK, 6.6 mio funded by IFD

### EU KASK Interreg project: Skridt mod et klimaneutralt landbrug

Reduce the **agricultural climate impact** by changes in energy consumption, new digital tools, simulations, robotics and amendment of **biochar in agricultural soil**, 2021-22. AgroVäst, Västra Gotaland Regionen, Viken Fylkeskommune, Rksk commune, Vestjysk Lbf., Bygholm landbrugsskole. **Budget:** 7.5 mio DKK, 50% mio funded by Interreg

### Frichs Pyrolysis & Springkilde æg

Flash pyrolysis anlæg på **hønsenøg**: Indirectly heated flash pyrolysis. New patent obtained 2022. Reactor max temperature: 800 C. Retention time: around 1 second. 2 MW thermal input. **Partners:** Frichs Pyrolysis and Springkilde æg, LINX cooperation with AU, DTU and new application with SDU

### GUDP project: STABIL

Climate- and environmental effects from separation, steam drying and **pyrolysis of pig manure and biogas digestate**. 2021-24. **Partners:** University of Copenhagen, Aarhus University, Technical University of Denmark, Roskilde University, AquaGreen, Højgaard, Villads Sørensen (farmer), Nordphos. **Budget:** 14.8 mio DKK, 10.5 mio funded by GUDP

### GUDP project: Grass Biochar

Integration of **grass biorefinery, steam drying** and thermal pyrolysis to optimize value creation and climate benefits – 2020-22. **Partners:** Aarhus University, Technical University of Denmark, Roskilde University, AquaGreen, Nordphos. **Budget:** 8 mio DKK, 6 mio funded by GUDP

### BioAdapt

Biochar **effects in coarse sandy soil** on hydraulic properties, root growth, crop yields, and carbon stability. Kan biokul (forskellige biomasser og partikelstørrelser) udfylde porrerummet og holde på vand og næringsstoffer? Partnere: KU, AU, DTU, SEGES



## Greater Bio

Et bredt project hvor biokul har en arbejdsplanke – hos NSR i Hålsingborg med pyrolyse af HavePark affald. Bl.a. har projektet udgivet en rapport om [markedet for biokul i Øresundsregionen](#) . Arbejder med biokul til lugtreduktion, biokul på strandopskyld til iblanding i beton mv.

## Metode-udvikling ved AU & GEUS

Arbejde handler om at stabilisere biokul med en irreversibel temperaturafhængig proces. Man kan måle stabiliteten med vitrinit reflektans og med 'Extend slow heating' metoden.

## Aqua Green full skala anlæg i drift

Fårevejle anlæg idriftsat. Kan fra slam lave biokul med P tilgængelighed på 70% og alle PFAS, medicinrester, bioplast og lugt forsvinder i processen. Arbejder mod EBC certificering af biochar. Hvis biokul kan certificeres er der en potentiel indkomst ved salg af certifikater, sammen med lidt fra energioverskud. ROI forventes på 6-8 år.

Spildevands-fibre udgør kun 1,5% af danske 'våde fibre' til pyrolyse (resten er fra husdyrgødning og biogas), men en vanskelig del at håndtere miljømæssigt.

## Stiesdal projekt i Greenlab.

Projektet vil lave 50% til gas/olie og 50% til biokul. Halm eller tørret digestat-fibre. 5-600 Grader, 8% af gassen bruges til processen, når biomasse input er 10% H<sub>2</sub>O. 2 MW anlæg har haft 500 driftstimer på halm – og skal nu fuldautomatiseres og køre på biogas fibre.

20 MW anlæg har fået tilskud (Nordjylland), 2022-24. Stiedal kan levere 5,8 mio tons CO<sub>2</sub>e til lagring baseret på 3,8 mio tons halm og tilsvarende mængde fra gylle og biogas fibre.

## Dansk litteratur review på vej – hovedpunkter klar

Et udkast til videnssynthese om biochars anvendelse i dansk landbrug er i høring og forventes færdiggjort efteråret 2022 (Elsgaard et al in prep.). Syntesen gennemgår systematisk rigtig meget forskning og mange usikkerhedsmomenter og peger i retning af mange flere elementer der skal undersøges.

Fra sammendraget kan vi uddrage:

- Biokulforskning går rigtig stærkt – fra nærmest ingenting omkring 2010 til 250 årlige peer-reviewede artikler alene i dansk kontekst i 2021.
- Storskala udbringning af biokul på landbrugsjord kan blive en megatrend for at lagre kulstof og det er godkendt som jordforbedringsmiddel fra juni 2022.
- Der er ikke fundet alvorligt bekymrende negative effekter af biokul i de mange studier, men der mangler alligevel i høj grad viden
  - fra fuld-skala forsøg i marken over lang tid med systematisk fokus på forskellige typer input, biokultyper og jordtyper.
  - der skal opstilles entydige kriterier, som fx H/C og O/C, pH osv idet biokul er et meget variabelt produkt
  - Potentielle toksiske effekter skal undersøges grundigt, fx VOC og PAH – helt ud i yderste led af økosystemerne



- Der skal dog også fokuseres på biokuls anvendelse i husdyrproduktion (fodring for et reducere metanproduktion i drøvtyggere), tilsætning til gylle, strøelse og biogas for at reducere udslip af metan og ammoniak.
  - I Tyskland, Schweiz og Østrig blev 90% af biokul som aktiveret kul brugt til husdyrfoder indtil 2018. Biokuls effekter på dyrevelfærd, fødevarerprodukter og miljøet som følge af fodring skal undersøges
- Der skal undersøges hvilke biomasser der har størst relevans og potentiale udover halm og gylle/biogas restfibre og slam, inklusive LCA og systemanalyser af samlet virkning.
- Der skal laves flere studier af biokuls fysiske og kemiske effekter i jorden, fx fra slam, fx på grovsandet jord, fx 'designer-biochars', salt- og kalknings-effekter osv.
- Der skal laves flere studier af biokuls effekter på jordens biologi/jordsundhed, herunder langtidseffekter, bl.a.
  - Påvirkning af mikrobielle processer, fx i N-omsætning
  - Celle-til-celle-kommunikation og ekstracellulær enzymaktivitet i jord økosystemet.
  - Påvirkning af nedbrydningsprocesserne og indbygning af kulstof i jorden
- Behov for studier af kulstoflagring og drivhusgas-emissioner
  - Langtidsdata på nedbrydning af biokul i jorden og indarbejde resultater i kulstofmodelleringer
  - Påvirkning af N<sub>2</sub>O-dannelse i jorden og påvirkning af metan-oxidation i afgrøderne, inklusive direkte og indirekte påvirkning af drivhusgasudledninger. Det er basalt set målet at mindske dette, men der er stor usikkerheder forbundet hermed.
- Landbruget har i sig selv naturlig interesse i påvirkning fra biokul på næringsstofomsætning og plantetilgængeligheden ved tilførsel af biokul, fx fosfor, på grovsandet jord, finde det rette niveau af tilførsler, måle påvirkning af nitratudvaskning osv osv.

## Klima-fodaftryks-analyse af Biokul og biogas

Roskilde Universitet har i 2021 udgivet en rapport om klimaftryk af hhv. pyrolyse og bioforgasning af halm (Thomsen, T.P. 2021). Analysen er udført som klimafodaftryks vurdering baseret på LCA med en 'måleparameter: global opvarmningspotentiale (GWP) med hhv 20 og 100 års perspektiv, beregnet som CO<sub>2e</sub>.

Konklusionerne fra rapporten er som følger:

- Klimafodaftrykket for pyrolyse af halm påvirkes primært af 1) jorden som Carbon sink 2) substitution af fossil energi, 3) produktion af fjernvarme 4) biokuls gødningseffekt og 5) input til pelletering.
- Det er oplagt at de forskellige scenarier afhænger af om fx pyrolyseprocessen satser mere eller mindre på olie/gas end biokulsproduktion osv., men rapporten konkluderer, at kombinationen af halm-gylle biogas og pyrolyse af øvrig 'ledigt' halm giver bedst effekt og kan potentielt fange og lagre 1-3 mio ton CO<sub>2e</sub> årligt i forskellige scenarier. Det kan øges yderligere hvis man efter biogas separerer fibre fra, tørrer disse og laver pyrolyse af de resterende fibre.

Det er en analyse, der ikke siger noget om hvordan halm som sådan anvendes bedst, idet der er andre forhold der skal tages i betragtning til dette: Jordens kulstof/liv, varmforsyning, logistik osv.



## Diskussion og konklusioner

De mange aktiviteter og analyser på Pyrolyse og Biokulsområdet viser hvor meget der er sat gang i i øjeblikket, Vi jager et 'quick-fix' på klimaudfordringerne og der er ingen tvivl om at biokul har et potentiale for at kunne fange CO<sub>2</sub> i atmosfæren ved afgrøders vækst og forsinke/standse omdannelsen af restprodukterne til CO<sub>2</sub> igen ved at lave det til biokul.

I princippet er 'hurtigt-voksende skovrejsning' hvor vi fanger og gemmer CO<sub>2</sub> – og formentlig også i længere tidsperspektiv gennem biokullene i jorden sammenlignet med gammel skov, der vil gå i ligevægt med omgivelserne over århundreder. Biokul kan faktisk formentlig tilføres igen og igen, år efter år, og dermed øget optagelse i jorden – vi kender dog ikke evt. konsekvenser for jord-økosystemet af så massiv en tilførsel over lang tid.

Helt generelt må det siges, at der hidtil ikke er fundet store negative effekter af biokul, men vi kender stadig ikke langtidsvirkninger i alle tilfælde på alle typer kul, jorder og afgrøder, så der er én vis risiko ved det store eksperiment vi har sat i gang.

Men klimaet tillader ikke at vi venter.

## Litteratur/kilder

Fransson AM, Gustafsson M, Malmberg J, Paulsson M, 2020. Biokolhandboken – för användare

Elsgaard, L. Adamsen, APS, Møller, HB, Winding, A., Jørgensen, U., Mortensen EØ, Arthur, E., Abalos, D., Andersen MA., Thers, H. & Sørensen, P. et al in prep. Knowledge Synthesis on Biochar In Danish agriculture. DCA, Aarhus University

Schmidt, H.P. et al. 2021. Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. GCB Bioenergy. 2021;13:1708–1730

Thomsen, T.P. 2021, Climate Food Print analysis of Straw pyrolysis and Straw biogas. P 1- 105. Inst. Mennesker og Teknologi, RUC

Presentationer fra indlægsholdere på konference om Pyrolysis and biochar på RUC, June 23<sup>rd</sup> 2022.