



CIP fonden

Hvad gør andre lande ift. biokul?

Baggrundsnotat nr. 5
Januar 2024

Baggrundsnotat om hvad andre lande gør ift. biokul

Indholdsfortegnelse

1. Opsummering	3
2. Det globale marked for biokul	3
2.1. Værdien af det globale biokulmarked	5
2.2. Biokulproduktion i Europa	6
2.3. Hvad bruger man biokul til i andre lande?	6
2.4. Anvendte biomasser til biokul	9
3. Biokul set fra producentsiden	10
3.1. Hvem laver biokul i andre lande?	10
3.2. Udfordringer ved markedsopstart	12
3.3. Eksempler på støtte til udvikling af pyrolyse og biokul	14
3.4. Internationale interesseorganisationer, der udbreder viden om biokul	15
Kilder	16
Bilag A: Eksempler på biokulproduktion i andre lande	19
A.1. Sverige	19
A.2. Tyskland	20
A.3. Schweiz	21
A.4. Kina	22
A.5. USA	23
A.6. Eksempler på andre lande, der laver biokul	24

Biokul er ikke en ny opfindelse, og mange andre lande arbejder også på området. Idet Danmark hverken er de første eller største i forhold til biokul, kan der drages erfaringer og inspiration fra udlandet, og særligt fra de lande, som har størst erfaring indenfor biokulmarkedet, samt de lande, der minder om Danmark i forhold til strukturelle vilkår.

Dette baggrundsnotat belyser udviklingen på det internationale marked for biokul. Der gives eksempler på, hvad andre lande gør i forhold til pyrolyse og biokul i forhold til anvendelsesområder, relevante biomasser og regulering, ligesom notatet indeholder en række virksomhedseksempler.

Der er tale om en foreløbig analyse til CIP Fondens arbejde med at belyse markedet for biokul og potentialerne og perspektiverne til dansk biokulproduktion. Der arbejdes videre med analysen til anden halvdel af CIP Fondens projekt, der handler om, hvorvidt og hvordan kulstoflagring med biokul kan blive til en eksport-case for Danmark.

Baggrundsnotatet har været drøftet med CIP Fondens Advisory Board, og der takkes for de mange gode bemærkninger og forslag.

Disclaimer

Informationen i denne rapport er af generel karakter og ikke beregnet til at udgøre professionel rådgivning og bør ikke behandles som en erstatning for specifik juridisk eller professionel rådgivning. CIP Fonden afgiver ingen erklæringer eller garantier med hensyn til fuldstændigheden eller nøjagtigheden af informationen heri og påtager sig ingen forpligtelser eller ansvar med hensyn for tab, direkte eller indirekte, der kan opstå som følge af investeringsbeslutninger baseret på oplysninger fremlagt i denne rapport. CIP Fondens formål er at udarbejde forslag og løsninger, der understøtter samfundets bæredygtige udvikling.

1. Opsummering

Det internationale marked for biokul har været i udvikling gennem en årrække. På verdensplan blev der i 2022 produceret biokul til en værdi af omkring \$200 mio (1,4 mia. DKK), men markedet er i stor vækst. Der produceres især biokul i Kina, USA og Nordeuropa. Kina og USA vurderes at være de største producenter, og i Nordeuropa er det særligt Tyskland og Sverige, der har de mest udviklede markeder, men der er også en vis produktion i fx Østrig og Schweiz. Øvrige producenter af biokul ses i en række forskellige lande, lige fra fx Australien, Canada, Indien, Vietnam og Kenya. Selv om der også er påbegyndt produktion af biokul i Danmark, er Danmark ikke blandt de første eller største. Men da markedet endnu er relativt nyt, er der mulighed for, at Danmark kan få en god placering, da danske producenter er ved at opskalere mulighederne for produktion af biokul, og danske pyrolyseproducenter har også solgt pyrolyseteknologi og -maskiner til udlandet, fx AquaGreen til bl.a. Sydafrika og MASH Makes i Indien.

Produktionen af biokul i andre lande ser ud til at være startet af en interesse for, hvad man kunne bruge selve biokullene til. Altså i forhold til deres egenskaber i forhold til jordforbedring mv. Det er relativt nyt, at man også interesserer sig for den CO₂ lagrende effekt af biokul. Her skubber det spirende marked for klimakreditter på udviklingen.

Det vurderes, at der i 2022 på globalt plan blev solgt klimakreditter på baggrund af CO₂ lagring med biokul svarende til 237.000 ton CO₂e, som netto blev fjernet fra atmosfæren.

Kina synes at være det land, der producerer mest biokul på verdensplan efterfulgt af USA, men der findes ikke officielle statistikker eller opgørelser over den globale produktion. I Kina har der bl.a. været forsket intensivt i biokul siden 2010 for at kunne brødføde den voksende befolkning ved bl.a. at øge udbyttet af landbrugsjorden med biokul.

Tyskland er det land, der producerer mest biokul i Europa med ca. 1/3 af den samlede produktion. I Europa var kapaciteten til biokulproduktionen i 2022 på ca. 53.000 ton biokul (svarende til ca. 5 stk. 20 MW anlæg), og forventningen er, at der ved udgangen af 2023 vil være en produktionskapacitet knap 100.000 ton biokul (svarende til ca. 7-8 stk. 20 MW anlæg). Jf. EBI er der ultimo 2023 ca. 180 biokulproducenter i Europa, inkl. forsknings-, forsøgs- og demonstrationsanlæg. I Danmark forventes det første 20 MW anlæg at gå i produktion primo 2024, som vil være et af de største produktionsanlæg, man kender til, ligesom der også er flere 10 MW anlæg under etablering i Danmark. Der skal således ikke så mange flere anlæg til, før Danmark kan få en fremtrædende rolle i biokulproduktionen i Europa.

Interessen for biokul i Danmark er primært drevet af muligheden for at benytte biokul til kulstoflagring. I andre lande bruges biokul ikke kun til CO₂-lagring, men har en række direkte anvendelsesformål, fx som gødningsprodukt, jordforbedring, fodertilsætning, kompost, vandrensning (filtrering), input til byggematerialer og delmateriale i fx asfalt eller cement.

I USA, Vesteuropa og i Australien laves biokul især af biomasser i form af træflis og trærester, husdyrgødning (fra kvæg, svin og kyllinger), digestat (restfibre fra biogasanlæg), halmrester og græsstrå, haveaffald og spildevandsslam m.m. I de asiatiske lande baseres biokullene i højere grad på planterester fra risproduktion, bambusblade mv.

2. Det globale marked for biokul

Der er i dag aktiviteter i en række lande, hvor der bruges biomasse til at producere biokul ved brug af pyrolyse. Det synes især at være i USA, Kina og det nordvestlige Europa, herunder Tyskland, Sverige, Schweiz og Danmark. Men der laves også biokul i andre lande, fx Australien, Canada, Indien og Vietnam.

Kulstoflagring har ikke nødvendigvis været det primære formål, når det kommer til andre landes tilgang til og anvendelse af biokul, hvor især biokuls egenskaber som jordforbedringsmiddel og komposttilsætning har været i fokus, efterfulgt af biokul som fodertilsætning.

Kina var relativt hurtigt ude med biokulproduktionen. Her er brugen af biokul især knyttet til brug i landbruget, der skal brødføde en stadig voksende befolkning. Det er alt lige fra gødning af landbrugsjord, kullenes jordforbedrende egenskaber og biokuls muligheder for at erstatte kunstgødningsprodukter, der har været i fokus. Senest er brugen også motiveret ud fra miljøsyn, herunder behovet for at begrænse udvaskning af kvælstoffer til vådområder fra landbrugsjorden, samt oprensning af forurenede jord. Den kinesiske interesse for biokul ses også i litteraturen om biokul, hvor meget af forskningen kommer fra kinesiske videns institutioner. Se bilag A.4. for en nærmere beskrivelse af kinesisk biokulproduktion.

I USA ser produktionen af biokul især ud til at være knyttet til fx savværker og andre lokationer med store mængder resttræ og træflis som tilgængelig biomasse, ofte via decentrale, gårdspecifikke eller savværktilknyttede anlæg. Der findes ikke umiddelbart nyere statistik for den samlede produktion i USA, men Thengane et al (2021) vurderer Nordamerika som det største marked i verden for biokul. Også her er anvendelse af biokullet på landbrugsjord det største fokus, primært for at gøre jorden mere robust over for klimapåvirkninger, fx perioder med tørke¹ afløst af perioder med store mængder regn. Se bilag A.5 for en nærmere beskrivelse.

I Sverige bruges biokul ofte som gødningsprodukt til have/park-anlæg baseret på biokul lavet af haveaffald, træflis og andre restbiomasser. Der ses også et begyndende fokus på anvendelse i andre sektorer, herunder som tilsætning i asfalt, cement og beton². Se case beskrivelse nedenfor samt bilag A.1 for en nærmere beskrivelse.



CASE 1: Haveaffald i Stockholm bliver til parkgødning, fjernvarme og grundlag for regnvandsopsamling

Fra byens indbyggere og lokale myndigheder bliver *have/park-affald* indsamlet fra forskellige affaldshåndteringscentre og centralt omdannet til biokul ved pyrolyse. Pyrolysegassen bruges til at generere energi til byens fjernvarmesystem.

Borgerne kan, når de afleverer haveaffald, samtidig hente gratis biokul til brug i deres haver, i det lokale affaldscenter. Biokullet sælges også til andre lokale myndigheder til at dyrke planter og træer i parker og det offentlige rum. Biokullet anvendes fx som jordtilsætning i plantebede oprettet til nedsivning af regnvand som en del af klimasikringen.

Biomassen indebærer i sig selv ingen finansielle eller udledningensmæssige omkostninger, idet borgere og byen allerede afleverer affald til centrale centre. Det samme gælder for opbevaringsfasen, hvor faciliteterne allerede eksisterer.

Pyrolyseanlægget på affaldscenteret er forbundet med en kapitalinvestering og løbende drift. Men der skabes også en indtægt fra pyrolysegassen, der benyttes til at opvarme private hjem, ligesom der er indtægter, når biokullet bliver solgt på det åbne marked og til kommunens vej-og-park afdeling.

Pyrolyseanlægget i Stockholm er det første større anlæg, som er sat i værk i et samarbejde med lokale myndigheder og byens indbyggere til produktion af biokul. Projektet er bl.a. medfinansieret af 1 mio. EUR fra Bloomberg Philanthropies Mayors Challenge, eftersom projektet var en af vinderne i 2014 Mayors Challenge, som er en konkurrence af Bloomberg Philanthropies.

Anlægget producerede i 2020 7.000 tons biokul, hvilket opsamlede 25.200 tons CO₂. Dette svarer til udledningen fra 3.500 biler. Derudover blev der produceret 25.200 MWh energi til opvarmning, hvilket svarer til opvarmning af 400 lejligheder.

Kilde: [Stockholm Biochar Project | Nordregio](#) og [Bjorn Embren \(sfbiochar.com\)](#) fra Stockholm kommune.

Bilag A indeholder generelt flere landebeskrivelser. Danske pyrolyseproducenter sælger også til udlandet, eksempelvis har AquaGreen, der bl.a. producerer anlæg til pyrolysning af spildevandsslam, solgt sine anlæg til bl.a. Sydafrika³, MASH Makes har solgt pyrolyseanlæg til Indien og Dall Energy har solgt forgasningsteknologi til virksomheder i Frankrig.

¹ Landbrugssektoren i Californien står fx for næsten 80 pct. af statens vandforbrug, som er en knap ressource, og der er et klart behov for at øge jordens vandholdende kapacitet i forhold til tørkeperioder (Thengane et al, 2021).

² <https://biokolprodukter.se/>

³ [AquaGreen has created growth on pyrolysis of sewage sludge » Energy Cluster Denmark](#)



CASE 2: MASH Makes – dansk pyrolyseproducent laver biokul i Indien af afgrøderester

Opsætning af pyrolysemaskiner hos kilden til landbrugsaffald (inkl. udviklingslande)

MASH Makes er udsprunget af et projekt på DTU, som arbejder med teknologien om at omdanne forskellige affaldsstrømme (især restbiomasser fra landbruget) til energiprodukter. MASH Makes anvender automatiserede pyrolyseanlæg til at producere bioolie, brint og elektricitet fra landbrugsaffald, hvorved de også skaber biokul.

Virksomheden udvikler modulære affaldshåndteringsmaskiner (med indbygget pyrolyseteknologi), som er skabt til at kunne transporteres i en container, så de kan anbringes på enhver lige og solid overflade. Dette er med til at reducere transportomkostningerne og forenkler den lokale logistik, så der lettere kan placeres pyrolyseanlæg lokalt, hvor restbiomassen produceres. Derudover tillader den let-transporterbare løsning en solid eksport-case til bl.a. udviklingslande, hvor maskinerne er nemme at implementere og at opskalere.

MASH Makes sikrede i september 2022 EUR 1,85 mio. fra Nefco (Nordic Green Bank) til at accelerere den første kommercielle installation af deres løsning. Dertil er der indgået en aftale med Indien, hvor der skal opsættes fire affaldsmaskiner i Karnataka med henblik på at forbedre Indiens udbytte af landbruget, undgå afbrænding af biomasseresterne og reducere landbrugets udledning af CO₂. Brugen af biokul på jorden skal samtidig forebygge erosion af jorden og ørkenspredning. Disse fire affaldsmaskiner i Karnataka vil kunne generere en årlig produktion af biokul på op til 7.200 tons. Det giver mulighed for at lagre op til 20.000 tons kulstof i jorden, hvilket svarer til den årlige CO₂-udledning fra 4.000 danskere.⁴

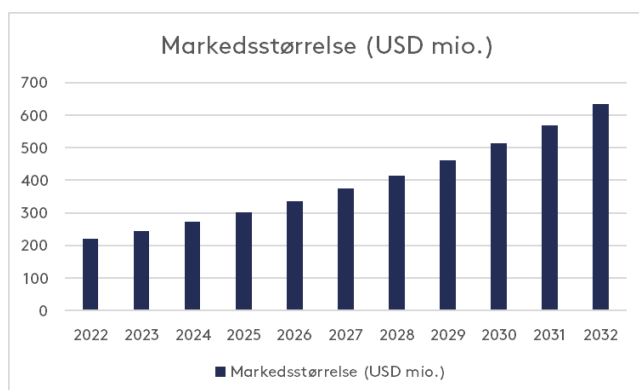
I 2022 opnåede MASH Makes en kontrakt med den tyske handelsplatform for klimakreditter, Carbonfuture GmbH, som giver mulighed for at sælge klimakreditter for op til 6.000 tons CO₂. Klimakreditterne er EBC-certificerede.

Kilder: [Mash Makes, New technology for carbon-negative biofuels and biochar | Nefco \(valudata.fi\)](#)

2.1. Værdien af det globale biokulmarked

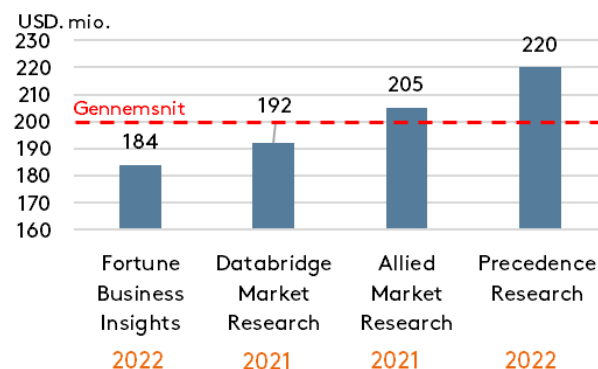
Markedet for produktion og afsætning af biokul er stadig i sin opstart. Der er forskellige opgørelser af størrelsen af det internationale marked for biokul fra forskellige markedsanalyse bureauer, jf. figur 2. På tværs synes der at tegne sig et billede af et marked til en værdi på omkring \$ 200 mio. (1,4 mia. DKK) i 2022 med relativt store vækstudsigter. Væksten i anvendelsen af biokul synes af forskellige markedsbureauer især drevet af behovet for øget jordforbedring (øget porøsitet og bedre vandholdende evne).

Figur 1. Vurdering af verdensmarkedet for biokul



Kilde: [precedenceresearch.com](#)

Figur 2. Forskellige analysebureauers vurdering af verdensmarkedet for biokul



Kilder: Fortune Business Insights (2022), Databridge Market Research (2021), Allied Market Research (2023) og Precedence Research (2022)

Markedet kan også drives frem af politiske målsætninger, hvor eksempelvis Danmark har sat et mål om at indfri et teknologisk potentiale på 2 mio. ton CO₂-lagring med biokul i 2030. På globalt plan arbejder IPCC i sit 1,5 grad scenarie med, at biokul som CDR-teknologi (carbon dioxide removal) skal kunne indfri 2,6 mia. ton CO₂-lagring i 2030.

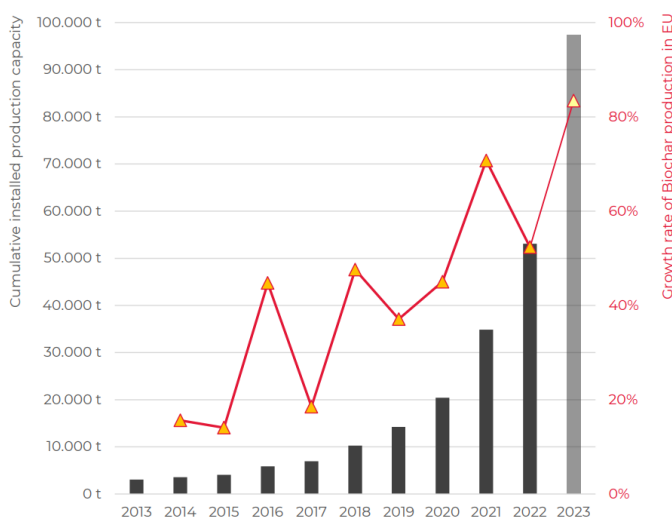
⁴ [MASH Makes A/S sikrer finansiering fra Nefco | Nefco](#)

2.2. Biokulproduktion i Europa

I Europa var der i 2022 omkring 130 biokulproducerende faciliteter, hvilket ventes at stige til 180 ved udgangen af 2023⁵. Dette inkluderer også forskningsinstallationer samt test- og demonstrationsanlæg. De havde i 2022 en produktionskapacitet på omkring 53.000 ton biokul, hvoraf der i praksis blev produceret 33.400 ton biokul, som fjernede over 90.000 ton CO₂e fra atmosfæren.

Ved udgangen af 2023 forventer EBI, at der vil være europæisk produktionskapacitet svarende til omkring 97.000 ton biokul. Med samme forholdstal som for 2022 vil det indebære, at der fjernes næsten 150.000 ton CO₂e fra atmosfæren med det biokul, der produceres i Europa.

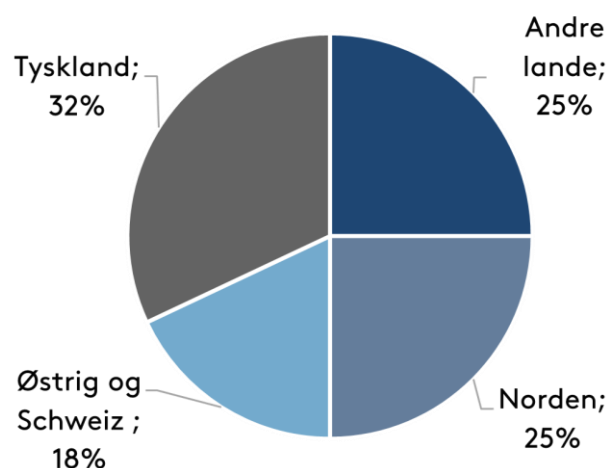
Figur 3. Biokulproduktionen i Europa i 2013-2022 samt forventet produktion i 2023



www.biochar-industry.com/market-overview/ © EBI 2023

Kilde: EBI (2023), "European Biochar Market Report 2022-2023"

Figur 4. Fordeling af produktionskapacitet for biokul i Europa på lande, ultimo 2022



Kilde: EBI (2023), "European Biochar Market Report 2022-2023"

Den europæiske produktion af biokul er estimeret af The European Biochar Industry (interesseorganisation), som med deres årlige markedsrapport vurderer produktionen baseret på information fra deres partnere, publiceret information fra producenter, interviews med interessenter og deres egen hjemmeside. Opgørelsen af biokul klassificeres på baggrund af den mængde biokul, som potentielt vil kunne sælges til et klimacertifikat.

Den samlede europæiske produktion af biokul i 2023 svarer til produktionen fra omkring 7-8 stk. af Stiesdals nye 20 MW anlæg⁶. Så produktionsomfanget af biokul i Europa er stadig i sin vorden.

EBI vurderer, at omkring 70 pct. af biokulproduktionen i Europa er certificeret og dermed potentielt til salg via klimakreditter.

Hovedparten produceres i Tyskland svarende til ca. 1/3 af den samlede produktion efterfulgt af de nordiske lande, som tilsammen står for ¼ af den samlede biokul-produktion i Europa med Sverige som den største producent. Herefter følger Schweiz og Østrig.

Danmark er således aktuelt ikke blandt de største producenter af biokul i Europa, men markedet er endnu i sin vorden, så når der kan etableres flere kommercielle anlæg i stil med det, som fx Stiesdal laver i Vrå knyttet til biogas, eller som fx AquaGreen laver knyttet til spildevandsanlæg, eller Mash Makes, kan den danske markedsandel vokse relativt hurtigt.

2.3 Hvad bruger man biokul til i andre lande?

Aftagerne af biokul bruger det især til jordforbedring/gødning (38 pct.), fodertilsætning (25 pct.), elproduktion (5-10 pct.) og andre formål (+25 pct.), jf. Fortune Business Insights.

⁵ EBI (2023)

⁶ Forudsættes at der produceres omkring 14.000 ton biokul årligt.

Biokul har forskellige anvendelsesmuligheder på tværs af brancher, men anvendes primært i landbruget og efterhånden også i byggesektoren og i industrien. I Europa skønnes hovedparten af biokullet at blive brugt på landbrugsbedrifter (Schmidt et al, 2021), og biokul som jordforbedringsmiddel er også den primære anvendelse i USA efterfulgt af biokul som gødningsmiddel til parker, anlæg, gartnerier og private haver (Thengane et al, 2021).

Figur 5. Hvad kan man bruge biokul til?



Kilde: CIP Fondens egen tilvirkning

I landbruget bruges biokul primært som *jordtilsætning eller gødningsprodukt*, hvor det især er virksomt i mere tropiske egne, mens biokulanvendelse i tempererede zoner virker bedst blandet sammen med anden gødning. Jordforbedring er en af de mest udbredte anvendelser af biokul.



CASE 3: Hjelmsätters Egendom – biokul i Sverige af mange forskellige reststrømme

Hjelmsäter Egendom, som er en af de største frøproducenter i Sverige, bruger den tyske pyrolyseteknologi, BIOMACON, til at producere biokul til jordforbedrende gødning og miljøformål. Udover rester fra frøproduktionen bruges der også afgrøderester fra landbrug, affald, træ, alger og haveaffald som biomasse. Herunder også juletræer, der ikke kan sælges pga. barkborer. Hvert ton biokul, der produceres på Hjelmsäter Egendom, indeholder 94 pct. kulstof. Hjelmsätters Egendom sælger deres biokul i bigbags á 1,250 liter til virksomheder, kommuner og foreninger – dog er det ikke tilladt at købe biokullet til afbrænding.

Overskudsvarmen fra pyrolyseanlægget bruges til opvarmning i resten af virksomheden. Derudover sælger virksomheden klimacertifikater.

Kilde: [Biochar in Sweden, Hjelmsätters Egendom | Puro.earth](#)

Biokul kan også anvendes som *fodertilsætning*, fx til smågrise, hvor det kan være med til at forebygge tarminfektioner, som giver diarré, og dermed erstatte medicinsk zink⁷. Forskellige reviews, fx Schmidt et al (2019), peger på, at biokul som fodertilsætning fx kan forbedre fordøjelsen, øge energioptaget fra foderet og dermed gøre det mere effektivt, absorbere toxiner og forbedre immunforsvaret. Andre peger på, at biokul også kan være med til at reducere metanudslippet fra køer (Leng et al, 2012). Man et al. (2020) peger på dokumenterede, positive effekter på dyrenes vækst, blodprofiler, og immunforsvar til at modstå patogener og en lavere udledning af metan, men også på et behov for mere forskning ift. dosering og langtidseffekter.

Som del af *strøelse* ved dyrehold fungerer biokullene som opsamler af væde. Biokullet kan desuden reducere lugtgener fra eksempelvis svinogødning samt afbøde virkningen af potentielt giftige stoffer, fx ammoniak, som frigives fra gødningen. Biokul har generelt en høj pH-værdi og en porøs struktur, der kan optage 5 gange så meget vand som kullet vægt.

⁷ GDP-projekt Grass Biochar, 2022.

Biokullene fremmer også *kompostering*, og sælges fx i forbindelse med nogle havecentre som pottemuld (fx i Sverige og i USA gennem HomeDepot) og benyttes tilsvarende af nogle gartnerier til jordforbedring for særlige planter, især i udlandet.

Biokul kan også anvendes som *materialeinput*, fx som additiv til asfalt og plastik og som input i byggematerialer, hvor de i nogle tilfælde kan fungere som substitut for sand i eksempelvis cement. Anvendes biokullet som materialeinput, vil det ikke recirkulere biomassens næringsstoffer til jorden, men vil ofte fortsat kunne bevare CO₂-lagringen.



CASE 4: Biokul blandet i cement kan nedbringe produktets CO₂-aftryk

Biokul kan blandes i cement, grundet biokullets porøse struktur. Dette vil nedbringe CO₂-aftrykket fra cement ved dels at lagre CO₂ i cementen, dels at reducere behovet for kridt, der både frigiver CO₂ ved opvarmning, og samtidig kræver fossile kilder til opvarmningen, da det kræver høj varme. Biokul vil derudover også nedbringe behovet for bl.a. sand, som indgår i cement.

Ved at anvende biokul i cement, vil det ligeledes betyde, at vi kan bruge biokul i beton, eftersom beton bl.a. består af cement. Beton er et af de mest anvendte byggematerialer. Årligt bruges der omkring 30 milliarder tons beton i verden, og det udgør omkring 6 pct. af jordens samlede CO₂-udledninger. Det er derfor en oplagt mulighed at anvende biokul i beton for således at reducere CO₂-aftrykket.⁸

Det amerikanske selskab *Solid Carbon* producerer betonblandinger til at fortrænge CO₂ fra atmosfæren. I juni 2022 tilføjede Solid Carbon en 5.000 kvadratmeter kulstofnegativ betonplade til jorden i den nordamerikanske stat Oregon, hvilket bidrog med en fortrængning på over 5,1 tons CO₂. Solid Carbons vision er at omdanne beton fra den største kilde af kulstofemissioner i byggebranchen til en klimaløsning.⁹

Et review af forskningslitteraturen (Dahl Winters et al (2022)) peger på klimaeffekter kombineret med "higher compressive strength" ved at iblande biokul i cementblandinger. Ifølge artiklen vil tilføjelse af biokul i beton resultere i en højere trykstyrke alt efter hvor meget biokul der tilføjes. Trykstyrken angiver den maksimale sammenpresning materialet kan tåle, før det bryder sammen. Desuden vil bøjningsstyrken og trækstyrken også blive forbedret, når biokul tilføjes betonen. Trækstyrken er den maksimale udtrækning et materiale kan tåle. Derudover reduceres den totale vandabsorption med ca. 30-40 % ved tilsætning af biokul til beton.¹⁰

I Sverige arbejdes der med kommerciel produktion af beton med biokul, som binder CO₂. Et eksempel er selskabet *Biokulprodukter Global AB*, som udvikler og sælger biokulprodukter. Projektet "biokulbetong – det nye sort i den grønne byggebranche" startede i 2020 med visionen om at udvikle og producere biokulbeton, og selskabet sælger bl.a. betonprodukter til plantebede, som udover at have en optimerende funktion i forhold til bede, ligeledes har en positiv klimaeffekt i form af fortrængning af atmosfærens CO₂. Disse betonprodukter med tilsat biokul har henholdsvis 40 pct. og 50 pct. lavere klimapåvirkning sammenlignet med tilsvarende betonprodukter uden biokul.¹¹



Kilder: Zhang et al (2022), Dahl Winters et al (2022), Senadheera et al (2023), ICBBM (2019), <https://biokulprodukter.se/>

Udover ovenstående anvendelsesmuligheder af biokul, findes der også eksempler på lande, som bruger biokul til at reducere brugen af fossilt kul for at reducere klimaafttrykket i bl.a. stålindustrien. Særligt i Norge har man eksperimenteret med dette, hvilket fremgår af case 5.

⁸ BABLE: Climate-Neutral Concrete with Biochar, 2022

⁹ Solid Carbon, Carbon sequestering concrete comes to Oregon, [Carbon Negative Concrete Video — Solid Carbon \(solid-carbon.com\)](https://solid-carbon.com/)

¹⁰ [1041-RUGC Manuscript-3369-1-10-20200311 \(2\).pdf](#)

¹¹ [Alla våra biokulprodukter](#)



CASE 5: Brug af biokul til at fortrænge fossilt CO₂ i metallurgi i Norge

Biokul minder om kul og koks, som anvendes i stålindustrien til at fremme legeringen af jern, hvor biokul har et væsentligt lavere klimaaftryk. Den norske virksomhed, Vow Green Metals, erstatter fossilt kul med biokul i produktionen af stål. I denne proces brændes biokullet reelt af, hvilket gør, at det ikke længere lagrer CO₂. Klimaeffekten er, at biokullene i stedet fortrænger brugen af fossilt kul og koks, som har et væsentligt større klimaaftryk.

Der er store perspektiver for at erstatte fossilt kul og koks med biokul. Stålindustrien i Norge står for 7% af de nationale CO₂e-udledninger. Ved at fortrænge brugen af fossilt kul og koks med biokul, kan dette klimaaftryk nedbringes. Vow Green Metals er i fuld gang med at bygge deres første fabrik i Follum 60 km fra Oslo med rig adgang til nærliggende biomasseinput. Produktionskapaciteten bliver på 10.000 ton biokul, men forventes øget på sigt. Også globalt har denne anvendelsesform af biokul stort potentiale i nedbringelsen af stålsektorens klimaaftryk. Stålsektoren står nemlig for 10% af de globale CO₂e-udledninger, hvortil biokul er en af de få alternative brændsler til fossilt kul og koks.

Kilde: [Management \(vowgreenmetals.com\)](https://www.vowgreenmetals.com)

Biokul kan også anvendes til mere nicheprægede formål i industrien, såsom kosmetik i form af f.eks. sæbe og cremer til insektbid og eksem. Derudover bruges biokul også til at varmeisolere tøj, fx væves biokul i Japan ind i undertøj sammen med bambus, samt til at forbedre ventilationen gennem tekstiler og skosåler. Desuden kan biokul også fungere som beskyttelse mod elektromagnetisk stråling, som kan anvendes i mikrobølgeovne, TV, strømforsyninger, tøj m.m.¹²

Hvis formålet med biokullene alene er CCS, kan biokullene fx opbevares i gamle kalkminer eller andre geologiske formationer. I modsætningen til CCS i geologiske formationer, fx lagring i udtjente felter i Nordsøen, indebærer *lagring af CO₂ via biokul* på markerne således positive sideeffekter og genanvendelsesmuligheder.

De nævnte eksempler ovenfor er blot et udpluk af de mange anvendelsesmuligheder ved biokul som er fremtrædende særligt i Europa.

I USA synes der at være fokus på brug af biokul på landbrugsjord, hvor producenterne bl.a. rådgiver kunderne i brugen af biokul efter deres behov. I USA sælges biokul også til private som havegødning i f.eks. HomeDepots.

For at gøre det nemmere for brugerne at komme i gang med at bruge biokul, har man i USA oprettet en cost-benefit platform (se case 6).



CASE 6: Brugere af biokul i landbruget guides i USA af cost-benefit platform

U.S Department of Agriculture refererer på deres hjemmeside til onlineplatformen, Pacific Northwest Biochar Atlas, der hjælper brugeren med at vælge det biokul, der passer til deres jord. Derudover giver platformen information om fordele ved biokul og indeholder casestudier, der beskriver implementeringen af biokul i Nordamerika. Derudover fremgår et kort over producenter.

Formålet er at forenkle adgangen for interesserede brugere. På platformen er det også muligt for brugeren at lave sin egen cost-benefit-analyse for brugen af biokul.

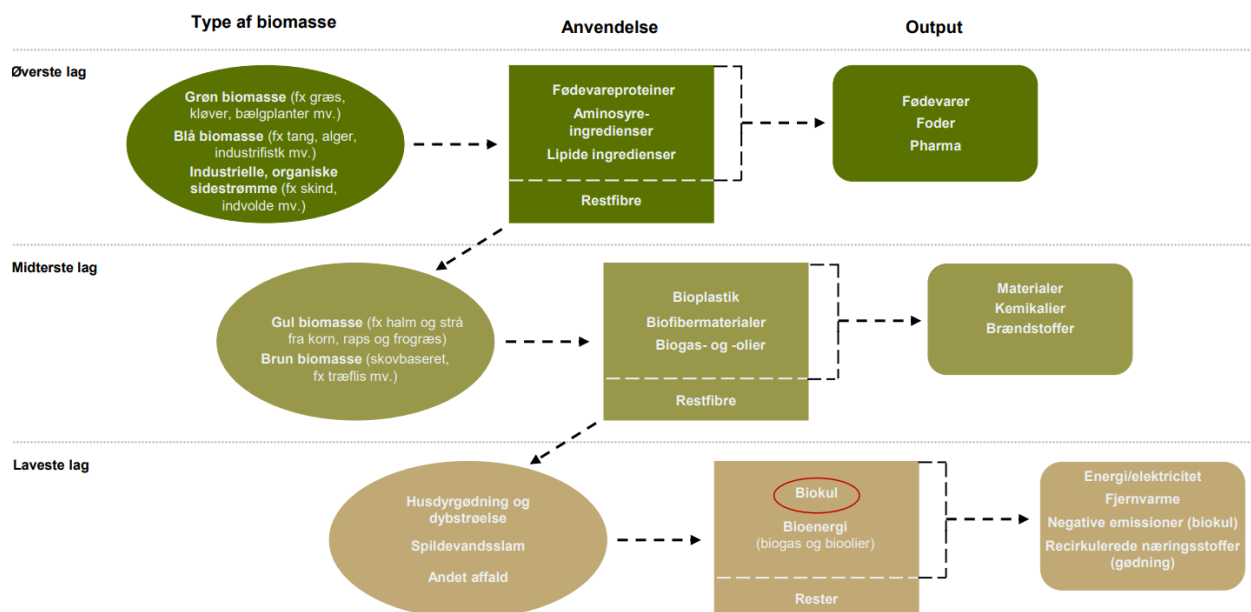
Kilde: <https://www.pnwbiochar.org> & [Biochar Cost-Benefit Analysis Tool](https://www.pnwbiochar.org)

2.4. Anvendte biomasser til biokul

Der er forskellige muligheder for at lave biokul alt efter de tilgængelige biomasser, som typisk vil have karakter af rester fra øvrige processer eller biomasser, der ikke umiddelbart har andre formål.

¹² Schmidt HP, Wilson K :The 55 uses of biochar, [tBJ:The 55 uses of biochar \(biochar-journal.org\)](https://www.biochar-journal.org)

Figur 6. Kaskadeanvendelse af biomasser til forskellige formål



Kilde: Egen tilvirkning på baggrund af beskrivelse i foreløbige anbefalinger fra Det Nationale Bioøkonomiske Panel, august 2022

I lande som USA, i Vesteuropa og i Australien laves biokul især af biomasser i form af:

- Træflis og trærester
- Rester fra papirproduktion
- Husdyrgødning (fra kvæg, svin og kyllinger)
- Digestat (restfibre fra biogasanlæg)
- Halmrester og græsstrå
- Haveaffald
- Spildevandsslam
- Nøddeskaller

I Asien og en række udviklingslande synes især følgende restbiomasser at blive brugt til biokul:

- Risstrå og risskaller
- Kokosnøddeskaller
- Fibre fra majsplanter
- Palmeblade
- Bambus
- Husdyrgødning (fra får, høns, kvæg og grise)
- Træfibre

Der er som udgangspunkt ikke knaphed i verden på relevante restbiomasser til brug for pyrolyse, som på forskellig måde har karakter af rester, der ikke har anden økonomisk værdi. Der vil dog være lokale variationer, herunder også i hvilke biomasser der er flest tilgængelige rester af. Alt efter biomassen kan det af logistikhensyn være relevant at placere pyrolyseanlæggene tæt på biomassen.

3. Biokul set fra producentsiden

3.1. Hvem laver biokul i andre lande?

Hvis vi kigger på Europa, er der en række forskellige lande udover Danmark, som også producerer pyrolyseteknologier, biokulprodukter, eller tilbyder konsulenttydelser, forskning m.m.

De europæiske virksomheder differentierer sig primært på, om de udvikler og sælger teknologien til at producere biokul, hermed pyrolysemaskiner, eller om de producerer biokulprodukter, som kan sælges til forbrugere.

Ifølge biochar-zero, som er en hjemmeside, der opereres af tyske biokul-eksperter, findes der 78 biokulproducenter i Europa.

Det ses tydeligt, at særligt Tyskland har en stor del af de europæiske udbydere af teknologi.¹³ Derudover har Schweiz et relativt stort antal producenter i forhold til landets størrelse. Herefter følger Sverige, Frankrig, Østrig, Irland og UK. I Danmark er der registreret tre producenter: Stiesdal, AquaGreen og Mash Makes.

Der findes dermed mange europæiske virksomheder udover Danmark, som beskæftiger sig med biokul, og det ses, at Danmark rent faktisk kun står for et lille udsnit af biokulproduktionen i Europa. Danmark er derfor hverken blandt de første eller største indenfor biokulmarkedet.

Boks 1. Eksempler på biokulaktører i Europa

EBI har i deres markedsrapport som tidligere beskrevet, at der er omkring 130 aktive biokulproduktionsfaciliteter i Europa. Nogle af disse er forskningsbaserede, mens andre er af kommerciel karakter.

Biokulproduktionen understøttes af teknologileverandører, og i nogle tilfælde er der sammenfald mellem teknologileverandøren og den aktive biokulproducent. Der er også eksempler på virksomheder, der både producerer og selv forbruger biokullet.

På figur 6 er sammensat en oversigt over et par eksempler på de europæiske biokulaktører, som er baseret på opgørelser fra bl.a. European Biochar Industry (EBI) og Biochar-Zero.

Virksomhederne er opdelt på seks forskellige kategorier alt efter om de producerer teknologi til biokulproduktionen, om de producerer biokul, eller både producerer teknologi- og biokul. Derudover også om det er en handelsplatform indenfor biokul, udbyder af klimastandarder eller om virksomheden tilbyder konsulenthjælp indenfor biokul.

Oversigten repræsenterer ikke en fuld markedsscanning, men viser blot eksempler på europæiske virksomheder, som beskæftiger sig med biokul.

Figur 7. Eksempler på biokulaktører i Europa

Teknologi/udstyr producenter				Producenter af biokul og brugere af biokul		
Airex Energy	PyroCore	RGH2	EnergieWerk ilg	Sonnenerde GmbH	Vow Green Metals	
Carbo Culture	Vow	NGE	SYNCRAFT	EGoS	Circle Carbon	
Carbofex	PYREG	Carbo-FORCE	SioTuu CO2 solutions group	Novocarbo	EOC Energy-ocean	
CarStorCon®	CTS – Carbon Technik Schuster	DECARBO Engineering	Skånefrø	Carbonauten	GRK	
BIOMACON	AquaGreen	Mash Makes	Meya Energy	EcoLocked	Made of Air	
Xylergy	Dall Energy	Frichs Pyrolysis	Soler Group	Sylva Fertilis	Oxford Charcoal	
EQTEC	Polytechnik Biomass Energy		Demio	Carbonloop	BASNA	
Både teknologi- og biokul producenter				Handelsplatforme		
Carbuna AG	Haffner Energy	Stiesdal	Carbonfuture	Carbon CharStore	Bio.inspecta	
Circular Carbon	Perpetual Next	Euthenia Energy	Klimate			
Klimastandarder			Konsulentfirmaer			
Puro.earth	Carbon Standard International (EBC)					
			First Climate	RE-CORD		

Kilde: [About – The European Biochar Industry Consortium \(biochar-industry.com\)](https://biochar-industry.com), biochar-zero.com/producer-finder & egen mapping.

¹³ [Technology Provider | biochar zero \(biochar-zero.com\)](https://biochar-zero.com)

3.2. Udfordringer ved markedsopstart

Ligesom for andre markeder kan der være en række udfordringer eller barrierer forbundet med at starte et nyt marked, hvor aktørerne typisk er små og mellemstore, innovationsdrevne og teknologisk funderede virksomheder. Det gælder også for pyrolysning af biomasser til biokul.

Der kan være en række barrierer forbundet med opstart af et marked for pyrolyse af biomasser med henblik på at producere grøn energi og bruge biokul til CO₂-lagring (og andre formål).

En del af dem er af mere generisk karakter for markeder under opstart baseret på ny teknologi, hvor mindre teknologibaserede virksomheder skal kommerialisere og skalere teknologier og typisk finder udfordringer i form af *adgang til vækstkapital* og i form af *stabilitet* af teknologien ved produktion i *større skala* og på fuld tid.

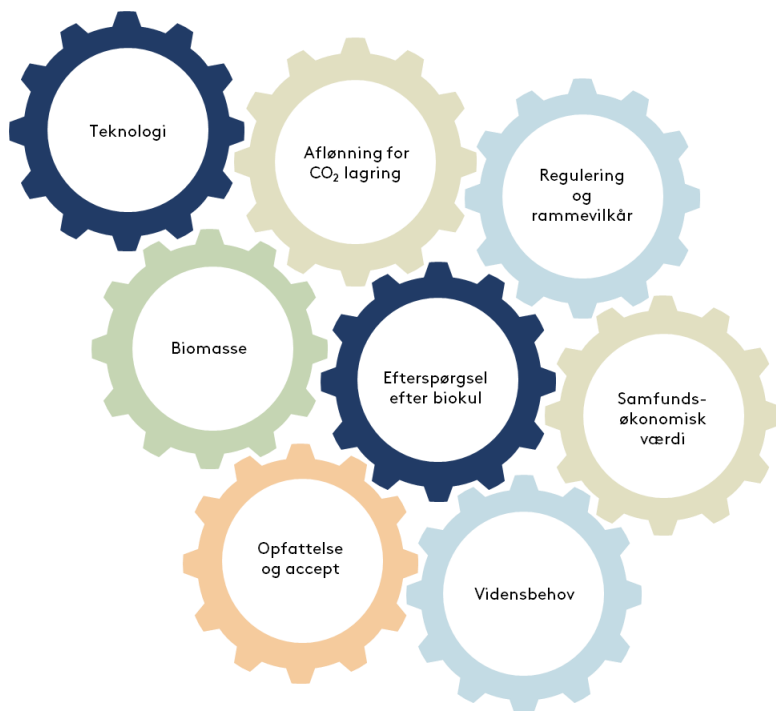
Andre generiske udfordringer for start-up markeder er *kendskabet til teknologien og dens muligheder hos potentielle investorer og brugere* af produktet. Det samme gælder etableringen af en klar og konsistent efterspørgsel efter produktet, der i biokullets tilfælde har flere anvendelsesområder.

Specifikt for biokulmarkedet kan der være udfordringer i form af adgang til relevante mængder biomasse og i forhold til økonomisk aflønning af CO₂-lagringen.

Sammen med det manglende kendskab til biokul og dets mulige sidegevinster ved anvendelse på landbrugsjord er der også et reelt *vidensbehov* i forhold til de langsigtede konsekvenser af at bruge biokul på landbrugsjord og hvilke mængder der er de mest optimale at anvende alt efter jordtypen og den anvendte biomasse.

Dertil kommer, at *regulering og rammevilkår* også skal muliggøre fremkomsten af et marked, hvor det for biokul fx er en udfordring, at det som udgangspunkt ikke er muligt at anvende biokul på dansk landbrugsjord, medmindre man opnår en tidsbegrænset tilladelse (§19 godkendelse) fra den lokale kommune til anvendelse på en konkret mark af en konkret mængde biokul, jf. baggrundsnotat om reguleringsmæssige udfordringer.

Figur 8. Mulige barrierer for markedsgørelse af biokul



Kilde: CIP Fondens egen tilvirkning

Der er i øjeblikket ikke gennemført egentlige markedsanalyser i Danmark af markedet og de mulige barrierer for brug af biokul. Klimafonden Skive har et projekt under opstart, hvor de bl.a. ønsker at afdække mulige

barrierer for udbredelse af CO₂-fangst og -lagring af biogen CO₂ gennem en survey hos en række af de lokale aktører omkring energiklustret GreenLab Skive.

Andre steder er der gennemført surveys for biokul. En undersøgelse i Californien i 2021 peger på, at *adgang til kapital* opfattes som det største problem for statens biokulproducenter efterfulgt af *manglende viden hos kunder* og mulige, mytebaserede opfattelser, som vist i figur 7.

Figur 9. Undersøgelse af barrierer for biokulmarkedet i Californien

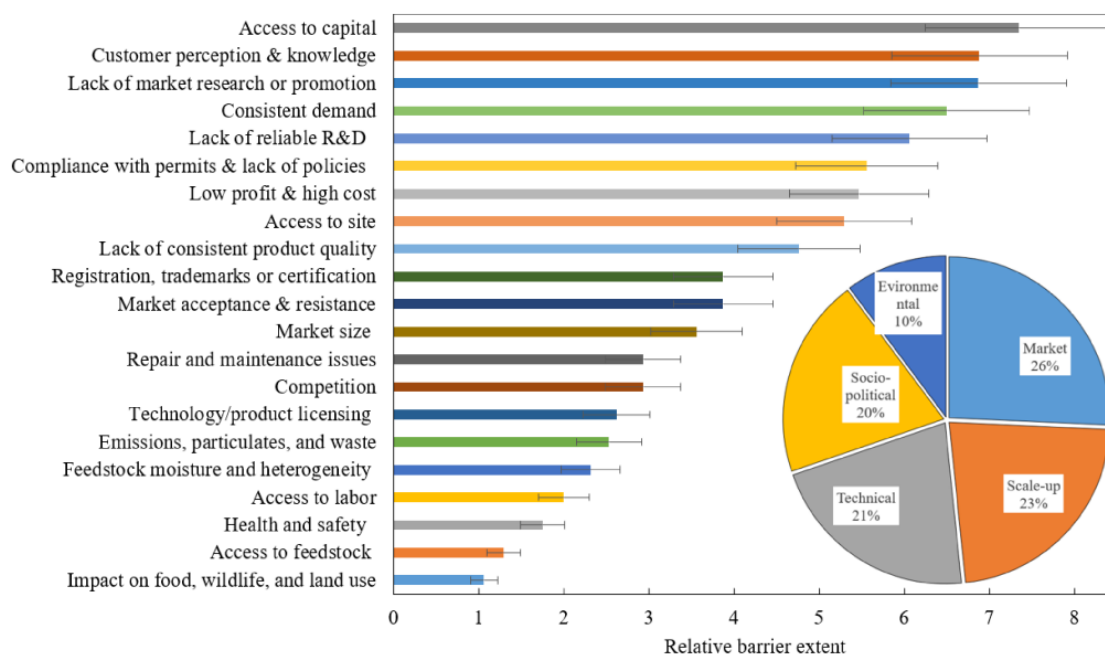


Figure 6. Relative extents of different factors posing as barriers based on the collected responses (*X-axis higher value indicates the higher barrier and lower value indicates the lower barrier).

Kilde: Thengane et al (2021): [Market prospects for biochar production and application in California](#)

En anden, bredere amerikansk survey blandt biokulproducenter fra medio 2022 viser, at den største udfordring for vækst er manglende *forbrugerforståelse* af, hvad biokul er og kan bruges til, mens relativt høje produktionsomkostninger, manglende regulering og svag efterspørgsel følger et stykke derefter som udfordringer af nogenlunde samme størrelsesorden (IBI, 2022). Analysen peger på et behov for at få "uddannet" store indkøbere og investorer og behov for at arbejde med standarder af høj kvalitet for at udbygge tilliden.

Thengane et al (2021) peger på, at det især er markeds-mæssige forhold, der udgør barriererne for biokul i Californien, men peger også på et fortsat vidensbehov, udfordringer med godkendelsesprocesser og klar regulering. I Californien synes adgang til relevante biomasser og miljømæssige overvejelser omkring brugen af biokul at fylde relativt lidt, mens det sidste sandsynligvis spiller en større rolle i Danmark.

Heinrich et al (2023) peger på kompleks regulering i EU-regi ved introduktion af nye jordforbedringsprodukter, herunder ved REACH-registrering. REACH kræver, at biokulproducenter, der producerer eller placerer en substans på det europæiske marked i mængder på mere end 1 ton/år, skal indsamle data om de kemiske stoffer i biokullet og registrere det hos European Chemicals Agency (ECHA). Det kan være en økonomisk udfordring for især små og mellemstore producenter, på grund af omkostningerne og tiden involveret på trods af tilgængelige støtteforanstaltninger til små producenter. De mener, at en hurtigere markedsopstart kræver bedre rådgivning til små og mellemstore producenter.

I Finland er den nationale lovgivning givet ved at bl.a. spildevand og industrislam er tilladt til anvendelse i landbruget og i biokul. Dette gør, at det er muligt at sælge gødning i Finland, men ikke i alle tilfælde på EU-markedet, eftersom nogle af kriterierne for salg af biokul på biokulmarkedet i EU er strengere.¹⁴

¹⁴ [European Sustainable Phosphorus Platform - ESPP eNews no. 81 - December 2023](#)

Teknologiniveauet (TRL) af biokulproduktion er konkurrencedygtigt med andre lagringsteknologier

Niveauet for pyrolyseteknologiens udvikling ("Technology Readiness Level", TRL) synes ikke at være det største problem for markedsgørelse af biokul.

Rambøll vurderede i 2021 på baggrund af rapporten "Export potential CCUS og PTX Technology" udarbejdet for Energistyrelsen, at TRL for pyrolyseteknologi er 9 ud af 10 mulige¹⁵, da pyrolyseteknologi allerede er benyttet på industrielt niveau, dog til andre formål. Derudover noterer Rambøll, at en global opskalering er mulig indenfor en tidsramme på 10-30 år, og at teknologien ikke udgør en fare for økologien.

I Sverige har en forskergruppe for den svenske Energistyrelse (Möllersten et al, 2022) foretaget et litteratur review og finder generelt, at pyrolyse og biokulproduktion har nået TRL 7, hvoraf produktion med langsom pyrolyse og co-generering af energi (varme) ligger med TRL 9. I forhold til biokuls anvendelse på landbrugsjord skønnes TRL 7-9 med 9 for anvendelse i udviklede lande. Det er lidt højere end fx BECCS og DACCS til sammenligning.

European Biochar Initiative (EBI, 2022), der er en europæisk interesseorganisation for biokulproduktion, har generelt vurderet pyrolyse til et TRL-niveau omkring 8+ i en høring foretaget af FN's Climate Change sekretariat omkring forskellige teknologier og aktiviteter til at fange CO₂ fra atmosfæren og lagre den.

3.3. Eksempler på støtte til udvikling af pyrolyse og biokul

Der er flere eksempler på støtte til biokul- og pyrolyserelaterede projekter gennem EU. EU har ikke en direkte støtteordning målrettet hhv. biokul og pyrolyse. Men det har været muligt at opnå støtte igennem andre ordninger, der er klima-, forskning- og udviklingsrelaterede.

I 2022 opnåede den finske virksomhed, *Carbo Culture*, støtte fra The European Innovation Council (EIC) på 2,16 mio. euro¹⁶. Støtten blev givet i forbindelse med Horizon Europe programmet og gives til udviklingen af Carbo Cultures næste-generations reaktor.

Tierpark Berlin modtog støtte fra EU i 2017-2020 i forbindelse med projektet CarboTIP. Her blev alt biomasse fra zoo'en blev indsamlet og ved brug af et pyrolyseanlæg blev det lavet til biokul. Det producerede biokul blev testet for gødningsmæssige fordele, CO₂-indhold og meget mere¹⁷. Støtten blev givet som del af EU's European Regional Development Fund¹⁸ gennem "Berlin" Operational Programme.

Europa-Kommissionen søger at støtte brugen af økologisk gødning produceret af restprodukter og affald på grund af den stigende pris på mineralisk gødning påvirket af forsyningskædens afbrydelser og energikrisen. Dog er støtte til brug af biokul til gødningsprodukter ikke blevet aktivt fremmet, primært på grund af mangel på empiriske data om emnet¹⁹.

I USA i 2022 blev der oprettet en støtteordning til amerikanske producenter af biokul. Støtteordningen tilbyder finansiel støtte til landmændene til produktion af biokul, som skal skabe incitament til at implementere biokul i landbruget. Støtteordningen kaldes "Soil Carbon Amendment 336" og finansieres af "The USDA Natural Resources Conversation Service" (NRCS), som er en del af det amerikanske ministerium indenfor landbrug.

Den finansielle støtte der tilbydes, er baseret på de gennemsnitlige omkostninger for det typiske scenarie, og er derfor ikke designet til at dække alle omkostningerne ved implementeringen. Ifølge US Biochar Initiative (USBI) er det ca. 75 % af de gennemsnitlige omkostninger, som tilbagebetales gennem støtteordningen. I nogle tilfælde er det hele 90 % af omkostningerne, der tilbagebetales, når processen er afsluttet.²⁰

¹⁵ Til sammenligning er Direct Air Capture (DAC) i samme rapport vurderet med et TRL-niveua på 4-6.

¹⁶ [CARBONCAPS - Efficient and verifiable carbon removal with ecosystem co-benefits. | CARBONCAPS | Project | Fact sheet | HORIZON | CORDIS | European Commission \(europa.eu\)](#)

¹⁷ [Projekt mål > carbotip](#)

¹⁸ [Inforegio - Germany's Tierpark Berlin uses biochar to reduce waste and carbon emissions \(europa.eu\)](#)

¹⁹ [Biochar production from late-harvest grass – Challenges and potential for farm-scale implementation - ScienceDirect](#)

²⁰ https://biochar-us.org/sites/default/files/learning/files/USBI_AFT_NRCS_Biochar_Funding_for_US_Producers_Quick_Guide_digital.pdf



CASE 7: Digital platform: Black Bull Biochar (UK)

I UK er der givet offentlig støtte til udvikling af en digital B2B platform, der forener landbrugs-, industri- og forskningspartnere, hvor formålet er at skalere brugen af biokul. Black Bull Biochar (BBB) blev i juli 2022 tildelt en statskontrakt på 3 mio. GBP. Midlerne skal bruges til et pilotprojekt, hvor en digital platform skal lanceres.

Kontrakten blev tildelt i forbindelse med den sidste runde af en teknologikonkurrence indenfor Direct Air Capture (DAC) og Greenhouse Gas Removal (GGR) drevet af det engelske Department for Business Energy and Industrial Strategy.

Platformen sigter efter at levere mindst 50.000 ton CO₂-lagring om året inden 2030. Formålet og ambitionen er at udvikle værdikæden for biokul ved at forbinde leverandører og brugere af biokul til at købe, sælge og lære om virkningerne.

Platformen vil også måle og verificere effektiviteten af biokul og den indvirkning, det har på emissions-reduktioner og kulstoflagring.

Meningen er, at industrielle partnere skal drive produktionen af biokul, således at landmænd kan købe biokul af eksterne producenter og derfor ikke skal have produktion af biokul lokalt på landbruget. BBB angiver, at dette kan være med til at reducere barriererne for adoption af teknologien væsentligt. Platformen vil gøre det muligt for landmændene at lære om biokul, foretage bestillinger og observere virkningerne på et dashboard. Som industriel producent kan man modtage ordrer, administrere logistik og levere inputdata for at bevise produktets kvalitet. Og selve platformen vil udføre kvalitetskontrol.

Projektet er støttet af nogle af de mest respekterede industri- og forskningsorganer i Storbritannien og Tyskland. Partnerne omfatter også Arla Foods, som har 2.100 landbrugsejere baseret i UK. Derudover BSW, der er en af Storbritanniens største skov- og savværksvirksomheder. Også Biomacon, som er en af de førende pyrolyseteknologi producenter, er en del af projektet. Forskningsinstitutterne der deltager, er Centre for Ecology and Hydrology ved University of Edinburgh og Scotland's Rural College.

Kilde: [GOV.UK](#) & [Black Bull Biochar Platform](#)

3.4. Internationale interesseorganisationer, der udbreder viden om biokul

Der findes en række interesseorganisationer med medlemmer fra hhv. virksomhedssiden, forskersiden og aftagersiden, som arbejder sammen om at promovere biokul som klimavirkemiddel og udbrede kendskabet hertil.

Internationalt set er der interesseorganisationen International Biochar Initiative (IBI), som er en platform der fremmer internationalt samarbejde mellem videnskab, industri, landbrug og NGO'er til at udforske og udvikle brugen af biokul.

Den amerikanske pendant hertil er US Biochar Initiative (USBI), som ligeledes er en interesseorganisation, der ønsker at fremme brugen af biokul gennem forskning, politik og teknologi, hvor fokus er på Nordamerika.

I Europa findes til sammenligning EBI, European Biochar Industry, der er et konsortium bestående af medlemmer, der producerer biokul eller teknologi dertil. Deres primære fokus er at understøtte lovbestemmelser vedrørende produktion og anvendelse af biochar, give relevante markedsoplysninger til medlemmer og publikationer, øge niveauet af bevidsthed om biokul, dets kommercielle og miljømæssige fordele, samt udvikle og etablere videnskabeligt forsvarlige standarder for biokul.

Du kan læse mere om biokulorganisationerne fordelt på henholdsvis verdensplan (IBI), Europa (EBI) og USA (USBI) her:

- [Home - International Biochar Initiative \(biochar-international.org\)](https://biochar-international.org)
- [The European Biochar Industry Consortium – We are fostering long-term success of biochar \(biochar-industry.com\)](https://biochar-industry.com)
- [Home | US Biochar Initiative \(biochar-us.org\)](https://biochar-us.org)

Kilder

- Allied Market Research (2023): *Biochar market by Production Technology, by Application: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2021-2031, 2023*, [Biochar Market Share, Growth, Trend, Forecast 2031 \(alliedmarketresearch.com\)](#)
- Amonette et al (2021): *Biomass to Biochar – Maximizing the Carbon Value*, Report by Center for Sustaining Agriculture and Natural Resources, Washington State University, [Biomass to biochar: Maximizing the carbon value | US Forest Service Research and Development \(usda.gov\)](#)
- BABLE: Climate-Neutral Concrete with Biochar, 2022 [BABLE - Climate-neutral concrete with biochar \(bable-smartcities.eu\)](#)
- CARBUNA: [CARBUNA Shop - Ihre Plattform für Pflanzenkohle](#)
- Climate Foundation: Land Carbon Sequestration – BioChar, [Klimafonden: Kulstofbinding \(Biochar\) - Klimafonden \(climatefoundation.org\)](#)
- Dahl Winter et al (2022): *Toward Carbon-Neutral Concrete through Biochar–Cement–Calcium Carbonate Composites: A Critical Review*, Sustainability 2022, 14(8), 4633; <https://doi.org/10.3390/su14084633>
- Data Bridge Market Research (2021): *Global Biochar Market – Industry Trends and Forecast to 2029, 2021*, <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-biochar-market>
- EBI (2023): *European Biochar Market Report 2022-2023*, European Biochar Industry, marts 2023, https://eur01.safelinks.protection.outlook.com/?url=https%3A%2F%2Fwww.biochar-industry.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2023%2F03%2FEuropean-Biochar-Market-Report_20222023.pdf&data=05%7C01%7Cheel%40cipfonden.dk%7C3c98c148a1c84a50d21f08db719374a1%7Cac46c4b76be0477ebc37f96c2ec12ce7%7C0%7C0%7C638228651327130409%7CUnknown%7CTWFpbGZsb3d8eyJWljoIjoiMC4wLjAwMDAiLCJQIjoiV2luMzIiLCJBTiI6IjE1haWwiLCJXVCi6Mn0%3D%7C3000%7C%7C&sdata=1PVIUn9Qu9vLCPnDyRvTslua15dF5t2AghFmOCfNno%3D&reserved=0
- EBI (2022): *EBI response to the UNFCCC – Call for input 2022 – Activities involving removals under the Article 6.4 Mechanism of the Paris Agreement*, 11. oktober 2022, [Call for input 2022 - Activities involving removals under the Article 6.4 Mechanism of the Paris Agreement | UNFCCC](#)
- Energyclusters: AquaGreen has created growth on pyrolysis of sewage sludge, 2022, [AquaGreen has created growth on pyrolysis of sewage sludge » Energy Cluster Denmark](#)
- Energymakeovers: Large-Scale Generation Certificates (LGCs) - Explained, 2023 [Large-scale Generation Certificates \(LGCs\) - Explained \(energymakeovers.com.au\)](#)
- Fachverband Pflanzenkohle, [Fachverband Biochar e.V. \(fachverbandpflanzenkohle.org\)](#)
- Farmers Review Africa: In Kenya, Biochar improves agricultural output, 2022 [In Kenya, Biochar Improves Agricultural Output \(farmersreviewafrica.com\)](#)
- Fortune Business Insights (2022): *Biochar market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, 2022*, <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/biochar-market-100750>
- Gupta S. Et al (2018) [Use of biochar as carbon sequestering additive in cement mortar | Request PDF \(researchgate.net\)](#)

- Heinrich et al (2023): Biochar production from late-harvest grass – Challenges and potential for farm-scale implementation, Sustainable Production and Consumption, vol. 37, maj 2023, [Biochar production from late-harvest grass – Challenges and potential for farm-scale implementation - ScienceDirect](#)
- IBBN: [Indien BioChar og BioResources Network \(ibbn.org.in\)](#)
- ICBBM: BIOCHAR-CONCRETE COMPOSITE: MANUFACTURING, CHARACTERIZATION AND PERFORMANCE EVALUATION AT ELEVATED TEMPERATURE, 2019, [1041-RUGC Manuscript-3369-1-10-20200311 \(2\).pdf](#)
- Intechopen: Biochar Potential in Improving Agricultural Production in East Africa, 2020, [Biochar Potential in Improving Agricultural Production in East Africa | IntechOpen](#)
- International Biochar Initiative, IBI (2022): *North American Biochar Industry Survey 2022*, initial findings august 2022, Global Development Incubator, <https://biochar-us.org/presentation/challenges-and-opportunities-biochar-industry-expansion-north-american-biochar-industry>
- Longlong et al (2023): *Integrated biochar solutions can achieve carbon-neutral staple crop production*, Journal of Nature Food, forskningsprojekt ved Aarhus Universitet om biokul i kinesisk landbrug under ledelse af professor Klaus Butterbach-Bahl. [Biochar and energy from pyrolysis can pave the way for carbon-neutral agriculture in China \(au.dk\)](#)
- Longlong et al (2023b): *Climate mitigation potential of sustainable biochar production in China*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 175, April 2023, [Climate mitigation potential of sustainable biochar production in China - ScienceDirect](#)
- Möllersten et al (2022): Technology Readiness Assessment, Costs and Limitations of five shortlisted NETs”, NET-RAPIDO Project – a collaboration between Mälardalen University (SVE), Perspectives Climate Research (GER) and Climate Strategies (UK), udført for den svenske Energimyndigheden, marts 2022, [\(PDF\) Technology Readiness Assessment, Costs, and Limitations of five shortlisted NETs • Accelerated mineralisation, Biochar as soil additive, BECCS, DACCS, Wetland restoration \(researchgate.net\)](#)
- NEFCO: Ny teknologi til produktion af CO2-negativt brændstof og biokul – MASH Makes A/S sikrer finansiering fra Nefco, 2022, [MASH Makes A/S sikrer finansiering fra Nefco | Nefco](#)
- Novocarbo: [Carbon Removal | Novocarbo](#)
- Phosphorus Platform (2023): Newsletter about nutrient stewardship - European Sustainable Phosphorus Platform (ESPP), [European Sustainable Phosphorus Platform - ESPP eNews no. 81 - December 2023](#)
- Precedence Research (2022): *Biochar Market – Global Industry Analysis, 2022*, <https://www.precedenceresearch.com/biochar-market>
- PYREG: [Home - PYREG GmbH](#)
- Rambøll (2021): *Export potential CCUS og PTX Technology*, rapport udarbejdet for Energistyrelsen, maj 2021, [Export potential \(ens.dk\)](#)
- Research Dive (2022): *Biochar Market Size Projected to Generate 2.366,4 million By 2031, 2022*, <https://www.researchdive.com/press-release/biochar-market.html>
- Research Gate: The use of Biochar to reduce the carbon footprint of cement-based materials, 2020, https://www.researchgate.net/publication/342560310_The_use_of_Biochar_to_reduce_the_carbon_footprint_of_cement-based_materials
- Schmidt et al (2021): *55 uses of biochar*, [tBJ:The 55 uses of biochar \(biochar-journal.org\)](#)

- Senadheera et al (2023): *Application of biochar in concrete – A review*, Cement and Concrete Composites 143, [Application of biochar in concrete – A review \(sciencedirectassets.com\)](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2023.105493)
- Solid Carbon: Carbon sequestering concrete comes to Oregon, [Carbon Negative Concrete Video — Solid Carbon \(solid-carbon.com\)](https://www.solid-carbon.com/)
- Thengane et al (2021): Market prospects for biochar production and application in California, Juli 2021, https://bof.fire.ca.gov/media/oobbtosm/thengane_2021_ca_biochar_market-002-ada.pdf
- US Biochar Initiative: NRCS Biochar Funding Quick Guide for US Producers, https://biochar-us.org/sites/default/files/learning/files/USBI_AFT_NRCS_Biochar_Funding_for_US_Producers_Quick_Guide_digital.pdf
- Zhang et al (2015): *Research and Application of Biochar in China*, oktober 2015, DOI:10.2136/sssaspecpub63.2014.0049, [\(PDF\) Research and Application of Biochar in China \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/275111111)
- Zhang et al (2022): *Review – Biochar as construction materials for achieving carbon neutrality*, Biochar vol. 4, nr. 59, oktober 2022, [Biochar as construction materials for achieving carbon neutrality | Biochar \(springer.com\)](https://www.springer.com/journal/10066)
- Zhipeng Li et al (2023), *Towards sustainable industrial application of carbon-negative concrete: Synergistic carbon-capture by concrete washout water and biochar*, Materials Letters (2023). DOI: 10.1016/j.matlet.2023.134368, [Towards sustainable industrial application of carbon-negative concrete: Synergistic carbon-capture by concrete washout water and biochar - ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com/journal/materials-letters)

Bilag A: Eksempler på biokulproduktion i andre lande

A.1. Sverige

Generelt og markedsstørrelse

Sverige er blandt de største producenter i Europa af biokul, hvor deres restbiomasser bl.a. er baseret på træflis fra savværker, gamle juletræer, rester fra papirpulp og frøvareproduktion samt park- og haveaffald. I Sverige er der flere anvendelser af biokul i såvel landbrug som i have/park-anlæg og til byggematerialer, bl.a. i form af biokulbeton og biokulasfalt, som ved iblanding af biokul kan nedbringe CO₂-aftrykket i det enkelte produkt. Ifølge den svenske miljømyndighed Naturvårdsverket er Sverige aktuelt nettoimportør af biokul.

Eksempler på produktion og anvendelse

ECOERA er en af de første virksomheder, der producerede biokul i Sverige, hvor de i 2009 startede med deres første stor-skala forsøgsanlæg, der siden er udbygget. Biokullet bliver produceret af restbiomasser fra landbrugets frøproduktion opsamlet og leveret af Skånefrö AB²¹. Hvert ton biokul er 70 pct. rent kulstof og indeholder 2,57 ton CO₂, mens selve fremstillingen kun udleder 0,05 ton CO₂. Der er muligt at tilgå en detaljeret beskrivelse af CO₂-fodaftryk ved at kontakte Puro.earth, som håndterer ECOERA's klimakreditter. Biokullet benyttes på landbrugsmarker tæt på produktionsanlægget, til grøn infrastruktur og fodboldbaner.

Flere kommunale myndigheder forsøger at inkorporere biokul i deres gødningsprodukter baseret på affaldssortering. Eksempelvis i Stockholm (jf. tidligere boks 1), hvor der er oprettet et affaldsprojekt, hvor både kommunale gartnere, private borgere og eventuelle købere kan tilgå biokul og benytte det i haver, husholdninger og større beplantninger rundt i byen.

Affaldsanlægget *Nordvästra Skånes Renhållnings AB* (NSR) i Helsingborg har eksempelvis investeret i biokulproduktion baseret på 20.000 ton park- og haveaffald, jf. den svenske miljømyndighed Naturvårdsverket²². Her kan private også afhente biokul til eget brug i deres haver fra visse affaldssorteringsanlæg, hvor biokullet er fremstillet af haveaffald.

Biokul sælges også til forbrugere til haveformål, hvor Impecta Fröhandel fx sælger 10 liter biokul lavet af træflis for ca. 300 SEK som jordforbedringsprodukt, mens Gröna Johanna tilsvarende sælger 10 liter biokul for ca. 160 SEK importeret fra Finland og baseret på gamle grantræer, hvor biokullet er klimacertificeret med EBC's standard. For at hjælpe forbrugerne er der udarbejdet guides til anvendelse af biokul jf. boks A1.

Boks A1. Eksempel på guide til svenske haveejere, der køber biokul til haveformål

"På friland kan du ha som riktmärke att tillföra 1–5 liter biokol per kvadratmeter.

- **Biokol i sandjord:** I en mager sandjord har biokol som allra störst effekt, då näringshalten med tiden kommer öka markant. En sandjord med biokol blir bättre på att hålla vatten och näring. Växterna klarar torka mycket bättre och jorden kommer få ett välgörande mikroliv som i sin tur bidrar till ökad mullhalt.
- **Biokol i lerjord:** En lerjord med biokol blir luftigare. Den riktigt tunga lerjorden får en mer stabil struktur; i stället för stora, kompakta jordkörer fördelas jorden på sikt i mindre delar. Rötterna får lättare att ta sig fram och risken för frostsador minskar eftersom jorden lättare torkar upp."
- 1 kg biokol lagrer 3 kg växthusgas.

Kilde: [Odling med biokol | Jordnära | Impecta fröhandel](#)

Byggeentreprenørselskabet *Skanska* arbejder også med at lave biokul af deres rester og affaldsprodukter lokalt ude på større byggepladser, hvor de kan tilknytte mobile pyrolyseenheder²³, og selv udnytte overskudsvarmen og afsætte pyrolysegassen til elproduktion. Det første anlæg startede i 2022 i Skellefteå, og Skanska forventer at have 10 lokale anlæg i drift i 2024. Biokulproduktionen skal medvirke til at nedbringe Skanskas eget klimaaftryk, og i forhold til deres målsætning om en reduktion på 30 pct., har Skanska behov for op mod 100 biokulenheder²⁴. Typiske biomasser er her trærester fra byggepladsen, fra træfældning samt lokale afgrøderester.

²¹ [ECOERA - The Biochar Carbon Removal Company - powering Net-Zero – ECOERA Millennium Biochar and Carbon Emission Removal Service](#)

²² ["Biokol är en framtidsprodukt" \(naturvardsverket.se\)](#)

²³ [Biokol av avfall | skanska.se](#)

²⁴ [Skanska inviger biokolpanna i Skellefteå \(byggindustrin.se\)](#)

Eksempler på statslige programmer og støtte

Energimyndigheten i Sverige støtter bl.a. forskning og udviklingsprojekter for biokulproduktion, og havde i 2022 fokus på biokuls potentielle bidrag til at reducere stålindustriens emissioner (se også case 5 om Vow Green Metals). Sverige har hidtil ikke anset biokul anvendt i landbruget som en permanent lagringsmetode, men forskning udført på bl.a. Sveriges Lantbruksuniversitet, slu.se, peger i en joint statement af forskere på en meget høj permanens af biokul lagret på jord, jf. Azzi et al (2023).

Klimatklivet yder finansieringsstøtte til fysiske klimainvesteringer, der reducerer udledningen af drivhusgasser, med mulighed for støtte til virksomheder, kommuner, regioner og organisationer i hele Sverige (delfinansieret af midler fra EU NextGenerationEU). *Klimatklivet* har også støttet biokulprojekter i Sverige gennem en projektrunde i 2022, hvor en af betingelserne for støtte er, at ansøgeren bruger en del af biokullet selv inden for sin virksomhed²⁵.

NEFCO, the Nordic Green Bank, der er et nordisk finansieringsinstitut for grøn omstilling etableret af de nordiske regeringer i 1990, har også et eksempel på støtte af biokul, hvor man i Sverige ønsker at fjerne PFAS fra vand og jorde med biokul²⁶. Banken støtter også danske MASH Makes A/S med opbygning af modulære pyrolyseanlæg til at håndtere affaldsprodukter i Indien²⁷.

Du kan læse mere om biokul i Sverige på:

- [Förstudie biokol \(slu.se\)](http://slu.se)

A.2. Tyskland

Generelt og markedsstørrelse

Tyskland er det land i Europa, der producerer mest biokul²⁸. Det er samtidig det land med den største produktionskapacitet i slutningen af 2022 jf. European Biochar Market Report 2022-2023. Her udgjorde Tysklands andel 32 pct. af den samlede europæiske kapacitet. Det svarede til en produktionskapacitet på ca. 17.000 tons pr. år.

I Tyskland er det særligt materialer fra skovbrug og træaffald, der benyttes til produktionen af biokul, hvilket skal ses i lyset af, at reguleringen for udbringningen af biokul primært har tilladt den slags. Andre biomasserester bruges mere sporadisk.

Der er tegn på, at interessen for biokuls potentiale som jordforbedringsmiddel og efterspørgslen efter små pyrolyseanlæg til landbrugsdrift, især øges i regioner, hvor der er mindre nedbør, og hvor nogle jorde er truet af vandmangel. Landmændene forventer, at biokul kan øge jordens modstandsdygtighed over for tørke, og udbringningsmængderne varierer fra 0,5-2 ton biokul pr. hektar²⁹.



CASE 8: PYREG og Novocarbo er eksempler på nogle af de førende tyske virksomheder indenfor biokul

PYREG er en af pionererne inden for udviklingen af CO₂-fortrængning med biokul, og er blandt de førende på verdensmarkedet, eftersom deres pyrolysemaskiner bruges over hele verden. Virksomheden har modtaget flere priser for deres teknologi.

Den tyske teknologi-virksomhed har eksporteret teknologi til blandt andet USA og en række europæiske lande.³⁰ Eksempelvis har de underskrevet en aftale med den amerikanske start-up Standard Biocarbon Cooperation (SBC), hvor *PYREG* giver virksomheden adgang til at bruge deres teknologi til at processere biomasse.³¹

²⁵ [Klimatklivet vill öka produktionen och användningen av biokol i Sverige \(naturvardsverket.se\)](http://naturvardsverket.se)

²⁶ [Agreed projects | Nefco](http://nefco.org)

²⁷ [New technology for carbon-negative biofuels and biochar | Nefco \(valudata.fi\)](http://valudata.fi)

²⁸ [Einsatz von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft: Chancen und Herausforderungen \(ifls.de\)](http://ifls.de)

²⁹ [Einsatz von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft: Chancen und Herausforderungen \(ifls.de\)](http://ifls.de)

³⁰ [PowerPoint-Präsentation \(biochar-international.org\) slide 12.](http://biochar-international.org)

³¹ [Standard Biocarbon and PYREG GmbH sign Exclusivity and Distribution Agreement

Partnership offers exclusive use of Pyreg's state of the art pyrolysis technology in the Northeastern United States and Eastern Canada.
 — Standard Biocarbon](http://standardbiocarbon.com)

Teknologien hos PYREG er velegnet til flere forskellige slags input, såsom gødning, tørgødning, kornaffald, halm, flis, brugt gummi og mange flere.

PYREG laver pyrolysemaskiner i et modulært design, som gør det nemt at transportere maskinerne og implementere dem.

PYREG-pyrolysemaskine kan i gennemsnit producere 900 tons biokul årligt, hvilket ifølge Waldzentrum Universität Münster (2019) svarer til den mængde CO₂, som 180.000 træer kan binde årligt, hvis biokullet bliver indarbejdet i jorden som et jordforbedringsmiddel. Deres maskiner fås i en lille udgave med en kapacitet på 500 kW, og i en stor udgave med en kapacitet på 6.000 kW. PYREGs pyrolysemaskiner er derfor en mindre og mere fleksibel maskine end fx Stiesdals pyrolysemaskine, som har en kapacitet på 2 MW.

Et andet eksempel på produktion af biokul er virksomheden *Novocarbo*, som har mange års erfaring med fortrængning af CO₂ og beskæftiger sig med fremstilling af diverse biokulprodukter, med fokus på bl.a. industrielle råmaterialer og landbrug, og på produkter til gartnerier.

Kilde: [Home - PYREG GmbH, Carbon Removal | Novocarbo](#)

Identificerede udfordringer i markedsopstart og eksempler på statslige programmer og støtte

Tysk regulering af brug af biokul (føderal gødningsforordning fra 2019) har hidtil haft en meget restriktiv fortolkning af, hvad der kan bruges af biokul på landbrugsjord i Tyskland, idet der kræves et meget højt tørstofindhold, der i praksis primært tillader biokul lavet af trærester, mens biokul lavet af andre planterester som halm og græs har vanskeligere ved at leve op til kravene³². Derfor er det primært trærester og lignende, der bruges som restbiomasse i Tyskland.

Lovgivningen i Tyskland havde tidligere ikke forholdt sig konkret til fx husdyrgødning som relevant biomasse for biokul, og det tyske ord for biokul, "pflanzenkohle", afslører også denne tænkning. Med den nye gødningsforordning fra EU, der tillader CE-mærket biokul som gødningsprodukt af såvel planterester som husdyrgødning, hvis det lever op til forskellige krav, forventes en større spredning i de valgte biomasser fremover.

Tysk regulering skal leve op til EU-forordningen, og tyske biokulproducenter kan som i andre EU-lande også sælge deres biokul inden for EU, såfremt det er CE-mærket.

Programmer, støtte og markedsopstart

Tyskland lancerede i 2022 et program til finansiering af forsknings- og udviklingsprojekter vedrørende "Anvendelse af biokul i landbruget til klimaændringer" for at understøtte, at biokul kan være et middel til at nå net-zero i 2045 i Tyskland³³. Dertil kommer muligheden for teknologistøtte til opstartsvirksomheder via The Federal Agency for Disruptive Innovations SPRIND, der støtter nye og banebrydende teknologier til store samfundsudfordringer, hvoraf den skabte værdi så vidt muligt skal forblive i Tyskland og Europa. Via programmet "Carbon-to-Value" fik eksempelvis Carbo Culture 2,3 mio. euro til videre udvikling af deres pyrolyseteknologi og kommercialisering af produkter. Støtten indebærer også coaching og kontakter til private investorer³⁴.

Du kan læse mere om biokul i Tyskland på:

- [Fachverband Biochar e.V. \(fachverbandpflanzkohle.org\)](http://fachverbandpflanzkohle.org)

A.3. Schweiz

Generelt og markedsstørrelse

Schweiz var det første europæiske land, der godkendte biokul til brug i landbruget, og samtidig et land med relativt mange biokulproducenter i forhold til landets størrelse. 90 pct. af det biokul, der handles i Schweiz, er indtil videre blevet handlet til brug i landbruget³⁵, eksempelvis som jordforbedring og fodertilsætning.

Swiss-Biochar kalder sig selv Europas første producent af biokul med produktion siden 2010 baseret på EBC's retningslinjer. Det er kun kvalitetsklassen EBC-AgroBio⁵ der lever op til kravene for den schweiziske

³² [Einsatz von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft: Chancen und Herausforderungen \(ifls.de\)](#)

³³ [Bekanntmachung_Pflanzkohle.pdf \(ble.de\)](#)

³⁴ [German Federal Agency SPRIND Backs Carbo Culture with €2,3 million grant | by Rahul Pardasani | carboculture | May, 2023 | Medium](#)

³⁵ [Einsatz von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft: Chancen und Herausforderungen \(ifls.de\)](#)

gødningsgodkendelse jf. Nitsch (2023)³⁶. Schweiz tillader naturligt træ som materiale til pyrolyse jf. EBC (2022). Listen af tilladte biomasser til pyrolyse bliver diskuteret og der snakkes om en udvidelse. Denne forventes at træde i kraft i 2024 jf. Baettig (2022)³⁷.

Eksempler på statslige programmer, støtte og markedsopstart

I 2011 blev biokul foreløbigt godkendt som jordforbedringsmiddel i Schweiz og endeligt godkendt med den schweiziske gødningsforordning i 2016. Det er kun træagtig biomasse, der er tilladt som biomasse for pyrolyse, og der er krav til produktion, kvalitet, levering og output. Biokullet skal være certificeret efter retningslinjerne hos EBC (European Biochar Certificate)³⁸, der bl.a. er baseret på forskningsresultater fra Ithaka Institute for Carbon Strategies³⁹. Biokul har gennem en årrække været et stort forskningsfelt i Schweiz.

I Schweiz kan biokul primært bruges til klimabeskyttelse og reduktion af nitratudvaskning og emissioner fra husdyrhold⁴⁰.

Forbundsrådet i Schweiz vurderer, at potentialet for biokul som biologisk kulstoflager på landbrugsjord er relativt begrænset i Schweiz. Det skyldes blandt andet, at landbrugsjorden i Schweiz er godt forsynet med næringsstoffer⁴¹.

A.4. Kina

Kina har testet brug af biokul siden 2010 og skønnes at have haft kommerciel produktion de sidste 5 år⁴². Kinas biokulmarked er et af de eneste markeder i verden, hvor biokul produceres på en industriel skala. Volumenet af markedet er ukendt. Men angiveligt er det verdens største marked⁴³.

Det skal ses i lyset af, at Kina samtidig har verdens største landbrug og et behov for at brødføde en stor og voksende befolkning, hvor muligheden for at dyrke afgrøder udfordres af faldende jordkvalitet (fald i jordens frugtbarhed samt forurening af landbrugsområder⁴⁴), forurening af vådområder og problemer med håndtering af affaldsprodukter. En hyppig brug af kunstgødning, især med syntetiske kvælstoffer (N), fører til ophobning af nitrat i jorden og overgødskning af nærliggende vådområder.

Kina har omvendt en række uudnyttede biomasseressourcer, hvoraf de afbrænder omkring 40 pct. af de 800 mio. ton reststrå fra landbruget på markerne⁴⁵.

Forskere fra bl.a. Aarhus Universitet har gennemført en livscyklus analyse (LCA) af biokul ud fra kinesiske data og finder, at brug af biokul i landbruget, fx på rismarker, fører til CO₂-lagring og reducerede metan- og lattergasudledninger fra rismarkerne, som sammen med grøn energiproduktion, der kan fortrænge brug af eksempelvis fossilt baseret kul, er en farbar vej til et netto klimaneutralt landbrug i Kina (Longlong et al, 2023).

Et nyt studie viser, at potentialet for CO₂-lagring i Kina med biokul (baseret på en 2018 opgørelse over LCA-effekten af biokul produceret af biomasser som afgrøderester, skovrester, husdyrgødning, husholdningsaffald og spildevandsslam) er mere end nok til at dække de samlede emissioner fra landbrugsjorden i Kina (ca. 400 Mgt CO₂e)⁴⁶.

³⁶ [Einsatz von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft: Chancen und Herausforderungen \(ifl.de\)](https://ifl.de/wordpress/wp-content/uploads/2023/03/Einsatz-von-Pflanzenkohle-in-der-Landwirtschaft-Chancen-und-Herausforderungen-ifl.de.pdf)

³⁷ <https://charnet.ch/nicht-jede-kohle-darf-in-den-boden/>

³⁸ [Einsatz von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft: Chancen und Herausforderungen \(ifl.de\)](https://ifl.de/wordpress/wp-content/uploads/2023/03/Einsatz-von-Pflanzenkohle-in-der-Landwirtschaft-Chancen-und-Herausforderungen-ifl.de.pdf)

³⁹ [Ithaka Institute - Home \(ithaka-institut.org\)](https://ithaka-institut.org/)

⁴⁰ [Beskyttelse af klimaet med biokul - Agrarforschung Schweiz](https://www.fhnw.ch/de/umwelt/umweltforschungsprojekte/biochar)

⁴¹ [22.4405 | Pflanzenkohle in der Landwirtschaft. Wirksamer Einsatz für den Klimaschutz bei korrekter Anwendung | Geschäft | Das Schweizer Parlament](https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/ansagen-von-und-entscheide-von-der-beratung/22.4405-pflanzenkohle-in-der-landwirtschaft-wirksamer-einsatz-fuer-den-klimaschutz-bei-korrekt-angewandter-anwendung-geschaeft)

⁴² <https://biochar.international/the-biochar-for-sustainable-soils-b4ss-project/china/>

⁴³ Worcester Polytechnic Institute: <https://digital.wpi.edu/downloads/9g54xk90p?locale=en>

⁴⁴ "Of the total arable lands, 30% is poor in soil fertility and 20% is threatened by soil pollution of metals and organic chemicals according to Biochar International, project B4SS [China – Biochar for Sustainable Soils](https://www.biochar-international.org/)

⁴⁵ Clare et al (2015): [Competing uses for China's straw: the economic and carbon abatement potential of biochar - Clare - 2015 - GCB Bioenergy - Wiley Online Library](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/gcb.13111)

⁴⁶ Longlong et al (2023b)

Generelt har fremstillingen af biokul været tæt knyttet til forskningen i Kina, bl.a. på Nanjing Agricultural University, Centre of Biochar and Green Agriculture, som dels har medvirket til teknologiudvikling og markforsøg og udvikling af sammensatte gødningsprodukter, dels har virket som en platform til at udveksle og efteruddanne medarbejdere til biokulsektoren, jf. B4SS. En stor del af den voksende litteratur om biokul kommer fra kinesiske forskere, som allerede relativt tidligt var aktive, jf. Zhang et al (2015).

En hurtig søgning på Alibaba⁴⁷ viser, at der udbydes mange biokulrelaterede produkter fra Kina, herunder forskellige former for designer-gødning, men også pyrolyseanlæg, tørringsanlæg mv. til fremstilling af biokul.

A.5. USA

Generelt og markedsstørrelse

Nordamerika var i 2019 det største marked for biokul. Dette var primært drevet af den voksende bevidsthed om de langsigtede effekter i skov- og landbrug samt stigende investeringer og miljømæssige reguleringer jf. Thengane et al (2021)⁴⁸. Californien er den førende stat i USA. Brugen af biokul og udviklingen af markedet i Nordamerika er primært drevet af forbedringer i landbrugsjord og lokal varmeproduktion på gårde jf. Research Dive (2022).

Jf. Amonette et al (2021) er der tendens til, at nicheproducenter i landbruget, ofte med økologisk baggrund, er mere villige til at afprøve biokul i deres produktion end mere traditionelle landbrug.

Ligesom i Europa, er der i USA også en række organisationer der arbejder for at fremme brugen af biokul. *US Biochar Initiative* (USBI)⁴⁹ er en not-for-profit organisation, der støtter udbredelsen af biokulproduktion i USA (europæisk pendant af EBI, dog uden medlemmer), gennem forskellige arrangementer og et Learning Center, der bl.a. udgiver fakta ark om f.eks. markedet for klimakreditter, biokul anvendelse på landbrugsjord og guide til funding⁵⁰.

I starten af 2023 afholdte USBI en webinarserie, hvor det amerikanske landbrugsministeries afdelings ved navn *Natural Resources Conservation Service* (NRCS) fremlagde, hvordan man kan søge offentlige støttemidler til at påføre biokul til landbrugsjord på baggrund af biokullets jordforbedrende kvaliteter⁵¹. NRCS har forskellige frivillige støtteprogrammer, som biokul kvalificerer sig til, da biokul ses som en jordforbedringsteknologi for private jorde.

Eksempler på programmer og støtte

Et af NRCS' støtteprogrammer er The Conservation Stewardship Program (CSP). På tværs af USA og i alle stater kan landbrugsproducenter blive en del af CSP-programmet. Programmet giver mulighed for støtte til aktiviteter i landbruget, der bevarer og forbedrer kvaliteten af jorden f.eks. gennem CO₂-binding, forbedring af vand- og luftkvalitet, øget biodiversitet osv. Programmet har til formål at motivere landbrugsproducenter til f.eks. at inkludere biokul i deres træaffaldshåndtering. Tilskuddet er betinget af den aktive styring af løbende bevaringsindsatser og adoption af nye, yderligere forbedringer og avancerede bevaringssystemer på hele landbrugsdriften jf. National Sustainable Agriculture Coalition⁵². Man sender en ansøgning, som baseret på ens resultater bliver ranket. De højest ranket vil opnå støtte. Man kan opnå en prioriteret rangering, hvis man er socialt udsat, veteran eller ny landbruger. Når støtten er givet, udarbejdes en femårig plan og kontrakt med en årlig betaling i oktober. Denne kontrakt underskrives og projektet udføres, hvor der løbende rapporteres på de aftalte parametre.

⁴⁷ Alibaba.com offers 2,415 biochar products. such as organic fertilizer, chemical auxiliary agent, and catalyst. You can also choose from manufacturing plant, energy & mining, and farms. And whether biochar is granular, powder, or liquid. (søgning for "biochar" foretaget 26. september 2023).

⁴⁸ [Market prospects for biochar production and application in California](#)

⁴⁹ [US Biochar Initiative | US Biochar Initiative \(biochar-us.org\)](#)

⁵⁰ [Suppliers and Manufacturers | US Biochar Initiative \(biochar-us.org\)](#)

⁵¹ [USBI NRCS Code 336 Day 1 Session 4 Michael Margo extensive explanation of CSP Code 808 program - YouTube](#)

⁵² [CSP-2020-draft3-interactive-1-1.pdf \(sustainableagriculture.net\)](#)



CASE 9: Cost-benefit platform

U.S Department of Agriculture refererer på deres hjemmeside til onlineplatformen, Pacific Northwest Biochar Atlas. Det er en platform, der hjælper brugeren med at vælge det biokul, der passer til deres jord. Derudover giver platformen detaljer om fordelene ved biokul, casestudier der beskriver implementeringen af biokul i Nordamerika. Derudover fremgår der også et kort over producenter.

Formålet er at forenkle adgangen for interesserede brugere. På platformen er det også muligt at lave sin egen cost-benefit-analyse af, om det er relevant at bruge biokul, og i så fald hvilken slags for den enkelte bruger. Den slags partielle budgetanalyser kan være fremmede for udbredelsen og er i USA også kendt fra eksempelvis hvedeproduktion.

Kilde: <https://www.pnwbiochar.org> & [Biochar Cost-Benefit Analysis Tool](#)

Det amerikanske landbrugsministerium (USDA) har igangsat en række forskningsinitiativer for at blive klogere på, hvor effektiv biokul er i at binde tungmetaller og øvrige miljøhensyn⁵³. I USA kræver det amerikanske landbrugsministerium, USDA, at der skal være mindst 25 pct. kulstof i biokullet, hvis det skal tillades som jordtilsætningsprodukt, jf. Amonette et al (2021).

I USA kan delstaterne kræve tilladelser for anvendelse af biokul på landbrugsjorde. Det er fx tilfældet i min. 26 stater, jf. chardirect.com. Detailpriserne på biokul til jordforbedringsformål varierer fra \$110-150 pr. m³.

Du kan læse mere om biokul i USA på:

- USBI factsheets: [Welcome to the Biochar Learning Center! | US Biochar Initiative \(biochar-us.org\)](#)

A.6. Eksempler på andre lande, der laver biokul

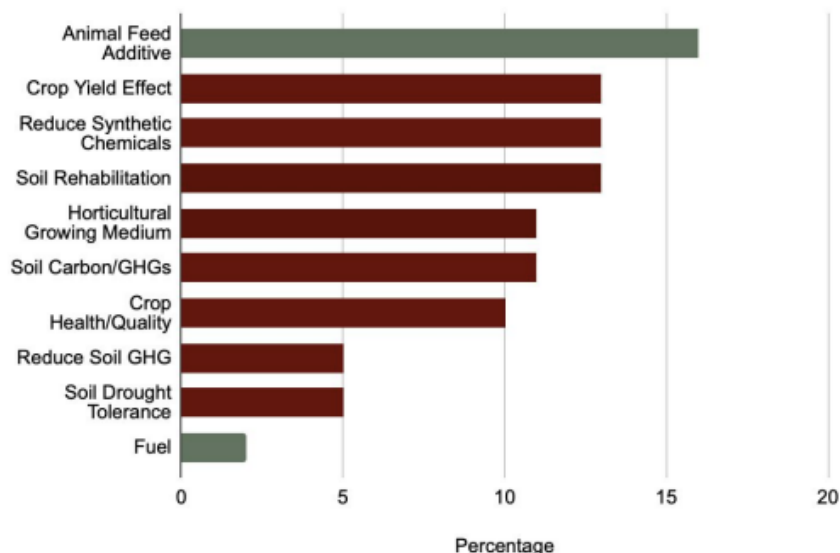
Markedet indenfor biokul ses også i mange andre lande end de ovenstående, såsom i Australien, Indien, Kenya m.m. Herunder skildres et par udvalgte lande, som også er i fuld gang med implementeringen af biokul.

I **Australien** er biokulmarkedet stadig i en tidlig vækstfase og der ses fremkomster af nye produktioner i næsten alle Australiens stater og territorier. Disse er både i mindre og stor skala. Der forskes i biokul på en række universiteter. ANZ Biochar Industry Group (ANZBIG) vurderer at størrelsen af industrien i Australien er mellem 50 – 100 mio. dollars⁵⁴. Den nuværende produktion er på et lavt niveau og i 2020 var produktionen mellem 10.000-20.000 tons pr. år jf. ANZBIG. Der forventes en stor stigning i produktionen over de kommende år.

Biokul anvendes også på forskellige måder i Australien, hvoraf nogle af eksemplerne er listet på figur 10.

⁵³ [What is Biochar, and How is it Used? - U.S. Gain \(usgain.com\)](#)

⁵⁴ ANZ Biochar Industry Group (2023): [ANZBIG 2030-Roadmap V1.1 July-2023 Digital.pdf](#)

Figur 10: Forskellige anvendelser af biokul i Australien

Kilde: Robb & Josph, 2019

Australien har oprettet en fond, "The Australian Emissions Reduction Fund", som giver virksomheder mulighed for at modtage kulstofkreditter (Australian carbon credit units, ACCU) for hvert ton CO₂, de fortrænger. Det er muligt for virksomhederne at sælge kulstofkreditterne, ACCU. Kulstofkreditterne, ACCU, blev solgt for cirka 31 AUD pr. stk. den 19. september 2022⁵⁵ (154 kr.). I maj 2019 blev de solgt til 19,60 AUD (97 kr)⁵⁶. Der skabes derved incitament for at producere biokul af affaldsbiomassen, da det gennem kulstofkreditter skaber en indtægt til virksomhederne.

Yderligere tilbydes storskalacertifikater (LGC'er) til el-producenter, der benytter støtteberettigede, vedvarende energikilder. LGC'er kan handles mellem virksomheder (normalt elforhandlere), hvilket er med til at gøre produktionen af biokul mere rentabelt. I slutningen af hvert år indleverer virksomhederne deres LGC'er til Clean Energy Regulator, som sætter og kontrollerer et krav for hvor mange LGC'ere, de forskellige virksomheder skal skabe.⁵⁷ Indtægterne fra disse certifikater afhænger af mængden af energi der genereres. For hver 1 MWh der produceres, fås 1 LGC. Når LGC'erne er registreret hos Clean Energy Regulator, er det muligt at handle med certifikaterne.⁵⁸



CASE 10: Biokul producenten Rainbow Bee Eater og samarbejdet med Microsoft i 2021

Start-up-virksomheden Rainbow Bee Eater designer og bygger teknologi til biokulproducenter i mindre skala. Eksempelvis i byen Tantanoola i Sydaustralien, hvor urte-virksomheden Holla Fresh benytter deres teknologi.

Teknologien fungerer ved, at træflis og andet organisk materiale fra virksomheden Bio Gro benyttes som biomasse i en pyrolyse-process til at skabe biokul og energi. Biokullet benyttes som kompost i jorden af virksomheden Bio Gro. Og energien benyttes til at drive Holla Fresh's drivhuse. Teknologien er kaldet "ECHO2". Gennem projektet udbydes der carbon kreditter gennem Puro.earth.

Microsoft og den canadiske e-commerce virksomhed Shopify har købt en stor mængde af disse kreditter. Efter de to virksomheder har købt kreditterne, har flere virksomheder og forskellige banker i Nordamerika og Europa efterspurgt kreditterne. Ejeren af Rainbow Bee Eater har udtalt, at han potentielt har seks nye anlæg på vej grundet den øgede efterspørgsel efter kreditterne. De nye anlæg vil sælge energien og varmen, som produceres i pyrolyse-processen, til de omkringliggende virksomheder og carbon kreditterne samt biokullet sælges ligeledes til dem, der skulle ønske det.

Kilde: Reneweconomy.com.au, "How an Australian Biochar start-up inspired Microsofts negativt carbon plan".

⁵⁵ [ACCUs.com.au](https://accus.com.au)

⁵⁶ <https://digital.wpi.edu/downloads/9g54xk90p?localte=en>

⁵⁷ <https://digital.wpi.edu/downloads/9g54xk90p?localte=en>

⁵⁸ [Large-scale Generation Certificates \(LGCs\) - Explained \(energymakeovers.com.au\)](https://energymakeovers.com.au)

Kenya bruger også biokul til forbedring af landbruget samt reducere udledningen af fossile brændstoffer fra gødning.⁵⁹ Østafrika er blandt de områder med det højeste tab af næringsstoffer. Planteoptagelsen af gødning i Østafrika er ofte kun 50 %, hvilket er dyrt og ineffektivt for landmændene. De fleste jordarter i Østafrika er sure og har ikke nok næringsstoffer til at understøtte en bæredygtig afgrødeproduktion. Hvis man benytter biokul som gødning, vil det forbedre planternes næringsoptag.⁶⁰

Global Environment Facility (GEF) finansierede B4SS-projektet for at samle resultaterne fra biokulforskning, der blev udført i Kina, Etiopien, Kenya, Peru, Indonesien og Vietnam. B4SS-projektet gik ud på at fremme udbredelsen af biokul, herunder fordelene ved brugen af biokul. Projektet blev afsluttet i 2018.

I **Indien** opleves der ligeledes vanskeligheder med jordens optag af næringsstoffer. Mere end 37 % af Indiens landbrugsjord er i ubalance ift. næringsstofferne, oplever tab af organisk kulstof, og nedgang i jordens biodiversitet m.m. Dette medfører stigninger i omkostningerne, og en faldende udbyttestabilitet. India Biochar and Bioresources Network (IBBN) er en platform som bl.a. forbedrer landbrugsudbyttet og reducerer CO₂-udledningen gennem effektiv brug af landbrugsrester, såsom biokul.⁶¹

Det danske selskab Mash Makes udvikler pyrolysemaskiner, og beskæftiger sig primært med landbruget i **Indien**, hvor afgrøderesterne fra landbruget omdannes til biokul ved hjælp af pyrolysemaskinerne. Du kan læse mere om Mash Makes i case 2.

Der er dermed en række andre lande, som er i fuld gang med udviklingen og produktionen af pyrolyseteknologien og diverse biokulprodukter. Danmark er derfor hverken blandt de første eller største indenfor biokulmarkedet, og der er god mulighed for at blive inspireret af erfaringerne fra udlandet. Biokul har som nævnt mange forskellige anvendelsesmuligheder og samtidig en række positive sidegevinster, såsom at kunne fortrænge CO₂ i flere år.

⁵⁹ Farmers Review (2022) [In Kenya, Biochar Improves Agricultural Output \(farmersreviewafrica.com\)](https://farmersreviewafrica.com)

⁶⁰ [Biochar Potential in Improving Agricultural Production in East Africa | IntechOpen](#)

⁶¹ [Indien BioChar og BioResources Network \(ibbn.org.in\)](https://ibbn.org.in)