

# Bioforsk Rapport

Vol. 7 No. 20, 2012

---

## Biokull til jordforbedring og karbonlagring

Vurdering og formidling av resultater fra felt- og labforsøk i Norge i 2011

Forfattere: Adam O'Toole, Karolin Spindler

Prosjektleder: Daniel P. Rasse

Bioforsk Jord og Miljø  
[www.bioforsk.no/biokull](http://www.bioforsk.no/biokull)

[www.bioforsk.no](http://www.bioforsk.no)





*Tittel/Title:*

Biokull: vurdering og formidling av flere feltforsøk i Norge for å optimalisere biokull som jordforbedringsmiddel og karbonlagringstiltak

*Forfatter(e)/Author(s):*

Adam O'Toole, Karolin Spindler

<i>Dato/Date:</i> 01.02.2012	<i>Tilgjengelighet/Availability:</i> Åpen	<i>Prosjekt nr./Project No.:</i> 2110814	<i>Saksnr./Archive No.:</i>
<i>Rapport nr./Report No.:</i> 7(20) 2012	<i>ISBN-nr./ISBN-no:</i> 978-82-17-00891-0	<i>Antall sider/Number of pages:</i> 33	<i>Antall vedlegg/Number of appendices:</i> 0

<i>Oppdragsgiver/Employer:</i> Statens landbruksforvaltning	<i>Kontaktperson/Contact person:</i> Daniel Rasse and Adam O'Toole
--	---

<i>Stikkord/Keywords:</i> Biokull, klimattiltak, karbonlagring Biokull, carbon sequestration	<i>Fagområde/Field of work:</i> Jordfag Soil carbon research
--	--

*Sammendrag:*

Biokull er ett av klimattiltakene med høyest potensiale for å kunne forbedre karbonregnskapet til den norske landbrukssektoren (Klif, 2010). Det er for tiden stor interesse for biokull i Norge innenfor privat sektor, frivillige organisasjoner, universiteter og forskningsinstitutter. Adopsjon av biokull som et karbonlagringstiltak er delvis avhengig av dets agronomiske egenskaper og den totale sikkerheten biokull utgjør for miljøet. I 2011, startet det 3 biokull forsøk i Ås, Sel, og Notodden for å undersøke effekten av biokull på feltet under norske forhold. Første års resultater fra 3 felt viste ingen signifikant effekt av biokull på plantevekst og jordkjemiske forhold. Økotoksikologiske lab-studier visste ingen negative effekter av biokull på meitemark, som var brukt som en indikator for jordhelse. Biokull ført til høyere vannlagringskapasitet i siltig sandjord, men ikke på lettleire. Isotopiske studier fant mindre enn 3 % nedbrytning av biokull-C i feltet i det første året, som representerer minst 20 ganger saktere nedbrytning av C enn upyrolysert halm. Konklusjon fra første året var at biokull kan brukes som et tiltak for å øke karbon i jordsmonnet uten at det går utover matproduksjon.

Prosjektleder / Project leader

  
 Navn/name 06/02/2012



# Forord

---

Denne rapporten er finansiert av Nasjonalt utviklingsprogram for klimatiltak i jordbruket, og er en videreføring av prosjektet med tittel «*Biokull: vurdering og formidling av flere feltforsøk i Norge for å optimalisere biokull som jordforbedringsmiddel og karbonlagringstiltak*».

Prosjektet er gjennomført av Bioforsk med Daniel Rasse som prosjektleder. To feltforsøk var gjort av Adam O'Toole fra Bioforsk, med praktisk hjelp fra Svend Pung og Toril Trædal fra Universitet for Miljø og Biovitenskap, og rådgiver Bjørn Lilleng og Stein Kise ved Norsk Landbruksrådgivning i Gudbrandsdalen og Østafjells. Ett feltforsøk var utført av Norges Vel og Norsk landbruksrådgivning østafjells og var inkludert i biokull vurderingen. Arne Grønlund fra Bioforsk har vært behjelpelig i redigering av rapporten.

## Innhold

Bioforsk Rapport Bioforsk Report Vol. 7 No. 20, 2012.....	1
Forord.....	1
1. Sammendrag .....	3
2. Summary .....	4
3. Innledning .....	5
3.1 Hva er biokull? .....	5
3.2 Har vi nok biomasse til at det utgjør en forskjell? .....	6
3.3 Prosjekt beskrivelse og mål .....	6
4. Feltforsøk 1: Ås, 2010 - 2012.....	7
4.1 Metoder .....	8
4.2 Resultater: Ås, 2011 .....	10
5. Feltforsøk 2: Sel, Gudbrandsdalen 2011-2012 .....	14
5.1 Materiale og metode .....	14
5.2 Resultater: Sel, 2011 .....	15
5.2.1 Avling .....	15
5.2.2 Jordfuktighet.....	17
5.3 Jordkjemiske forhold: Sel-felt .....	19
6. Feltforsøk 3: Notodden 2011 .....	20
6.1 Metoder .....	20
6.2 Resultater: Notodden, 2011 .....	20
7. Økotoksikologiske undersøkelser .....	22
7.1 Effekt av biokull på meitemark .....	22
7.2 Materiale og metoder .....	22
7.3 Resultater .....	24
7.3.1 Reproduksjonstest med Eisenia foetida .....	24
7.3.2 Meitemark vekttap .....	24
7.3.3 Meitemark reproduksjonstest .....	24
7.4 Vurdering av meitemark studiene .....	25
8. Vurdering av samlet resultater .....	27
9. Kunnskapsformidling.....	28
9.1 Første Nordisk Biokull seminar .....	28
9.2 Media oppslag .....	29
9.3 Nasjonale biokullforum og nettverk.....	30
9.4 Internasjonal samarbeid med biokull forskning .....	30
10. Konklusjon og FoU behov .....	31
11. Referanser .....	32

# 1. Sammendrag

---

Biokull er ett av klimatiltakene med høyest potensiale for å kunne forbedre karbonregnskapet til den norske landbrukssektoren (Klif, 2010). Det er for tiden stor interesse for biokull i Norge innenfor privat sektor, frivillige organisasjoner, universiteter og forskningsinstitutter. Adopsjon av biokull som et karbonlagringstiltak er delvis avhengig av dets agronomiske egenskaper og den totale sikkerheten biokull utgjør for miljøet. I 2011, startet det 3 biokull forsøk for å undersøke effekten av biokull på feltet under norske forhold. Første års resultater fra 3 felt viste ingen signifikant effekt av biokull på havre- og byggavling eller jordkjemiske forhold. Økotoksikologiske lab-studier visste ingen negative effekter av biokull på meitemark, som var brukt som en indikator for jordhelse. Biokull ført til høyere vannlagringskapasitet i siltig sandjord, men ikke på lettleire. Isotopiske studier fant mindre enn 3 % nedbrytning av biokull-C i feltet i det første året, som representerer minst 20 ganger saktere nedbrytning av C enn upyrolysert halm. Basert på 1-års resultater fra de kombinerte studiene vi derfor konkluderer at betydelige mengder karbon kan lagres i norsk jord uten det redusere matproduksjonen.

## 2. Summary

---

Carbon sequestration with biochar has been identified as one of the most promising climate mitigation strategies for the Norwegian agricultural sector (Klif, 2010). There is currently great interest in biochar in Norway in the private sector, NGOs, universities and research institutes. Adoption of biochar as a carbon sequestration measure is partly dependent on its agronomic characteristics and the overall risk/benefit biochar poses to the environment. In 2011 3 field trials were started in Norway to test biochar in cropping systems. In the first year of results from 3 field trials and 1 lab trial we found no significant effects of biochar at amounts of 10-30 t ha<sup>-1</sup> on oat or barley growth, nor was it detrimental to soil health (measured in terms of effects on worms and heavy metal limits). Isotopic studies found less than 3% degradation of biochar-C in the field in the first year, representing at least 20 times slower degradation of C than unpyrolyzed straw. After 1 year we conclude from the combined studies that significant amounts of carbon can be stored in Norwegian soils without it negatively effecting food production.



## 3. Innledning

---

Norge har satt seg et ambisiøst mål om å være klimanøytralt innen 2030 (MVD, 2011). Landbruks- og matdepartementet har gitt ut en stortingsmelding hvor det presiseres at landbrukssektoren skal være en del av løsningen (LMD, 2009). Muligheter for utslippskutt i landbrukssektoren ble presentert i rapporten fra prosjektet Klimakur 2020 utgitt av Klima- og forurensningsdirektoratet i 2010. I rapporten, står biokull øverst på listen av tiltak som har potensial til å kutte mest CO<sub>2</sub>- utslipp fra landbrukssektoren.

### 3.1 Hva er biokull?

Biokull er forkullede planterester av f. eks. halm og tre, produsert ved høy temperatur og liten oksygentilgang. I klimasammenheng har biokull en unik fordel i forhold til vanlig biomasse ved at det brytes sakte ned. Under naturlige forhold brytes karbonet i biomasse ned i jord og returneres til atmosfæren som CO<sub>2</sub> eller CH<sub>4</sub> i løpet av noen få år. Når biomasse blir pyrolysert<sup>1</sup> til biokull, kan det ligge stabilt i hundrevis eller tusenvis av år. Bevis for dette ligger blant annet i arkeologiske funn fra norske skoger, hvor oppgravd trekull har blitt <sup>14</sup>C datert til 600-1500 e.Kr. (Tveiten og Simpson, 2008).

Biokull gir mennesker muligheten til å arbeide i samspill med naturen for å fjerne overflødige mengder av CO<sub>2</sub> i atmosfæren: Gjennom fotosyntesen binder plantene CO<sub>2</sub> til C i biomasse og mennesker kan deretter stabilisere plantekarbonet som biokull og lagre det i jord. Nyere forskning har også vist biokull har potensial til å redusere utslipp av N<sub>2</sub>O fra jordbruksareal (Taghizadeh-Toosi et al., 2011; Zhang et al., 2012).

Kombinert med bærekraftig skog forvaltning, kan biokull bidra til å redusere økning i nivået av atmosfærisk CO<sub>2</sub> og dermed bremse forventede temperaturøkninger som er knyttet til drivhuseffekten, hvis biokull implementeres globalt. Dersom biokull skal kunne godkjennes som klimatiltak, må det brukes på en slik måte at man kan påvise at karbonsparing er oppnådd.

Biokull som klimatiltak er i større sammenhenger relativt lite testet og det er derfor behov for mer forskning omkring temaet. Potensialet biokull kan ha som klimatiltak avhenger av blant annet tre faktorer:

---

<sup>1</sup> Pyrolyse er en prosess hvor man varme opp biomasse under O<sub>2</sub>-begrenset forhold, og hvor gass, biolje og biokull blir utbyttet fra prosessen

1. Tilgjengelighet av biomasse som er produsert på en bærekraftig måte og som har lav alternativ verdi
2. Bekreftelse fra livssyklusanalyse (LCA) at man faktisk oppnår en karbongevinst ved bruk av biokull når hele prosesskjeden er tatt med i betraktning
3. At tilførsel av biokull til landbruksjord gir bønder en høyere avkastning på sikt enn kostnaden de får for å spre det ut. Avkastning vil være i form av bedre jordkvalitet som fører til økt avling.

Både klimaendringer og matproduksjon er viktige utfordringer. Biokull kan lagres i jord, under forutsetning av at det ikke forårsaker uheldige konsekvenser for matproduksjonen.

### **3.2 Har vi nok biomasse til at det utgjør en forskjell?**

Potensialet til biokull som klimatiltak er avhengig av at tilgjengelig biomasse ikke brukes til andre formål. Man bør analysere ressurstilstanden i hvert økosystem før man setter i gang en storskala produksjon av biokull.

I Norge er imidlertid biomasse bredt tilgjengelig. Beregninger viser at Norge kan øke sitt forbruk av skogressurser til bioenergiske formål ved 30 TWt eller omtrent 2 millioner tonn uten at det vil ha konsekvenser for det økologiske systemet (Berg et al. 2003)

I motsetning til de fleste land i Europa ligger jordbruksarealene i Norge tett opp til skogsområder, og de fleste gårder har derfor mulighet til å drive med produksjon av både mat og bioenergi. Gjennom Innovasjon Norge har Landbruks- og matdepartementet satt i gang en støtteordning for økt bruk av skogressurser til bioenergi. Dette skaper et mer solid grunnlag for produksjonen av biokull og bioolje i Norge.

### **3.3 Prosjekt beskrivelse og mål**

Prosjektet inneholder en analyse av første års resultater fra tre biokull feltforsøk som startet i 2011 og gir en foreløpig vurdering av potensialet av biokull som et materiale som kan både forbedre jordsmonnet og lagre karbon i jord på langt sikt. Her, vurdere vi eksperimenter underveis for slik å kunne gi anbefalinger til landbruksmyndigheter og Forskningsrådet om hvilke tiltak det er verdt å satse mer tid og finansieringsmidler på. Det overordnede målet med prosjektet er å foreta en helhetlig vurdering av de beste forholdene rundt bruk av biokull, og å formidle disse resultatene gjennom flere kanaler - noe som blir beskrevet videre i rapporten.

## 4. Feltforsøk 1: Ås, 2010 - 2012



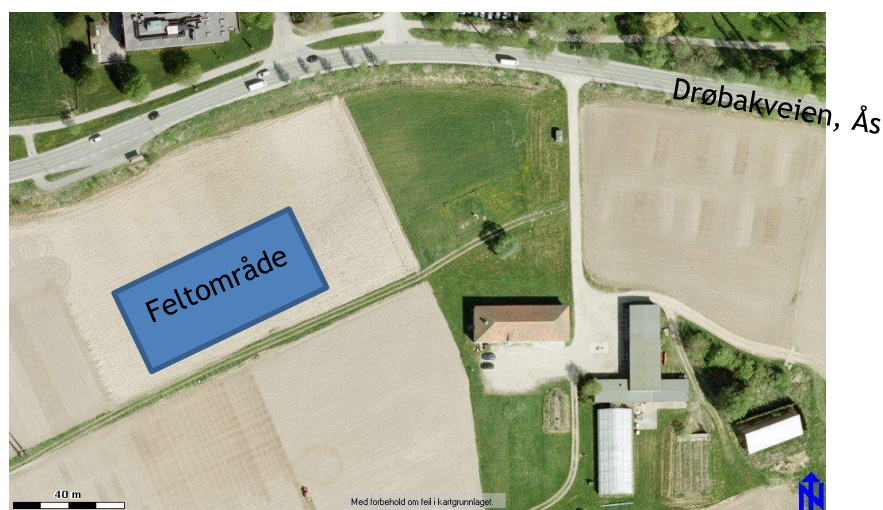
**Bilde:** Først feltforsøk på biokull i Norge. Startet høsten 2010 på Ås.

**Prosjekttittel:** «Biokull til karbonlagring i Norsk landbruksjord. Bruk av stabile isotopiske metoder for å avklare stabiliteten av biokull-C på feltet».

**Prosjektbeskrivelse og mål:** vårt feltforsøk med biokull er finansiert i et større NFR prosjekt ledet av Institutt for plante- og miljøvitenskap (IPM) ved Universitet for Miljø - og Biovitenskap (UMB) om klimagassutslipp fra landbruk.

Målet med vårt eksperiment er å undersøke stabiliteten av Biokull-C i pløyd landbruksjord sammenliknet med ruter der rå halm er blitt tilført i ubehandlet jord

**Felt plassering:** UTM 32 Ø:599211 N:6615315



#### 4.1 Metoder

Forsøket måler jordrespirasjon og delta-<sup>13</sup>C isotopisk signatur fra statiske kamre som er installert i bakken. Tilført biokull er laget av bioenergiveksten *Miscanthus giganteus* (Elefant gress). Denne planten har blitt valgt fordi den tilhører plantegruppen C4. C4-planter stammer fra områder rundt ekvator og har på grunn av høy temperatur utviklet en måte å fotosyntesere karbon hvor minst mulig vann fra blad overflaten går tapt. En C4-plante som *Miscanthus* har en annen delta-<sup>13</sup>C isotopisk signatur enn C3-planter som hvete og havre. I dette studiet bruker man delta-C for å spore C-innholdet i biokullet etter det har blitt tilført til et C3-system i Norge. Med hjelp fra stabile isotoper er det mulig å få informasjon om hvilken C-kilde som er ansvarlig for CO<sub>2</sub>-produksjonen, altså om det skyldes det enten det organiske materialet som er allerede tilstede i jorda eller det tilført biokullet.

Jordrespirasjon ble målt én gang i uken i perioden fra 23. mai til 1. september. Målingen ble utført med infrarød gassanalysator (IRGA) fra PP-systemene. Delta-<sup>13</sup>C-uttak ble utført ved å bruke en pumpe, vakuumboks og gassposer. Se Bilde 1.



Bilde 1. Rammen kammeret plasseres på for å måle CO<sub>2</sub> fra jord (venstre) samt kammer og utstyr for gassuttak (høyre)

#### Forsøk design:

16 ruter (4m x 8m = 32 m<sup>2</sup>)

Fire ledd (x 4 gjentak):

1. Kontroll
2. *Miscanthus* strå 8 t C ha<sup>-1</sup> (MC)
3. Biokull 8 t C ha<sup>-1</sup> (BC8)
4. Biokull 25 t C ha<sup>-1</sup> (BC25)

\*Et tonn ha<sup>-1</sup> tilsvarer 1 kg m<sup>-2</sup> eller 100 kg daa<sup>-1</sup>

Randomisert Block Design

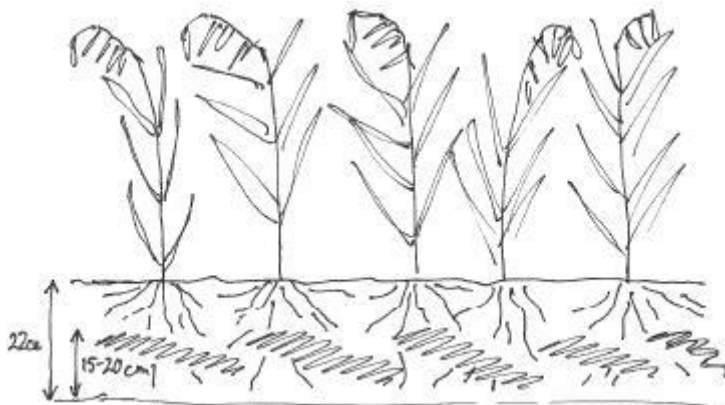
BC8		Kontroll		BC25		MC8
Kontroll		BC8		MC8		BC25
BC25		MC8		Kontroll		BC8
MC8		BC25		BC8		Kontroll



### Spredning:

Biokull ble spredt for hånd på forsøksrutene og deretter nedpløyd til 22 cm. Pløyingen førte til at biokullet ble liggende i en horisontal linje mellom 22 og 15 cm fra overflaten som vist i figur 1.

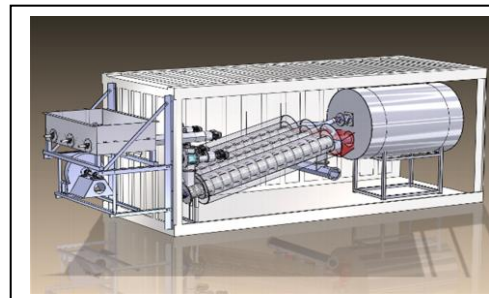
Jordarbeid og feltoppsett ble utført av Svend Pung fra Senter for klimaregulert planteforskning (SKP).



Figur 1. Lokalisering av biokull i jordsjiktet

### Biokull informasjon

- Produsert av Pyreg GmbH (Germany) (Bilde 2)
- Pyrolyse temperatur 650-750 °C
- Fiksert C = 70% VM= 7% Ash= 23%
- Totalt N: 2,5 g kg<sup>-1</sup>
- Laget fra Miscanthus giganteus
- Totalt P: 1,3 g kg<sup>-1</sup>
- Totalt K: 4,8 g kg<sup>-1</sup>
- pH: 10
- Spesifikk overflate/BET: 349 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>



Bilde 2. Pyrolyse anlegg hos Pyreg (DE)

### Jordbeskrivelse

Inceptisol, Lettleire, TOC: 2.5 %, pH: 6-7

### Jord fuktighet - og temperatur og klima

Jordfuktighet og temperaturmålere (TDR)<sup>2</sup> ble installert i alle rutene til en dybde på 5-7 cm. En profilerie med TDRer ble også installert på 5, 10, 15 og 22 cm dyp. Målinger blir tatt daglig gjennom sesongen, og gjennomsnittsfuktighet og -temperatur ble regnet ut for de fire gjentakene i hvert ledd.

<sup>2</sup>Time Domain Reflektometers (TDRs) 10 HS and 5TM modeller fra Decagon Devices

Nedbør og lufttemperatur målinger var tatt fra nærmeste værstasjon som ligger på UMB's campus i Ås.

### Jordprøver

Jordprøver blir tatt på alle rutene før gjødsling og såing i april 2011 og på slutten av sesongen etter tresking i oktober. Ni delprøver blir tatt fra hvert rute å blandet for å lage en aggregert prøve. Prøvene ble sent til "Analytical chemistry and testing services" (ALS) Laboratory group, for elemental analyses.

### Avling

Veksten brukt i 2011 var havre. Tresking av felt var utført av Toril Trædal fra UMB, Øyvind Spornæs fra SKP, og Adam O'Toole fra Bioforsk. Etter tresking blir rå korn og halm veid, og så tørket på 60 grader for å finne fuktighetsgrad og tørrstoff mengde.

## **4.2 Resultater: Ås, 2011**

Korn - og halmavling og innhold av kornprotein viste ingen statistisk signifikant forskjell mellom de 4 leddene (Fig. 2 og 3). BC25 hadde høyest avling (6%) over kontroll og BC hadde lavest avling (5%) under kontroll.

Resultater fra måling av jordrespirasjonen viste ingen signifikant forskjell mellom leddene, men det var en tendens til lavere CO<sub>2</sub>-utslipp i biokull og halm leddene. Isotopanalysen bekreftet at biokull-karboninnholdet var stabilt og bidro lite til produksjon av CO<sub>2</sub> fra jorda. Leddene med biokull (8 og 25 t C ha<sup>-1</sup>) bidro til 1 og 3 % av CO<sub>2</sub> -produksjonen fra jord mens halm bidro med 20 % (Fig. 4).

Kjemisk analyse av jordprøvene visste at det var ingen statistisk signifikant forskjell mellom leddene for P-AL, K-AL, Ca-AL, Mg-AL, Na-AL, N-Kjeldahl, Nitrat-N, og Ammonium-N, pH og ledningsevnen (Tabell 1). Den eneste signifikant forskjell funnet fra jordanalysene skyldtes tap av Nitrat-N og Ammonium-N i alle ledd fra våren til høsten. Det er et forventet resultat fordi N er det næringsstoffet som har mest betydning for plantevekst og er fjernet fra åkeren hver sesong med høsting av korn og halm.

Lab-analysen av biokull viste at tungmetall-innhold et var langt under grenseverdiene for den kvalitetsklasse 0 i forskrift om organiske gjødselvarer (Tabell 2). Det betyr at dette biokullet kan bli brukt på frilandet uten mengdebegrensning så lenge at det ikke påfører negative konsekvenser på plantevekst eller miljø. Slik som kompost, må enhver

produksjons kvantum bli testet individuelt før salg eller spredning, i forhold til Mattilsynets gjødselvereforskrift (FOR 2003-07-04 nr 951).

Tabell 1. Kjemisk analyse av jordprøvene fra Ås-felt for Vår og Høst 2011

N=4	Vår 2011					Høst 2011			
		Ktrl	MC8	BC8	BC25	Ktrl	MC8	BC8	BC25
Leidd									
P-AL	mg/100g	10,6	10,9	11,1	11,3	10,2	10,7	10,4	11,3
	TS								
K-AL	mg/100g	8,6	8,4	8,5	8,9	9,7	9,8	9,1	10,0
	TS								
Ca-AL	mg/100g	205,8	216,5	204	221	210,8	229,3	216,8	210
	TS								
Mg-AL	mg/100g	11,6	11,5	11,5	11,8	11,4	12,0	11,0	11,2
	TS								
Na-AL	mg/100g	2,8	3,0	2,6	2,8	3,125	3,45	3,0	3,05
	TS								
N-Kjeldahl	mg/kg	2168	2043	2048	2118	2090	2205	1818	2263
	TS								
Nitrat-N (NO <sub>3</sub> -N)	mg/kg	12,1	13,45	12,8	12,5	5,9	4	4,1	4
	TS								
Ammonium-N (NH <sub>4</sub> -N)	mg/kg	1,5	1,4	1,5	1,3	1,1	1,1	1,2	1,1
	TS								
pH		6,4	6,3	6,3	6,4	6,5	6,6	6,5	6,6
Ledningsevne (konduktivitet)	mS/m	4,1	4,7	4,3	4,5	4,0	3,7	3,4	3,6
TOC	% TS	2,5	2,5	2,6	2,7	2,8	2,5	2,8	3,0

Tabell 2. Maksimale tillatte grenseverdier for tungmetallinnhold

I jordforbedringsmidler generelt (Mattilsynet, 2003) og aktuelle verdiene for Miscanthus Biokull.

Kvalitetklasse	0	1	2	3	Biokull
<i>mg kg<sup>-1</sup> TS</i>					
Cd	0,4	0,8	2	5	0,0061
Pb	40	60	80	200	<0,31
Hg	0,2	0,6	3	5	<0,01
Ni	20	30	50	80	2,5
Zn	150	400	800	1500	39
Cu	50	150	650	1000	4,6
Cr	50	60	100	150	1,5

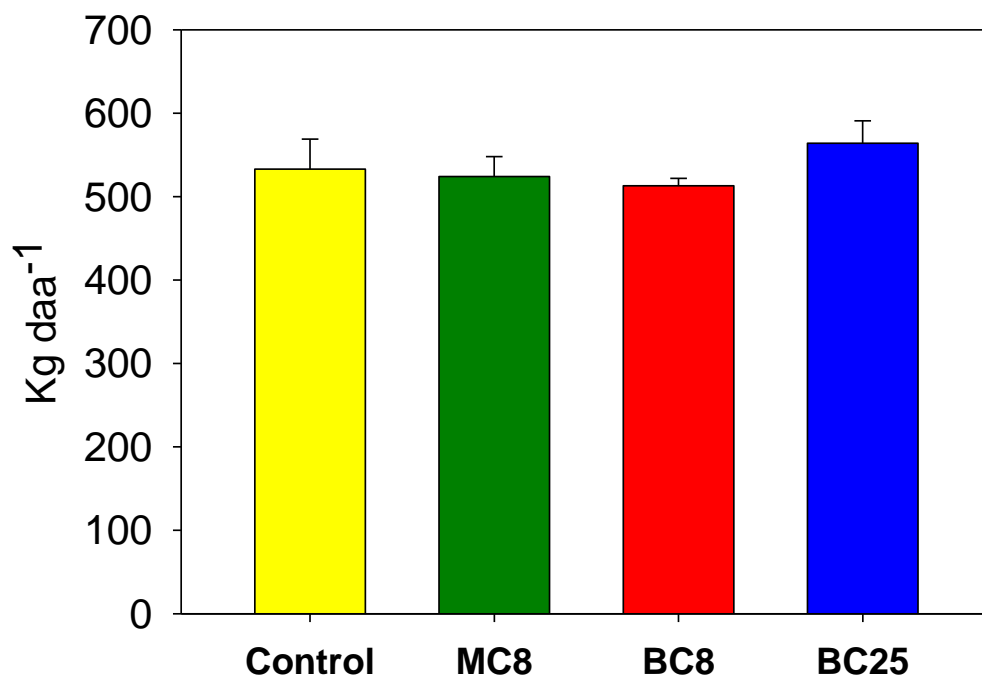


Fig.2. Havre korn avling for biokullfelt i Ås, 2011. Avlingsforskjell er ikke statistisk signifikant.

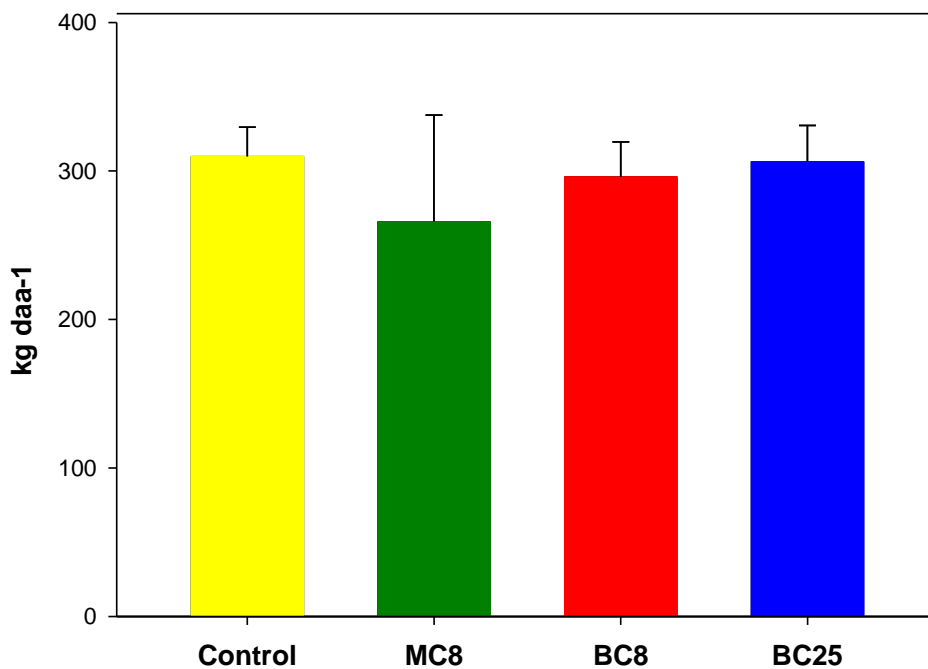
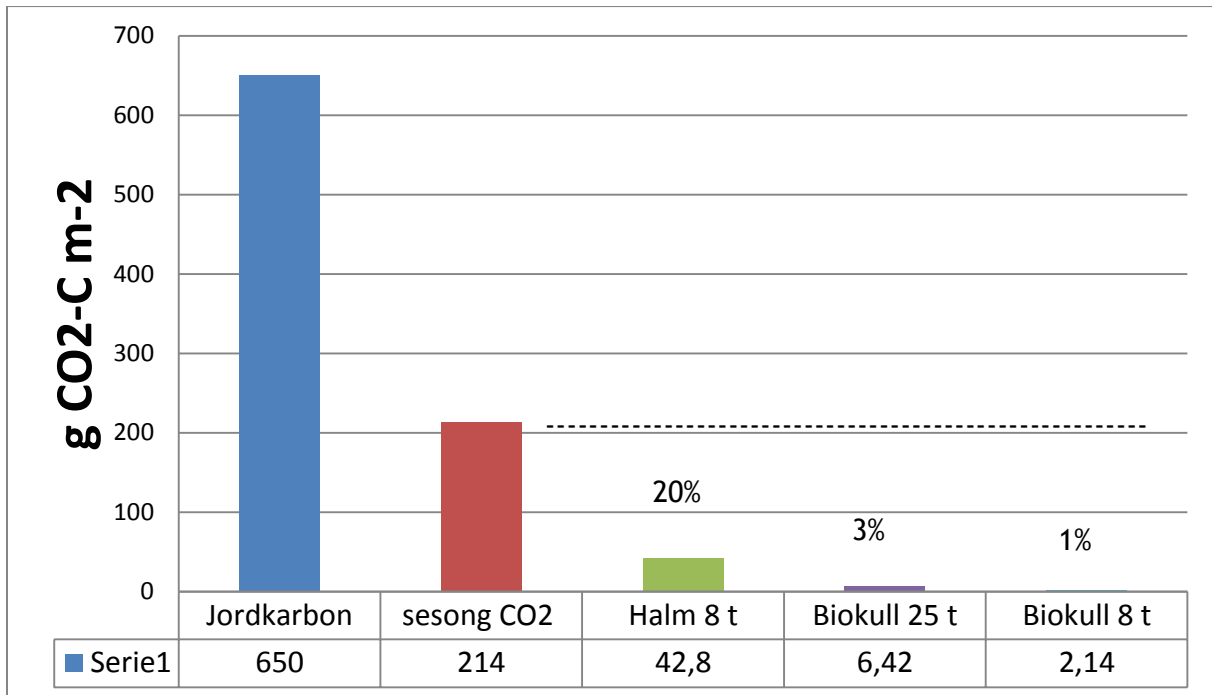


Fig. 3. Halmavling for biokull felt i Ås, 2011. Avlingsforskjell er ikke statistisk signifikant.





Figur 4. Bidrag av CO<sub>2</sub> fra biokull og halm til gjennomsnitt CO<sub>2</sub>-utslipp i vekstsesongen. Jordkarbon (650 g m<sup>2</sup>) er en referanse om hvor mye karbon er til stedet i jorda.

## 5. Feltforsøk 2: Sel, Gudbrandsdalen 2011-2012

---

**Prosjekt tittel:** Interreg Nordsjøprogrammet: «Biokull: Climate Saving Soils», demonstrasjonsfelt.

**Prosjektbeskrivelse og mål:** Forsøket er en del av et større ringforsøk med deltakere fra 7 nord-europeiske land i et EU-INTERREG prosjekt: Biokull: Climate Saving Soils. De 7 forsøkene bruker samme forsøksoppsett og samme type og mengde biokull. Resultatene derfra vil hjelpe til å evaluere nytten av biokull som jordforbedringsmiddel - og klimatiltak i Nord-Europa.



Bilde 3. Felt i Sel kommune (UTM 32 Ø:526760 N:6855217)

### 5.1 Materiale og metode

Våren 2011 startet Bioforsk i samarbeid med Gudbrandsdalen landbruksrådgivning et randomisert feltforsøk i Sel kommune (Bilde 3). Jordart er en humusfattig siltig sand. Jordsmonnet er klassifisert som en fluvisol (FAO, 2006) og er estimert til å være minst 40 meters dyp til grunnfjell. Biokull var laget fra løvtrær for eks. bjørk og osp og var produsert av Skogenskol i Sverige.

Forsøket hadde 4 ledd med 4 gjentak:

Biokull: 2 t daa-1,	+ 11kg N daa-1
Slam: 2 t daa-1,	+ 6 kg N daa-1
Biokull + Slam: 2t + 2t daa-1, og	+ 6 kg N daa-1
kontroll (ingen biokull eller slam)	+ 11 kg N da-1

Slam ble inkludert i forsøket for å sammenligne biokull med et annet jordforbedringsmiddel som er brukt i Norge. Jordfuktighet- og temperatur var målt kontinuerlig ved bruk av TDRs (med mobiltilkobling til Ås). Jordprøver var tatt ut før og etter vekstsesongen. Biokull ble spredt på overflate og skålharvet inn til matjordlaget (Bilde. 4)

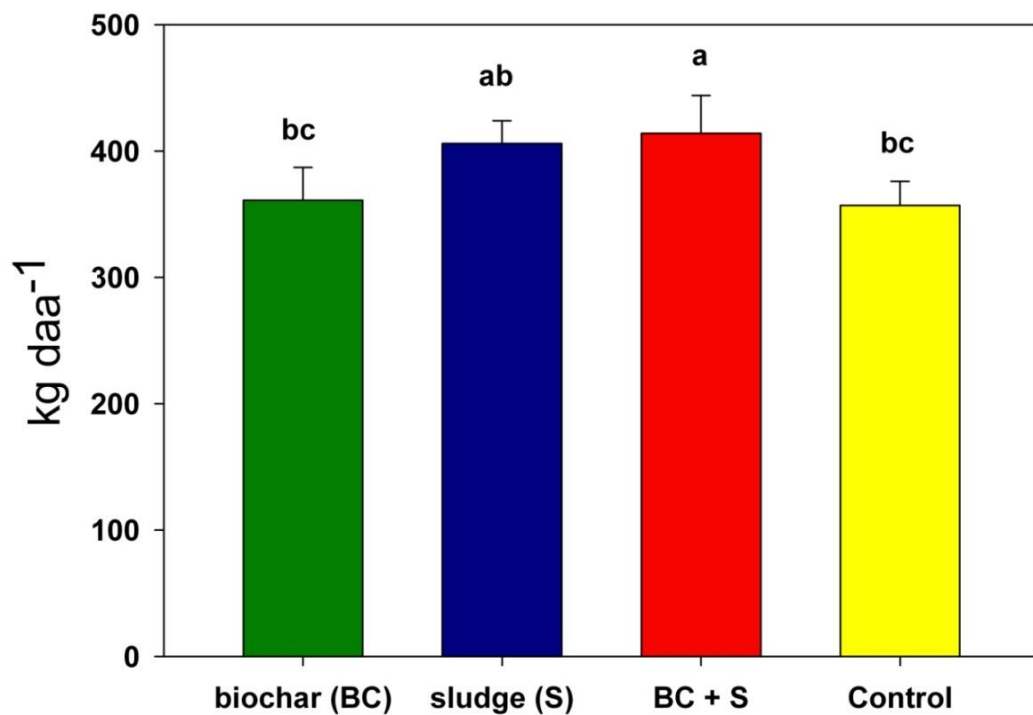


Bilde 4. Håndspredning og skålharving av biokull på Sel-felt. Våren 2011.

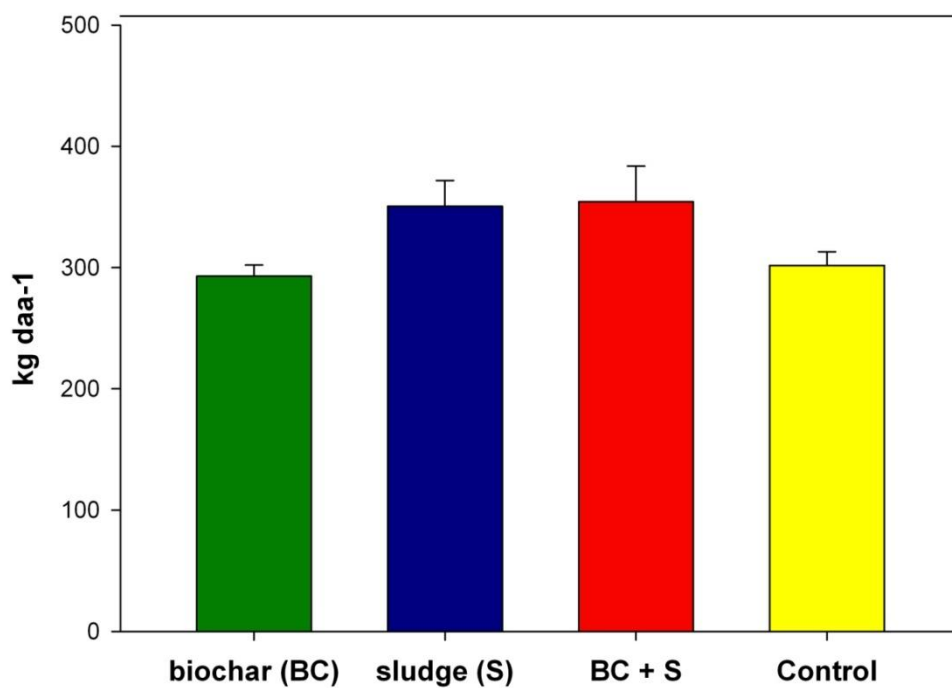
## 5.2 Resultater: Sel, 2011

### 5.2.1 Avling

Biokull + slam i kombinasjon hadde høyest avling som var 16 % mer en kontroll-leddet (Fig. 5). Biokull alene hadde ingen effekt på avling, og slam alene økt avling med 15 % (ikke signifikant). Vi konkludert at leddene med slam hadde større mulighet til å lykkes etter en flomepisode, fordi det hadde tilgang til uløselige/organiske bundet N fra slammet, mens biokull og kontroll-leddene sannsynligvis mistet sine løselige næringsstoffer i flommen. Halmavling for samme feltet viste ingen signifikant forskjell mellom leddene (Fig 6.)



Figur 5. Bygg kornavling fra biokull forsøket i Sel 2011



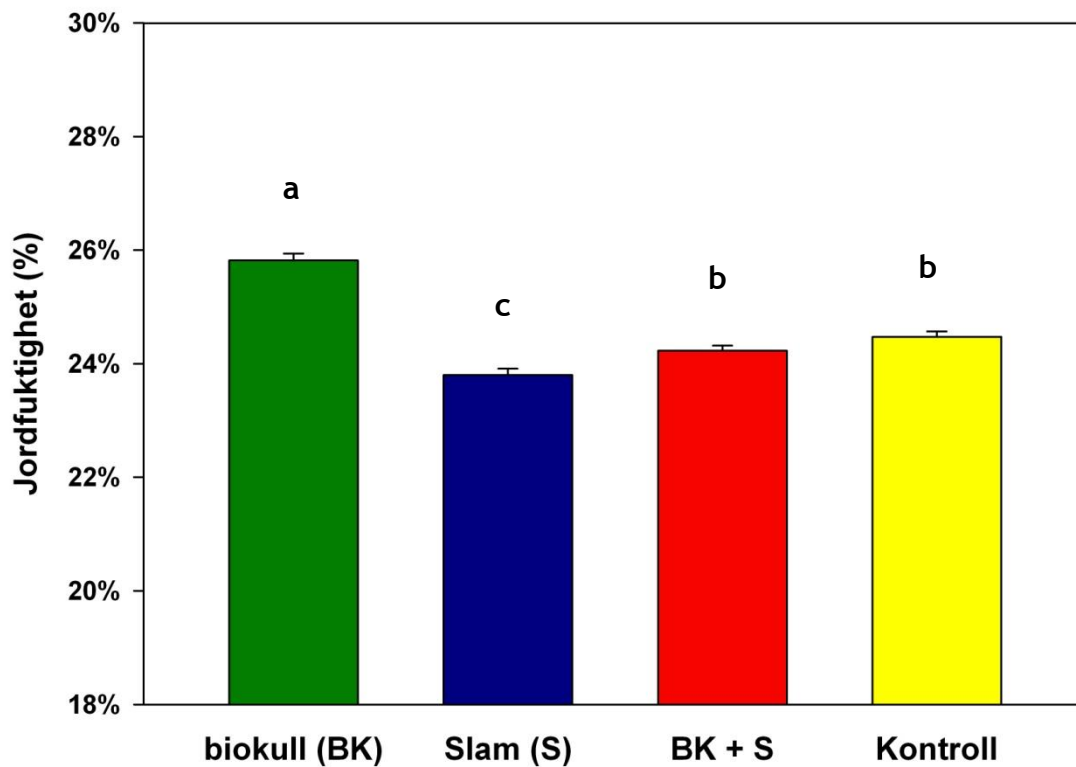
Figur 6. Halmavling fra biokull feltforsøk i Sel, 2011. Det var ingen statistisk signifikant forskjell mellom leddene.

### 5.2.2 Jordfuktighet

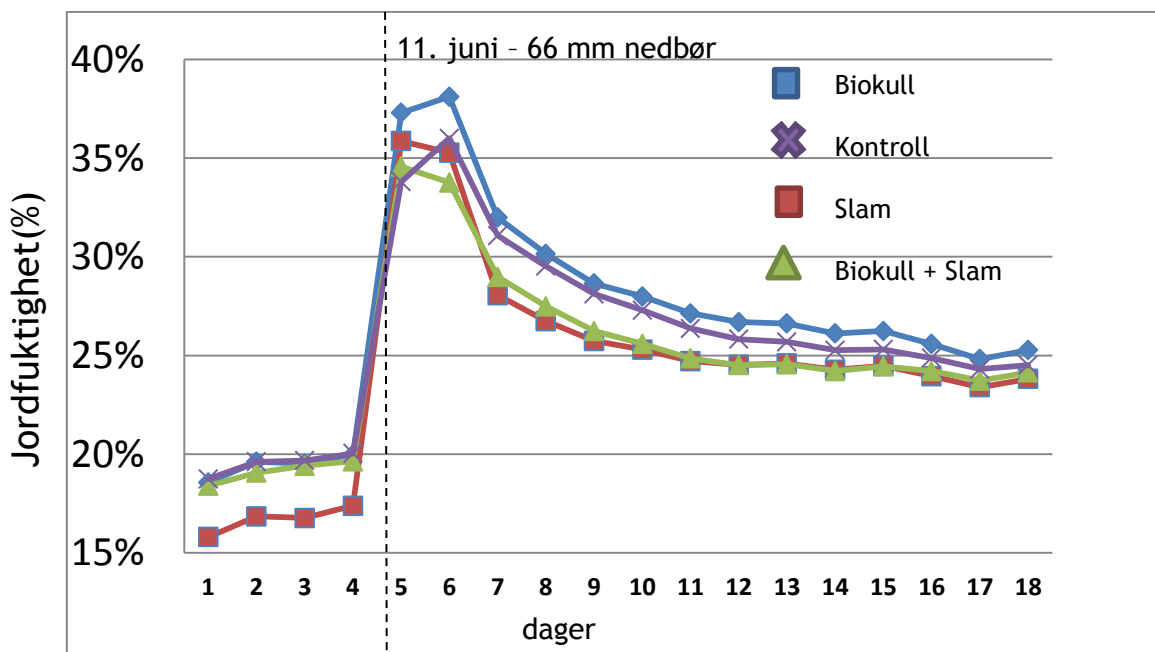
Sel ligger på lesiden av fjellområdet og får derfor som regel mindre nedbør enn gjennomsnitt for Norge. Landskapet i Sel er preget av bratte fjellvegger som rammer inn flate daler som er brukt intensivt til blant annet kornproduksjon. Elven som passerer midt gjennom dalen har bidratt til dannelsen av sedimentene. Her finner man hovedsakelig silt og sandjord. Siltjord har en partikkelstørrelse velegnet til høykapillær vannstrøm og er godt utbredt i Sel. Siltjordene i Sel får vannforsyning gjennom grunnvannet fra den nærliggende elven. I tørre år, når vannivået i elven synker, blir det mindre grunnvannsforsyning og bøndene er nødt til å bruke vanningsanlegg. Vår hypotese var at i et sånt tilfelle kunne tilsetning av biokull til siltig sandjord hjelpe til å øke jordas vannlagringskapasitet, og dermed redusere behov for vanning.

2011 var ikke et optimalt år for å teste hypotesen om at biokull kan øke jordas vannlagringskapasitet. Året ble det våteste målt i Norge side målinger begynte i 1901. Feltet ble oversvømt til ca. 30 cm over bakken i flere dager. Heldigvis overlevde plantene flommet uten stor skade og jordfuktighetsutstyr fungerte uten problem utover vekstsesongen. Den 11. juni fikk feltet 66 mm nedbør på en dag. Deretter gikk vannivået ned ganske raskt.

Biokull-leddet målte høyest jordfuktighet i perioden mai-september 2011 og var ca. 1 % høyere i gjennomsnitt enn kontroll-leddet (Fig. 6). Slammet viste å ha en liten negativ effekt på jordfuktighet sammenlignet med kontroll-leddet. En mulig årsak til dette er at slammet hadde grov treflis i seg, som kunne ha forstyrret den kapillære vannstrømmen i jorda. Det vises i figur 7 hvor man kan se at slam/ biokull- og slamleddet droppet mest og raskest etter at flomvannet hadde trakk seg.



Figur 6. Jordfuktighet - Gjennomsnitt for mai-september 2011. Ulike bokstav over søylene indiker statistisk signifikante forskjell.



Figur 7. Jordfuktighet nivå før og etter flom.

### 5.3 Jordkjemiske forhold: Sel-felt

Tabell 3. Kjemisk analyse av jordprøvene for Sel-felt for 2011 sesong.

n=4	Ledd	Vår -2011				Høst -2011			
		Ktrl	Slam	Biokull	B+S	Ktrl	Slam	Biokull	B+S
P-AL	mg/100g TS	24,2	32,4	24,3	24,8	22,6	24,1	22,9	21,0
K-AL	mg/100g TS	27,0	33,9	28,0	27,8	18,8	19,6	21,6	19,1
Ca-AL	mg/100g TS	89,9	84,9	92,5	97,8	79,8	83,3	81,1	84,4
Mg-AL	mg/100g TS	12,0	13,9	11,4	11,8	9,2	11,0	10,0	9,9
Na-AL	mg/100g TS	1,8	2,2	2,6	2,2	1,5	1,7	1,6	2,0
N-Kjeldahl	mg/kg TS	1410	1598	1405	1418	1405	1418	1254	1430
Nitrat-N	mg/kg TS	34,2	56,1	42,4	53,0	18,1	25,2	13,2	17,5
Amm-N	mg/kg TS	1,0	27,2	12,3	12,8	7,2	11,8	7,7	6,0
pH		6,3	6,5	6,3	6,3	6,2	6,3	6,4	6,2
Ldsevne	mS/m	6,7	11,3	8,8	11,1	5,8	6,9	5,3	5,3
TOC	% TS	1,2	1,1	1,0	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1

Biokull hadde ingen statistisk signifikant effekt på pH, P-AL, K-AL, Mg-AL, Na-AL, eller N-Kjeldahl, NH<sub>4</sub>, eller NO<sub>3</sub> i jord på Sel-feltet (Tabell 3). Slam-N tilførsel førte til økt jord-N konsentrasjon i vår og høst og er den mest sannsynlig årsaken til økt avling i slam- og slam/biokull leddene.

## 6. Feltforsøk 3: Notodden 2011

---

Et feltforsøk med biokull ble startet i 2011 av Den Kongelig Selskap for Norges Vel. Dette var et annet prosjekt finansiert av Statens landbruksforvaltning, og hadde som hensikt for å se på spredningsteknikker for biokull. Kornavling var ikke målt i 2011 fordi bonden tapte hele avlingen på grunn av for mye nedbør. En rapport fra Norges Vel sitt prosjekt med alle detaljene om feltoppsett er tilgjengelig via Sørensen og Ellingsen (2011).

### 6.1 Metoder

Norges Vel og Norsk Landbruksrådgivning tok jordprøver før og etter vekstsesongene og de blir sent til ALS laboratorier via Bioforsk for analyse. Biokull brukt i forsøket var importert trekull laget sannsynlig fra palmetre. En kjemisk analyse var gjort av biokullet og er tilgjengelig fra Sørensen og Ellingsen (2011). I referansen til forsøksdesign, som er nevnt i Norges Vel rapport, var det analysert jordprøver fra rute 1, 3, 9, 11, og 14. Det vil si 2 rute fra 3 ledd: Kontroll (ingen biokull), Biokull 2t daa<sup>-1</sup> (BK2), og Biokull 4 t daa<sup>-1</sup> (BK4).

### 6.2 Resultater: Notodden, 2011

Avlingstapet i 2011 gjør det vanskelig å gi en sikker vurdering av forbruk av næringsstoffer fra feltet, fordi man ikke kan ta i betraktning planteopptak av næringsstoffer. Likevel er det noen interessante tall fra Tabell 4, som bør nevnes. Total organisk karbon, dvs. karboninnhold i jorda (øverst 20cm), hadde økt med 7,4% og 13,3% i BK2 og BK4. Plantetilgjengelig P var også høyere i biokulleddet i høst-jordprøvene: en økning på 8% og 29% i BK2 og BK4. Resultater fra våren viser at P-AL i BK2 og BK4 ikke var høyere enn kontroll-ledd rett etter tilførsel.



Table 4. Kjemisk analyse av jordprøver fra Notoddenfelt for Vår og Høst 2011

n=2		Vår 2011			Høst 2011			
		Kontroll	BK2	BK4	Kontroll	BK2	BK4	
	<b>Tørrstoff (E)</b>	%	87,45	90	86,6	78,7	78	78
	<b>TOC</b>	% TS	1,81	1,88	2,02	1,825	2,05	2,18
	<b>P-total</b>	% TS	0,24	na	na	0,20	0,18	0,19
	<b>pH</b>		6,45	6,5	6,4	6,3	6,35	6,4
	<b>P-AL</b>	mg/100g TS	18,9	16,9	17,7	11,7	12,75	16,4
	<b>K-AL</b>	mg/100g TS	17,35	16,1	17,4	12,95	15,7	18,3
	<b>Ca-AL</b>	mg/100g TS	86,6	82,6	84,8	93	89,05	102,6
	<b>Mg-AL</b>	mg/100g TS	11,55	10,9	11,5	10,25	9,5	10,65
	<b>Na-AL</b>	mg/100g TS	2,1	1,8	1,8	1,75	1,95	1,9
	<b>N-Kjeldahl</b>	mg/kg TS	1680	na	na	1685	1825	1965
	<b>Nitrat-N</b>	mg/kg TS	14,1	na	na	14,65	12,5	13,55
	<b>Ammonium-N</b>	mg/kg TS	0,895	na	na	<0,40	<0,40	<0,40
	<b>Ledningsevne</b>	mS/m	5,12	5,03	5,08	4,12	4,25	4,37

## 7. Økotoksikologiske undersøkelser

---

### 7.1 Effekt av biokull på meitemark

Vurdering av biokull som jordforbedrings midler er også basert på en studie av den økotoksikologiske effekter av biokull, dvs. om det er et trygt materiale som kan brukes i matjord. Med trygghet mener vi at biokull bør ikke skade organismer og at tungmetallinnholdet bør ikke overskride grenseverdiene satt av Mattilsynet. Meitemark er ofte brukt som en standard spesimen for å teste ut økotoksikologiske effekter av materiale som er tilsatt til jord. I denne studien bruker vi to standardisert tester (OECD 222 og unngåelse test) for å bestemme effekten av biokull på meitemark. To typer biokull ble valgt til studien, biokull fra Miscanthus (som brukt i Ås feltet) og biokull fra hønsegjødsel. De to typer ble valgt ut fordi de er ganske forskjellig fra hverandre i forhold til næringsstoff- og C innhold.

### 7.2 Materiale og metoder

Jorda som var brukt var en lokal Cambisol fra Utne gård Rygge. Den har et høyt innhold av sand og et mindre innhold av leir og organisk materiale. Jord-pH ble målt flere ganger og varierte 4,7 til 5,4. Alle foreløpige tester ble utført i forhold til standard metoder (Hartnik, 2007). Jorda ble siktet på 4 mm for å sortere ut steiner og skape en homogent media. Vannholdningskapasitet (VHK) ble målt før og etter tilføring av biokull til jord (Tabell 5).

Tabell 5. Vannlagringskapasitet (VLK %) av jord og biokull-jord blandinger.

Soil treatment	VLK % av vannmettetjord vekt
Kontroll jord (ingen biokull)	46
Miscanthus biokull 25 t/ha	43
Miscanthus biokull 100 t/ha	50
Hønsegjødsel biokull 25 t/ha	41
Hønsemøkk biokull 100 t/ha	44

Vanninnholdet i alle ledder ble justert til ca. 60-65% av VLK. Det viste seg at spesielt Miscanthus biokull-leddet ved 100 t / ha trengte mer vann for å nå denne prosenten.

Testen ble utført etter OECD 222 sine retningslinjer. Effekten av Miscanthus- og hønsegjødsel-biokull på meitemark vekst, overlevelsesrate og reproduksjon ble studert. For å gjøre dette var meitemarkene satt opp i småbokser fylt med ca. 500 g jord. Jorda-pH

ble testet på starten og slutten for alle gjentak. Biokull-pH ble også målt, med de følgende resultater: Miscanthus BK 10,09, hønsegjødsel BK 9,28. pH mellom de ulike leddene ble ikke justert i denne testen, fordi alle ledd var ganske like i pH. Tilfeldige pH stikkprøver ble tatt fra hver ledd i løpet av de første ukene for å kontrollere at det ikke var noen forskyvning av pH i biokull-leddet.

I den følgende teksten vil det bli brukt følgende forkortelser for biokull-leddene:

- Miscanthus biokull ledd 25 t ha<sup>-1</sup> = M-BK 25
- Miscanthus biokull ledd 100 t ha<sup>-1</sup> = M-BK 100
- Hønsegjødsel biokull ledd 25 t ha<sup>-1</sup> = HM-BK 25
- Hønsegjødsel biokull ledd 100 t ha<sup>-1</sup> = HM-BK 100

Det var 3 gjentak for hvert ledd. 160 voksen *Eisenia foetida* individer var brukt i studiet. De var plassert på en petriskål dekket med vått filterpapir som var brukt for å samle meitemark-avføring fra første døgnet. Etter et døgn var meitemarkene veid, delt opp i grupper av 10 individer, og plassert i glassbokser . (tabell 6). Etter veiing var meitemarkene satt i boksene og dermed startet eksperimentet. Inkubasjonstemperatur var  $20 \pm 2$  ° C og dag /natt rytmen 12/12 timer.

Table 6. Startvekt til *Eisenia foetida* grupper hvert boks.

Gjentak	K	M-BK 25	M-BK 100	HM-BK 25	HM-BK 100	HM-BK 100*
1	4.94	5.57	3.89	6.67	4.09	4.48
2	6.56	6.27	4.92	4.31	9.61	4.15
3	4.65	7.41	5.12	4.77	9.34	3.84
4	3.86					

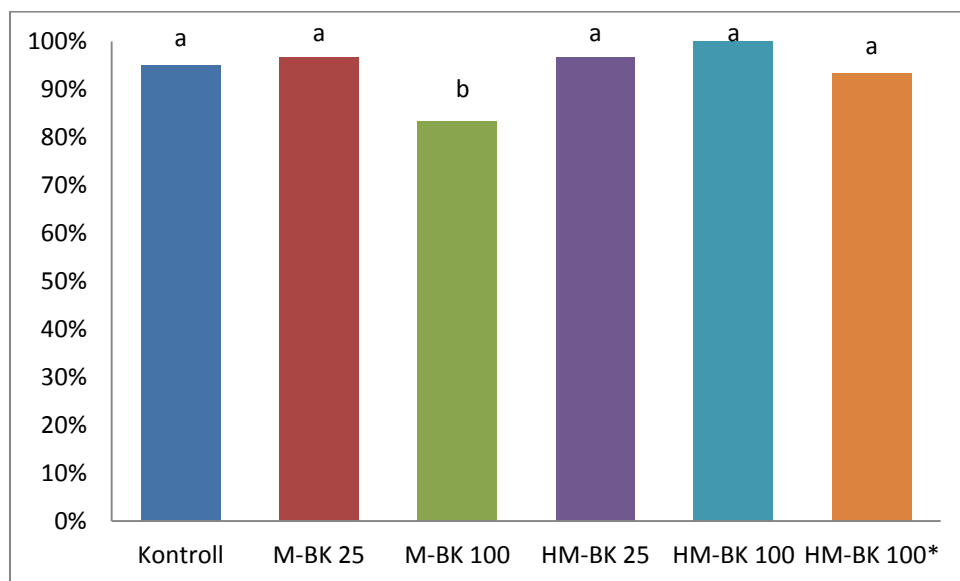
\* The additional repetition with HCl to adjust the pH.

Meitemarkene fikk hestegjødsel som matkilde. Vanninnholdet og matmengde var kontrollert flere ganger i uken for å sikre like forhold i alle glassbokser. Etter fire uker var alle voksne meitemark fjernet og satt på petriskål for å tømme seg. Resten av jord med juvenil og kokonger ble inkubert igjen for en måned til. De voksne meitemarkene ble opptelt og veid igjen for å se om det var en endring i vekt. Etter en måned var alle juvenil, fulle og tomme egg opptelt og veid.

## 7.3 Resultater

### 7.3.1 Reproduksjonstest med *Eisenia foetida*

Etter fire uker i inkubasjon ble alle overlevende voksne meitemark opptelt. Vi fant ingen forskjell i overlevelsesraten mellom ledd, unntatt i M-BK100 hvor det var ca. 10 % høyere dødelighet (Fig. 8). Her ser vi klart at ekstreme høye mengde biokull blandet i jord ikke gir gode leveforhold for meitemark. Alle andre ledder har ikke noen signifikant effekt på overlevelse av meitemark sammenlignet med kontrollgruppen.



Figur 8. Overlevelse av meitemark etter 4 uker

\* Ledd som var syrebehandlet pga høy kalkingseffekt fra hønsemøkk biokull

\*\* Søylen med forskjellige bokstaver er statistisk signifikant

### 7.3.2 Meitemark vekttap

Endringen i kroppsvekten til meitemark ble også målt i studien etter 4 ukers inkubasjon.

Her fant vi ingen statistisk signifikant forskjell mellom leddene (Tabell 7.)

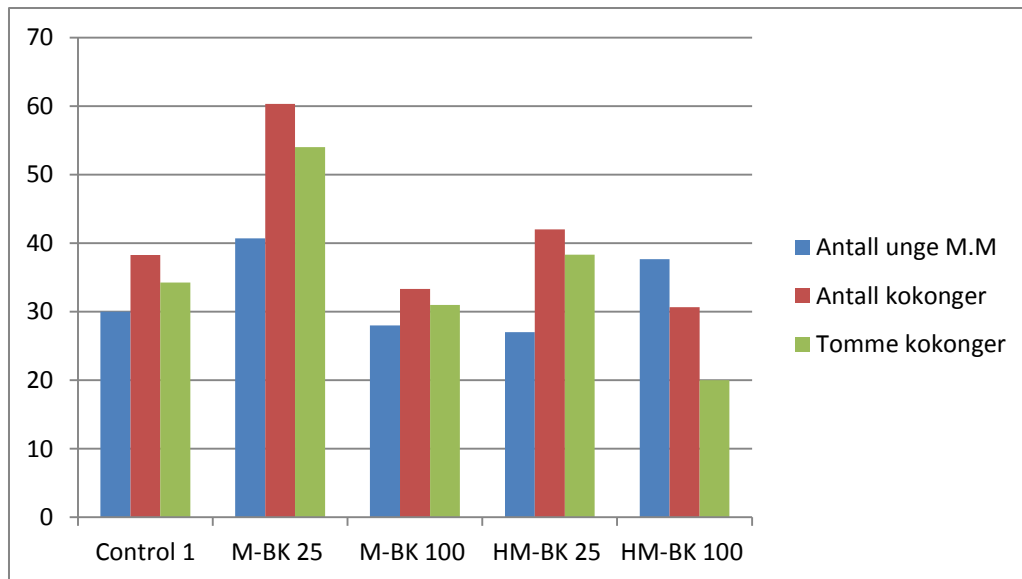
Tabell 7. Vekttap av meitemark etter 4 ukers inkubasjon

	Control	M-BK 25	M-BK 100	HM-BK 25	HM-BK 100	HM-BK 100
<b>gjennomsnitt</b>	-0,127	-0,153	-0,133	-0,118	-0,022	-0,007
<b>St.avvik</b>	0,082±	0,031±	0,115±	0,054±	0,055±	0,025±

\* Det var ingen statistisk significant forskjell mellom leddene

### 7.3.3 Meitemark reproduksjonstest

Effekt av biokull på reproduksjonsevne av meitemark ble testet ved å telle antall juvenil, og kokonger etter 8 ukers inkubasjon (Fig. 9)



Figur 9. Antall juvenil, fylte og tomme kokonger etter åtte uker med eksponering Meitemark i kontroll-jord produsert et gjennomsnittlig antall på 30 juvenil med et standardavvik på 11,67 (Fig. 9). Det høyeste antallet juvenil ble produsert i en jord med *Miscanthus* biokull 25 t ha<sup>-1</sup>, og gjennomsnittet var 40,67 med et standardavvik på 13,43.

## 7.4 Vurdering av meitemark studiene

Vi observert ingen skadelig effekt av biokull på meitemark og ingen overlevelsesforskjell mellom leddene, unntatt når ekstreme høye mengde var tilført. *Miscanthus* biokull tilført på 100 t ha<sup>-1</sup> er urealistisk mengde å bruke på feltet og var bare brukt i lab studien for å finne et tak for hvor mye biokull man kunne tilføre før det blir toksisk. Biokull fra fjærfe var egentlig forventet å føre til en høy dødsrate av meitemark på grunn av blant annet høye tungmetallkonsentrasjoner. Men det viser faktisk høyere overlevelse enn kontrollgruppen, selv om den ikke er vesentlig høyere. En årsak til det kan være høyere innhold av organisk materiale i jorda. *Eisenia foetida* trives godt i jord med et høyt innhold av organisk materiale. Jorda brukt i studien var imidlertid humusfattig, og da var tilførsel av biokull en måte å øke organiske materiale i jorda.

Når det gjelder produksjon av meitemarkjuvenil og kokonger var det ingen signifikant forskjell mellom leddene og kontrollen. Det er imidlertid bemerkelsesverdig at det forsuredede fjærfe- biokullet med 100 t ha<sup>-1</sup> ikke førte til lavere antall av meitemarkjuvenil og kokonger.

Som en generell oppsummering av meitemarkeksperimenter kan vi si at begge typer biokull er ikke-giftig for *Eisenia foetida* unntatt hvis man bruke ekstreme høye mengde biokull på en gang. Mengden brukt i lab-studien er ikke representativ for det som vil bli brukt i felt.

For eksempel tilsvarer 100 t biokull  $\text{ha}^{-1}$  ca. 100 års tilførsel av biokull, hvis man estimerer at 1 t  $\text{ha}^{-1}$  biokull er den mengde som kan vært produsert fra et års halmavling.

Produksjonen av juvenil og kokonger viste en svært høy variasjon, men ingen signifikant forskjeller mellom leddene.

## 8. Vurdering av samlet resultater

---

Fra første års resultater fra de tre biokull feltene har vi sett at biokull hadde minimal effekt, enten positiv eller negativ, på korn og halmavling sammenlignet med kontrollleddene. I forhold til effekt av biokull på jordfuktighet, så vi at biokull økte vannlagringskapasiteten i sandjord i Sel, men ikke i lettleire jord i Ås, hvor leir-innholdet bidro til tilstrekkelig jordfuktighet. Notodden-feltet var vanskelig å tolke på grunn av avlingstapet i 2011. Ut fra en vurdering av alle jordprøvene fra 3 felt ser vi ingen statistisk signifikant effekt fra biokull, men kun eksperimental variasjon og effekt av høy nedbør på feltene. Det var en tendens mot lavere nitratkonsentrasjon (ikke signifikant) i biokullleddet, og dette skal undersøkes videre i 2012 i Sel og Ås. Hovedbudskap fra prosjektet tolket ut fra 1 års feltresultater er at biokull brukt som karbonlagringstiltak ikke har noen skadelige effekter på jord eller agronomiske resultater, og kan ha en viss jordforbedringseffekt i sandjord. Flere års data kreves for å gi en mer sikker vurdering.

## 9. Kunnskapsformidling

### 9.1 Første Nordisk Biokull seminar

Som en del av SLF-prosjektet organisert Bioforsk det første «Nordiske Biokull Seminar». Seminaret ble holdt 9-10 desember, 2011 på SLF sitt kontor og ca 50 mennesker var til stede over de 2 dager. Alle Nordiske land unntatt Island var representert, og presentasjoner ble gitt blant annet om alle de feltforsøk som foregår i Finland, Sverige, Norge og Danmark. Den kjente biokull-forsker Dr Christoph Steiner var gjesteforedragsholder, og ga en spennende presentasjon om Terra preta-jord i Amazonas, og biokullforskning i tropiske land. Deltakere omfattet forskere, representanter fra Norges Forsknings Råd, Klif, miljø NGOer, studenter og næringsliv.







## 9.2 Media oppslag

Nettartikkel om seminaret:

<http://www.bondebladet.no/naeringsutvikling/2011/11/23/biokull-gir-gunstig-effekt-i-skrinn-sandjord.aspx>

### Bondebladet

[PAPIRUTGAVEN](#)
[ABONNEMENT](#)
[KONTAKT](#)
[ANNONSEERING](#)
[VERVING](#)
[GAVEABONNEMENT](#)



NORDEN: Forsker Adam O'Toole fra Bioforsk Jord og miljø (t.v.) ledet diskusjonen om biokull med forskere fra Finland, Norge og Danmark på det første nordiske biokull-seminaret som ble arrangert i Oslo nylig.

#### Biokull gir gunstig effekt i skrinnsandjord

Biokull har en svært gunstig effekt i sur og skrinnsandjord, men ingen effekt i fruktbar jord, viser nye forskningsresultater.

### 9.3 Nasjonale biokullforum og nettverk

I løpet av prosjektperioden ble et nasjonal «biokullforum» stiftet. Det har som formål å øke kunnskapen om biokullets egenskaper og mulige anvendelsesområder i Norge. Med på stiftelsesmøtet var representanter fra Bioforsk Jord og Miljø, Bioforsk Plantehelsetilstand, Norges Geoteknisk Institutt, New Energy System, Heddal Bondelag og Norges Vel som påtok seg jobben med å koordinere arbeidet i startfasen. Sekretariat til forum er foreløpig Åse Sørensen fra Den Kongelige Selskap for Norges Vel. Hun kan kontaktes ved epost [aase.lekang.sorensen@norgesvel.no](mailto:aase.lekang.sorensen@norgesvel.no)



Stiftelsesmøte for biokull forum i Norge

### 9.4 Internasjonal samarbeid med biokull forskning

Bioforsk har stadig kontakt med de internasjonale forskningsmiljøer som arbeider med biokull med pågående prosjekter. Det omfatter blant annet UK biokull forskningscenter ved Universitet i Edinburgh, Institutt for Geografi på Universitet i Zurich, Risøe DTU i Danmark, og Universitet i Sydney.

## 10. Konklusjon og FoU behov

---

- Første års resultater viser ingen konflikt mellom klimahensyn (karbonlagring) og matproduksjon (avling)
- Biokull mengde fra 1-3 t daa påviste ingen skadelig effekter på plantevekst i første året og kan anbefales som en rimelig mengde og tilføre
- Biokull kombinert med organiske gjødsel for eks. slam eller kompost viste et potensial og trenger mer undersøkelse
- Nærmere undersøkelse om interaksjoner mellom N og biokull kreves for å gi bedre anbefalinger om gjødslingsstrategi når man tar i bruk biokull
- Flere års resultater fra feltforsøk trengs for å gjøre en mer sikker evaluering av biokull som et jordforbedrings- og klimatiltak

# 11. Referanser

---

Berg, L.N., P.F. Jørgensen, P.H. Heyerdahl, G. Wilhelmsen. 2003. Bioenergiressurser i Norge. Oppdragsrapport 7/2003: Norges vassdrags- og energidirektorat.

Food and Agricultural Organization (FAO) (2006) World reference base for soil resources 2006: A framework for international classification, correlation, and communication. Report available online: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/wrb/doc/wrb2006final.pdf> Accessed, 12.01.12

Glaser, B., L. Haumaier, et al. (2001). "The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics." *Naturwissenschaften* **88**(1): 37-41.

Hartnik, T., Amundsen, C. (2007) Standard Operating Procedure - Toksisitetstesting med meitemark (*Eisenia foetida*). Bioforsk Rapport (Intern)

Joseph, S. D., M. Camps-Arbestain, et al. (2010) "An investigation into the reactions of biochar in soil." *Australian Journal of Soil Research* **48**(6-7): 501-515.

Klima - og forurensnings direktoratet. Rapport: Klimakur 2020. Tiltak og virkemidler for å nå norske klimamål mot 2020.

Landbruks - og Mat Departement. 2009. Landbruk - en del av Løsningen. Landbruk og klima konferanse. Clarion Hotel, Oslo 2-3 juni.

Miljøverndepartement. 2011. En mer klimavennlig stat. Tilgjengelig på: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/aktuelt/nyheter/2011/en-mer-klimavennlig-stat.html?id=653608>. Lastet ned: 15.12.11.

OECD guidelines for the testing chemicals (222) - Earthworm reproduction test (*Eisenia foetida*)

Tveiten, O og D.N. Simpson. 2008. Jarvinneanlegg, kolgroper og kokegrop: Hovland, Bjoråker, Gram, og Lærdahl. Rapport fra arkeologisk undersøkelse. Bergen Museum, Universitet i Bergen. ISSN: 1504-6869

Sørensen, Å og J. Ellingsen. 2011. Praktisk bruk av biokull i landbruket: Karbonlagring og jordforbedring. Rapport til Statens landbruksforvaltning. Tilgjengelig på nettet: [https://www.slf.dep.no/no/miljo-og-okologisk/klima/klimaprojekter/karbonbinding/\\_attachment/15413?\\_ts=1314c395110](https://www.slf.dep.no/no/miljo-og-okologisk/klima/klimaprojekter/karbonbinding/_attachment/15413?_ts=1314c395110)

Taghizadeh-Toosi, A., Clough, T. J., Condon, L. M., Sherlock, R. R., Anderson, C. R., & Craigie, R. a. 2011. Biochar Incorporation into Pasture Soil Suppresses in situ Nitrous Oxide Emissions from Ruminant Urine Patches. *Journal of Environment Quality*, **40**(2), 468. doi:10.2134/jeq2010.0419

Zhang, A., Bian, R., Pan, G., Cui, L., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., et al. 2012. Effects of biochar amendment on soil quality, crop yield and greenhouse gas emission in a Chinese rice paddy: A field study of 2 consecutive rice growing cycles. *Field Crops Research*, **127**, 153-160. Elsevier B.V. doi:10.1016/j.fcr.2011.11.020