Faglig guide til økologiske planteavlere

Fakta fra øko-forskningen
krydret med solid erfaringsbaseret viden

Fonden for **økologisk landbrug** Holkegårdfonden

ICROFS
Internationalt Center for Forskning i Økologisk Jordbrug og Fødevaresystemer

Forfattere:
Margrethe Askegaard (redaktør og kontakt), Ecoviden, ma@ecoviden.dk
Sven Hermansen, Økologisk Planteteam, SEGES
Claus Østergaard, ØkologiRådgivning Danmark

Tak for faglig sparring til:
Søren Bilstrup, Økologisk planteavler, Lundholm, Spøttrup
Jørgen Eriksen, Professor, Institut for Agroøkologi, AU
Jens Hansen, Økologisk planteavler, Jordrup
Veronica Hansen, Adjunkt, Institut for Plante- og Jordvidenskab, KU
Lise Hansted, Konsulent, Danmarks Biavlerforening
Henrik Hauggaard-Nielsen, Professor, Institut for Mennesker og Teknologi, RU
Erik S. Jensen, Professor Emeritus, Sveriges Lantbruksuniversitet
Johannes Lund Jensen, Postdoc, Institut for Agroøkologi, AU
Lars Stoumann Jensen, Professor, Institut for Plante- og Jordvidenskab, KU
Leif Knudsen, Chefkonsulent, Gødning, SEGES
Hanne L. Kristensen, Lektor, Institut for Fødevarer, AU
Vibeke Langer, Lektor, Institut for Plante- og Miljøvidenskab, KU
Bo Melander, Lektor, Institut for Agroøkologi, AU
Lars J. Munkholm, Professor, Institut for Agroøkologi, AU
Erling Nielsen, Ledende jordbrugstekniker, Foulumgård, AU
Jørgen E. Olesen, Professor, Institut for Agroøkologi, AU
Søren O. Petersen, Professor, Institut for Agroøkologi, AU
Ilse A. Rasmussen, Akademisk medarbejder, ICROFS
Per Schjønning, Seniorforsker, Institut for Agroøkologi, AU
Anders Stensgaard, Økologisk planteavler, Stensgaard Landbrug ApS, Billund
Peter Sørensen, Seniorforsker, Institut for Agroøkologi, AU
Henning C. Thomsen, Ledende jordbrugstekniker, Askov Forsøgsstation, AU
Ingrid K. Thomsen, Seniorforsker, Institut for Agroøkologi, AU

Fotos: Margrethe Askegaard, hvor andre ikke er angivet

Faglig korrektur: Karen Søegaard, tidl. seniorforsker, AU

Hjemmeside: www.GuideØkoPlanteavl.dk

Webshop: Findes på hjemmesiden

Opsætning af bog og hjemmeside: Helene Uller-Kristensen, ICROFS, AU

Videooptagelser: Margrethe Askegaard
Videoredigering: Camilla Mathiesen, ICROFS, AU

Tryk: Digisource

Finansiering: Fonden for Økologisk Landbrug, Holkegårdfonden og ICROFS, AU

AU: Aarhus Universitet, KU: Københavns Universitet, RU: Roskilde Universitet

Indholdsfortegnelse

Intro og brugsvejledning			**1**
Det hele kort			**2**
Tema 1	**Planlægning**	Start med et kig tilbage	**3**
		Udnyttes gødningen godt nok?	**4**
		Til videre overvejelser	**6**
Tema 2	**Etablering af afgrøden**	Praktiske tips	**9**
Tema 3	**Langsigtede effekter af sædskiftet**	Hovedpointer og effekter af efterafgrøder og grøngødning	**13**
Tema 4	**Efterafgrøder**	Hovedpointer, etablering, eftervirkning, roddybder og C/N-forhold	**17**
Tema 5	**Kvælstof**	Hovedpointer, N-former, balancer, udvaskning, fastholdelse og fiksering.	**28**
Tema 6	**Fosfor**	Styring og Pt	**35**
Tema 7	**Kalium**	Styring og Kt	**38**
Tema 8	**Svovl**	Tilførsel og tab	**41**
Tema 9	**Mangan**	Forebyggelse	**44**
Tema10	**Organiske gødningstyper**	Hovedpointer, indhold, behandling, N-tilgængelighed, mobil grøngødning.	**45**
Tema 11	**Kalkning**		**53**
Tema 12	**Ukrudt**	Hovedpointer, konkurrence	**56**
		Frøukrudt, forebyggelse, bekæmpelse	**58**
		Rodukrudt – kvik, tidsler og andre	**64**
Tema 13	**Forebyggelse med blandinger**	Hovedpointer, sorts- og artsblandinger, sædskifter	**69**
Tema 14	**Jordpakning**	Fakta om pakning, effekter og forholdsregler, faste kørespor	**73**
Tema 15	**Jordløsning**	Mekanisk og biologiske metoder	**77**
Tema 16	**Mikro- og makroliv som medspiller**	Hovedpointer, indhold, betydning, naturlige fjender på jord og i luften, bestøverne	**80**
Tema 17	**Drivhusgasser**	Hovedpointer, overblik, dyrkningssystemer, gødninger, reduktion af udledning af lattergas, grøngylle og metan	**85**
Tema 18	**Kulstof i jorden**	Hovedpointer, management og C-indhold, C-tab og -lagring	**92**
Tema 19	**Hjælp til hurtige overslag**		**97**
Tema 20	**Links til mere viden**		**102**
Frie sider til notater			**103**
Referenceliste			**105**

Intro og brugsvejledning

Velkommen til faglig guide for økologiske planteavlere. Guiden graver et spadestik dybere og giver et solidt og bredt udgangspunkt for samtalen mellem landmand og rådgiver, når der skal lægges markplaner og diskuteres forbedring af udbytter og bæredygtighed.

Guiden kan bruges som afsæt til at give din egen økologiske planteproduktion et serviceeftersyn og som opslagsbog, hvor du kan dykke ned i resultater og konklusioner fra mange års forskning i økologisk planteproduktion - primært under danske dyrkningsbetingelser.

Der er ikke fråset med forklaringer. Til gengæld er der masser af korte info-punkter og illustrationer under de enkelte temaer.

Tema 1-2 starter med en udfordring: Kig tilbage og vurder hvordan sædskifte og management har været de seneste 5 år. Herefter følger praktiske tips til etablering af afgrøderne.

Tema 3-18 byder på tur gennem en palet af resultater fra forskning og forsøg. Alle med betydning for udbytter og bæredygtighed.

Tema 19-20 bidrager med hjælp til hurtige overslag og links til mere information.

Til slut frie sider til notater samt referenceliste.

Symboler og henvisninger

QR-koder	Scannes med mobilens QR-app for at tilgå guidens videoer.
	Resultater fra de langvarige økologiske sædskifter til planteproduktion. Forsøgets design og behandlinger findes under QR-kode i tema 3.
	Andre forskningsresultater og forsøg.
(x)	Nummer henviser til referencen, som findes sidst i guiden. Ikke alle data og figurer kan findes direkte i referencerne. Kerneudbytter er generelt omregnet fra rent tørstof til 15% vandindhold, og tabeldata kan f.eks. være omdannet til figurer.

Succes i markdriften handler om jordfrugtbarhed og management - og det handler om balance mellem produktionen på den ene side og miljø, natur og klima på den anden side.

Du vil støde på modsatrettede konklusioner i guiden, og et tiltag kan spænde ben for et andet. For eksempel er der i tema 12 om ukrudt fokus på mekanisk bekæmpelse som et nødvendigt redskab. I tema 16 om mikro- og makroliv kan du så læse om de uheldige effekter ved at bearbejde jorden. Dilemmaet kan reduceres gennem forebyggelse af ukrudtsproblemer (også tema 12) og timing af behandlingerne.

Et andet eksempel på et dilemma: Efterafgrøder er værdifulde i forhold til udbytter, jordfrugtbarhed og miljø (tema 3-5). Men når det drejer sig om udledning af klimagassen lattergas, er der risiko for betydelig udledning, når efterafgrøden indarbejdes i jorden (tema 17). Det er et uhyre komplekst område og fortsat med mange ubesvarede spørgsmål, som kommende forskning forhåbentligt kan svare på.

Jordfrugtbarhed opbygges gennem input af organiske biomasser (tema 3,4,10, 18), så mikro- og makrolivet i jorden sikres føde (tema 16), og opretholdes ved at have fokus på næringsstofinput og -balancer (tema 5-9), reaktionstal (tema 11) og røddernes mulighed for at udvikle sig i jordlagene (tema 14,15).

Kunsten i økologisk planteavl er at have en god plan (tema 1) og sikre optimal etablering af afgrøderne (tema 2). Styr på sædskifterne og let fod på speederen i markarbejdet, er vigtige skridt på vejen frem mod en bæredygtig produktion.

En ukendt faktor når markplanen lægges, er årets klima. Det er sikkert, at klimaændringerne byder på flere ekstreme vejrforhold. Afgrødernes robusthed kan forbedres ved at øge diversiteten med arts- og sortsblandinger (tema 4 og 13).

I tema 18 kan du læse om kulstoflagring i jorden. Som planteavler er det slet ikke let. Biokul kan blive et værktøj mod mere kulstoflagring i jorden. Det er kort beskrevet i en faktaboks.

I tema 19 er der hjælp at hente til at lave nogle hurtige overslag, og i tema 20 finder du udpluk af links til mere viden.

God fornøjelse med den faglige guide ☺

Margrethe Askegaard
Sven Hermansen
Claus Østergaard

1. Planlægning

1.1. Start med kig tilbage

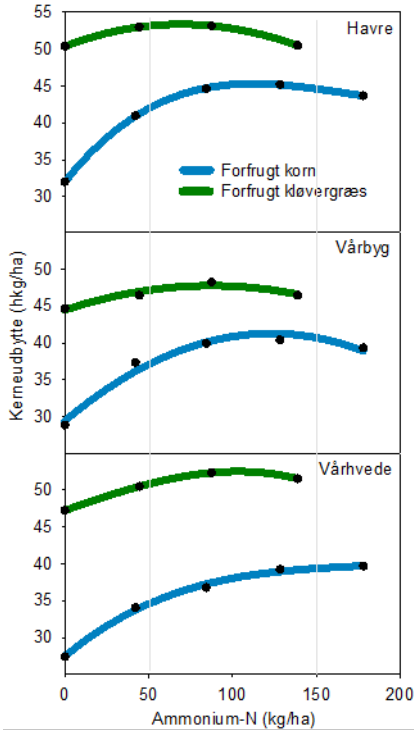
Hvordan har sædskifte og management været de sidste 5 år?
Skemaet kan du anvende til tjek af markdriftens bæredygtighed - og som oplæg til diskussion med din rådgiver. Der sættes kryds under enten ja hvis mest ja, eller nej hvis mest nej. Er alt i top, eller er der stadigvæk plads til udvikling?

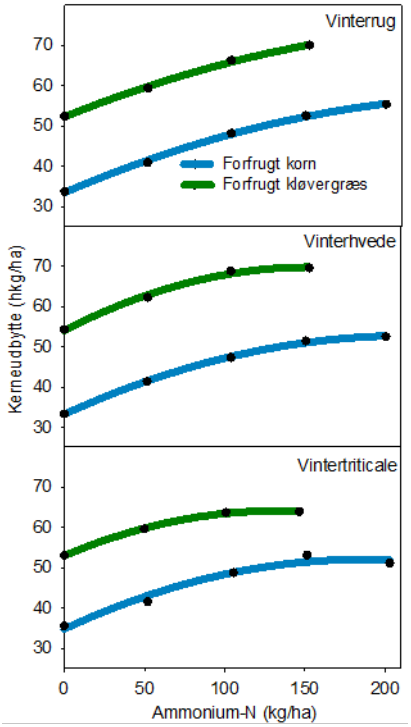
Indsats		Ja	Nej	Se tema
Markplan	Mit sædskifte indeholder både vinter- og vårsæd			12, 13
	Jeg har efterafgrøder i mindst 75% af korn og bælgsædsmarkerne			3, 4, 5
	Jeg har mindst 20% af sædskiftet med en helårsgrøngødning			3, 12
	Jeg har afsat plads til kvikbekæmpelse			12
	Jeg anvender blandinger			13
	Jeg tilpasser arts-/sortsvalg efter bestand af ukrudt			12, 13
	Der er planlagt muligheder for tidlig høst			1
	Jeg har en plan for at forbedre jordens frugtbarhed			Alle
	Jeg har en sædskifteplan per mark 5 år frem			1
Gødningsplan	Mit N-niveau passer til mit sædskifte			1
	Fordelingen af N til afgrøderne er optimal			1,4,5,10
	Jeg forebygger manganmangel			9
	Jeg udtager jordprøver mindst hvert 6. år			6,7,11
	Jeg følger P, K og S-balancerne			6,7,8
Management	Altid kontrol-stop undervejs i behandlingerne			2
	Udsædsmængderne gradueres efter markforholdene			2
	Jeg afpasser dæktryk og hjullast til markforholdene			14
	Spaden er med i marken, så jeg kan tjekke rodvæksten			4,14,15
	Jeg etablerer 'vinduer' til tjek af behandlinger			1,4,5, 10, 12
	Jeg har den nødvendige maskinkapacitet i markdriften			1
	Jeg registrerer pletter og andre observationer vha. relevante digitale værktøjer			1
	Jeg stiller krav til maskinstationen om kvalitet ved en årlig evaluering			2,14
SUM				

1.2. Udnyttes gødningen godt nok?

Hvordan er N-responsen i kornafgrøderne?
Sammenhæng mellem dine egne normaludbytter og N-tilførsel kan indsættes med et kryds under de forskellige afgrøder. Kan bruges som oplæg til diskussion.

Responskurverne stammer fra de økologiske markforsøg med stigende mængder ammonium-N i gylle [1,2]. Udbytteresponserne var ikke påvirkede af jordtyperne.





Udnyttes gødningen godt nok?

Kornarterne har forskellige behov

- Havre: God til at udnytte forfrugter af kløvergræs, hvor N-frigivelsen strækker sig over en længere periode.
- Vårbyg: Har brug for N til tiden. For sen N giver manglende buskning.
- Vårhvede: Har størst N-behov af vårsædsarterne.
- Vinterbyg: Har brug for god jordfrugtbarhed og en tidlig N-forsyning.
- Vinterrug: Den mest fleksible kornafgrøde som selv ved lav N-tilførsel leverer god foderkvalitet.
- Vinterhvede: Kræver både god jord og god N-forsyning for at lykkes.
- Vintertriticale ligger typisk mellem vinterrug og vinterhvede i krav.
- De gamle kornarter opfører sig anderledes med længere vækstsæson, lavere udbyttepotentiale, lavere N-optimum og højere proteinindhold.

Økonomi og strategi

Økonomi behandles ikke i denne guide, men skal selvfølgelig altid adresseres. Følgende spørgsmål kan diskuteres i forbindelse med markplanlægningen:

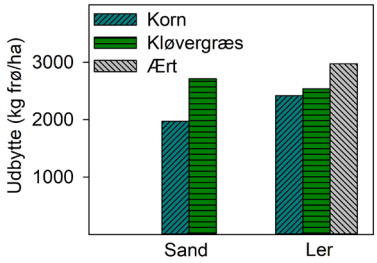
- Hvad er dine mål for dækningsbidraget i de enkelte afgrøder?
- Hvilke afgrøder skal prioriteres i forhold til etablering og gødning?
- Hvad koster det i de afgrøder, der ikke prioriteres?
- Kan hjælp fra maskinstation bidrage til et bedre resultat?
- Hvad koster introduktion af en grøngødningsafgrøde i sædskiftet?
- Hvordan vil økonomien i en grøngødningsafgrøde se ud på lidt længere sigt?

1.3. Til videre overvejelser

Rajgræs til frø (3)

Når der er rajgræs i sædskiftet, skal den altid prioriteres, når gyllen fordeles. Så må de andre afgrøder mangle og/eller leve af gode forfrugtseffekter. Præcision i den tilførte N-mængde er vigtig.

Vinterraps (4)



Udbytte i økologiske vinterrapsmarker dyrket efter forskellige forfrugter.

Vinterraps er afhængig af god N-forsyning, ud over andre næringsstoffer som svovl. Også forfrugten har betydning. På sandjorde (JB1-4) gav en forfrugt af kløvergræs et gennemsnitligt frøudbytte, der var 7 hkg/ha større end en forfrugt af korn. På lerjorden gav ærter som forfrugt det største udbytte. Ærterne var mest til konsum, hvilket giver bedre mulighed for rettidig såning.

Det robuste sædskifte for hver mark indeholder

- Vårsæd og vintersæd
- Bælgplanter
- Flerårige afgrøder der kan afslåes
- Plads til bekæmpelse af rodukrudt
- Efterafgrøder

Forebyggelse af sædskiftesygdomme

Opretholdes de anbefalede afstande ved dyrkning af samme arter? Når en sædskiftesygdom først er flyttet ind i marken, kan det tage mange år, før samme art kan dyrkes igen. Et eksempel er ærterodråd, som hindrer ærtedyrkning.

Faresignaler, der med fordel kan handles på

- Er der tegn på, at en problematisk ukrudtsart begynder at brede sig?
- Kommer jordbundstallene tæt på den acceptable grænse?
- Er der afgrøder, som ikke trives?
- Svigter udviklingen af rodknolde på bælgplanterne?
- Er der sandflugt, oversvømmelser eller jorderosion?

1.4. Til videre overvejelser – kan der høstes tidligere?

Vintertriticale på skår. Foto: Sven Hermansen

Vi mister stort vækstpotentiale i juli og august

- Hovedafgrøderne modner i juli og august. Det betyder, at fotosyntesen og optagelsen af næringsstoffer lukkes ned.
- Muligheden for at udnytte de gode vækstmåneder til at etablere kraftige efterafgrøder kan forbedres ved målrettet valg af afgrøde og høstteknik.
- En tommelfingerregel siger, at hver dag i august med aktive efterafgrøder på marken, giver 1 kg N/ha opsamlet i top til gavn for den næste afgrøde.

Klimaforholdene for vækst er normalt gode i juli og august (gns. for Danmark)[5]

	Juni	Juli	August	September
Temperatur ^{0}C	14,3	17,4	16,7	13,7
Soltimer	240	242	187	151
Nedbør	73	64	73	99

Grønkorn – marken fri sidst i juni

- Høstes med skårlægger og finsnitter. Forudsætter, at det høstede materiale kan afsættes.
- Vårbyg og/eller ærter er de mest oplagte arter til grønkorn. Udbyttet i hovedafgrøden vil være omkring 50% af normaludbyttet målt i afgrødeenheder.
- Kan også benyttes som start på en minisommerbrak til bekæmpelse af rodukrudt.
- Vær opmærksom på at der kan modnes og kastes frø i tidligt sådede efterafgrøder efter grønkorn, bl.a. i olieræddike.

Vinterbyg, konservesærter – marken fri fra sidste halvdel af juli
Hvis det passer til sædskifte og dyrkningsforhold i øvrigt, så er bl.a. vinterbyg en attraktiv afgrøde, som giver mulighed for tidlig etablering af efterafgrøder eller bekæmpelse af rodukrudt.

Helsæd – marken fri sidst i juli
- ➢ Samme høstmetode som grønkorn. Udbyttet er tæt på normal, målt i afgrødeenheder.
- ➢ Høsttidspunktet er ca. 30 dage senere end grønkorn, men august er stadig fri til efterafgrøder eller en veletableret vinterraps.

Crimpning- marken er fri 3 uger før normal høst
- ➢ Mejetærskerhøst af korn eller bælgsæd med et vandindhold på 25-30%. Afgrøden valses, komprimeres og konserveres som ensilage til kvægfordring.
- ➢ Den fremrykkede høst gør det muligt at etablere kraftige undersåede efterafgrøder, eller at øge sikkerheden for høst af sent modnede afgrøder som vårhvede-lupinblandinger.

Skårlægning – normalt høsttidspunkt
Skårlægning med f.eks. en rapsskårlægger kan anvendes, hvis den modne afgrøde er grøn på grund af kraftig efterafgrøde og/eller ukrudt. Det vil gøre både høst, rensning og lagring meget lettere. I løbet af 1-3 dage efter skårlægning vil saftspændingen falde i de grønne plantedele, og afgrøden vil være klar til høst. Forudsætter en sikker vejrudsigt.

Sven Hermansen
uddyber

2. Etablering af afgrøden

2.1. Praktiske tips

Ovenfra kan et såbed se vældig fint ud. Men det er, hvad det enkelte frø og kerne møder af medgang og modgang i jorden, som bestemmer udbytteniveauet. Den tid, der bruges ekstra på kvalitet i markarbejdet, vil komme hjem ved høst.

Fast og ensartet såbed er fundamentet for vellykket etablering

- Det giver ens fremspiring af afgrøden, som er afgørende for en effektiv ukrudtsbekæmpelse.
- Det øger afgrødens konkurrence over for ukrudt, modstandskraft over for sygdomme og skadedyr, og det reducerer risiko for tørkeskader.
- Er særlig vigtig, når man anvender såmaskine uden individuel dybdekontrol. Men selv med individuel kontrol af dybden, kan det være svært at placere kernerne korrekt i et ujævnt såbed.
- Det optimale er en jævn og fast bund 1-2 cm under planlagt sådybde.

Tilpas såhastigheden og tjek løbende

- Såmaskinens skærtryk har betydning for arbejdshastigheden. Ved højt skærtryk kan der laves et godt stykke arbejde, selvom hastigheden er 10-12 km/time.
- Såmaskiner uden et højt skærtryk kan ikke placere kernerne tilstrækkelig dybt og ensartet, hvis hastigheden overstiger 7-8 km/time.
- Vigtigt at kontrollere sådybde og udsædsmængde samtidig med selve såningen, så der kan foretages justeringer.

Gødning om foråret

- Tildeles så tæt på såning som muligt for at få optimal virkning.
- Tildeles sikrest inden pløjning, fordi færdsel i marken efter såning øger risiko for udbyttetab som følge af trykskader.
- Men hvis maskiner (dæktryk, hjullast) og jordbundsforhold (bæreevne) tillader det, er det optimalt at placere gødningen i såbedet tæt på kernerne.
- Gødning placeret tæt på jordoverfladen efter pløjning giver ukrudtet en konkurrencefordel, fordi de fleste ukrudtsarter spirer mere øverligt end afgrøderne.

Sådybde tilpasses frøstørrelse

- Som hovedregel betyder større frø dybere såning.
- Hvis der er problemer med fugle i området, som især angriber bælgplanter og majs, kan sådybden øges.
- Fugleskader forebygges ved at være omhyggelig med ikke at efterlade frø eller kerner på forager eller spilde kerner i marken, når såmaskinen fyldes.

Tjek af sådybde til majs.
Foto: Henning C. Thomsen.

Vejledende sådybde i udvalgte afgrøder

1 cm	Kløvergræs
2 cm	Raps, lucerne
3 cm	Hybridrug
4 cm	Lupin, byg, havre, hvede, rug, triticale
6 cm	Markært, majs
8 cm	Hestebønne

Prioriter at så lige efter pløjning af lerjorde, hvis der er udsigt til regn

I samme mark (JB5-6) blev der tv. sået umiddelbart efter pløjning, mens der th. først blev sået efter 20 mm regn. Her blev jorden meget knoldet. Foto: Claus Østergaard.

Det koster udbytte at udskyde såningen af vårsæd

- De fleste vårafgrøder giver størst udbytte og bedst konkurrence over for ukrudt, når såningen sker så tidligt som muligt, efter jorden er tjenlig.
- I de økologiske markforsøg 2009-2011 var der i havre et udbyttetab på 0,4-0,9 hkg kerne/ha for hver dag, som såtiden blev udsat [(1)].
- Vårsåede kornafgrøder og bælgplanter spirer ved lavere temperaturer end de fleste ukrudtsarter. Derfor opleves ofte et lille ukrudtstryk, når der er mulighed for at etablere afgrøden allerede i marts, mens jordtemperaturen fortsat er lav.
- Når temperaturen er så lav, at spirehvilen i ukrudtsfrøene ikke brydes ved den mekaniske påvirkning under såningen, kan man nogle gange helt undgå at blindstrigle marken. En blindstrigling kan nemlig fremprovokere mere ukrudt end den mængde, der bekæmpes med blindstrigling.

Det er en myte, at økologer skal så vårsæden senere end konventionelle. Vårsæden skal i jorden, lige så snart jorden er tjenlig.

Gode erfaringer med vintersået vårhvede

Flere landmænd har med held eksperimenteret med at så vårhvede i november eller december måned. Dels for at hæve udbyttet, men også for at afgrøden bliver mere kraftig og modstandsdygtig over for angreb af bygfluer i forsommeren. Klimaet ændrer sig, og denne slags erfaringer er vigtige.

Så majs midt i maj

- Jordtemperaturen skal være over 10°C, og der skal være udsigt til en periode uden store nedbørsmængder.
- Tidligere såning giver store problemer med mange ukrudtsarter, der klarer sig langt bedre end majsen under kolde forhold. Også svampesygdomme som f.eks. fusarium kan blive et problem ved såning i kold jord.

Tidlig såning af vintersæd giver mere ukrudt

- De fleste vintersædsarter er egnede til såning sidst i september eller først i oktober. Senere såning giver lavere udbytte og risiko for udvintring. Tidligere såning giver risiko for større ukrudtstryk og angreb af havrerødsot samt, især i vinterbyg, øget risiko for manganmangel.
- På sandjord er det normalt let at etablere et godt såbed senere på efteråret. Fordelen ved sen såning er reduceret fremspiring af ukrudt og mindsket risiko for manganmangel.

Udsædsmængder tilpasses såtid, såbed og ukrudt

- ➢ Jo senere såning des højere udsædsmængde i både vårsæd og vintersæd.
- ➢ Ved forventet højt ukrudtstryk øges udsædsmængden med 10-20% for at øge afgrødens konkurrenceevne.
- ➢ Udsædsmængden øges i de områder af marken, hvor fremspiringen forventes at være dårligere, f.eks. på bakketoppe, skråninger eller lavninger.

Vejledende udsædsmængder i vårsæd.

Korn	Planter/m^2	Bælgsæd	Planter/m^2
Vårbyg	350	Markært	90
Maltbyg	300	Lupin, forgrenet	80
Havre	350	Lupin, uforgrenet	100
Vårhvede	450	Hestebønne	50
Vårtriticale	400		

Vejledende udsædsmængder (planter/m^2) i vintersæd.

Sådato	Milde lokaliteter				Kolde lokaliteter			
	Hvede	Rug[1]	Byg	Triticale	Hvede	Rug[1]	Byg	Triticale
16. sept.	325	225	320	300	375	280	360	325
21. sept.	350	250	340	320	400	300	380	350
26. sept.	375	275	350	350	425	325	-	375
1. okt.	400	300	-	370	450	350	-	400
16. okt.	450	375	-	450	-	-	-	-

[1] I hybridrug sås typisk 20-25 % færre planter end i linjesorterne.

3. Langsigtede effekter af sædskiftet

Det langvarige økologiske sædskifteforsøg til planteavl ved Aarhus Universitet blev anlagt i 1997 på tre forskellige lokaliteter. Efter tre 4-marks rotationer på i alt 12 år fortsatte forsøget på en lokalitet, Foulum. Kombinationer af helårsgrøngødning, gødning og efterafgrøder blev testet. Alle resultater som er knyttet til forsøget, er mærket med

Hovedpointer

- Forbedring af jordfrugtbarheden i sædskiftet gennem brug af N-fikserende helårsgrøngødninger og efterafgrøder gav både en kortsigtet (1-4 år) og langsigtet (5-8 år) forøgelse af udbytter og N-optagelse.
- Omkring 10-15% af N i kernerne stammede fra omsætning af afgrøderester, helårsgrøngødninger og efterafgrøder dyrket 5-8 år tidligere [1].
- I planteavlssædskifter på grovsandet jord med lille roddybde og høj nedbørsmængde er det vanskeligt at opnå mærkbare langvarige effekter af efterafgrøder og helårsgrøngødninger. Her var effekterne kortvarige. Det handler derfor primært om at "lukke huller", for at holde på opsamlet N, så det kan udnyttes af en efterfølgende afgrøde.
- Udbyttet af en afgrøde bør vurderes som en del af en afgrødefølge. Det skyldes, at kløvergræs og N-fikserende efterafgrøder optræder som stødpuder i sædskiftet.

Jørgen E. Olesen
uddyber

3.1. Effekter af efterafgrøder og helårsgrøngødning

Positiv udbytteeffekt af kløvergræs-grøngødning og efterafgrøder i sædskiftet (1)

Udbytteeffekter målt over tre 4-marks rotationer (1997-2009)	Vårbyg			Vintersæd		
	JY	FO	FL	JY	FO	FL
	JB1	JB4	JB6	JB1	JB4	JB6
	ton kerne/ha					
Grøngødning som forfrugt				+1,2	+0,6	+1
Grøngødning i sædskiftet, ekskl. forfrugt	ns	+0,4	+0,3	ns	+0,7	+0,8
Efterafgrøder i sædskiftet inkl. forfrugt	+0,8	+0,8	+0,5	ns	ns	ns

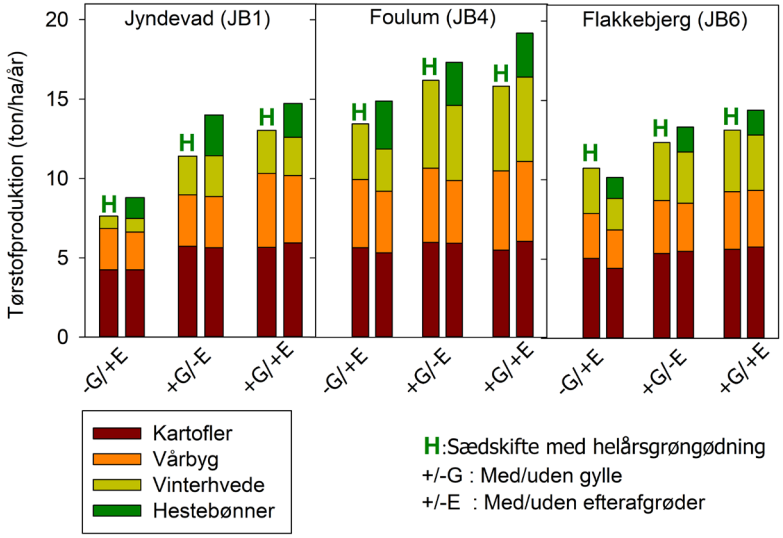
ns: Lave og ikke signifikante udbytteeffekter.
JY: Jyndevad, FO: Foulum, FL: Flakkebjerg

- Selvom vårbyg først kom 3 år efter helårs-grøngødningen, var der sikre merudbytter for grøngødningen i forhold til et sædskifte uden grøngødning. Dog ikke på den grovsandede jord på Jyndevad.
- Der var store merudbytter for efterafgrøder forud for vårbyg, især på Jyndevad og Foulum. Efterafgrøderne bestod af N-fikserende og ikke-N-fikserende arter.
- På Jyndevad gav grøngødningen som forfrugt til vintersæd et stort merudbytte på 1,2 ton kerne/ha. Derimod blev der ikke målt sikker effekt, når grøngødningen var placeret længere væk fra vintersæden.
- På Foulum og Flakkebjerg var der hhv. 0,6 og 1,0 ton kerne/ha i merudbytte for at have en helårs-grøngødning placeret som forfrugt til vintersæden. Eftervirkningen af grøngødningen, placeret længere fra vintersæden i sædskiftet, var fortsat stor på begge lokaliteter.
- I vintersæden blev der ikke fundet sikre effekter af efterafgrøder. En medvirkende faktor var lang afstand mellem efterafgrøden og vintersæden.

Vintersæd efter kløvergræs var normal praksis ved forsøgets etablering i 1997, men anbefales af miljømæssige årsager ikke i dag.
Resultatet illustrerer betydningen for vintersæden af en god N-forsyning.
Vintersæden bestod primært af vinterhvede.

3.2. Effekter af helårsgrøngødning

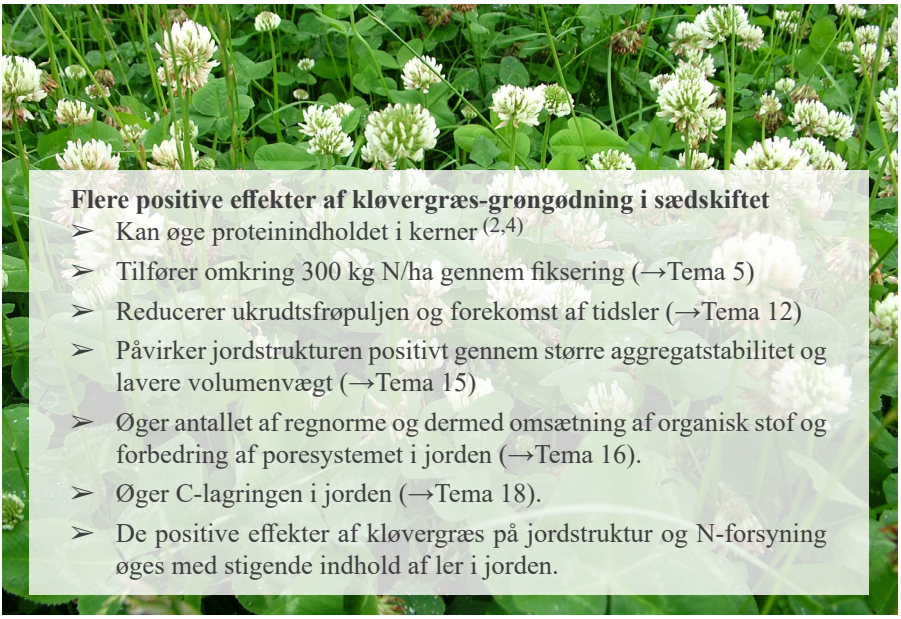
Tørstofudbytter med og uden 25% helårsgrøngødning i sædskiftet [2,3]



Sum af tørstofudbytter i kerne, frø og kartoffel målt over et 4-markssædskifte i 3. rotation. Kløvergræs erstatter hestebønner i systemet med helårsgrøngødning, og bidrager ikke til tørstofudbyttet. I de gødede behandlinger (+G) blev der taget slæt i helårsgrøngødningen med henblik på afgasning og tilbageførsel af gødning til sædskifterne.

- Afhængig af system var det samlede udbyttetab ved at udelukke en salgsafgrøde til fordel for en helårsgrøngødning 11-19% på Jyndevad, 7-17% på Foulum og -6 til 9% på Flakkebjerg.
- På både Foulum og Flakkebjerg gav vårbyg og vinterhveden højere udbytter i sædskiftet med helårsgrøngødning, når sædskiftet enten manglede gylle (-G) eller efterafgrøder (-E). Det kunne til en vis grad kompensere for den manglende salgsafgrøde.
- På den grovsandede jord på Jyndevad var der ingen gevinst på udbytterne af salgsafgøderne, når der indgik 25% helårsgrøngødning i sædskiftet.
- De målte tab kan reduceres eller vendes til et plus, hvis helårsgrøngødningen sælges til husdyrbruger, leveres til biogasanlæg og/eller anvendes til proteinproduktion gennem bioraffinering.

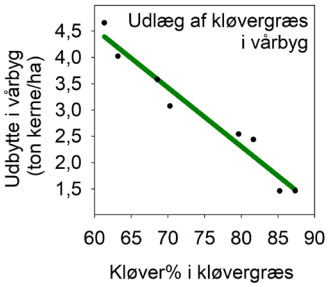
3.3. Effekter af grøngødning

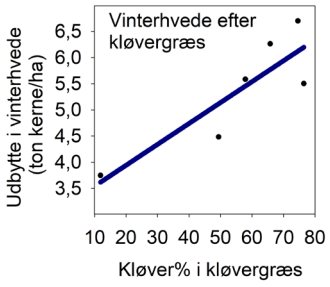


Flere positive effekter af kløvergræs-grøngødning i sædskiftet

- Kan øge proteinindholdet i kerner [2,4]
- Tilfører omkring 300 kg N/ha gennem fiksering (→Tema 5)
- Reducerer ukrudtsfrøpuljen og forekomst af tidsler (→Tema 12)
- Påvirker jordstrukturen positivt gennem større aggregatstabilitet og lavere volumenvægt (→Tema 15)
- Øger antallet af regnorme og dermed omsætning af organisk stof og forbedring af poresystemet i jorden (→Tema 16).
- Øger C-lagringen i jorden (→Tema 18).
- De positive effekter af kløvergræs på jordstruktur og N-forsyning øges med stigende indhold af ler i jorden.

Højt udbytte af dæksæden i udlægsåret for helårsgrøngødning mindsker udbyttet i den afgrøde, der følger efter grøngødningen – og omvendt [5].





Målinger på Flakkebjerg (JB6) Sædskiftesekvens: vårbyg/udlæg, kløvergræs, vinterhvede.

Kløvergræs virker som en stødpude i sædskiftet. Det skyldes kløverens følsomhed overfor konkurrencen fra dæksæden. Jo mere kvælstof, som dæksæden har til rådighed, des hårdere er konkurrencen overfor det undersåede udlæg. Samme forhold gælder for undersåede N-fikserende efterafgrøder. Større rækkeafstand i kraftige afgrøder hjælper udlæg (→Tema 4)

Kløvergræssets stødpudeeffekt gælder også, når vårsæd følger efter kløvergræsset.

4. Efterafgrøder

Undersået rajgræs (6 kg/ha), cikorie (1 kg/ha), rødkløver (2 kg/ha) og hvidkløver (1 kg/ha) i havre på dobbelt rækkeafstand.

Hovedpointer

- Eftervirkningen af efterafgrøder kan variere fra negative merudbytter af den efterfølgende hovedafgrøde til merudbytter, som svarer til fuldgødning med N. Effekten afhænger af C/N-forhold, tidspunkt for indarbejdning i jorden og af vejret.
- Veletablerede N-fikserende efterafgrøder giver merudbytter i vårsæd svarende til tilførsel af 40-80 kg udnyttet N i gylle.
- Efterafgrøder fastholder N og S i rodzonen gennem efterår og vinter. En biomasse på 1-2 ton tørstof/ha i efterafgrøde-top giver sikkerhed for stabil lav N-udvaskning. En forudsætning er, at efterafgrøden på sandjorde er vinterfast og ikke nedmuldes for tidligt.
- Bælgplanternes N-fiksering øges, når der iblandes ikke-N-fikserende arter. Det er, fordi de ikke-N-fikserende arter reducerer puljen af plantetilgængeligt N.

Jørgen E. Olesen uddyber

Jens Hansen uddyber

4.1. Etablering

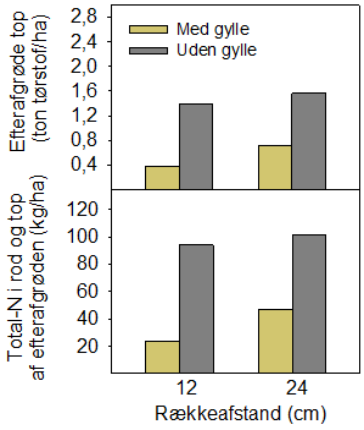
Undersåning sammen med dæksæden eller forskudt

Efterafgrødeart tilpasses dæksædens konkurrenceevne. Forskudt såning giver mulighed for blindstrigling, og for at afgrøden kommer foran i konkurrencen med en kraftig efterafgrødeart. Men en senere såning af udlægget øger risikoen for, at udlægget hæmmes ved tørke.

Efterafgrøde og dæksæd skal passe sammen. Her er udlæg af rødkløver sået samtidig med vårbyg. Det kostede udbytte og gav stort besvær ved høst. Foto: Henning C. Thomsen.

Dobbelt rækkeafstand i vårhvede gav samme kerneudbytte som alm. rækkeafstand og samtidig bedre udvikling af undersået efterafgrøde(1)

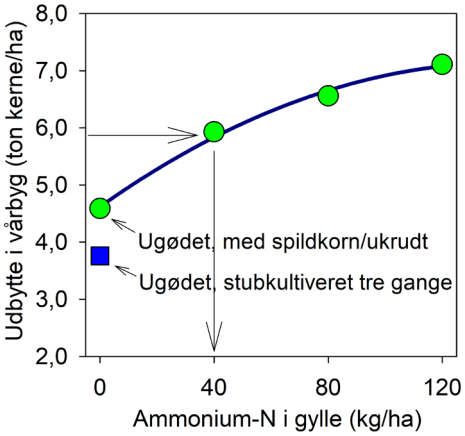
- Tilførsel af 110 kg total-N/ha i gylle til en dæksæd af vårhvede sået på 12 cm rækkeafstand gav kraftig reduktion i efterafgrødens biomasse og N-indhold målt i oktober.
- Med dobbelt rækkeafstand klarede efterafgrøden i den gødede behandling sig dobbelt så godt.
- Uafhængigt af rækkeafstanden var kerneudbyttet i vårhveden ca. 5,3 ton/ha med gylle og ca. 4,7 ton/ha uden gylle.
- Udbytte i efterafgrøden faldt, når dens såtidspunkt blev udsat fra start maj til slut maj.



Resultatet er udpluk fra forsøg på Foulum (JB4) i 2015. Efterafgrøden, sået start i maj, bestod af hvidkløver, rødkløver, rajgræs og cikorie. Vårhveden var sået med 450 planter/m^2 ved begge rækkeafstande.

Undersået rødkløver i vinterrug gav merudbytte i vårbyg året efter (2)

- Eftervirkningen af 3 kg rødkløver/ha undersået i vinterrug gav i et økologisk markforsøg på JB1-jord et udbytte i vårbyg på 5,9 ton kerne/ha. Det svarede til gødskning med 40 kg ammonium-N/ha i gylle.
- Udbyttet var 1,3 ton kerne/ha højere end en ugødet behandling, som var dækket med ukrudt og spildkorn om efteråret - og 2,1 ton kerne/ha højere hvor den ugødede behandling blev holdt sort i efteråret med tre gange stubkultivering.



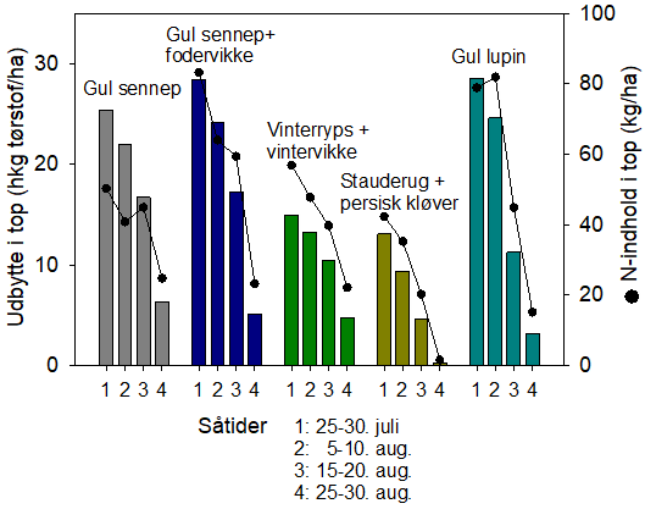
Forudsætningen for et godt rødkløverudlæg:
1) at udlægget sås tidligst muligt i foråret og altid inden begyndende strækning,
2) at dæksæden af rugen ikke går i leje, og
3) at udlægsmarken ikke har høj bestand af ukrudt.

Efterafgrøde af rødkløver undersået i vintersæd.

Tidlig etablering er altafgørende ved såning efter høst (3)

Det var resultatet i et økologisk markforsøg, hvor fem arter/blandinger blev testet på sandjord (JB1 og JB4). Toppen af efterafgrøderne blev høstet omkring 1. november.

- Udskydelse af såtidspunkt fra sidst i juli til sidst august kostede 30-80 kg tørstof/ha/dag og 1-2 kg N/ha/dag målt i top.
- Prisen for jordbearbejdning, såsæd og såning er den samme uanset såtidspunkt.
- En stor del af det opsamlede N i ikke vinterfaste arter, som f.eks. gul sennep og fodervikke, vil udvaskes over vinteren på de lette jorde. Derfor bør vinterfaste arter altid iblandes på sandjorde.



Blanding af olieræddike, vintervikke, vårvikke og honningurt samt lidt spildrug.

4.2. Blandinger

Blandinger med høj artsdiversitet sikrer stabil og høj biomasseproduktion (4)

- Artsblandinger gav i gns. 3,5 ton tørstof pr. ha mod 2-3,2 ton pr. ha i de rene arter.
- I 81% af opgørelserne gav blandingerne mere end gns. af arterne dyrket hver for sig, og i 37% af opgørelserne gav de mere end hver art dyrket i renbestand.
- To-arts-blandinger var højest ydende i de enkelte markforsøg, men den optimale sammensætning af to-arts-blandingerne varierede mellem år og lokalitet, og kunne ikke forudsiges. Undersøgelsen konkluderer, at man opnår en bedre forsikring mod uforudsigelige dyrkningsforhold ved at anvende blandinger af efterafgrøder med flere end to arter.

Forskel på efterafgrødearters bidrag med næringsstoffer (5)

Når blandinger mixes, kan arternes forskellige evner til at optage og frigive næringsstoffer bruges som et af kriterierne i udvælgelsen. På den måde kan der opnås en mere komplet forsyning med næringsstoffer til efterfølgende afgrøde.

Et års mark- og laboratorieforsøg på Højbakkegård (JB5) med analyse af syv arter. Bedste arter til både at optage og frigive N, P og S er markeret med 'x'. Bedste arter til at optage K, Mg, Mn, Zn og B er markeret med 'y'.

	N	P	S	K	Mg	Mn	Zn	B
Boghvede								
Blodkløver	X							Y
Hvid lupin	X					Y		
Olieræddike		X	X	Y				Y
Ital. rajgræs								
Havesyre		X		Y	Y			
Vintervikke	X						Y	Y

Der blev ikke målt frigivelse af de 'y' markerede næringsstoffer. Dog er K let opløselig og vil derfor let frigives.

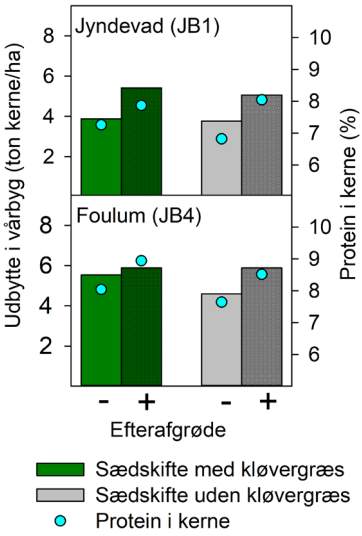
Boghvede gav højest udbytte, og er også kendt for at kunne mobilisere hårdt bundet P i jorden. Men da boghvede har høje C:N, C:P og C:S-forhold i både top og rødder betyder det, at frigivelsen af næringsstoffer vil gå langsommere. Boghvede har imidlertid gode egenskaber i forhold til ukrudtskonkurrence og vært for bestøvere, og er derfor værdifuld i blandinger. Også rajgræs er værdifuld som blandingspartner, da den er produktiv og dyrkningssikker.

4.3. Eftervirkning

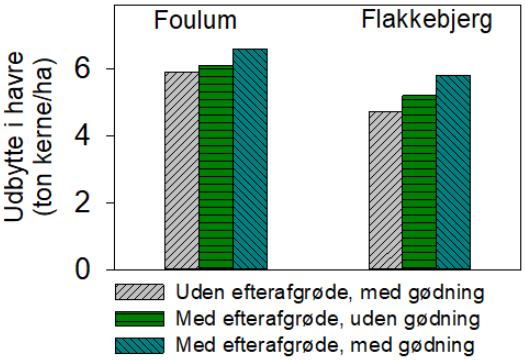
Efterafgrøder gav merudbytter og øget protein% i gødet vårbyg (6)

- Før vårbyg blev der nedpløjet en efterafgrøde af alm. rajgræs, hvidkløver og rødkløver. Det gav merudbytter op til 1,3-1,5 ton kerne/ha. Byggen var gødet med 60 kg total-N/ha i gylle.
- På begge lokaliteter steg kernernes protein% i sædskifterne med efterafgrøde.

Data er gennemsnit af fire år i sædskiftets 3. rotation. Effekten af efterafgrøden er baseret på flere års anvendelse af efterafgrøder i sædskifterne og ikke kun den efterafgrøde, der er nedpløjet umiddelbart før vårbyggen.

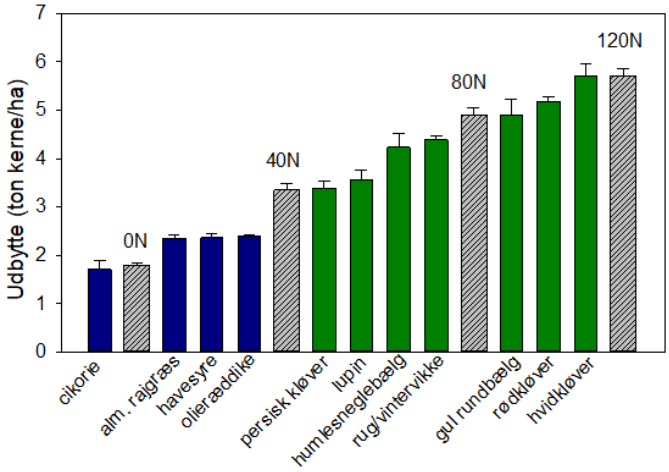


Samme udbytte i havre efter god efterafgrøde som med tilførsel af gylle (7)



En efterafgrøde af hvidkløver, rødkløver og rajgræs blev udlagt forår i vinterhvede i 2. rotation. Efterafgrøden blev nedpløjet forud for havre. Der blev tilført 50 kg ammonium-N/ha i gylle i de gødede behandlinger.

Hvid- og rødkløver gav høj eftervirkning på vandet grovsandet jord (JB1) [8]



Efterafgrøderne blev undersået i vårbyg om foråret. Dæksæden blev gødet med 70 kg total-N/ha i gylle. Olieræddike samt rug/vintervikke blev sået umiddelbart efter høst af vårbyggen start august. Alle efterafgrøder blev nedpløjet efterfølgende forår forud for såning af en vårbyg, som alene levede af eftervirkningerne. Som reference blev der dyrket vårbyg uden efterafgrøde og med stigende N-mængder i kalkammonsalpeter (de grå søjler).

- Jorden var udpint for N, og det betød, at de ikke-N-fikserende arter (de blå søjler) klarede sig dårligt. Jorden havde været konventionelt dyrket forud for forsøget og helt uden bælgplanter, så derfor ingen 'kløvertræthed'.
- Persisk kløver voksede kraftigt i efteråret, men på grund af dens ringe vinterfasthed blev en stor del af det opsamlede N udvasket.
- Cikorien voksede videre efter nedpløjning på den grovsandede jord. Den optog N fra byggen, som blev tynd og bleg (se foto). På de bedre jorde blev samme problem ikke set.

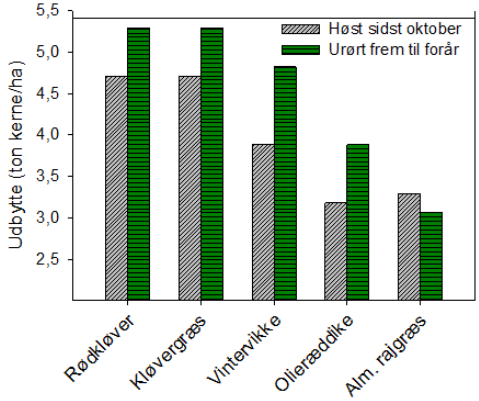
Eftervirkning fra efterafgrøder erstatter gylle næsten uden udbyttetab i grønsagssædskifte på Aarslev [9]

En ombytning af 88 kg total-N/ha i gylle (Øko1) med blot 26 kg total-N/ha i gylle (Øko2) gav tilnærmelsesvis samme høstudbytter, når den manglende gylle blev erstattet med N-fikserende efterafgrøder. Der var ler til 2,5 meters dybde (JB6/JB7).

Mark	System	Konventionel	Øko1	Øko2	
		NPK, ingen efterafgrøder	Gylle, ingen efterafgrøder	Gylle, med efterafgrøder	
		Kg total-N pr. ha			Efterafgrøder
1	Havre	90	47	0	Kløverbl. A
2	Gulerod	120	56	0	(Vinterrug)
3	Vinterrug	120	47	0	Kløverbl. B
4	Salat	170	112	0	Olieræddike
5	Havre	90	47	0	Kløverbl. A
6	Løg	170	112	70	(Vinterrug)
7	Vinterrug	120	47	0	Kløverbl. B
8	Hvidkål	310	234	140	Genvækst
	Gns.	149	88	26	
Udbytte i total afgrøde-biomasse		100%	83%	81%	

Kløverblanding A: Rundbælg + humlesneglebælg + hvidkløver + rødkløver + alm. rajgræs. Kløverblanding B: Lucerne + rødkløver.

Høst af efterafgrøde om efteråret reducerede eftervirkning i vårbyg [10]



I forsøg på Foulum blev biomassen af forskellige efterafgrøder høstet sidst i oktober for at producere biogas. Efterfølgende sæson blev der målt eftervirkninger i ugødet vårbyg.

Udbytterne i vårbyg faldt med 0,6-0,9 ton kerne/ha, hvor efterafgrødens top var høstet. For alm. rajgræs var der ikke sikker forskel mellem de to behandlinger.

S-eftervirkning af efterafgrøder (11,12)

Efterafgrøder bidrager med en vis S-tilførsel til efterfølgende afgrøder, men det er sjældent, at nedpløjning af en efterafgrøde kan dække hele afgrødens S-behov.

- Mens bælgplanter er attraktive i forhold til N-forsyning, så er deres evne til at frigive plantetilgængeligt S efter nedpløjning dårlig. Der kan endda ske en immobillisering af svovl i jorden.
- Korsblomstrede efterafgrøder, f.eks. raps og olieræddike, er mest effektive til at optage S og efterfølgende frigive det efter nedpløjning.
- Der er målt S-optagelse i korsblomstrede efterafgrøder på op til 36 kg/ha på en lerjord. Så høj optagelse forudsætter en god N-forsyning. Typisk er S-optagelsen en del lavere, 10-12 kg S/ha.
- På en grovsandet jord, som på Jyndevad, kan man ikke regne med en optagelse større end 5 kg S/ha.

Ligesom for N afhænger mineraliseringen af organisk bundet S af forholdet til kulstof, C/S-forholdet. I markforsøg varierede C/S forholdene i forskellige efterafgrøder fra 40 til 329. Typisk skal forholdet ligge under 200 for, at der sker en nettofrigivelse af S. Størst S-frigivelse på 57-85% af totalindholdet er fundet efter korsblomstrede efterafgrøder og mindste på 46% og derunder efter bælgplanter.

→ Se også tema 8 om svovl.

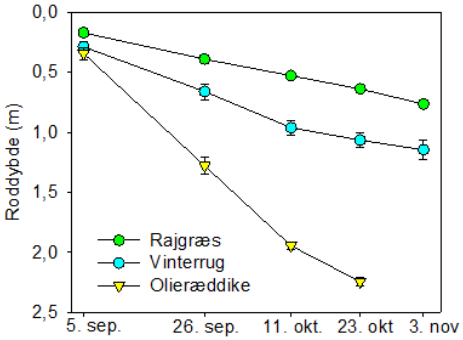
4.4. Roddybder

Grovsandet underjord stopper rodvæksten (8)

I forsøget på den grovsandede jord på Jyndevad (JB1) blev der start november målt roddybder i hvidkløver, rajgræs og cikorie. Hvidkløver nåede ikke dybere end 50 cm, og rødderne fra rajgræs og cikorie blev ikke fundet dybere end 75 cm. Cikorie kan potentielt gå dybt, men den egenskab blev ikke udnyttet her, hvor også underjorden er grovsandet og fattig på vand og næringsstoffer.

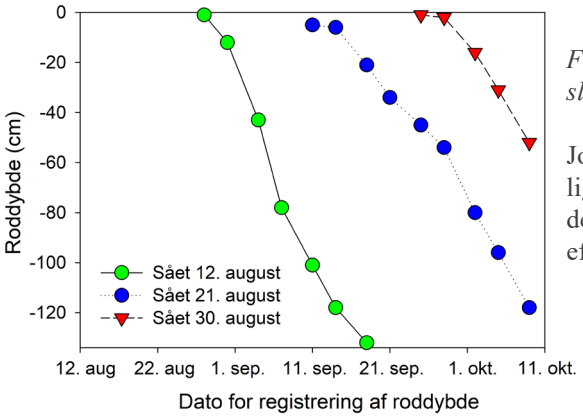
Rødder af olieræddike kan gå dybt på lerjord (13)

Rajgræs nåede kun en dybde på 0,7 meter, vinterrug nåede 1,12 meter, mens olieræddike nåede dybere end 2,4 meter. Olieræddiken var effektiv til at optage nitrat-N fra de dybe jordlag. Andre korsblomstrede afgrøder som vinterraps og gul sennep samt kurvblomsten cikorie er sandsynligvis også gode til at hente nitrat-N op fra de dybe jordlag.



I forsøg på Aarslev (JB6) blev rajgræs, vinterrug og olieræddike sået 8. august og roduddviklingen fulgt gennem et efterår.

Såtiden efter høst har stor betydning for roddybden (14)



Forsøg med olieræddike på Årslev (JB5)

Jo før der kan høstes des tidligere etablering af efterafgrøden og des større biomasse og eftervirkning.

4.5. C/N-forhold

Fakta om C/N-forhold (15,16,17)

- Et lavt C/N-forhold i efterafgrøden betyder, at N frigives hurtigt efter nedmuldning. Ved et lavt C/N på 10 vil halvdelen af efterafgrødens totale N-indhold hurtigt kunne mineraliseres.
- Ved et højt C/N-forhold på over 20 i f.eks. rajgræs og cikorie frigives N langsommere. Der sker binding af N i mikroorganismer, som kan give symptomer på N-mangel i afgrøden. Senere på vækstsæsonen frigives det bundne N igen.
- Efterafgrøder skal normalt ikke have lov til at starte væksten om foråret, inden de nedmuldes, da de begynder at optage det N og vand fra jorden, som hovedafgrøden skulle have haft adgang til.
- Bælgplanter har et konstant lavt C/N så længe, de ikke er begyndt at danne stængler og blomster. Efterafgrøder med bælgplanter kan derfor få lov til at vokse mere i foråret, men nedmuldes senest ved begyndende blomstring.
- Generelt gælder, at når planten begynder at danne stængel og gå i blomst eller sætte aks, sker der en stigning i C/N-forholdet.
- Jo højere C/N-forhold des vigtigere er det at starte omsætningen af biomassen i god tid forud for etablering af hovedafgrøden.

C/N-forholdet er alene bestemt af biomassens N-koncentration, da C-koncentrationen normalt ligger ret stabilt på ca. 45% af tørstoffet. Jo højere N-koncentration des lavere C/N.

Retningslinjer for tidspunkt for fræsning/nedpløjning af efterafgrøder (15,16,17)

For at reducere risiko for N-udvaskning bør fræsning/nedpløjning ske tættere på såning på sandjorde end på lerjorde - og tættere på såning på lokaliteter med høj nedbør end med lav.

- Rød- eller hvidkløver dominerer (C/N under 15): 1-2 uger før såning.
- Gul sennep, olieræddike (C/N 15-20): 1-2 uger før såning.
- Vinterraps, rug (C/N 15-20): 3-4 uger før såning, da de starter væksten tidligt, hvilket hurtigt øger C/N-forholdet.
- Rajgræs (C/N over 20): Tidlig forår evt. november på lerjord.

→ Se også tema 5 Kvælstof, tema 16 Mikro- og makroliv i jorden og tema 18 Kulstof i jorden.

Hovedpointer

- Kvælstof er det mest udbyttebegrænsende næringsstof i økologisk planteavl.
- N-fikserende helårsgrøngødninger og efterafgrøder kan bidrage med store N-mængder til jorden. Det opsamlede N kan dog tabes igen, hvis markerne er uden effektivt plantedække i vinterhalvåret.
- N-udvaskningen fra lerjorde er væsentlig mindre end fra sandjorde. Det skyldes, at lerjordene har en større vandholdende evne, og at afgrøder på lerjorde kan udvikle dybere rodnet og dermed optage mere N end på sandjorde.

Jørgen Eriksen
uddyber

Frigivelse af N gennem jordbearbejdning
Når jorden bearbejdes, kan der frilægges organisk stof, som har ligget skjult i mikroskopiske hulrum i jordpartiklerne og derfor beskyttet mod mikrobiel nedbrydning. Hvor hurtigt mikroorganismerne omsætter det organiske stof og frigør mineralsk N, er afhængig af C/N-forholdet i det ikke omsatte plantemateriale, af jordtemperaturen og af adgangen til ilt.

5.1 N-former og balancer

N findes i mange former

- *Frit kvælstof (N_2)*: Optages kun af N-fikserende bakterier, der omdanner N_2 til ammonium-N. Med 78% N_2-indhold i atmosfæren har vi en ubegrænset N-ressource. Konventionelle N-gødninger er også produceret fra N_2 under høj temperatur og stort tryk.
- *Organisk bundet N*: Stammer fra input af organisk stof indlejret gennem tiden. Jo friskere organisk stof og jo lavere C/N-forhold des større N-mængde kan der frigives gennem mikroorganismernes aktivitet.
- *Ammonium-N (NH_4^+)*: Det organisk bundne N kan omsættes af mikroorganismer til NH_4^+, som er plantetilgængeligt.
- *Nitrat-N (NO_3^-)*: Ammonium-N nitrificeres hurtigt til NO_3^- i jorden, hvis bakterierne ikke mangler ilt. NO_3^- findes opløst i jordvandet og optages let af planterne, men udvaskes også let.
- *Lattergas (N_2O)*: Dannes når der er letomsætteligt N-holdigt organisk stof i jorden kombineret med iltfattige lommer. → Se mere under tema 18.
- *Ammoniak (NH_3)*: Fordamper fra husdyrgødning ved opbevaring og udbringning. Stort tab fra frie overflader og ved højt pH. I jord bindes NH_3 hurtigt til jordpartiklerne som NH_4^+, der ikke fordamper. → Se mere under tema 10.

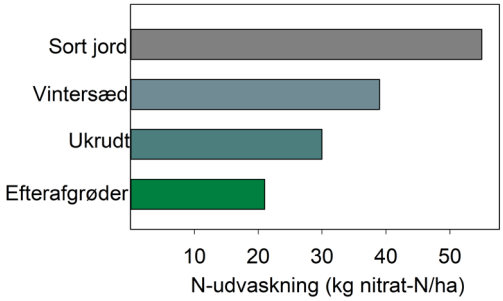
Eksempel på N-balancer i to forskellige dyrkningssystemer (1)

N-balance over fuld 4-marks sædskifte-rotation 2006-2009 på Foulum		Uden grøngødning og efterafgrøder	Med grøngødning og efterafgrøder
		kg N/ha	
Input	Gylle	71	70
	N-fiksering afgrøde	31	79
	N-fiksering efterafgrøde	0	17
	Deposition	15	15
	Såsæd	6	4
	I alt	123	185
Output	Udbytter	86	128[a]
	N-udvaskning	56	39
	Ammoniak fordampning (NH_3)	3	3
	Denitrifikation (N_2O og N_2)	13	16
	Ialt	158	186
Ændring i jordens N-balance		-35	-1

a) Kløvergræsset høstet for produktion af afgasset "gylle".

5.2 N-udvaskning og fastholdelse af N

N-udvaskning afhænger mest af markernes behandling om efteråret [2]



- Som gennemsnit af 3 lokaliteter og 3 rotationer var N-udvaskningen 20 kg/ha, når der indgik efterafgrøder og 55 kg/ha, når jorden blev holdt sort i efteråret i forbindelse med mekanisk bekæmpelse af rodukrudt.
- Et dække af ukrudt/spildkorn kunne næsten halvere N-udvaskningen i forhold til den stubharvede jord, og det var mere effektivt end vintersæd.
- Udvaskningen steg med stigende antal stubharvninger om efteråret. Ved at gå fra 1 til 4 stubharvninger steg N-udvaskningen med 8-17 kg/ha.
- Hvor jorden var dækket af vintersæd i efteråret, var N-udvaskningen 5 kg/ha større, når vintersæden indgik i sædskifte med efterafgrøder i forhold til sædskifte uden efterafgrøder. Det skyldtes vintersædens lille N-optagelse i efteråret kombineret med den generelt højere jordfrugtbarhed i efterafgrødesystemet.

Størst N-udvaskning på grovsandet jord med ringe roddybde [2,3]

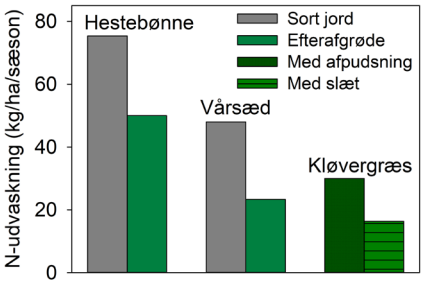
De største N-tab efter korn og bælgsæd fandt sted allerede i efteråret på Jyndevad, på et tidspunkt hvor eftergrødernes kapacitet for N-optagelse endnu ikke var nået. Her vil undersåning af efterafgrøder i foråret have en fordel frem for såning efter høst, hvor efterafgrøden først skal etablere sig. På Foulum var tabene størst omkring vinter og på Flakkebjerg størst i det tidlige forår.

	Gns. nedbør mm	N-udvaskning, kg NO_3-N/ha	Måneder med N-udvaskning
Jyndevad (JB1)	859	71	Alle måneder
Foulum (JB4)	626	31	Nov.-marts
Flakkebjerg (JB6)	559	20	Dec.-marts

Efterafgrøden skal være veludviklet for bedst effekt (4,5)
På Foulum skulle biomassen af efterafgrøden opnå en tørstofvægt på over 1-2 ton/ha for at reducere N-udvaskningen til et stabilt lavt niveau.

Lav N-udvaskning med kløver i efterafgrøden (4,5,6)
Målinger har vist, at efterafgrøder med iblandet kløver reducerede N-udvaskningen til samme niveau som ikke-fikserende efterafgrøder.

Efterafgrøde i vårsæd var lige så effektivt som kløvergræs (5)

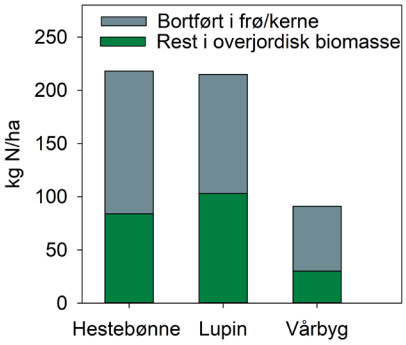


Data er gns. af tre år fra 5. rotation på Foulum. N-udvaskningen blev målt fra oktober til april. Efterafgrøden var en blanding af alm. rajgræs, cikorie, hvidkløver og rødkløver undersået forår.

- Mest effektiv var kløvergræsset, når der blev høstet slæt.
- Efterafgrøderne efter hestebønne var ikke så effektive som efter vårsæden. Det skyldes mere afledt N fra hestebønnerne koblet med en senere høst, som hæmmede efterafgrødernes vækst.

Meget N at holde på efter bælgsæd (7)

- Der blev efterladt en stor N-mængde efter hestebønner og lupin.
- I de bedste afgrøder var N-indholdet i de totale overjordiske biomasser dobbelt så højt som vist i figuren.



Figuren viser N i høstede frø/kerner samt i den overjordiske biomasse, der efterlades i marken efter høst. Gns. af lokaliteter og behandlinger fra 1997-2019.

5.3 Tal på N-fiksering

Knoldbakterier (Rhizobium) omdanner luftens kvælstof (N_2) til ammoniak (NH_3), som bælgplanten kan optage. I bytte får knoldbakterierne energi leveret fra bælg plantens fotosyntese.

Efterafgrøder på Aarslev (JB5) (8)

Arter	N-fiksering kg/ha
Blodkløver	80-110
Vintervikke	80-150
Perserkløver (1 år)	110
Fodervikke	30-90
Alexandrinerkløver	30-70

Arterne blev sået efter høst sidst juli/start august. Data i tabellen er for top.

Efterafgrøde på Foulum (9)

I et et-årigt forsøg på Foulum (JB4) udgjorde fikseret N i top af rødkløver 86 kg/ha plus 35 kg/ha i rødder. Rødkløveren var undersået i vårbyg om foråret. Tilnærmelsesvis samme N-fiksering blev målt i en blanding af rødkløver/rajgræs, mens fikseringen i vintervikke, sået efter høst, kun nåede op på i alt 78 kg/ha.

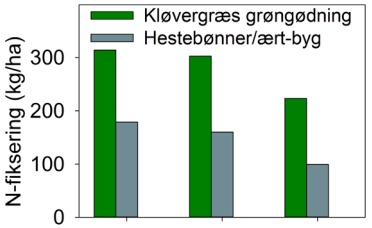
To-årige kløvergræsmarker på Foulum (JB4) (10)

Blanding	Total tørstof (ton/ha)	N-fiksering (kg/ha)
Hvidkløver/alm. rajgræs	10,6	157
Rødkløver/alm. rajgræs	15,2	357
Lucerne/alm. rajgræs	13,5	343
Kællingetand/alm. rajgræs	9,5	121

Data for 4 slæt i ugødede behandlinger

Helårsgrøngødning fikserede omtrent dobbelt så meget som bælgsæd (11)

- Kløvergræs-grøngødningen fikserede i gennemsnit 300 kg N/ha på Jyndevad og Foulum.
- I sædskiftet uden grøngødning var den N-fikserende hovedafgrøde ært/byg i et år og hestebønne i de efterfølgende tre år. Som gennemsnit var N-fikseringen 40-50% lavere end i helårs-grøngødningen.
- Årsagen til lavere fiksering på Flakkebjerg er en lav nedbørsmængde.



N-fiksering målt i 3. rotation Grøngødningen bestod af alm. rajgræs, hvidkløver og rødkløver.

Mangelfuld forekomst og/eller aktivitet af rodknolde kan have flere årsager

- Højt N-indhold i jorden betyder, at bælgplanter optager N fra jorden i stedet for at udnytte N-fikseringen. Det sparer energi.
- Aktiviteten af knoldbakterierne hæmmes ved lavt reaktionstal (Rt) og/eller lavt fosfortal (Pt) i jorden. Mangel på andre næringsstoffer kan forekomme, men det er sjældent.
- Generelt har temperatur og vandindhold i jorden stor betydning for størrelsen af N-fikseringen. Derfor kan der være store forskelle mellem årene.
- Nogle arter af rhizobium findes ikke i tilstrækkelig grad i jorden, hvorfor f.eks. lucernefrø skal podes forud for såning.

N-fikseringen er forsinket, så nye bælgplanter må optage start-N fra jorden

- Knoldbakterierne skal først inficere bælgplantens rødder, og herefter går der 10-21 dage før de nyetablerede rodknolde leverer overskud i N-regnskabet.
- Indtil da må den nyetablerede bælgplante dække sit behov for N og andre næringsstoffer fra "madpakken" i frøet og fra jorden.
- De nyetablerede bælgplanters vækst kan derfor være hæmmet, hvis der forud er nedpløjet store mængder halm, f.eks. efter gulerødder (se foto nedenfor).
- Normalt vil der ikke være merudbytter for N-tilførsel ved såning af bælgplanter, når pløjelaget indeholder mere end 20 kg N/ha [(12)].

Lupiner sået efter halmdækkede gulerødder. Udbyttet blev dog godt uden ekstra N-tilførsel. Foto: Sven Hermansen.

Tjek af rodknolde er bedst lige før blomstring

Her er N-fikseringer nemlig størst. Et årligt tjek kan give et indtryk af, hvor effektivt rhizobium bakterierne arbejder. Rodknolde er meget forskellige i form og størrelse. Når en rodknold skæres igennem, vil en rødlig farve vise, at knolden indeholder leghæmoglobin, og dermed er aktiv. En enkelt rodknold indeholder flere tusinde arbejdende rhizobium-bakterier.

Rodknolde fra hestebønner. Th. er to knolde skåret igennem.
Foto: Karen Søegaard

Rodknolde fra lupin. Th.er de skåret igennem.
Foto: Karen Søegaard

Find mere om kvælstof under
→ Tema 3 Langsigtede effekter af sædskiftet
→ Tema 4 Efterafgrøder
→ Tema 10 Organiske gødninger

6. Fosfor (P)

6.1. Styring og Pt

P-mangel i vårbyg i det langvarige gødningsforsøg på Askov Forsøgsstation.

I markjord findes i gennemsnit 4800 kg P/ha i 0–75 cm dybde (1)
Hovedparten af fosforet er bundet i tungt opløselige forbindelser. Mindre end 1 kg P/ha findes opløst i jordvæsken på en form, som planterødderne kan optage. Hele afgrødens P-optagelse skal ske inden for 1 mm fra de enkelte rødder og deres rodhår.

Fosfortal (Pt) og P-tilførsel (2)

- Et fosfortal for en mark dækker over stor variation på marken. Der vil derfor være områder i marken med væsentlig lavere og væsentlig højere fosfortal.
- En tommelfingerregel siger, at én enhed i fosfortal svarer til 25 kg plantetilgængeligt P/ha. Men når man er nede i den lave ende af skalaen for fosfortal og fjerner 25 kg P/ha, vil fosfortallet falde langt mindre end 1 enhed. Samtidig skal der tilføres en betydelig større mængde end 25 kg P/ha for at øge fosfortallet med én enhed.
- Er fosfortallene lave, og ønsker man at dyrke følsomme afgrøder, så må jordens fosfortal bygges op over flere år, før de bliver tilstrækkelig høje.
- Afgrøderne er mere følsomme over for lavt Pt på sandjorde end på lerjorde. Det betyder, at de kritiske Pt-niveauer normalt vil ligge lidt højere på sand- end på lerjorde – op til en enhed.
- Jo tættere man kommer på et kritisk Pt for en given afgrøde, des større er risikoen for, at fosfor bliver udbyttebegrænsende i år med dårlig rodudvikling.
- Jorden under pløjelaget spiller også en rolle i afgrødernes P-forsyning. Op til 30% af det fosfor en afgrøde optager, kan stamme fra underjorden. Derfor er dybere rodudvikling også vigtig for P-forsyningen.

Afgrøders forskellige følsomhed over for lavt fosfortal

Meget følsom	Majs, roer, kartofler
Følsom	Vårsæd. Vårbyg er sandsynligvis mest følsom
Middel	Vintersæd, kløver, ært, hestebønne, vinterraps
Hårdfør	Lupin, boghvede, cikorie

Vintersæd er mindre følsom over for lavt Pt end vårsæd, da vintersæd har en længere vækstsæson og dermed bedre tid til at udvikle et større rodnet. Der er også forskel mellem sorters evner til at optage P fra jorden. Det skyldes bl.a. forskelle i antal og længde af rodhår.

P-bortførsel ved salg af afgrøder har betydning for P-behov (3)

- Ved normale udbytter fjernes omkring 14 kg P/ha med kornkerner, mens bortførslen i halmen kun er et par kilo.
- I frø fra bælgsæd og raps bortføres normalt 15-20 kg P/ha.
- I de småfrøede arter som kløver bortføres ved salg af frø omkring 1 kg P/ha.
- I de lidt større rajgræsfrø bortføres omkring 4 kg P/ha. P-indholdet i rajgræshalm er større end i korn- og rapshalm. Ved salg af frøgræshalm bortføres omkring 10 kg P/ha.

God rodudviklingen og aktiv biomasse er særlig vigtig ved lave fosfortal

- Da det er rødderne "der skal komme til fosforet", har en god rodudvikling afgørende betydning ved dyrkning på jorde med lavt Pt. Strukturskade er derfor kritisk.
- Lupin, boghvede og raps øger udskillelsen af organiske syrer ved lave Pt. Det kan opløse hårdt bundet fosfor i jorden og indbygge det i en lettere omsættelig organisk pulje. Især lupiner og boghvede klarer sig godt ved lave fosfortal (4).
- En stor pulje af organisk stof i jorden fra grøngødninger og efterafgrøder er med til at opretholde høj mikrobiel aktivitet og dermed også en pulje af organisk bunden fosfor. Denne pulje kan frigives, når mikroorganismerne dør.

Vejledende minimumstilførsel af fosfor (3)

Fosfortal	Handling
Større end 4	Tilførsel af fosfor i gødning kan i de fleste tilfælde undlades i et eller flere år uden at risikere udbyttetab. Jordens fosfortal vil langsomt falde.
2–4	Ved dyrkning af "middel" og" hårdføre" afgrøder kan udpiningen af jorden fortsætte, til fosfortallet er nede på omkring 2 på lerjord og 2,5–3 på sandjord, uden at der opstår udbyttetab. Dette kan tage 10–20 år. "Meget følsomme" afgrøder gødes derimod med samme mængde fosfor, som de bortfører.
1–2 på lerjord 1,5–2,5 på sandjord	Flere planteavlere dyrker afgrøder i dette interval og måske også uden udbyttetab. Succes forudsætter dog, at afgrøderne er "middel" til "hårdføre", og at de har mulighed for god rodudvikling. "Følsomme" afgrøder tilføres som minimum samme mængde fosfor, som der bortføres ved høst. Det er risikabelt at dyrke "meget følsomme" afgrøder, da en etårig tilførsel af fosforholdig gødning næppe vil kunne dække deres P-behov. Det skyldes, at den fosfor-udpinte jord binder tilført fosfor så hårdt, at afgrøderne ikke kan få fat i det.

Selvom risikoen for udbyttetab stiger med faldende Pt, så er sammenhængen mellem Pt og udbytter ikke stærk. Selv ved Pt på 4 er der eksempler på, at fosfor kan være udbyttebegrænsende.

Lars Stoumann Jensen
uddyber

Kaliummangel i vårbyg. Bladspidser bliver hvide, men i modsætning til manganmangel bliver bladene ikke slappe.

Jorden indeholder 30-60 tons kalium/ha - alene i pløjelaget
Langt størstedelen af K-indholdet er så hårdt bundet i jordens mineraler, at det er utilgængeligt for afgrøderne. Ved jordanalyser bestemmes kaliumtallet (Kt), der angiver den mængde af jordens K-indhold, som er umiddelbart plantetilgængeligt.

Kort om kaliumtallet (Kt) [1,2]

- En enhed af Kt i en jord svarer normalt til 25 kg plantetilgængeligt K/ha.
- Ved udpining nås et lavt Kt-niveau, der er bestemt af jordtypen. Selvom hårdføre afgrøder som rajgræs og rug fortsat vokser og optager K, vil Kt ikke sænkes yderligere. Det K, som afgrøden optager, stammer fra en vanskeligere tilgængelig pulje, som ikke indgår i kaliumtallet.
- På en grovsandet JB1-jord er den nedre grænse for Kt omkring 3. Med stigende indhold af ler i jorden stiger den nedre grænse for Kt.
- Størrelsen af det målte Kt afhænger af tidspunkt for udtagning af jordprøven og af, om der er plantedække eller ej. Toppen af en kraftig efterafgrøde kan indeholde op til 75 kg K/ha svarende til tre Kt-enheder. Den mængde vil indgå i kaliumtallet efter nedvisning eller indarbejdning i jorden.
- Det er bedst at udtage jordprøver på samme tid af året og i samme dybde.

Tips vedrørende Kt og K-gødskning på grovsandet jord (JB1) (1,2)

- ➢ Når plantevæksten er stoppet sidst på efteråret, må Kt ikke være over 3-4, hvis K-udvaskningen skal minimeres.
- ➢ Kalium i efterladt halm på marken er letopløseligt og udvaskes let, især når Kt er større end 3.
- ➢ Om foråret, og med et Kt på 3-4, tilføres de hårdføre kornarter samt lupin den K-mængde, der forventes bortført ved høst. Ved Kt på over 5 kan tilførsel til de hårdføre arter undlades, såfremt der ikke er udlæg af kløver.
- ➢ En afgrøde som rajgræs responderer sjældent på K-tilførsel. Her skal der dog være fokus på den afgrøde, der følger efter, især når der er taget slæt, eller frøgræshalm er fjernet. Det anbefales at tilføre den K-mængde, som der fjernes med halm eller slæt.
- ➢ Følsomme afgrøder skal have dækket hele deres K-behov fra gødning, hvis Kt i foråret er 3-4. Ved Kt større end 3-4 om foråret reduceres tilførslen forholdsmæssigt.

Tips vedrørende K-gødskning på lerjord (JB 6-8) (1,2)

- ➢ Da K-udvaskningen er minimal, kan tilførslen af K styres gennem simple balanceberegninger mellem input i gødning og output i høstet afgrøde.
- ➢ Lerjordes bufferkapacitet er normalt høj. Det betyder, at en negativ K-balance det enkelte år ikke påvirker udbyttet negativt, når balancen går i nul over en 3-4 års periode. Vær dog opmærksom på K-tilførsel til en følsom afgrøde, der efterfølger en slætmark, hvor K-bortførslen er særlig stor.
- ➢ Ved middelhøjt Kt for jordtypen (Kt 7-10) tilføres afgrøderne som gennemsnit det K, som forventes bortført i høstet afgrøde. Lerjordens K-reserver kan i en mindre grad indgå i gødningsplanen, da der sker en naturlig forvitring af lermineralerne og dermed K-frigivelse.

Råkalium fra saltmine.

Afgrødearter har forskellig følsomhed over for lave kaliumtal

Meget følsom	Kløver
Følsom	Ært, hestebønne
Middel	Hvede
Ret hårdfør	Vårbyg, havre, lupin
Hårdfør	Rajgræs, rug

Kaliummangel i kløver.

Selvom vårbyg og havre er ret hårdføre over for K-mangel, ses i kuldeperioder i foråret ofte hvidfarvning på de ældre blade. Hvidfarvningen kan være meget synlig, når en nedpløjet slætmark er forfrugt. Så snart temperaturen stiger, og dermed også planternes aktive K-optagelse, forsvinder symptomerne normalt. På kløver ses ofte forbigående hvide pletter langs bladranden i forbindelse med kolde perioder i foråret.

I økologiske forsøg på Jyndevad (JB1) var der ikke respons på K-tilførsel til vårbyg og lupin, selvom kaliumtallene var omkring 3. Ærterne, derimod, gav sikkert merudbytte for K-gødning på Jyndevad ved Kt på 3 (3).

Ved lave Kt svarer en enhed ikke til normen på 25 kg K/ha/enhed (4)

I forsøg i det økologiske kvægbrugssædskifte på Foulum (JB4) var tørstofudbyttet i en ugødet vårbyg til helsæd uafhængig af Kt ved såning. Når Kt var 4, skete ingen ændring i Kt frem til høst. Vårbyggen havde været i stand til at dække hele sin forsyning fra den vanskeligere tilgængelige K-pulje. Når start-Kt var 10, faldt Kt derimod med 5 enheder fra såning til høst.

Udvaskning af kalium varierer (1,3,4)

Grovsandet jord
20–60 kg K/ha/år afhængig af efterladt plantetilgængeligt K i afgrøderester og jord.

Lerblandet sandjord
2–30 kg K/ha/år.
Hvis jorden har været udpint og Kt er tæt på 4, vil K-udvaskningen være meget lille.

Lerjord
Omkring 1 kg K/100 mm afdræning pr. år, altså meget lille tab.

I et forsøg på grovsandet jord med efterafgrøder af rajgræs og kløvergræs blev K-udvaskningen reduceret med knap 30% i forhold til udvaskningen fra sort jord.
Til sammenligning reducerede efterafgrøderne N-udvaskningen med 60-80% (5).

8. Svovl (S)

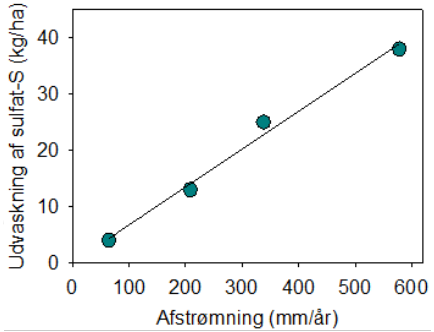
8.1. Tilførsel og tab

Potteforsøg med vinterraps dyrket i Foulumjord (JB4) og med henholdsvis ingen S-tilførsel (den blege plante) og tilførsel svarende til 40 kg S/ha.
Foto: Doline Fontaine

Svovl i form af sulfat-S, som er tilgængeligt for planterne, kommer fra jordpuljen, atmosfærisk nedfald og vandingsvand. Men timingen af frigivelsen med afgrødernes behov er dårlig. Derfor har især de mest S-krævende afgrøder, som vinterraps, behov for supplerende S-tilførsel.

S-frigivelsen fra jordpuljen tabes fra marker uden vinterdække (1,2,3)

- Mere end 95% af jordens S-indhold er organisk bundet. Pløjelaget i det langvarige sædskifteforsøg indeholdt mellem 540 og 850 kg organisk-S/ha. Man regner med at 0,5-3% mineraliseres hvert år. Det bliver til mellem 3 og 20 kg S/ha, som afgrøderne i princippet ville kunne optage.
- Men, en stor del af S-mineraliseringen sker i sommermånederne, hvor jordtemperaturen er høj. Bortset fra majs og flere grøntsagsafgrøder, sker frigivelsen i de fleste markafgrøder for sent i forhold til deres S-behov.
- Efterafgrøder, især korsblomstrede, kan optage det mineraliserede svovl, som ellers ville blive udvasket.



Det plantetilgængelige sulfat-S udvaskes lige så let som nitrat-N. Der er klar sammenhæng mellem afstrømning og tab af sulfat-S. Her er vist data fra det økologiske kvægbrugssædskifte på Foulum (JB4). Hvert punkt repræsenterer et enkelt år.

Tilførsel af svovl fra atmosfæren er lav [4]
For 40-50 år siden var nedfaldet fra atmosfæren op mod 40 kg S/ha om året. Nu er den årlige S-tilførsel i de fleste år mindre end 5 kg/ha.

Tilførslen med vandingsvand
Indholdet at svovl i grundvand varierer, men ligger typisk på 15 ppm (=mg/liter). Ved vanding med f.eks. 30 mm tilføres 4,5 kg S/ha. Svovl fra grundvand er direkte plantetilgængeligt, og dermed en god svovlkilde i det omfang der vandes.

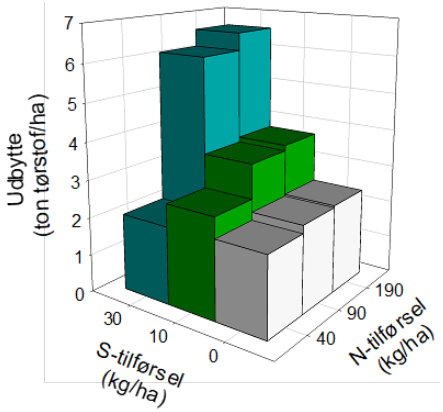
Lav tilgængelighed af svovl i husdyrgødning [5,6]
- Indholdet af total-S i svinegylle er 0,3-0,4 kg/ton, ca. 1 kg/ton i fast gødning fra kvæg og svin og ca. 3 kg/ton i dybstrøelse fra kyllinger.
- For frisk gylle forventes 15-20 % af total-S at være plantetilgængeligt, mens tilgængeligheden falder til omkring 5 % af total-S efter længere tids lagring.
- Afgasset gylle har typisk ganske lavt indhold af plantetilgængeligt S.
- Ved tilførsel af husdyrgødning vil førsteårs-effekten kun være få kg S/ha. I marker, hvor der kontinuert tilføres husdyrgødning, kan der regnes med en frigivelse på 3-5 kg S/ha/år.

Anvendelse af svovl opsamlet fra gasrensning på biogasanlæg [6]
- Afsvovlingsprodukter fra biogasanlæggene indeholder direkte plantetilgængeligt sulfat-S plus elementært svovl. Det elementære S skal først omdannes mikrobielt til sulfat-S, før planterne kan optage det. I forsøg var der stor S-optagelse i planterne, når afsvovlingsprodukter blev tilsat gyllen.
- Det er bedre at tilsætte et afsvovlingsprodukt til afgasset end til ubehandlet gylle. Efter 6 måneders lagring af afgasset gylle var 68% af sulfat-S fra et afsvovlingsprodukt stadig til stede. I ubehandlet gylle, hvor omsætningen var større, var der kun 32% af afsvovlingsproduktet tilbage efter de 6 måneder.

Der kan være merudbytte for S-tilførsel i vårbyg
- Tre års bladanalyser i økologiske vårbygmarker viste kritisk lave S-koncentrationer med risiko for udbyttetab i et ud af de tre år [7].
- I en test i sædskifteforsøget gav tilførsel af 30 kg S/ha i gips til vårbyg et sikkert gns. merudbytte på 23% i strå på Jyndevad og Foulum, og med tendens til merudbytter i kerner [1]. På Flakkebjerg var der ikke effekt af at gøde med gips. Af forsøgsmæssige grunde var S-tilførslen høj.

Afgrøders S-behov afhænger af N-tilførslen (8)

N-tilførslen til økologiske afgrøder er lavere end til de konventionelle. Det betyder, at også S-behovet vil være lavere til økologiske afgrøder.



Figuren fra potteforsøg med vårbyg viser, at høj N-tilførsel kun udnyttes, når S-forsyningen er i orden. Byggen blev tildelt forskellige mængder af N og S. Der var ikke respons på S-tilførsel, hvis N-tilførslen var lav. Og ved høj N-tilførsel var der kun udbytterespons ved tilstrækkelig S-forsyning.

S-behov til økologiske afgrøder

S-tilførslen afhænger af de forventede udbytter. Da N-tilførsel og dermed udbytter generelt er lavere i økologiske end konventionelle afgrøder, kan S-behovet ofte nedskrives med 20-50 pct i forhold til konventionelle anbefalinger.

Konventionelle S-normer nedjusteret til forventet økologisk udbytteniveau.

	Kg S/ha
Vårsæd	5-10
Vintersæd	10-15
Bælgsæd	5-15
Frøgræs	10-15
Spisekartofler	5-15
Majshelsæd	10-15
Vinterraps	20-35

→ Se også tema 4 om S-eftervirkning af efterafgrøder.

Klassisk billede af manganmangel hvor kornet står mere grønt i de pakkede kørespor. Her er skaden sket og udbyttet reduceret.

Forebyggelse

- Styr på reaktionstallet så det ikke bliver højere end det anbefalede for jordtypen.
- Pakning i forbindelse med pløjning forebygger mangel. En cementtromle pakker de øverste lag bedre end en jordpakker, men giver risiko for fygning.
- Harvedybden før såning må ikke blive dybere end 1 cm under planlagt sådybde.
- Tilførsel af let omsættelig organisk gødning øger tilgængeligheden af Mn, da omsætningen reducerer iltindholdet i jorden. Dyrkning af afgrøder eller efteraf-grøder, der efterlader en stor mængde relativ let omsætteligt organisk stof i jor-den, reducerer derfor risikoen for Mn-mangel.
- Hvis der ses begyndende symptomer på manganmangel i vårsæden ved 4-5 blad-stadiet, så kan tromling med en glat tromle med stor diameter måske hjælpe. Når kornet er i begyndende strækning, som på foto, hjælper hverken tromling eller mangansprøjtning.

Mn-mangel optræder især på sandede jorde og jorde med højt humusindhold, specielt hvis reaktionstallet er højt. Tørke og løs jord fremmer Mn-mangel.

Vårbyg, havre og vinterbyg er blandt de mest modtagelige afgrøder overfor Mn-mangel. Vinterrug, majs og græs er blandt de mest robuste.

10. Organiske gødninger

Kompostvending i Holland. Foto: Sven Hermansen

Hovedpointer

- Gødningsværdien af gylle afhænger af udbringningsmetoden, og den kan være dobbelt så stor ved nedfældning som ved slangeudlægning.
- De fleste organiske gødninger har pH over 7, og efter bioforgasning stiger pH yderligere. Jo højere pH i gødningen des større er risikoen for N-tab gennem fordampning af ammoniak.
- Ved udbringning af organiske gødninger er det vigtigt at sikre en hurtig og effektiv infiltration i jorden. Når ammonium-N først er i kontakt med jordpartiklerne, sker der ikke yderligere fordampning af ammoniak.
- Når der f.eks. høstes kløvergræs til mobil grøngødning, så har det stor betydning for N-værdien, at høsten sker før blomstring. Hvis biomassen afgasses, har udviklingstrinnet mindre betydning.
- N-tabet fra en biomasse afhænger af behandlingen. Ved effektiv kompostering tabes normalt 30-50% af N som ammoniak, mens alt N forbliver i gødningen ved bioforgasning.

Peter Sørensen
uddyber

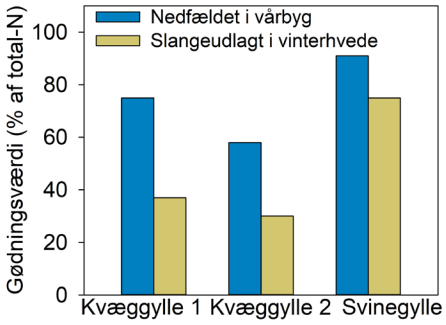
10.1. Indhold og behandling af gødning

Store forskelle i indhold, også inden for samme gødningstyper

Gødningstyper	Tørstof	N	P	K	NH_4-N	1.års N-udnyttelse	C/N
	%	kg/ton			% af total-N		
Ajle (1)	2-3	2-5	0,1-1	1,6-6	90	90-100	1-2
Bioforgasset gødning (1)	1-5	3-10	0,4-1,2	0,5-3	60-85	60-90	3-5
Kød-benmels produkt (2)	-	100	26	10	ca.10	50-80	4,5
Svinegylle (1)	4-7	2-6	0,3-1,5	1-6	70-80	40-80	4-8
Gylle, kvæg (1)	7-10	2-5	0,4-1	2-6	40-60	35-65	6-10
Dybstrøelse slagtekyllinger(1)	45-50	20-37	7-10	13-19	10-25	50-65	5
Dybstrøel-ser (1)	25-30	5-10	1-6	5-12	10-25	20-30	20-30
Kompost, kogødning (1)	30-60	7-12	0,9-2	4,5-10	20-30	10-25	15-20
Kompost, have-parkaffald (1,3)	57-73	4,6-8,7	0,9-1,5	2,5-6	<0,5	0-10	11-27

N-gødningsværdien er størst, når gyllen nedfældes (4)

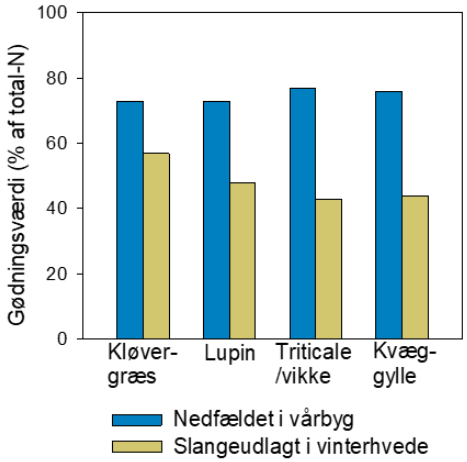
- Ammoniaktabet efter udbringning af husdyrgødning har stor betydning for gødningens N-virkning.
- Slangeudlægning af kvæggylle i vinterhvede halverede gødningsværdien i forhold til nedfældning i vårbyg.
- Forskellen i gødningsværdi mellem de to udbringningsmetoder var mindre for svinegylle, som har lavere tørstofindhold og derfor bedre infiltration i jorden.
- Nedfældning i vintersæd er generelt problematisk pga. køreskader.



Gødningsværdi målt på Foulum (JB4). Vinterhveden fik 150 kg total-N/ha og vårbyggen 80 kg total-N/ha i ubehandlet gylle. Til vinterhvede blev gyllen slangeudlagt, mens den blev nedfældet i 10 cm dybde forud for såning af vårbyg. Ammonium-N udgjorde 54% af total-N i kvæggylle 1 og 49% af total-N i kvæggylle 2.

10.2. Behandling af gødningen

Samme N-værdi i afgasset plantebiomasse som i afgasset kvæggylle [4,5]



Gødningsværdi målt på Foulum (JB4). Vinterhveden fik 150 kg total-N/ha og vårbyggen 80 kg total-N/ha i afgassede biomasser. Til vinterhvede blev gyllen slangeudlagt, mens den blev nedfældet i 10 cm forud for såning af vårbyg. Bioforgasningen skete under termofile forhold (47-53°C).

Bioforgasning øger 1. års virkningen med 10-15% point og reducerer spireevne af ukrudtsfrø [1,6,7]

- Under den iltfrie proces i biogasreaktoren omsættes en del af biomassens organisk bundne N til ammonium-N, som er plantetilgængeligt.
- Undersøgelse af forskellige biogasanlæg viste indhold af ammonium-N, der varierede fra 50 til 80% af total-N. Det skyldes forskelle i kvaliteten af de anvendte biomasser. Øget andel af kvæggylle i anlæggene gav faldende andel af ammonium-N.
- I et biogasforsøg med kvæggylle blev alle de testede ukrudtsfrø ødelagt efter mindre end to dage, når processen var termofil (55°C). Ved en mesofil proces (37°C) mistede flyvehavre, agersennep og raps hurtigt spireevnen. Efter 11 dage gjaldt det også snerlepileurt, amsinckia og hvidmelet gåsefod [8].
- pH i husdyrgødning ligger omkring 7-8. Afgasning øger pH med ½-1 enhed. Det øger risikoen for ammoniak-fordampning ved udbringning. Til gengæld er infiltreringen i jorden normalt bedre, da tørstofindholdet er formindsket.

10.3. Tab af ammoniak ved udbringning

Klimaforhold ved udbringning har stor indflydelse (9)

Tallene i tabellen stammer fra en model med data fra bl.a. danske forsøg. Ud fra en reference af kvæggylle har forskerne isoleret én faktor ad gangen, for at sætte tal på ammoniak-tab. Værdierne er summeret over 72 timer fra udbringningen af gyllen.

Reference: Kvæggylle med 6% tørstof, pH=7,5 og 1,2 kg ammonium-N /ton. Der udbringes 40 ton/ha ved lufttemperatur på 13ºC og vindhastighed på 2,7 m/sek. Dominerende afgrøde er græs. Ingen indarbejdning i jorden.

- Nedfældes kvæggyllen ved 18ºC i stedet for 8ºC øges NH_3-fordampningen og dermed N-tabet med 7% point. Ved de 40 ton gylle/ha betyder det et tab på 3,4 kg N/ha. Ved slangeudlægning bliver tabet næsten dobbelt så stort.
- Overfladisk indarbejdning efter 3 timer øger NH_3-tabet med 12% point sml. med nedpløjning efter 10 min. Det svarer til 5,8 kg N/ha ved de 40 tons gylle/ha.

		Slangeudlægning	Nedfældning
		N-tab ved NH_3-fordampning i % af ammonium-N indhold	
Reference (se boksen ovenfor)		20	11
Tørstof i gyllen	3%	14	9
	10%	23	16
Mængde af gylle	5 ton/ha[1]	23	13
	100 ton/ha[1]	15	9
Indarbejdning	Overfladisk efter 3 timer	16	-
	Nedpløjet efter 3 timer	9	-
	Nedpløjet efter 10 min.	4	-
Temperatur	0ºC	9	6
	8ºC	14	8
	18ºC	27	15
Vind	0 m/sek	18	10
	10 m/sek	26	14
Regn	1 mm/time	14	8
	5 mm/time	3	2
	15 mm/time	0	0
Forsuring[2]	Til pH 6,0	6	4

[1] *Her er mængden ændret i forhold til referencens 40 ton/ha.*

[2] *Ikke tilladt i økologisk planteavl, men medtaget her, da det illustrerer hvor meget pH betyder.*

NB: Ved nedfældning på sort jord før såning vil NH_3-tabet kun være ca. 2% (10).

10.4. N-tilgængelighed 1. år og på længere sigt

1. års N-udnyttelse afhænger ikke altid kun af ammonium-N (1)

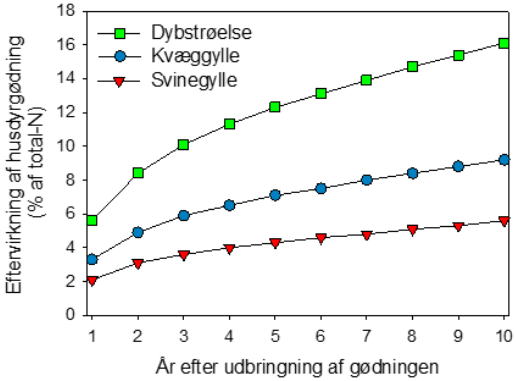
1. års virkningen i gødninger som kødbenmel, med høj andel af letomsættelig organisk-N, afhænger af aktiviteten af mikroorganismerne i jorden. Jo bedre jordfrugtbarhed des større chance for en god N-udnyttelse.

For de fleste organiske gødninger kan man regne med, at 1. årsvirkningen svarer til indholdet af ammonium-N. Men der findes også gødninger med lavt indhold af ammonium-N, hvor der første år sker en betydelig mineralisering af organisk-N. Det gælder en N-rig gødning som kød- og benmel.

Der er N-effekt flere år efter udbringning af organiske gødninger (11,12)

- Når afgrøden 1. år har optaget gødningens lettest-tilgængelige N, er der en tungere omsættelig organisk fraktion tilbage.
- Denne fraktion mineraliseres lidt efter lidt med frigivelse af plantetilgængelig N.

Ved gentagne tilførsler af organisk gødning opbygges en N-pulje. Den stiger op til et niveau med ligevægt, hvor der mineraliseres lige så meget N, som der tilføres i ny gødning. Det kan tage over 100 år før ligevægten nås.



Figuren viser den akkumulerede N-eftervirkning i korn af tre gødningstyper. Når marken hvert år i de 10 foregående år er tilført husdyrgødning, kan der tillægges en N-eftervirkning af total-N på 6% point ved svinegylle, 9% point ved kvæggylle og 16% point ved dybstrøelse fra kvæg eller svin.

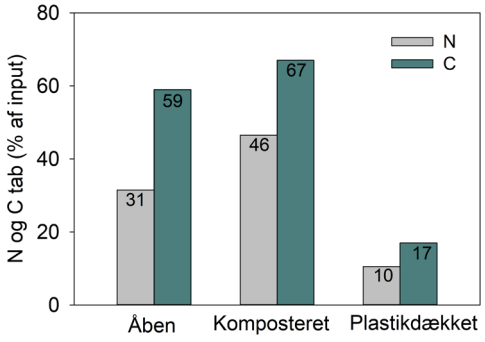
I en nyomlagt mark, som ikke tidligere har modtaget organisk gødning, vil afgrøden kun få sit N-bidrag fra gødningens 1. års effekt.

10.5. Kompost

Korte fakta

- Kompostering sker, når der sikres ilt til biomassen (aerobt). Den mikrobielle aktivitet øger temperaturen op til 70°C. Det betyder, at ukrudtsfrø og skadevoldere er elimineret i velomsat kompost [1].
- Ved kompostering omsætter mikroorganismer organisk stof. Efter gennemført kompostering vil mere end 50% af det organisk bundne kulstof (C) være forsvundet som CO_2, og bunkens størrelse vil ofte være halveret. Uden opsamling kan der tabes over 40% af materialets N under komposteringen [1].
- Kulstof i kompost er mere stabilt end i ubehandlede gødninger. Men i forhold til startmateriale og tabet under kompostering vil mængden af stabiliseret kulstof i jorden være næsten ens uanset behandling [1]. → Se tema 18 Kulstof i jorden.
- Den mikrobielle sammensætning ændrer sig markant under kompostering, og er stærkt afhængig af input og management [13].
- Afgrøder som dyrkes i jord, der har modtaget kompost, er ofte mindre modtagelige over for sygdomme, end afgrøder som ikke er tilført kompost [14], eller som er gødet med andre organiske biomasser [15].
- Afhængig af indgangsmaterialet og C/N-forhold varierer 1.års N-effekten af kompost fra negativ til 5-10% af total-N i komposteret have-parkaffald til 10-25% i komposteret husdyrgødning.

Størst C og N-tab ved kompostering [16]



Resultat fra hollandsk forsøg med fast møg fra kvæg inkl. strøelse (19% tørstof) opbevaret 130 dage i henholdsvis åben stak, komposteret gennem gentagne vendinger og opbevaret under plastik uden ilttilgang.

Forsøget viser nogle principielle forskelle mellem metoder.

10.6. Mobil grøngødning

Flytning af biomasse internt på bedriften (17,18)

Mobil grøngødning er en afgrøde, som høstes ét sted på bedriften og transporteres til anden mark, hvor den anvendes som gødning. Frisk grøngødning kan ikke produceres før midt maj. Gødskning med mobil grøngødning før dette tidspunkt forudsætter derfor konservering af grønmasse høstet året før.

Mobil grøngødning er normalt en dyr løsning og derfor primært aktuel på bedrifter med specialafgrøder og begrænset adgang til husdyrgødning.

- Ved gentagne slæt af lucerne eller kløver kan der produceres op til 4-500 kg N/ha/år under forudsætning af tilførsel af bl.a. kalium og svovl.
- Det har ikke betydning for N-gødningseffekten, om den mobile grøngødning tilføres som frisk, ensileret eller tørret, blot den er findelt inden indarbejdning i jorden.
- Mobil grøngødning tilfører nyt N hentet fra N-fiksering, mens de øvrige næringsstoffer blot flyttes rundt mellem marker.
- Pas på med at udbringe ensilage i voksende afgrøder, da forsøg på Askov forsøgsstation gav stærke svidninger.

Lav C/N giver hurtigst N-gødningseffekt (16,17)

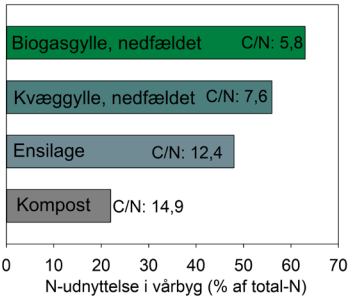
- Ved høst af grøngødningen stiles efter største andel af blade i forhold til stængler for at holde C/N-forholdet lavt.
- Det svarer normalt til, at der tages slæt før begyndende blomstring. Her vil C/N-forholdet typisk være 12-14. Ved C/N-forhold på 15 og højere er der stigende risiko for at N bindes, i stedet for at det frigives til afgrøden.

Produktion af mobil grøngødning i stribesystem. Foto: Sven Hermansen.

10.7. Mobil grøngødning - behandling

Ensilage af lucerne gav N-udnyttelse på 50% af total-N (18)

- Ved kompostering af lucerne blev der iblandet 20% halm. Det medvirkede til det høje C/N-forhold på 14,9 og den lave N-udnyttelse på 22% af total-N.
- N- tab ved kompostering af grøngødninger (lucerne eller kløvergræs) blev bestemt til 18-30% mod N-tab ved ensilering på 6-8%.



Bioforgasning af slæt på gårdanlæg (19,20)

- Ved vellykket bioforgasning af grønmasse bevares alle næringsstoffer, og 30-50% af organisk-N omdannes til ammonium-N, som er direkte plantetilgængeligt.
- Ved anvendelse af slæt til mobil grøngødning skal størstedelen af biomassen konserveres, så den løbende kan tilsættes biogasreaktoren. Det har ingen betydning for resultatet, om der ensileres eller laves hø.
- Det er en fordel at iblande grønmassen med gylle, da gyllen giver en god bufferkapacitet og tilfører alle nødvendige mikronæringsstoffer til processen.
- Store mængder kløver kan med fordel afgasses sammen med kvæggylle, halm eller andet. Det vil reducere koncentrationen af ammoniak. Ammoniak i høje koncentrationer hæmmer biogasprocessen.

	N-gødningsvirkning (% af total N)	
	Før afgasning	Efter afgasning
Ensilage	17	40
Ensilage:halm (10:1)	6	32
Ensilage:halm (3:1)	-8	21
Kvæggylle	48	52
Kvæggylle + ensilage	31	53
Halm	-57	-

N-gødningsvirkning af forskellige biomasser i vårbyg uden og med bioforgasning: Ensilagen var høstet efteraf-grøde af rødkløver/cikorie. Blandingen kvæggylle +ensilage var 63% ensilage, 17% kvæggylle og 20% vand. Alle forhold baseret på friskvægt.

Slæt direkte i gylletanken?

Når græsslæt hældes i gylletanken og blandes med gylle, beholdes næringsstofferne fra græsset. En uheldig konsekvens er dog, at det energiholdige græs kan medføre dannelse af drivhusgassen metan. → Se mere i tema 17 om drivhusgas.

11. Kalkning

Bunke af jordbrugskalk. Bunkens placering kan ofte spores som lyse pletter i marken flere år efter på grund af manganmangel. Foto: Torkild S. Birkmose.

Hovedpointer

- Der sker en naturlig forsuring af jorden. Omsætning af organisk stof og rodånding producerer CO_2, som er en svag syre. Bælgplanter har forsurende effekt på jorden, og nedbøren er sur.
- Ved for lavt reaktionstal (Rt) reduceres mineraliseringen. Her vil jordforbedring med kalk øge omsætningen og N-frigivelse til afgrøderne.
- Ved meget lave Rt, typisk under 5,5 på mineraljorde, kan der opstå forgiftning af planterne med aluminium. Meget lave Rt ses f.eks., hvor der er ryddet hegn.
- På lerjorde har tilførsel af kalk en vigtig strukturforbedrende evne.
- Godt styr på markernes Rt fås ved udtagning af jordprøver hvert 5-6 år. Her er det også relevant at medtage fosfortal, kaliumtal og magnesiumtal.

Afgrøderne har forskellig følsomhed over for lavt Rt [(1)].

Følsomme	**Middel følsomme**	**Tolerante**
Lucerne	Vinterhvede,	Rug
Sukkerroer	Vinterbyg	Græs
Sneglebælg	Majs	Havre
Vårbyg	Rød- og hvidkløver	Kartofler
	Raps	
	Markært	

Anbefalet Rt niveau afhænger af jordtype og afgrødens følsomhed (1)

JB	Følsomme	Middel følsomme	Tolerante
1-4	6,0-6,5	6,0-6,3	5,8-6,1
5-6	6,5-6,9	6,3-6,7	6,1-6,5
7-9	6,8-7,1	6,6-6,9	6,4-6,7
11	5,2-5,6	5,0-5,4	4,8-5,2

Rt i jorden = målt pH-værdi i en opslemning med calsiumklorid + 0,5.

Følsomme afgrøder som lucerne og humlesneglebælg forudsætter Rt over 6,5 for at lykkes. Det udelukker vellykket dyrkning på sandjorde.

Gylle og kompost kan have lille kalkvirkning (1)

- Gylle indeholder en høj andel af ammonium (NH_4), og isoleret set har det en forsurende virkning på jorden, når ammonium nitrificeres til nitrat. Men da gylle indeholder betydelige mængder af kalium, natrium, calcium og andre positive ioner, der bidrager til stødpudeevnen, betyder det, at gyllen i nogle tilfælde kan have en svag kalkvirkning.
- pH i kompost ligger typisk i området 7-8. Kalkvirkningen afhænger af jordens bufferevne, men virkningen er sandsynligvis lille.

Strukturkalkning af lerjorde og pletter (2)

- Vores naboer i Sverige bruger kalkning til strukturforbedring af de svære lerjorde. Det har givet flere stabile aggregater, gjort jordene lettere at bearbejde og bevirket, at de tørrer op hurtigere. Derudover reduceres tab af fosfor som følge af jorderosion.
- I Danmark er en sådan behandling relevant på svære lerjorde og på de knoldede bakketoppe, som ofte ses i landskabet i lerjordsområder.

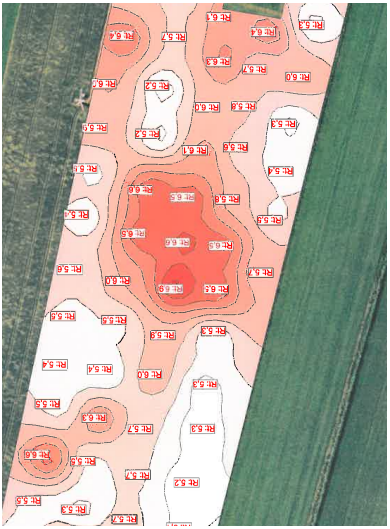
Skal der kalkes positionsbestemt?

Når et eller flere af nedenstående udsagn passer for den enkelte mark, er der stor sandsynlighed for, at positionsbestemt kalkning er den rigtige kalkningsmetode.

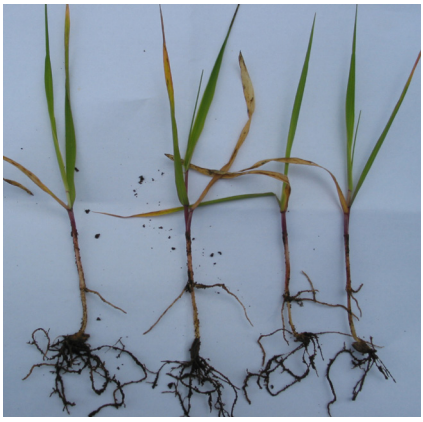
- Der er både ler og sand i marken
- Der er områder med manganmangel
- Der er registreret områder med kalktrang
- Arealet er kuperet
- Der dyrkes afgrøder som er følsomme over for lavt Rt.

Stor jordbundsvariation (3)

- Selv på en mark som ser fuldstændig ensartet ud, kan reaktionstallet variere stærkt. I det viste eksempel blev der forsøgsmæssigt udtaget 77 GPS-jordprøver i en 16 ha stor JB3-mark. Som gennemsnit lå reaktionstallet på 6,0, hvilket er inden for normalområdet for jordtypen.
- Ved dyrkning af en følsom afgrøde som vårbyg ville der i de hvide områder på markkortet, hvor reaktionstallene var mindre end 5,7, være risiko for vækst-hæmning. I de røde områder, hvor reaktionstallene var større end 6,5, ville der være risiko for manganmangel.
- Positionsbestemt udtagning af jordprøver og efterfølgende kalkning vil reducere arealerne med ekstreme Rt-værdier, og dermed de potentielle udbyttetab. Også selvom antallet af jordprøver er mindre end i det viste forsøg her.



Forsøg med GPS-jordprøver på en for øjet helt ensartet og flad mark med sandjord (JB3).



Vårbyg dyrket ved lavt Rt. Bemærk de korte og fortykkede rødder.
Begge fotos: Torkild S. Birkmose

12. Ukrudt

Vårbyg dækket af agersennep. Når agersennep først er flyttet ind i marken, er den meget vanskelig at slippe af med igen. Vintersæd hjælper i de år, hvor den dyrkes. Her får agersennep ikke mulighed for at udvikle sig. I vårsæden er blindstrigling plus radrensning den bedste bekæmpelsesmetode. Allerbedst er det at forebygge ved hjælp af et varieret sædskifte.

Hovedpointer

- Mangfoldighed i sædskiftet er det vigtigste redskab, når opformeringen af frøukrudt og rodukrudt skal holdes på vedvarende lavt niveau.
- Helårsgrøngødning som afslås, giver effektiv kontrol med tidsler.
- Helårsgrøngødning i sædskiftet reducerer ukrudtsfrøpuljen.
- Stubbehandlinger efterår efterfulgt af dyb pløjning er effektiv over for de fleste arter af rodukrudt, men det betyder tab af kvælstof og organisk stof. Bedst at stubbehandle efter afgrøder, der har tæret på jordens N-indhold.
- Frøukrudt og rodukrudt hører naturligt hjemme i økologiske marker. Opgaven er at administrere ukrudtsbestanden, så den over en sædskifterotation holdes på stabilt lavt niveau.
- Den bedste strategi til bekæmpelse af spildfrø er at undgå jordbehandling efter høst – hvis der er styr på rodukrudtet.

Økologisk planteproduktion er følsom over for voldsom udvikling af aggressive ukrudtsarter. De kan f.eks. være amsinckia, agersennep eller forskellige arter af rodukrudt. Opsyn, GPS-registrering, pletbehandling og justeringer af sædskifterne er værdifulde værktøjer til at opretholde en god balance mellem afgrøde og ukrudtsbestand.

12.1. Konkurrencen mellem afgrøder og ukrudt

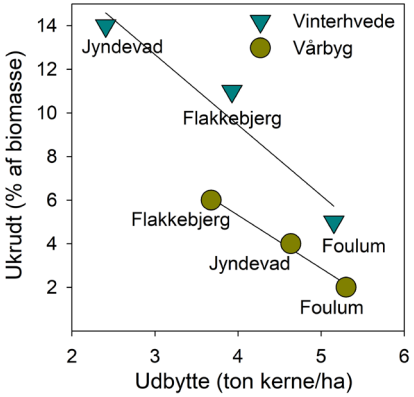
Stærk ukrudts-konkurrence kræver stærke afgrøder

Stærke ukrudtsarter	Stærke afgrøder
Agerkål Agersennep Gul Okseøje Hanekro Hvidmelet gåsefod Burresnerre Kamille Kornvalmue Amsinckia (Gulurt) Tofrøet vikke Agerrævehale Flyvehavre Vindaks	Vinterrug, vinterraps, hamp, havre, triticale, vinterbyg **Middelstærke afgrøder** Vårbyg, kartofler (hyppes), vinterhvede **Svage afgrøder** Vårhvede, byg/bælgsæd, ærte-ra, lupin[a], hestebønner[a], majs, roer, grøntsager *[a] Sidst på vækstsæsonen*

- Konkurrencestærke afgrøder er kun stærke, når de har gode vækstforhold, og konkurrencesvage ukrudtsarter bliver stærke, når bestanden er stor nok.
- Bælgsædsarterne kan fremme opformeringen af ukrudt, da de modner sent. Sidst på sæsonen bliver de åbne, hvilket især giver plads til rodukrudt, som desuden forsynes med kvælstof fra bælgsæden.

Lave udbytter giver rum til mere ukrudt (1)

- Jo lavere udbytte des højere andel af ukrudt i biomassen. Og jo højere andel af ukrudt des større bidrag til jordens pulje af ukrudtsfrø.
- Det gennemsnitlige udbyttetab som følge af ukrudt blev beregnet til ca. 2 hkg kerne/ha i vårbyg og 3-5 hkg kerne/ha i vinterhvede.



Gennemsnit af tre 4-års rotationer. Ukrudt er opgjort i overjordisk biomasse ved fuld gennemskridning af kornet.

12.2. Frøukrudt - forebyggelse

Vekslen mellem vinter- og vårsæd forstyrrer opformeringen [2,3]
Når en stor pulje ukrudtsfrø, der f.eks. fremmes i vintersæd, bliver pløjet ned, så er det relevant at etablere en vårsæd, når jorden igen pløjes. Her vender noget af den store pulje af kastede frø nemlig tilbage til mulig spiredybde.

Frøukrudtsarter	Frø pr. plante1	Fremmes i	
		Vårsæd	Vintersæd
Kornvalmue	41.000		+
Hyrdetaske	40.000	+	+
Lugtløs kamille	34.000	+	+
Hvidmelet gåsefod	20.000	+	
Fuglegræs	15.000	+	+
Vindaks	5.000		+
Agersennep	1.000	+	
Agerstedmoder	1.000	+	+
Hanekro	600	+	
Agerrævehale	600		+
Flyvehavre	250	+	
Snerlepileurt	200	+	
Amsinckia	mange	+	(+)

Urørt stub efter høst reducerer input til frøpuljen [2,4]

- ➢ Generelt er overlevelsen af frø meget lavere på jordoverfladen end efter indarbejdning i jorden. Bedste strategi til at bekæmpe spildfrø er derfor at undgå jordbearbejdning efter høst.
- ➢ Frø der ligger oven på jorden bliver spist af fugle, mus og insekter eller angrebet af svampe. Op til 50-90% af frøene vil dø.
- ➢ Problemer med rodukrudt kan blokere for denne metode.

Placering af gylle i vårsæd skubber konkurrenceforholdet [5]

- ➢ Frøukrudt spirer fortrinsvis fra de øverste 3 cm. Hvis gødningen i såbedet placeres under 5 cm dybde og kun i hvert anden rækkemellemrum, vil ukrudtet få ringere adgang til næring, og konkurrencen forskydes til vårsædens fordel.
- ➢ Kørsel med gyllevogn i såbedet kan imidlertid lave grimme trykskader. Et kompromis er at nedfælde gyllen før pløjning og kombinere med GPS-styring på alle behandlinger.

Større udsædsmængde i korn og afgrødeblandinger øger konkurrenceevne (2)

- ➢ Men der er risiko for forringet kernestørrelse og -kvalitet, når udsædsmængden overstiger den normale anbefaling.
- ➢ Blanding af afgrøder med forskellige vækstformer kan øge konkurrencen over for ukrudtet (→ se også tema 13).

Såning i mørke nedsætter mængden af fremspiret ukrudt (2)

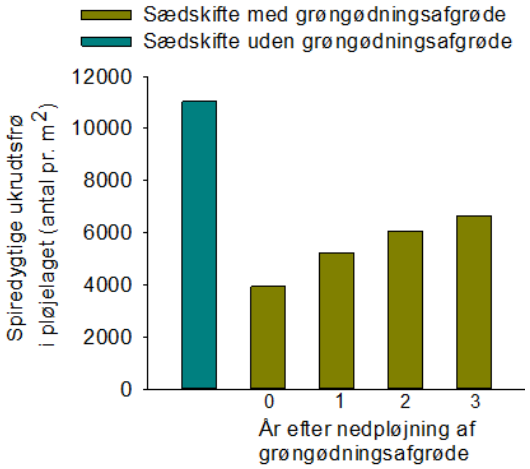
Spiringen hos mange ukrudtsarters frø kan aktiveres af ganske små mængder lys. Såning i nattemørke har nedsat mængden af fremspiret ukrudt med omkring 45%. Mest relevant i meget konkurrencesvage afgrøder, og især hvis de skal håndluges.

Udstyr på mejetærskeren kan reducere opformering

- ➢ Opsamling af ukrudtsfrøene med mejetærskeren efterfulgt af frarensning af ukrudtsfrøene inden afgrøden tørres og lægges på lager.
- ➢ Fast procedure med rengøring af mejetærsker med kompresser reducerer spredningen af ukrudtsarter mellem markerne.

Helårsgrøngødning reducerer puljen af spiredygtige ukrudtsfrø (6)

- ➢ En 2-årig helårsgrøngødning reducerede antallet af spiredygtige ukrudtsfrø i pløjelaget til næsten en tredjedel i forhold til sædskiftet uden grøngødning.
- ➢ Antallet af spiredygtige ukrudtsfrø steg med antal år efter nedpløjning af grøngødningsafgrøden. Men selv efter 3 år var mængden af spiredygtige ukrudtsfrø stadigvæk betydeligt lavere end i sædskiftet uden grøngødning.



12.3. Frøukrudt - bekæmpelse

Strigling af vårbyg. Foto: Henning C. Thomsen

Falsk såbed igangsætter spiring af ukrudtsfrø (2)
Mest anvendt i grøntsagskulturer, men kan også anvendes i sent sådede vårafgrøder som majs og hamp eller i vintersæd. I koldt og tørt vejr kan der kun forventes lille effekt i modsætning til varmt og fugtigt vejr, hvor spirebetingelserne er gode.

Harvning lige før afgrødens fremspiring (blindharvning) (2)
Mange af de nye ukrudtsfrøplanter ødelægges mens andre ukrudtsfrø provokeres til at spire. Skal derfor følges op med ukrudtsharvning. God, når der er problemer med hurtigvoksende korsblomstret ukrudt.

Almindelig ukrudtsharvning (2)

- ➢ Ukrudtsharvning foretages i den voksende afgrøde, og når ukrudt står med kimblade. Harvningens hastighed og agressivitet tilpasses afgrøden.
- ➢ Som regel bekæmpes ukrudtsarter for dårligt, når de har udviklet pælerod.
- ➢ Det er sjældent muligt at lave ordentlig ukrudtsbekæmpelse i vintersæd om efteråret. Og om foråret har harvninger i vintersæd ofte dårlig effekt overfor overvintrende aggressive ukrudtsarter som lugtløs kamille, spildraps og kornvalmue.

Radrensning i vårsæd gav 60-70% reduktion af ukrudtsbiomassen (7)

Kamera- og GPS-baserede styringssystemer giver mulighed for en effektiv reduktion af ukrudtsbiomassen. Et forsøg i vårbyg og vårhvede på Flakkebjerg (JB6) viste følgende:

- Rækkeafstand op til 30 cm gav ikke udbyttetab. Udsædsmængden var tilpasset 400 planter/m^2 uanset afgrøde og rækkeafstand.
- Radrensning er kun relevant i afgrøder med lav konkurrenceevne over for ukrudt og/eller ved højt ukrudtstryk samt dominans af høje og hurtigt voksende ukrudtsarter som de korsblomstrede.

Radrensning plus harvning i april i vinterbyg og -rug gav gode resultater (8)

Et forsøg på Flakkebjerg gav følgende konklusioner:

- Ukrudtsharvning udført umiddelbart efter radrensning forbedrede bekæmpelsen med 17-39%. Ukrudtsharven trækker ukrudtet frem på jordoverfladen, og jord på ukrudtsrødderne rystes af.
- Ved 2 x radrensning efterfulgt af harvning umiddelbart efter hver radrensning blev opnået bekæmpelseseffekter i størrelsesordenen 65-90% mod ukrudtsarter med pælerødder og strækningsvækst (kamille og agersennep).

Radrensning i april i vinterhvede var også effektivt (9)

Et andet forsøg på Flakkebjerg gav følgende konklusioner:

- Radrensningen reducerede den totale ukrudts-biomasse med 60-70%.
- Gruppen af ukrudtsarter med pælerødder og stængelvækst som agersennep og kamille blev reduceret med 50-90%.

Kamille er en høj ukrudtsart, som udover vand og næringsstoffer også tager lys fra afgrøden.

Radrensning i korn. Foto: Bo Melander.

Radrensning mod frøukrudt

- Radrensning giver større tidsmæssig fleksibilitet i forhold til både vejr og ukrudtets udvikling. Mange sten i marken og/eller kuperet terræn kan derimod udelukke radrensning.
- Radrensning er effektiv over for arter som lugtløs kamille, hanekro og især de gule korsblomstrede (spildraps, agersennep, agerkål og kiddike).
- Radrensning bekæmper ikke ukrudt, som står i rækkerne. I en veludviket afgrøde kan der dog kastes jord ind i rækken. Det vil kunne hæmme sent fremspiret ukrudt på kimbladstadiet.
- En tæt og konkurrencestærk plantebestand i rækken opnås ved at fastholde kornets udsædsmængde, når rækkeafstanden øges.
- Med kamerabaserede systemer/GPS-systemer er det muligt at styre meget præcist. Her kan man uden at skade kornet, komme ned på 2-3 cm afstand fra skærkant til sårækken.

Lærkerederne er udsatte ved de sene ukrudtsharvninger (10)

Lærkerede fundet midt i sædskifteforsøget på Flakkebjerg. Foto: Eugene Driessen.

Lærker og andre jordrugende fugle udgør en del af den samlede diversitet på markfladerne. De foretrækker at etablere reder i det lysåbne land, og gerne i kornmarkerne. Det betyder, at de er udsatte, når der ukrudtsharves. Hvis en rede udsættes for harvning, er der stor risiko for, at reden går til.

- I vårsæd anbefales det at undgå harvninger efter ca. 10. maj svarende til ca. 1 måned efter såning.
- I vintersæd bør der ikke harves efter 10. april.
- Kan det lykkes at spotte reden, klares problemet ved at løfte harven eller radrenseren.

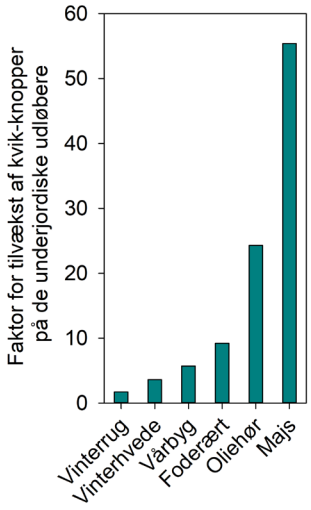
12.4. Rodukrudt - kvik

Fakta

- Kvik udvikler sig som regel mest på de lettere jorde.
- Kvikudløberne findes naturligt i det øverste 0-10 cm jordlag, når de ikke forstyrres af en plov. I alm. pløjejord ligger der udløbere i hele pløjelaget.
- Kvik har lavest biomasse i udløberne på 3-4 bladstadiet. Men start stub-harvningen allerede på 2-3 blad-stadiet, da kvikken vokser hurtigt.
- Ved mere end 5 kvikaks/m^2 ved høst har man et problem, der skal håndteres.

Ingen afgrøder kan bekæmpe kvik, men brug af konkurrencestærke afgrøder i sædskiftet forsinker opformeringen betydeligt (11)

- Der er stor forskel på arternes konkurrence-evne over for kvik. Mens opformeringen i rug var 1,7 gange startmængden af kvik-knopper på udløberne, så var opformeringen i den åbne majsafgrøde (ingen radrensning) på over 50 gange startmængden.
- Der er kun lille forskel mellem vårsædsarternes konkurrenceevne, men havre er lidt bedre end vårbyg, og vårbyg lidt bedre end vårhvede.
- Kvik kan koste store udbyttetab. I forsøg på Flakkebjerg gav 100 overjordiske kvikskud/m^2 et tab i vårbyg tæt på 1,5 ton kerne/ha (12). 100 kvikskud/m^2 svarer til et skud for hver 10 x10 cm flade.



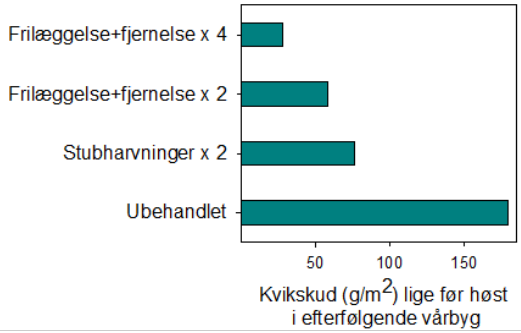
Harvinger tidlig forår efterfulgt af omhyggelig nedpløjning
Her trækkes kvikudløberne op og lægges efterfølgende i furebunden. Kombination af frost om natten og plusgrader om dagen fremmer effekten i dagene, hvor udløberne ligger oven på jorden.

Minisommerbrak med udtørring og/eller udsultning
Gennemføres over en periode på 4-6 uger omkring juli måned, hvor kvikudløberne ved gentagne harvninger enten udtørres eller udsultes afhængig af vejret. Etableres i en grøngødningsmark eller efter tidlig høst. Behandlingen efterfølges altid af konkurrencestærk afgrøde, f.eks. vinterraps eller en god efterafgrøde.

Stubharvninger efterår
Kvikken udsultes ved at harve hver gang, den har udviklet ca. 3 blade. Behandlingen afsluttes med dyb nedpløjning.

Udtørring om efteråret er kun sjældent en mulighed (13)
Forsøg med udtørring af kvikudløbere i efteråret viste, at udtørring i 30-35 timer ved en luftfugtighed under 50% og en temperatur ved 20^{o}C reducerede knoppernes spiring til under 10%. Kun ganske få af de overlevende knopper formår at skyde frem, hvis de placeres under et 10 cm jordlag. Det er dog sjældent, at vi oplever så lav luftfugtighed om efteråret.

Forsøg med mekanisk fjernelse af kvikudløbere på Jyndevad lige efter høst (14)
Arbejdsdybden var 20 cm. Den hårdeste behandling var frilæggelse med rotorharve plus fjernelse fire gange samme dag. Her blev fjernet 80% af den totale mængde udløbere, i alt 5 ton/ha. Efterfølgende forår blev der pløjet og sået vårbyg. Lige før høst af vårbyggen blev mængden af kvikskud målt.

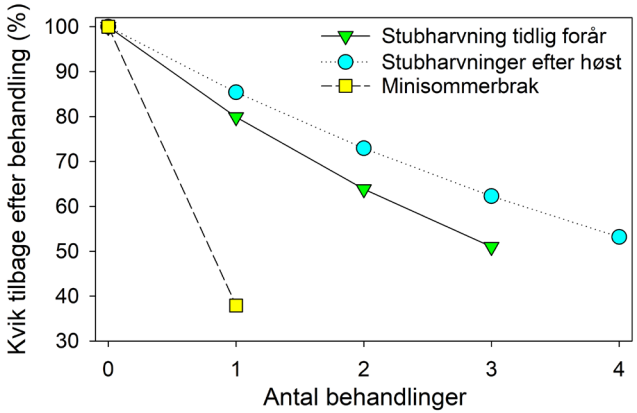


En stenstrengslægger eller kartoffelfrilægger, vil kunne begrave/frilægge udløberne effektivt. Men dyrt og hårdt ved jorden.

Pletbehandlinger

- Brug af pletbehandlinger i marken sparer energi, næringsstoffer og tabt udbytte. Er der kvik i marken, kan der for nemheds skyld isås efterafgrøde i hele marken og så efterfølgende foretage pletbehandlinger.
- Ved brug af digitale hjælpemidler kan en pletbehandling måske reduceres til blot 5-10% af marken.

Effekter af behandling på kvik i sædskifteforsøget på Jyndevad (JB1) (15)



Der blev optalt kvikaks lige før høst i forskellige afgrøder. Optællingen blev gennemført over tre sædskifterotationer.

- Minisommerbrak i 1,5-2 måneder i helårsgrøngødningen reducerede kvikmængden med 62%.
- Stubharvninger i det tidlige forår var mere effektive end stubharvningerne efter høst.
- For at imitere afgræsning, blev der i samme sæson gennemført helt op til syv afslåninger af helårsgrøngødningen, men det var ikke nok til at reducere mængden af kvik.

Ilse A. Rasmussen
uddyber

12.5. Rodukrudt - tidsler

Tidsler i vårbygmark på Falster. Harvninger med fuld gennemskæring fire gange efter sidste års kornhøst (th) havde god effekt i forhold til ingen harvninger (tv). Harvningerne startede umiddelbart efter høst af marken. Et godt eksempel på et landmandsforsøg. Foto: Claus Østergaard.

Fakta

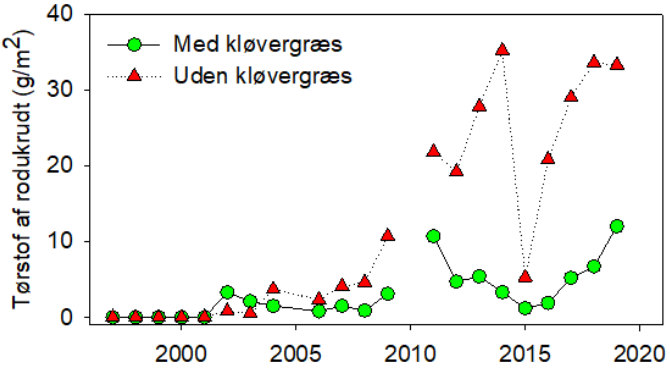
- Tidsler har tørstofminimum allerede ved 3-4 bladstadiet, hvilket betyder, at den mekaniske bekæmpelse er mest effektiv på dette tidspunkt, og ikke som tidligere antaget ved knopstadiet [16].
- En grøngødningsafgrøde af kløvergræs eller lucerne bidrager til at holde tidsler på et lavt niveau.
- Store problemer med tidsler kan klares ved afslåninger/slæt i helårsgrøngødningen og bedst efterfulgt af en konkurrencestærk afgrøde året efter.
- Der kan også opnås god effekt med stubharvninger med fuld gennemskæring, dobbelt pløjning eller minisommerbrak.

Gentagne afslåninger i helårsgrøngødning reducerede mængden af tidsler i efterfølgende afgrøde med knapt 80% [17]

På en lerjord (JB 5-6) blev der gennemført afslåning og knusning i kløvergræs hver gang tidslerne nåede 10 cm højde (svarer til 3-6 udviklede blade). Mængden af tidsler blev bestemt efterfølgende år lige før høst af vårbyg. Forsøget viste en reduktion af tidselmængden på knapt 80% efter 6 afslåninger i forhold til ingen afslåninger i marken.

12.6. Rodukrudt - tidsler og andre arter

Bedre styr på tidsler og svinemælk i sædskifter med helårsgrøngødning (18)



På Foulum (JB4) blev udviklingen af rodukrudt fra starten i 1997 fulgt i sædskifter med og uden helårsgrøngødning. Agertidsel og agersvinemælk var dominerende rodukrudtsarter. Målingerne i 2015 ser mærkelig ud for sædskifterne uden grøngødning. Det skyldes, at konkurrencen fra afgrøderne overfor rodukrudtet var ekstraordinær stor det år, og den målte biomasse i rodukrudt var derfor ekstraordinær lav. Data er gennemsnit af alle behandlinger.

Arternes forskellige biologi kræver forskellige strategier

Tabellen er forfatternes bud på effekter af forskellige behandlinger. Men de aktuelle effekter er stærkt afhængige af timing, vejrforhold og håndtering af de anvendte redskaber. Her er det vigtigt at identificere de metoder, der fungerer bedst på den enkelte bedrift. I tabellen er +++ lig med bedst effekt.

	Kvik	Tidsler	Svine-mælk	Følfod
Minisommerbrak[a] efterfulgt af konkurrencestærk afgrøde	+++	+++	+++	++
Helårsgrøngødning m. afpudsninger	-	+++	+++	+
Skrælpløjning → konkurrencestærk efterafgrøde → pløjning	++	+++	++	++
Gentagne harvninger efterår	+++	++	+	+
Behov for flere års behandling	+	++	++	+++

[a]Minisommerbrakken startes med en skrælpløjning.

13. Blandinger af arter og sorter

Samdyrkning af lupin og vårhvede. Foto: Sven Hermansen

Hovedpointer

- At blande er at tegne en forsikring mod uforudsigelige vejrforhold og varierende jordbundsforhold i de enkelte marker – og så øger det biodiversiteten.
- Blandinger af arter tilpasses ud fra a) arternes evner til at udnytte forskellige overjordiske og underjordiske rum, og b) fra arternes egenskaber som sygdomssanerende eller sygdomsfremmende forfrugter for andre arter.
- Afgrøder med forskellige egenskaber kan, når de samdyrkes øge udnyttelsen af lys, vand og næringsstoffer og på den måde bidrage med højere samlede udbytter, end når de dyrkes enkeltvis.
- Korn dyrket sammen med bælgplanter har ofte højere protein% i kerner end korn dyrket i renbestand.
- Artsblandinger kan reducere mængden af ukrudt samt angreb af sygdomme og skadedyr.
- Et højt N-niveau i marken, og dermed større risiko for angreb af f.eks. meldug i korn, øger behovet for at anvende en sortsblanding.

Erik Steen Jensen
uddyber

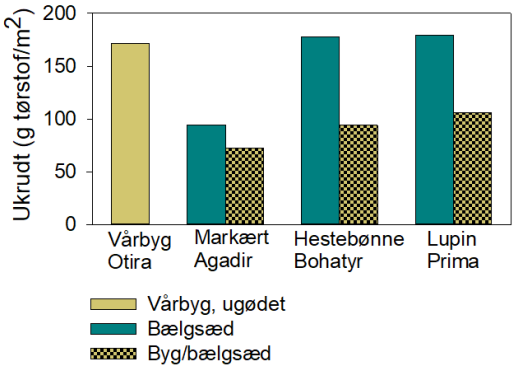
13.1. Artsblandinger

Bedre rodudvikling ved samdyrkning (1)

I markforsøg på Risø (1999) udviklede byg et dybere rodsystem, når den var blandet med markært, og begge arter udviklede hurtigere deres rodnet i bredden, når de blev samdyrket.

Gode effekter af artsblandinger af bælgsæd og korn på sygdomme og ukrudt (2)

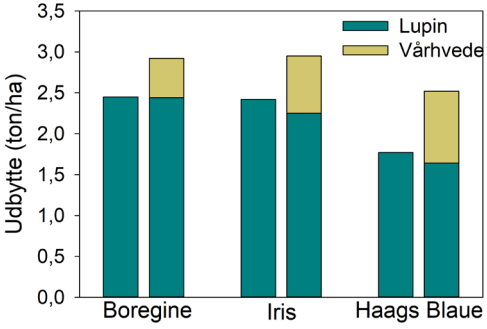
- Blandingerne reducerede generelt angreb af sygdomme med 20-40%.
- Blandingerne reducerede mængden af ukrudt sammenlignet med hestebønne og lupin i renbestand. Jorden blev i højere grad tømt for N ved samdyrkning med korn, hvilket gav ukrudtet ringere vækstforhold.
- Protein% i byg-kernerne var højere, når byggen voksede i blanding med ært, end når den var i monokultur.



Markforsøg på Højbakkegård (2001-3) testede blandinger af vårbyg med hhv. markært, hestebønne og lupin. Blandingerne var sammensat af 50% af normale udsædsmængder.

Lupin dyrket med vårhvede øger udbytte og fremskynder modning (3)

- Iblanding af 40 kg/ha vårhvede gav samlet merudbytte i frø + kerner på knapt 0,7 ton/ha. Udsædsmængden i lupin blev fastholdt.
- Frøudbyttet i lupin blev fastholdt efter iblanding af vårhvede.
- Iblanding af vårhvede reducerede vandindholdet i lupin ved høst.

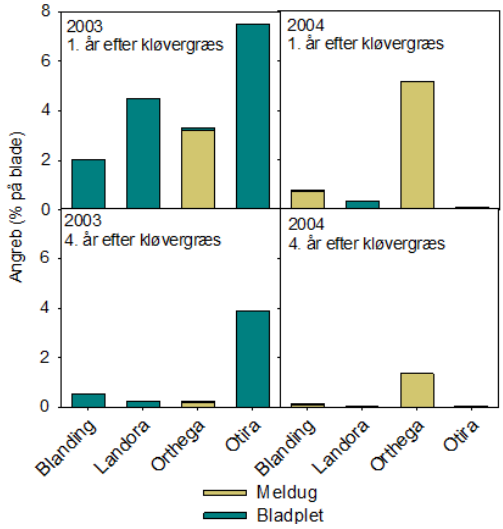


Gennemsnit af 3 års markforsøg (2013-15) med tre forskellige sorter af lupin med og uden iblanding af 40 kg/ha vårhvede.

13.2. Sortsblandinger

Angreb af bladsygdomme i vårbyg afhænger af placering i sædskiftet (4)

- Der var størst angreb af bladsvampe 1. år efter kløvergræs i forhold til 4. år. Det stemte med, at N-koncentrationen i biomassen før høst var størst, og K-koncentrationen var lavest i det første år efter kløvergræs. Begge forhold påvirker planters modtagelighed over for bladsvampe.
- Sortsblandingen sammensat af tre sorter var mindre angrebet af svampesygdomme end gennemsnittet af tre sorter.
- Første år efter kløvergræs, hvor N-mineraliseringen var stor, gav sortsblandingen større kerneudbytte (4,8 ton/ha) mod gennemsnit af de tre sorter (4,6 ton/ha). Der var ikke forskel 4. år efter kløvergræsset.



Undersøgelse i det økologiske kvægsædskifte på Foulum. Angreb opgjort 2003-4 på de tre øverste blade lige før kernernes mælkemodenhed.
Blandingen var sammensat af tre højtydende sorter med forskellige resistensegenskaber.

Udtræk fra www.sortinfo.dk viser, at sortsblandingerne i økologisk vårbyg i gns. af 2009-2020 gav 50,4 hkg kerne/ha mod 52,5 hkg kerne/ha i de sorter, der var topscorere de enkelte år. Udbytterne af sortsblandingerne var placeret i bedste halvdel af de testede sorter.

Vi kan ikke på forhånd vide hvilken sort, der bliver årets topscorer. Ofte er det nye sorter, som ikke er opformeret til større udbredelse.

En sortsblanding skal betragtes som en forsikring imod varierende vækstforhold. Og så skal blandingen være godt sammensat, så der både tages hensyn til udbytteniveau af enkeltsorter og til sorternes øvrige egenskaber.

13.3. Sædskifter

Sædskifter kan også betragtes som blandinger i modsætning til at dyrke samme afgrøde hvert år. Jo flere arter med forskellige egenskaber som indgår i sædskiftet (+/- N-fikserende; vinter/vår-former; en/flerårige; smal/bredbladede), des større robusthed og udbyttestabilitet vil man normalt opleve som gennemsnit af markdriften.

Sædskiftesygdomme i N-fikserende arter er en potentiel trussel mod økologisk planteproduktion

- Sædskiftesygdomme holdes normalt i skak ved at fastholde de anbefalede minimumsafstande mellem arter i sædskiftet, herunder også arter af efterafgrøder.
- Det er sandsynligt, at nye sædskiftesygdomme vil dukke op, når ellers sunde afgrødearter dyrkes for hyppigt i sædskiftet. Ændrede klimaforhold kan skubbe på en sådan negativ udvikling.

Her gik det galt i ærterne. Sporer fra angreb af ærterodråd kan være smittedygtige i jorden i 15-20 år, og derfor udelukke dyrkning. Foto: Ghita Gordsen Nielsen.

14. Jordpakning

Her kom gyllevognen ikke længere. Foto: Per Schjønning.

Fakta om pakning

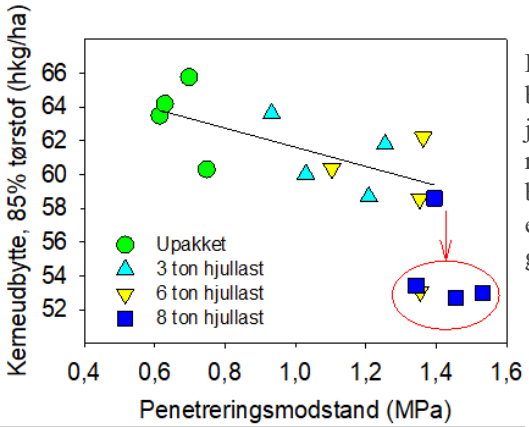
- Pakning af underjorden er stort set permanent, og tiltager sandsynligvis pga. tunge maskiner og vådere jorde efterår og forår som følge af klimaændringerne.
- Pakning i pløjelaget forebygges ved hjælp af brede lavtryksdæk med det rigtige dæktryk. Men vi kan ikke 'dæk-udruste' os ud af problemet med, at stor hjullast (vægt/hjul) kan give varig skade til stor dybde under våde forhold uanset dæktype.
- Ved færdsel under våde forhold køres med lavest mulige hjullast og dæktryk tilpasset kørsel i marken.
- Det er lige så vigtigt at begrænse jordpakning på sandjorde som på lerjorde. På sandjorde, hvor roddybden normalt er lille, er det vigtigt at sikre rødderne en optimal vækst i det begrænsede vækstrum.
- Når køretøjer med stor hjullast kører i våd jord, sker en ældtning og horisontal forskydning af jorden. Denne kraft afskærer, vrider og sammentrykker de vigtige bioporer, som rødderne skal bruge. Den fastkørte traktor og gyllevogn på fotoet har samlet hjullast på 55 ton.
- Forskydningskraften og dermed pakning af både pløjelag og underjord kan begrænses, når der anvendes træk på alle hjul og brug af brede lavtryksdæk.

Per Schjønning
uddyber

14.1. Effekter og forholdsregler

Pakning af pløjelaget nedsætter udbyttet (1)

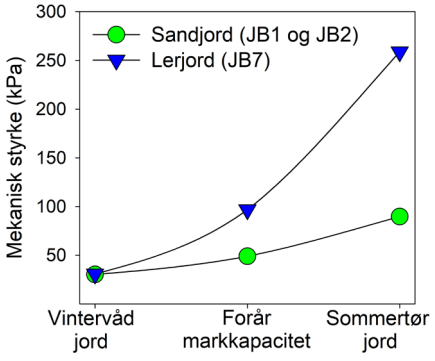
På Årslev (JB6) blev markjord tæt på markkapacitet udsat for forskellig grad af pakning. Det foregik 2 år i træk med traktor med gylleanhænger og henholdsvis 3, 6 og 8 ton hjullast - og hjul ved hjul, så hele markfladen blev ens påvirket. Syv måneder efter sidste kørsel blev der i hver parcel målt pakning (penetreringsmodstand) i 8-17 cm dybde samt tilhørende udbytter i vårbyg.



Der var et sikkert fald i kerneudbytter med den øgede pakning i jorden. Fire af behandlingerne (i rød cirkel) havde endnu lavere udbytter. Det skyldes sandsynligvis effekten på udbytterne af en yderligere pakning af underjorden.

Jordtypernes mekaniske styrke afhænger af vandindhold og jordtype (2)

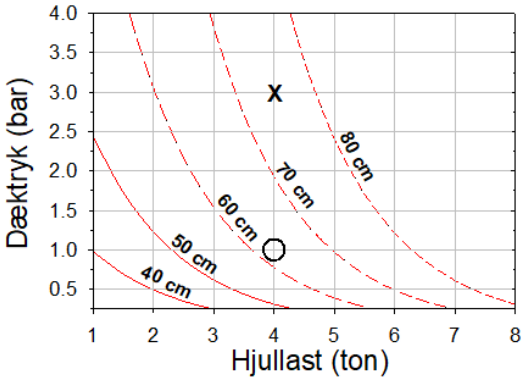
- Både sandjorde og lerjorde har en meget lav mekanisk styrke, når jorden er vintervåd.
- Der er en stigning i den mekaniske styrke ved faldende vandindhold for begge jordtyper.
- Stigningen er størst for lerjorde, mens sandjordene reelt aldrig opnår en væsentlig styrke.
- Det betyder, at sandjorde er mere udsatte for ødelæggende pakning end lerjorde, når der køres på sommertør jord.



Fakta om enheder. Dæktryk kan opgives i enten atm, bar eller kPa (1 bar ~ 1 atm; 1 kPa=0.01 bar). Enheden kPa bruges også for den spænding (stress), der opstår i jorden i forbindelse med kørsel. Og samme enhed bruges også om den mekaniske styrke i jorden. 1 MPa = 1000 kPa.

Hvor dybt går skaden i vintervåd jord? (3)

Moderne dæk gør det muligt at køre under våde forhold. Det kan give varig skade til stor dybde. En vintervåd jord pakkes, når trykket fra maskinerne overstiger ca. 0,5 bar i jorden (=50 kPa).



Figuren viser dybden, hvor der trykkes med 0,5 bar ved forskellige dæktryk og hjullast.
Kurverne afspejler '8-8'-reglen: Dybden for 0,5 bar stress stiger med 8 cm for hver ekstra ton hjullast og med 8 cm for hver fordobling af dæktrykket.

Eksempel: En hjullast på 4 ton og et dæktryk på 3 bar, beregnet til hurtig vejkørsel, vil pakke jorden til ca. 75 cm dybde, når der køres på vintervåd jord (figurens X). Ved at reducere dæktrykket til 1 bar reduceres pakkedybden med næsten 15 cm (figurens O).

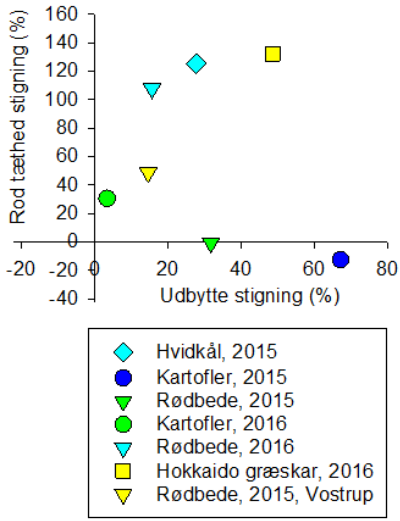
Dæktrykket i dæk tv. er 3 bar mod kun 1 bar i dækket t.h. Foto: Samson

Terranimo® (www.terranimo.dk) er et beslutningsstøttesystem, der kan regne på din mark, dine maskine og de aktuelle vejrforhold, og med en indgang på dansk.

14.2. Faste kørespor

Hvidkål dyrket med faste kørespor. Foto: Astrid Bergmann.

Faste kørespor gav merudbytter i grøntsagsafgrøder [4]



På Skiftekær Økologi (JB6) og Vostrup Øko (JB1) blev dyrket grøntsager i system med faste kørespor og system med almindelig ikke-kontrolleret kørsel. Forsøget blev anlagt forår i 2013. I begge systemer blev anvendt ikke-vendende jordbehandling med stub-harvninger til 25 cm.

Figuren viser % stigningen i udbytter og rodtæthed summeret over hele rodzonen, når der blev anvendt faste kørespor.

I fire ud af seks tilfælde blev der høstet højere udbytter i systemet med faste kørespor end i det traditionelle system, men med store forskelle mellem afgrøder og år. Der var ingen (to tilfælde) eller større rodtæthed (4 tilfælde) i systemet med faste kørespor.

OBS. Når du anvender faste kørespor, er der risiko for en stærk og permanent pakning i køresporene. Det giver udbyttetab, hvis der skiftes arbejdsbredde. Derfor er det om muligt endnu vigtigere at følge de vejledende grænser for hjullast og dæktryk i systemer med faste kørespor.

15. Jordløsning

15.1. Mekanisk metode

Kompakt knold fra trafiksål på Foulum (JB4) med bioporer, som rødderne kan vokse i. Foto: Lars Munkholm.

Mekanisk jordløsning har ofte en kortvarig effekt på jorden (1,2,3)

- Røddernes vækst hæmmes i kompakt jord, men der opnås sjældent de ønskede merudbytter efter en mekanisk jordløsning.
- Jord, som er løsnet mekanisk, er meget udsat for genpakning, da dens mekaniske styrke er lav.
- For at reducere genpakningen anbefales det at anvende "on-land" pløjning i stedet for traditionel pløjning, hvor det ene sæt hjul kører i furebunden. Generelt bør hjullasterne reduceres og kørsel begrænses så længe som muligt efter løsning.
- Selv hvor genpakning er minimeret, er der ikke fundet markant merudbytte efter en mekanisk løsning. Det bestående netværk af bioporer i jorden som regnormegange og rodkanaler, kan ødelægges ved mekanisk jordløsning, og det modvirker fordelene ved en mindre jordtæthed efter løsning.
- Mekanisk jordløsning anbefales kun i de tilfælde, hvor rodvæksten er stærkt hæmmet af pakkede lag. → Tilgå VESS-spadetesten under QR-kode i tema 20.

Lars J. Munkholm
uddyber

15.2. Biologisk metode

Flerårige afgrøder med pælerødder, som er i stand til at bryde igennem pakkede jordlag, kan potentielt danne nye stabile bioporer og stimulere den naturlige strukturdannelse. Det forbedrer porøsiteten og øger gennemstrømningen af vand og luft i jorden.

Efterafgrøder af olieræddike kan reducere jordpakningen (4,5)
I et markforsøg på Foulum (JB4) var der sikker effekt på jordens porøsitet efter, at olieræddike havde været dyrket fem efterår i træk. Her blev dannet sammenhængende makroporer, som forbedrede transport af vand og luft i jorden.
Af sædskiftemæssige hensyn kan dette resultatet ikke umiddelbart overføres til praksis, men det fortæller om et potentiale.

Men olieræddike kom til kort på en hårdt pakket jord (6)
I en hårdt pakket jord på Aarslev (JB6), bl.a. efter kørsel med 8 ton hjullast, blev der 4 år i træk efter pakningen dyrket olieræddike som efterafgrøde.

- Der var tendenser til små positive effekter af olieræddike på poredannelsen, men ingen var signifikante.
- Resultatet afviger fra det positive resultat ovenfor. Det skyldes sandsynligvis, at jorden i dette forsøg var væsentligt hårdere pakket end Foulum jorden.

Lars viser flot eksemplar af en olieræddike.
Foto: Bodil Pedersen

Lucerne og dernæst cikorie var bedst til at forbedre strukturen i hårdt pakket lerjord (7, 8)
Effekten af forskellige afgrøder/efterafgrøder på poresystemet i en hårdt pakket jord på Aarslev (JB6) blev i et 2-årigt forsøg undersøgt ved hjælp af CT-scanninger af udtagne jordsøjler. Jorden havde en kritisk høj volumenvægt på 1,8 ton/m^3 i det pakkede lag (35-50 cm). Både lucerne, cikorie og strandsvingel kunne udvikle rødder i dette lag, men lucerne havde størst potentiale for at producere sikre ændringer i antal pore og luftledningsevne. God luftledningsevnen er indikator for god afdræning under våde forhold.

- For de testede efterafgrøder gælder, at jorden stadigvæk var meget kompakt efter det ene års forsøg. Men allerede efter 2 år med lucerne blev der målt en sikker jordløsnende effekt – også i det stærkt pakkede jordlag.
- Lucerne, med et kraftigt og forgrenet pælerods-rodsystem, har stor optagelse af vand, og er mest tilbøjelig til at forårsage revnedannelser i jorden.
- Olieræddike og strandsvingel viste ikke bedre effekt end vårbyg i forbedring af poresystemet i den meget hårdt pakkede underjord. En anden undersøgelse med en beslægtet art til olieræddike (Strukturator) viste, at når pæleroden mødte det kompakte lag, så skiftede den fra een pælerod til mange små rødder.
- Generelt er arter med pælerødder mere effektive til biologisk jordløsning end arter med trevlerødder. Det betyder, at rødkløver og lupin også kan have potentiale som biologiske jordløsnere.

Undersøgelse af rodvæksten af cikorie i en jordprofil med stærkt pakket underjord. Foto: Mansonia Pulido-Moncada.

16. Mikro- og makroliv som medspiller

Mariehønelarver på jagt efter lus.

Hovedpointer

- Afgrødernes forsyning med næringsstoffer og beskyttelse mod sygdomme og skadedyr understøttes af en kæmpe hær af mikro- og makro-organismer, der lever i et komplekst samspil med hinanden. Aktiviteten af organismerne vedligeholdes eller øges, når der er føde nok, når der er egnede overvintringssteder, og når der er ro i marken.
- Øget plantediversitet øger den mikrobielle diversitet i jorden, da forskellige arter tiltrækker forskellige mikroorganismer i miljøet tæt på rødderne (1) – og det giver flere nyttedyr og færre skadedyr (2).
- En høj diversitet af mikroorganismer i jorden bidrager til øget naturlig beskyttelse mod plantesygdomme (2)
- Jordbearbejdning og/eller mekanisk ukrudtsbekæmpelse har negative effekter på jordbundsorganismer og på visse grupper af naturlige fjender. Det medfører dilemmaer i forhold til behovet for mekanisk kontrol af ukrudt.
- Forekomsten af forskellige arter af bestøvere har stor betydning for udbytterne i mange afgrøder. Derfor er der behov for at sikre leve- og overvintringssteder.

16.1. Forekomst og betydning

Eksempel på indhold af organismer i markjord

	Antal		Biomasse i pløjelaget
Bakterier [3]	100-1.000 mio.	/g jord	450-4.500 kg/ha
Svampe [3]	0,1-1 mio.	/g jord	1.100-11.000 kg/ha
Nematoder [4]	Over 40	/g jord	
Mider [5]	10.000-over 100.000	/m^2 jord	-
Springhaler [5]	10.000-over 100.000	/m^2 jord	-
Regnorme [6]	10-1.000	/m^2 jord	100-4000 kg/ha

- Et enkelt gram sund jord kan indeholde mange tusinder forskellige arter.
- Længden af svampehyfer er i et markforsøg opgjort til 11 m/gram jord [7].
- Sammenlagt har vi meget større mængde af organismer i jorden end vægten af de husdyr, som en mark kan levere foder til.

Stor regnorm i arbejde med at hente rester fra en hestebønnemark ned i jorden. Stor regnorm er en af vores allerbedste orme til at lave lodrette kanaler i jorden. Foto: Paul Henning Krogh.

Stor betydning af efterafgrøder, grøngødning og husdyrgødning [8,9]

- Der var større mikrobiel biomasse i de økologiske dyrkningssystemer end i de konventionelle, og størst i sædskiftet med grøngødning og efterafgrøder. Tilførsel af husdyrgødning forøgede den mikrobielle biomasse i forhold til anvendelse af mineralsk gødning.
- Den mikrobielle biomasse udgjorde den største reserve af letomsætteligt N. Mængden af mikrobielt bundet N blev målt til 46-85 kg/ha på Jyndevad, 85-145 kg/ha på Foulum og 74-172 kg/ha på Flakkebjerg.
- Aktiviteten af den mikrobielle biomasse var mere afhængig af tidligere års vedvarende input af organisk materiale end af de seneste input.

Mykorrhiza-svampe øger røddernes kontaktflade med jorden [10]

- De fleste plantearter danner symbiose med mykorrhiza. En undtagelse er korsblomstrede afgrøder (f.eks. raps og olieræddike), roer, boghvede og quinoa.
- Svampene kan producere et stærkt forgrenet net af hyfer, som øger planternes P-optagelse samt i nogen grad også optagelse af andre næringsstoffer.
- Har positiv effekt på jordens aggregatstabilitet samt afgrødernes tørketolerance og modstandsdygtighed over for rodsygdomme.
- Høje fosfortal og mekanisk jordbearbejdning hæmmer væksten af mykorrhiza.

16.2. Indhold og betydning

Springhaler og mider spiller en stor rolle (5)

- Mider og springhaler deltager i omsætningen af plantemateriale og frigivelse af næringsstoffer.
- Efterafgrøder undersået om foråret kan medføre store mængder af springhaler og mider. I en optælling i efteråret var der 5-10 gange flere dyr i parcellerne med efterafgrøder end i kontrollerne, der blev holdt uden vegetation.
- I det tidlige forår udgør springhaler størstedelen af føden for edderkopper og løbebiller, så disse er klar til at optræde som naturlige fjender til bladlus senere på sæsonen, og inden mariehønelarverne er klar.

Regnormes aktivitet øger jordfrugtbarheden (2,11)

- Under en økologisk græsmark kan der findes omkring 3 ton regnorme per ha (friskvægt). I sædskifter med enårige salgsafgrøder er der kun målt en femtedel af denne mængde.
- Pløjelaget i en mark passerer regnormetarme ca. hvert 10. år. Organisk materiale indarbejdes, jordens struktur og evne til at bortlede overskudsvand forbedres, og der dannes gange i jorden ned til 2 m, som rødderne kan benytte.
- Et udenlandsk studie har vist merudbytter på 25% pga. regnormenes positive virkning på N-frigivelse til afgrøderne.
- De store regnorme kan vandre 10-20 meter oven på jorden i løbet af en nat, og på den måde flytte sig fra arealer med dårligt fødegrundlag til arealer med mere føde.

Regnorme, springhaler og mider påvirkes af jordbearbejdning (2,12)

- Jordbearbejdning reducerer antal og arter af springhaler og mider.
- Især pløjning og fræsning påvirker alle regnorme negativt.

Nedpløjning af lucernemark. Foto: Sven Hermansen.

16.3. Naturlige fjender på jord og i luften

Edderkopper, rovbiller og snyltehvepse bidrager til at regulere mængden af skadedyr i afgrøderne (2)

- ➢ Gode levesteder og mulighed for overvintring nær afgrøden er en betingelse for at opretholde mange naturlige fjender af f.eks. bladlus og skulpegalmyg. Det kan være levende hegn, blomsterstriber, insektvolde og jorddække med dødt plantemateriale.
- ➢ For løbebiller og rovbiller er den maksimale afstand til levested 50-100 meter, og for snyltehvepse og rovmider, som ikke bevæger sig så langt, er den 10-50 meter. Når marken er bredere, vil den positive effekt af disse dyr derfor være forringet.
- ➢ Diversitet i både dyrkede afgrøder og i de vilde planter giver større diversitet i insekterne og dermed større robusthed i forhold til opformering af skadedyr.

Edderkopper og løbebiller er udsatte ved harvninger (13)

For at opnå færrest mulige negative konsekvenser efter ukrudtsharvninger i kornafgrøder anbefales følgende:

- ➢ Undgå at udføre mere end to harvninger i vårsæd (blindstrigling plus en efterfølgende harvning) og ikke senere end 1 mdr. efter såning.
- ➢ Undgå helt at harve vintersæd om efteråret, da det rammer generationen, der skal overleve til næste forår.
- ➢ Udfør kun forårsharvning i vintersæd frem til midt april.

Eksempler på tiltag der fremmer mikro- og makrolivet

Flerårige afgrøder og undersåede efterafgrøder øger de uforstyrrede perioder i marken.
Reduktion af jordbearbejdningerne i antal og dybde
Efterlade dødt træ i hegn
Udyrkede skæve hjørner i markerne
Insektvolde (billebanker) i store marker. Vær dog obs på, at insektvolde kan medføre opformering af tidsler.
Flerårige udyrkede striber i markskel
Enårige urte-/blomsterstriber i sædskiftet

16.4. Bestøverne

Både honningbier og vilde bier er vigtige for udbytterne [2,14]

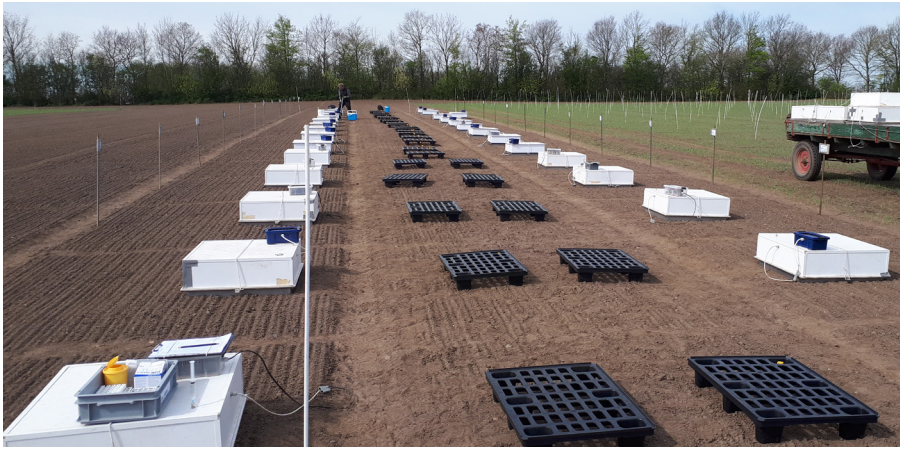
Humlebi i rødkløver.
Foto: Yoko Luise Dupont.

Honningbi i raps.
Foto: Lise Hansted.

- Uforstyrrede redesteder som markkanter, diger, levende hegn og gravhøje er vigtige for de vilde bier (enlige bier og humlebier).
- Honningbier og de fleste humlebiarter kan flyve flere kilometer efter føde, mens de enlige bier kun flyver 150-600 meter fra deres rede til blomsterne.

	Bestøvende bier	Betydning for udbytte og kvalitet
Raps	Honningbier regnes for de vigtigste bestøvere i raps, men humlebier, enlige bier og svirrefluer hjælper også til.	Giver 5-15% højere frøudbytte, højere olieindhold, lavere klorofylindhold og mere ensartet modning.
Rødkløver	Især langtungede humlebier, men også korttungede og honningbier er vigtige for bestøvningen.	Udbyttet næsten helt afhængig af insektbestøvning.
Hvidkløver	Enlige bier, humlebier og honningbier.	Med få undtagelser er de fleste sorter helt afhængig af insektbestøvning.
Hestebønner	Især langtungede humlebier, men også korttungede (dem der laver huller i siden af blomsterhalsene) og honningbier er vigtige for bestøvningen.	Giver 20-45% højere frøudbytter, mere ensartet og hurtigere afmodning, bedre frøkvalitet og større spiringsevne.
Lupin	Både honningbier og jordhumle bliver angivet som bestøvere.	Giver et højere proteinudbytte ved bibestøvning, og der er potentiale for højere udbytte [15].

17. Drivhusgasser



Det er omstændigt at måle udledning af lattergas i marken. Kamre sættes på en ramme placeret i hver forsøgsbehandling. Gasprøver udtages flere gange i løbet af 1-2 timer, hvorefter kamrene flyttes. Foto: Søren O. Petersen.

Hovedpointer

- Drivhusgasser i landbruget omfatter kuldioxid (CO_2), metan (CH_4) og lattergas (N_2O). For at beregne et samlet klimaaftryk omregnes metan og lattergas til CO_2-ækvivalenter, så bidragene fra de tre gasser kan lægges sammen.
- Klimaaftrykket beregnes ofte som udledningen af drivhusgas divideret med aktuelt markudbytte. Det betyder, at klimaaftrykket kan reduceres ved at øge udbytterne, alt andet lige.
- Udledning af lattergas fra markerne er knyttet til N-holdige gødninger og planterester, hvis omsætning kan fremkalde iltfrie områder i jorden.
- Udledning af lattergas kan ikke undgås, men den kan reduceres bl.a. gennem biogasbehandling af de organiske gødninger, opretholdelse af god jordstruktur og overfladisk jordbearbejdning.
- Et lavt C/N-forhold i biomassen øger risikoen for produktion af lattergas. Derfor er timing mellem N-mineralisering og afgrødens N-optagelse vigtig. Når N er optaget i den levende afgrøde, kan det ikke omdannes til lattergas før afgrøden dør.

Søren O. Petersen
uddyber

17.1. Kuldioxid, metan og lattergas

Kuldioxid (CO_2): Frigives ved nedbrydning og omsætningen af organisk stof i jorden. Tabet af kulstof modvirkes gennem tilførsel af organiske gødninger, kompost og halm samt brug af efterafgrøder og flerårige kløvergræsmarker. (→ Se mere tema 18).

Metan (CH_4): Vurderes at være ca. 25 gange kraftigere end CO_2 (100 års tidshorisont). Dannes når mikroorganismer omsætter organisk stof under iltfrie forhold. Processen sker under drøvtyggernes fordøjelse og i iltfattige gødningslagre. Metan fra gødning kan opsamles ved behandling i biogasanlæg. Her omtales kun risikoen for udledning, når en grønmasse hældes direkte i gyllebeholdere (→ se også tema 10).

Metan i atmosfæren nedbrydes hurtigere end både lattergas og kuldioxid. Med en tidshorisont på 20 år i stedet for 100 år er klimaeffekten af metan ikke 25, men 84 gange kraftigere end CO_2. Det betyder, at metan-reduktioner har særlig stor værdi i forhold til at mindske den globale opvarmning på kort sigt

Lattergas (N_2O): Vurderes at være knap 300 gange kraftigere end CO_2 (100 års tidshorisont). De største kilder til udledning er N-holdige gødninger og planterester. Flere processer kan føre til produktion af lattergas, men den vigtigste er denitrifikation, hvor N_2O er et frit mellemprodukt i omdannelsen af nitrat (NO_3^-) til frit kvælstof (N_2).

Der er størst risiko for udledning af lattergas under nedbrydning af gødning og planterester, som lokalt kan føre til iltfattige forhold i jorden. Lattergas produceres i grænseflader mellem jord og gødning/planterester. Hvor stor udledningen bliver bestemmes af mikroorganismernes adgang til ilt, nitrat og nedbrydeligt organisk stof.

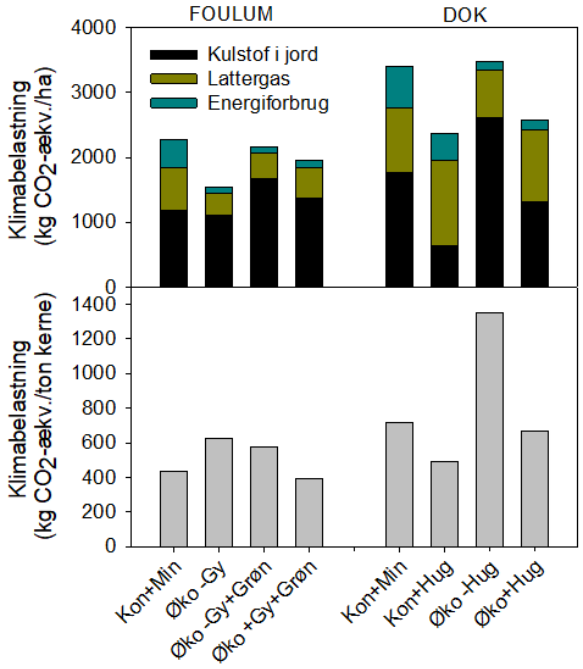
Forsøgsanlæg med 8 gyllebeholdere, hver 6,5 m^3. De anvendes til at undersøge udledningen af bl.a. drivhusgasser fra gylle og andre gødninger.
Foto: Søren O. Petersen.

17.2. Klimaeffekt af dyrkningssystem

Udledningen per ton kerne er størst i de ugødede marker (1)

Dette eksempel viser målinger og beregninger over 19 år i det langvarige sædskifteforsøg på Foulum og 39 år i de langvarige DOK-forsøg i Schweiz.
Resultatet er vist både pr. hektar og pr. ton kerne, hvilket er de to måder, udledningen kan opgøres på.

- I de fleste af systemerne udgør C-tabet fra jordpuljen den største kilde til drivhusgasudledning (→ se også tema 18).
- Målt pr. ton korn har de gødede behandlinger den laveste udledning.
- Analysen viser, at drivhusgasudledningen i de gødede økologiske systemer ligger på niveau med udledningen fra de konventionelle systemer.



Kon=konventionelt
Øko=økologisk
Min= mineralsk gødning
Hug= husdyrgødning (fast+gylle)
Gy=gylle
Grøn= helårsgrøngødning i sædskiftet

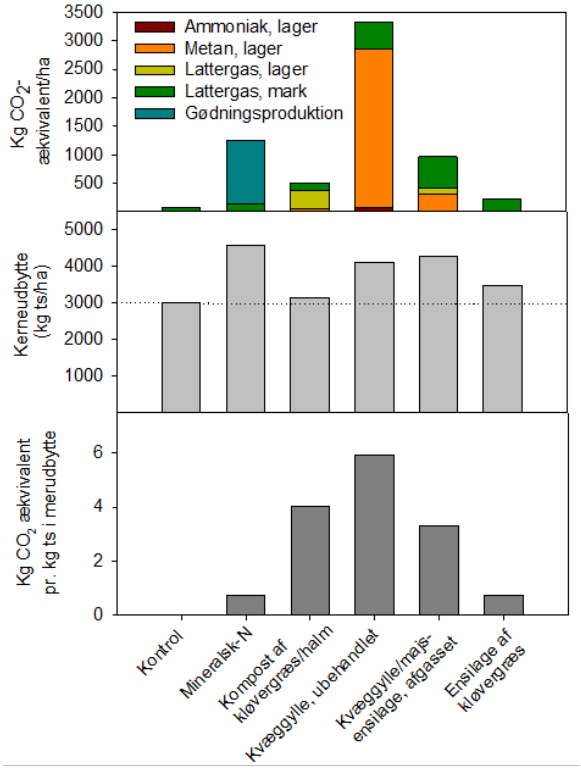
De tre økologiske systemer på Foulum var alle med efterafgrøder

17.3. Klimaeffekt af gødninger

Positive resultater af afgasset gylle og ensilage af kløvergræs på merudbytter og klimaeffekt (2)

Et forsøg på Foulum målte drivhusgasudledningen under lagring af forskellige gødninger og den efterfølgende gødningsværdi i markforsøg med vårbyg. Der var store forskelle mellem gødningstyperne.

- Ubehandlet gylle var den største kilde til drivhusgasser, mens afgasset gylle udledte markant mindre.
- Ensilering af kløvergræs til en mobil grøngødning forhindrede næsten tab af drivhusgasser under lagringen, og den samlede klimabelastning var den laveste blandt de testede organiske gødninger (→ se også tema 10).



Samlet udledning af drivhusgasser udtrykt som CO_2-ækvivalenter/ha.

Vårbyg blev gødet med 120 kg total-N/ha i de testede gødninger. Merudbytterne ligger over den stiplede linje.

Den beregnede klimaeffekt hvor udledningen er divideret med merudbytterne.

17.4. Reduktion af udledning af lattergas

Tidlig udbringning af husdyrgødning når temperaturen er lav (3)

Lav temperatur hæmmer jordens kvælstofomsætning. Det betyder, at produktionen af lattergas forsinkes, hvis husdyrgødning udbringes tidligt i vækstsæsonen. Risikoen er dog, at udledningen blot udsættes, hvis ikke der er planter til at samle kvælstoffet op. Tidlig udbringning er derfor primært et virkemiddel i etablerede afgrøder.

God kontakt mellem jord og gødning kan mindske risikoen for lattergasudledning (4,5)

God opblanding af gødning og jord vil mindske omfang og varighed af iltfattige forhold under den efterfølgende nedbrydning. Det mindsker også risikoen for lattergasudledning. Kontakt mellem jord og gylle afhænger både af gødningens egenskaber og udbringningsmetode. Forsøg har vist en bedre infiltration af nedfældet gylle med harvetand fremfor rulleskær på gyllenedfælderen.

Biogasbehandling reducerer dannelse af lattergas i jorden (3)

Behandling af husdyrgødning i biogasanlæg fjerner letnedbrydeligt organisk stof. Omsætteligt organisk stof har betydning for udbredelsen af iltfattige forhold i jorden efter udbringning - og for risikoen for lattergasdannelse.

Et markforsøg på Foulum gav en 20-40% reduktion i udledningen af lattergas fra gylle efter biogasbehandling. Bedre infiltration såvel som et mindre behov for ilt til nedbrydningen betyder, at en større andel af kvælstofomsætningen sker under iltede forhold.

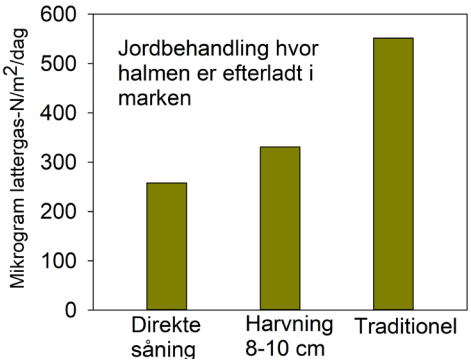
En god jordstruktur mindsker udledningen af lattergas (6)

Målinger på Foulum viste, at betingelserne for gastransport i øverste 5 cm jordlag ved markkapacitet var bedre i et økologisk system med husdyrgødning end i et tilsvarende konventionelt system med handelsgødning. Gastransport er afgørende for iltforsyningen til de dele af jorden, bl.a. gødningsklumper eller planterester, hvor iltfattige forhold ellers kan føre til dannelse af lattergas. Årsagen er formentlig en bedre jordstruktur i systemet med husdyrgødning. En god jordstruktur betyder, at iltbegrænsning bliver mindre udbredt, når det regner.

Planterester er også kilde til produktion af lattergas (7,8)

Undersøgelser ved Foulum har vist, at indarbejdning af en efterafgrøde eller grøngødningsafgrøde kan være en vigtig kilde til lattergas. En af årsagerne til det er, at iltforbruget under nedbrydningen kan føre til iltfattige forhold lokalt omkring planteresterne. Vi mangler mere viden i forhold til at forstå og kontrollere omsætningen af planterester.

Overfladisk jordbehandling reducerede udledning af lattergas, hvor der enten var tilbageført halm eller indarbejdet en efterafgrøde af olieræddike (9,10)



Forsøg på Foulum (JB4) i konventionelt dyrket jord.

Det samme mønster som vist i figuren er set efter indarbejdning af olieræddike på den samme jordtype. En mulig forklaring er følgende: Når halm og efterafgrøde omsættes af mikroorganismerne i jorden, kan det føre til iltmangel og dermed lattergasproduktion. Men i den harvede jord, og ved direkte såning, omsættes biomassen tættere ved jordoverfladen, hvor iltforsyningen er bedre.

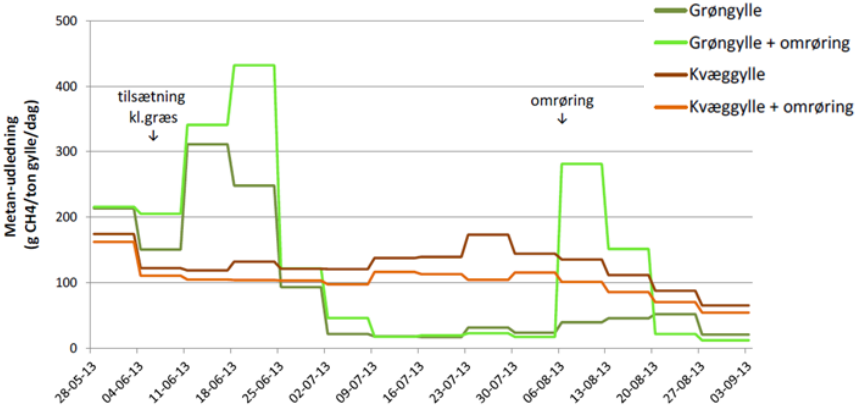
OBS: Ved tilførsel af klistrede gødninger, f.eks. en mobil grøngødning af ensilage, eller ved indarbejdning i jord med ringe porøsitet, kan risikoen for udledning af lattergas reduceres ved at placere gødningen dybere i jorden.

Her vil transportvejen for lattergas op til jordoverfladen være lang, og derfor er der større chance for at lattergas bliver reduceret til frit uskadeligt N_2.

17.5. Udledning af metan fra grøngylle

Risiko for mer-udledning af metan når kløvergræs tilsættes i gylletanken (11)
Udledningen af metan fra "grøngylle" blev undersøgt i et forsøgsanlæg på Foulum. Sammenlignet med ren kvæggylle gav tilsætningen af kløvergræs til kvæggyllen en kraftig forøget udledning af metan de første par uger og efter omrøring. På baggrund af erfaringerne fra forsøget kan følgende konkluderes:

- Det sikreste er at behandle kløvergræs i et biogasanlæg, hvor metanen opsamles og udnyttes.
- Skal græsslæt hældes i gylletanken, er det formentlig bedst at gøre det ved første slæt, mens temperaturen er lav og gyllens mikroorganismer mindre tilpassede dette miljø.
- Kløvergræsset gav et kraftigere flydelag, 35 cm imod 5 cm for den rene gylle. Det kraftige flydelag tørrede ud og blev vel-beluftet. Denne binding af grønmasse i det tørre flydelag kan være årsagen til det store fald i metan-produktionen, som blev målt hen over sommeren. En omrøring fremkaldte mere metan, hvilket skyldes opblandingen af det organiske flydelag med den iltfrie væske.
- Forskellen mellem med og uden omrøring af kvæggyllen kan skyldes en tilfældig variation ved påfyldning af tankene.



En almindelig overdækning, som reducerer fordampningen af ammoniak, er ikke så effektiv, når det gælder metan.

18. Kulstof (C) i jorden

Udtagning af jordprøver på Jyndevad Forsøgsstation. Foto: Hernning C. Thomsen.

Hovedpointer

- Formål 1: Opbygge og opretholde en stor biologisk aktivitet i jorden gennem tilførsel af organisk materiale. Aktiviteten af jordens organismer har stor indflydelse på hvor meget organisk bundet N, P og S, der kommer på en form, som planterne kan optage (→ se også tema 4 og 5).
- Formål 2: Lagring af kulstof i jorden for at reducere klimaaftrykket. På trods af C-input fra helårsgrøngødning, efterafgrøde og husdyrgødning mistes der kulstof i markforsøg med planteavl. Det betyder, at C udledt som CO_2 gennem den mikrobielle omsætning er større end det C, der indbygges i organisk stof i jorden.
- Hvis der netto skal lagres C i jorden, er der behov for stor og vedvarende tilførsel af organisk stof i form af f.eks. flerårige kløvergræsmarker.
- Dyrkningssystemer uden jordbearbejdning forskubber jordens C-indhold mod større indhold i toplaget og mindre indhold længere nede i rodzonen.

Jørgen E. Olesen
uddyber

18.1. Management og C-indhold

Kort om kulstof i jorden

- Organisk stof i jorden indeholder typisk 58% C samt N, P og S.
- Vedligeholdelse af jordens indhold af kulstof/organisk stof er en vanskelig sag. Det skyldes, at vi er oppe imod en fortsat langsom nedbrydning af det organiske stof, der igennem historien er opbygget ved ekstensive drift.
- Hvis C-lagring i en mark skal have positiv klimaeffekt, skal faldet i den historiske C-pulje udlignes med dyrkningsmæssige tiltag, før en netto C-lagring kan finde sted.
- Effekt af halm og rajgræs-efterafgrøder på jordens C-indhold topper efter 10-15 år. Herefter opstår ny ligevægt mellem til- og fraførsel af C [14].
- Når der er indført tiltag i markdriften for at opbygge kulstof i jorden, skal de anvendte tiltag som minimum fastholdes eller erstattes med andre lige så virkningsfulde tiltag for at opretholde C-niveauet.
- Uanset C-lagring så er tilførsel af organisk stof til jorden vigtig som føde til jordens mikroorganismer (→ se også tema 16).
- Der er grænser for, hvor højt indholdet af organisk stof i dyrket jord kan blive. Det vil være vanskeligt at opbygge og fastholde et C-indhold over 2,5-3% svarende til 4,3-5,1% organisk stof [1].

De danske marker indeholder gns. 142 ton C/ha i 0-100 cm dybde [2]

Kvadratnetsundersøgelsen er en tilbagevendende analyse af danske marker.

- I perioden fra 1986/87 til 2008/09 er C-indholdet i 0-100 cm steget på sandjordene (JB1-JB4), mens det er faldet på lerjordene (JB5-JB7). På JB7-jordene er faldet i denne periode over 1 ton C/ha/år i 0-100 cm.
- Den store forskel mellem jordtyperne forklares med, at sandjordene er domineret af kvægbesætninger med flerårige græsmarker og lerjordene af planteavl med enårige afgrøder.
- Græsmarkerne har bidraget med 0,95 ton C/ha/år i 0-25 cm dybde og 0,58 ton C/ha/år i 25-50 cm dybde.

Positiv effekt på C-lagring	Negativ effekt på C-lagring
➢ Flerårige afgrøder, f.eks. kløvergræs ➢ Frøgræs ➢ Efterafgrøder ➢ Halm ➢ Husdyrgødning, andre biomasser. ➢ Højt udbytte giver flere afgrøderester	➢ Sort jord efterår, vinter ➢ Majs, roer, kartofler efterlader meget lidt organisk stof i jorden ➢ Omlægning af græsmarker ➢ Bortførsel af halm

Virkning af driftstiltag i pløjelaget målt i markforsøg [3]

	Ton C/ha/år
Rod, stub, bladtab	0,3
Halmnedmuldning (5 ton tørstof/ha)	0,3
Gylle (30 ton/ha med 5% tørstof)	0,2
Efterafgrøde (rajgræs, udlagt forår)	0,4
Vedvarende græsmark (slæt)	1,1

Værdierne i tabellen er set over en 10-30 års periode. Generelt gælder, at der efter nogle år opstår en ligevægt mellem C-tilførsel og C-fraførsel. Det betyder, at der ikke yderligere opbygges C i jorden med et givent driftstiltag, men at det opnåede niveau blot vedligeholdes.

Eksempel på betydning af driftsform [4]

I to nabomarker var der stor forskel C-indholdet. Den ene mark var dyrket økologisk gennem 40 år med alsidigt sædskifte og husdyrgødning. Den havde 2% C i jorden svarende til 3,4% organisk stof. Den anden mark havde været dyrket primært med korn i mere end 20 år. Den havde 1,45% C i jorden svarende til 2,5% organisk stof. I modsætning til den økologiske mark, var denne jord kompakt, sent tjenlig og med behov for stort energiinput ved bearbejdning.

Dyrkning uden jordbearbejdning øger ikke den samlede C-lagring [5]

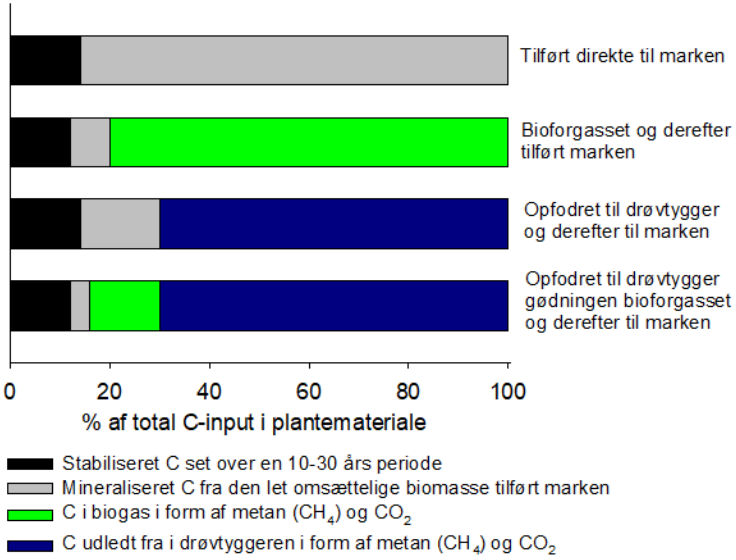
Der er gennemført en omfattende international analyse af data fra forsøg, hvor traditionel konventionel dyrkning sammenlignes med dyrkning uden jordbearbejdning. Analysen viser, at der sker en vertikal ændring af organisk stof i jorden, hvor indholdet øges i det øverste jordlag, mens det reduceres længere nede i jorden. Der er dog eksempler på en lille positiv C-effekt, primært ved højt indhold af ler i jorden [15].

Kort om biokoks (biokul, biochar) [6,7]

- Biokoks produceres ved iltfri opvarmning af biomasse (halm, husholdningsaffald, træ, husdyrgødning mm.) til 500-800^{o}C (pyrolyse). Foruden koks produceres energi (bioolie og gas). Kvalitet og renhed af koksen afhænger af biomasse og temperatur. Ved processen tabes langt det meste kvælstof fra biomassen.
- Fordele ved biokoks: a) binder C i jorden i flere hundrede år pga. meget langsom nedbrydning, b) fungerer som kalkningsmiddel, c) øger sandjords vandholdende evne og evne til at fastholde næringsstoffer d) leverer P (langsomt) og K til afgrøderne og e) reducerer udledningen af lattergas fra jorden.
- Der er behov for afklaring af relevante biomasser, deres optimale behandling, doseringer og evt. sideeffekter på jordens organismer.

12-14% af tilført C er tilbage efter 10-30 år - uanset behandling [8]

Når en høstet plante-biomasse håndteres, er mængden af C, som lagres i marken, uafhængig af behandlingen undervejs til marken. Og det uanset om biomassen tilføres direkte til marken som frisk mobil grøngødning, om den bioforgasses og derefter udbringes på marken, om den opfodres og gødningen efterfølgende udbringes på marken – eller om gødningen afgasses inden den køres ud på marken.
I forsøget her endte 12-14% af det oprindelige biomasse-C som stabiliseret kulstof i marken uanset behandlingen, set over en 10-30 års periode.



Nedbrydningen af den historiske C-pulje overgår C-input [9,10,11]

- Ændringer i pløjelagets C-indhold blev målt over de første 2-3 rotationer på tre lokaliteter. Hovedtendensen var, at C-indholdet faldt, også i sædskiftet med 25% helårsgrøngødning.
- Over en periode fra februar til august blev der på Foulum målt en jordrespiration (C-tab via ånding fra rødder og jordorganismer) svarende til 2-3 ton C/ha i CO_2.
- Målinger og beregninger over 19 år på Foulum har vist fald i jordens C-indhold på 300-450 kg C/ha/år. Der var ikke sikre forskelle mellem systemerne. Samme udvikling blev målt over 39 år i det langvarige DOK-forsøg i Schweiz.

Årligt fald i C-indhold på 0,1 ton C/ha i planteavlssædskifte blev vendt til stigning ved omlægning til vedvarende græs (12)

- Faldet i C-indhold er målt over 75 år i pløjelaget i et langvarigt forsøg i Sandmarken på Askov. Tabet var uafhængigt af, om der blev gødet med handelsgødning, husdyrgødning, eller om der slet ikke blev tilført gødning. Det skyldes, at ligevægten mellem input og output var indtruffet i løbet af de 30 år, der allerede var gået, før man startede test af C-indhold.
- Efter de 75 år blev arealerne omlagt til vedvarende ugødet græs, som blev afpudset 1-2 gange årligt. Det gav en forøgelse af jordens C-indhold i pløjelaget på i gennemsnit 0,29 ton C/ha/år.
- I denne forøgelse indgår også det historisk betinget fald på 0,1 ton C/ha/år. Det betyder, at det varige græs i alt har bidraget med 0,39 ton C/ha/år i pløjelaget.

40% kløvergræs var nødvendigt på C-holdig Foulumjord (JB4) for at opretholde det høje C-indhold (13)

- Et forsøg med afgræsset kløvergræs i sædskiftet viste, at jordens C-indhold ikke kunne opretholdes ved 25% kløvergræs. Balancepunktet blev vurderet til at være 40% andel af kløvergræs i sædskiftet.
- Markens C-indhold var ved start af forsøget 3,7 % hvilket er højt. Jo højere startniveau des større C-input er der brug for, for at lagre kulstof.

Tjek af markens C-indhold

- Ved udtagning af jordprøver suppleres med en analyse af jordens indhold af organisk stof. På analysesedlen er organisk stof = humus.
- Vil man sammenligne udviklingen i markernes C-indhold over tid, bør der gå 8-10 år mellem analyserne, for at være sikker på at en evt. forskel fanges. Ændringerne per år er nemlig meget små i forhold til jordens totale C-indhold.
- Hvis der er kridt eller nykalket i marken, kan det være nødvendigt at gøre laboratoriet opmærksom på det, så de ikke medregner kridt-C som organisk C.

Kulstof, organisk stof og humus er navne, der ofte anvendes i flæng. Humus er oprindelig defineret som den sorte og mest stabile del af det organiske stof i jorden. Men vil du bestille en analyse af organisk stof i jorden, så står det angivet som humus.

→ Se overslag over tilførsel af stabiliseret C til jorden under Tema 19 Hjælp til hurtige overslag.

19. Hjælp til hurtige overslag

19.1. Planter

Der findes mange gode hjælpemidler på nettet, men nogle gange er det rart selv at lave nogle hurtige overslag.

Udsædsmængde i kg/ha

$$\text{Udsædsmængde (kg/ha)} = \frac{\text{Ønsket plantetal (antal/m}^2\text{)} * \text{1000-kornsvægt (g/1000 kerner)}}{\text{\% forventet markspiring}}$$

Meter sårække = 100 / cm rækkeafstand

Frø/kerner per meter sårække = Ønsket plantetal *100 / (meter sårække * spire%)

Tjek af antal frø/kerner pr. meter sårække

Ønsket antal planter/m^2	Rækkeafstand (cm)		
	12,5	25	50
	Frø/kerner pr. meter sårække		
50	7	13	26
100	13	26	53
150	20	39	79
200	26	53	105
250	33	66	132
300	39	79	158
350	46	92	184
400	53	105	211
Meter række/m^2	8	4	2

Beregning af N-indhold i kerner ud fra råprotein% i tørstof

N% af tørstof = råprotein% i tørstof / 6,25

I hvede anvendes normalt faktoren 5,7 i stedet for 6,25

Beregning af C/N-forhold i grønmasse med kendt indhold af protein

C/N-forholdet= 45/ N% af tørstof

C% af tørstof i grønmasse kan sættes til 45. Størrelsen kan variere lidt, hvilket dog ikke har den store betydning for resultatet af overslagene.

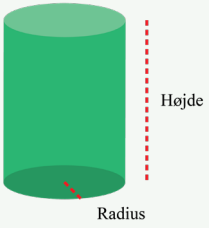
Volumenvægte af korn, frø og grovfoder (1)

Korn/frø	ton/m^3	m^3/ton	Grovfoder	ton/m^3	m^3/ton
Byg	0,67	1,49	Græsensilage	0,4-0,8	1,3-2,5
Havre	0,5	2	Frisk græs, løst	til 0,6	til 1,7
Hvede	0,75	1,33	Frisk græs, pakket	til 0,9	til 1,1
Rug	0,7	1,43	Halm i rundballer	0,08	12,5
Hestebønner	0,83		Kartofler	0,6-0,7	1,4-1,7
Ærter	0,8				
Kløverfrø	0,8				
Rajgræs	0,38				
Raps	0,7				

Volumen af lager (1)

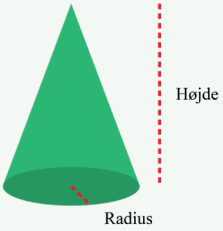
H = højde, B = Bredde, L = længde, R = radius

Cylinder



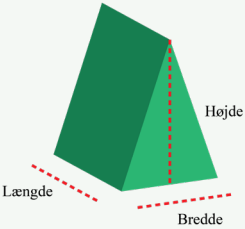
Rumindhold = H * R^2 *22/7

Kegle



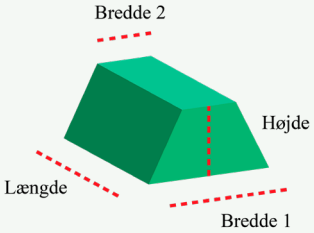
Rumindhold = R^2 *H/3*22/7

Aflang spids stak



Rumindhold = B/2*H*L

Aflang flad stak



Rumindhold = (B1 + B2) /2 *H*L

19.2. Vand, gødning

Tilførsel af næringsstoffer med vandingsvand i kg/ha

Tilførsel i kg/ha = Analyse i mg/l * mm vand/100

1 mm = 1 liter/m^2 = 10 m^3/ha

1 mg/l = 1 ppm

Eksempel på analyse af vandingsvand (mg/l) og tilførte næringsstoffer (kg/ha) fra forsøg på Foulum

	mg/l	Kg/ha ved 30 mm
NO_3-N	12,7	3,8
P	0,07	0
K	2,1	0,6
S	18	5,4
Mg	5,2	1,6

Foto: Henning C. Thomsen

Bortførsel af næringsstoffer ved udvaskning i kg/ha

Samme metode som ved vanding hvis vandet, der forlader rodzonen, er analyseret og mm afstrømning kendes.

Tab ved udvaskning (kg/ha) = Analyse i mg/l * mm afstrømning/100

Omregning fra udenlandsk til dansk af indhold i mineralske gødninger

Udlandet angiver ofte indholdet af næringsstoffer i gødninger som oxider. Indhold af de rene næringsstoffer, som vi normalt anvender i Danmark, fås ved at gange med de viste faktorer.

	Udenlandsk	Omregning
Fosfor (P)	P_2O_5	x 0,44 =P
Kalium (K)	K_2O	x 0,83 =K
Svovl (S)	SO_3	x 0,40 =S
Magnesium (Mg)	MgO	x 0,60 =Mg

19.3. Jord

Standard rumvægte for almindelig behandlet mineraljord
Kan anvendes, når der omregnes fra analyser til mængder.

Pløjelaget: 1,4 g/cm^3 (=1,4 ton/m^3).
Underjord (0,5-1 m jordlag): 1,5 ton/m^3

Til sammenligning blev der i sædskifteforsøget på Flakkebjerg (JB6) målt en rumvægt på 1,7 ton/m^3 i pløjelaget. Jorden var stærkt pakket efter mange års ensidig dyrkning forud for forsøget.

Beregning af kg NMIN pr. ha i jord ud fra analyse (mg/kg tør jord)

Kg nitrat-N/ha = mg nitrat-N/kg jord * rumvægt (ton/m^3) * m dybde *10
Kg ammonium-N/ha = mg ammonium-N/kg jord * rumvægt (ton/m^3) * m dybde *10
Kg NMIN/ha = kg nitrat-N/ha + kg ammonium-N/ha

Omregning mellem organisk stof (humus) og kulstof (C)

C-indhold i jordens organisk stof (humus) udgør omkring **58%.**
C-indhold = 0,58 * humus
Humus = 1,72 * C-indhold

Omregning fra analysens humus% (organisk stof) til ton/ha

Ton humus/ha i 0-25 cm lag = humus% * rumvægt (ton/m^3) * 25
Ton C/ha i 0-25 cm lag = humus% * rumvægt (ton/m^3) * 25 *0,58

Andre standardtal til brug for overslag

C-indhold i tørstof af uomsat plantemateriale: **45%**
C-indholdet i tørstof af husdyrgødninger varierer [2]: Svinegylle: **46%,**
Kvæggylle: **42%**, Kvæg dybstrøelse: **35%**, Biogasgylle: **34%,**
Fast gødning, fjerkræ: **32%**
Det tilbageholdes typisk **12-15%** af kulstoffet som stabiliseret C,
når afgrøderester tilføres jorden.
For husdyrgødning er oplyst, at der tilbageholdes mellem **12** [4] og **30-40%** [5]

19.4. Overslag på C-lagring i jord

C-input fra halm - eksempel

- Årlig tilførsel af halm kan f.eks. være 2,5 ton tørstof/ha.
- Det svarer til 2,5 ton/ha * 45% C= 1,1 ton C/ha/år.
- Ca. 14% af dette C tilbageholdes i jorden i som stabiliseret C.
- Nedmuldning af 2,5 ton halm/ha/år svarer til en forøgelse af stabiliseret C med 1,1 ton/ha * 14% = 0,15 t/ha/år.

C-input fra husdyrgødning - eksempel

- Med 30 ton svinegylle/ha med 3% tørstof, tilføres 0,9 ton tørstof/ha.
- Det svarer til i alt 0,9 ton/ha * 46% C = 0,41 ton C/ha.
- Vi kan antage at 25% af dette ender i jorden som stabiliseret C.
- Tilførslen af gyllen bidrager med 0,41 ton C/ha * 25% = 0,1 ton stabiliseret C/ha.

C-input fra efterafgrøder - eksempel

- Hvis en efterafgrøde producerer 3 ton tørstof/ha i overjordisk biomasse, svarer det til 1,35 ton C/ha ved 45% C i tørstof.
- Hvis 14% ender som stabiliseret C i marken, svarer det til en tilførsel på 0,19 ton C/ha fra den overjordiske del.
- Hertil skal lægges bidrag fra rødderne. I forsøg på Foulum udgjorde dette bidrag mindst 40% af den totale biomasse [3]. Det svarer til mindst 0,13 ton stabiliseret C/ha.
- Samlet bidrag fra efterafgrøden bliver 0,32 ton stabiliseret C/ha.

Hvad skal der til for at hæve C-indholdet i pløjelaget med 0,5% point?

- Udgangspunktet er f.eks. 1,5% C i pløjelaget og ønsket er f.eks. 2,0% C. Det svarer til et ønsket mål på 3,4% organisk stof (humus).
- 0,5% point * volumenvægt på 1,4 (ton/m^3) * 25 (cm) = 17,5 ton ekstra C/ha.
- Med vedvarende kløvergræs, som leverer ca. 1 ton stabiliseret C/ha/år i pløjelaget, vil det tage 17-18 år at nå målet – ALT ANDET LIGE.
- Det er i forvejen vanskeligt som planteavler at fastholde jordens C-indhold, og med normal dyrkningspraksis er det tæt på en umulig opgave at øge indholdet.

20. Links til mere viden

Ud over LandbrugsInfo, fagblade og de lokale landbrugscentres egne faglige platforme, findes der lang række andre danske og udenlandske muligheder for at tilgå viden.

Under denne QR kode finder du links til nedenstående hjemmesider

- Vidensynteser om økologisk produktion fra Internationalt Center for Forskning i Økologisk Jordbrug og Fødevaresystemer (ICROFS)
- Nyhedsbreve fra ICROFS
- Organic Eprints: Et åbent internationalt online-arkiv for forskning i økologisk jordbrug og fødevaresystemer. Organic Eprints har mere end 27.000 publikationer, og antallet stiger stødt.
- Organic Farm Knowledge: Fælles platform produceret i EU projekter og med oversættelse til dansk.
- Publikationer fra National Center for Fødevarer og Jordbrug (DCA), Aarhus Universitet med bl.a. rapporter og svar til myndighederne
- Terranimo®: Beslutningsstøttesystem der kan regne på din mark, dine maskiner og de aktuelle vejrforhold, og med en indgang på dansk.
- Hjemmeside med information og tips om bestøvere.
- VESS spadetesten: En metode til visuel bedømmelse af jordstrukturen [1].
- Også links til relevante hjemmesider fra Norge, Sverige, Tyskland, Holland, Schweiz og Storbritannien.

Masser af mere viden og inspiration ude i verden

Vær obs på, at jordtype og klima har afgørende betydning for hvorvidt en dyrkningsmetode lykkes eller ej. Det er derfor vigtigt at inddrage de to faktorer, når nye muligheder i dyrkningen dukker op.

Frie sider til notater

Referenceliste

→ Se detaljerede referencer på www.GuideØkoPlanteavl.dk

Tema 1. Planlægning

1: Oversigt over landsforsøgene 2008. Økologisk dyrkning, 275-278.
2: Oversigt over landsforsøgene 2011. Økologisk dyrkning, 268-271.
3: Sven Hermansen. 2020. Status på økologisk frøproduktion 2020. LandbrugsInfo.
4: Oversigt over landsforsøgene 2019. Økologisk dyrkning, 253-256.
5: DMI vejrarkiv.

Tema 2. Afgrødeetablering

1: Oversigt over landsforsøgene 2011. Økologisk dyrkning, 276-278.

Tema 3. Det langvarige økologiske sædskifteforsøg

1: Pullens m.fl. 2021. Legacy effects of soil fertility management on cereal dry matter and nitrogen grain yield of organic arable cropping systems. European Journal of Agronomy 122, 126169.
2. Shah m.fl. 2017. Productivity of organic and conventional arable cropping systems in long-term experiments in Denmark. European Journal of Agronomy 90, 12-22.
3: Pers. medd. Jørgen E. Olesen. Udtræk fra databasen fra sædskifteforsøget.
4. Olesen m.fl. 2009. Winter cereal yields as affected by animal manure and green manure in organic arable farming. European Journal of Agronomy 30, 119-128.
5: Askegaard m.fl. 2004. Økologiske sædskifter til produktion af korn. Grøn Viden, Markbrug 298, 1-20.

Tema 4. Efterafgrøder

1: Notaris m.fl. 2019. Manipulating cover crop growth by adjusting sowing time and cereal interrow spacing to enhance residual nitrogen effects. Field Crops Research 234, 15-25.
2: Nordic Field Trial System, 020021718-002. Rødkløver i vinterrug EFTERVIRKNING i vårsæd.
3: Askegaard & Madsen, 2015. Efterafgrøder – valg af art og såtidspunkt. Plantekongres 2015.
4: Wendling m.fl. 2019. Effect of species identity and diversity on biomass production and its stability in cover crop mixtures. Agriculture, Ecosystems and Environment 281, 81-91.
5: Hansen m.fl. 2021. Towards integrated cover crop management: N, P and S release from aboveground and belowground residues. Agriculture, Ecosystems and Environment 313, 107392.
6: Shah m.fl. under Tema 3, reference 2.
7: Doltra & Olesen. 2013. The role of catch crops in the ecological intensification of spring cereals in organic farming under Nordic climate. European Journal of Agronomy 44, 98-108.
8: Askegaard & Eriksen. 2007. Growth of legume and nonlegume catch crops and residual-N effects in spring barley on coarse sand. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 170, 733-780.
9: Thorup-Kristensen m.fl. 2012. Crop yield, root growth, and nutrient dynamics in a conventional and three organic cropping systems with different levels of external inputs and N re-cycling through fertility building crops. European Journal of Agronomy 37, 66-82.
10: Li m.fl. 2014. Effects of contrasting catch crops on nitrogen availability and nitrous oxide emissions in an organic cropping system. Agriculture, Ecosystems and Environment 199, 382-393.
11: Eriksen & Thorup-Kristensen. 2002. The effect of catch crops on sulphate leaching and availability of S in the succeeding crop on sandy loam soil in Denmark. Agriculture, Ecosystems and Environment 90, 247-254.
12: Eriksen m.fl. 2004. Plant-availability of catch crop sulfur following spring incorporation. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 167, 609-615.
13: Kristensen & Thorup-Kristensen. 2004. Root growth and nitrate uptake of three different catch crops in deep soil layers. Soil Science Society of America Journal 68, 529-537.
14: Thorup-Kristensen. 2007. Hvad bestemmer afgrøders roddybde – og hvordan kan vi bruge det til at opnå bedre udnyttelse af kvælstof? Plantekongres 2007.
15: Thorup-Kristensen & Askegaard. 2012. Tidspunkter for nedpløjning af grøngødning. LandbrugsInfo.
16: Thorup-Kristensen m.fl. 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. Advances in Agronomy 79, 227-301.
17: Thorup-Kristensen & Dresbøll. 2010. Incorporation time of nitrogen catch crops influences the N effect for the succeeding crop. Soil Use and Management 26, 27-35.

Tema 5. Kvælstof

1. Pugesgaard m.fl. 2017. Crop residues as drivers for N^2O emissions from sandy loam soil. Agricultural and Forest Meteorology 233, 45-54.
2. Askegaard m.fl. 2011. Nitrate leaching from organic arable crop rotations is mostly determined by autumn field management. Agriculture Ecosystems and Environment 142, 149-160.

3. Askegaard m.fl. 2005. Nitrate leaching from organic arable crop rotations: effects of location, manure and catch crop. Soil Use and Management 21, 181-188.
4. De Notaris m.fl. 2018. Nitrogen leaching: A crop rotation perspective on the effect of N surplus, field management and use of catch crops. Agriculture, Ecosystems and Environment 255, 1-11.
5. Zhao m.fl. 2020. Autumn-based vegetation indices for estimating nitrate leaching during autumn and winter in arable cropping systems. Agriculture, Ecosystems and Environment 290, 106786.
6. De Notaris m.fl. 2021. Cover crop mixtures including legumes can self-regulate to optimize N_2 fixation while reducing nitrate leaching. Agriculture, Ecosystems and Environment 309, 107287.
7. Pers. medd. Jørgen E. Olesen. Udtræk fra databasen for sædskifteforsøget frem til 2020.
8. Mueller & Thorup-Kristensen. 2001. N-fixation of selected green manure plants in an organic crop rotation. Biological Agriculture and Horticulture 18, 245-363.
9. Li m.fl. 2015. Quantifying biological nitrogen fixation of different catch crops, and residual effects of roots and tops on nitrogen uptake in barley using in-situ 15N labelling. Plant and Soil 395, 273-287.
10. Rasmussen m.fl. 2012. N2-fixation and residual effect of four legume species and four companion grass species. European Journal of Agronomy 36, 66-74.
11. Pandey m.fl. 2017. Biological nitrogen fixation in three long-term organic and conventional arable crop rotation experiments in Denmark. European Journal of Agronomy 90, 87-95.
12. Jensen m.fl. 2010. Faba bean in cropping systems. Field Crops Research 115, 203-216.

Tema 6. Fosfor

1: Rubæk m.fl. 2013. Phosphorus accumulation and spatial distribution in agricultural soils in Denmark. Geoderma, 241–250.
2: Rubæk m.fl. 2005. Fosfor i dansk landbrugsjord. Grøn viden, Markbrug 312. Danmarks Jordbrugs-Forskning.
3:Askegaard. 2013. Faktaark om fosfor. Landbrugs-Info.
4: Hansen m.fl. 2020. Mobilisering af jordens fosfor ved hjælp af efterafgrøder. Plantekongres 2020.

Tema 7. Kalium

1: Askegaard m.fl. 2004. Sustainable Management of Potassium. I: Schjønning m.fl. (red). Managing Soil Quality – challenges in modern agriculture. CAB International, UK, kap. 6, 85-102.
2: Askegaard. 2013. Faktaark om kalium (K). Landbrugsinfo.
3: Askegaard m.fl. 2003. Exchangeable potassium and potassium balances in organic crop rotations on a coarse sand. Soil Use and Management 19, 96-103.
4: Askegaard & Eriksen. 2002. Exchangeable potassium in soil as indicator of potassium status in an organic crop rotation on loamy sand. Soil Use and Management 18, 84-90.
5: Askegaard & Eriksen. 2008. Residual effect and leaching of N and K in cropping systems with clover and ryegrass catch crops on a coarse sand. Agriculture, Ecosystem and Environment 123, 99-108.

Tema 8. Svovl

1: Eriksen m.fl. 2002. Sulphate leaching and sulphur balances of an organic cereal crop rotation on three Danish soils. European Journal of Agronomy 17, 1-9.
2: Djurhuus & Olesen. 2000. Characterisation of four sites in Denmark for long-term experiments on crop rotations for organic farming. DIAS report no. 33. Plant production.
3: Eriksen & Askegaard. 2000. Sulphate leaching in an organic crop rotation on sandy soil in Denmark. Agriculture, Ecosystems and Environment 78, 107-114.
4: Ellermann m.fl. 2019: Atmosfærisk deposition 2017. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. Videnskabelig rapport nr. 304.
5: Eriksen m.fl. 1994. Svovl i husdyrgødning - indhold og plantetilgængelighed. Grøn Viden Markbrug, nr. 139.
6: Fontaine m.fl. 2020. Sulfur from biogas desulfurization: Fate of S during storage in manure and after application to plants. Science of The Total Environment 754, 142180.
7. Hermansen & Askegaard. 2020. Får de økologiske vårbygmarker nok at leve af? Rapport. SEGES.
8: Eriksen m.fl. 2001. Redistribution of sulphur during generative growth of barley plants with different sulphur and nitrogen status. Plant and Soil 230, 239-246.

Tema 10. Organiske gødningstyper

1: Sørensen m.fl. 2019. Manure management in organic farming. I: Improving organic crop cultivation, Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK.
2: Produktblad for Øgro 10-3-1. DAKA.
3: Laursen. 2016. Stor undersøgelse af kvalitet og tilgængelighed af have-parkaffald hos alle landets kommuner. LandbrugsInfo.
4: Sørensen m.fl. 2012. Effects of anaerobic digestion of organic manures on N turnover and N utilization. The 17th International Nitrogen Workshop, Ireland. 80-81.

5: Sørensen. 2010. Kvælstofgødningsvirkning af afgasset organisk gødning. Oversigt over Landsforsøgene, 269-270.
6: Sørensen m.fl. 2017. Udnyttelse af næringsstoffer i afgasset biomasse. Plantekongres 2017.
7: Sørensen & Børgesen. 2015. Kvælstofudvaskning og gødningsvirkning ved anvendelse af afgasset biomasse. DCA rapport nr. 65.
8: Johansen m.fl. 2013. Survival of weed seeds and animal parasites as affected by anaerobic digestion at meso- and thermophilic conditions. Waste Management 33, 807-812.
9: Hafner m.fl. 2019. A flexible semi-empirical model for estimating ammonia volatilization from field-applied slurry. I: Atmospheric Environment 199, 474-484.
10: Pers. medd. Peter Sørensen.
11: Sørensen. 2018. Fagligt grundlag til fastsættelse af udnyttelsesprocenter for organiske handelsgødninger. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug
12: Petersen & Sørensen. 2008. Gødningsvirkning af kvælstof i husdyrgødning – Grundlag for fastlæggelse af substitutionskrav. DJF Markbrug nr. 138.
13: Fuchs. 2010. Interactions Between Beneficial and Harmful Microorganisms: From the Composting Process to Compost Application. I: Insam, H. et al. (Red.) Microbes at Work. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, Kap. 11, 213-229.
14: Soraya m.fl. 2016. Disease suppression by compost. Kap. 6. I: van der Wurff, m.fl. (Red.) Handbook for composting and compost use in organic horticulture. BioGreenhouse. https://doi.org/10.18174/375218.
15: Bonanomi m.fl. 2007. Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. Journal of Plant Pathology 89, 311-324.
16: Shah m.fl. 2012. Covered storage reduces losses and improves crop utilisation of nitrogen from solid cattle manure. Nutrient Cycling in Agroecosystems 94, 299–312.
17: Sørensen. 2018. Strategi for mobil grøngødning. Gartner Tidende 8, 31-32.
18: Sørensen m.fl. 2013. Utilization of nitrogen in legume-based mobile green manures stored as compost or silage. I: Løes m.fl. (Red.) Organic farming systems as a driver for change, NJF Report 9, 157-158.
19: Fontaine m.fl. 2020. Nitrogen and Sulfur Availability in Digestates from Anaerobic Co-digestion of Cover Crops, Straw and Cattle Manure. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 20, 621–636.
20: Pers. medd. Henrik B. Møller.

Tema 11. Kalkning

1: Knudsen, 2004. Baggrund for kalkningsvejledning 2004. Planteavlsorientering - 07-521, LandbrugsInfo.
2: Berglund m.fl. 2015. Strukturkalkning – bra för både mark og miljö. Praktiska råd, Greppa Näringen, 23.
3: Hermansen. 2020. Økologiske arealer skal vedligeholdes med kalk og grundgødning. LandbrugsInfo.

Tema 12. Ukrudt

1: Pullens m.fl. under Tema 3, reference 1.
2: Rasmussen m.fl. 2011. Ukrudtsøkologi og -biologi. Ukrudtsøkologi og -biologi. Ukrudtsbogen, 5. udgave, 17-40.
3: Melander, 2011. Beskrivelse af ukrudtsarterne. Ukrudtsbogen, 5. udgave, 41-204.
4: Jensen, 2017. Ingen jordbearbejdning er den bedste strategi mod frøukrudt. Plantekongres 2017.
5: Rasmussen, 1999. Feed the crop and starve the weeds. Proceedings of the 12th International INFOAM Scientific Conference, Argentina.
6. Melander m.fl. 2020. Legacy effects of leguminous green manure crops on the weed seed bank in organic crop rotations. Agriculture, Ecosystems and Environment 302, 107078.
7: Melander m. fl. 2018. Inter-row hoeing for weed control in organic spring cereals – influence of inter-row spacing and nitrogen rate. European Journal of Agronomy 101, 49-56.
8: Melander 2001. Radrensning med og uden ukrudtsharvning i vintersæd om foråret i samspil med forskellige dyrkningsfaktorer. 18. Danske Planteværnskonference.
9: Melander m.fl. 2003. Effects of inter-row hoeing and fertilizer placement on weed growth and yield of winter wheat. Weed Research 43, 428-438.
10: Odderskær m.fl. 2006. Ukrudtsstriglingens effekter på dyr, planter og ressourceforbrug. Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen, nr. 205. Miljøministeriet.
11: Permin. 1982. Produktion af underjordiske udløbere hos alm. kvik ved vækst i konkurrence med byg og andre landbrugsafgrøder. Særtryk af Tidsskrift for Planteavl 86, 65-77.
12: Melander. 1993. Modelling the effects of Elymus repens (L.) Gould competition on yield of cereals, peas and oilseed rape. Weed Research 33, 99-108.
13: Permin. 1972. Virkningen af tør luft på spireevnen hos underjordiske udløbere af alm. kvik. Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur 1067. Ber. 89-102.
14: Melander m.fl. 2013. Combining mechanical rhizome removal and cover crops for Elytrigia repens control in organic barley systems. Weed research 53, 461-469.
15: Rasmussen m.fl. 2014. Elytrigia repens population dynamics under different management schemes in organic cropping systems on coarse sand. European Journal og Agronomy 58, 18-27.

16: Verwijst m.fl. 2018. Assessment of the compensation point of Cirsium arvense and effects of competition, root weight and burial depth on below-ground dry weight – leaf stage trajectories. Weed Research 58, 292–303.
17: Graglia m.fl. 2006. Mechanical and cultural strategies to control Circium arvense in organic arable cropping systems. Weed Research 46, 304-312.
18: Olesen, 2020. Udtræk fra databasen for Det langvarige økologiske sædskifteforsøg.

Tema 13. Blandinger af arter og sorter

1: Hauggaard-Nielsen, m.fl. 2001. Temporal and spatial root distribution and competition for nitrogen in pea-barley intercropping – a field study employing ^{32}P methodology. Plant and Soil 236, 63-74.
2: Hauggaard-Nielsen m.fl. 2008. Grain legume–cereal intercropping: The practical application of diversity, competition, and facilitation in arable and organic cropping systems. Renewable Agriculture and Food Systems 23, 3-12.
3: Bertelsen. 2015. Lupin – sorter og dyrkning. I Oversigt over landsforsøgene 2015, 274-276.
4: Askegaard m.fl. 2011. Performance of spring barley varieties and variety mixtures as affected by manure application and their order in an organic crop rotation. Acta Agriculturae Scand Section B - Soil and Plant Science 61, 421-430.

Tema 14. Jordpakning

1: Schjønning m. fl. 2016. Soil precompression stress, penetration resistance and crop yields in relation to differently-trafficked, temperate-region sandy loam soils. Soil & Tillage Research 163, 298–308.
2: Schjønning & Lamandé. 2020. An introduction to Terranimo®. Unpublished note, Aarhus University, Dept. Agroecology.
3: Schjønning m. fl. 2012. Rules of thumb for minimizing subsoil compaction. Soil Use and Management 28, 378-393.
4: Hefner m. fl. 2019. Controlled traffic farming increased crop yield, root growth, and nitrogen supply at two organic vegetable farms. Soil & Tillage Research 191, 117-130.

Tema 15. Jordløsning

1: Munkholm & Olesen. 2004. Mekanisk jordløsning fjernede pløjesål, men gav varierende effekt på udbyttet. FØJOenyt nr. 6.
2: Munkholm m.fl. 2005. Mitigation of subsoil recompaction by light traffic and on-land ploughing: I. Soil response. Soil & Tillage Research, 149-158.
3: Olesen & Munkholm. 2007. Subsoil loosening eliminated plough pan in a crop rotation for organic farming with mixed effects on crop yield. Soil & Tillage Research 94, 376-385.
4: Abdollahi & Munkholm. 2014. Different System and Cover Crops Effects on Soil Quality: I. Chemical, Mechanical, and Biological Properties. Soil Science Society of America Journal 78, 262-270.
5: Abdollahi m.fl. 2014. The Effect of Different Tillage Systems and Cover Crops on Soil Quality: II. Pore Characteristiscs. Soil Science Society of America Journal 78, 271-279.
6: Pulido-Moncada m. fl. 2020. Residual effects of compaction on the subsoil pore system - a functional perspective. Soil Science Society of America Journal 84, DOI:10.1002/saj2.20061.
7: Pulido-Moncada m. fl. 2020. Impact of potential bio-subsoilers on pore network of a severely compacted subsoil. Geoderma 363, 114154.
8: Pulido-Moncada m. fl. 2021. Effects of bio-subsoilers on subsoil pore-system functionality: Case study with intact soil columns. Geoderma 385, 114897.

Tema 16. Mikro- og makroliv som medspiller

1. Vukicezich m.fl. 2016. Cover crops to increase soil microbial diversity and mitigate decline in perennial agriculture. A review. Agronomy for Sustainable Development, 36: 48.
2. Strandberg m.fl. 2015. Natur og biodiversitet. I: ICROFS (red.), Økologiens bidrag til samfundsgoder. Videnssyntese 2015, 49-106.
3. Leif Petersen 1990. Grundtræk af jordbundslæren. DSR Forlag. Landbohøjskolen.
4. Motendijk. 2020. Nematodes, a world to discover. Præsentation i projektet Best4soil på YouTube.
5. Axelsen m.fl. 2006. High densities of Collembola and mites in organic fields with undersown catch crops (ikke publiseret).
6. Brady & Weil. 2010. Elements of the nature and properties of soils. Pearson.
7. Abdollahi m.fl. 2014.The effects of organic matter application and intensive tillage and traffic on soil structure formation and stability. Soil & Tillage Research 136, 28-37.
8. Petersen m.fl. 2013. Sources of nitrogen for winter wheat in organic cropping systems. Soil Science Society of America Journal 77, 155-165.
9. Chirinda m.fl. 2010. Soil properties, crop production and greenhouse gas emissions from organic and inorganic fertilizer-based arable cropping systems. Agriculture, Ecosystems and Environment 139, 584-594.
10. Gosling m.fl. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. Review. Agriculture, Ecosystems and Environment 113, 17-35.
11. Axelsen & Krogh. 2018. Nyttedyr og biodiversitet i agerlandet. Momentum, JA Tema 4.
12. Krogh. 2016. Regnormenes betydning for jordens egenskaber og for høstudbytter. Plantekongres 2016.

13. Odderskær m.fl. under Tema 12, reference 10.
14. Faktaark i www.Bestøverportalen.dk, Danmarks Biavlerforening.
15. Pers. medd. Lise Hansted.

Tema 17. Drivhusgasser

1. Autret m.fl. 2020. Long-term modelling of crop yield, nitrogen losses and GHG balance in organic cropping systems. Science of The Total Environment. Volume 710, 134597.
2. Petersen & Sørensen. 2014. Klimaeffekten af mobil grøngødning. ICROFS nyt, nr. 1, 6-8.
3. Petersen & Olesen. 2005. Betydning af gødningshåndtering for emission af lattergas. I: Olesen (red.) Drivhusgasser fra jordbruget – reduktionsmuligheder. DJF rapport, Markbrug 113, 41-51.
4. Petersen m.fl. 2003. Redistribution of slurry components as influenced by injection method, soil, and slurry properties. Journal of Environmental Quality 32, 3299-2409.
5. Thomsen m.fl. 2010. Effects of slurry pre-treatment and application technique on short-term N_2O emissions as determined by a new non-linear approach. Agriculture, Ecosystems and Environment 136, 227-235.
6. Chirinda m.fl. under Tema 16, reference 9.
7. Brozyna m.fl. 2013. Effects of grass-clover management and cover crops om nitrogen cycling and nitrous emissions in a stockless organic crop rotation. Agriculture, Ecosystems and Environment 181, 115-126.
8. Pugesgaard m.fl. under Tema 5, reference 1.
9. Mutegi m.fl. 2010. Nitrous oxide emissions and controls as influenced by tillage and crop residue management strategy. Soil Biology & Biochemistry 42, 1701-1711.
10. Petersen m.fl. 2011. Tillage effects on N_2O emissions as influenced by a winter cover crop. Soil Biology & Biochemistry 43, 1509-1517.
11. Olsen & Petersen. 2013. Belaster grøngylle klimaet?
https://okologi.dk/media/236062/belaster-groengylle-klimaet.pdf

Tema 18. Kulstof (C) i jorden

1: Christensen. 2005. Kulstof i dyrket jord – vurdering af potentiale for øget lagring. DJF rapport, Markbrug nr. 113.
2: Taghizadeh-Toosi m.fl. 2014. Changes in carbon stocks of Danish agricultural mineral soils between 1986 and 2009. European Journal of Soil Science 65, 730-740.
3: Christensen m.fl. 2013. Hvad siger markforsøgene og Kvadratnettet om kulstofindholdet? Plantekongres 2013.
4: Schjønning & Munkholm 2004. Organisk stof i jord – hvor meget er nok og hvor lidt er kritisk? Nyhedsbrev fra Forskningscenter for Økologisk Jordbrug, 2004, nr. 2.
5: Powlson m.fl. 2014. Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. Nature Climate Change 4, 678–683.
6: Lars Elsgaard. 2016. Sådan virker biokul på dyrket jord og miljøet. Præsentation ved Plantekongres 2016.
7: Veronica Hansen. 2016. Biokul og jordens frugtbarhed. Præsentation ved Plantekongres 2016.
8: Thomsen m.fl. 2013. Carbon dynamics and retention in soil after anaerobic digestion of dairy cattle Feed and faeces. Soil Biology and Biochemistry 58, 82-87.
9: Hu m.fl. 2018. Soil carbon varies between different organic and conventional management schemes in arable agriculture. European Journal of Agronomy 94, 79-88.
10: Chirinda m.fl. under Tema 16, reference 9.
11: Autret m.fl. under Tema 17, reference 1.
12: Hu m.fl. 2019. Converting temperate long-term arable land into semi-natural grassland: decadal-scale changes in topsoil C, N, 13C and 15N contents. European Journal of Soil Science 70, 350-360.
13: Eriksen m.fl. 2008. Residual effect and nitrate leaching in grass-arable rotations: Effect of grassland proportion, sward type and fertilizer history. Soil Use and Management 24, 373-382.
14. Pers. medd. Johannes Lund Jensen.
15: Pers. medd. Jørgen E. Olesen.

Tema 19. Hjælp til hurtige overslag

1: Håndbog for driftsplanlægning. 2009. 194-195.
2: Knudsen m.fl. 2018. Forbedring af jordens frugtbarhed. LandbrugsInfo.
3: Chirinda m.fl. 2012. Root carbon input in organic and inorganic fertilizer-based systems. Plant and Soil 359, 321-333.
4: Maillard & Angers. 2014. Animal manure application and soil organic carbon stocks: a meta-analysis. Global Change Biology. 20(2), 666-679.
5: Christensen m.fl. under Tema 18, reference 3.

Tema 20. Links til mere viden

1: Ball m.fl. 2007. Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. Soil Use and Management 23, 329-337.

Ecoviden