

Biokuls kalkningseffekt	Ansvarlig	nije
	Oprettet	24-05-2024
	Side	1 af 4
Projekt: 104201, Mere biokul til landbrugsjord		

## Biokuls kalkningseffekt

### 1. Introduktion

Biokul, produceret ved pyrolyse af biomasse, har potentiale til at fungere som kalkningsmiddel i landbrugsjord grundet dets høje pH-værdi. Kalkning af landbrugsjord er vigtig for at opretholde en optimal pH-værdi i jorden, som fremmer næringsstoffernes tilgængelighed. Dette notat undersøger biokuls egenskaber og effektivitet som alternativ eller supplement til almindelige kalkningsmidler med fokus på danske landbrugsforhold.

### 2. Hvorfor kalker man landbrugsjord?

Under danske forhold fører overskydende nedbør og tilførsel af gødning til en kontinuerlig sænkning af jordens pH-værdi, eller jordens reaktionstal. Et lavt reaktionstal har en lang række negative konsekvenser på jordens dyrkningsegenskaber, herunder forringet plantetilgængelighed af en lang række næringsstoffer samt nedsat mineraliseringshastighed for organisk materiale. Desuden vil lave reaktionstal forskyde opløseligheden af mineraler i jorden og f.eks. fremskynde udvaskning af mineraler som magnesium og calcium, ligesom frigivelsen af aluminium ved meget lave reaktionstal (typisk under 5 på mineraljord) kan give symptomer på aluminiumsforgiftning i afgrøderne. Derfor korrigeres landbrugsjordens reaktionstal løbende op ved kalkning. Der findes forskellige typer kalk til jordbrugsformål, som indeholder mineraler som calcit (Calciumcarbonat,  $\text{CaCO}_3$ ), dolomit (Calcium-Magnesium-Carbonat,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), læsket kalk (Calciumhydroxid,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), og brændt kalk (Calciumoxid,  $\text{CaO}$ ). Jordbrugskalks effekter i marken kan beskrives via parametre som neutraliseringsværdien - også kaldet neutraliserende evne - der angiver kalkens evne til at neutralisere syre i jorden, udtrykt som procent af rent calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Dette parameter påvirkes af indholdet og sammensætningen af ovennævnte mineraler i produktet. Desuden kan jordbrugskalk deklareres på reaktiveret, som angiver hvor hurtigt kalken vil påvirke jordens pH-værdi efter udbringning. Det afhænger af hvor hurtigt produktet kan opløses i jorden, og er bestemt af kalkens hårdhed og af hvor finstruktureret produktet er.

### 3. Biokuls egenskaber som kalkningsmiddel

Udbringning af biokul kan potentielt have en kalkningseffekt, da biokul typisk har en pH-værdi i den basiske ende af skalaen. Biokuls basiske egenskaber skyldes hovedsageligt opløsningen af carbonater (eks.  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ), oxider (eks.  $\text{MgO}$ ) og hydrooxider (eks.  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) fra biokullets askefraktion, mens overfladiske funktionelle grupper i biokullets aromatiske kulstofstruktur med syre-baseegenskaber også har en mindre betydning. Den basiske askefraktion i biokul er afhængig af både inputmaterialet og pyrolyseprocessen. Generelt gælder det, at askefraktionen stiger med højere pyrolysetemperatur og/eller pyrolysens varighed. Med en større askefraktion følger en højere andel af opløselige basiske mineraler, og derfor vil man i praksis se, at en højere pyrolysetemperatur medfører en højere pH-værdi på det producerede biokul. I selve pyrolyseprocessen dannes carbonater i tilstedeværelsen af ioner fra alkali- og jordalkalimetaller (K, Na, Ca, Mg). Der er en teori om, at især kaliumoxid og -hydroxid dannes under pyrolyse og reagerer med  $\text{CO}_2$  for at danne carbonat, hvorfor biomasser, der er rige på kalium vil producere mere carbonat under pyrolyse. Således vil biokul baseret på afgrøderester have en tendens til at indeholde mere carbonat end biokul baseret på træbiomasse, da indholdet af kalium i afgrøderester ofte er højere. For de halm- eller biogasrestfiberbaserede biokul, som er relevante i en dansk sammenhæng, ligger pH-værdien på omkring 10.

Ligesom for almindelig jordbrugskalk, er det interessant at have parametre, der fortæller noget om biokullets evne til at hæve pH i marken, samt hvor hurtigt det virker. Oftest kendes biokullets pH-værdi, da en analyse for biokullets pH ved en 1:5 opslæmning i 0.01 M  $\text{CaCl}_2$  er en del af standardanalyserne i

European Biochar Certificate (EBC), som er en frivillig standard, biokul-producenterne kan tilslutte sig. Dog siger pH-værdien af biokullet i sig selv ikke noget om biokullets bufferkapacitet og dermed dets kalkningseffekt, når det er udbragt i jord. Dertil kan biokullets indhold af aske, som ligeledes er en standard-analyse i EBC, give en indikation af biokullets kalkningsevne, da askefraktionen, som nævnt ovenfor, rummer biokullets basiske mineraler. Der kan dog være forhold, som modvirker korrelationen mellem askeindhold og kalkningsevne, afhængig af inputmaterialet for produktionen af biokul. I tilfælde hvor inputmaterialet har indeholdt meget jord, vil askefraktionen f.eks. rumme en del silikater, som ikke har nogen syre-base-egenskaber.

En mere robust mål for biokuls kalkningseffekt kan fås ved anvendelsen af titrimetriske metoder. I Singh et al. (2017) er der beskrevet en titrimetrisk metode til bestemmelse af biokuls kalkningseffekt, som bygger på en analyse for carbonatindholdet i jord. Metoden består i, at biokul formales og inkuberes med 1,0 M saltsyre natten over, hvorefter opløsningen tilbagesitreres med 0,5 M natriumhydroxid til pH = 7. Ved samtidig tilbagesitrering af en blank prøve (uden biokul) og en referenceprøve af ren CaCO<sub>3</sub>, kan biokullets kalkningspotentiale udtrykkes som CaCO<sub>3</sub>-ækvivalenter i procent af rent CaCO<sub>3</sub>, sammenligneligt med måden som almindelig jordbrugskalk deklarerer på ift. neutraliseringsværdi. Tabellen nedenfor viser en oversigt over kalkningspotentialet for en række forskellige biokul, bestemt ved denne metode. Som det ses, varierer kalkningseffekten fra ca. 2-10% CaCO<sub>3</sub>-ækv. med en tendens til at træbaserede biokul ligger i den lave ende, mens biokul baseret på afgrøderester og husdyrgødning ligger i den høje ende. Endvidere ses et generelt mønster af, at kalkningseffekten stiger med en højere pyrolysetemperatur. Til sammenligning ligger neutraliserende evne for de almindelige mineralske produkter af jordbrugskalk, der markedsføres i Danmark, på 75-90 % CaCO<sub>3</sub>. Afhængig af biokul-typen skal der således bruges ca. 8-50 gange mængden af almindelig jordbrugskalk for at opnå samme kalkningseffekt. Dertil kommer, at biokullet kan have en begrænset reaktiveret i jorden. Analysen af kalkningspotentiale tager udgangspunkt i formalet biokul, men hvis selve biokulproduktet er pelleteret, eller hvis biokullets basiske mineraler er bundet i tungtopløselige agglomerater med andre mineraler, kan der være en betydelig forsinkelse af effekten på jordens reaktionstal efter udbringning.

**Tabel 1:** Kalkningseffekten for forskellige biokul. Tabellen er modificeret fra Singh et al. (2017)

<b>Biokul (inputmateriale, pyrolysetemperatur)</b>	<b>Kalkækvivalens (% CaCO<sub>3</sub>-ækvivalent)</b>
Hvedehalm, 550°C	5,7
Hvedehalm, 700°C	6,5
Præriehirse, 400°C	1,9
Præriehirse, 550°C	3,0
Fyrretræsflis, 400°C	3,9
Fyrretræsflis, 550°C	5,0
Fjerkrægødning, 550°C	11,8
Dybstrøelse (fjerkræ), 700°C	10,8
Have-parkaffald, 550°C	1,8
Elefantgræs, 550°C	3,8
Elefantgræs, 700°C	5,6
Blandet nåletræ, 550°C	1,5
Blandet nåletræ, 700°C	2,3

#### 4. Praktiske perspektiver på anvendelse af biokul som kalkningserstatning

I Danmark er der er fokus på biokul produceret fra landbrugets biomasser som biogasrestfiber, halm, møg og græs, mens biomasse fra træ ikke forventes at komme til at spille en rolle i den danske sektor. Med

udgangspunkt i tabel 1 ovenfor, kan man måske forvente en kalkningseffekt i på ca. 6-10% CaCO<sub>3</sub>-ækv. for dansk biokul, hvilket vi siger, at der skal ca. 7-15 gange mængden af biokul til for at erstatte almindelige produkter af jordbrugskalk med en neutraliserende evne i spændet fra 70-90%. Biokul kan i praksis udbringes i marken med en kalkspreader på samme måde som man udbringer almindeligt kalk. Det skal hertil bemærkes, at biokuls kalkækvivalens er opgjort med basis i vægtenheder. Vægtfylden af biokul er 25-50% af vægtfylden for almindelige kalkningsprodukter. I praksis skal der altså køres en volumen af biokul i marken, der er ca. 15-60 gange højere end det for almindelig jordbrugskalk for at opnå samme kalkningseffekt, hvilket i praksis medfører en del kørsler i marken ved tildeling.

Normalt kalkes hvert 3-6. år med 2-4 ton jordbrugskalk pr. ha. Hvis vi skal erstatte almindelig jordbrugskalk fuldstændig med biokul, skal det altså tildeles i mængder af 14-60 tons pr. ha., afhængig af kalkækvivalens, hvis det tildeles i samme kalkningsinterval. Hvis det i stedet udbringes ved årlige tildelinger, er mængden 2,5-20 tons pr. ha., afhængig af biokullets kalkningseffekt og kalkningsbehovet. Mens 2,5 tons pr. ha. er en realistisk udbringningsmængde, kan den øvre del af spændet i praksis komme i karambolage med fosforloftet. Til sammenligning er biokul fra halm udbragt i mængder svarende til 2,5, 5, 10 og 20 tons pr. ha. i forbindelse med landsforsøgene, mens biokul fra biogasrestfibre har været udbragt i en mængde på 2,5-7,5 tons pr. ha. og biokul fra slam har været udbragt i mængder af 0,5 tons pr. ha. For alle tildelinger gælder det, at de er tilført i et enkelt år, hvorefter der er målt eftervirkning i de følgende år for de fleste af forsøgene. SEGES Innovation aktuelle anbefaling er at tilføje biokul i mindre mængder ud fra et forsigtighedsprincip. Som tommelfingerregel anbefales en tildelingsmængde per hektar svarende til den mængde biokul, der kan produceres af halmen fra én hektar.

Som nævnt i foregående afsnit kan biokuls reaktivitet i jorden være væsentlig forskellig fra den for almindelig jordbrugskalk. Der er derfor behov for undersøgelser, der kan dokumentere de tidsmæssige aspekter af virkning og varigheden af biokuls kalkningseffekt. Der er indtil videre udført meget få forsøg, der undersøger kalkningseffekten af biokul i et praksisnært perspektiv, der er relevant for danske jorde. Tabel 2 herunder oplister en række forsøg udført med udgangspunkt i danske jorde, som har rapporteret kalkningsvirkningen af tilført biokul. Som det kan ses, er der fundet kalkningseffekter af biokul, dog indtil videre kun i potte- og inkubationsforsøg med meget høje tildelingsrater, mens forsøget på markjord ikke har vist effekter.

**Tabel 2.** Opsummering af videnskabelige resultater med udgangspunkt i dansk jord.

Type af eksperiment	Biokul (inputmateriale, pyrolysetemperatur)	Dosis	Resultater	Kilde
Markforsøg ved Askov forsøgsstation, én sæson med vinter-raps.	halm eller biogasrest-fiber, 750 °C	1,5 eller 15 tons pr. ha. til-delt i 2015 eller 2017	jordens reaktionstal målt i 2018. In-gen effekt af hverken tidligere eller nytilført biokul sammenlignet med kontrolbehandlingen uden.	Thers et al., 2020
Potteforsøg med jord fra Foulum, 101 dages varig-hed, dyrkning af kartoffel	Halm eller elefant-græs, 550 °C og 700 °C	1,5% og 2,5%	Tilførsel af biokul hævede pH i jor-den. Biokul fra halm havde større effekt end biokul fra elefantgræs. Højere pyrolysetemperatur gav større effekt. Højere tildelings-mængder gav større effekt.	Yang et al., 2020
Inkubationsfor-søg med jord fra Bregentved	Halm, ~700 °C; træ, ~1100 °C	5%	Jordens pH blev målt efter 1, 388 og 645 dage. Begge typer biokul hævede pH. Tendens til stærkere langtidsvirkning for den	Hansen et al., 2016

---

Gods, 22°C i  
645 dage

halmbaserede biokul sammenlignet  
med den træbaserede.

---

## 5. Sammenfatning

Notatets hovedpointer angående biokul som kalkningsmiddel kan sammenfattes ved

- **Biokulls kalkningsegenskaber:** Biokul har en basisk pH på grund af tilstedeværelsen af carbonater, oxider og hydrooxider, hvis koncentrationer afhænger af inputmateriale og pyrolyseprocessen.
- **Biokuls kalkækvivalens:** Biokul har lavere kalkækvivalens (2-10% CaCO<sub>3</sub>-ækv.) sammenlignet med almindelig jordbrugskalk (75-90% CaCO<sub>3</sub>), hvilket kræver større mængder for samme kalkningseffekt. For at opnå tilsvarende kalkningseffekt som almindelig kalk, skal biokul udbringes i væsentligt højere mængder, hvilket kan være logistisk udfordrende og begrænset af fosforloftet.
- **Praktiske perspektiver:** Biokul kommer næppe til at erstatte almindelig jordbrugskalk fuldstændigt. Men biokul udbragt på landbrugsjord, for f.eks. klimaeffekten heraf, kan have en betragtelig supplerende kalkningsværdi. Der kræves dog yderligere undersøgelser at dokumentere effektivitet og reaktivitet under danske forhold.

## 6. Referencer:

- Bolan, N., Sarmah, A. K., Bordoloi, S., Bolan, S., Padhye, L. P., Van Zwieten, L., Sooriyakumar, P., Khan, B. A., Ahmad, M., Solaiman, Z. M., Rinklebe, J., Wang, H., Singh, B. P., & Siddique, K. H. M. (2023). Soil acidification and the liming potential of biochar. *Environmental Pollution*, 317. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120632>
- EBC- European Biochar Certification. (n.d.). *Biochar Guidelines, Analytical methods*. Retrieved May 24, 2024, from <https://www.european-biochar.org/en/ct/8-Analytical-Methods>
- Elsgaard, L., Adamsen, A. P. S., Møller, H. B., Winding, A., Jørgensen, U., Mortensen, E. Ø., Arthur, E., Abalos, D., Andersen, M. N., Thers, H., & Sørensen, P. (2021). *Knowledge synthesis on biochar in Danish agriculture - DCA advisory report No. 208*.
- Hansen, V., Müller-Stöver, D., Munkholm, L. J., Peltre, C., Hauggaard-Nielsen, H., & Jensen, L. S. (2016). The effect of straw and wood gasification biochar on carbon sequestration, selected soil fertility indicators and functional groups in soil: An incubation study. *Geoderma*, 269, 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.033>
- Knudsen, L. (2004). *Baggrund for kalkningsvejledning*.
- Seges Innovation. (2023). *LANDSFORSØGENE 2023*.
- Singh, B., Shen, Q., Arbestain, M. C., Dolk, M. M., & Camps-Arbestain, M. (2017). Chapter 3. Biochar pH, electrical conductivity and liming potential. In *Biochar: A Guide to Analytical Methods*. <https://www.researchgate.net/publication/319206365>
- Thers, H., Abalos, D., Dörsch, P., & Elsgaard, L. (2020). Nitrous oxide emissions from oilseed rape cultivation were unaffected by flash pyrolysis biochar of different type, rate and field ageing. *Science of the Total Environment*, 724. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138140>
- Tomczyk, A., Sokołowska, Z., & Boguta, P. (2020). Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. In *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* (Vol. 19, Issue 1, pp. 191–215). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09523-3>
- Yang, Q., Ravnkov, S., & Neumann Andersen, M. (2020). Nutrient uptake and growth of potato: Arbuscular mycorrhiza symbiosis interacts with quality and quantity of amended biochars. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 183(2), 220–232. <https://doi.org/10.1002/jpln.201900205>