



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Effekt av biokull i planteproduksjon, gjødsellager og husdyrproduksjon

Kunnskapsstatus og anbefalinger til videre utprøving i Norge

NIBIO RAPPORT | VOL. 8 | NR. 46 | 2022



Adam O'Toole¹, Ole Erik Lunder², Simon Weldon¹, Alexandra Rassat², Erik Joner¹,
Vibeke Lind¹, Daniel Rasse¹

¹NIBIO ²Greenhouse AS

TITTEL/TITLE

Effekt av biokull i planteproduksjon, gjødsellager og husdyrproduksjon

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)Adam O'Toole¹, Ole Erik Lunder², Simon Weldon¹, Alexandra Rassat², Erik J. Joner¹, Vibeke Lind¹, Daniel Rasse¹ (¹NIBIO, ²Greenhouse AS)

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
14.03.2022	8/46/2022	Åpen	52692	22/00195
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-03047-8	2464-1162	47		

OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:

Landbruksdirektoratet

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Adam O'Toole

STIKKORD/KEYWORDS:

Biokull

Biochar

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:Planteproduksjon, husdyrproduksjon,
klimatiltak**SAMMENDRAG/SUMMARY:**

See side 7

LAND/COUNTRY:

Norge

FYLKE/COUNTY:

Trøndelag

KOMMUNE/MUNICIPALITY:

Steinkjer

STED/LOKALITET:

Steinkjer

GODKJENT /APPROVED

Øistein Vethe

NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER AT NIBIO

Adam O'Toole

NAVN/NAME

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forord

Økt karbonbinding i jord ved bruk av biokull er et potensielt klimatiltak i norsk landbruk. I jordbruksoppgjøret 2021 (St. prp. 200 S) ble det satt av midler til å utrede muligheter for et praktisk utprøvningsprosjekt med biokull i landbruket. Hensikten var bedre kunnskap om bruk av biokull i husdyrrom, gjødsellagre og planteproduksjon.

Denne litteraturgjennomgangen gir en oppdatert oversikt over tilgjengelig kunnskap om biokull innenfor planteproduksjon, gjødsellager og husdyrproduksjon. Utredningen presenterer nåværende kunnskapsgrunnlag, praktiske erfaringer knyttet til bruk og belyser de viktigste kunnskapshullene og problemstillingene innenfor hvert bruksområde. Rapporten utgjør et kunnskapsgrunnlag for prioritering av praktiske utprøvningsprosjekter med biokull.

Adam O'Toole (NIBIO) har bidratt med beskrivelse av effekt av biokull i planteproduksjon. Vibeke Lind (NIBIO) har bidratt med beskrivelse av effekt på husdyr og i husdyrrom. Simon Weldon (NIBIO) har bidratt med beskrivelse av effekten av biokull i kompost. Daniel Rasse (NIBIO) har bidratt med beskrivelse av biokull i gjødselprodukter. Praktiske erfaringer og erfaring ved landbruksskolene er beskrevet av Alexandra Rassat og Ole Erik Lunder (Norsk Biokullnettverk og Green House AS). Erik Joner (NIBIO) har bidratt med beskrivelse av biokull som absorberende for tungmetaller og har renskrevet språket i rapporten før publisering. Alle forfattere bidro til og var enige om anbefalinger.

Prosjektets referansegruppe har bestått av representanter fra næringsliv, landbrukskontorer, landbruksorganisasjoner, akademia, og forvaltningen. Vi takker referansegruppen for god innsikt og verdifulle bidrag til utredningen. Vi takker også landbruksskolene for at de har delt praktiske erfaringer med bruk av biokull.

Steinkjer, 14.03.22

Adam O'Toole

Innhold

Sammendrag	6
1 Innledning.....	8
2 Metode	9
3 Resultater	11
3.1 Effekt av biokull på planteproduksjon.....	11
3.2 Nordiske forsøk	12
3.3 Biokull mot opptak av tungmetaller i planter.....	14
3.4 Biokull, effekt på biologiske forhold i jorda.....	14
3.5 Praktiske erfaringer med spredning av biokull.....	15
3.5.1 Direkte spredning i eng i Norge.....	16
4 Effekt av biokull i gjødsellager, kompost, og gjødselvarer	17
4.1 Biokull tilsatt til husdyrgjødsel og gjødsellager	17
4.2 Effekt av biokull i kompost	18
4.2.1 Effekt av biokull i kompost i rapporterte forsøk	19
4.2.2 Effekt av biokull på komposteringsprosessen.....	19
4.2.3 Effekt av biokull på kompostkvalitet.....	20
4.2.4 Sammendrag for effekt av biokull på kompost.....	20
4.3 Effekt av biokullgjødsel.....	20
4.3.1 Positive effekter av biokull på plantopptak av N og P.....	20
4.3.2 Gjenvinning av næringsstoffer	21
5 Effekt av biokull på husdyr og i husdyrrom	23
5.1 Helse	23
5.2 Fôring.....	23
5.3 Drivhusgasser	24
5.4 Praktiske erfaringer ved bruk av biokull i husdyrrom i Norge	24
5.4.1 Smågris og gris	24
5.4.2 Kylling og høns	25
5.4.3 Kalkun.....	26
5.4.4 Kopplam	26
5.4.5 Melkekyr og kalv	27
6 Muligheter for videre utprøving.....	29
6.1 Mulighet for bokføring av C-binding med biokull i Nasjonalt klimaregnskap	29
6.2 Klimatilpasning i jordbruket	29
6.3 Karbonbindingstilskudd via Bionova og/eller Regionalt Miljøprogram.....	29
6.4 Demonstrasjon og videre utprøving på landbruksskolene.....	29
6.4.1 Kalnes videregående skole.....	29
6.4.2 Sogn jord- og hagebruksskule	30
6.4.3 Val videregående skole	31
6.4.4 Mære landbruksskole.....	31
6.4.5 Sjetlein og Øya VGS Trøndelag.....	31

7	Utfordringer, potensielle farer og barrierer for bruk.....	32
7.1	Økonomi.....	32
7.2	Risiko angående negative effekter ved bruk av biokull.....	33
7.2.1	Tungmetaller.....	33
7.2.2	Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH).....	34
7.2.3	Dioksiner.....	34
7.2.4	Tap av biokull til vassdrag.....	35
7.2.5	Metanutslipp fra lagret husdyrgjødsel?.....	35
7.2.6	Udokumentert biokull og produksjonsutstyr.....	35
8	Konklusjoner.....	36
9	Anbefalinger til videre forsøk og utprøving.....	37
9.1	Fyrtårn og living lab-prosjekt – Kunnskapssenter for biokull.....	37
9.2	Viktighet med dokumentasjon av «effekt».....	37
9.3	Samarbeid med norske bedrifter som utvikler biokullprodukter.....	38
9.4	Prioritert bruk av biokull i høy-verdi planteproduksjon på jord med lavt moldinnhold.....	38
9.5	Anbefalinger om biokull gjødsellager og gjødselvarer.....	38
9.6	Anbefalinger om biokull i kompost.....	38
9.7	Anbefalinger om biokull i husdyrhold.....	38
	Referanser.....	40

Sammendrag

En oppsummering av utredning som tar hensyn til både vitenskapelige funn og praktisk erfaring viser:

Positive effekter mht. forbedring av jordkvalitet, men begrenset avlingseffekt i Norden

Samlete funn fra internasjonal forskning viser generelt at biokull bidrar positivt til både forbedring av jordkvalitet og avling. Forskning fra Norge og Norden viser en beskjeden positiv effekt på jordkvalitet, og ingen effekt på planteavling når ubehandlet biokull ble tilført dyrkingsjorda. Innblanding av biokull i næringsrik biorest (fra biogassanlegg) har enten ingen eller en liten positiv effekt på planteavlinger, og vi anbefaler mer forskning for optimalisering for slik bruk.

Biokull kan forbedre komposteringprosesser og redusere klimagassutslipp under kompostering

Biokull bidrar positivt til forbedring av komposteringsprosesser, og de fleste studier viser en reduksjon i produksjon av N₂O og CH₄ under kompostering med biokull, samt redusert tap av NH₃. Effekten av biokull er størst når biokull tilsettes ved oppstart av en komposteringsprosess. Biokulltilsetning gir raskere kompostering og et mer stabilt og hygienisert produkt. Kompost-biokull-blandinger gir ikke økt planteavling sammenlignet med kompost uten biokull.

Biokull i gjødselvarer kan gi økt avling, og bedre utnyttelse av næringsstoffer, men teknologien trenger videre utvikling og det finnes ingen slike produkter på markedet i Norge.

Internasjonal forskning viser at når biokull brukes som del av en gjødselvarer, øker avlingene i snitt med ca. 17% sammenlignet med kontrollbehandlinger med samme mengde N-gjødsling, men uten biokull. Binding av næringsstoffer på biokulloverflater krever mer avansert teknologi enn opprinnelig antatt. Mens mye forskning pågår internasjonalt og i Norge, har vi ingen produkter på markedet i Norge for utprøving. Utvikling av biokullfilter for gjenvinning av NH₃ i gjødselvarer kan også bli en lovende teknologi.

Biokull i fôr til husdyr kan bedre dyrehelse

Tilskudd av biokull i dietten til fjørfe, svin og drøvtyggere har vist å kunne bedre dyrehelse og redusere sykdom forårsaket av en rekke patogene bakterier. Undersøkelsene er utenlandske, og det er ikke gjennomført forsøk i Norge som kan vise slike resultater. Forsøk gjennomført av NIBIO viser at tilsetning av 2 % biokull i fôret til lam i 6 uker ikke påvirket totalt fôropptak. Tilsetning av biokull ved fôring av smågris utført på gårder i Innlandet viste redusert forekomst av diaré, og i noen tilfeller vektøkning. Ellers varierte resultatene mellom dyreinnsatt, uten klare positive eller negative effekter.

Variierende effekter på binding av tungmetaller, avhengig av jordtype og type biokull

Forsøk med ulike typer forurenset og naturlig tungmetallrik jord (bl.a. alunskiferjord) der biokull ble tilsatt for å redusere opptak i planter, har vist variierende effekt mht. ulike tungmetaller, ulike typer biokull og ulike typer jord og planter. Biokull med gode bindingsegenskaper bør testes for å optimalisere denne anvendelsen.

Økonomiske barrierer begrenser bruken av biokull i dag

Flaskehalsen mht. bruk av biokull i stor skala i norsk landbruk er høy innkjøpspris i fht. agronomisk nytteeffekt. Dette tyder på at tilskudd for karbonlagring vil være nødvendig for at bønder skal ta i bruk biokullprodukter i større skala. Dette ble bekreftet i en spørreundersøkelse utført av NIBIO i CarboFertil-prosjektet. Uten tilskudd og med dagens markedspris er tilbakebetalingstid for innkjøp av

biokull flere år . Tilbakebetalingstid kan reduseres ved : 1) bruk av mindre mengder av mer effektiv biokullgjødning, 2) at markedsprisen på biokull blir lavere (et sannsynlig scenario), eller at bønder lager biokull selv fra egne råstoff, 3) at staten subsidierer karbonlagringseffekten av biokull, 4) at biokull fører til et redusert behov for gjødning, eller en kombinasjon av alle disse faktorene. Flere nisjeprodukter, som er mer lønnsomme, kan bidra til utvikling av en biokullindustri, f.eks. biokull i fôr, og biokull i filtermateriale for å redusere utslipp av NH_3 , N_2O og CH_4 fra f.eks. komposteringsanlegg, husdyrgjødning osv. I denne rapporten kommer vi med en rekke anbefalinger for videre utprøving i norsk landbruk (Se Kapittel 9).

1 Innledning

Det foreligger et stort urealisert potensial for utslippsreduksjoner knyttet til karbonlagring i biokull i landbruket. I landbrukets klimaplan 2021-2030 er biokull et av enkelttiltakene med størst potensial for utslippsreduksjoner i form av karbonbinding. Karbonlagringseffekten av biokull er nå veldokumentert, både fra internasjonal forskning (Lehmann et al. 2015) og fra norsk laboratorie- (Budai et al. 2016) og feltforsøk (Rasse et al. 2017). En oppsummering av biokull som klimatiltak er tidligere utredet i NIBIO (Rasse et al. 2019). Både klimaplanen og Klimakur 2030 har estimert karbonbindingspotensialet i biokull til 830 000 tonn CO₂-ekvivalenter innen 2030. Kommersiell produksjon av biokull i Norge har så vidt begynt, og hvorvidt det tas i bruk i større grad vil være avhengig av i hvilken grad biokull kan være fordelaktig for bonden både i form av økonomi og nytteeffekter relatert til blant annet bedre agronomi og forbedret dyrehelse.

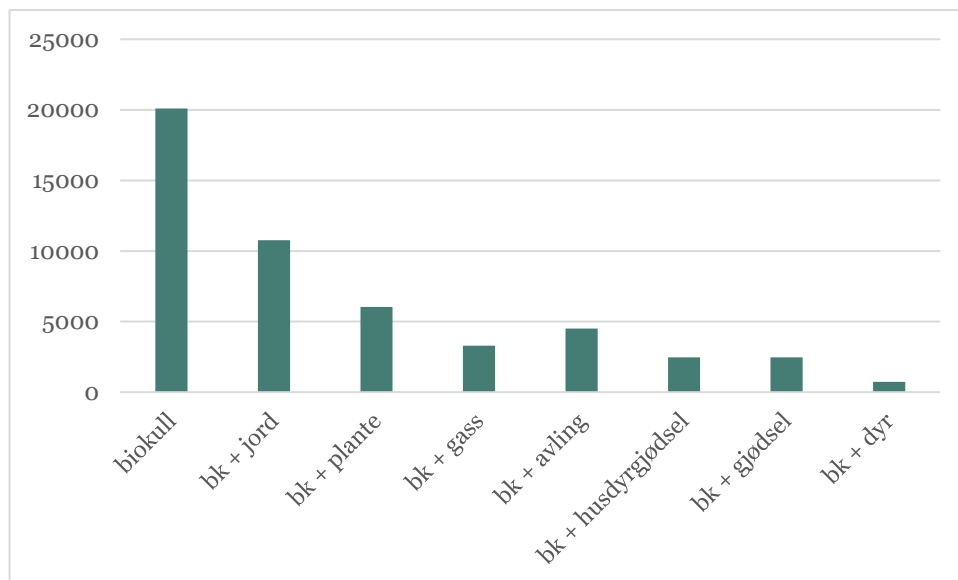
Interessen for biokull og kommersiell utvikling i Norge er økende. Forskningsaktiviteten knyttet til bruk av biokull i landbruk nasjonalt og internasjonalt har aldri vært høyere, og siden 2010 har forskningsmiljøene i Norge opparbeidet et godt kunnskapsgrunnlag rundt anvendelse og effekter ved bruk av biokull i landbruket.

Per i dag finnes det flere norske virksomheter som kan produsere biokull godkjent for bruk i landbruket. I en workshop arrangert av Norges Bondelag og Norsk Biokullnettverk i februar 2021 var det tydelig at bøndene etterspurte kunnskap om praktisk bruk og implementering av biokull på gården. I jordbruksoppkjøret 2021 (St. Prp. 200 S) ble det avsatt midler til en utredning av et utprøvningsprosjekt som vil ha nytteverdi for det videre arbeidet med biokull i Norge.

Denne rapporten gir en oversikt over kunnskapsgrunnlaget knyttet til bruk av biokull i planteproduksjon, gjødsel og/eller jordforbedringsprodukter og husdyrproduksjon. Selv om biokull i liten grad brukes i det norske landbruket, finnes det erfaringer fra bønder som har prøvd ut biokull innenfor ulike produksjoner. Denne utredningen har også kartlagt og inkludert praktiske erfaringer knyttet til bruk av biokull ved norske gårder og i næringslivet. Kunnskapsgrunnlaget og de praktiske erfaringene fra bruk danner grunnlaget for rapportens anbefalinger om praktiske utprøvningsprosjekter i norsk landbruk.

2 Metode

Et søk på vitenskapelige publikasjoner i Web of Science foretatt 1.12 2021 viser at det finnes 20 098 publiserte artikler som handler om biokull (biochar). Figur 1 viser antall publikasjoner om biokull kategorisert i temaer som er relevant for denne utredningen.



Figur 1. Antall vitenskapelige publikasjoner om biokull (bk) og biokullrelaterte temaer relevant for denne utredningen.

På grunn av det store antallet publikasjoner har vi konsentrert oss om resultater fra meta-analyser og oversiktsartikler («review-artikler») som oppsummerer hovedtrender for biokulleffekter for de ulike temaene. I tillegg til disse temaene har vi referert til enkeltstudier på forskning i Norge eller Norden, og på områder der det er lite tilgjengelig kunnskap. Leseren bør ha i mente at biokull brukt i ulike studier kan ha ulike egenskaper avhengig av råstoff og produksjonsbetingelser. Meta-analyser gir nyttig oversikt over effektene av biokull på tvers av de typer biokull som er brukt i ulike studier.

Det er gjennomført en rekke praktiske utprøvinger i større og mindre skala i norsk landbruk de senere årene. I denne rapporten har vi tatt utgangspunkt i samtaler med bønder som har praktisk erfaring med bruk av biokull i husdyrhold og/eller i planteproduksjon. Bøndene er kontaktet vha. «snøballmetoden», hvor kontaktnettverket har blitt dannet ettersom prosjekter har pågått. Observasjoner og resultater viderefremmes anonymt etter samtykke fra den enkelte bonde. Det er gjennomført flere praktiske utprøvinger fra landbruket selv. Denne utredningen viderefremmer resultatene fra prosjektet «Praktisk implementering av biokull i landbruket», som startet opp i 2019. Prosjektet leverte sluttrapport i januar 2022, og resultater viderefremmes med godkjennelse av prosjektleder Ingeborg Sørheim. Målet med prosjektet var å «Opparbeide praktisk kompetanse og erfaringer med hvordan biokull kan benyttes i fjøs og på jordet, og måle dyrehelse, trivsel og avlingseffekter». Styringsgruppa i dette prosjektet har bestått av representanter fra Strand/Norgesfôr, Oplandske Bioenergi, Nortura, Tine og Oppland Bondelag. Det har vært flere møter med dem gjennom prosjektperioden hvor de har hatt mulighet for å uttale seg om hva de mener er viktige temaer som burde inngå i utredningen.

Vi foretok en enkel beregning som estimerer tilbakebetalingstid for innkjøp av 1 t biokull som en bonde sprer på ett dekar. Tilbakebetalingsperioden regnes ut for ulike scenarier hvor bonden får en avlingsøkning på enten 2, 5, 10 eller 20% i bygg, potet eller gulrot. Det følgende ble brukt som data i regnestykket:

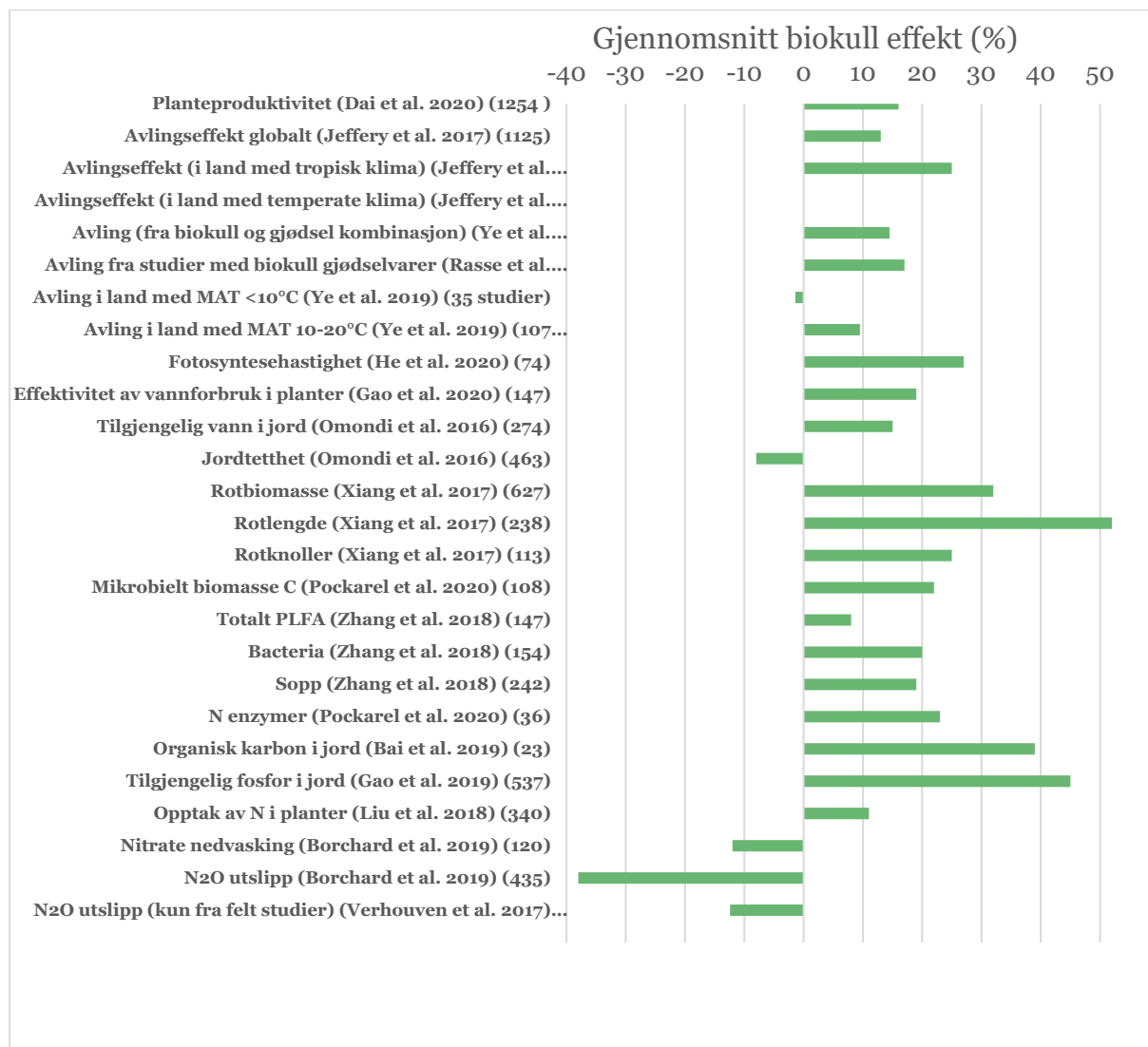
- Biokull markedspris = 8000 kr/tonn (TS)
- Noteringspris for korn = 3,20 kr/kg, potet= 5,61 kr/kg, gulrot= 10,82 kr/kg (prisene ble innhentet fra SSB.no, og grøntprodusentenes samarbeidsråd).
- Regnestykket forutsetter at avlingsøkningen vedvarer over tid og ikke er en engangseffekt

Regnestykket tar ikke hensyn til forskjellen i produksjonskostnader mellom korn-, potet- og gulrotproduksjon og vi forutsetter at inntekt fra økt salgbar avling er tilgjengelig for tilbakebetaling av kostnader relatert til innkjøp av biokull

3 Resultater

3.1 Effekt av biokull på planteproduksjon

Mye forskning har pågått de siste 10 årene for å avklare effekten av biokull på agronomi og planteavling. Schmidt et al. (2021) gjennomførte en systematisk gjennomgang av 26 meta-analyser på biokull publisert siden 2016 som omfatter totalt 1500 vitenskapelige studier om biokull. Fig. 2 gir en oversikt over gjennomsnittseffekt av biokull på tvers av ulike studier for ulike parametere som har betydning for agronomi og jord.



Figur 2. Gjennomsnittseffekt av biokull (% forskjell fra kontroll uten biokull) på ulike jord- og plantevariabler rapportert fra ulike meta-analyser. Tall i parenteser indikerer hvor mange observasjoner (eller studier) som var inkludert i hver meta-analyse. Figuren er oversatt og opprinnelig publisert i Schmidt et al. 2021.

Resultatene som vises i Fig. 2 gir et overveiende positivt bilde av biokulleffekter på planteproduksjon, karbonbinding i jord, jordmikrobielle forhold, og reduksjoner i N-utvasking og N₂O-utslipp i et globalt perspektiv. Dette betyr ikke nødvendigvis at man vil se de samme fordelene og i samme grad når biokull brukes i Norge. For eksempel viser meta-analysen av Jeffery et al. (2017) at biokull øker avling med 25% i snitt i forsøk (62 studier) utført i land med tropisk klima, mens det ikke hadde noen

konsistent effekt i 44 studier utført under temperert klima (slik vi har i Norge). I et toårig europeisk ringforsøk utført i 7 forskjellige land i Nord-Europa (inkludert Norge) var det ingen signifikant effekt på kornavlingene over to år etter tilførsel av 2 t daa⁻¹ med ubehandlet biokull laget fra tre (Ruysschaert et al. , 2016). I en oppsummering av tidligere forskning lister Jeffery et al. (2015) opp kjente og mulige årsaker som kan forklare hvorfor biokull i noen tilfeller kan øke planteproduksjonen:

Kjente direkte årsaker til økt plantevekst:

1. Biokull er en direkte kilde til plantenæringsstoffer, særlig K, Ca, P, Mg, Si
2. Biokull stimulerer planteresistens mot skadegjørere
3. Adsorpsjon av tungmetaller i jord og reduksjon av tungmetalloptak i planter
4. Økt tilgjengelighet av vann

Kjente indirekte årsaker til økt plantevekst:

- pH-effekter som:
 - forbedrete leveforhold for mikroorganismer
 - økt plantetilgjengelighet av næringsstoffer
 - stimulering av N-fiksering i belgvekster
- Redusert tap av nitrogen til vann og jord, som heller blir tilgjengelig for planter

Kjente årsaker når biokull reduserer plantevekst (Jeffery et al. 2015):

- N-immobilisering. Dette referer til prosessen hvor NO₃ og NH₄ blir tatt opp av jordorganismer (bakterier, sopp, mesofauna, osv.) og bundet opp i disse organismene for en periode så de ikke er tilgjengelig for plantevekst. Selv om biokull stort sett består av karbon som ikke er biotilgjengelig, vil likevel den lille mengden biotilgjengelig karbon fortsatt være nok til å øke mikrobiell biomasse og dermed binde opp noe N.
- pH-økning i alkalisk jord. Dette er ikke en problemstilling i Norge hvor pH i jord svært sjelden er >7.
- Adsorpsjon av plantevernmidler som reduserer deres effekt
- Innhold av grunnstoffer som er uheldig for visse planter (noen tilfeller)
- Saltinnhold (i noen tilfeller) som kan redusere spiringsevne og redusere opptak av vann i planter

3.2 Nordiske forsøk

I Norge testet O'Toole et al. (2018) effekten av tilførsel av 11,6 og 31,5 t ha⁻¹ miscanthus-biokull på jordas fysiske egenskaper, mikrobiell biomasse i jord, og havre- og byggavling mellom 2011-14. Volumetrisk vanninnhold i jord var betydelig høyere og jordtettheten ble signifikant redusert ved den største mengden tilført biokull. De fant ingen signifikant effekt av miscanthus-biokull på jordaggregatstabilitet, porestørrelsesfordeling, penetrasjonsresistens, mikrobiell biomasse, basal respirasjon og bygg- og havreavling over 4 år. I et 8-årig forsøk i Finland kombinerte Kalu et al. (2021) 0, 0,5, 1, 2, eller 3 t daa⁻¹ biokull (fra tre) med 2 nivåer (30% eller 100%) av enten mineralsk eller organisk gjødsel (kjøtt- og beinmel) og tilførte det til en næringsfattig og en næringsrik jordtype. De fant signifikant økt opptak av kalium i bygg og erter i 2 av 8 år, men ellers ingen signifikant økning i

planteavlinger over 8 år. I samme forsøk økte mengden plantetilgjengelig vann, og jordtettheten ble redusert i de første årene, men effekten avtok mot slutten av 8-årsperioden. Derimot hadde biokull en varig og reduserende effekt på N₂O utslipp etter 7 år. I et 2-årig potteforsøk med mais i Danmark økte tilførsel av halmbasert biokull det volumetriske vanninnholdet og plantetilgjengelig vann i en grov sandjord, og førte til økt fotosyntese og bladvannpotensial under tørke. Tilførsel av 2% biokull økte avlingen av mais signifikant kun i det andre året av forsøket (17 % økning) og kun når plantene var utsatt for tørke (Ahmed et al., 2018). Generelt forventes biokull å øke jordbrukets produktivitet der det kan endre en begrensende faktor for plantevekst, f.eks. ved å hindre vann- og næringsmangel, korrigere pH-nivåer eller redusere tilgjengeligheten av toksiske metaller osv. I hvilken grad biokull kan gjøre dette, avhenger av typen biokull og de nøyaktige forholdene i plante-jordsystemet det tilsettes. For eksempel økte maisavling med 23% i et 3-årig forsøk fra Belgia på et biokullrikt areal (tilført 150 år tidligere), sammenlignet med nærliggende jord uten biokull. På den biokullrike jorda fant de 11% mer plantetilgjengelig vann, og C-13-analyser av maisblader viste at plantene var utsatt for mindre vannmangelstress på jordarealet anrikt med biokull (Kerré et al., 2017).

NIBIO samarbeidet med Skjærngaarden gartneri i Åsgardsstrand i 2018 og gjorde et forsøk der vi testet synergieffekter av 20% og 40% (vol/vol) biokull tilsatt flytende biorest fra biogassproduksjon. Biokullet (laget av treflis) ble mekanisk blandet med biorest i 8 timer, og deretter ble blandingen tilført og blandet i jord til 7 cm dybde under planterader med vårløk i en grov sandjord. De målte både mineralsk N i jord og N₂O-utslipp i første måned etter såing. Salgbar avling av vårløk med biokull + biorest var i gjennomsnitt 37% høyere enn kontrollbehandlingen med NPK-gjødsel, men avlingene var ikke signifikant forskjellige. Biorest alene var ikke forskjellig fra kontrollbehandlingen med NPK. Innholdet av NH₄ og NO₃ i jorda i den første måneden etter tilførsel var betydelig høyere i behandlingen med biorest + biokull sammenlignet med kontrollen, mens biorest alene ikke ga noen signifikant økning. De konkluderte at innblanding av biokull med biorest reduserte tapet av plantenæringsstoffer i spiringsperioden når vanning av sandjord var nødvendighet for å få god spring. Biokull bidro med retensjon av plantenæringsstoffer i sandjorda og sørget for en mer balansert forsyning av NO₃ og NH₄ til plantene sammenlignet med biorest uten biokull (O'Toole, 2021).

Cottis et al. (2022) gjorde både feltforsøk og potteforsøk hvor de testet gjødslingseffekt av biokull etter innblanding i biorest. I feltforsøket fant de verken positiv eller negativ effekt av biokull+biorest i blanding sammenlignet med biorest alene når biokullet og bioresten ikke var blandet og lagret før tilførsel (tilført separat på samme dag). I potteforsøk testet de biokull og biorest som var lagret som en blanding over ulike tidsperioder. De to faktorene og nivåene som ble testet var:

1. Mengde biokull: 4 tonn biorest tilsatt 0, 100, 200, 400 eller 800 kg biokull per dekar
2. Lagringstid av biorest-biokull blandingen: 0, 2 og 90 dager før bruk

I potteforsøk hvor de brukte blandinger fant de signifikant nedgang i avling av italiensk raigras med stigende mengde biokull i biorest, og en signifikant reduksjon i avling jo lengre biokull var lagret som en blanding med biorest. Forfatterne konkluderte at den reduserte avlingen med høyere biokullinnblanding og lengre lagringstid trolig skyldtes at biokull adsorberte og holdt tilbake næringsstoffer fra bioresten. Det var ikke foretatt kjemiske målinger av de ulike biokull-biorest-blandingene, og heller ikke budsjett til systematisk måling av pH-endringer eller NH₃-tap fra biokull-biorestblandinger under lagring. Det er derfor vanskelig å konkludere sikkert om årsaker. En sannsynlig forklaring på nedgang i avling er at det basiske biokullet økte pH i biokull-biorestblandingen og førte til tap av NH₃. Med lengre lagringstid økte dermed muligheten for N-tap.

I Skjærngaarden-forsøket ble biokull og biorest blandet mekanisk i 8 timer, men ble deretter straks tilført jorda og nedmoldet. Det kan muligens forklare forskjellen mellom de to forsøkene mht. avlingsrespons. Videre forskning og praktiske forsøk burde se nærmere på blanding og lagring av biokull-biorestblandinger og foreta gassmålinger under blanding og lagring.

3.3 Biokull mot opptak av tungmetaller i planter

Siden biokull er porøst, har stor spesifikk overflate og mange overflateladninger, har det et potensial til å binde tungmetaller i jord slik at planteopptak fra jord kan begrenses. Tungmetaller i jord kan være et problem både i forbindelse med forurensninger, men også i jord med naturlig høye nivåer av tungmetaller, slik som alunskiferjord. Tungmetaller finnes også i husdyrgjødsel, handelsgjødsel og kalk, og siden tungmetalleksponering er et spørsmål om kumulativt opptak vil all reduksjon i eksponering ha positive effekter på folkehelsen.

Norske forsøk med virkning av biokull på tungmetalloptak i planter har gitt varierende resultater. På sterkt forurenset jord ga biokull (tilsv. 3 tonn/daa) en reduksjon i planteopptak av Cd, Cu, Pb og Zn, men tilsvarende effekt var ikke signifikant for mindre forurenset jord (Medynska-Juraszek et al., 2020). Utlekkingsforsøk med to ulike typer biokull viste at Cr bindes sterkt til biokull, mens effekten for andre metaller (Cd, Cu, Pb, Ni, Zn) er mindre og varierende (Piscitelli et al., 2018). Forsøk med alunskiferjord der biokull (2 t/daa) ble tilsatt jord i veksthusforsøk og sammenliknet med ubehandlet jord og kalket jord viste redusert opptak av Mn, Ni og Zn i hvete ved bruk av biokull, men ingen effekter på Cd og Cu. For Pb og Cr var opptaket lavere enn deteksjonsgrensen (NIBIO, upubliserte data). Samme forsøk målte også opptak i løk og viste redusert opptak av Cu og Mn ved tilsetning av biokull, men ingen signifikant effekt på opptak av Cd og Zn (for øvrige metaller var opptaket lavere enn deteksjonsgrensen). Liknende forsøk med gulrot viste heller ingen signifikant effekt av biokull (2t/daa) på opptak av Cd (NLR, upubliserte data). Kalking ga i flere tilfeller lavere opptak av tungmetaller enn tilsetning av biokull.

En meta-analyse av publiserte data for effekter av biokull på opptak av tungmetaller i planter konkluderte med at biokull i snitt reduserte opptak av Cd, Pb, Cu og Zn med hhv. 38, 39, 25 og 17 % (Chen et al., 2018). Dette tyder på at de norske forsøkene bør utdypes med flere studier, trolig med vekt på effekten av ulike typer biokull.

3.4 Biokull, effekt på biologiske forhold i jorda

Flere meta-analyser viser at biokull i gjennomsnitt har positive effekter på biologiske parametere i jord (Fig. 2), inkludert økt mikrobiell biomasse målt som karbon (+22%), økt innhold av mikrobielle fettsyrer (PLFA) (+8%), og økt produksjon av enzymer relatert til N-omsetning (+23%) [Pokharel et al., 2020 (72 studier), Zhang et al., 2018, Zhang et al., 2019 (43 studier)]. Økt mikrobiell biomasse og aktivitet kan muligvis skyldes at biokull kan stimulere vekst av planterøtter som sørger for energiforsyning til mikroorganismer gjennom roteksudater. Meta-analysen til Xiang et al. (2017) (136 studier) viste at biokull økte biomassen av røtter med 32 %, økte P-konsentrasjonen i røtter med 22 %, og økte mikrobiell N-fiksering i rotknoller med 25 %. Mykorrhizasopp har økt i omfang i flere forsøk med biokulltilsetning (Hammer et al., 2014, Shen et al., 2016). Biokull kan videre endre sammensetningen av nematodegrupper i jord, og i to studier fant man en reduksjon i planteparasittiske nematoder (George et al., 2016, Zhang et al., 2013).

Det hevdes ofte at biokull fungerer som et mikrobielt "hotell"- eller "tilfluktsrom fra rovdyr". Denne hypotesen ble ikke bekreftet i en studie av Quilliam (2013), som fant lite bakterier i biokullporer etter 3 år i jord. Han beskrev derimot at flere faktorer inkludert pH, porøsitet, og organisk-mineralske interaksjoner skaper en unik biokullnisje ("charosphere"). En slik nisje tilsier at biokull skaper miljøforhold i jorda som kan påvirke sammensetningen av mikrobielle samfunn og mikrobielle prosesser som f.eks. denitrifikasjon. Felles for studier som har sett på biokulleffekter på biologiske forhold i jord er at resultatene er svært variable mellom studier (Brtnicky et al., 2021). Dette kan skyldes ulike egenskaper i biokullet som er brukt (pH, næringsinnhold, porøsitet, innhold av toksiske eller mikrobielt hemmende stoffer) og hvordan biokull oppfører seg i ulike typer jord (jordtekstur, jordfuktighet, jordtemperatur, ulik pH, red-oks-tilstand osv.). Negative effekter på jordfauna, f.eks. meitemark, kan oppstå hvis biokull er tilsatt i tørr form og i store kvanta (f.eks. >5

t/daa) (Brtnicky et al., 2021). Så store mengder vil neppe bli brukt pga. kostnader, logistikk, m.m.. Et praktisk råd for å unngå mulige negative effekter er å spre biokull i mindre mengder, f.eks. <1 t/daa, på årlig basis, slik at man ikke endrer jordkjemiske og -fysiske forhold for mye i et enkelt år.

3.5 Praktiske erfaringer med spredning av biokull

I Sverige ble det første gårdsanlegget bygget allerede i 2017 ved Hjalmsater Egendom (Fig. 3A og 3B). Ved Hjalmsater Egendom har de tilført jorda mindre mengder biokull over flere år. Biokullet er både tilført på sandjord og leirjord. Biokullet er spredt med en teleskoptruck (Fig. 3C) før det blir harvet inn. Biokullet var helt tørt ved spredning, noe som har ført til støving i felt og støvansamling i maskiner. De anbefaler nå å spre vått biokull (ca. 30% vann). Hjalmsater Egendom har observert en betydelig forbedring av jordstruktur i den sandholdige jorda etter tilførsel av biokull i form av lettere og mer porøs jord og mindre behov for vanning i tørre perioder.

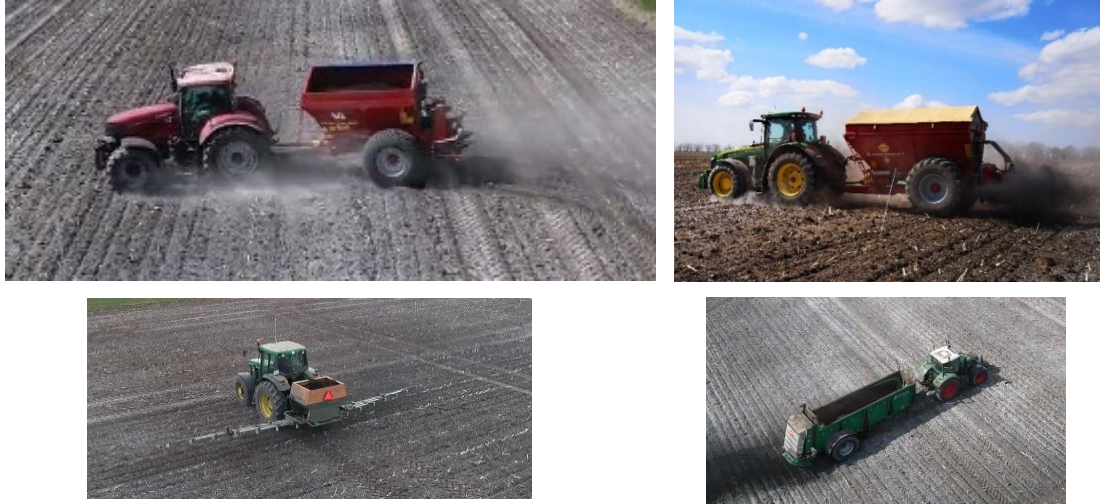


Figur 3. Fra venstre: A. Pyrolyseenhet installert ved Hjalmsater Egendom. B. produksjonsbygg og utmatingsystem for biokull. C. spredning av biokull på gården. Bilder: Hjalmsater Egendom, www.biokol.se

Sommeren 2022 skal det utføres et større praktisk spredningsforsøk ved Hjalmsater gård i regi av prosjektet «Svensk Kolinlagring». Da skal de teste ulike metoder for spredning (eks. kalkspreder, kunstgjødselspreder, tørr- og bløtgjødselspreder) og behandling av biokull.

I forbindelse med Interregprosjektet “Skritt mot et klimanøytralt landbruk” ble det utført en større demonstrasjon av praktisk spredning av biokull ved bruk av ulikt spredeutstyr i Danmark (Fig. 4). Biokullet var pelletert og ble spredt tørt og uladet. Spredeutstyret som ble testet var bruk av mineralgjødselspreder, kalkspreder, luftassistert gjødselspreder og tørrgjødselvogn. Målet med utprøvingen var å spre totalt 6 tonn biokull per ha. Med de ulike sprederne ble det tilført en total mengde biokull på 3,9 tonn/ha, 4,5 tonn/ha, 2,4 tonn/ha og 3,7 tonn/ha, etter henholdsvis 2, 3, 1 og 4 overkjøringer med spreder.

Erfaringer fra demonstrasjonen var utfordringer med støv ved spredning av tørt biokull, spesielt fra kalksprederen, mineralgjødselsprederen og tørrgjødselvognen. Spredeprofil viste jevnest spredning ved bruk av den luftassisterte gjødselsprederen.



Figur 4. Alle bilder - spredning av biokull med ulike spredere i Danmark. Fra topp venstre: Mineralgjødselspreder, kalkspreder, luftassistert gjødselspreder, tørrgjødselvogn. Skjermbilder fra www.Vestjysk.dk

3.5.1 Direkte spredning i eng i Norge

En av bøndene vi snakket med hadde spredt rent biokull direkte i eng (Fig. 5). Det ble tilført 1 tonn biokull per dekar vha. tørrgjødselvogn. Biokull ble spredt i to grasfelt før spredning av talle. På et av feltene ble biokull og talle pløyd inn etter spredning. Selve spredningen av biokullet opplevdes som jevn og problemfri. Bonden så det som nødvendig å tilføre vann i biokullet før spredning for å unngå støving ved spredning og tap av biokull. Dette kan gjennomføres hos produsenten av biokullet. I feltet hvor det ikke ble pløyd etter spredning ble biokull tilført ved langt gras, noe som ikke opplevdes som ideelt fordi rester av biokull ble med inn i fôrhøsteren.



Figur 5. Spredning med tørrgjødselvogn.

Foto: Oplandske Bioenergi

4 Effekt av biokull i gjødsellager, kompost, og gjødselvarer

4.1 Biokull tilsatt til husdyrgjødsel og gjødsellager

På grunn av den lave avlingsresponsen ved bruk av ubehandlet biokull har både praktikere og forskere forsøkt å forbedre biokullets agronomiske virkning ved å blande det med husdyrgjødsel eller biorest. En gjennomgang av faglitteraturen viser både positive og negative effekter som utdypes her. I et forsøk av Meirikhany (2020) ble det vist at biokull brukt som et flytende dekke på grisemøkk kan være svært effektivt i reduksjon av flere illeluktende stoffer (bl.a. skatol, indol og smørsyre). I tillegg reduserte et flytende dekke av biokull tap av NH_3 og H_2S . I samme forsøk sank noe av biokullet, og det ble målt en økning i CH_4 -dannelse etter biokull sank etter 2-3 uker. En studie i Kina viste at innblanding av alkalisk biokull i grisemøkk og lagring over lengere tid førte til økt pH i møkka og NH_3 -tap til luft (Liu et al., 2021). Redusert avling av raigras ved bruk av en lagret blanding av biokull og biorest på Blæsted (Høyskolen i Innlandet) tyder på at N gikk tapt fra biorest pga. økt pH (Cottis et al., 2022). Her gjøres det nå et nytt forsøk på Blæsted som skal teste planteavling etter kortere lagringstid for å komplementere forsøksdataene fra forrige sesong. Et pottforsøk utført på NMBU visste at opptil 70% av $\text{NH}_4\text{-N}$ kan gå tapt som NH_3 når man tørker alkalisk biokull blandet med biorest (Yamashita et al., 2021). I tillegg til lagringstid og mengde biokull kan type biokull også påvirke om det fungerer som et flytende dekke som reduserer gasstap fra bløtgjødsel eller biorest. Dougherty et al. (2017) testet to ulike typer biokull og fant at pH, porøsitet og hydrofobisitet er avgjørende faktorer for hvorvidt biokull egner seg som tilsetning til husdyrgjødsel. Mer forskning trengs på dette temaet, og det er fortsatt for tidlig og gi sikre anbefalinger om hvordan biokull skal brukes optimalt sammen med biorest og husdyrgjødsel.

Når dyr føres med biokull vil biokullet ende opp i husdyrgjødsel. Spørsmålet er da om biokull som har vært gjennom fordøyelseskanalen hos dyret har samme effekt som når det tilsettes direkte i gjødsel. I et 70-dagers inkuberingsforsøk av Romero et al. (2021) fant de at karbonet i biokull endres minimalt når det har vært gjennom fordøyelseskanalen hos drøvtyggere. I samme forsøk observerte de at husdyrgjødsel fra kyr som var føret med biokull hadde høyere tilgjengelighet av nitrogen sammenlignet med husdyrgjødsel fra kyr uten biokullføring. De fant ingen påvirkning av biokull på utslipp av CO_2 , N_2O og CH_4 i to ulike jordtyper når jorda ble gjødslet med inkubert husdyrgjødsel anriket med biokull sammenlignet med husdyrgjødsel uten biokull. Tilsetning av biokull i fôr til storfe kan være et tiltak for økt tilbakeføring av C-rikt organisk materiale til eng.

Flere norske bønder har allerede erfaring ved tilførsel og spredning av biokull iblandet husdyrgjødsel fra gjødselkum (Fig. 6A), kompost eller direkte spredning av biokull i felt. Mengde tilført biokull har variert fra 2,5 - 6 % biokullinnblanding. I alle tilfeller hvor biokull er blandet inn i bløtgjødsel er dette spredt med bløtgjødselvogn eller stripespreder på jordet. Det har ikke vært noen utfordringer knyttet til hverken tilførsel eller spredning av bløtgjødsel tilsatt biokull. Tilbakemeldinger som går igjen fra bøndene har vært jevn innblanding og fordeling ved omrøring, lite problemer med spredning i felt og mulig luktreduksjon ved bruk av større mengder biokull. Det er spredt biokull med både tradisjonell gjødselvogn og stripespreder (Fig. 6B).



Figur 6A. Innblanding av biokull i gjødselkum.

Foto: Oplandske Bioenergi



Figur 6B. Spredning av biokull med stripespreder.

Foto: Oplandske Bioenergi

4.2 Effekt av biokull i kompost

Biokull har vært undersøkt som innblanding i kompost for å forbedre komposteringsprosessen og øke kvaliteten av sluttproduktet. Kompostering av organisk materiale er viktig for å resirkulere organisk avfall fra jordbruk, bioenergiproduksjon og kommunale kilder. Det er estimert at verdens produksjon av organisk avfall vil nesten dobles fra 2010 til 2025 (Awasthi et al., 2017). Bruk av ubehandlet organisk materiale kan føre til betydelig risiko for nitrogenavrenning, lukt, spredning av uønskete planter og skadegjørere, og kan føre til dårligere plantevekst og økt utslipp av drivhusgasser. Kompostering kan redusere disse risikoene ved delvis omdanning av de opprinnelige materialene til mer stabilt og hygienisert materiale som trygt kan brukes i matproduksjon.

Komposteringsprosessen kan styres på ulike måter, men viktigst er styring av oksygenforhold, pH og fuktighet. God kontroll med disse parameterne fører til vellykket og relativt rask kompostering med lavt tap av nitrogen, lavt utslipp av drivhusgasser og god hygienisering. I tillegg til aktiv prosessstyring, som mekanisk blanding av kompost, kan disse parameterne også styres ved tilsetning av materialer som kan påvirke kompostens struktur og kjemiske forhold.

Biokull har vært undersøkt i denne forbindelse siden det er et stabilt strukturmateriale med egenskaper som kan påvirke oksygenforhold, pH og fuktighet. I tillegg er kompostering med biokull foreslått som en grønn teknologi som kan erstatte noe av dagens bruk av mineralgjødsel (Oldfield et al., 2018). Kompostering med biokull har de siste 20 årene vist flere positive effekter på både komposteringsprosessen, kvaliteten av sluttproduktet og utslipp av klimagasser. Her er noen praktiske eksempler fra Norge:

Biokull blandet med strø i fjøset

Strø til talle ble tilsatt biokull og senere kompostert før spredning. Dette førte til mindre fukt i fjøset, og komposteringen av tallen gikk tilsynelatende raskere og var mindre arbeidsintensiv. Det ble også observert mer sopp i komposten.

Biokull brukt i rankekompostering

Flere bønder vi har snakket med har tilsatt biokull i kompostranker. Erfaringene var bl.a. en jevnere og høyere temperatur i biokullkompost sammenlignet med kompostranker uten biokull. Det ble også observert mer sopp og meitemarkaktivitet i biokullkompost. Man så en tendens til at biokullkomposten modnet raskere enn tilsvarende kompost uten biokull.



Figur 7. Gode erfaringer ved bruk av biokull i kompostranker

4.2.1 Effekt av biokull i kompost i rapporterte forsøk

Følgende effekter har blitt rapportert i vitenskapelig forsøk med tilsetning av biokull til kompost:

- Redusert produksjon av N_2O , CH_4 og CO_2 (Agyarko-Mintah et al., 2017; Awasthi et al., 2017; Chowdhury et al., 2014; Li et al., 2016; Vandecasteele et al., 2016).
- Redusert N-tap (Agyarko-Mintah et al., 2017; Chen et al., 2017; Lopez-Cano et al., 2016). Både som redusert nitratutvasking (Archanjo et al., 2017) og redusert ammoniakk-utslipp (Agyarko-Mintah et al., 2017; Awasthi et al., 2017; Awasthi et al., 2016; Chen et al., 2017; Chowdhury et al., 2014; Steiner et al., 2010)
- Økt pH i komposten (fordel ved kompostering av surt organisk materiale som matavfall) (Wong et al., 2009).
- Redusert biotilgjengelighet av sink og kobber (Li et al., 2019).
- Forbedrer humifiseringen av sluttproduktet (dermed stabilitet og egnethet som kompost) (Dias et al., 2010; Jindo et al., 2012; Zhang et al., 2014) og gir raskere kompostering ved høyere temperatur (Steiner et al., 2011; Waqas et al., 2018) som er gunsting mht. hygienisering.

4.2.2 Effekt av biokull på komposteringsprosessen

pH

En meta-analyse av Zhou et al. (2022) (84 studier) viste at biokull av halm tilsatt under kompostering forbedret komposteringsprosessen ved å påvirke pH. Dette beskrives også av andre som årsaken til positive effekter av biokull på kompostering (Cao et al., 2019; Wang et al., 2019; Zhou et al., 2022). I tillegg kan høyere pH-verdi redusere biotilgjengelighet av kobber og sink (Zhou et al., 2022). Kalkingseffekten av biokull kan variere sterkt avhengig av hva biokullet er laget av. Biokull av halm og liknende har gjerne større kalkingseffekt enn f.eks. biokull laget av tre (Fidel et al., 2017). For høy pH kan også ha uønsket effekt på kompostering (Wong et al., 1997). Derfor er en vurdering av biokullets pH viktig, og biokull kan brukes til å styre surhetsgraden under kompostering.

Struktur

Strukturmateriale i kompost er viktig for å unngå anaerobe forhold, noe som medfører metanproduksjon, langsommere kompostering og ufullstendig kompostering. Biokull øke porøsitet i komposten og med det øke O_2 -tilgang og redusere CH_4 -produksjon (Agyarko-Mintah et al., 2017; Chen et al., 2017; Zhu et al., 2022). He et al. (2019) viste større reduksjon av metanutslipp ved bruk av granulert biokull sammenliknet med finknust biokull. Biokullets partikkeløstørrelse ser derfor ut til å være viktig for struktureffekten. Biokullets struktur kan også være viktig for å regulere fuktighet både

når komposten er for fuktig og for å hindre uttørking (Godlewska et al., 2017; Lopez-Cano et al., 2016). Varigheten av biokullets makro-porøsitet er avhengig av kulleste evne til å motstå oppløsning. Dette påvirkes bl.a. av hva biokullet er laget av og produksjonstemperaturen (Spokas et al., 2014). Yin et al. (2021) fant at biokull produsert ved høy produksjonstemperatur (>500 °C) hadde størst effekt for å redusere CH₄ og N₂O fra kompostering, mens biokull produsert ved lav temperatur (<500 °C) hadde størst effekt for å redusere NH₃-utslipp. Ved høyere produksjonstemperatur får man ofte større porøsitet (Budai et al., 2014; Leng et al., 2021; Maziarka et al., 2021), noe som kan være viktig for å øke O₂-tilgangen. Høytemperatur biokull har også vist større evne til å ta opp nitrat, noe som kan føre til mindre lystgassproduksjon (Alsewaileh et al., 2019). Ved lavere produksjonstemperatur har biokull større evne til å ta opp NH₃ (Fidel et al., 2018) som kan være grunnen til at det gir mindre utslipp av NH₃ ved tilsetning av biokull produsert ved lav temperatur.

4.2.3 Effekt av biokull på kompostkvalitet

En meta-analyse av Wang et al. (2019) (14 studier) viste at kompost produsert med biokull (KOMBI) hadde størst effekt på korn (bygg, havre, hvete, mais og quinoa) der det i snitt økte avling med 40 %. De viste også at KOMBI hadde størst effekt i næringsfattig jord, men ingen effekt i næringsrik jord. Biokull av tre viste størst effekt på avling. De konkluderte at i de fleste tilfeller er den positive effekten av tilsetning med KOMBI veldig lik effekten av bare kompost. Men de pekte også på forskning som viser at KOMBI kan fungere bedre enn bare kompost i sandjord (Glaser et al., 2015) og etter sterk tørke (Mekuria et al., 2014). Det trengs mer forskning på dette som et tiltak for tørkeutsatt jord.

4.2.4 Sammendrag for effekt av biokull på kompost

Forskningsresultater viser at biokull kan ha positive effekter på kompostering ved å redusere klimagassutslipp og tap av NH₃. Synergieffekter av biokull på komposteringsprosessen betyr at man oppnår størst effekt ved å tilsette biokull ved starten av komposteringen. Biokull kan forbedre prosessen ved raskere kompostering og et mer stabilt og bedre hygienisert produkt. Ved å redusere utslipp av klimagasser gjør biokull kompostering mer klimavennlig og kan øke verdien av produktet sammenlignet med mineralgjødning når klimaregnskap tas i betraktning (Oldfield et al., 2018).

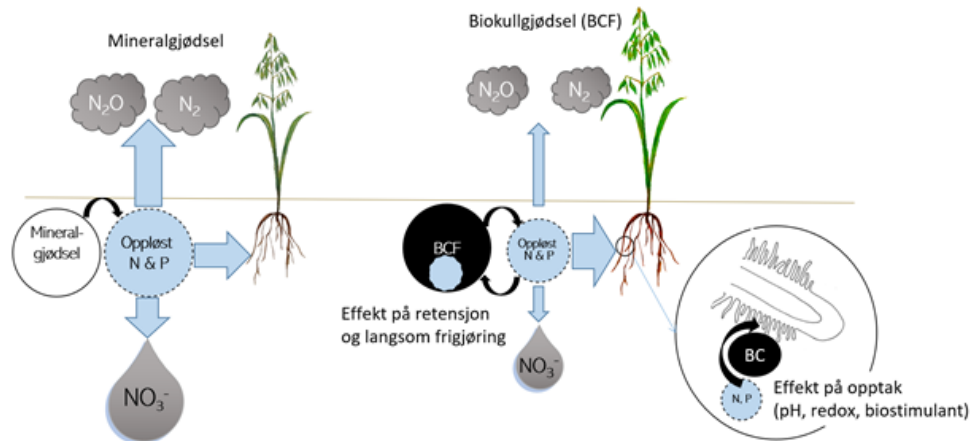
4.3 Effekt av biokullgjødning

Det er flere grunner til å lage biokullgjødning (BCF), dvs. blandinger av biokull og mineralisk eller organisk gjødning:

- Det kan øke effekten av biokull på plantevekst og avling betydelig, så bønder blir interessert i å bruke dette produktet.
- Et pelletert eller prillet produkt (BCF) er lettere å spre enn ubehandlet biokull
- Det kan gi positive effekter av biokull på planteopptak av N og P
- Det utnytter næringsstoffer, særlig N og P, i husdyrgjødning og bioest

4.3.1 Positive effekter av biokull på plantopptak av N og P

En mye omtalt teori er at biokull kan ta opp (adsorbere) næringsstoffer og frigjøre disse langsomt i jordsmonnet så mindre fritt mineralisk N finnes i jorda til enhver tid, noe som fører til redusert utvasking av NO₃ (Borchard et al., 2019; Chen et al., 2019; Liu et al., 2019; Zheng et al., 2013) og mindre utslipp av klimagassen N₂O (Borchard et al., 2019; Cayuela et al., 2014). Denne samlede effekten fører til at mer N (og P) blir tilgjengelig for plantevekst (Chen et al., 2019; Shi et al., 2020; Zhang et al., 2016; Zheng et al., 2013). Prosessen er beskrevet i Figur 8.



Figur 8. Teoretiske mekanismer bak den potensielle effekten av BCF for å øke effektiviteten av bruk av næringsstoffer og redusere NO_3 -utvasking og N_2O -utslipp (etter Rasse et al. 2022).

Adsorpsjon av N og P på ubehandlet biokull er mindre enn først antatt (Rasse et al., 2022 in press; Weldon et al., Submitted). Mange metoder er i utvikling for å øke biokullets evne til å adsorbere næringsstoffer. Disse metodene deles i to kategorier: 1) behandling av selve biokullet for å øke sorpsjonsladninger på overflaten (activation), og 2) bruk av tilsetningsstoffer, særlig leire. Sorpsjonsevnen kan økes via aktivering med syre og andre tilsetningsstoffer, men den endelige konsentrasjon av N i biokull vil fortsatt ligge ganske lavt (~1%) sammenlignet med det som finnes i mineralgjødning. De fleste undersøkelser som rapporterer en positiv effekt av BCF på effektivitet av næringsstoffutnyttelse har brukt leirematerialer som tilsetningsstoff, noe som ofte øker sorpsjonsevnen mer enn aktivering med syre eller damp. Ismadji et al. (2016) har påvist at biokull og bentonitt-leire har synergieffekter på sorpsjon når de blandes. Derfor anbefaler vi å teste blandinger av biokull og leirematerialer for å lage BCF som kan være rimelig å produsere og ha en viss effekt på frigjøring og plantopptak av næringsstoffer.

Selv om sorpsjon kan være begrenset, tyder nyere forskning i Kina på at det fortsatt kan være gunstig å "lade" biokull-porer med nitrogen i fast form, f.eks. smeltet urea (Xiang et al., 2020; Wang et al., 2021). En form for sakte frigjøring av næringsstoffer ble rapportert her, basert på oppløsning og ikke desorpsjon. Denne typen teknologi er ennå ikke prøvd ut i Norge. Det må også understrekes at, i utenlandske forsøk, ser positive effekter av kommersielle BCF-er som inneholder lite biokull ut til å peke mot pyrolyse-genererte biostimulerende stoffer (Kolton et al., 2017; Lou et al., 2016). Her, brukes det bare små mengder biokull, noe som begrenser karbonlagringsverdien.

4.3.2 Gjenvinning av næringsstoffer

Gjenvinning av næringsstoffer i husdyrgjødsel og biorest er viktig i Norge. En mulig metode er å blande biokull i gjødseltanker for å absorbere P og N, spesielt i form av NH_4^+ . Dessverre ser denne teknologien ut til å ha begrensninger, spesielt fordi blanding av biokull i bløtgjødsel over lengere tid kan resultere i høyere gassutslipp av NH_3 og muligens også CH_4 . Derimot viser ny, lovende forskning at biokull kan aktiveres på en måte som sterkt øker sorpsjonskapasiteten for NH_3 -gass (Hestrin et al., 2019; Krounbi, 2020; Ro et al., 2015). Fangst og gjenvinning av NH_3 -gass er høyst relevant i norsk landbruk, særlig i forbindelse med husdyrproduksjon. Utslipp av NH_3 fra husdyrgjødsel i EU utgjør ca. to millioner tonn N per år (Paulot et al., 2014) og dekkes av National Emission Ceilings Directive 2001/81/EC (NECD). Under aerobe og alkaliske forhold kan opptil 44 % av N i husdyrgjødsel gå tapt som NH_3 -gass (Kirchmann og Witter, 1989). Selv om tap fra anaerobe lagringstanker er lavere, fører gjødselspredning på jord til svært store tap (Kirchmann og Witter, 1989; Xu et al., 2017).

Ammoniakkutslipp fra fjørfeanlegg er også et betydelig problem for næringen, og det er behov for metoder for å fange og utnytte dette nitrogenet (Ritz et al., 2004). Utvikling av biokullfilter for NH_3 -gass og videre bruk som N-holdig biokullgjødsel er en lovende teknologi som burde utforskes og utvikles videre.

Kort oppsummert fremhever Rasse et al. (2022, in press) tre muligheter for å forbedre N-retensjon i biokull:

1. At man først aktiverer biokull med syre og deretter eksponerer det for nitrogen i gassform, dvs. NH_3
2. At man utnytter synergieffekter mellom biokull og leire i design og produksjon av organo-mineralske gjødselvarer
3. At man "lader" biokullporer med nitrogen i fast form, f.eks. smeltet urea.

Det påpekes at dette er et fagområde i utvikling og at det kreves mer forskning og utvikling for å finne fram til gode løsninger for bruk av biokull i gjødselvarer.

5 Effekt av biokull på husdyr og i husdyrrom

Gjennom mange hundre år har biokull blitt brukt innen husdyrproduksjon som akutt medisinsk behandling. Først fra rundt 2010 er biokull blitt inkludert i fôret til husdyr for aktivt å øke dyrehelse, fôrutnyttelse og dermed produktiviteten av melk og kjøtt. Som en følge av biokull i fôret, øker også innholdet av biokull i avføringen. Det er gjort relativt få systematiske vitenskapelige undersøkelser for bruk av biokull i fôr til husdyr og deres påvirkning. Men den litteratur som finnes, viser et potensiale til å forbedre dyrehelse, fôrutnyttelse og fjøsmiljø. Det viser et potensiale for å redusere klimagassutslipp og til å øke organisk materiale i jord. Inkludering av biokull i husdyrfôr har derfor et potensiale til en bærekraftig husdyrproduksjon. Den store overflaten i biokull gjør at det har en høy kapasitet til å absorbere stoffer som giftstoffer, metabolitter eller patogener. Biokull har evnen til å binde stoffene slik at de ikke tas opp i lever, tynntarm eller blod slik at dyrene ikke blir forgiftet.

5.1 Helse

Mykotoksiner er et problem for matproduksjonen på verdensbasis, men et langt mindre problem i Norge. Effekten på adsorbering av mykotoksiner avhenger i stor grad av hvilke type biokull dyrene får, og det varierer i litteraturen hvor mye informasjon det gis på type biokull (biomasse og pyrolysetemperatur det var laget under). Det er årlig tilfeller av clostridier, *E.coli* og salmonella i norsk husdyrproduksjon. Det ble behandlet 613 storfe med clostridieinfeksjoner (Animalia 2021, Kjøttets tilstand). Det er lite *E.Coli* av den typen som kan gi alvorlig sykdom hos mennesker i norske kjøttvarer, og kjøttindustrien har gjort tiltak for å redusere risikoen for overføring av *E. Coli* fra dyr til mennesker. I 2020 ble det registrert salmonella i 7 norske storfebesetninger (Animalia 2021, Kjøttets tilstand), i tre småfebesetninger, i en svinebesetning og i en fjørfebesetning. Tilskudd av biokull i dietten til både fjørfe, svin og drøvtyggere har visst å øke dyrehelsen og redusere sykdom forårsaket av disse bakteriene (Schmidt et al. 2019). Undersøkelsene som er gjort er utenlandske, og det er ikke gjennomført forsøk eller undersøkelser i Norge som kan vise slike resultater.

I beite- og fôrplanter finnes det naturlige ingredienser som er potensielt farlige for dyrene å spise i større mengder. Tanniner er et eksempel på dette. Tanniner er komplekse forbindelser og finnes ofte i proteinrike vekster slik som belgvekster. Det finnes eksempler i litteraturen på at biokull i kombinasjon med tannin-rike planter i dietten til drøvtyggere gir en høyere tilvekst som følge av økt opptak av protein (Van et al. 2006).

Dyr som spiser giftige planter har blitt effektivt behandlet ved tildeling av biokull. I Norge er det romeplanten (*Nartheicum ossifragum*) som i stor grad medfører sykdom hos sau og lam når de beiter om sommeren. Planten har en gift som medfører leverskade hos lam som gir sykdommen alveld.

5.2 Fôring

Omfattende litteraturstudier gjort av Schmidt et al. (2019) og erfaringer fra fôringsforsøk gjennomført i Norge (Lind, pers. komm.) viser at det ikke er negative effekter på dyrevelferd og produksjon av kjøtt og melk ved tilsetning av biokull til fôr. Det skal tilføyes at konsekvensene ved langvarig tildeling av biokull (mer enn 6 måneder) ikke er utredet og undersøkt gjennom forskning. De norske forsøkene gjennomført av NIBIO viser at tildeling av 2% biokull i dietten til lam over 6 uker ikke påvirket totalt fôropptak hos dyrene. De samme undersøkelsene visste også at tilveksten hos lammene ikke ble påvirket, positivt eller negativt, av biokulltildelingen. Dette samsvarer med flere utenlandske rapporter som heller ikke har funnet effekt hos drøvtyggere på fôropptak eller produksjonsresultater.

For gris og spesielt fjørfe er det derimot litt varierende svar, der biokull enten ikke påvirker tilveksten eller har en positiv effekt på tilvekst. Den økte tilveksten er i stor grad påvirket av høyere fôropptak og bedre fôrutnyttelse. Forsøkene visste også høyere eggproduksjon og økt immunforsvar hos dyrene.

Undersøkelsene brukte ulike typer biokull, både mht. biomasse og pyrolysetemperatur, og det kan være en sammenheng mellom type biokull og respons. Generelt konkluderes det med at bruk av kvalitetskontrollert biokull som tilsettes diett til husdyr har lav risiko for bivirkninger.

5.3 Drivhusgasser

Drøvtyggere står for rundt 80% av de totale klimagassutslippene i husdyrsektoren på verdensbasis. Det er nedbryting av fôret i vommen hos drøvtyggerne som medfører produksjon av CO₂ og metan (CH₄). Det jobbes derfor med tiltak som kan redusere disse utslippene. Bedre fôrutnyttelse er den mest effektive metode til å redusere klimagassene, men det er stort fokus på fôrtilskudd som kan bidra ytterligere. Det er per i dag veldig få tilskudd som er effektive, der nitrat er ett av dem, men som ved høye konsentrasjoner er direkte giftig for dyrene.

Biokull har vært utprøvd som en metode, spesielt etter at forskere i Vietnam i 2012 (Leng et al., 2012) fant en reduksjon av CH₄ på opp til 49%. Disse lovende resultatene har siden ikke blitt bekreftet tross flere forsøk fra ulike grupper av forskere. Flere forsøk gjort *in vitro* har vist noe reduksjon, men forsøk gjort *in vivo* med både sau og storfe har ikke kunne bekrefte dette.

Det mest interessante studiet som er gjort i nyere tid, ble gjennomført i Canada i 2018 (Saleem et al., 2018) ved bruk av en kunstig vom (RUSITEC). Her benyttet forskerne et biokull som var produsert ved høy varme og etterfølgende behandlet med syre til en pH på 4,8. I den kunstige vomma ble det observert lavere metangassproduksjon der det syrlige biokull var tilsatt. Forsøkene er ikke fulgt opp på levende dyr. Det er viktig her å understreke at en slik tilsetning av syre kan medføre at biokullet oppfører seg annerledes i vommen på dyrene og kan bidra til å påvirke mikrobefolkningen. Det ble funnet en linjær økning i flyktige fettsyrer med tilsetning av biokull, men ingen endring i vommas pH eller antall protozoer. Den høyere andel av flyktige fettsyrer medførte økt nedbryting av tørrstoff, organisk materiale, protein og fiber. Det er særlig interessant om andelen propionat øker. Propionat bruker hydrogen (H₂) i syntesen, som medfører at det er mindre H₂ tilgjengelig for dannelsen av CH₄.

5.4 Praktiske erfaringer ved bruk av biokull i husdyrrom i Norge

Inkludert i denne seksjonen finner vi erfaringer fra husdyrrom. Dette inkluderer utprøvinger, resultater fra utprøvinger og erfaringer fra bønder og praktisk utprøving med biokull i husdyrrom i regi av prosjektet «Praktisk implementering av biokull i landbruket». Dette er gjort i stor skala og er helt unikt i sitt slag. Etter vår viten er det ikke gjort tilsvarende praktiske utprøvningsprosjekter på biokull i husdyrproduksjon hverken i Norge eller internasjonalt.

5.4.1 Smågris og gris

Hos smågris ble det gjennomført utprøvinger i tre besetninger hvor det har vært utfordringer knyttet til avvenningsdiaré. Hos disse besetningene har det blitt testet ut to metoder for fôring med biokull:

1. biokull som fôrtilskudd hvor biokull er strødd på kraftfôret
2. gjennom kraftfôr tilsatt biokull fra leverandør.

Resultater fra begge metoder ga positive resultater ved tilleggsfôring med biokull.

I utprøving hvor biokull ble strødd over kraftfôr ble biokullet blandet med kraftfôr gjennom en kraftfôrautomat. Det ble gjort to innsett hos produsent ved test av denne fôringsmetoden. Ved innsett 1 ble det påvist diaré hos smågris som ikke var fôret med biokull 10 dager etter avvenning, hos besetning fôret med biokull var avføringen fast og fin. 14 dager etter avvenning ble det observert diaré hos begge besetninger. Det ble ikke registrert forskjell i vekst mellom besetninger. Verdt å merke seg var differansen på tapsprosent i perioden; 0,9 prosent i besetning fôret med biokull og 5,2 prosent i kontrollbesetning. Ved innsett 2 hos samme produsent ble smågris fôret med biokull i hele

smågrisperioden. Det ble ikke registrert diaré eller andre forskjeller mellom grupper fôr med og uten biokull.

I utprøving hvor gris ble fôret med kraftfôr tilsatt biokull fra leverandør ble det gjort ett innsett. Her fikk en halve besetningen fôr med biokull og andre halvdel fôr uten biokull. Begge grupper hadde fri tilgang på fôr. Etter 14 dager var det ikke registrert diaré i binger med biokull. I binger uten biokull ble det registrert diaré. Smågris i bingen uten biokull ble oppfattet som litt pjuskete. Resultatene kunne også vise til at smågris fôret med biokull i snitt veide 1 kg mer ved salg enn smågris ikke fôret med biokull.

Vi har også snakket med en bonde som var tidlig ute med å teste bruk av biokull til fôring av gris. Her ble 1-2 prosent biokull tilsatt i våtfôret og det var utfordringer med å skru biokullet inn i automat for innblanding. Biokullet var ikke finkornet. Det var god helse i grisebesetningen fra fôr, så det ble ikke observert hverken positive eller negative effekter ved tilskuddsfôring med biokull.



Figur 9. Biokull i strø hos smågris. Foto: Oplandske Bioenergi

5.4.2 Kylling og høns

Bruk av biokull i kyllingproduksjon er testet i tre besetninger, både i fôr og i strø (Fig. 10). Resultater fra utprøvingene kan vise til bedre strø- og luftkvalitet ved bruk av biokull, lavere dødelighet og lik eller lavere tråputepoeng. Lavere tråputepoeng er bra for kyllingen. Hos kylling er det flere faktorer som bør undersøkes nærmere.

1. Hos en av produsentene ble det gjort praktiske utprøvinger i to omganger, hvor forsøk foregikk i to hus, ett med biokull og ett uten. I den første praktiske utprøvingen ble det registrert tørt strø i begge hus med en anelse bedre strø i biokull-huset. Det ble også registrert bedre luftkvalitet i biokull-huset. Fôrforbruket var høyere i biokullhuset, mens tilvekst var lavere. Dødeligheten i biokull-huset og kassasjon var lavere.
2. I den andre utprøvingen var det ingen tydelig effekt på innblanding av biokull i strø. I biokull-huset ble det registrert noe lavere vekt enn kylling i kontroll-hus. Det ble ikke registrert forskjell i dødelighet mellom biokull- og kontroll-hus. Det ble registrert noe høyere kassasjon i biokull-hus enn kontroll-hus.
3. Hos en annen produsent ble det gjennomført praktisk utprøving i ett hus hvor innsett med biokull ble sammenlignet med tidligere innsett. Strøet hos innsett med biokull var grålig i fargen og det ble registrert mindre fukt i huset. Produsenten pleier å måtte bruke jordfreser i huset flere ganger i løpet av et innsett på grunn av fukt. I biokullinnsett ble jordfreser kun brukt 2 ganger. Strøkvaliteten var meget god helt fram til slaktning. Vannforbruket var noe høyere i biokull innsett, og det var god appetitt hos kylling.

Vi har også snakket med en bonde som har testet ut bruk av biokull hos verpehøns i eget hus. Her ble tørt biokull spredt i huset for hånd. Dette er ikke en ideell metode for bruk av biokull i hønsehus da hønene virvlet opp det tørre biokullet, og det resulterte i sorte høner og sorte egg.



Figur 10. Biokull i kyllinghus. Tilsatt i kraftfôr-blanding og på strø. Foto: Oplandske bioenergy

5.4.3 Kalkun

Hos kalkun er det gjennomført flere utprøvinger:

I ett hus ble det tilsatt biokull i fôret i en besetning og effekt ble sammenlignet med tidligere innsett. Det ble registrert lavere dødelighet og bedre fôrutnyttelse i besetning fôret med biokull enn i besetning uten biokull i fôret.

Denne praktiske utprøvingen ble gjennomført i monensinfri (antibiotika) besetning. I disse flokkene er det fordelaktig med høy luftfuktighet for å stimulere til vekst av koksidier (parasitter) i strø, for å framprovosere en naturlig immunisering av dyra mot koksidiøse (tarmsykdom). I biokull-besetning ble det derfor brukt et befuktningsanlegg for å øke fuktigheten i huset de første ukene. I motsetning til kontroll-besetning ble det ikke oppnådd naturlig immunisering i biokull-besetning til tross for befuktningsanlegg. Normalt er det positivt med tørt strø, men ikke i dette spesifikke tilfellet. Det er planlagt flere utprøvinger på kalkun hvor biokull vil tilføres på et senere tidspunkt etter naturlig immunisering (etter uke 6).

En produsent la en tykk ranke av biokull da dyra var 4-5 uker gamle. Kalkunene herjet med biokullet, og etter kort tid var hele rommet fylt av støv. Etter å ha luftet ut rommet var kalkunene gråsvarte, og huset var støvet ned av biokull. Produsenten ønsket ikke å bruke biokull videre.

Hos en tredje produsent ble biokull tilsatt i strøet først i 6. leveuke. Biokull ble strødd samtidig med flis. Dette hjalp mot skorpedannelse i flisa som tidligere har vært et problem hos denne produsenten. Produsenten fortsatte å spre biokull der det var størst belastning på strøet med fukt og vann, og hadde positive erfaringer. Tråputeresultatene til produsenten hadde aldri vært bedre.

Denne produsenten slet også med støv i huset, og påpekte at biokullet var for finmalt. Et tips var grovere struktur (1-3 cm) som ville kunne fungere som miljøberikelse for kalkunene og støve vesentlig mindre. Produsent uttrykte ønske om et ferdig strøprodukt hvor flis og biokull er blandet sammen.

5.4.4 Kopplam

Hos kopplam ble det gjennomført utprøvinger i to besetninger. Testene på kopplam var mindre kontrollerte enn utprøvinger hos smågris, kylling, kalv og kalkun. Effekter er basert på observasjoner fra bonden. Felles for begge besetninger var at utprøvinger ble utført i to binger, en med biokull og en

uten. I testene ble biokull forsøkt blandet i melk, noe som var utfordrende fordi biokullet som ble brukt ikke var finmalt nok og tettet igjen smokker. Utprøving på fôring med biokull ved å strø det over kraftfôr viste ingen tydelig effekt. Biokullet drysset gjennom fôrtrau og la seg på bunnen. Forekomst av diaré i begge binger. Det ble også testet fôring med biokull på senere tidspunkt på beite hvor lammene kunne forsyne seg selv. Her ble det ikke observert diaré.

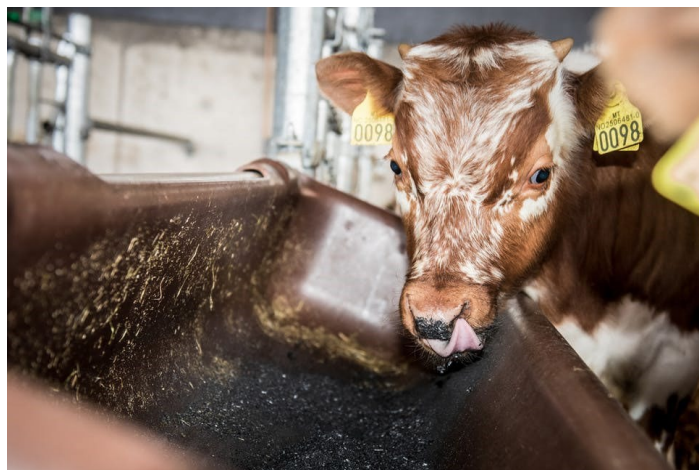
5.4.5 Melkekyr og kalv

Hos kalv ble det utført tester i 3 besetninger hvor biokull ble blandet inn i melkepulver eller gitt i trau hvor kalven hadde fri tilgang. Erfaringer fra denne utprøvingen hos kalv tilsier at biokull bør være helt finmalt dersom det skal tilføres via melk, ellers er det en risiko for at biokullet tetter slanger. Hos kalver med fri tilgang på biokull så det ut til at kalven forsynte seg ekstra med biokull i perioder de trengte det, eksempelvis i perioder med diaré. Hos en av produsentene ble praktisk utprøving gjennomført i en besetning med svært god helse fra start. Resultatene viste noe lavere tilvekst i gruppe gitt biokull og noe mer diaré. Resultatene fra denne utprøvingen ga lite sammenlignbare resultater mellom gruppene fôret med og uten biokull. Det var ulik størrelse på de to gruppene. I tillegg hadde bonden kun én kraftfôrautomat og de to gruppene ble fôret og målt ved ulike perioder.

Hos en annen produsent var tilveksten noe høyere hos kalv fôret med biokull og det ble ikke registrert noe diaré i denne gruppen. Denne produsenten hadde to kraftfôrautomater så her ble biokull-gruppe og kontroll-gruppe fôret på samme måte og over samme periode. Dette gir mer sammenlignbare resultater enn hos den første produsenten. I denne besetningen var det varierende antistoffstatus hos kalver ved teststart, dette gir grunnlag for å observere tydeligere effekter. Produsenten var meget fornøyd med resultater fra fôring med biokull og ønsket å fortsette med dette.

Hos tredje produsent var antistoffstatus i besetningen ved teststart varierende og det er også her større mulighet for å få resultater fra utprøving. Det ble observert høyere tilvekst hos kontrollgruppe enn hos biokullgruppa. I denne utprøvingen ble det ikke samlet inn data på diaré. Også hos denne produsenten var det kun én kraftfôrautomat og resultatene er derfor mindre sammenlignbare mellom biokull- og kontrollgruppe.

Det er også utført tester hos melkekyr hvor biokull er tilsatt kraftfôr fra leverandør (Fig. 11). Resultatene fra fôringstester hos melkekyr har vært utfordrende å tolke. Det er ikke observert negative effekter på dyrehelse eller produksjon ved tilleggsfôring med biokull og det var ingen utfordringer i tilvenningsperioden. Indikasjoner på lavere kraftfôrforbruk hos biokull-kyr, kan tyde på bedre fôrutnyttelse, men dette må undersøkes nærmere. Observasjoner fra gjødselsiling kunne tyde på bedre fiberfordøyelighet hos kyr fôret med biokull, men også dette må undersøkes nærmere.



Figur 11. Selvregulerende inntak av biokull. Foto: Oplandske bioenergi.

I forbindelse med en studentoppgave ved Sveriges landbruksuniversitet (SLU) ble det utført en større utprøving på bruk av biokull i halmseng i fjøs (kyr). Biokull ble spredt manuelt for hånd over hele arealet på 250 m² før halm ble lagt over biokullet. Totalt spredte bonden 4 tonn biokull i løpet av året. Dette var tidkrevende arbeid og det ble mye støving ved spredning av tørt biokull. Mindre utfordring med støving jo større partikkelstørrelse på biokullet. Bonden hadde forventet at biokullet skulle farge av og støve ned kyrne, noe han ikke kunne se noen tegn til ved bruk. Bonden erfarte en tørrere halmseng og mindre lukt i fjøset. I løpet av utprøvingen målte de ammoniakkutslipp fra halmsengen. En ammoniakkreduksjon tilsvarende 20% forklarer redusert lukt i fjøset.

6 Muligheter for videre utprøving

6.1 Mulighet for bokføring av C-binding med biokull i Nasjonalt klimaregnskap

I IPCC sitt «2019 refinement» dokument åpner de for at hvert enkelt land utvikler en Tier 2 protokoll som vil (ved godkjenning av IPCC) tillate bokføring av biokull som karbonlagring i de nasjonale klimaregnskapene (IPCC, 2019). NIBIO startet arbeidet med utvikling av en Tier 2 protokoll i 2022 og har nylig levert en notat til Landbruksdirektoratet som skisserer en fremgangsmåte. Hvis biokull offisielt kan telles i klimaregnskapet vil det kunne regnes mot landbrukets klimagassutslipp.

6.2 Klimatilpasning i jordbruket

I motsetning til store klimaprojekter som «Langskip», som kun har en klimagassreducerende effekt (fangst og lagring av CO₂ under bakken), vil satsning på karbonbinding i jord ved bruk av biokull også bidra til klimatilpasning av norsk jordbruk. Det er forventet at klimaendringer vil endre værmønstre. f.eks. nedbørfrekvens, varighet, og styrke (Miljøstatus, 2022), noe som kan føre til reduserte avlinger forårsaket av flere og lengre perioder med tørke og/eller vannmettet jord. Som dokumentert i denne utredningen viser forskning at biokull kan bidra til å øke vannlagringsevnen i tørkeutsatt jord og øke drenering og erosjonsstabilitet i jord som er utsatt for pakking og vannmetning.

6.3 Karbonbindingstilskudd via Bionova og/eller Regionalt Miljøprogram

Regjeringen har etablert et nytt statlig organ – Bionova - som skal ha som mandat å finansiere klimatiltak i landbruket. I regjeringens budsjettforlik med SV kom det fram at «Bionova skal bidra til utvikling av næringsvirksomhet i Norge, reduksjon i utslipp av klimagasser og særlig binding av karbon» (Regjeringen, 2022b). Som belyst i denne rapporten, bidrar biokull til alle disse tre målene, og er derfor en sterk tiltakskandidat for Bionova. Regionalt Miljøprogram (RMP) er en alternativt finansieringskilde for karbonbinding med biokull. Trøndelag fylkeskommune gjennom sitt «Karbon i jord» prosjekt finansiere opptil 20 bønder et tilskudd av 3000 kr/daa (opp til maks 10 daa per gård) for bruk av biokull i skarp sandjord (Statsforvalteren, 2022). Pilot prosjektet i Trøndelag høster erfaringer som kan være nyttig i utforming av RMP tilskudd rettet mot bruk av biokull.

6.4 Demonstrasjon og videre utprøving på landbruksskolene

I jobben med utredningen har det blitt tydelig hvilken rolle de landbruksfaglige skolene spiller i å øke erfarings- og kunnskapsgrunnlaget knyttet til praktisk bruk og produksjon av biokull i norsk landbruk. Vi beskriver her noen av de erfaringer og prosjekter som så langt har blitt satt i gang på disse landbruksskolene, og mener at de er en mulighet for videre demonstrasjoner og utprøving i 2022.

6.4.1 Kalnes videregående skole

Kalnes videregående skole er en av Norges største landbruksskoler. Skolegårdsbruket har ca. 1450 daa dyrket mark og fjøs med 170 dyr, og alt er økologisk drevet.

Sesongen 2021 var skolen arena for et demo-gjødslingsfelt hvor bygg ble sådd i felt med ladet biokull, uladet biokull, bløtgjødsel/gylle og kontrollfelt. Demofeltet var en del av et større Interreg-prosjekt hvor flere av landbruksskolene i Viken har vært involvert i ulik grad.

I forbindelse med dette prosjektet ble det laget en informasjonsfilm om produksjon av biokull. Denne filmen og selve demofeltet har inngått i undervisningen ved skolen. Videoen kan ses her: <https://youtu.be/ActicZV5YgA>



Figur 12. A) Blanding av biokull med husdyrgjødsel. B) Demonstrasjonsfelt med fire ulike behandlinger. Foto: Klima Østfold/Statsforvalteren i Oslo og Viken for Interreg-prosjektet «Steg mot et klimanøytralt landbruk».

6.4.2 Sogn jord- og hagebruksskule

Sogn jord- og hagebruksskule (SJH) er en liten økologisk videregående skole i landbruksfag med omkring 50 elever. I 2020 gikk Aurland kommune til innkjøp av to små batch-pyrolyseenheter av typen Kon-Tiki som i dag står ved Sogn jord- og hagebruksskule. Disse to pyrolyseenhetene ble anskaffet i forbindelse med klimasatsprosjektet «Bruk og produksjon av biokol på gardsskala».

Ved skolen har de produsert biokull i Kon-Tiki anleggene som har vært flittig brukt i undervisningsøyemed. Biokull har blitt tilsatt i kompost og noe har blitt blandet inn i skolens gjødselkum. Skolen skal i større grad implementere biokullet i husdyrproduksjon, og skal i neste omgang teste bruk av biokull som strø i gjødseltråkket i fjøset. På denne måten blir biokullet automatisk skuffet ned i gjødselkummen.

Når SJH begynte å produsere eget biokull oppstod det tidlig utfordringer med knusing av biokullet. Siden biokull ble laget av park- og hageavfall var biokullbitene altfor store til å kunne spres med gjødsel i gjødselvogn. Skolen brukte mye tid og ressurser på å snakke med aktører i bransjen for å oppdrive kunnskap om metode for knusing av biokull. Metoden som ble anbefalt var pakking i presenning og å kjøre over med traktor.

Skolen kom selv opp med idéen om å teste ut en elektrisk kompostkvern for knusing av kvist. Med noen justeringer viste dette seg å være en svært effektiv og lite kostbar metode for å knuse større mengder biokull på kort tid (Fig. 13).



Figur 13. fra venstre A) Kon-Tiki enhet for produksjon av biokull, B) Kompostkvern brukt til knusing av biokull. C) Biokull fra park- og hageavfall. Bilder: Sogn Jord- og Hagebruksskole

6.4.3 Val videregående skole

Val skoler AS er en privat naturbruksskole som ligger i Nærøysund, Nord i Trøndelag.

Bioøkonomi er helt sentralt ved skolen som har en tett tilknytning til oppdrettsnæringen. I 2020 inngikk skolens FoU-enhet et samarbeid med lokalt næringsliv for å utvikle et blå-grønt samarbeid knyttet til produksjon av biokull fra fiskeslam. I tillegg til dette prosjektet har skolen hatt flere potteforsøk med biokull som har vært en del av undervisningen.

I 2020 ble Val vgs arena for videre føringstester i besetning av melkekyr. I tillegg til å måle melkemengde, fettprosent, protein, celletall og undersøkelser av gjødsel, skal metanutslipp fra besetninger føret med og uten biokull måles.

6.4.4 Mære landbruksskole

Mære landbruksskole i Trøndelag, også kjent som Nullutslippsgården, er kanskje en av landets mest innovative videregående skoler når det kommer til klimateknologi og løsninger. I 2019, innvilget Trøndelag fylkeskommune 5 millioner kroner til Mære LBS til etablering av et pyrolyseanlegg for produksjon av biokull. Etableringen av et pyrolyseanlegg ved skolen er knyttet til Fylkeskommunens prosjekt “Karbon i jord” hvor målet er å øke kunnskap om karbonbinding i jord. Lokale bønder er involvert i prosjektet. Prosjektet har også presentert en pilot-støtteordning for ulike karbonbindende tiltak i jord, inkludert biokull. I tillegg til å planlegge etablering av et pyrolyseanlegg ved landbruksskolen, har skolen et tett samarbeid med lokale forskningsinstitusjoner som NIBIO, NTNU og SINTEF. Et eksempel er prosjektet RESTORE hvor biokull sees i sammenheng av å utnytte organisk avfall fra landbruket på en mest mulig bærekraftig måte.

6.4.5 Skjetlein og Øya VGS Trøndelag

Vi har ikke snakket med Skjetlein eller Øya landbruksskoler i denne utredningen, men vi er kjent at de er med i *Karbon i Jord* prosjektet i Trøndelag, ledet av statsforvalteren. Både Skjetlein og Øya VGS er aktive med formidling av biokull til bønder i Trøndelag og skal i gang med utprøving av biokull og kompostprodukter fra JordPro AS i Trondheim.

7 utfordringer, potensielle farer og barrierer for bruk

7.1 Økonomi

Den høye kostnaden av biokull er noe som ofte nevnes som en barriere for videre bruk. En undersøkelse (Strøm-Prestvik og Lilleby, 2021) utført av NIBIO i regi av forskningsprosjektet CarboFertil (2018-2021) konkluderte at:

“Jordbrukssektorens betalingsvillighet for ubehandlet biokull blir oppgitt som en av de viktigste barrierene for oppskalert produksjon og bruk av biokull i jordbruket i dag. For jordbruket er det i dag to biokullprodukter under utvikling som kan vise seg å bli lønnsomme for biokullprodusentene: biokull i dyrefôr og gjødselblanding med biokull. Dette forutsetter at disse produktene gir bonden en merverdi i form av forbedret dyrehelse og økt jordkvalitet med avlingsøkning og/eller kostnadsbesparelser. Basert på det foretakene oppgir vil vi anslå at markedsprisen på ubehandlet biokull vil ligge på over kr 8000 per tonn. Den høye prisen gjør at det trolig vil være en liten mengde biokull som ender opp i jord gjennom disse produktene. Disse produktene vil gjøre at biokull ender i jordbruksjord, men i såpass små mengder at det på kort sikt ikke vil utgjøre et stortiltet karbonlagringstiltak i jordbruket... Selv om det er forventet at biokull har positive effekter både i dyrefôr og i gjødselblanding, har ikke den enkelte gårdbruker direkte nytte av karbonlagringen som biokullet bidrar med.... En sentral barriere for økt etterspørsel etter biokull i landbruket er mangel på økonomiske virkemidler. Et karbonlagringsstilsjudd av en viss størrelse er antakelig det som må til for at biokull skal kunne bli et storskala klimatilskudd i jordbruket, selv om vi forventer at enkelte biokullprodukter vil kunne bli lønnsomme for sluttbrukeren.”

I forbindelse med CarboFertil prosjektet har NIBIO utført en spørreundersøkelse blant et statistisk utvalg av norske bønder. Resultatene fra undersøkelsen viste at 55 % av plantedyrkere og 41% av husdyrbønder var villige til å bruke tid og penger på tiltak for å øke moldinnholdet i jorda. Videre svarte 60 og 56 % av bøndene i de to gruppene at de var interessert i å ta i bruk biokull i gårdsdrifta dersom de agronomiske fordelene er større enn kostnader forbundet med tiltaket.

Kostnader knyttet til biokull som tiltak er i størst grad styrt av markedspris på biokull. I Klimakur 2030 er tiltakskostnad knyttet til karbonlagring i biokull estimert å ha en kostnad på <500 kr per tonn CO₂. Denne verdien sammenfaller ikke med dagens markedspriser på biokull og gir ikke et reelt bilde av biokulls tiltakskostnad. I Klimakur er biokull som klimatilskudd beregnet til <500 kr per tonn CO₂. CarboFertil viser, som nevnt over, at kostnaden per tonn biokull ligger over 8000 kr per tonn biokull. Prisen pr tonn CO₂ blir mer enn 2700 kr, gitt at 1 tonn biokull lagrer 3 tonn CO₂. Basert på denne markedsprisen vurderer NIBIO tiltakskostnaden som høyere enn tiltakets merverdi. Dette er basert på dagens kunnskap og markedssituasjon.

Uten tilskudd, vil bruk av biokull i planteproduksjon være avhengig av hvorvidt biokull kan føre til en økning i avlinger. Tabell 1 viser tilbakebetalingstid (år) for ulike scenarier hvor biokull fører til en avlingsøkning i bygg, potet, eller gulrot.

Tabell 1. Tilbakebetalingstid (år) på innkjøp av 1 tonn biokull dersom biokull fører til enten en 2, 5, 10 eller 20% avlingsøkning per daa i bygg, potet, eller gulrot.

Avlingsøkning (%)	År (med Bygg)	År (med Potet)	År (med Gulrot)
2	350	25	10
5	140	10	5
10	70	5	2
20	35	2	1

Regnestykket forutsetter at bønder kjøper 1 tonn biokull til dagens markedspris (8000 kr/tonn) og tilfører det til et dekar dyrkingsareal. Regnestykket viser at selv med en 20% avlingsøkning vil det tar over 30 år for en kornbonde å tilbakebetale investering i biokullet. Dette svært enkelt regnestykket illustrerer at det sannsynligvis er stort spenn i tilbakebetalingstid for innkjøp av biokull mellom produsenter. Bønder som driver ensidig kornproduksjon og som ikke har tilgang til husdyrgjødsel, har trolig størst behov for økning i moldinnhold i jord som biokull kan gi, men minst økonomisk insentiv til å ta det i bruk dersom det ikke gis tilskudd.

Tilbakebetalingstid kan reduseres ved at man bruker mindre mengder av biokullgjødelse som har bedre virkning, ved at markedsprisen på biokull blir lavere, ved at boden motta tilskudd for karbonlagringseffekten, ved at biokull fører til en redusert behov for gjødelse, eller en kombinasjon av disse faktorene. Bruk av biokull i gjødelse (kombinert med næringsstoffer) vil også bidra til en betydelig karbonlagringseffekt over tid. Selv om biokullgjødelse brukes i små mengder, f.eks. 150 kg biokull per daa per år, blir den akkumulerte effekten fort betydelig, tilsvarende 1,5 t/daa etter 10 år. Fortsatt er det usannsynlig at et «vinn-vinn» scenario, med både avlingsøkning og karbonlagring, kan oppnås uten en form for tilskudd.

Mens produktutviklingen fortsetter, har det i de siste årene kommet flere private initiativ og plattformer for kjøp og salg av karbonbindingssertifikater. Eksempler på etablerte plattformer er Puro.earth og Carbon Future. På grunn av biokullets lagringsstabilitet og høye karboninnhold (karbonbindingspotensial) er biokull et attraktivt tiltak for selskaper som etterspør karbonbindingssertifikater. Selskaper, som Microsoft har kjøpt og etterspør karbonbindingssertifikater knyttet til biokull. På disse plattformene selges karbonbindingssertifikater for mellom 100-500 € per tonn CO₂-ekvivalenter. Med utgangspunkt i dette er markedsverdien for karbonbinding i biokull på det private markedet verdsatt til mellom 300-1500 € per tonn biokull (3033-15.168 NOK), gitt at det lagres ca. 3 tonn CO₂ pr tonn biokull.

7.2 Risiko angående negative effekter ved bruk av biokull

Fremtidige forsøk og uttesting i Norge bør unngå negative helse- og miljøkonsekvenser som kan oppstå under ulike scenarioer ved bruk av biokull. Det følgende er en kort beskrivelse av hva man burde være oppmerksom på.

7.2.1 Tungmetaller

Gjødselvarselsforskriften setter kvalitetskrav for gjødselvarer av organisk opphav. Lavt tungmetallinnhold i henhold til grenseverdier som er beskrevet i Gjødselvarselsforskriften er en forutsetning for at biokull kan tilsettes matjord og i grøntanlegg. Selv om biokull ikke er nevnt direkte i forskriften, refererer teksten til «produkter fra forbrenning». Dette tolkes til å omfatte biokull i og med at både forbrenning og pyrolyse er termiske prosesser som oppkonsentrerer tungmetaller i aske og faste fraksjoner som biokull. Tungmetallinnholdet er hovedkriteriet som avgjør om, hvor og hvor mye

en gjødsel eller et jordforbedringsmiddel av organisk opphav som kan brukes. Per i dag er det særskilte regler for bruk av slam fra renseanlegg og biogassanlegg. Pyrolysebehandling av avløpslam skjer ved en høy temperatur hvor man kan fjerne både smittestoffer, mikroplast, og organiske. Nyere forskning (Buss et al., 2020) viser også at kaliumtilsetning til avløpslam før pyrolyse kan øke tilgjengeligheten av fosfor betraktelig, noe som tidligere har vært en utfordring når man pyrolyserer P-rikt slam. Biokull laget av returtre fra byggebransjen har vist seg å inneholde høye nivåer av sink, selv etter magnetstyrt fjerning av metaller. Dette skyldes sinkbelagt spiker og stift som kan sitte i returtre (Sørmo et al., 2020). For landbruksformål kreves råstoff med lave nivåer av tungmetaller for å produsere rent biokull som er egnet for bruk på matproduserende jord. Fiskeslam er en annen avfallsstrøm som vurderes som et mulig biokullråstoff, men også dette kan inneholde høye nivåer av sink som vil oppkonsentreres i biokull.

7.2.2 Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)

Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) er en potensiell forurensning i biokull, og dette bør analyseres før et bestemt biokull anses som egnet for bruk på jordbruksjord. PAH er en gruppe tungt nedbrytbare organiske forurensninger som produseres fra ufullstendig forbrenning av fossilt brensel eller biomasse. Kilder inkluderer industri, forbrenning og skogbranner. Langvarig eller høy eksponering for PAH kan øke risikoen for kreft eller fødselsskader. PAH-innholdet i biokull kan variere stort i publisert forsøk (< 0.1 to $> 10,000$ mg/kg) (Wang et al. 2017) og påvirkes av en kombinasjon av faktorer, som råstofftype, råstoff-fuktighet, reaktortemperaturer, oksygentilgang, pyrolysetype (batch kontra kontinuerlig) (Hale et al., 2012; Rollinson, 2016). PAH-innhold i biokull kan reduseres drastisk ved å øke bæregasstrømmen i pyrolysereaktoren (Buss et al., 2016). Buss et al. (2016) konkluderte med at reaktordesign og hvordan pyrolyseprosessen styres har mye å si for PAH-dannelse. Det er ingen forskrift om PAH for biokull i norsk lov, men forurensingsforskriften anser en jord som "forurenset" hvis den inneholder mer enn 2 mg kg^{-1} TS. Forskere og industrirepresentanter har vært proaktive for å utvikle frivillige industristandarder for bærekraftig produksjon av biokull. Dette er detaljert beskrevet i det europeiske biokullsertifikatet (EBC, 2012), som setter strenge frivillige standarder for biokull avhengig av tiltenkt bruk som fôr og jordforbedring. Grensen for PAH $\Sigma 16$ PAHs for landbruksbiokull i EBC er 6 mg kg^{-1} og for dyrefôrbiokull er grensen 4 mg kg^{-1} (EBC, 2012). Som et eksempel, har NIBIO sett et analyse rapport fra de biokull fra treflis som er laget av en kommersielle produsent i Norge og $\Sigma 16$ PAH innhold var 5.5 mg kg^{-1} . I andre ord, biokull som selges i dag i markedet er av tilfredsstillende kvalitet. Likevel, det anbefales at PAH innhold i biokull er analysert regelmessig av biokull produsenter før salg, særlig når nye og ukent råstoff er benyttet.

7.2.3 Dioksiner

Dioksiner kan oppstå i biokull når prosess temperaturen er for lav og/eller når råstoff inneholder klor. Klor finnes i råstoff hvor innholdet av NaCl er høyt, som f.eks. matavfall, fast fraksjon av bioest (hvis det er laget av matavfall) (Hale et al. 2012) og særlig fiskeslam fra saltvannsanlegg. Bortsett fra biokull fra matavfall var biokull fra 14 råstoff lavere enn svenske grenseverdier for dioksiner (250 pg g^{-1} TEQ) (Hale et al. 2012). En rapport fra NIBIO (Joner et al., 2015) konkluderte at det var svært lave nivåer av dioksiner i flyveaske og bunnaske fra biobrenselanlegg, og at «eksisterende kunnskap gir liten grunn til en restriktiv holdning til bruk av organisk avfall og aske som gjødsel eller jordforbedringsmidler». Dioksininnhold i biokull er ikke vanligvis et problem, men burde sjekkes om råstoff har høyt Cl-innhold som utgangspunkt.

7.2.4 Tap av biokull til vassdrag

Feltforsøk med biokull på Ås gjennomført i flatt terreng viser at opptil 22-31% av biokullet ble transportert nedover i jordprofilen til 23-60 cm dybde, 0-21% beveget seg horisontalt innenfor 9 m av rutegrensen, og 4% av biokull-C ble mineralisert som CO₂. Etter 5 år gjenfant vi 92-107% ± 6% av tilført biokull, og dermed konkluderte vi at selv om biokull til en viss grad flyttet seg både vertikalt og horisontalt var det liten risiko for fysiske tap av biokull i flatt terreng, særlig når biokullet er godt innarbeidet i jorda (O'Toole, 2021). I hellende terreng har vi ingen data fra Norge for å si hvor mye biokull som fysisk vil transporteres bort fra jorda til vassdrag. Vi har også lite kunnskap i Norge om hva man kan forvente av effekter av biokull i vannmiljøet.

7.2.5 Metanutslipp fra lagret husdyrgjødsel?

Biokull er en lovende tilsetning for biogassreaktorer, og forskning har så langt vist at biokull kan øke metanproduksjonen. Det er flere årsaker til dette, inkludert at biokull kan redusere den hemmende effekt av NH₃, da stor spesifikk overflate i biokull fører til dannelse av mer mikrobiell biofilm, som igjen skaper et stabilt miljø for høyere CH₄-produksjon (Kumar et al., 2021). Hvis biokull kan øke CH₄ i en biogassreaktor er det sannsynlig at det også vil øke CH₄ i en gjødselkum under anaerobe forhold. En økning i metan på 54-82% ble målt av Meirikhanuly et al. (2020) der to typer biokull var blandet med grismøkk. Metanutslippet var lavere enn i kontrollbehandlingen når biokull dannet et flytelag oppå møkka, og høyest når biokullet bunnfelle i grismøkka.

7.2.6 Udokumentert biokull og produksjonsutstyr

Med den høye markedsprisen på biokull ser vi allerede tegn bl.a. via sosiale medier til at utenlandske aktører tilbyr relativt billigere biokull til norske kunder. Mens det finnes frivillige ordninger i Europa for kvalitetsikring av biokull (European Biochar Certificate), finnes det ingen norsk regulering eller sertifisering av biokull, bortsett fra grenseverdier for tungmetaller i hht. Gjødselvereforskriften. Det er mulig at billigere biokull importeres uten at produksjonsprosessen dokumenteres. Dette kan skade tilliten til biokull som klimatiltak dersom man i ettertid finner ut at slikt importert biokull har lav kvalitet.

Med høy markedspris vil det også oppstå et økonomisk insentiv for forbrukere av biokull til å produsere det selv vha. enkelt og billig produksjonsutstyr. Selv om det kan lages rent biokull med enkelt utstyr (f.eks. Kontiki kilns), kan det skje utslipp av partikler, NO_x og CH₄ om man er ikke har erfaring med pyrolyse eller hvis det brukes fuktig biomasse (skaper mye røyk). Cornelissen et al. (2016) viste at utslipp fra Kontiki kilns i Nepal kan være relativt lave sammenlignet med tradisjonelt utstyr for produksjon av trekull, men det er ikke gjort utslippsmålinger for slikt utstyr i Norge med de antatt fuktigere råstoffene som kan være tilgjengelige her.

8 Konklusjoner

Basert på innhenting og oppsummering av kunnskap både fra forskning og praktisk utprøving, presenterer vi følgende konklusjoner om anvendelse av biokull i landbruket:

- Det forventes ingen direkte avlingsøkning ved bruk av biokull i ubehandlet form når det er brukt i vanlig, god landbruksjord i Norge.
- Biokull gir effekter for jordforbedring, inkludert økning i vannlagringsevne i sandjord og økt vanntransport i leirjord, men relativt store mengder (>1 t/daa) trengs for å oppnå dette. Kort tilbakebetalings tid på investeringen forutsetter en økning i avling og/eller tilskudd for karbonlagring.
- Flere forsøk har pågått der biokull er blandet med biorest og/eller husdyrgjødsel. Resultatene er varierende og flere undersøkelser viser potensielle farer for økte NH₃- og CH₄-utslipp hvis biokull bunnfelles i husdyrgjødsel eller biorest, eller hvis slike masser tørkes sammen med alkalisk biokull. Derimot viser biokull potensial for å redusere NH₃ og CH₄ hvis det inngår som en ingrediens i biofiltre, som en NH₃-scrubber, som komposttilsetning og muligens som flytedekke for husdyrgjødsel (forutsetter riktig teknisk løsning). Mer forskning og pratisk utprøving trengs her for å komme frem til løsninger som oppnår en ønsket gass-mitigerende effekt.
- Ubehandlet biokull har lavere absorpsjonsevne for næringsstoffer som nitrogen enn tidligere antatt, og det vil kreve etterbehandling for å oppnå et kull som absorberer tilstrekkelig N og P fra næringsrike medier (slam, biorest, kompost osv.) slik at det kan benyttes til kontrollert næringstilførsel til planter.
- Biokull kan forbedre komposteringsprosesser, men kompost med biokull gir ingen entydig effekt på avling ved bruk i plantedyrking sammenlignet med kompost uten biokull.
- Praktisk utprøving av biokull i husdyrhold viser noen fordeler som inkluderer redusert forekomst av diaré i smågris, redusert lukt, dødlighet og tråpute i kyllinghus, men ingen klare effekter for mjølkeku så langt. Flere forsøk anbefales for å sikre mer data.
- Biokulltilsetning i dyrefôr har hatt enten en liten reduserende effekt eller ingen effekt på CH₄-utslipp fra de fleste forsøk som gjort i både i utlandet og i Norge.
- Spredning av biokull med eksisterende utstyr virker uproblematisk så lenge biokull er fuktet i forveien. Biokullprodusenter bør vurdere å tilpasse sine produkter til utstyr som bonden har til rådighet.

9 Anbefalinger til videre forsøk og utprøving

9.1 Fyrtårn og living lab-prosjekt – Kunnskapscenter for biokull

Regionale fyrtårn (lighthouse) og levende laboratorier (living labs) er arenaer og verktøy for innovasjon, samarbeid, eksperimentering, testing og demonstrasjon av mulige løsninger under reelle forhold.

Norge bør utnytte mulighetsrommet som kommer ved EU Green Deal og den styrkede satsningen på matproduksjon og jordhelse. EU-kommisjonen har identifisert og presentert fem store samfunnsutfordringer hvor det er behov for konkrete og effektive løsninger innen 2030. Å løse disse samfunnsutfordringene blir omtalt som samfunnsoppdrag (Missions). Å sørge for matsikkerhet gjennom økt fokus på jordhelse og mat er et av de fem store samfunnsoppdragene. I perioden 2021 til 2023 er det satt av 320 mill. € til satsning på jordhelse og mat i Horisont Europa.

En «living lab» for biokull muliggjør samarbeid mellom relevante aktører (gårdbrukere, innovasjonsbedrifter, offentlig forvaltning, landbruksorganisasjoner) og forskningsorganer for å tette kunnskapshull og styrke utviklingen av biokull i norsk landbruk.

En «living lab» skal, i motsetning til et prosjekt, være noe som opprettholdes lenge.

Eksempler på oppgaver for et kunnskapscenter, «living lab», på biokull:

- Innhente nødvendige data og kunnskapsgrunnlag for å inkludere biokull i landbrukets klimakalkulator.
- Virkning av biokull på ulike jordtyper
- Utforske tilsetting av biokull i gjødsellagere, tilførselsmetode, tidspunkt og virkning.
- Utforske biokull i kompost
- Ringforsøk – hver gård er ett gjentak i statistisk analyse – muligens med samme jordtype for å redusere variabilitet

Vi anbefaler at det finansieres et forprosjekt hvor et norsk konsortium kan bygges for å utvikle dette biokull living lab-konseptet og søke støtte nasjonalt eller fra EU-midler for realisering.

9.2 Viktighet med dokumentasjon av «effekt»

I videre utprøving i Norge er det viktig at det er avsatt tilstrekkelig midler til å dokumentere effekt av biokull på agronomiske- og dyrehelseparametere. Utprøving bør foregå på steder hvor variabler kan kontrolleres eller tas høyde for. Forskere kan for eksempel samarbeide med landbruksskoler og NLR slik at forsøk blir satt opp på en realiserbar måte og at nødvendige analyser blir gjennomført. Bønder kan gjenta samme forsøk og innhente egne erfaringer, helst på en koordinert måte i regi av en «living lab» eller et utvidet ringforsøk. Dermed kan resultater på gårdene sammenlignes med de kontrollerte forsøk ved landbruksskolene for å optimalisere bruken av biokull under ulike produksjonsforhold. Hvis det er nok deltagende gårdsbruk i et koordinert ringforsøk hvor alle prøver ut de samme tingene, kan man sette opp hver gård som et forsøksjentak og dermed blir det mulig å analysere resultatene statistisk for å bekrefte om målte effekter av biokull er reelle.

Fyrtårn eller lighthouse er en arena for demonstrasjon, opplæring og formidling av løsninger.

Levende laboratorier, eller «living labs» er en arena for tverrsektorielt innovativt samarbeid og systematisk forskning.

9.3 Samarbeid med norske bedrifter som utvikler biokullprodukter

I den første fasen av forskning på biokull i Norge (2010-2019) har det hovedsakelig blitt brukt importert, ubehandlet biokull. Som det kommer fram i denne utredningen har bruk av biokull hatt en varierende agronomisk effekt som kan skyldes store variasjoner i kvaliteten av det biokullet som er brukt. Fram til nå har det vært lite fokus på bruk og utprøving av biokull skreddersydd til spesifikke bruksområder (eks. fôr, gjødselprodukt, vekstmedier). I dag finnes det flere kommersielle aktører som produserer biokull og utvikler biokullbaserte produkter til landbruket. Det er viktig at framtidig utprøving og implementering av biokull i Norge i større grad inkluderer standardiserte biokullbaserte produkter, spesifikt utviklet for tilsetning i fôr, gjødsel eller vekstmedier. Vi anbefaler at framtidige praktiske utprøvningsprosjekter i landbruket baserer seg på norskprodusert biokull og biokullbaserte produkter slik at effekter kan dokumenteres, videreutvikles og tilpasses spesifikke bruksområder. Slike spesialutviklede produkter burde tilpasses til eksisterende spredeutstyr som finnes på gårdene. Innkjøp fra norske biokullbedrifter bidrar også til oppnåelse av andre mål, inkludert økt verdiskapning innenfor bioøkonomien og opprettelse av flere grønne arbeidsplasser i distriktene.

9.4 Prioritert bruk av biokull i høy-verdi planteproduksjon på jord med lavt moldinnhold

Vi anbefaler at man i første omgang satser på bruk av biokull i kulturer med høy avlingverdi, f.eks. grønnsaker, bær, urter, osv., slik at avlingsøkning kan forkorte tilbakebetalingstiden for anskaffelse av biokull og redusere behovet for offentlig tilskudd. Biokull kan øke vannlagringsevnen i sandjord. Sandjord er ofte brukt i Norge til grønnsaksproduksjon med stort vannforbruk, og derfor kan biokull trolig bidra med besparelse i vanning.

9.5 Anbefalinger om biokull gjødsellager og gjødselvarer

Det anbefales mer forskning om GHG balanse når biokull er tilsatt til husdyrgjødsel og/eller biorest under lagringsperioden og ved bruk som flytedekke. Det anbefales testing av gjødselprodukter bestående av biokull, leire, og næringsstoffer og hvorvidt de fungerer både fra en gjødsling og jordhelse perspektiv.

9.6 Anbefalinger om biokull i kompost

Følgende anbefalinger gis om bruk av biokull i kompostering.

- Biokull laget av tre har ofte lav kalkingseffekt men bidrar positivt som et strukturmateriale i kompost, særlig ved kompostering av våte avfallstyper som matavfall, slam eller avvannet biorest.
- Biokull produsert ved temperaturer på 400-500 grader eller kjemiske forsuret biokull har større evne til å redusere tap av NH₃ under kompostering enn biokull laget ved temperaturer >500 grader
- Grovpartikulært biokull, eller biokull som granulat, bedrer strukturen i kompost og kan føre til reduksjoner i utslipp av metan og lystgass.

9.7 Anbefalinger om biokull i husdyrhold

Følgende anbefalinger gis om framtidig utprøving av biokull i husdyrhold.

- Måle drivhusgassbalanse for biokullanrikt husdyrgjødsel når det er tilsatt til jord.
- Fortsette med flere forsøk som dokumenterer effekt på dyrehelse når biokull er brukt i dyrefôr

- To tema som er påpekt for videre forskning er 1) hvorvidt bruk av forsuret biokull i fôr kan bidra til reduksjon i metanutslipp fra drøvtyggere? og 2) hvorvidt biokull kan være en effektiv behandlingsmetode for å begrense skadevirkning av alveld i sau [fra spising av giftige rome-planter (*Nartheicum ossifragum*) på beite]?

Referanser

- Ahmed, F., Arthur, E., Plauborg, F., Razzaghi, F., Kørup, K., Andersen, M.N., 2018. Biochar amendment of fluvio-glacial temperate sandy subsoil: Effects on maize water uptake, growth and physiology. *J. Agron. Crop Sci.* 204, 123–136. <https://doi.org/10.1111/jac.12252>
- Agyarko-Mintah, E., Cowie, A., Singh, B.P., Joseph, S., Van Zwieten, L., Cowie, A., Harden, S., Smillie, R., 2017. Biochar increases nitrogen retention and lowers greenhouse gas emissions when added to composting poultry litter. *Waste. Manag.* 61, 138-149.
- Alsewailah, A.S., Usman, A.R., Al-Wabel, M.I., 2019. Effects of pyrolysis temperature on nitrate-nitrogen (NO₃⁻-N) and bromate (BrO₃⁻) adsorption onto date palm biochar. *J. Environ. Manage.* 237, 289-296.
- Animalia, 2021. Kjøttets Tilstand. Status i norsk kjøtt- og eggproduksjon. Rapport. <https://www.animalia.no/globalassets/kjottets-tilstand/kt21-web-endelig.pdf>
- Archanjo, B., Mendoza, M., Albu, M., Mitchell, D.R., Hagemann, N., Mayrhofer, C., Mai, T.L.A., Weng, Z., Kappler, A., Behrens, S., 2017. Nanoscale analyses of the surface structure and composition of biochars extracted from field trials or after co-composting using advanced analytical electron microscopy. *Geoderma* 294, 70-79.
- Awasthi, M.K., Wang, Q., Ren, X., Zhao, J., Huang, H., Awasthi, S.K., Lahori, A.H., Li, R., Zhou, L., Zhang, Z., 2016. Role of biochar amendment in mitigation of nitrogen loss and greenhouse gas emission during sewage sludge composting. *Bioresour. Technol.* 219, 270-280.
- Awasthi, M.K., Wang, Q., Chen, H., Wang, M., Ren, X., Zhao, J., Li, J., Guo, D., Li, D.-s., Awasthi, S.K., Sun, X., Zhang, Z., 2017. Evaluation of biochar amended biosolids co-composting to improve the nutrient transformation and its correlation as a function for the production of nutrient-rich compost. *Bioresour. Technol.* 237, 156-166.
- Borchard, N., Schirrmann, M., Cayuela, M.L., Kammann, C., Wrage-Mönnig, N., Estavillo, J.M., Fuertes-Mendizábal, T., Sigua, G., Spokas, K., Ippolito, J.A., Novak, J., 2019. Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N₂O emissions: A meta-analysis. *Sci. Total Environ.* 651, 2354–2364. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.060>
- Brtnicky, M., Datta, R., Holatko, J., Bielska, L., Gusiatin, Z.M., Kucerik, J., Hammerschmiedt, T., Danish, S., Radziemska, M., Mravcova, L., Fahad, S., Kintl, A., Sudoma, M., Ahmed, N., Pecina, V., 2021. A critical review of the possible adverse effects of biochar in the soil environment. *Sci. Total Environ.* 796, 148756. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148756>
- Budai, A., Wang, L., Gronli, M., Strand, L.T., Antal, M.J., Abiven, S., Dieguez-Alonso, A., Anca-Couce, A., Rasse, D.P., 2014. Surface Properties and Chemical Composition of Corn cob and Miscanthus Biochars: Effects of Production Temperature and Method. *J. Agric. Food Chem.* 62, 3791-3799.
- Budai, A., Rasse, D.P., Lagomarsino, A., Lerch, T.Z., Paruch, L., 2016. Biochar persistence, priming and microbial responses to pyrolysis temperature series. *Biol. Fertil. Soils.* <https://doi.org/10.1007/s00374-016-1116-6>
- Buss, W., Graham, M.C., MacKinnon, G., Mašek, O., 2016. Strategies for producing biochars with minimum PAH contamination. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 119, 24–30. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.04.001>
- Buss, W., Bogush, A., Ignatyev, K., Mašek, O., 2020. Unlocking the Fertilizer Potential of Waste-Derived Biochar. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 8, 12295–12303. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c04336>

- Cao, Y., Wang, X., Bai, Z., Chadwick, D., Misselbrook, T., G. Sommer, S., Qin, W., Ma, L., 2019. Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions during solid waste composting with different additives: A meta-analysis. *J. Clean. Prod.* 235, 626-635.
- Cayuela ML, van Zwieten L, Singh BP, Jeffery S, Roig A, Sánchez-Monedero MA (2014) 728 Biochar's role in mitigating soil nitrous oxide emissions: A review and meta-analysis. 729 *Agric. Ecosyst. Environ.* 191: 5-16. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.009>.
- Chen, W., Liao, X., Wu, Y., Liang, J.B., Mi, J., Huang, J., Zhang, H., Wu, Y., Qiao, Z., Li, X., 2017. Effects of different types of biochar on methane and ammonia mitigation during layer manure composting. *Waste. Manag.* 61, 506-515.
- Chen D, Liu X, Bian R, Cheng K, Zhang X, Zheng J, Joseph S, Crowley D, Pan G, Li L. 2018. Effects of biochar on availability and plant uptake of heavy metals – a meta-analysis. *Journal of Environmental Management* 222:76-85.
- Li, S., Chen, G., 2019. Contemporary strategies for enhancing nitrogen retention and mitigating nitrous oxide emission in agricultural soils : present and future, *Environment, Development and Sustainability*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00327-2>
- Chowdhury, M.A., de Neergaard, A., Jensen, L.S., 2014. Potential of aeration flow rate and bio-char addition to reduce greenhouse gas and ammonia emissions during manure composting. *Chemosphere* 97, 16-25.
- Cornelissen, G., Pandit, N.R., Taylor, P., Pandit, B.H., Sparrevik, M., Schmidt, H.P., 2016. Emissions and char quality of flame-curtain “Kon Tiki” kilns for farmer-scale charcoal/biochar production. *PLoS One* 11, 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154617>
- Cottis, T., Solberg, S.Ø., Bakke Myrvang, M., Mousavi, H. 2022. Regionale gjødselressurser: Avlingseffekt av biokull i blanding med biorest. Resultater fra Høyskolen i Innlandet arbeid i 2021. Skriftserien 4 – 2022. IS, <https://hdl.handle.net/11250/2977151>
- Dougherty, B., Gray, M., Johnson, M.G., Kleber, M., 2017. Can Biochar Covers Reduce Emissions from Manure Lagoons While Capturing Nutrients? *J. Environ. Qual.* 46, 659–666. <https://doi.org/10.2134/jeq2016.12.0478>
- EBC, 2012. “European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar.” Version 9.2E of 2nd December 2020. Arbaz, CZ.
- Garbuz, S., Mackay, A., Camps-Arbestain, M., DeVantier, B., Minor, M., 2021. Biochar amendment improves soil physico-chemical properties and alters root biomass and the soil food web in grazed pastures. *Agric. Ecosyst. Environ.* 319, 107517. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107517>
- George, C., Kohler, J., Rillig, M.C., 2016. Biochars reduce infection rates of the root-lesion nematode *Pratylenchus penetrans* and associated biomass loss in carrot. *Soil Biol. Biochem.* 95, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.12.003>
- Godlewska, P., Schmidt, H.P., Ok, Y.S., Oleszczuk, P., 2017. Biochar for composting improvement and contaminants reduction. A review. *Bioresour. Technol.* 246, 193-202.
- Hale, S.E., Lehmann, J., Rutherford, D., Zimmerman, A.R., Bachmann, R.T., Shitumbanuma, V., O’Toole, A., Sundqvist, K.L., Arp, H.P.H., Cornelissen, G., 2012. Quantifying the Total and Bioavailable Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Dioxins in Biochars. *Environ. Sci. Technol.* <https://doi.org/10.1021/es203984k>
- Hammer, E.C., Balogh-Brunstad, Z., Jakobsen, I., Olsson, P.A., Stipp, S.L.S., Rillig, M.C., 2014. A mycorrhizal fungus grows on biochar and captures phosphorus from its surfaces. *Soil Biol. Biochem.* 77, 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.06.012>

- Hestrin, R., Torres-Rojas, D., Dynes, J. J., Hook, J. M., Regier, T. Z., Gillespie, A. W., ... & Lehmann, J. (2019). Fire-derived organic matter retains ammonia through covalent bond formation. *Nature communications*, 10(1), 1-8.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2019. Special Report: Climate Change and Land. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/srccl/>.
- Ismadji S, Tong DS, Soetaredjo FE, Ayucitra A, Yu WH, Zhou CH (2016) Bentonite hydrochar composite for removal of ammonium from Koi fish tank. *Appl. Clay Sci.* 119: 146-154. doi: 10.1016/j.clay.2015.08.022.
- Jeffery, S., Abalos, D. Spokas, K.A., Verheijen, F.G.A. Biochar effects on Crop yield. In: *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*, 2015, (Eds) Lehmann, J and Joseph, S. 2nd. Ed. Routledge, NY.
- Jeffery, S., Abalos, D., Prodana, M., Bastos, A.C., van Groenigen, J.W., Hungate, B.A., Verheijen, F., 2017. Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Environ. Res. Lett.* 12, 053001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa67bd>
- Jindo, K., Suto, K., Matsumoto, K., García, C., Sonoki, T., Sanchez-Monedero, M.A., 2012. Chemical and biochemical characterisation of biochar-blended composts prepared from poultry manure. *Bioresour. Technol.* 110, 396-404.
- Joner EJ, Dibdiakova J, Ytrestøyl T, Haraldsen TK., 2015. Vurderinger omkring organiske miljøgifter i aske og fiskeslam. (Bioforsk rapport). 10/70. Ås:Bioforsk.
- Kalu, S., Sijojoki, A., Karhu, K., Tammeorg, P., 2021. Long-term effects of softwood biochar on soil physical properties, greenhouse gas emissions and crop nutrient uptake in two contrasting boreal soils. *Agric. Ecosyst. Environ.* 316. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107454>
- Kerré, B., Willaert, B., Cornelis, Y., Smolders, E., 2017. Long-term presence of charcoal increases maize yield in Belgium due to increased soil water availability. *Eur. J. Agron.* 91, 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.003>
- Klima- og miljødepartementet, 2022. «Ny strategi for å møte klimaendringene». 28.02.22. Nettside: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/ny-strategi-for-a-mote-klimaendringene/id2902161/>
- Kochanek, J., Soo, R.M., Martinez, C., Dakuidreketi, A., Mudge, A.M., 2022. Biochar for intensification of plant-related industries to meet productivity, sustainability and economic goals: A review. *Resources, Conservation and Recycling* 179, 106109.
- Kolton M, Graber ER, Tsehansky L, Elad Y, Cytryn E (2017) Biochar-stimulated plant performance is strongly linked to microbial diversity and metabolic potential in the rhizosphere. *New Phytol.* 213: 1393-1404. doi: <https://doi.org/10.1111/nph.14253>.
- Krounbi, L., Enders, A., Anderton, C. R., Engelhard, M. H., Hestrin, R., Torres-Rojas, D., ... & Lehmann, J. (2020). Sequential ammonia and carbon dioxide adsorption on pyrolyzed biomass to recover waste stream nutrients. *ACS sustainable chemistry & engineering*, 8(18), 7121-7131.
- Kumar, M., Dutta, S., You, S., Luo, G., Zhang, S., Show, P.L., Sawarkar, A.D., Singh, L., Tsang, D.C.W., 2021. A critical review on biochar for enhancing biogas production from anaerobic digestion of food waste and sludge. *J. Clean. Prod.* 305, 127143. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127143>
- Kätterer, T., Roobroeck, D., Andrén, O., Kimutai, G., Karltun, E., Kirchmann, H., Nyberg, G., Vanlauwe, B., Röing de Nowina, K., 2019. Biochar addition persistently increased soil fertility and yields in maize-soybean rotations over 10 years in sub-humid regions of Kenya. *Field Crop. Res.* 235, 18-26.

- Landbruks- og matdepartementet, 2022. «Regjeringen ønsker innspill om Bionova», 28.02.22.
<https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/regjeringen-onsker-innspill-om-bionova/id2901334/>
- Lehmann, J., Abiven, S., Kleber, M., Pan, G., Singh, B.P., Sohi, S.P., Zimmerman, A.R., 2015. Persistence of biochar in soil, in: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. Earthscan, Routledge, London, pp. 236–282.
- Leng RA, Preston TR, Inthapanya S. Biochar reduces enteric methane and improves growth and feed conversion in local “Yellow” cattle fed cassava root chips and fresh cassava foliage. *Livest Res Rural Devel* 2012a; 24. <http://www.lrrd.org/lrrd24/11/leng24199.htm>
- Leng, L., Xiong, Q., Yang, L., Li, H., Zhou, Y., Zhang, W., Jiang, S., Li, H., Huang, H., 2021. An overview on engineering the surface area and porosity of biochar. *Sci Total Environ* 763, 144204.
- Li, S., Song, L., Jin, Y., Liu, S., Shen, Q., Zou, J., 2016. Linking N₂O emission from biochar-amended composting process to the abundance of denitrify (nirK and nosZ) bacteria community. *AMB Express* 6, 37.
- Li, R., Meng, H., Zhao, L., Zhou, H., Shen, Y., Zhang, X., Ding, J., Cheng, H., Wang, J., 2019. Study of the morphological changes of copper and zinc during pig manure composting with addition of biochar and a microbial agent. *Bioresour. Technol.* 291, 121752.
- Liu X, Liao J, Song H, Yang Y, Guan C, Zhang Z., 2019. A biochar-based route for 1015 environmentally friendly controlled release of nitrogen: Urea-loaded biochar and 1016 bentonite composite. *Sci. Rep.* 9: 9548. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46065-3>.
- Liu, Z., Wu, X., Liu, W., Bian, R., Ge, T., Zhang, W., Zheng, J., Drosos, M., Liu, X., Zhang, X., Cheng, K., Li, L., Pan, G., 2020. Greater microbial carbon use efficiency and carbon sequestration in soils: Amendment of biochar versus crop straws. *GCB Bioenergy* 12, 1092–1103.
<https://doi.org/10.1111/gcbb.12763>
- Liu, M., Liu, C., Liao, W., Xie, J., Zhang, X., Gao, Z., 2021. Impact of biochar application on gas emissions from liquid pig manure storage. *Sci. Total Environ.* 771, 145454.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145454>
- Liu, N., Zhou, J., Han, L., Ma, S., Sun, X., Huang, G., 2017. Role and multi-scale characterization of bamboo biochar during poultry manure aerobic composting. *Bioresour. Technol.* 241, 190-199.
- Liu, W., Huo, R., Xu, J., Liang, S., Li, J., Zhao, T., Wang, S., 2017. Effects of biochar on nitrogen transformation and heavy metals in sludge composting. *Bioresour. Technol.* 235, 43-49.
- Lopez-Cano, I., Roig, A., Cayuela, M.L., Alburquerque, J.A., Sanchez-Monedero, M.A., 2016. Biochar improves N cycling during composting of olive mill wastes and sheep manure. *Waste Manag* 49, 553-559.
- Lou Y, Joseph S, Li L, Graber ER, Liu X, Pan G, 2016. Water extract from straw biochar used for plant growth promotion: an initial test. *BioResources* 11: 249-266.
- Maroušek, J., Hašková, S., Zeman, R., Vaníčková, R., 2015. Managerial Preferences in Relation to Financial Indicators Regarding the Mitigation of Global Change. *Science and Engineering Ethics* 21, 203-207.
- Maziarka, P., Wurzer, C., Arauzo, P.J., Dieguez-Alonso, A., Mašek, O., Ronsse, F., 2021. Do you BET on routine? The reliability of N₂ physisorption for the quantitative assessment of biochar’s surface area. *Chem. Eng. J.*, 129234.
- Medynska-Juraszek A, Rivier PA, Rasse D, Joner EJ. 2020. Biochar affects heavy metal uptake in plants through interactions in the rhizosphere. *Applied Sciences* 10:5105.

- Meirkhanuly, Z., Koziel, J.A., Chen, B., Białowiec, A., Lee, M., Wi, J., Banik, C., Brown, R.C., Bakshi, S., 2020. Mitigation of gaseous emissions from swine manure with the surficial application of biochars. *Atmosphere (Basel)*. 11, 1–17. <https://doi.org/10.3390/atmos11111179>
- Mekuria, W., Noble, A., Sengtaheuanghoung, O., Hoanh, C.T., Bossio, D., Sipaseuth, N., McCartney, M., Langan, S., 2014. Organic and Clay-Based Soil Amendments Increase Maize Yield, Total Nutrient Uptake, and Soil Properties in Lao PDR. *Agroecol Sustain. Food Sys.* 38, 936–961.
- Miljødirektoratet, 2022. Normverdier for forureina grunn. Nettsiden: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/kjemikalier/kjemikaliesok/normverdier-for-forurenset-grunn/>
- Miljøstatus (2022). Klimaendringer i Norge. Nettsiden: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/klimaendringer-i-norge/>
- Oldfield, T.L., Sikirica, N., Mondini, C., López, G., Kuikman, P.J., Holden, N.M., 2018. Biochar, compost and biochar-compost blend as options to recover nutrients and sequester carbon. *J. Environ. Manage.* 218, 465–476.
- O’Toole, A., Moni, C., Weldon, S., Schols, A., Carnol, M., Bosman, B., Rasse, D.P., 2018. Miscanthus Biochar had Limited Effects on Soil Physical Properties , Microbial Biomass , and Grain Yield in a Four-Year Field Experiment in Norway. *Agriculture* 8, 171. <https://doi.org/10.3390/agriculture8110171>
- O’Toole, A. 2021. The agronomic and environmental effects of biochar under field conditions in Norway. Ph.D thesis, NMBU. (Tilgjengelig ved etterspørsel).
- Piscitelli L, Rivier P-A, Mondelli D, Miano T, Joner EJ. 2018. Assessment of addition of biochar to filtering mixtures for potential water pollutant removal. *Environmental Science and Pollution Research* 25:2167-2174.
- Pokharel, P., Ma, Z., & Chang, S. X. (2020). Biochar increases soil microbial biomass with changes in extra-and intracellular enzyme activities: A global meta-analysis. *Biochar*, 1– 15. <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00039-1>
- Quilliam, R.S., Glanville, H.C., Wade, S.C., Jones, D.L., 2013. Life in the “charosphere” - Does biochar in agricultural soil provide a significant habitat for microorganisms? *Soil Biol. Biochem.* 65, 287–293. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.06.004>
- Rasse, D.P., Budai, A., O’Toole, A., Ma, X., Rumpel, C., Abiven, S., 2017. Persistence in soil of Miscanthus biochar in laboratory and field conditions. *PLoS One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184383>
- Rasse, D., Økland, I., Bárcena, T.G., Riley, H., Martinsen, V., Sturite, I., Joner, E., Øpstad, S., Cottis, T., Budai, A., 2019. Muligheter og utfordringer for økt karbonbinding i jordbruksjord. NIBIO Rapport, 5/93. <http://hdl.handle.net/11250/2591077>
- Rasse, D., Weldon, S., Joseph, Kammann, C.I., Pan, G., O’Toole, A., Liu, X., Kocatürk-Schumacher, P., (Accepted). Enhancing plant N uptake with biochar-based fertilizers: limitation of sorption and prospects. *Plant and Soil* (Accepted).
- Ro, K. S., Lima, I. M., Reddy, G. B., Jackson, M. A., & Gao, B. (2015). Removing gaseous NH₃ using biochar as an adsorbent. *Agriculture*, 5(4), 991-1002.
- Rollinson, A.N., 2016. Gasification reactor engineering approach to understanding the formation of biochar properties. *Proc. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.* 472. <https://doi.org/10.1098/rspa.2015.0841>

- Romero, C.M., Redman, A-A.P.H., Terry, S.A., Hazendock, P., Hao, X., McAllister, T.A., Okine, E. 2021. Molecular speciation and aromaticity of biochar-manure: Insights from elemental, stable isotope and solid-state DPMAS ¹³C NMR analysis. *Journal of Environmental Management*, 280, 111705 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111705>
- Romero, C.M., Hedman, A-A.P.H., Owens, J., Terry, S.A., Ribeiro, G.O., Gorzelak, M.A., Oldenburg, T.B.P., Hazendonk, P., Larney, F.J., Hao, X., Okine, E., McAllister, T.A., 2022. Effects of feeding a pine-barked biochar to beef cattle on subsequent manure nutrients, organic matter composition and greenhouse gas emissions. *Science of the Total Environment*, 8212, 152267. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152267>
- Ruyschaert, G., Nelissen, V., Postma, R., Bruun, E., O'Toole, A., Hammond, J., Rödger, J., Hylander, L., T.Kihlberg, Zwart, K., Hauggaard-nielsen, H., Shackley, S., 2016. Field applications of pure biochar in the North Sea region and across Europe, in: Eds. S. Shackley, G. Ruyschaert, K. Zwart, B.G. (Ed.), *Biochar in European Soils and Agriculture: Science and Practice*. Routledge, London, pp. 99–136.
- Saleem AM, Ribeiro Jr GO, Yang WZ, Ran T, Beauchemin KA, McGeough EJ. et al. Effect of engineered biocarbon on rumen fermentation, microbial protein synthesis, and methane production in an artificial rumen (RUSITEC) fed a high forage diet. *J Anim Sci* 2018; 96(3):3121-3130. Doi: 10.1093/jas/sky204
- Sanchez-Monedero, M.A., Cayuela, M.L., Roig, A., Jindo, K., Mondini, C., Bolan, N. 2018. Role of biochar as an additive in organic waste composting. *Bioresource Technology*, 247, 1155-1164. Doi: 10.1016/j.biortech.2017.09.193
- Shen, Q., Hedley, M., Arbestain, M.C., Kirschbaum, M.U.F., 2016. Can biochar increase the bioavailability of phosphorus? *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16 (2), 268–286.
- Schmidt H, Hagemann N, Draper K, Kammann C. 2019. The use of biochar in animal feeding. *PeerJ*:e7373. <https://doi.org/10.7717/peerj.7373>
- Schmidt, H.P., Kammann, C., Hagemann, N., Leifeld, J., Bucheli, T.D., Sánchez Monedero, M.A., Cayuela, M.L., 2021. Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. *GCB Bioenergy* 13, 1708–1730. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12889>
- Shi W, Ju Y, Bian R, Li L, Joseph S, Mitchell DRG, Munroe P, Taherymoosavi S, Pan G 1127. 2020. Biochar bound urea boosts plant growth and reduces nitrogen leaching. *Sci. Total Environ.* 701: 134424. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134424>.
- Spokas, K.A., Novak, J.M., Masiello, C.A., Johnson, M.G., Colosky, E.C., Ippolito, J.A., Trigo, C., 2014. Physical Disintegration of Biochar: An Overlooked Process. *Environ. Sci. Technol. Letters* 1, 326-332.
- Statsforvalteren Trøndelag, 2022. «Relevante tilskuddsordninger v/Anders Mona». Øya VGS, Karbonbinding og biokull fagmøte. 3.mars, Melhus.
- Steiner, C., Das, K.C., Melear, N., Lakly, D., 2010. Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar. *J. Environ. Qual.* 39, 1236-1242.
- Strøm Prestvik, A., Lilleby, S., 2021. Verdikjeder for biokull i Norge: Status, utfordringer og virkemidler for bruk i jordbruket. NIBIO Rapport 7/138. <https://hdl.handle.net/11250/2763655>
- Van, D.T.T., Mui, N.T., Ledin, I. 2006. Effect of method of processing foliage and Acacia mangium and inclusion of bamboo charcoal in the diet on performance of growing goats. *Animal Feed Science and Technology*, 130 (3-4), 242-256.

- Vandecasteele, B., Sinicco, T., D'Hose, T., Vanden Nest, T., Mondini, C., 2016. Biochar amendment before or after composting affects compost quality and N losses, but not P plant uptake. *J. Environ. Manage.* 168, 200-209.
- Vochozka, M., Maroušková, A., Váchal, J., Straková, J., 2016. Biochar pricing hampers biochar farming. *Clean Technologies and Environmental Policy* 18, 1225-1231.
- Wang, J., Xiong, Z., Kuzyakov, Y., 2015. Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. *GCB Bioenergy*, DOI: 10.1111/gcbb.12266.
- Wang, C., Wang, Y., Herath, H.M.S.K., 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in biochar – Their formation, occurrence and analysis: A review. *Org. Geochem.* 114, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2017.09.001>
- Wang, Y., Villamil, M.B., Davidson, P.C., Akdeniz, N., 2019. A quantitative understanding of the role of co-composted biochar in plant growth using meta-analysis. *Sci. Total Environ.* 685, 741-752.
- Wang, M., Xiang, A., Gao, Z., Zhang, K., Ren, Y., & Hu, Z. (2021). Study on the nitrogen-releasing characteristics and mechanism of biochar-based urea infiltration fertilizer. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-11.
- Weldon, S., van der Veen, B., Farkas, E., Kocatürk-Schumacher, N.P., Dieguez-Alonso, A., Budai, A., Rasse, D. (submitted) A re-analysis of NH₄⁺ sorption on biochar: have expectations been too high?
- Wong, J.W.C., Fang, M., Li, G.X., Wong, M.H., 1997. Feasibility of Using Coal Ash Residues as CO-Composting Materials for Sewage Sludge. *Environ. Technol.* 18, 563-568.
- Wong, J.W.C., Fung, S.O., Selvam, A., 2009. Coal fly ash and lime addition enhances the rate and efficiency of decomposition of food waste during composting. *Bioresour. Technol.* 100, 3324-3331.
- Xiang AH, Qi RY, Wang MF, Zhang K, Jiang EC, Ren YZ, Hu ZW. 2020. Study on the infiltration mechanism of molten urea and biochar for a novel fertilizer preparation. *Ind. Crops Prod.* 153: 112558. doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112558.
- Xiang, Y., Deng, Q., Duan, H., Guo, Y., 2017. Effects of biochar application on root traits: a meta-analysis. *GCB Bioenergy* 9, 1563–1572. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12449>
- Yamashita, V.K.F. 2021. Assessing the effectiveness of digestate enriched biochar as an alternative fertilizer. Master's thesis, Norwegian University of Life Sciences. <https://hdl.handle.net/11250/2832018>
- Yin, Y., Yang, C., Li, M., Zheng, Y., Ge, C., Gu, J., Li, H., Duan, M., Wang, X., Chen, R., 2021. Research progress and prospects for using biochar to mitigate greenhouse gas emissions during composting: A review. *Sci. Total Environ.* 798, 149294.
- Zhang, X.K., Li, Q., Liang, W.J., Zhang, M., Bao, X.L., Xie, Z. Bin, 2013. Soil nematode response to biochar addition in a chinese wheat field. *Pedosphere* 23, 98–103. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(12\)60084-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60084-8)
- Zhang, J., Lü, F., Shao, L., He, P., 2014. The use of biochar-amended composting to improve the humification and degradation of sewage sludge. *Bioresour. Technol.* 168, 252-258.
- Zhang D, Pan G, Wu G, Kibue GW, Li L, Zhang X, Zheng J, Zheng J, Cheng K, Joseph S, 1230 Liu X (2016) Biochar helps enhance maize productivity and reduce greenhouse gas emissions under

balanced fertilization in a rainfed low fertility inceptisol. *Chemosphere* 1232 142: 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.04.088>.

Zhang, L., Jing, Y., Xiang, Y., Zhang, R., & Lu, H. 2018. Responses of soil microbial community structure changes and activities to biochar addition: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 643, 926–935. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.06.231>

Zhang, L., Xiang, Y., Jing, Y., & Zhang, R. 2019. Biochar amendment effects on the activities of soil carbon, nitrogen, and phosphorus hydrolytic enzymes: A meta-analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(22), 22990–23001. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05604-1>

Zeng Z, Zhang SD, Li TQ, Zhao FL, He ZL, Zhao HP, Yang XE, Wang HL, Zhao J, Rafiq MT. 2013. Sorption of ammonium and phosphate from aqueous solution by biochar 1227 derived from phytoremediation plants. *J. Zhejiang Univ. Sci. B* 14: 1152-1161. 1228 <https://doi.org/10.1631/jzus.B1300102>.

Zhou, S., Kong, F., Lu, L., Wang, P., Jiang, Z., 2022. Biochar – An effective additive for improving quality and reducing ecological risk of compost: A global meta-analysis. *Sci. Total Environ.* 806, 151439.

Zhu, K., Ye, X., Ran, H., Zhang, P., Wang, G., 2022. Contrasting effects of straw and biochar on microscale heterogeneity of soil O₂ and pH: Implication for N₂O emissions. *Soil Biol. Biochem.*, 108564.

Nøkkelord:	Biokull
Key words:	Biochar
Andre aktuelle publikasjoner fra prosjekt:	-

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.