

DOK-forsøget

45 års sammenlignende undersøgelser af biodynamiske, økologiske og konventionelle dyrkningssystemer





DOK-forsøget har siden 1978 undersøgt forskellene mellem økologisk og konventionelt dyrkede afgrøder. Denne rapport opsummerer de vigtigste resultater fra mere end 40 års forskning på en kortfattet og omfattende måde for interesserede landbrugseksperter, konsulenter og forskere. DOK-forsøget sammenligner biodynamiske (BIODYN), økologiske (BIOORG) og konventionelle (CONFYM) landbrugssystemer. Forsøget simulerer således landbrug, der driver markbrug og husdyrbrug. Det udelukkende mineral gødske, konventionelle CONMIN-system repræsenterer et husdyrfrit dyrkningssystem. I hvert af BIODYN-, BIOORG- og CONFYM-systemerne undersøges to gødningsintensiteter.

Forskningsresultaterne vedrører fem afgrøder i et syvårigt sædskifte, der følger efter hinanden med en tidsforskydning i tre delarealer: vinterhvede, kartofler, kløvergræs, soja og fodermajs. Denne rapport præsenterer resultater vedrørende udbytte, jordkvalitet, næringsstof forsyning, biodiversitet og klima.

Indhold

Forord	3
Banebrydende forskning med praktisk relevans ...	4
Stedet	7
Forsøget	9
Afgrødeudbytter	17
Næringsstoffdynamik	25
Jordkvalitet	31
Biodiversitet	37
Klimaændringer	43
Tak til	45
Publikationer fra DOK-forsøget	46

Læsehjælp

Dette komplekse emne kan ikke præsenteres uden forkortelser og tekniske termer. Læsere kan finde en liste over forkortelser og en ordliste på side 51. Der anvendes forskellige små bogstaver i tabeller og diagrammer for at skelne mellem statistiske termer.

Forord

Inspirerende og pålidelige resultater for den bæredygtige fødevarerikkerhed

Det er sjældent, at videnskabelige eksperimenter er designet til at vare så længe som DOK-forsøget. Denne kontinuitet er særlig værdifuld for undersøgelsen af mange forskningsspørgsmål, da relevansen af nogle resultater først bliver tydelig efter en lang periode. Dette gælder også for eksempel, for langvarige observationer af klimaændringernes virkninger. Kortsigtede resultater er relevante, men de kan ikke fange de langsigtede effekter af eksterne påvirkninger, der udfolder sig over tid. Allerede fra det første år af DOK-forsøget viste der sig forskellige eksterne påvirkninger på grund af de valgte metoder til gennemførelse af forsøget, og de spørgsmål, som forskerne stillede – afhængigt af undersøgelsens genstand og de aktuelle samfundsmæssige problemstillinger – har udviklet sig gennem årene og årtierne.

Jeg har kendt til DOK-forsøget siden dets begyndelse for flere årtier siden, og at det sammenligner kort- og langtidseffekter af forskellige dyrkningssystemer med hensyn til udbytte og udbyttepotentiale samt deres indvirkning på miljøet. Fokus er primært på jordens frugtbarhed, klima, næringsstofstrømme og biodiversitet. DOK-forsøget er et glimrende eksempel på et vellykket samarbejde mellem de schweiziske føderale forskningsinstitutter (nu Agroscope) og FiBL. Som forsker ved ETH Zürich, senere som ansvarlig for politikudvikling ved det føderale landbrugsministerium og i dag i tjeneste for global fødevarerikkerhed og ernæring ved FN's Komité for Verdensfødevarerikkerhed har jeg altid vidst, at resultaterne af DOK-forsøget viser, hvor forskellene mellem biodynamiske, økologiske og konventionelle dyrkningssystemer ligger i forhold til aktuelle forskningsspørgsmål, og hvordan systemerne udvikler sig.

Et nærmere kig på DOK-forsøget rejser også mange spørgsmål om selve forskningsdesignet og udvikling af de enkelte dyrkningsmetoder. Hvilke ændringer sker der? For eksempel er det oprindelige »konventionelle« system blevet til »integreret produktion«. Økologiske systemer ændrer sig også, for eksempel med nye sorter, sædskifte, maskiner og biologisk skadedyrsbekæmpelse. Der opstår in-

teressante spørgsmål, ikke kun set fra et forskningsmæssigt syns punkt, men også set fra et perspektiv om bæredygtig fødevarerikkerhed og praksis. De enkelte kapitler i denne publikation giver svar på mange af disse spørgsmål og skitserer udviklingen af de metodologiske tilgange og de spørgsmål, som forskningen beskæftiger sig med.

Når man overvejer global, bæredygtig fødevarerikkerhed, må man spørge sig selv, i hvilket omfang økologiske dyrkningsmetoder kan bidrage til at opnå den. Har vi brug for mere eller mindre økologisk landbrug, eller bør hele landbrugssektoren skifte til økologi? Det er provokerende spørgsmål, som der ikke er nogen nemme svar på. Det er sikkert, at de meget store mængder af fødevarer efter høsten, madspild (især i husholdningerne) og dyrefoder dyrket på agerjord kan reduceres, hvilket modsiger påstanden om, at der er behov for mere jord, når befolkningen vokser. Med andre ord: knaphed er relativ. Overvejelser om disse spørgsmål er legitime, når man sammenligner de forskellige dyrkningssystemers miljøpåvirkning og de efterfølgende omkostninger, som samfundet skal bære.

En særlig udfordring for FiBL og Agroscope er den langsigtede finansiering af DOK-forsøget. Det er meget vigtigt at understrege de to dynamikker, der nævnes her: langsigtede effekter og dyrkningssystemer. Den vellykkede anskaffelse af talrige tredjepartsmidler til DOK-forsøget fra andre føderale kontorer, det schweiziske nationale forskningsråd og EU viser på imponerende vis, at denne type langsigtet forskning er relevant for både grundforskning og anvendt forskning. DOK-forsøget er således blevet en vigtig national og international forskningsplatform.

Jeg opfordrer jer til at læse denne rapport. Den er stimulerende og imponerende i sin videnskabelige stringens. Derfor er DOK-forsøget også kommet med i den videnskabelige »Hall of Fame«: tidsskriftet *Science*. Må DOK-forsøget fortsat levere imponerende pålidelige resultater og værdifuld vejledning i lang tid fremover.



Formand for bestyrelsen i FiBL stiftelsen
Prof Dr Bernard Lehmann

Banebrydende forskning med praktisk relevans

Spørgsmålet om miljøvenligt og produktivt landbrug har været aktuelt i årtier. Der findes mange forskellige dyrkningssystemer til produktion af fødevarer og dyrefoder rundt om i verden. Hele samfund og generationer diskuterer fordele og ulemper ved økologiske og konventionelle landbrugssystemer.

I Schweiz tog pionerer inden for økologisk landbrug, forskere og politikere allerede i begyndelsen af 1970'erne denne diskussion op og etablerede DOK-forsøget i Therwil i kantonen Baselland i 1978. **DOK** står for bio**D**ynamisk, bio**O**rganisk og konventionel (Konventionell på tysk). Forsøget undersøger de tre dyrkningssystemer med to gødningsintensiteter, der er defineret af husdyrtætheden.

Aktuelle emner som klimaforandringer og klimatilpasning, tab af biodiversitet, verdensbefolkningens vækst og afhængighed af råstoffer, kræver nu mere end nogensinde en videnskabelig undersøgelse, af den måde vi producerer fødevarer og foder på.

DOK-forsøget har sammenlignet landbrugsproduktionsystemer i mere end 45 år og har dermed skabt et videnskabeligt grundlag for den kontroversielle debat om perspektiverne for økologisk landbrug.

Et videnskabeligt grundlag for politiske spørgsmål

Højdepunktet i DOK-forsøget indtil nu var uden tvivl en videnskabelig artikel om jordens frugtbarhed og biodiversitet i økologisk landbrug, der blev offentliggjort i tidsskriftet Science i 2002. Dette gjorde økologisk landbrug til et respekteret emne, da det hurtigt blev anerkendt som mulige løsninger på de store miljøproblemer i landbrugsproduktionen.

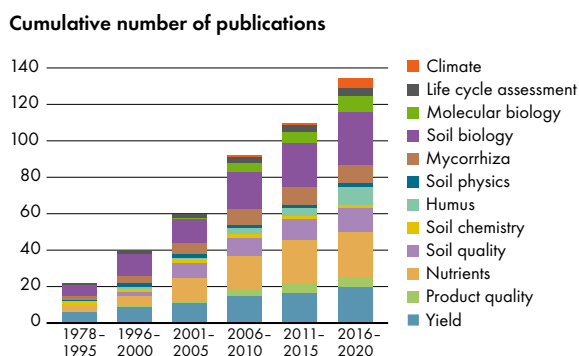
Nuværende forskningsprojekter i DOK-forsøget behandler emner som jordkvalitet, biodiversitet og klima, som alle er yderst relevante set fra et globalt samfundsmæssigt perspektiv og afgørende for vores fremtid.

National og international betydning

I løbet af 40 år er der kommet mere end 120 videnskabelige publikationer, plus doktorafhandlinger og et stort antal studenteropgaver, ud af DOK-forsøget (figur 1).

Utallige besøgende fra lande over hele verden, landmænd, universitetsstuderende, skoleelever og også højtstående forskere fra de bedste universiteter har besøgt forsøget og gennemført forskningsprojekter i forbindelse med det.

Figur 1: Antal publikationer i videnskabelige tidsskrifter



I 2015 inkluderede det schweiziske statssekretariat for uddannelse, forskning og innovation, DOK-forsøget i den »schweiziske køreplan for forskningsinfrastrukturer«, som samler nationale studier af største betydning. DOK-forsøget kom dermed ind i den schweiziske videnskabs hall of fame.

Forsøget er en del af en cirkulær forskningsmetode: åbne spørgsmål fra landbrugspraksis undersøges først i DOK-markerne ved hjælp af avancerede metoder, hvorefter der gennemføres detaljerede drivhus- og praksisrelaterede undersøgelser. De nye resultater integreres derefter i den aktuelle markforskning. Som følge heraf spiller DOK-forsøget ofte en fremtrædende rolle i aktuelle spørgsmål inden for national og international landbrugs- og miljøforskning og markundersøgelser.

At DOK-forsøget har en fast plads inden for banebrydende akademisk forskning, understreges af forskningens kvalitet, og den fortsatte relevans af de emner der undersøges. Her er et par eksempler:

- I alt syv projekter, der var en del af det schweiziske nationale forskningsprogram »Jord som ressource«, brugte DOK-forsøget som testområde. De undersøgte sammenhængen mellem jordens egenskaber og funktioner, og landbrugs produktionen.¹
- I et højt anset EU-projekt om jordkvalitet, undersøgte et internationalt forskerteam dyrkningens indflydelse på jordens økosystemer. DOK-forsøget var en vigtig søjle i forskningsplatformen.²
- I et projekt for det schweiziske nationale forskningsråd (SNSF) undersøger FiBL's jordbunds-forskere, hvordan dyrkningssystemerne i DOK-forsøget påvirker humuskvaliteten og humus omsætningen.³
- Siden 2016 har internationale forskergrupper undersøgt, hvordan dyrkningssystemer påvirker afgrøders og mikrobielle samfunds tolerance over for tørkestress.⁴

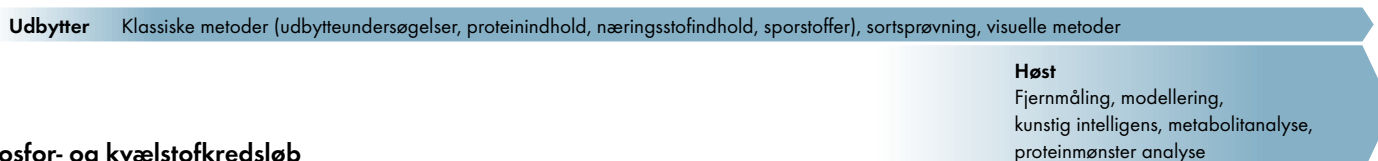
- Et SNSF-projekt om sammenhængen mellem mikrobiel biodiversitet i jord og kvælstofkredsløbet er nu ved at gå ind i sin afsluttende fase.
- Et nyt EU-avlspjekt analyserer de mikrobielle samfund på frø fra dyrkede planter.⁵ I et andet projekt udvikler et forskerteam en ramme for overvågning af jordens frugtbarhed.⁶

Ubesvarede spørgsmål har fået forskerne til at designe yderligere langvarige forsøg om specifikke emner. Disse omfatter et feltforsøg om virkningerne af reduceret jordbearbejdning, gødningsstrategier og biodynamiske præparater. Forsøgsarealerne blev etableret i Frick i 2002. FiBL's systemsammenligninger i Indien, Kenya og Bolivia, som begyndte i 2005, har også deres oprindelse i succeshistorien om DOK-forsøget.

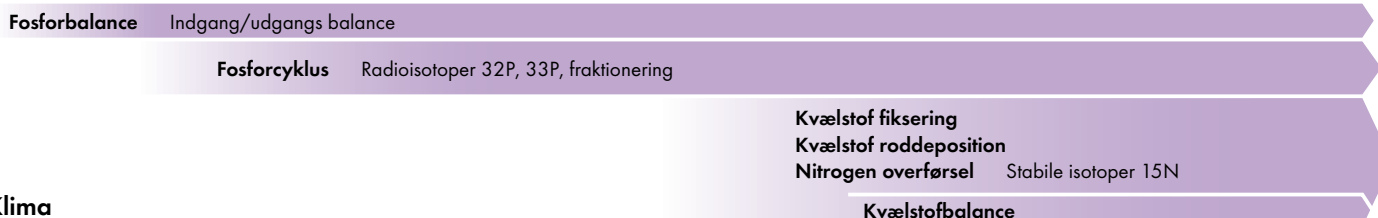
¹NRP 68, ²SQAPER, ³DynaCarb, ⁴BiodivERsA (SOILCLIM, Biofair and Microservices), ⁵Liveseeding, ⁶Benchmarks

Figur 2: Forskningsemner og metoder over tid

Udbyttestabilitet og kvalitet



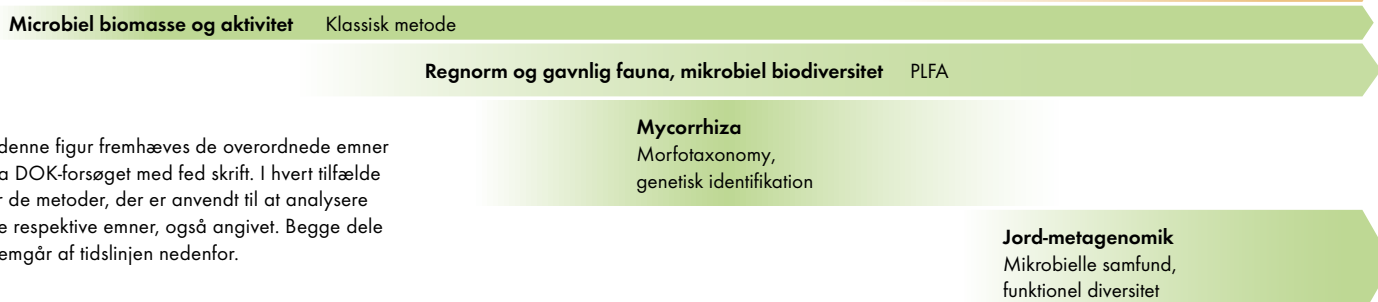
Fosfor- og kvælstofkredsløb



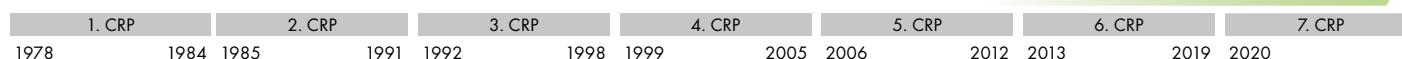
Klima



Biodiversitet og jordbiologi



I denne figur fremhæves de overordnede emner fra DOK-forsøget med fed skrift. I hvert tilfælde er de metoder, der er anvendt til at analysere de respektive emner, også angivet. Begge dele fremgår af tidslinjen nedenfor.



Forskellige betingelser fra starten

Mens de spørgsmål, der behandles i DOK-forsøget, nu er genstand for offentlig debat, var forholdene for pionererne i 1970'erne helt anderledes: mod alle odds kæmpede en lille gruppe økologiske landmænd og deres tilhængere i Schweiz for en videnskabelig undersøgelse af økologisk landbrug.

Som et resultat af deres succesrige fortalervirksomhed blev Forskningsinstitutet for Økologisk Landbrug (FiBL, grundlagt i 1973) sammen med det daværende Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (det schweiziske føderale forskningscenter for landbrugs kemisk og miljøhygiejne) til opgave at sammenligne de tre landbrugssystemer – biodynamisk, økologisk og konventionelt – i et langvarigt forsøg. FiBL er hovedsageligt ansvarlig for de økologiske forsøgsmarker, mens Agroscope, det schweiziske center for landbrugsforskning, er ansvarlig for de konventionelt dyrkede forsøgsmarker.

Forskning kombineret med praksis som opskrift på succes

For at sikre studiets praktiske relevans blev økologiske landmænd involveret allerede i planlægningsfasen og især under gennemførelsen af forsøget. Deres engagement i forsøget, og deres fortsatte interesse for resultaterne, har motiveret forskerne til at yde deres bedste. Ud over de videnskabelige publikationer, var et vigtigt mål at gøre resultaterne tilgængelige for landmænd og andre interesserede parter.

Takket være den omhyggelige dokumentation af dyrkningsforanstaltningerne og de mange analyser, er DOK-forsøget nu et af de bedst dokumenterede landbrugsområder i verden. Forsøget og de indsamlede data, bliver mere værdifulde for hvert år der går, på grund af den lange varighed og konsistensen af de registrerede data.



Forskere og landmænd mødes ved de årlige DOK-feltudflugter (ovenfor i 2012, nedenfor i 2023).

Stedet

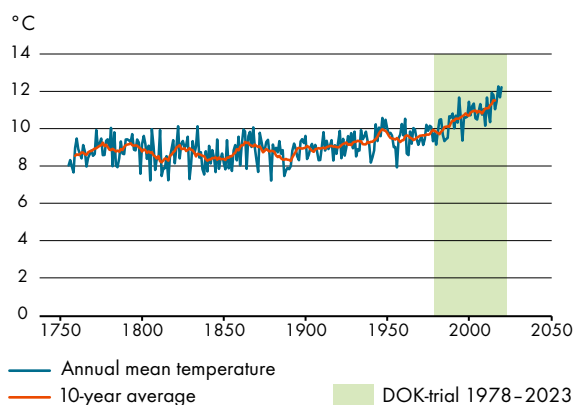


Forsøgsområderne ligger i Leimental, sydvest for Basel i Oberrhein sletten.

Klima

Den øvre Rhin-slette har et gunstigt klima med hensyn til varme og fugtighed. Den gennemsnitlige årstemperatur var 9,7 °C indtil slutningen af forrige århundrede. Gennemsnittet for årene 2010–2020 var 11,2 °C. Den årlige nedbørsmængde er i øjeblikket i gennemsnit 872 mm.

Figur 3: Temperaturændring



Årligt gennemsnit og glidende gennemsnit for lufttemperaturen i Basel området, målt i 1 meters højde. Mellem 1978 og 2010 steg temperaturen med 1,5 °C.

Jorden og geologi

Forsøgsområdet ligger i det sydøstlige hjørne af Oberrhein-sletten og er omgivet af Jura-bjergenes udløbere. Rhinendalens bund er fyldt med tykke lag grus, som i sidste istid blev dækket af fint materiale (løss) fra de glacielle forlandssletter. Dette skabte frugtbar lerjord i lavningerne.

Løssjorden i Leimental er dyb. Der er dannet moderat udviklede brunjorde (»Parabraunerde«), som nogle steder tenderer mod pseudogley jord. Jordbunden er afkalket, men indeholder stadig enkelte klippestykker fra det nærliggende Jurabjerg. Jordbunden er mellem 1 og 1,3 m dyb og er derfor dybt gennemtrængt af rødder.

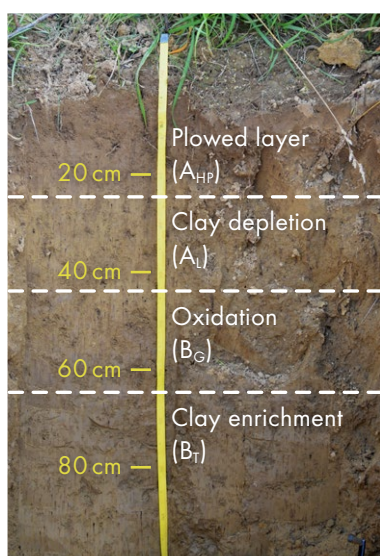
På grund af de regelmæssige oversvømmelser fra den nærliggende flod Birsig blev der i fortiden aflejret sedimenter af forskellig kornstørrelse. Jordbunden på DOK-forsøgsarealerne består af 70 % silt og indeholder kun en lille mængde sand. Leret blev aflejret i små søer, så det er noget uregelmæssigt fordelt.

Tabel 1: Jordtekstur i DOK-dyrkningssystemerne. Gennemsnitsværdier for vægtprocenterne og standardafvigelsen (SD)

System	Ler (%)	SD	Silt (%)	SD	Sand (%)	SD
NOFERT	16.2	2.4	70.7	3.2	11.4	2.3
BIODYN 1	16.8	1.8	69.5	2.2	11.6	1.7
BIOORG 1	14.9	1.7	71.6	2.3	11.7	1.2
CONFYM 1	14.3	1.7	71.7	0.9	12.1	1.2
BIODYN 2	17.1	1.9	69.2	2.1	11.3	2.5
BIOORG 2	15.1	1.5	71.4	2.1	11.4	0.9
CONFYM 2	14.5	1.6	70.9	1.7	12.6	1.5
CONMIN	16.7	2.5	70.0	2.1	11.3	1.2

Det gennemsnitlige lerindhold i DOK-parcellerne er 15,6 % (median 15,3 %), med de laveste værdier på 12,5 %. I otte parceller i det nordvestlige hjørne af forsøget når lerindholdet imidlertid værdier på 20 til 25 %. Denne zone med højt lerindhold er tydeligt afgrænset fra de tilstødende parceller. Der tages højde for lerindholdets indflydelse i statistiske evalueringer, især når det gælder vurderingen af dyrkningssystemets indvirkning på jorden.

Jorden har en lille andel makroporer, hvorfor den varmes langsomt op om foråret. Den har tendens til at blive vandmættet, ses som mørke pletter – kendt som jern- og manganforekomster (pseudogley). Derfor kan jorden kun bearbejdes i korte perioder, og mekanisk hakning om foråret og sommeren er vanskelig. Jorden tillader vand at stige op fra dybere jordlag gennem kapillærtransport, så tørke har ikke været et stort problem.



Jordprofil fra DOK-forsøgsområdet. Her ses horisonterne (jordlagene) i den afkalkede, dybbrune jord.



Jordbunden i CONMIN- (til venstre) og BIODYN 2-dyrkningssystemerne (til højre) efter kraftig regn i november 2002. Tilslemning af silt til jordoverfladen var langt mere udtalt i CONMIN-systemet.

Forsøget

DOK-forsøget sammenligner biodynamiske (**BIODYN**), økologiske (**BIOORG**) og konventionelle (**CONFYM**) landbrugssystemer, der simulerer gårde med markbrug og husdyrbrug.

De to økologiske systemer overholder Bio Suisse og Demeter-retningslinjerne. I overensstemmelse med Demeter-retningslinjerne anvendes mark- og kompostpræparater i BIODYN-systemet, og der tages højde for himmellegemer. Det konventionelle CONFYM-system svarer til nutidens integrerede produktion, med en udlignet næringsstofbalance og plantebeskyttelse, i henhold til økonomiske skædestærskler.

Ud over dyrkningssystemerne med simuleret husdyrbrug, har der siden den anden sædskifteperiode (1985) været et konventionelt system, der udelukkende gødes med mineralsk gødning og repræsenterer husdyrfrit landbrug (**CONMIN**).

I hvert af systemerne BIODYN, BIOORG og CONFYM undersøges to forskellige gødningsintensiteter for hvert dyrkningssystem. Gødningsintensiteten er baseret på to husdyrtætheder: 1,4 gødningsdyrenheder (DE) svarer til den gennemsnitlige husdyrtæthed pr. hektar i Schweiz, mens 0,7 svarer til en lavere husdyrtæthed. Gødning kommer fra gårde, der drives i henhold til det pågældende system. I de konventionelle systemer anvendes mineralsk gødning i overensstemmelse med principperne for gødning af landbrugsafgrøder i Schweiz (GRUD).

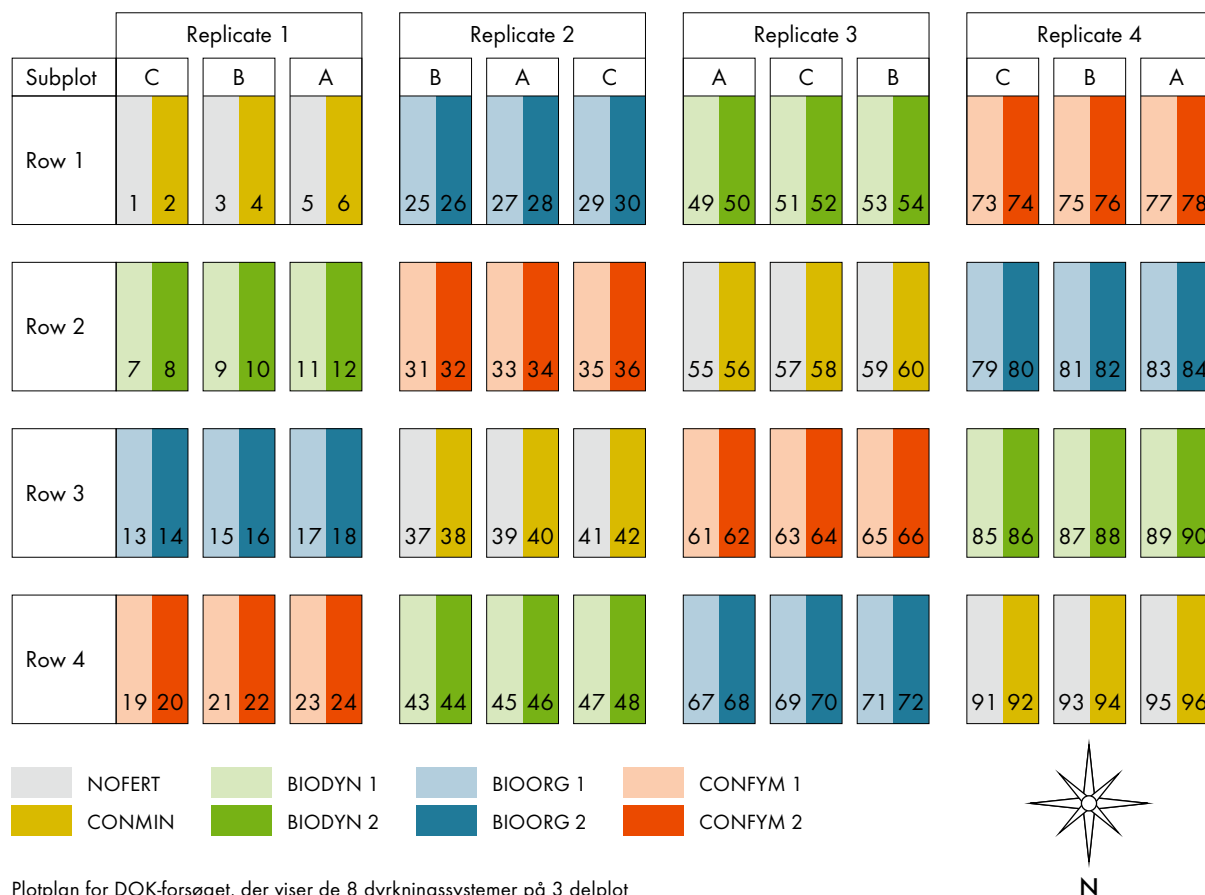
I et kontrolsystem (**NOFERT**) er der ikke blevet brugt gødning siden forsøgets start. Biodynamiske markpræparater 500 og 501 er også blevet brugt her siden begyndelsen af 1978; plantebeskyttelse er i overensstemmelse med de biodynamiske foranstaltninger.



Luffoto af de fire replikater af DOK-forsøget i 2017, hver med tre parceller: Underparcel A vinterhvede 2 med en sektion til sortsforsøg i udkanten af parcellen, underparcel B soja, underparcel C vinterhvede 1. Derudover kan man se regnskur fra SoilClim-projektet på udvalgte parceller.

Forsøgsdesign

Figur 4: Kort over forsøgsparceller



Forsøget består af 96 individuelle parceller, der hver måler 5 × 20 meter. De otte systemer er opstillet i fire gentagelser. Hvert system er repræsenteret i hver række og hver kolonne i et randomiseret blokdesign. På denne måde kan variationen i placeringen udlignes, og tages med i den statistiske beregning.

Derudover dyrkes tre forskellige afgrøder fra det syvårige sædskifte side om side hvert år. Afgrøderne roteres med forskudte intervaller på tre parallelle delarealer (A, B og C), for at udligne vejrrelaterede årlige udsving i udbyttet. På denne måde kan man i hver sædskifteperiode analysere afkastet fra mindst 12 års dyrkning (3 delarealer × 4 gentagelser) for hver afgrøde og hvert system. Den statistiske model til vurdering af jordkvaliteten tager højde for delarealet og lerindholdet i hvert areal, hvilket er en vigtig faktor i variationen mellem lokaliteterne.

Gødning

Husdyrtætheden på typiske blandede schweiziske gårde er 1,4 DE pr. hektar, hvilket svarer til mængden af husdyrgødning på gødningsniveau 2. Halvdelen af gødningsmængden fra 0,7 DE (gødningsniveau 1) blev introduceret som en kontrolvariant for at simulere en gård med færre husdyr. Gylle bruges til at styre den aktuelle landbrugsproduktion, og husdyrgødning bruges som en langsomt frigivende basisgødning.

Mens BIODYN kun modtager husdyrgødning, tilføres BIOORG-parcellerne desuden små mængder mineralsk kali (Patentkali eller Kalimagnesia).

I CONFYM 2-systemet tilføres større mængder mineralsk gødning, indtil de standardgødningsniveauer, der er fastsat i GRUD, er nået. I CONFYM 1-systemet reduceres både mængden af husdyrgødning og mængden af mineralsk gødning til halvdelen.

Siden indførelsen af integreret produktion i 1992 er mineralsk kvælstof i jorden blevet medregnet i beregningen af gødningsmængder i konventionelle systemer. Målet er at tilpasse gødsningen efter plantens behov.

De forskellige systemers fulde gødningsniveauer er ikke næringsstof-lige. Det betyder, at de samlede gødningsmængder og næringsstofferne i gødningen varierer mellem systemerne afhængigt af den typiske landbrugspraksis. Gødsning med husdyrgødning under forsøgsbetingelserne er orienteret mod såkaldte indikatorelementer, som er specificeret i en gødningsplan for hver sædskifteperiode. Fosfor (P) spiller her en afgørende rolle. Hvis en gødningsplan ikke kan følges nøje i et år, kan den korrigeres i det følgende år.

Ændringer under forsøget

I den første og anden sædskifteperiode (CRP), var gødningsmængden 0,6 DE for gødningsniveau 1, og 1,2 DE for gødningsniveau 2. Ved begyndelsen af den tredje sædskifteperiode, blev gødningsmængderne øget til de ovennævnte værdier, på grund af den øgede andel af foderafgrøder i sædskiftet.

I det fjerde sædskifteperiode (CRP) skiftede den økologiske gård til et andet staldsystem, derfor ændredes forholdet mellem gylle og fastgødning sig.

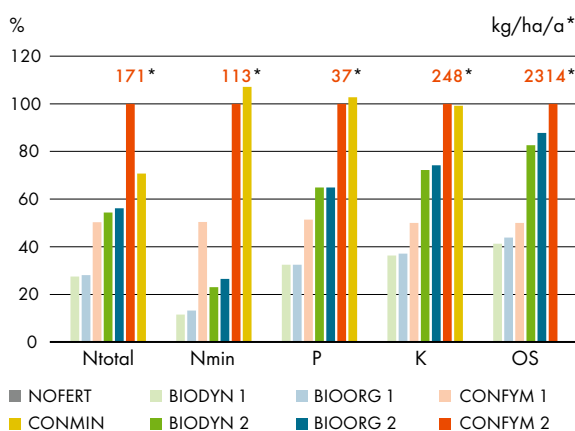
Forskellige former for gødningsbehandling

I BIODYN-, BIOORG- og CONFYM-systemerne opbevares og behandles gødningen forskelligt alt efter det pågældende systems praksis:

- som komposteret gødning i BIODYN
- som delvist omsat gødning i BIOORG
- som uomsat gødning i CONFYM

Tabet af organisk materiale under opbevaring er mindst ved uomsat gødning og stiger fra delvist omsat gødning til komposteret gødning.

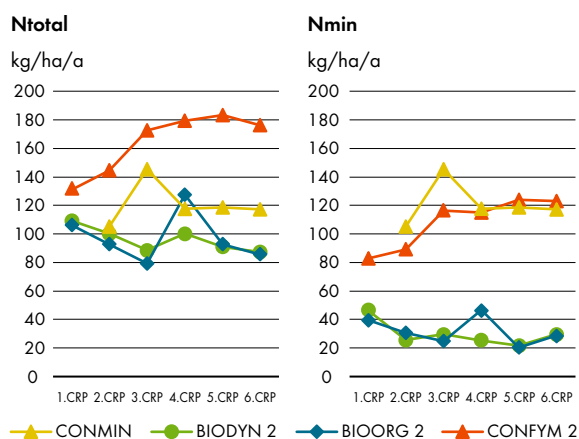
Figur 5: Mængder tilførte næringsstoffer



Anvendte mængder af: total kvælstof (Ntotal), mineralsk kvælstof (Nmin som ammonium og nitrat i husdyrgødning og mineralsk gødning), fosfor og kalium fra organiske og mineralske kilder, samt mængden af organisk stof (OS) anvendt som gødning og gylle. Alle tal er gennemsnitsværdier for sædskifteperioderne 2-6 og i forhold til CONFYM 2-systemet, hvis absolutte mængder er angivet med rødt.

Figur 5 viser tydeligt, at der i de fem sædskifteperioder fra 1985 og frem blev brugt 45 % mindre total nitrogen (N), 75 % mindre mineraliseret kvælstof (Nmin), 35 % mindre fosfor (P) og 27 % mindre kalium (K) i de to økologiske systemer end i CONFYM 2. Mængden af organisk stof tilført med husdyrgødning var 12 % lavere i økologisk (BIOORG) og 17 % lavere i BIODYN end i CONFYM 2. Årsagen til de forskellige værdier var ændringen i gødningen på grund af de forskellige opbevarings- og forarbejdningsmetoder.

Figur 6: Kvælstofgødning



Total kvælstof (Ntotal) og mineralsk kvælstof (Nmin som ammonium og nitrat). De økologiske systemer modtager udelukkende N fra husdyrgødning og gylle – de konventionelle systemer bruger mineralsk gødning for at nå det standardiserede gødningsniveau.

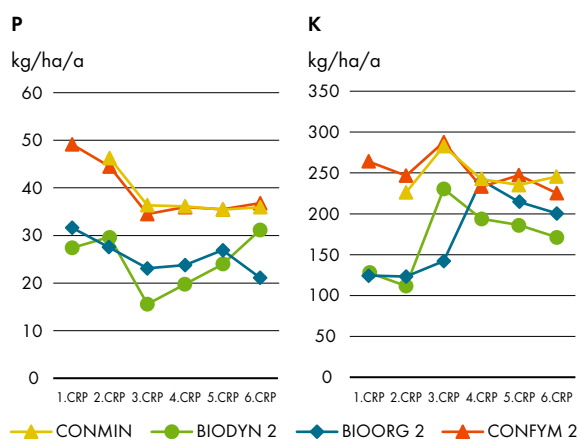
Kvælstoftilførslen i CONFYM-systemet er steget markant (figur 6). Dette skyldes, at der efter den tredje sædskifteperiode (CRP) blev dyrket foderafgrøder (kløvergræs, majs) med stort kvælstofbehov i tre år, og gødningsanbefalingerne blev øget på grund af forventede højere udbytter. Da CONFYM kun tager højde for 60 % af kvælstoffet i gårdens gylle i henhold til GRUD, er den samlede kvælstofgødskning betydeligt højere end i CONMIN, nemlig 171 kg/ha om året.

Det mineralgødskede CONMIN-system bruger i gennemsnit 50 kg mindre kvælstof (N) til gødning. Denne forskel svarer til de uberegnelige mængder N i gårdens gødning, som også kan føre til miljøproblemer på grund af gasformige tab (ammoniak og lattergas) og udvaskning (nitrat).

I de økologiske systemer anvendes der i gennemsnit 95 kg N pr. hektar i gødning, hvoraf kun 30 kg er mineralsk i form af ammoniak og derfor direkte virksomt. Den organisk bundne del af kvælstoffet fra husdyrgødning bliver først til ammonium og nitrat, som planterne kan optage, gennem mineralisering i jorden. Samlet set er N-tilførslen i de økologiske systemer ret stabil.

Fosfor (P) er et plantenæringsstof, hvis globale forekomster er ved at nå dets grænser. P-gødning er derfor dyr. I DOK-forsøget udføres P-gødskning i de konventionelle systemer i henhold til standarden, hvor der tages højde for de opløselige næringsstoffer i jorden. De anvendte mængder blev også justeret, så de var i overensstemmelse med GRUD-revisionerne. Stigningen i BIODYN er for-

Figur 7: Gødskning med fosfor og kali



I BIOORG anvendes også godkendt K-gødning i små mængder ud over husdyrgødning.

modentlig relateret til den øgede anvendelse af P via gylle siden den tredje sædskifteperiode.

Siden begyndelsen af DOK forsøgene har, **kali (K)** været brugt i store mængder til gødning i det konventionelle system, fordi indholdet af opløseligt K i jorden var lavt. I BIOORG tilsættes der noget kaliummagnesium, mens der i BIODYN ikke bruges yderligere kaliumgødning. Stigningen i kali um i tredje sædskifteperiode i de økologiske systemer, kan kun delvist forklares med stigningen i mængden af husdyrgødning. I princippet indeholder gylle mere kalium end fastgødning.

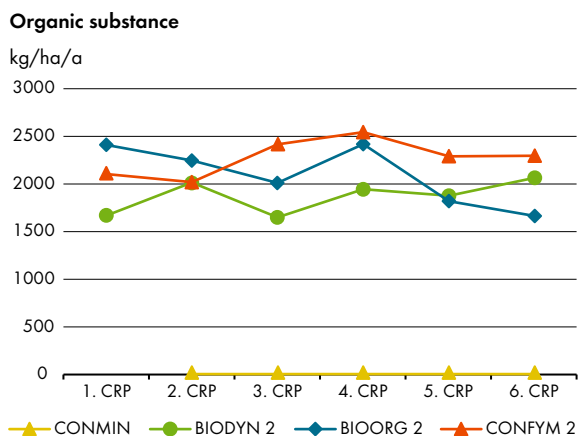


Kommercielle gødningsstoffer og plantebeskyttelsesmidler, der anvendes til vinterhvede i det konventionelle CONMIN-system.



DOK-forsøgsarealer med hvede og regntag til undersøgelse af tørkeindvirkning på jordens biodiversitet.

Figur 8: Tilsætning af organisk materiale



Den husdyrgødning der anvendes er gylle og fast gødning. Bortset fra vand består de hovedsageligt af organiske stoffer og mineraler. Diagrammet viser, hvor meget organisk stof fra gødning fra 1,4 DE husdyr pr. hektar pr. år, ender i jorden.

Tabet af organisk stof i gårdens staldgødning, som følge af de forskellige opbevaringsformer i de tre systemer, afspejles også i de anvendte mængder. Sammenlignet med CONFYM blev der anvendt 12 % mindre organisk stof i BIOORG og 17 % mindre i BIODYN. Især i BIODYN fører kompostering af gylle til tab af organisk stof.

Mængden af flydende gødning var derimod stort set uændret. Det ændrede staldsystem i BIOORG førte til flere organiske stoffer med samme næringsstofmængder i den fjerde sædskifte periode (CRP). I CONFYM begyndte mængderne allerede at stige i det tredje CRP.

Sædskefte

Det syvårige sædskefte med to års jordhvile uden pløjning under kløvergræs er typisk for husdyrbrug i Schweiz. De årlige afgrøder er rod- og knoldafgrøder (kartofler og rødbeder), korn (hvede, byg), majs, kål og soja. Mellemafgrøder bruges enten som grøngødning eller som foder (biomassen høstes) (tabel 2). Sædskeftet er et kompromis mellem de forskellige dyrkningssystemer og blev justeret en smule efter hvert CRP. Kartofler, vinterhvede og kløvergræs blev dyrket i hvert CRP. I den indledende fase af forsøget indgik også byg og hvidkål i sædskeftet. Hvidkål blev snart erstattet af rødbeder i det andet

CRP (1985) på grund af den store arbejdsintensitet, der var forbundet med dyrkningen. I begyndelsen af det tredje CRP (1992) blev der i stedet for byg dyrket et tredje år med midlertidig græsmark (kløvergræs), da det kornorienterede sædskefte førte til rodsygdomme i alle systemer. Majs og soja er blevet dyrket siden 1999, og den midlertidige græsmark blev igen dyrket i to år. Afgrødernes placering blev derefter ændret en smule i hvert CRP indtil 2013. Årsagerne til ændringerne var den optimale udnyttelse af kvælstof i sædskeftet og den systemafhængige forekomst af skadedyr, især smælderlarver i kartofler, når de blev dyrket efter kløvergræsmarken.

Tabel 2: Udvikling af det syvårige sædskefte siden forsøgets start

År	1. CRP 1978–1984	2. CRP 1985–1991	3. CRP 1992–1998	4. CRP 1999–2005	5. CRP 2006–2012	6. CRP 2013–2019
1	Kartofler	Kartofler	Kartofler	Kartofler	Majs ensilage	Majs ensilage
	Grøngødning	Grøngødning	Grøngødning			Grøngødning
2	Vinterhvede 1	Vinterhvede 1	Vinterhvede 1	Vinterhvede 1	Vinterhvede 2	Soja
	Vinterfoder	Vinterfoder	Vinterfoder	Grøngødning	Grøngødning	
3	Hvidkål	Rødbede	Rødbede	Soja	Soja	Vinterhvede 1
				Grøngødning	Grøngødning	Grøngødning
4	Vinterhvede 2	Vinterhvede 2	Vinterhvede 2	Majs ensilage	Kartofler	Kartofler
5	Byg	Byg	Kløvergræs 1	Vinterhvede 2	Vinterhvede 2	Vinterhvede 2
6	Kløvergræs 1	Kløvergræs 1	Kløvergræs 2	Kløvergræs 1	Kløvergræs 1	Kløvergræs 1
7	Kløvergræs 2	Kløvergræs 2	Kløvergræs 3	Kløvergræs 2	Kløvergræs 2	Kløvergræs 2

Vinterfoder høstes, mens grøngødning forbliver på marken og arbejdes ned i jorden.

Plantebeskyttelse

Indtil 1992 blev pesticider generelt anvendt efter en fast sprøjteplan i de konventionelle systemer. Med den tredje sædskifteperiode blev integreret produktion (IP) indført, hvor pesticider kun anvendes, når den økonomiske tolerancegrænse er nået. Anvendelsen af pesticider i de konventionelle systemer var baseret på gældende lovgivning og anbefalinger for anvendelse.

I konventionelle systemer blev der i gennemsnit anvendt 3 kg aktive stoffer pr. hektar agerjord pr. år (figur 9). Svampemidler og ukrudtsmidler udgjorde størstedelen af disse anvendelser. Insekticider blev kun sjældent anvendt og i små mængder. Siden 1980'erne er mængden af anvendte aktive stoffer faldet kraftigt, hvilket også kan tilskrives brugen af meget effektive plantebeskyttelsesmidler (PPM), der kræver lave doser pr. anvendelse. I samme periode er antallet af anvendelser af aktive stoffer fordoblet (figur 10).

De økologiske systemer benytter sig af biologisk skadedyrsbekæmpelse og sygdomsforebyggende foranstaltninger. I BIODYN-systemet anvendes kun det biologisk producerede toksin fra *Bacillus thuringiensis* (BT), en bakterie, som insekticid mod Colorado-billen.

Kartofler

I kartoffeldyrkningen forårsager kartoffelskimmel (*Phytophthora infestans*) og Colorado-billen (*Leptotarsa decemlineata*) betydelige skader. I de konventionelle systemer var det nødvendigt at foretage i gennemsnit 15 behandlinger med herbicider, insekticider og fungicider om året. I BIOORG-systemet blev der anvendt syv insekticidbehandlinger og kobber som fungicid. I det biodynamiske system blev der anvendt fire behandlinger med *Bacillus thuringiensis* (BT).

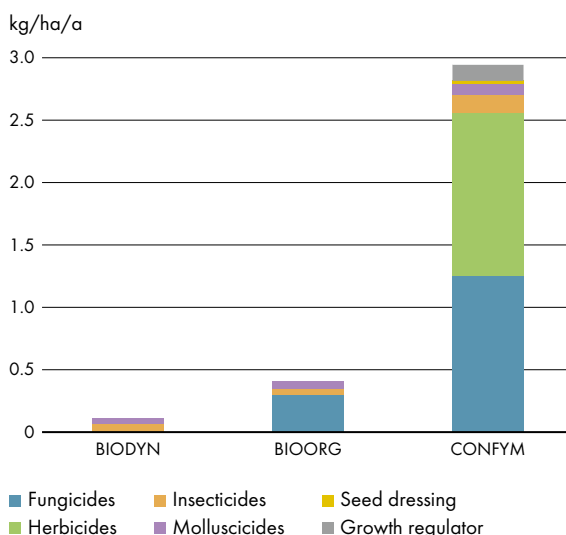
Korn, majs og soja

Konventionelle kornarter behandles tre til fire gange med herbicid, fungicid og en vækstregulator. Majs og soja kræver generelt kun én herbicidbehandling og én behandling mod snegle. Den europæiske majs borer bekæmpes med *Trichogramma*-hveps.

Frø

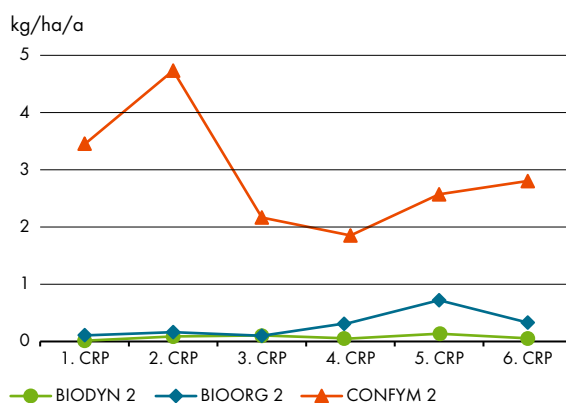
Frø og plantemateriale blev bejset i de konventionelle systemer, men ikke i de økologiske systemer. Siden 1998 er frøene til de økologiske systemer kommet fra økologiske producenter.

Figur 9: Mængder af anvendte aktive stoffer



Gennemsnitlige mængder af aktive stoffer anvendt i alle forsøgsår i kg pr. hektar og år. CONMIN modtog de samme mængder som CONFYM. Det skal bemærkes, at der ikke blev anvendt plantebeskyttelsesmidler i de år, hvor der blev dyrket kløvergræs. Gennemsnitsværdierne omfatter dog også årene med kløvergræs.

Figur 10: Udvikling af anvendte pesticider over tid



Gennemsnitlige mængder af aktive stoffer i alle plantebeskyttelsesmidler, der blev anvendt i en sædskifteperiode i de tre hovedsystemer i DOK-forsøget. Tidsforløb over seks sædskifteperioder. CONMIN modtog de samme mængder som CONFYM. Tal i kg aktive stoffer pr. hektar og år.

Jordbearbejdning

Ploven bruges til jordbearbejdning, inden rodfrugter og korn sås. Ved forsøgets start var pløjedybden i de økologiske systemer lidt mindre, nemlig 15–20 cm, end i de konventionelle systemer, hvor pløjedybden var 20–25 cm. Siden den tredje sædskifteperiode er alle systemer blevet pløjet til en ensartet dybde på 20 cm. I de økologiske systemer anvendes der oftere mekanisk ukrudtsbekæmpelse med hakker og harver, som bearbejder jorden overfladisk. Kartoffler og majs kultiveres også i det konventionelle system.



I alle dyrkningssystemer blev markerne pløjet, før dyrkning af hvede og rodfrugter.

Tabel 3: Karakteristika ved DOK-dyrkningssystemerne

Dyrkningssystem	NOFERT	BIODYN		BIOORG		CONFYM		CONMIN
Dyreenheder per hektar	-	0.7	1.4	0.7	1.4	0.7	1.4	-
Gødning								
Husdyrgødning	-	Komposteret gødning og gylle		Delvist omsat gødning og gylle		Uomsat gødning og gylle		-
Mineralgødning	-	Stenmel		Stenmel Kalimagnesium		Urea, ammoniumnitrat, calciumammoniumnitrat, triple superphosfat, kaliumklorid		
Plantebeskyttelse								
Ukrudtbekæmpelse	Mekanisk med harve og hakke					Mekanisk og med herbicider		
Plante sygdomme	-	Indirekte tiltag		Indirekte tiltag, kobbersulfat til kartofler		Fungicider		
Skadedyr	Biologisk kontrol (<i>Bacillus thuringiensis</i>), plante udtræk, forebyggende foranstaltninger					Insekticider, biologisk bekæmpelse, sneglekorn og forebyggende foranstaltninger		
Special tiltag	Biodynamiske præparater			-		Vækstregulatorer		

Afgrødeudbytter

Graferne og tabellerne i det følgende kapitel viser det gennemsnitlige udbytte for en sædskifteperiode med tre gange høst og fire markgentagelser (n = 12).

Det skal bemærkes, at de angivne udbytter er absolut tørstof (100 % DM). I landbrugspraksis angives udbytterne ofte med et vandindhold: f.eks. hvede, 86 % DM og 14 % vand; for soja, 89 % DM og 11 % vand. Det betyder, at de her angivne hvedeudbytter skal ganges med en faktor på 1,16 for at være sammenlignelige med de udbytter, der anvendes i praksis. For soja gælder faktoren 1,12. For kløvergræs angives tørstofudbytterne også i praksis, som det normalt er tilfældet for fodermajs. For kartofler anvendes udbytterne af friskvægt til markedsfø-ringsformål.

Vinterhvede

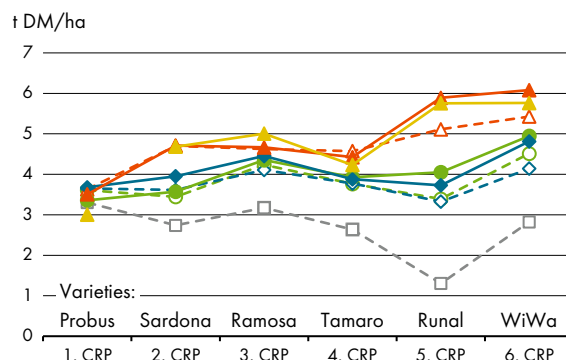
Udbytter i korn

Der er gennem hele forsøget dyrket almindelige hvedesorter med meget gode bageegenskaber. I det første CRP opnåede alle systemer lignende udbytter og nød sandsynligvis godt af de tidligere dyrknings-metoder. I de konventionelle systemer forekom der lejesæd, hvilket var årsagen til, at den langstræede sort Probus ikke var i stand til at om-danne den tilførte kvælstof til høje udbytter. Kun i det første CRP forblev CONMIN-parcellerne ugød-skede og viste derfor usædvanligt lave udbytter. De gennemsnitlige vinterhvedeudbytter fra 1985 til 2019 i de økologiske systemer har været 21 % lave-re end i CONFYM. I det følgende diskuteres kun udbytteforskellene fra den anden sædskifteperiode og frem.

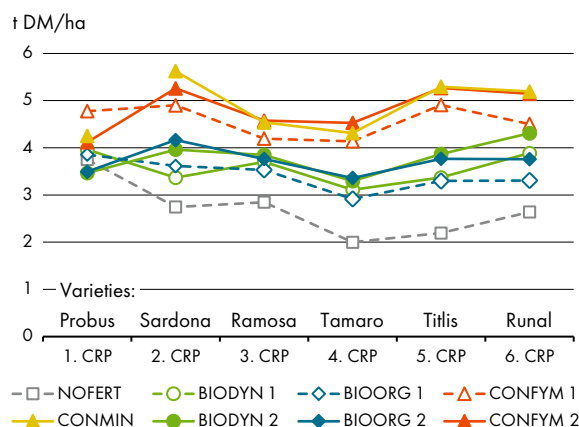
I bedste fald nåede det konventionelle kornud-bytte op på seks ton tørstof pr. hektar. Dette svarer til det typiske udbytte i denne region af Baselland.

Figur 11: Uvikling af kornudbyttet for vinterhvede 1 og vinterhvede 2

Winter wheat 1 yield



Winter wheat 2 yield



Tabel 4: Gennemsnitligt udbytte af vinterhvede 1 og 2 (1985–2019)

	0.7 DE				1.4 DE			
	NOFERT	BIODYN 1	BIOORG 1	CONFYM 1	BIODYN 2	BIOORG 2	CONFYM 2	CONMIN
t DM/ha	2.51	3.68	3.56	4.71	4.01	3.96	5.05	5.04
0.7/1.4		92 %	90 %	93 %	100 %	100 %	100 %	
BIO/CON		77 %		100 %	79 %		100 %	

De to økologiske systemer og de to konventionelle systemer adskiller sig kun lidt i deres udbytteudvikling (figur 11). Dyrkningen af moderne sorter har øget udbyttet i alle dyrkningssystemer. I de sidste to sædskifteperioder var udbyttet højere i det biodynamiske system end i det økologiske. Dette kan hænge sammen med dyrkningen af sorten Wiwa, som er avlet biodynamisk, samt med den lidt bedre jordstruktur og højere biologiske aktivitet i BIODYN sammenlignet med BIOORG. N-min-indholdet i BIODYN er også altid lidt højere end i BIOORG om foråret. Det er også interessant at bemærke, at det ugødskede NOFERT-system stadig producerer omkring to ton korn pr. hektar.

Vinterhvede 1 har en mere gunstig position i sædskiftet end vinterhvede 2. I de første fire sædskifteperioder nød den godt af den gunstige forfrugteffekt af kartofler, med eller uden grøngødning. Den tidsmæssige nærhed til kløvergræs havde sandsynligvis også en positiv indflydelse på udbyttet af hvede 1.

I gennemsnit havde vinterhvede 1 i de to økologiske systemer 18 % mindre kornudbytte, end de to konventionelle systemer, og vinterhvede 2 havde 23 % mindre. Denne lille forskel kan hænge sammen med deres placering i sædskiftet. Siden det sjette CRP er ovennævnte sort (Wiwa) blevet brugt til vinterhvede 1. Den konventionelle sort Runal blev brugt til vinterhvede 2. Indtil 2015 blev de samme hvedesorter dyrket i begge positioner i sædskiftet.

Ved reducerede gødningsniveauer er udbyttet i gennemsnit 8 % lavere end ved anvendelse af typiske gødningsmetoder. I denne sammenhæng er det bemærkelsesværdigt, at der trods den reducerede gødningsmængde opnås et højere udbytte i det konventionelle CONFYM 1-system end i de økologiske systemer, der anvender typiske gødningsmetoder.



Høst af kanten i en vinterhvede-mark. Kun det centrale område af marken bruges til at bestemme det nøjagtige udbytte.

Dette resultat skyldes sandsynligvis også den mere effektive kemiske plantebeskyttelse og de direkte plantetilgængelige N-gødninger i de konventionelle systemer. Med reduceret gødsning falder humusindholdet og dermed også kvælstofreserverne i jorden (se kapitlet »Næringsdynamik«).

Halmudbytte

Halmudbyttet er også vigtigt for husdyrbrug, da halm bruges til strøelse og finder vej tilbage til marken via gødning. Selvom vækstregulatorer (CCC eller Moddus) bruges i konventionelle systemer, er halmudbyttet i økologiske systemer 8 % til 10 % lavere end i konventionelle systemer. Udbytte reduktionen for halm er lavere end for korn.

Tabel 5: Gennemsnitsværdier for halmudbytte i vinterhvede (1985–2019)

		0.7 DE			1.4 DE			
	NOFERT	BIODYN 1	BIOORG 1	CONFYM 1	BIODYN 2	BIOORG 2	CONFYM 2	CONMIN
† DM/ha	4.14	6.17	5.82	6.69	7.20	6.86	8.02	7.55
0.7/1.4		86 %	85 %	83 %	100 %	100 %	100 %	
BIO/CON		92 %		100 %	90 %		100 %	

Udbytte-afgørende faktorer

I vinterhvede var de afgørende faktorer for udbyttet betydeligt bedre i de konventionelle systemer end i de økologiske systemer: Antallet af aks-bærende strå pr. m² var betydeligt højere i CONFYM 2 med 571 strå end i BIOORG 2 med 383 strå. Tusindkorns vægten var 42 g i CONMIN sammenlignet med 39 g i BIOORG 2.

Produktkvalitet

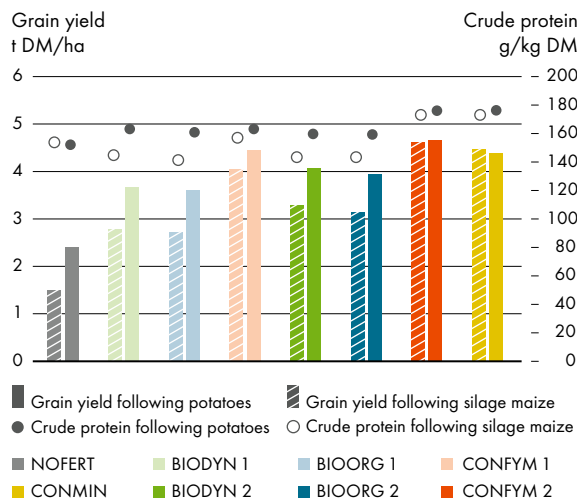
Parametre som indholdet af mineraler, kulhydrater, proteiner og fedtsyrer er vigtige egenskaber for hvedens ernæringsmæssige kvalitet. Derudover har kvalitetskarakteristika, for eksempel dem, der påvirker bagekvaliteten, høj prioritet. DOK-forsøget undersøgte, om og hvordan dyrkningssystemer påvirker kvalitetskriterierne.

Råproteinindholdet i konventionel hvede var signifikant højere (figur 12). Interessant nok medførte forskellen mellem gødningsniveau 1 og 2 i det økologiske system ikke nogen signifikant forbedring af råproteinindholdet.

Derimod havde kartofler som forfrugt afgrøde (sammenlignet med fodermajs som forfrugt afgrøde) en signifikant større indvirkning på kornudbyttet og råproteinindholdet i de økologiske systemer. Derimod var indvirkningen af den forudgående afgrøde ikke påviselig i de konventionelle systemer. Hveden blev forsynet med N, mere jævnt under hele udviklingen af det økologiske system, når kartofler (i stedet for majs) var den foregående afgrøde, hvilket også påvirkede råproteinindholdet. I CONFYM 1-systemet med reduceret gødsning blev der målt signifikant højere kornudbytter og råproteinindhold end i de økologiske systemer, der anvendte typiske gødningsmetoder (BIOORG 2, BIODYN 2).

Der blev ikke fundet nogen signifikante systemrelaterede indflydelse i forhold til mikronæringsstoffer, aminosyreindhold og bagekvalitetssegenskaber. Det samme gælder for metaboliske parametre såsom sukkerkoncentrationer. Antioxidantpotentialet var heller ikke forskelligt mellem systemerne.

Figur 12: Vinterhvedeudbytte og råproteinindhold



Vinterhvedeudbytte i DOK-dyrkningssystemer for delparceller med enten majs eller kartofler som forudgående afgrøder. Dataene viser gennemsnitsværdier for årene 2003 og 2010.



De forskellige dyrkningssystemer har ingen indflydelse på mængden af hvedens kvalitetsegenskaber.

Mykotoksin

Mykotoksiner spiller en vigtig rolle for hvedens produktkvalitet. Det drejer sig om trichothecener, som dannes, når kornet inficeres med *Fusarium*-svampe, og som kan være skadelige for menneskers og dyrs sundhed, selv i lave koncentrationer. Af de mykotoksiner, der analyseres, blev kun deoxynivalenol (DON) og nivalenol (NIV) påvist i lave niveauer i alle dyrkningssystemer. DON er mest udbredt og er omkring ti gange mindre giftigt end NIV.

Kartofler

Der blev plantet forspirede læggekartofler, og i konventionelle systemer blev de normalt behandlet mod svamp. Siden 2006 er kartoflerne blevet dyrket efter soja eller vinterhvede, i stedet for efter kløvergræs, og siden da har de vist en positiv udbytte tendens i alle systemer.

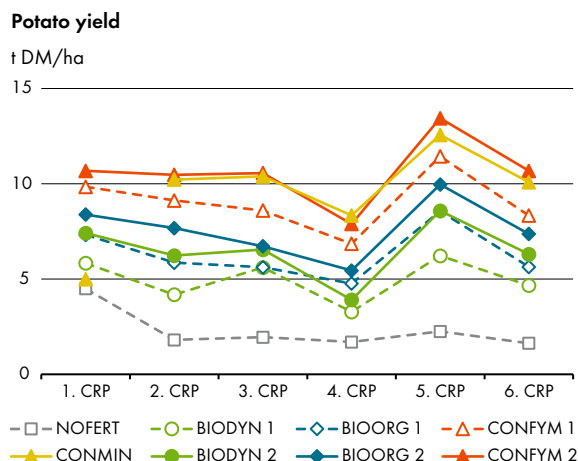
Knoldudbyttet for BIOORG 2 var i gennemsnit 35 % lavere end for CONFYM 2. Udbyttet for BIODYN 2 var endda 42 % lavere end for CONFYM 2. Kartoflerne i de økologiske systemer viser ofte mangel på kalium og nitrogen. Vækstperioden for kartoflerne i BIODYN er også forkortet, da der ikke er godkendt fungicider i dette system, så de planter, der angribes af kartoffelskimmel (*Phytophthora infestans*), dør tidligt. For at beskytte knoldene skæres topvæksten normalt af relativt tidligt. De forebyggende behandlinger med kobberholdige produkter (kobberhydroxid, kobberoxysulfat, kobbersulfat) giver planten en lidt længere vækstfase i BIOORG end i BIODYN, hvor kobber ikke er tilladt. I dag er



Hyppede kartofler i DOK forsøget.

den tilladte mængde kobber i kartoffeldyrkning i Schweiz 4 kg pr. hektar, hvilket er betydeligt lavere end de tidligere mængder. Kobber i jorden udgør en permanent potentiel belastning for mikroorganismer og bløddyr, og derfor søges der efter alternativer.

Figur 13: Udvikling kartoffeludbytte



I CONFYM 2-systemet tilføres 37 % af gødningsmængden fra hele CRP til kartofler, mens kun 25 % tilføres i BIOORG 2. Planternes kvælstofbehov falder næppe sammen med det mineraliserede kvælstof fra gødningen, hvilket resulterer i mangel i vækstfaser med stort behov. De konventionelle systemer med mineralsk gødning giver således bedre næring.

I tilfælde af kartofler er det særligt effektive CONFYM 1-system med reduceret gødning og 15 sprøjtninger med pesticider værd at fremhæve, da udbyttet også er højere end i de økologiske systemer, hvor der blev anvendt typiske gødningsmetoder.

I det tredje CRP blev kobber ikke anvendt i BIOORG, så udbyttet her er på samme niveau som i BIODYN. I de øvrige CRP'er er udbyttet i BIOORG for det meste højere end i BIODYN. Dette understreger vigtigheden af plantebeskyttelse i denne meget følsomme afgrøde.

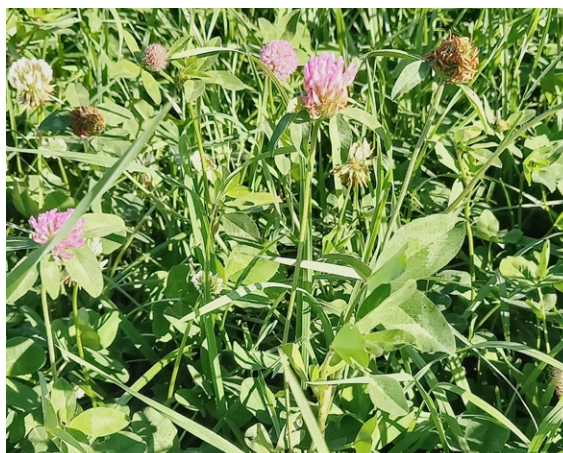
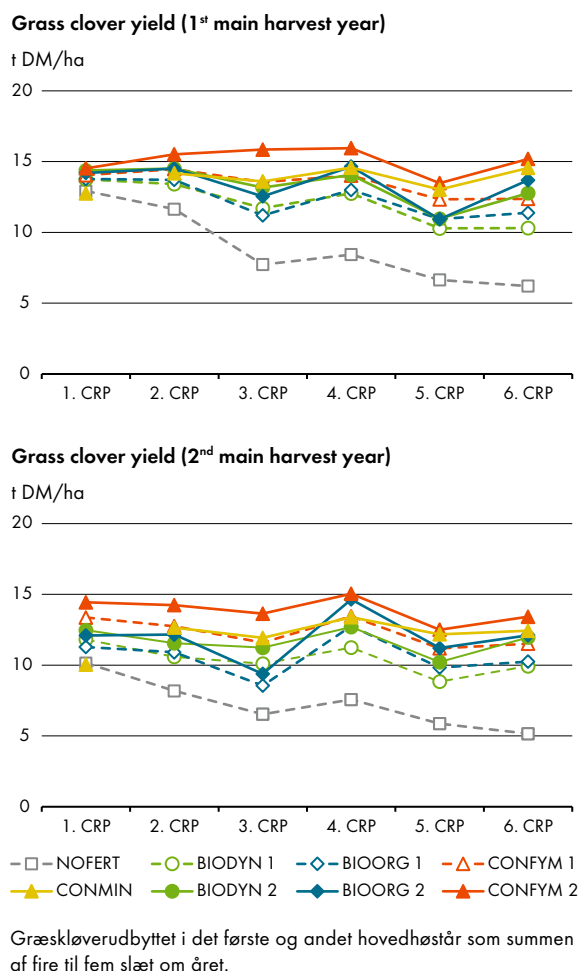
Tabel 6: Gennemsnitlig udbytte i kartofler over 15 år (1985–2019)

		0.7 DE			1.4 DE			
	NOFERT	BIODYN 1	BIOORG 1	CONFYM 1	BIODYN 2	BIOORG 2	CONFYM 2	CONMIN
t DM/ha	1.87	4.79	6.09	8.87	6.32	7.44	10.61	10.32
0.7/1.4		76 %	82 %	84 %	100 %	100 %	100 %	
BIO/KON		61 %		100 %	66 %		100 %	

Kløvergræs

De her viste tørstofudbytter for kløvergræs er resultatet af de respektive totaler for op til fem slæt om året for de to vigtigste høstår (figur 14). Tidlig slåning i så-året eller i begyndelsen af året er ikke regnet med. Kløvergræs sås i september og pløjes først igen det tredje forår derefter, så jorden ikke pløjes i to et halvt år.

Figur 14: Udbytteudvikling i kløvergræs



To år gamle kløvergræs-blandinger udgør rygraden i det syvårige sædskifte i DOK-forsøget. Græsserne dominerer allerede de konventionelle kløvergræs i det andet år, mens kløveren normalt forbliver længere i de økologiske systemer.

Forskellen i udbytte mellem de økologiske og konventionelle systemer i det første høstår ved samme gødningsniveau er relativt lav, nemlig 10 til 11 %. CONFYM 2 havde det højeste gennemsnitlige udbytte. De to økologiske systemer med reduceret gødning havde 19 % mindre udbytte, og det ugødede system havde 40 % mindre udbytte end CONFYM 2 (tabel 7).

I det andet høstår var udbyttet i gennemsnit 12 % lavere end i det første år for alle systemer. De relativt små udbytteforskelle mellem økologiske og konventionelle dyrkningssystemer kan forklares med kløveren i blandingen, som fanger mere kvælstof fra luften via rhizobia-bakterier i de økologiske systemer. Kløvergræsens lange vækstperiode, og disse blandingers intensive rodnet i jorden spiller også en rolle. Kløverens fikseringsevne i blandingen var 178 til 300 kg N pr. hektar per år. Derudover var kløvergræssets rødder godt koloniseret med mykorrhiza-svampe, som hjælper med at absorbere næringsstoffer.

Tabel 7: Gennemsnitsværdi for kløverudbytte over 30 udbytteår, pr. system

		0.7 DE			1.4 DE			
	NOFERT	BIODYN 1	BIOORG 1	CONFYM 1	BIODYN 2	BIOORG 2	CONFYM 2	CONMIN
† DM/ha	7.40	10.92	11.25	12.72	12.31	12.58	14.48	13.25
0.7/1.4		89 %	89 %	88 %	100 %	100 %	100 %	
BIO/CON		87 %		100 %	90 %		100 %	

Fodermajs

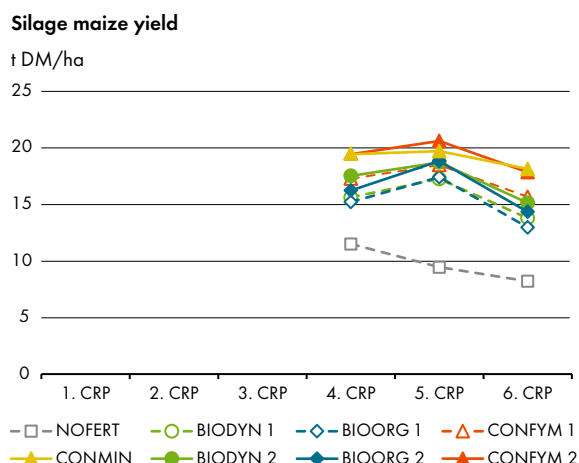
Majs blev introduceret i den fjerde sædskifteperiode i DOK-forsøget, fordi det spillede en stadig vigtigere rolle i landbrugspraksis som kilde til grovfoder til kvæg.

Med op til 20 ton tørstof pr. hektar er majs udbyttet klart bedre end udbyttet af græsmarken (figur 15), selv om majs er mindre alsidigt som foderstof.

Når der blev gødet efter almindelig praksis, var majsudbyttet i de økologiske systemer 11 og 15 % lavere end i CONFYM 2. Med reduceret gødning var udbyttet stadig 10 % lavere end i CONFYM 1. Der voksede kun halvt så meget majs på de ugødede parceller i NOFERT. Det lave udbyttefald for majs i de økologiske systemer sammenlignet med de konventionelle systemer kan forklares med, at majs har en lang vækstperiode og kan optage det mineraliserede kvælstof fra jordlagrene og husdyrgødning en indtil efteråret. Indtil videre har forekomsten

af sygdomme og skadedyr i majs også været lav. I alle systemer bekæmpes den europæiske majsborer med *Trichogramma*-hveps.

Figur 15: Udvikling i udbyttet af fodermajs



Tabel 8: Gennemsnitligt udbytte af fodermajs over 9 udbytteår, pr. system

		0.7 DE				1.4 DE			
	NOFERT	BIODYN 1	BIOORG 1	CONFYM 1	BIODYN 2	BIOORG 2	CONFYM 2	CONMIN	
t DM/ha	9.74	15.57	15.21	17.15	17.14	16.48	19.31	19.12	
0.7/1.4		91 %	92 %	89 %	100 %	100 %	100 %		
BIO/KON		90 %		100 %	87 %		100 %		



Fodermajs på forsøgsmarkerne høstes i sensommeren.

Soja

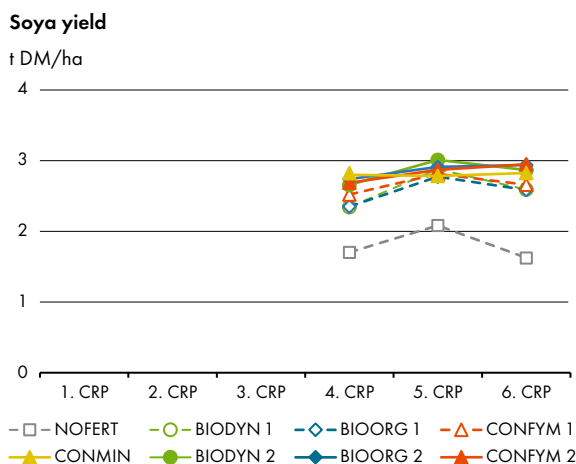
Ligesom majs blev soja introduceret i den fjerde sædskifteperiode. Avlsfremskridt gjorde det muligt at dyrke kuldetolerante sorter i mere nordlige klimaer. Derudover er soja efterspurgt som produkt til konsum og dyrefoder. Takket være sin symbiose med *Bradyrhizobium japonicum* er soja stort set selvforsynende med kvælstof, hvilket gør den velegnet til økologisk sædskifte. Bakterien skal tilsættes ved såning, da den ikke forekommer naturligt i schweizisk jord. Kvælstoftilførslen er derfor ikke en begrænsende faktor for soja, som det er tilfældet for de andre afgrøder i sædskiftet. Derudover er presset på soja fra skadedyr og sygdomme stadig lavt.

Begunstiget af disse faktorer opnår soja det samme udbytte i både økologiske og konventionelle systemer (figur 16). Der blev ikke anvendt kvælstofgødning i nogen af systemerne. Alle dyrkningssystemer, der anvender typiske gødningsmetoder, har sammenlignelige udbytter, mens CONFYM 1-systemet med reduceret gødning opnår lidt bedre udbytter end de to økologiske systemer på gødningsniveau 1 (tabel 9). Dette er en indikation af, at fosfor og kalium er vækstbegrænsende elementer ved reduceret gødning. En god P-forsyning er afgørende for optimal biologisk N-fiksering.



Sojaplante i blomst.

Figur 16: Udvikling af kornudbyttet for soja



Tabel 9: Gennemsnitlig værdi af sojaudbyttet over 9 udbytteår, pr. system

		0.7 DE			1.4 DE			
	NOFERT	BIODYN 1	BIOORG 1	CONFYM 1	BIODYN 2	BIOORG 2	CONFYM 2	CONMIN
t DM/ha	1.80	2.61	2.57	2.67	2.85	2.86	2.84	2.81
0.7/1.4		92 %	90 %	94 %	100 %	100 %	100 %	
BIO/KON		97 %		100 %	101 %		100 %	

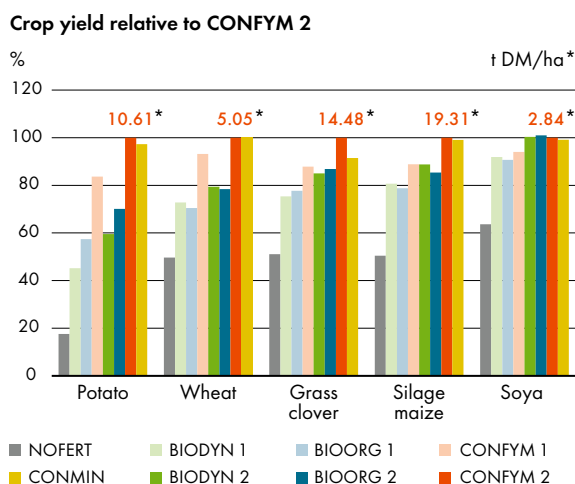


Hvert år dyrkes der tre afgrøder i DOK-forsøget. I 2023 var det majs, kartofler og soja.

Sammenligning af afgrøder

Sammenligningen af udbytter i figur 17 viser tydeligt afgrødernes forskellige følsomhed over for dyrkningssystemet. I modsætning til kartofler synes soja at være forholdsvis upåvirket af økologiske eller ikke-økologiske systemer. Ud over at være begrænset af kvælstof og kalium spiller sygdomme og skadedyr en væsentlig rolle for udbyttet af kartofler, mens soja, som er en ny introduceret afgrøde i vores klima, stort set ikke har nogen problemer med dette. Selv med bælgrugter viser de lavere udbytter med det reducerede gødningsniveau, at med 0,7 DE/ha i økologiske systemer er P- og K-forsyningen knap, selv i frugtbar jord, da der kun anvendes få eller ingen supplerende gødningsstoffer. På lang sigt må økologiske systemer enten forblive afhængige af tilladte mineralske eller økologiske handelsgødningsstoffer, eller anvende genanvendte gødningsstoffer, såsom grøn kompost, eller fast eller flydende gødning.

Figur 17: Gennemsnitligt udbytte af alle hoved afgrøder



Gennemsnitligt udbytte sammenlignet med CONFYM 2-systemet fra det andet til det sjette CRP; majs og soja kun fra det fjerde til det sjette.

Kort: afgrødeudbytte

Sammenlignet med konventionelle systemer opnåede de økologiske systemer lavere udbytter med mindre brug af næringsstoffer og pesticider. Soja er en undtagelse, da den ikke er afhængig af kvælstof fra jorden, så sojaudbyttet var lige højt i begge systemer. Kløvergræs viste kun en lille reduktion i udbyttet i de økologiske systemer, mens kartofler viste en betydelig reduktion. Det er interessant at bemærke, at udbyttet var højere i det konventionelle CONFYM-system end i de økologiske systemer, der anvender typiske gødningsmetoder, selvom gødningsintensiteten var halvt så stor. Dette er en indikation på, at plantebeskyttelse og letopløselige næringsstoffer har indflydelse på udbyttet, især i tilfælde af kartofler og hvede. Forfrugt, grøngødning og avlsformål, der er tilpasset økologisk landbrug, kan øge udbyttets potentiale for økologisk landbrug yderligere.

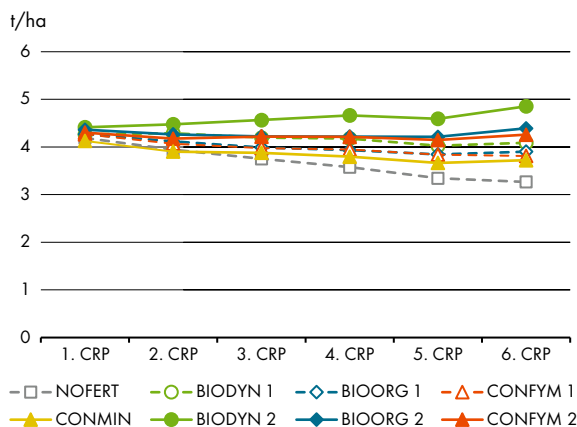
Næringsstoffdynamik

Kvælstof

Det meste af kvælstoffet (N) i jorden findes i organisk form. Mineralsk kvælstof er direkte tilgængeligt og derfor meget relevant for planteernæring. I gennemsnit for alle systemer var det samlede N-indhold i de øverste 20 cm af jorden 1,6 g pr. kg jord. I en dybde på 30 til 50 cm var det samlede N-indhold kun omkring halvdelen så højt.

C/N-forholdet i jordens organiske stof ændrede sig næsten ikke i løbet af DOK-forsøgsperioden. Gennemsnitsværdien var konstant på $9 \pm 0,11$ og viste ingen effekter relateret til dyrkningssystemet.

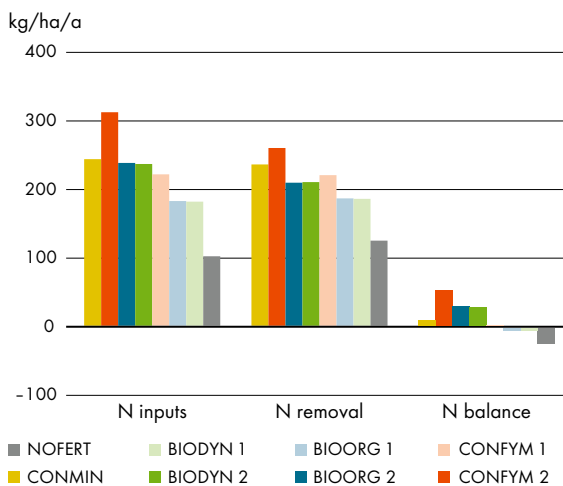
Figur 18: Samlet kvælstoflager i jorden



N-forsyning i de øverste 20 cm af jorden. Gennemsnitsværdi af målingerne i hver afgrødeomdriftsperiode. Dataene blev beregnet ud fra det samlede N-indhold under hensyntagen til jordens rumvægt, målt i den første CRP.

Der blev målt mellem 3,2 og 4,9 ton N-lager pr. hektar i en jorddybde på 0 til 20 cm. I BIODYN 2-systemet steg N-lageret med 9 kg pr. år (figur 18). I BIOORG 2- og CONFYM 2-systemerne var N-lagrene i dette jordlag konstante over tid. I alle andre systemer faldt N-lagrene med op til 20 kg om året i den ugødske kontrol. Resultaterne viser, at N-lagrene i jorden ikke kunne opretholdes i systemerne med reduceret gødskning. Det betyder, at kvælstofudnyttelsen i disse systemer ikke er bæredygtig.

Figur 19: Kvælstofbalance



N-balance med input fra gødskning, deposition, frø og N-fiksering fra atmosfæren samt output via afgrødehøst. Gennemsnitsværdier fra fem sædskifteperioder mellem 1985 og 2019.

Jordoverfladebalancen blev beregnet for perioden fra 1985 til 2019. Her sammenlignes kvælstoftilførslen med kvælstofudledningen fra afgrøden. Variable for kvælstoftilførsel er:

- Gødning
- Symbiotisk N_2 -fiksering
- N-deponering
- N i frøet

I systemerne med konventionel gødskning var balancen mellem tilførsel og fjernelse positiv og varierede fra et overskud på 23 kg (BIODYN 2 og BIOORG 2) til 46 kg (CONFYM 2) kvælstof pr. hektar pr. år (figur 19). I det rent mineralgødske CONMIN-system var balancen jævn. Systemerne med reduceret gødskning viste årlige underskud på mellem 5 og 10 kg kvælstof pr. hektar. I det ugødske NOFERT-system var underskuddet 31 kg pr. hektar pr. år (tabel 10).

Kvælstoftab som følge af udvaskning

De negative N-balancer med reduceret og ingen gødskning viser, at der frigives mere N fra jordens organiske materiale, end der genindføres. Med konventionel gødskning steg N-lagrene imidlertid mindre, end man kunne have forventet ud fra N-balancerne. I CONFYM 1 og CONMIN faldt N-lagrene derimod mere, end man kunne have forventet ud fra de negative balancer.

Disse afvigelse kan forklares med, at ammoniakemissioner ved gødskning, denitrifikationstabeller nitratudvaskning ikke er medregnet i jordoverfladebalancen. Summen af disse tab udgør 12 til 47 kg pr. hektar pr. år ved konventionel gødskning.

Ændringerne i N-lagrene i de dybere jordlag blev først undersøgt senere: Der blev udtaget jordprøver fra en dybde på 30 til 50 cm i 2019 og 2020. Der var betydeligt mindre forskelle i N-lagrene mellem systemerne i denne dybde end i jorddybden 0 til 20 cm. Effekten af den manglende gødning var kun tydelig i NOFERT i en dybde på 30 til 50 cm.

Effektiv udnyttelse af kvælstof

Nitrogenudnyttelseseffektiviteten (NUE) kan også udledes af jordoverfladebalancen: dette giver en indikation af, hvor meget af det tilførte N der optages af planterne. En NUE på over 100 % betyder, at der fjernes mere N, end der tilføres, og tyder derfor på, at N frigives fra jordens organiske stof (humus).

For systemerne med konventionel gødskning og CONMIN lå NUE mellem 85 og 100 % (tabel 10). NUE refererer her til den samlede N-tilførsel og viser, at både staldgødning og mineralsk gødning samt biologisk bundet kvælstof blev udnyttet effektivt i DOK-forsøget.

Binding af atmosfærisk kvælstof

Bælgplanter danner et symbiotisk forhold med rhizobia: I synlige knolde på roden omdanner bakterierne molekylært atmosfærisk nitrogen (N_2) til ammonium, som planten kan bruge til at danne proteiner. Den symbiotiske N_2 -fiksering var den største kilde til N i alle systemer, undtagen i de mineralgødskede CONFYM 2- og CONMIN-systemer. Systemerne med reduceret gødskning viste en lignende fikseringsevne som dem, der anvendte konventionel gødskning. I CONMIN var fikserings evnen imidlertid betydeligt lavere. Den største mængde N blev fikseret af kløver i de midlertidige græsmarker, efterfulgt af sojabønner og mellem afgrøder

N-fiksering ved hjælp af rhizobia kræver en god forsyning af fosfor, kalium og sporstoffer i jorden. I det ugøede system er N_2 -fikseringen faldet over tid, hvilket sandsynligvis skyldes de faldende niveauer af plantetilgængeligt fosfor og kalium i disse jorde.

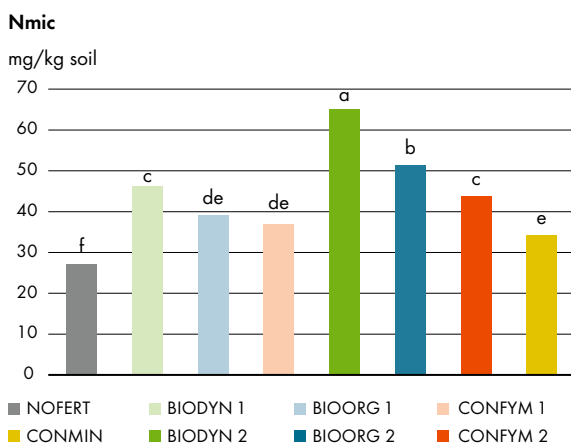
**Tabel 10: Kvælstoftilførsel og -tab i DOK-systemerne
Gennemsnitsværdi fra de fem sædskifteperioder mellem 1985 og 2019**

Detaljer i kg/ha/år	Gødning	Symbiotisk fiksering	Aflejring og frø	Høst	Balance	Ændring i jordlager	Effektiv udnyttelse
NOFERT	0	75	21	128	-31.1	-26.2	133 %
BIODYN 1	47	112	21	189	-8.7	-9.1	105 %
BIOORG 1	48	111	21	190	-9.6	-10.0	106 %
CONFYM 1	85	112	21	223	-4.5	-11.2	102 %
BIODYN 2	93	122	21	214	22.9	9.3	91 %
BIOORG 2	96	119	21	213	23.7	1.2	90 %
CONFYM 2	171	117	21	264	45.9	-0.7	85 %
CONMIN	121	99	21	240	2.1	-10.0	99 %

Kvælstof i mikrobiel biomasse

Jordmikroorganismer kan lagre store mængder nitrogen i deres biomasse (N_{mic}). Figur 20 viser N_{mic}-indholdet i jorden. Under hensyntagen til jordens volumen og lagringsdensitet rummer BIODYN 2-systemet op til 150 kg N_{mic} pr. hektar. Kvælstoffet i mikroorganismene fungerer som et midlertidigt lager for N i jorden, som frigives igen efter mikroorganismernes død (f.eks. på grund af frost eller dehydrering), når der er tilstrækkelig jordfugtighed, og bliver tilgængeligt for planterne.

Figur 20: Microbiel biomasse



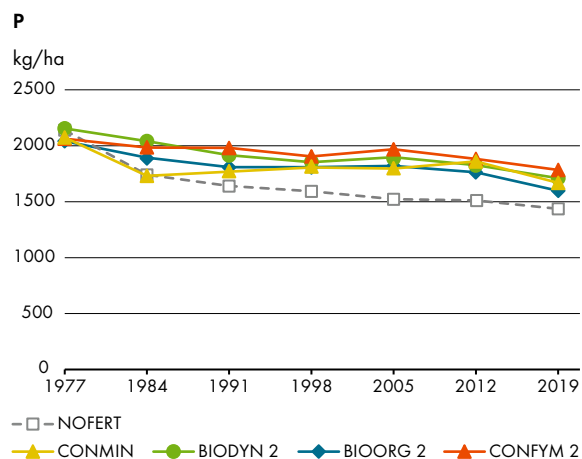
Mikrobielt bundet kvælstof i de otte systemer i DOK-forsøget. Gennemsnitsværdi fra analyser af alle parceller i foråret 1998, 2006, 2012 og 2019.

Gentagne målinger af den mikrobielle biomasse ved afslutningen af de sidste fire sædskifteperioder afslørede betydeligt mere mikrobielt bundet kvælstof i BIODYN 2-systemet sammenlignet med BIOORG 2 og endnu mere i forhold til CONFYM 2. CONMIN-systemet viste værdier, der lignede systemerne med reduceret gødsning. NOFERT-systemet udviste de laveste niveauer af N_{mic}.

Fosfor

Inden DOK-forsøget blev etableret i 1977, blev fosforlagrene på hver parcel i delparcel C målt. På det tidspunkt var P-lageret i de øverste 20 cm af jorden ca. 2100 kg/ha (figur 21). Jorden var derfor godt forsynet med P.

Figur 21: Samlet fosforbeholdning i muldlaget



Fosfor (P) i jordlaget i en dybde på 0 til 20 cm i løbet af seks sædskifteperioder med differentieret forvaltning i delparcel C (n = 4).



Gødningen fra gården spredes manuelt på DOK-arealerne.

Siden da er der observeret et fald i alle dyrkningssystemer, selvom lagrene i CONMIN (efter dets oprettelse i 1984; tidligere NOFERT) er forblevet relativt konstante. Faldet i P-lagrene i NOFERT var næsten 20 %, mens de økologiske systemer i gennemsnit havde 5 % lavere P-lagre end CONFYM 2.

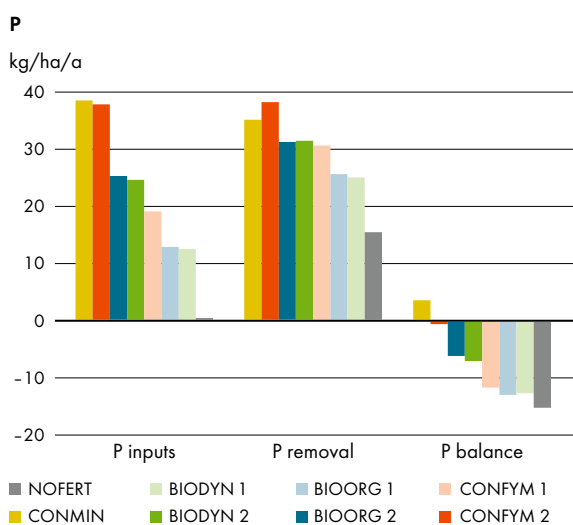
Fosfor balance

Fosforbalancen er forskellen mellem den fosfor, der tilføres gennem gødning og frø, og den fosfor, der fjernes ved høst (figur 22). I CONFYM 2-systemet var det gennemsnitlige tilskud 40 kg P pr. hektar pr. år. I BIODYN 2- og BIOORG 2-systemerne var det ca. 38 % lavere, nemlig 25 til 26 kg P pr. hektar pr. år. Forholdene mellem systemerne med reduceret gødskning er ens, men på et lavere niveau.

Med 32 kg var det fosfor, der blev fjernet ved høst, kun 16 % lavere i de økologiske systemer med konventionel gødskning end i CONFYM 2, hvor det var 38 kg pr. hektar pr. år. Dette indikerer, at fosfor fra gødskning udnyttes mere effektivt i de økologiske systemer. Samtidig er der dog en kontinuerlig udtømmning af fosforlagrene i jorden i alle systemer undtagen CONMIN.

På grund af fosforens lave opløselighed nød især afgrøderne i det første CRP godt af det oprindeligt høje P-tilskud. Samtidig kunne der allerede i begyndelsen af DOK-forsøget konstateres systemspecifikke forskelle i P-tilgængeligheden (figur 23).

Figur 22: Fosfor balance

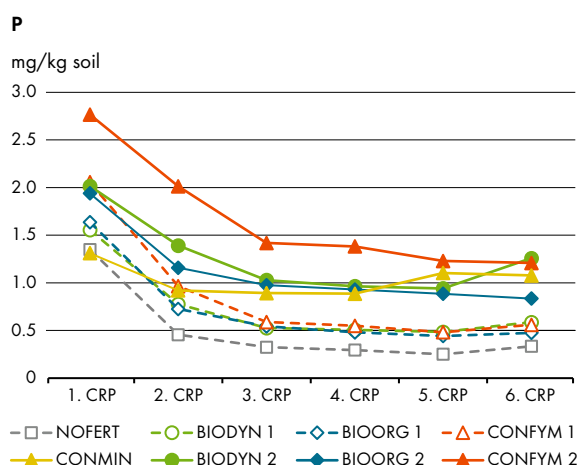


Fosforbalance: forskellen mellem fosfor tilført gennem gødning og frø, og fosfor fjernet ved høst. Gennemsnitsværdi fra de fem sædskifteperioder mellem 1985 og 2019.

CONFYM 2-systemet viser en højere P-tilgængelighed end BIODYN 2 og BIOORG 2 på grund af gødskning med let tilgængelig mineralsk gødning. Baseret på de nuværende GRUD-anbefalinger for gødskning, var der stadig »tilstrækkelig« P tilgængelig i CONFYM 2- og BIODYN 2-dyrkningssystemerne efter 42 år (figur 23).

BIOORG 2-systemet og alle systemer med reduceret gødning viste imidlertid allerede en »moderat« forsyning fra det fjerde CRP. I landbrugspraksis kompenseres en mulig reduktion i udbyttet normalt ved yderligere gødning. Årsagerne til faldet i opløseligt fosfor er de negative P-balancer, hurtig fiksering og udvaskning til dybere jordlag.

Figur 23: Opløseligt fosfor



Indholdet af opløseligt fosfor i jordprøver efter høst. Gennemsnitsværdier fra årlige (1978-2006, 2008-2010) og toårige (2010-2018) undersøgelser pr. parcel, CO₂-metode.

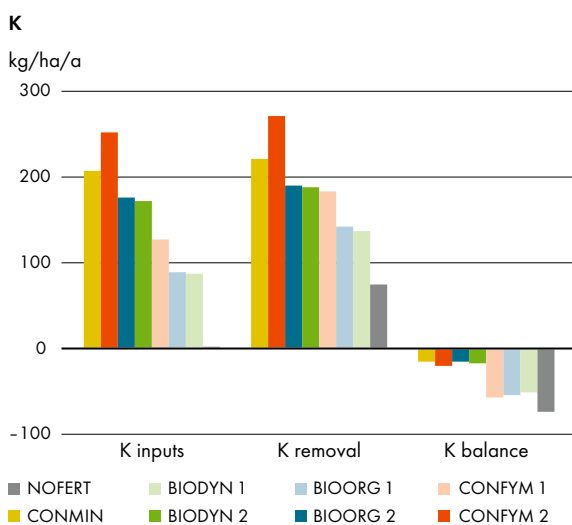


På grund af det kølige vejr efter såningen var der tegn på P-mangel i majs i de økologiske systemer med reduceret gødskning.

Kali

Kaliumbalancen bestemmes også af forskellen mellem det kalium, der tilføres gennem gødning og frø, og det kalium, der optages af den høstede afgrøde. CONFYM 2-dyrkningssystemet havde den højeste K-tilførsel med 251 kg K pr. hektar pr. år. Den fjernede mængde var højere end den tilførte mængde i alle dyrkningssystemer, hvilket resulterede i en negativ balance i alle systemer (figur 24).

Figur 24: Kaliumbalance

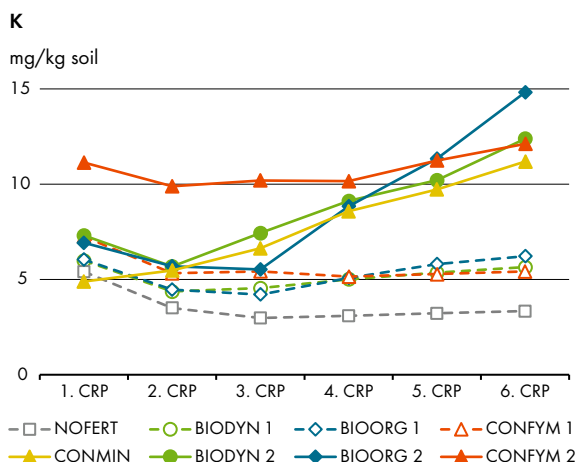


Kaliumbalance: forskellen mellem kalium tilført gennem gødning og frø, og kalium fjernet ved høst. Gennemsnitsværdier fra de fem sædskifteperioder mellem 1985 og 2019.

Tilgængeligheden af kalium viser en klar forskel mellem dyrkningssystemerne og gødningsniveauerne (figur 25). Det er især slående, at K-tilgængeligheden er steget i alle dyrkningssystemer med det normale gødningsniveau 2 og i CONMIN-systemet, hvor gødningsmængderne er blevet nøjagtigt beregnet siden 1990'erne. I denne periode steg kaliumforsyningen i de økologiske systemer mærkbart i nogle tilfælde, men den fjernede mængde steg ikke i samme omfang.

På trods af dette falder alle dyrkningssystemer i øjeblikket ind under kategorien »moderat« forsyning. Landbrugsrådgiverne vil anbefale at øge K-gødskningen. Undersøgelser har vist, at NOFERT-systemet hæmmer plantevæksten på grund af den reducerede tilgængelighed af kalium.

Figur 25: Opløseligt kali



Indhold af opløseligt kalium. Gennemsnitsværdier fra årlige (1978–2006, 2008–2010) og toårige (2010–2018) undersøgelser pr. parcel, CO₂-metode.

Næringsstofinput via rødder og kvælstoftransport

Kulstof- og kvælstofindholdet via rødderne er den vigtigste kilde til opretholdelse og opbygning af jordens organiske materiale, også kaldet humus. Rodtilførslen til jorden, består af rødderne og de stoffer, der frigives af rødderne (rhizodeposition), mens planten vokser. Disse omfatter stoffer såsom opløselige rodexudater og slim (lag på overfladen af rødderne) samt løsrevne rodceller, rodhår og fine rødder, som hurtigt nedbrydes af mikroorganismer i jorden. Her viser vi kulstof og kvælstof, der overføres under jorden via rødderne.

Kulstofinput

Videnskabelige modeller, der estimerer kulstofindholdet (C) i jord og danner grundlag for internationale klimarapporter, har hidtil antaget, at kulstofindholdet under jorden er proportionalt med biomassen over jorden: jo højere udbytte af en afgrøde, jo mere kulstof tilføres jorden. Omvendt ville dette betyde, at der tilføres mere kulstof til jorden i konventionelle dyrkningssystemer end i økologiske systemer. Resultaterne fra DOK-forsøget modbeviser denne antagelse for vinterhvede og majs.

Undersøgelsen har vist at tilførslen i jorden i vid udstrækning er uafhængig af biomasseproduktionen over jorden, og at økologiske systemer endda har en tendens til at have en lidt højere tilførsel af kulstof i jorden, på trods af lavere udbytter. Kulstofindholdet i jorden udgjorde mellem 18 og 26 % af den samlede kulstofassimilering. Rhizodeposition var af afgørende betydning for kulstofindholdet i jorden, og udgjorde 57 til 63 % af kulstofindholdet i jorden i majs, og 54 til 58 % af kulstofindholdet i jorden i vinterhvede (figur 26).

Kvælstoftransport i kløvergræsset

C- og N-tilførsler er lige så vigtige for at opretholde eller opbygge SOM. I DOK-forsøget var C/N-forholdet i SOM relativt konstant på omkring ni. Det betyder, at der pr. kg C bindes omkring 0,11 kg N i SOM på lang sigt. Dette er den del af jordens kvælstof, der kan blive tilgængelig for planten, når SOM nedbrydes.

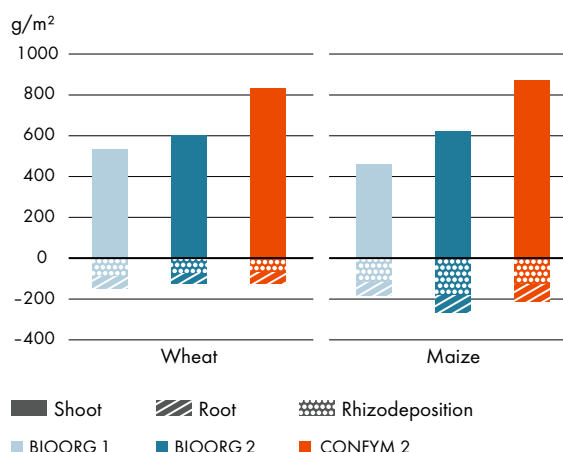
Eksemplet med kløvergræs engen i DOK viser, hvordan kløverens rodindskud i jorden påvirker den biologiske N₂-fiksering i hele blandingen. I modsætning til C-overførslen fra majs- og hvederødder var kløverens N-indskud under jorden proportionalt med N-assimileringen over jorden. Det skal også bemærkes, at i det første høstår øges det N, der er bundet i rødderne, og rhizodepositionen i løbet af vegetationsperioden. I det andet høstår falder rod-N igen, men tilførslen via rhizodeposition stiger markant. Dette indikerer en meget høj rodomsætning på grund af den hyppige slåning og ældning af kløveren.

DOK-systemerne adskilte sig markant med hensyn til N-assimilering, men andelen af N under jorden var altid konstant og udgjorde omkring 29 % af det samlede N. Andelen af rhizodeposition i N under jorden steg fra omkring 35 % til 75 % fra slutningen af det første høstår til slutningen af det andet høstår.

Græsset i kløvergræsblendingen drog direkte fordel af kvælstoftilførslen via kløverens rhizodeposition. To uafhængige DOK-undersøgelser viste, at i økologiske systemer stammer ca. 40 % af det kvælstof, der optages af græsset, fra kløveren og dermed hovedsageligt fra biologisk N₂-fiksering.

Overvejelsen af kvælstoftilførsel under jorden og kvælstoftransporten fra kløver til græs har en betydelig indflydelse på estimeringen af mængden af bundet kvælstof i græs-kløver-enge. Denne er betydeligt lavere, når den kun baseres på væksten over jorden. Derfor beregnede vi i BIOORG 2 i 2007 1,8 gange mere bundet atmosfærisk kvælstof sammenlignet med konventionelle estimeringssystemer.

Figur 26: Fordeling af assimilerede stoffer i skud, rødder og rhizodeposition i hvede og majs



Sammenligning af systemerne BIOORG 1, BIOORG 2 og CONFYM 2.

Kort sagt: Næringsstoffdynamik

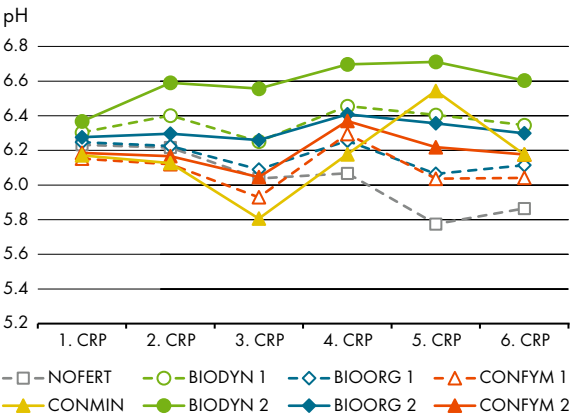
Kvælstofbeholdningen i de øverste 20 cm steg kun i BIODYN 2-systemet (se side 32 »Jordkulstof«). I BIOORG 2 og CONFYM 2 var beholdningerne konstante. Kvælstofbeholdningerne faldt i systemer, der ikke modtog eller modtog reducerede mængder organisk gødning. Fikseringen af atmosfærisk kvælstof gennem symbiose mellem bælgplanter og rhizobia udgjorde en meget stor del af den samlede kvælstoftilførsel i alle systemer, men den var betydeligt reduceret i systemerne uden husdyrgødning (CONMIN og NOFERT). Fosforlagrene faldt i alle systemer, men i højere grad i de økologiske systemer på grund af deres begrænsede gødsning sammenlignet med de konventionelle systemer. Indtil videre har der, med undtagelse af NOFERT, sjældent været tegn på mangel hos planterne, hvilket tyder på, at de økologiske systemer udnytter fosfor effektivt. Kaliumforsyn ingen viser en negativ balance i alle systemer, men kaliumtilgængeligheden viser en positiv tendens i de sidste tre sædskifteperioder.

Jordkvalitet

pH værdier

I de økologiske systemer forblev jordens pH-værdi på et stabilt niveau mellem 6,6 og 6,3 i hele forsøgs perioden. I de konventionelle systemer faldt pH-værdien til under 6 efter 25 år, hvilket ifølge GRUD betragtes som kritisk for denne jordtype. Denne udvikling skyldes mineralgødnings-forsuringseffekt.

Figur 27: Jordreaktionens forløb



CONFYM- og CONMIN-systemerne blev kalket i årene 1999-2005 (n = 12).

Det er vigtigt at opretholde en pH-værdi over 6 for plantens ernæring, den biologiske aktivitet og jordstrukturen. For at hæve pH-værdien igen i de konventionelle systemer blev jorden kalket med fem ton CaO-ækvivalenter pr. hektar og gødet med basisk calciumammoniumnitrat (CAN) i begyndelsen af det fjerde CRP i 1999. Succesen med denne foranstaltning kan ses i pH-stigningen i de konventionelle systemer (figur 27). CONMIN modtog en yderligere kalkning, fordi pH-værdien stadig var lavere end i CONFYM. Tendensen mod forsuring synes dog at fortsætte efter kalkningen.

Jordstruktur

Jordaggregater

Jordaggregater dannes ved akkumulering og samling af mineralske lerpartikler og organiske partikler. De stabiliseres af jordorganismer med hyfer og biofilm. Dette resulterer i dannelsen af relativt faste strukturer, der ikke opløses i vand. Aggregaternes form er en indikator for jordens strukturelle stabilitet.

Jord med mere vandstabile jordaggregater er krummet, mindre tilsiltet og bedre beskyttet mod erosion takket være forbedret vandinfiltration. Det giver bedre iltning og bedre iltforsyning til rødderne. Den strukturelt relativt svage løssjord i DOK-forsøget har tendens til at blive tilsiltet. I de økologiske systemer har jorden tendens til at blive mindre tilsiltet.

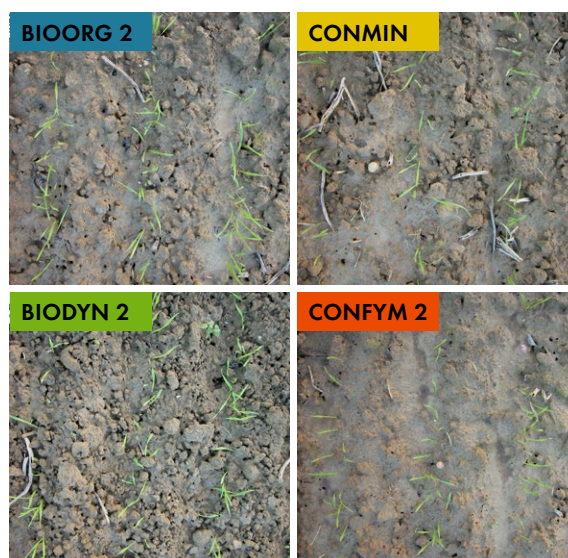
Interessant nok viser aggregatstabiliteten et stærk sæsonudsving (Tabel 11). Især om sommeren, når jorden var tør, var aggregatstabiliteten i løssjorden lav på tværs af alle systemer. De to økologiske systemer havde stadig den højeste andel af stabile aggregater. Dette kan hænge sammen med en øget mikrobiel biomasse, og i tilfældet med BIODYN, mere humus, som fremmer aggregatdannelse. Forskellene var mindre om foråret. Under fugtige forhold forbliver svampehyfer og bakterielle biofilmmer effektive som »klæbemidler«.

Tabel 11: Andel af vandstabile aggregater i jorden i DOK-forsøget

	Andel af stabile aggregater	Signifikant
BIODYN 2	50.1 %	a
BIOORG 2	44.2 %	ab
CONFYM 2	38.4 %	b
CONMIN	38.4 %	b
Samlet gennemsnit for alle systemer		
Marts 2000	55.3 %	a
Marts 2003	48.2 %	b
Juli 2003	24.8 %	c

Rumvægt

Rumvægten af jorden i DOK-forsøget er høj, da løssjorden hovedsageligt består af finere siltpartikler. Gennem biologiske foranstaltninger, for eksempel ved hjælp af regnorm og fine rødder, kan denne jord alligevel danne et system af fine og grove porer. Den kan midlertidigt løses ved jordbearbejdning. På grund af indflydelsen fra sædskifte og jordbearbejdning ændrer rumvægten sig i løbet af en vegetationsperiode. Rumvægtens forskelle mellem dyrkningssystemerne var lille, men en ændring på mere end en tiendedel i denne parameter kan være relevant. I sidste ende forbliver jorden på grund af jordtypen, fattig på grove porer, som har en tendens til at blive vandmættet og varme langsomt op.



Aggregatstabilitet påvirker jordens tendens til at slemme til.

Tabel 12: Rumvægten i jordene i DOK forsøgene (i kg/dm³)

Niveau	Rumvægt, 1 st CRP	SD	Rumvægt, 3 rd CRP	SD
NOFERT	1.32	0.046	1.26	0.035
BIODYN 1	1.33	0.043	1.20	0.039
BIOORG 1	1.32	0.039	1.23	0.029
CONFYM 1	1.33	0.023	1.22	0.070
BIODYN 2	1.31	0.047	1.20	0.044
BIOORG 2	1.32	0.040	1.22	0.046
CONFYM 2	1.32	0.039	1.22	0.027
CONMIN	1.31	0.057	1.25	0.066
Middelværdi	1.32		1.22	

Kulstof i jorden

Der er mere kulstof lagret i verdens jord end i den samlede plantebiomasse og atmosfæriske kuldioxid (CO₂). Jordbunden spiller derfor en vigtig rolle i debatten om klimaforandringer, da især dyrkbar jord ofte er lavere i humus og har et stort potentiale for at opbygge humus og dermed lagre CO₂ fra atmosfæren.

Organisk kulstof

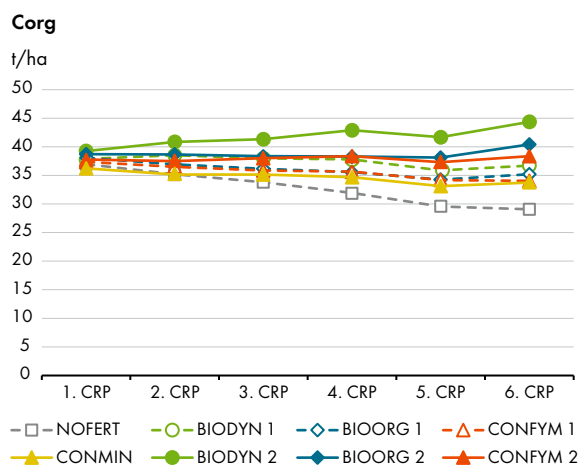
Organisk materiale i jorden (humus) dannes af rester af plante- og dyrebiomasse, der er nedbrudt i jorden. Det består i gennemsnit af 58 % C.

Derfor kvantificeres SOM (jorden organiske materiale) ved at måle det organiske kulstofindhold (Corg), hvor $SOM = 1,725 \times Corg$. SOM er den mest anvendte indikator til at analysere jordens kvalitet med henblik på dyrkning.

I DOK-forsøget blev der efter høsten taget årlige jordprøver fra en dybde på 0-20 cm og arkiveret. Størstedelen af disse prøver fra hele forsøgsperioden blev analyseret ensartet ved afslutningen af det sjette CRP. Dette gjorde det muligt at udelukke påvirkende faktorer, såsom skiftende laboratoriepersonale, nyt udstyr og nye metoder og at visualisere den faktiske udvikling.

De nye analyser gav følgende resultater: Organisk kulstof (Corg) er klart højest i -BIODYN 2-systemet (figur 28). Der blev også statistisk bekræftet en positiv tendens i dette system. I BIOORG 2- og CONFYM 2-systemerne forblev indholdet konstant – den svage stigning her kunne ikke statistisk underbygges. Corg-niveauerne faldt i alle systemer med reduceret gødskning samt i CONMIN. Som forventet blev det mest markante fald registreret i NOFERT.

Figur 28: Jordens kulstoflager



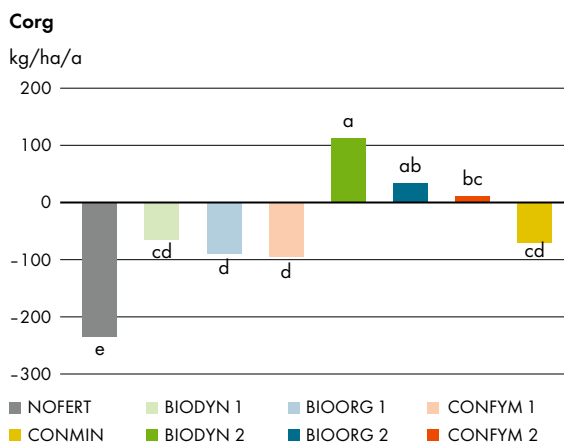
Kulstoflagret i de øverste 20 cm af jorden i de otte dyrkningssystemer (n = 12). Disse data blev beregnet ud fra kulstofindholdet og jordens rumvægt i det første CRP.

Ændring i kulstofbeholdningen

Kulstofbeholdningen refererer til mængden af kulstof, der findes i jorden i et afgrænset område. I DOK-forsøget blev den beregnet for det øverste jordlag ned til en dybde på 20 cm pr. hektar (figur 28). Rumvægt blev baseret på en måling fra det første CRP, hvor denne parameter endnu ikke var påvirket af dyrkningssystemerne.

Mellem den første og sjette CRP var der en signifikant stigning i Corg-lagrene i BIODYN 2 (12 %), mens lagrene i BIOORG 2 og CONFYM 2 forblev uændrede. I denne sammenligning mistede systemerne med reduceret gødning 4 % (BIODYN 1) til 9 % (BIOORG 1, CONFYM 1 og CONMIN) af deres Corg-lagre. Det ugødde NOFERT-system mistede 22 % i forhold til den første CRP.

Figur 29: Ændring i jordens kultofbeholdning



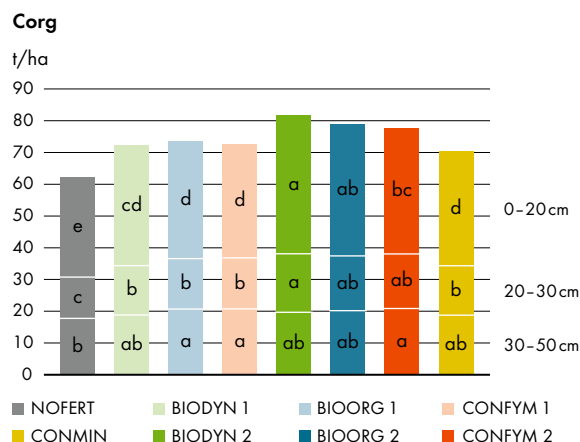
Gennemsnitlig årlig stigning eller fald i organisk kulstof.

Den gennemsnitlige årlige vækst eller tab kan udledes af den tidsmæssige dynamik i C-lagrene (figur 29). Kun dyrkningssystemerne på niveau 2 var i stand til at øge eller opretholde Corg-lagrene. Alle systemer med reduceret gødskning og CONMIN havde tab på op til 100 kg pr. hektar pr. år. Med NOFERT udgjorde tabene 234 kg Corg pr. år.

Forskellene mellem systemerne med hensyn til Corg var mest udtalte i det øverste jordlag på 0–20 cm. Hovedparten af rodmassen befinder sig i dette lag, og her blandes husdyrgødning, grøngødning og afgrøderester. Det er her, de mest intensive nedbrydningsprocesser af jordens organiske stof finder sted. De kan stimuleres ved jordbearbejdning, men også ved hjælp af mineralsk gødning og rodexudater. En anden del af Corg lagres i dybere jordlag. Corg-indholdet falder med dybden, fordi der tilføres mindre frisk organisk materiale via rødder eller husdyrgødning. Med stigende dybde mindskes også dyrkningssystemets indflydelse. I en dybde på 30 til 50 cm er det kun genkendeligt i NOFERT-systemet.

Med 81 ton pr. hektar ned til en dybde på 50 cm opnåede BIODYN 2-systemet den højeste Corg-beholdning i målingen for 2019/20. I -BIOORG 2 var den 80,25, og i CONFYM 2 var den 78,9 ton/ha. CONMIN havde derimod næsten ni ton mindre Corg end -CONFYM 2. Disse to systemer modtog standardgødning og producerede også lignende mængder af afgrøderester, så forskellen på ni ton kan tolkes som effekten af organisk gødning over 35 år (CONMIN blev ikke gødet i de første syv år).

Figur 30: Organisk kulstofbeholdning



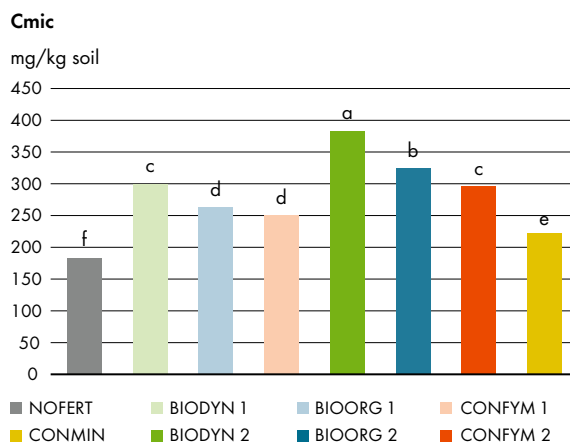
Kulstoflagre i jordlag op til 50 cm dybde efter 42 års differentieret dyrkning. Forskellene mellem systemerne mindses med dybden. Prøver fra 2019 efter vinterhvede og under græs-kløver og fra 2020 efter vinterhvede; n = 12.

Sammenfattende var det kun systemer med gødning fra 1,4 DE, der var i stand til at opretholde Corg (humusindholdet) i jorden, og kompostering af gødning i -BIODYN 2 resulterede endda i en stigning i humus over 42 år. På trods af høje udbytter mis tede det mineralgødskede, konventionelle CONMIN-system Corg, hvilket er bemærkelsesværdigt i betragtning af de humusforøgende kløvergræs parceller og de dyrkede grøngødninger. Systemerne med gødning fra 0,7 DE mistede imidlertid også Corg over tid. Reduceret jordbearbejdning og brug af kompost fra grønt affald er yderligere foranstaltninger til opbygning af humus.

Mikrobiel biomasse

Mikrobiel biomasse består af mikroskopiske organismer i jorden, herunder bakterier, arkæer, mikroalger og nogle svampe. Det er den levende del af jordens organiske stof. Mikrobielt kulstof udgør 1 til 3 % af jordens kulstof. I dette afsnit er mikrobiel biomasse repræsenteret som mikrobielt bundet kulstof (Cmic) (figur 31) og i kapitlet om næringsstoffer som mikrobielt kvælstof (Nmic) (figur 20).

Figur 31: Mikrobiel biomasse



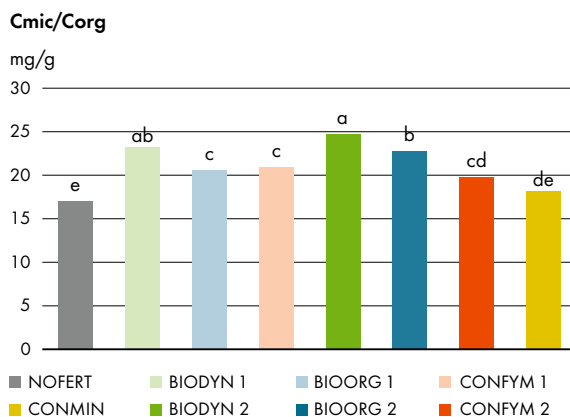
Mikrobielt bundet kulstof i de otte systemer i DOK-forsøget. Gennemsnitsværdi fra analyser af alle parceller i foråret 1998, 2006, 2012 og 2019.

BIODYN-systemet havde den højeste mikrobielle biomasse ved begge gødningsniveauer. CONMIN og NOFERT havde derimod de laveste niveauer af mikrobiel biomasse.

Forholdet mellem Cmic og Corg

Forholdet mellem mikrobielt kulstof og organisk kulstof i jorden bruges som indikator for kvaliteten af det organiske materiale. Dette forhold viser, hvor gode betingelserne er for mikrobiel vækst i jorden, og er også en tidlig indikator for et stigende humusindhold efter en ændring i jordforvaltningen (figur 32).

Figur 32: Forhold Cmic/Corg



Forholdet mellem Cmic og Corg. Dette kvotient angiver, hvor velegnet jord med et højt indhold af organisk materiale er som levested for mikroorganismer.

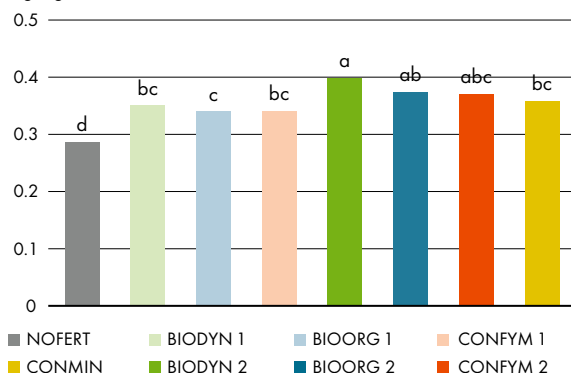
Jordens respiration

Jordmikroorganismer lever af dødt organisk materiale og nedbryder det til dets mineralske komponenter og CO₂. Denne proces er af central betydning for næringsstofkredsløbet. Sammen med mikrobiel biomasse er jordrespiration en af de vigtigste biologiske jordparametre. Når den måles under standardiserede laboratorieforhold, kaldes den basal respiration. CO₂-udviklingen er et mål for jordorganismernes aktivitet, som også afhænger af mængden af let tilgængelige C-kilder (figur 33).

Figur 33: Jordens respiration

CO₂-C

mg/kg soil/h



Basal respiration i jorden i DOK-forsøget. Data fra analysen af jordprøver fra 2019. En høj værdi indikerer høj aktivitet blandt jordorganismerne.

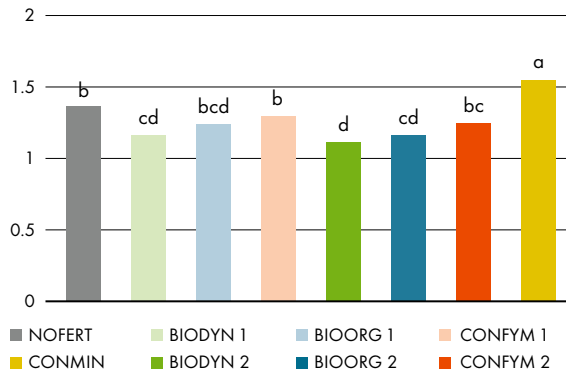
Metabolisk kvotient

Den mængde CO₂, som mikroorganismerne i jorden har brug for til at opretholde deres biomasse, giver en indikation af, hvor gode deres levevilkår er. Det tilsvarende mål er det metaboliske kvotient qCO₂. Jo mere mikroorganismerne ånder, jo mere energi forbruger de for at opretholde deres stofskifte. En lav værdi indikerer, at det mikrobielle samfund omdanner den tilgængelige energi effektivt.

Figur 34: Metabolisk kvotient

qCO₂

mg/g Cmic/h



Metabolisk kvotient for CO₂ i jorden i DOK-forsøget. Data fra analysen af jordprøver fra 2019.

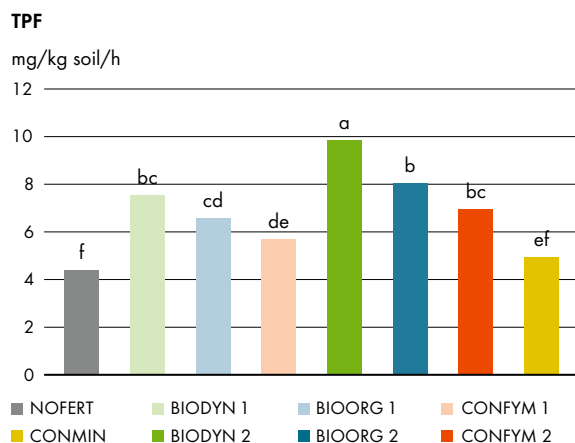
På trods af sin høje basale respiration (figur 33) omdanner jordens mikrobielle samfund i BIODYN den tilgængelige energi mere effektivt. BIODYN forbruger 16 % mindre energi pr. enhed biomasse til sine vedligeholdelsesbehov end det mikrobielle samfund i CONFYM (figur 34). CONMIN-systemet har den højeste metaboliske kvotient. Det betyder, at mikroorganismerne finder de bedste levevilkår i BIODYN-systemet og er mest stressede i CONMIN.

Jordenzzymer

Dehydrogenaser

Enzymer fra gruppen af dehydrogenaser spiller en vigtig rolle i mikroorganismers energimetabolisme. De er aktive i cellen og fungerer som en indikator for dens metaboliske aktivitet.

Figur 35:
Dehydrogenaseaktivitet



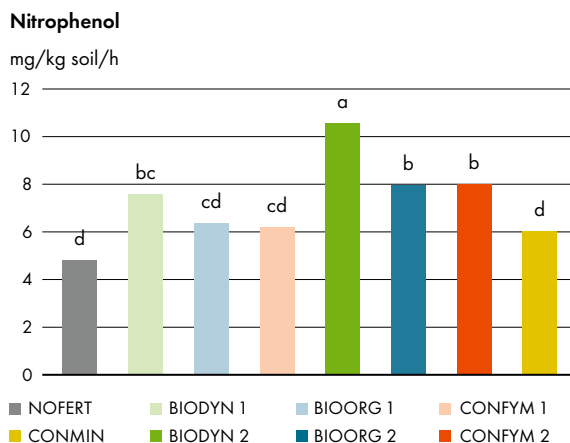
Dehydrogenaseaktivitet i jorden i DOK-forsøget. Data fra analysen af jordprøver i 2016. Jo højere værdien er, jo flere dehydrogenaseenzymer er aktive i jorden.

Den høje aktivitet af dehydrogenase i BIODYN-systemet viser, at der er betydeligt flere mikroorganismer i jorden end i jordene i de andre systemer. Det kan også indikere, at aktiviteten pr. enhed mikroorganismer er højere.

Fosfataser

Enzymer fra fosfatase-klassen udskilles af planter og mikroorganismer for at nedbryde organiske fosforforbindelser. Da koncentrationen af opløst P i jordvand er meget lav, kan den enzymatiske nedbrydning af organiske P-forbindelser bidrage til plantens ernæring.

Figur 36:
Alkalisk fosfomonoesterase aktivitet



Aktivitet af alkalisk fosfomonoesterase i DOK-forsøget. Data fra analysen af jordprøver i 2019. Jo højere værdien er, jo flere fosfataseenzymer er aktive i jorden.

Fosfataseaktiviteten er meget afhængig af dyrkningssystemet. Den høje aktivitet af fosfataser i BIODYN-systemet viser et stort potentiale for at nedbryde organiske fosforforbindelser, hvilket gør frigivet P tilgængeligt for planterne.

Kort sagt: Jordkvalitet

Efter 20 år var pH-værdien i jorden i konventionelle dyrkningssystemer faldet i en sådan grad, at den måtte korrigeres ved kalkning. Jorden i de økologiske systemer viste mindre tendens til tilsiltning og bedre strukturel stabilitet end jorden i de konventionelle systemer. I de systemer, der anvender gylle fra 1,4 DE, var det organiske kulstofindhold og -lagre konstante. Uden organisk gødning eller med reduceret gødskning mistede jorden organisk kulstof. Med tilførsel af gødnings-kompost opnåede BIODYN 2-systemet et betydeligt højere organisk kulstofindhold end alle andre systemer. Den mikrobielle biomasse samt dens aktivitet og effektivitet var signifikant højere i de økologiske systemer end i de konventionelle. Alle indikatorer for jordens frugtbarhed viste bedre værdier i de økologiske systemer og især i BIODYN-systemet. Jordens frugtbarhed i BIODYN med reduceret gødning nåede eller overstege den i CONFYM med typisk gødning.

Biodiversitet

Mennesket har overskredet planetens grænser gennem mange menneskelige praksisser og økonomiske aktiviteter. Dette er især tydeligt, når man ser på tabet af biodiversitet.

Med sine 100 m² store parceller giver DOK-forsøget kun mulighed for at sige noget om hyppigheden og aktiviteten af arter, der er til stede i dette område. Afhængigt af organismernes størrelse og mobilitet er de aktive over et større område end dimensionerne af en enkelt parcel.

Af denne grund fokuserede forskningen i DOK-forsøget på regnorm, mikroorganismer og ukrudt. Overraskende nok blev jorddyr, der hovedsageligt lever på jordoverfladen (epigeiske leddyr), også i høj grad påvirket af dyrkningssystemet, selv om disse organismer kan tilbagelægge betydelige afstande dagligt.

Ved analyse af vild flora kan der også forventes en indflydelse på de tilstødende parceller på grund af frøspredning.

Ukrudts-frøbank

Bestanden af ukrudtsfloraen har ændret sig som følge af den specifikke dyrkning, der er forbundet med DOK-systemerne. Hver afgrøde har sin egen særlige vilde flora, og hver sæson bringer forskellige planter i marken i forgrunden. Det er derfor interessant at analysere frøbestanden, da det giver information om fremkomsten af ukrudtsfloraen fra frø over længere perioder.

Tabel 13: Antal frø og plantearter

	Frøpulje			
	Arter		Frø/m ²	
BIODYN 2	42	114 %	14 413	233 %
BIOORG 2	40	108 %	19 622	317 %
CONFYM 2	37	100 %	6195	100 %
CONMIN	33	89 %	8404	136 %
NOFERT	44	119 %	69 468	1121 %

Ukrudtsfloraen udfører vigtige opgaver i økosystemet: Den giver ly og føde til nyttige organismer, beskytter jorden mod tilsiltning og erosion og absorberer mineraliseret kvælstof efter høsten, hvilket beskytter mod udvaskning. Desuden frigiver dens rodexudater og rødder også kulstofforbindelser til jorden.



Valmuer i vinterhvedearealerne i DOK-forsøget.

Ukrudt er en vigtig del af biodiversiteten i de ofte ensformige agerlandskaber, og det fungerer som vigtige mellemværter for symbiotiske svampe i rødderne (mykorrhiza).

Det store frøbeholdning udgør imidlertid også en betydelig risiko for ukrudtsangreb på afgrøderne. Som led i sædskiftet, der undertrykker mange ukrudtsarter med to års kløvergræs, kunne konkurrencen fra ukrudtsfloraen i de økologiske systemer begrænses ved at hakke og harve. Soja er en undtagelse: ukrudt luges regelmæssigt med hånd på økologiske sojabed (ca. 25 timer/ha).

På grund af fraværet af herbicider og mindre tæt afgrøde, blev der fundet flere ukrudtsarter i de økologisk dyrkede marker end i de konventionelt dyrkede marker. Med hensyn til antallet af spiredygtige frø pr. arealenhed har økologiske marker to til tre gange flere frø i jorden, end konventionelle marker. Det betyder, at der er opbygget en frøbestand i de økologiske systemer, som skal overvåges.

Jorddyr

Regnorme

Regnorm er de bedst kendte hvirvelløse dyr, der lever i jorden. De dybtgravende arters levested strækker sig til en dybde på omkring en meter i de dybe løssjordarter i DOK-forsøget. Der finder regnormene huler, som de trækker sig tilbage til, når overfladen bliver for tør eller for kold.

Regnorm kan inddeles i grupper baseret på deres foretrukne levested:

- Epigeiske arter lever under jordoverfladen, hvor de hovedsageligt lever af dyreekskrementer og dødt plantemateriale. De er mørke i farven for at beskytte sig mod UV-stråling.
- Endogeiske arter lever i den øverste del af mineraljorden. De er blege og næsten gennemsigtige, da de sjældent kommer op til overfladen.
- Anekiske arter graver lodret og søger dybere jordlag i en dybde på en meter eller mere. Disse arter fremmer blandingen af mineraljorden med humus og trækker planterester og gødning ned i jorden.



Indsamling af regnorm med hånd er tidskrævende og giver kun mening om foråret eller efteråret, når ormene er aktive.

Biomassen af regnorm i DOK-eksperimentet domineres af anekiske arter, som er relativt store og derfor færre i antal end de relativt små, endogene arter.

Metoden til dataindsamling, som indebærer manuel sortering og udvinding og identifikation af dyrene, er meget tidskrævende. Desuden forstyrres DOK-parcellerne i høj grad som følge heraf. Af denne grund kunne sådanne data kun indsamles for nogle af systemerne. Regnormens dynamik varierede meget i løbet af året og dagen og er stærkt afhængig af fugtighed og temperatur.

Tabel 14: Antal og biomasse af regnorm i DOK-arealerne: 1990–1991 og 2001–2005

	Regnorme 1990–1991				Regnorme 2001–2005			
	Antal (ind./m ²)		Biomasse (g/m ²)		Antal (ind./m ²)		Biomasse (g/m ²)	
BIODYN 2	302	138 %	192	124 %	234	90 %	183	89 %
BIOORG 2	463	211 %	228	148 %	247	95 %	180	88 %
CONFYM 2	219	100 %	154	100 %	259	100 %	205	100 %
CONMIN	145	66 %	118	77 %	190	73 %	166	81 %
NOFERT	208	95 %	137	89 %	164	63 %	142	69 %

Regnorms undersøgelserne i 2001–2005, hvor der blev anvendt en forenklet metode, som er mindre effektiv til at påvise anekiske jordorme, fandt sted efter en sædskiftefase med 3 års kløvergræs. Undersøgelser fra 2024 bekræfter dataene fra 1990–1991 ved hjælp af samme metode og med to års kløvergræs: Der er betydeligt flere regnorm i de økologiske jordtyper end i de konventionelle.

Indtil 1998 anvendte konventionelle systemer plantebeskyttelsesmidler (carbendazim, dinoseb, methiocarb), som var meget giftige for regnorm. De tidlige analyser viser derfor et betydeligt lavere antal og en lavere biomasse af regnorm i disse systemer. Overgangen til integreret produktion med starten på den tredje sædskifte og udfasningen af mange

af de gamle, meget giftige produkter er den mest sandsynlige forklaring på genopretningen af regnormsbestanden i CONFYM og CONMIN. På den anden side kan kalkning mellem 1999 og 2005 og overgangen til alkaliske kvælstofgødninger også have haft en positiv indflydelse på regnormens levested.

Jordbiller og rovbiller

Jordbiller og rovbiller er to familier inden for ordenen Coleoptera (biller). Mange af deres arter er endnu ikke blevet undersøgt i detaljer, men man ved mere om jordbilleres autøkologi end om rovbillers. Disse dyrs aktivitetstæthed bestemmes ved hjælp af faldfælder i markjorden. Da dyrene er meget mobile, kan de ikke direkte tilknyttes et lille område. Men hyppigheden, hvormed de besøger en parcel, kan let estimeres ud fra antallet af fælder.



Store jordbiller er glubske og spiser op til 2,5 gange deres kropsvægt om dagen.

Tabel 15: Forekomst af jordbiller og rovbiller i vinterhvede parceller

	Antal jordbiller						Antal rovbiller					
	1988		1990		1991		1988		1990		1991	
BIODYN 2	208	a	72	a	60	a	42	a	58	a	20	a
BIOORG 2	156	ab	75	a	57	a	44	a	50	a	17	a
CONFYM 2	89	b	46	b	31	a	20	b	33	b	15	a

I gennemsnit over hele året er forekomsten af disse to grupper af dyr i de økologiske parceller omkring dobbelt så høj som i de konventionelle parceller. Jordbiller, der foretrækker varme og tørhed, og dem, der hovedsageligt lever af frø, blev fundet oftere i de økologiske parceller. De rovdrylsignende biller er vigtige i marken for bekæmpelse af skadedyr såsom bladlus. De er allerede aktive om foråret, hvor marihøns er mindre effektive til at bekæmpe skadedyr ved lavere temperaturer.

Tabel 16: Tæthed af edderkopper i antal pr. m²

	Spindeedderkopper		Rovdyrspindler	
BIODYN 2	2.5	a	7.4	a
BIOORG 2	1.8	ab	7.3	a
CONFYM 2	1.2	b	3.4	b
CONMIN	1.0	b	4.5	b

De økologiske systemer har en betydeligt højere tæthed af edderkopper. Rovdyr-edderkopper forekommer næsten dobbelt så hyppigt i de økologiske parceller som i de konventionelt dyrkede parceller.



En spindeedderkop i en DOK-hvedeparcel.

Nematoder

Nematoder er en af de mest artsrige og udbredte dyregrupper. Takket være de morfologiske specialiseringer hos de enkelte nematoder er de i stand til at indtage en lang række økologiske nicher. De spiller en central rolle i reguleringen af biokemiske cyklusser og økosystemprocesser. Eksempler herpå er mineralisering og opbygning af organisk materiale i jorden.

Nogle arter kan dog forårsage skader på afgrøder, på grund af deres parasitiske livsstil. På grund af deres store mangfoldighed kan sammensætningen af nematodesamfundet fungere som en vigtig indikator for de økologiske miljøforhold.



Nematoder er kun lette at genkende under et mikroskop.

Tabel 17: Antal nematoder pr. m²

	Bakterieæder		Planteæder		Svampeæder		Altæder	
BIODYN 2	17.5	a	27.2	a	0.4	b	4.5	a
BIOORG 2	16.2	ab	28.1	a	0.5	ab	5.2	a
CONFYM 2	19.3	a	24.8	a	0.9	a	4.8	a
CONMIN	9.5	bc	16.8	b	0.9	a	2.3	b

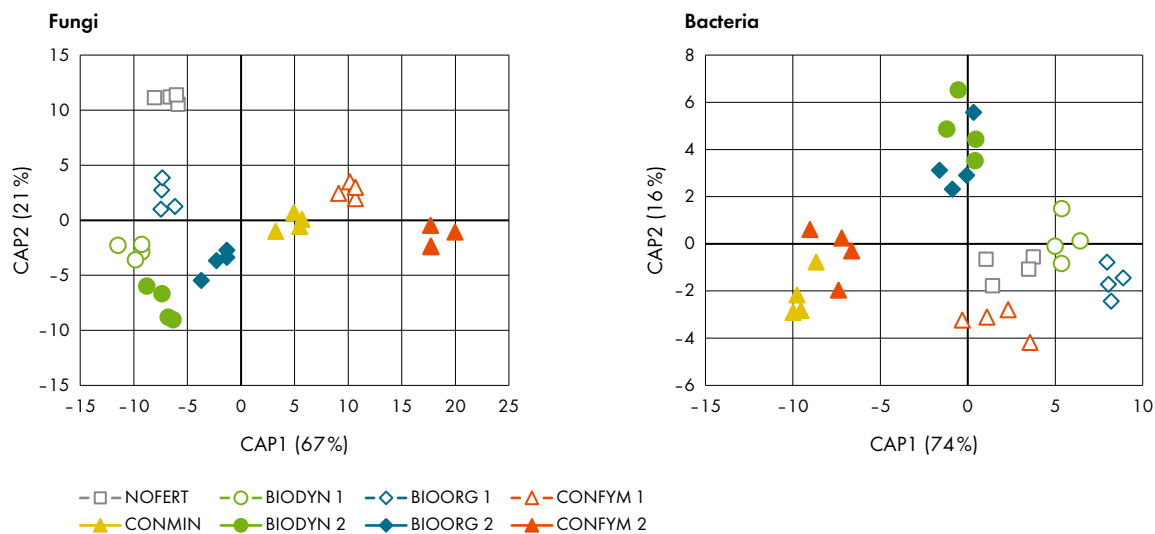
Undersøgelser i DOK-forsøget viser, at både antallet af arter og biomassen af nematoder er stærkt afhængig af organisk gødning. Nematoder, hvis foretrukne fødekilde er bakterier og planterester, er betydeligt mere almindelige i de organisk gødgede systemer. Nematoder, der lever af svampe, er mere almindelige i de mineralgødgede systemer. Der blev næsten ikke fundet nogen forskel mellem systemerne med organisk gødning.

Mikrobiel diversitet

Bakterier og svampe er ekstremt tilpasningsdygtige organismer, der udviser stor mangfoldighed i jorden og koloniserer selv de mindste levesteder i jordens porerum. De kan beskrives på baggrund af deres genetik, udseende og funktionalitet. Mange af svampene og bakterierne lever i samspil med andre mikroorganismer og danner samfund, hvor de forskellige stofskifteveje og livsformer understøtter hinanden.

Vigtige jordegenskaber, der påvirker den mikrobielle diversitet i jorden, omfatter pH-værdien, kulstofindholdet og jordstrukturen. I DOK-forsøget udviser hvert system sin egen unikke samfundsstruktur af jordsvampe og bakterier (figur 37). Jordsvampene viser en højere følsomhed over for det landbrugsmæssige dyrkningssystem. Dette ses i den tætte gruppering af de to intensitets-niveauer i de tre systemer BIODYN, BIOORG og CONFYM (figur 37). Bakterierne er derimod primært påvirket af gødningsintensiteten, hvilket ses af den tætte gruppering af de halvgødskede systemer og det ugødskede kontrolsystem.

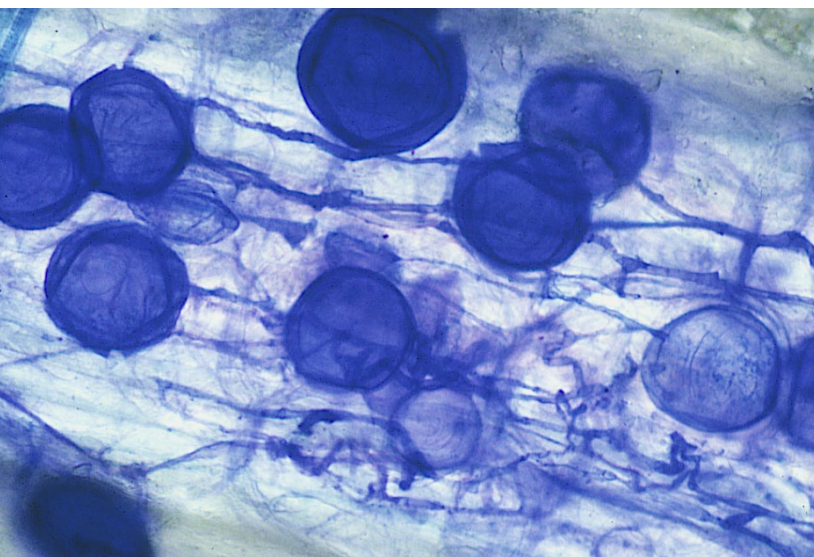
Figur 37: Samfundsstruktur for jordsvampe(fungi) og jordbakterier



Samfundsstruktur for jordsvampe (til venstre) og jordbakterier (til højre) i DOK-forsøget. Grafen viser lighederne mellem jordmikrober identificeret ved hjælp af markører. Hver prik svarer til samfundsstrukturen i en delparcel (parcel C). Jo tættere prikkerne er på hinanden, jo mere ens er strukturen. Jo længere prikkerne er fra hinanden, jo mere forskellig er samfundsstrukturen.



Blomstrende ukrudt tiltrækker insekter og er også med til at forme landskabet.



Symbiose mellem mykorrhiza-svampe og bælglplanter: her kan svampens reserveorganer (vesikler) og hyfer i rodbarken ses.

Svampes og bakteriers metaboliske aktivitet er afgørende for mange af de økosystemtjenester, som jorden leverer. Omvendt sikrer svampe og bakterier frugtbar jord med en høj lagringskapacitet.

Symbiotiske svampe, mykorrhiza, gør det muligt for dyrkede planter at udvide deres radius for optagelse af næringsstoffer og vand i jorden mange

gange, og dermed sikre deres forsyning. Den såkaldte endomykorrhiza i rodbarken er relativt uspecifik og kan kolonisere flere plantefamilier og slægter. Dette gør dem også til broer mellem rodnet værkene for forskellige plantearter i jorden; selv urteagtige og træagtige planter er forbundet via svampetråde (hyfer) og udveksler således kulhydrater og mineraler.

DOK-forsøget viste, især i de økologiske og ugødskede systemer, en høj grad af kolonisering af dyrkede planter med mykorrhizasvampe. Systemerne med mineralisk gødning viste et tydeligt fald i den symbiotiske aktivitet mellem svampene og de dyrkede planter. Dette kan være relateret til faldet i diversiteten af mykorrhizasamfundene.

I et eksperiment, der simulerede tørke i DOK-forsøget, blev der påvist en stigning i forekomsten af mykorrhiza i et økologisk system sammenlignet med et konventionelt system, mens andre biologiske indikatorer i jorden forblev upåvirkede. I BIODYN-systemet var mykorrhiza-svampe tre gange så hyppige under tørke som i det konventionelle CONMIN-system. Effekterne på planters vandbalance undersøges i øjeblikket. Ikke alle afgrøder er afhængige af symbiotiske svampe. I fravær af mykorrhiza er afgrøden imidlertid mere afhængig af opløselige gødningsstoffer og plantebeskyttelse. På lang sigt fører reduceret mikrobiel aktivitet i jord en til tab af jordstruktur og jordkvalitet.

Kort sagt: Biodiversitet

Størrelsen af forsøgsarealerne i DOK-forsøget begrænser udvælgelsen af arter og biodiversitetsindikatorer. Plantediversiteten i de økologiske systemer viste flere arter og to til tre gange så mange spiredygtige frø som i de konventionelle systemer. Jordbiller, rovbiller og edderkopper var omkring dobbelt så almindelige i de økologiske arealer som i de konventionelle. Økologisk gødning fremmer antallet og artsammensætningen af nematoder, der spiser bakterier og planter. Nematoder, der primært lever af svampe, var mere udbredte i CONMIN-systemet. Jordens svampe og bakterier udvikler sig meget forskelligt i de enkelte systemer: bakterier var stærkere påvirket af gødningens intensitet, mens svampe var mere påvirket af forskellene i systemet. Mykorrhizasvampe på dyrkede planter blev påvist hyppigere i de økologiske og ugødskede systemer. Deres forekomst steg under tørkestress, stærkest i BIODYN.

Klimaændringer

Landbrugssektoren er ansvarlig for omkring 14 % af Schweiz' drivhusgasemissioner, og bidrager derfor væsentligt til klimaforandringerne. Samtidig er landbruget også stærkt påvirket af klimaforandringerne. De globale drivhusgasemissioner stiger, og sandsynligheden for sommertørke kombineret med voldsomme storme forventes at stige i Centraleuropa. Landbruget må derfor udvikle strategier til at mindske drivhusgasserne og tilpasse sig klimaet for at øge robustheden over for ustabile vejrforhold.

Klimatilpasning gennem humusopbygning

Foranstaltninger, der fører til en bedre tilpasning af landbruget til konsekvenserne af klimaændringerne, bidrager ofte også til at forbedre jordkvaliteten og biodiversiteten.

Et eksempel herpå er dyrkningspraksis til opbygning af humus. Ved at opbygge og stabilisere humus fjernes kulstof fra atmosfæren, og jordkvaliteten forbedres. I DOK-forsøget er udviklingen i humusindholdet blevet overvåget i over 40 år. Det blev konstateret, at humusindholdet kun kunne øges eller holdes stabilt med organisk gødning. Opbygningen af humus er særlig udtalt i det biodynamiske system, selv om mængden af organisk gødning, der blev tilført som gødningskompost, var den laveste (se kapitlet »Forsøget«). På trods af tabet af kulstof og kvælstof under komposteringsprocessen synes kvaliteten af

den tilførte gødning at være den afgørende faktor for kulstofets stabilitet i jorden. Gennem opbygningen af kulstof i jorden kan brugen af økologiske dyrknings-systemer være en strategi til at afbøde og tilpasse sig klimaforandringerne. Stigningen i kulstofindholdet i jorden er dog meget langsom.

Sammenligning af drivhusgas-udledninger

De vigtigste drivhusgasser fra landbruget er kulstofdioxid CO_2 , lattergas N_2O og metan CH_4 . Disse tre gasser omregnes til CO_2 -ækvivalenter for at vurdere deres klimapåvirkning: lattergas har en faktor på 300 og metan en faktor på 28. Lattergas forbliver længere i atmosfæren og har en klimapåvirkning, der er 300 gange større.

På grund af N_2O 's store klimapåvirkning spiller kvælstofrelaterede drivhusgasemissioner en afgørende rolle for klimavurderingen i markbrug med veldrænede jorde. Fra 2012 blev N_2O - og CH_4 -emissionerne målt under kløvergræs, majs og grøngødning i løbet af 571 dage, og sammenlignet med den gennemsnitlige ændring i jordens kulstof lagre (figur 38). De højeste N_2O -emissioner blev målt i det konventionelle system med husdyrgødning og mineralsk gødning. Den høje kvælstoftilførsel i majs var sandsynligvis den afgørende faktor for systemets høje klimapåvirkning i måleperioden.



Haglskader i majsmarkerne i DOK-forsøget i 2022.

Fraværet af mineralsk kvælstof, en stabil jord-pH og en god jordstruktur er vigtige faktorer for at minimere N₂O-emissioner i de økologiske systemer.

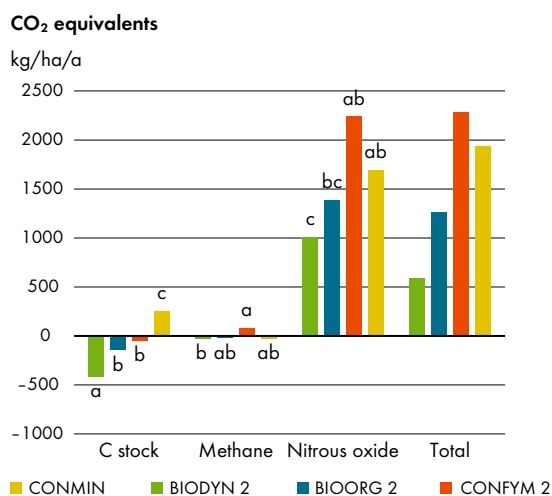
Det er bemærkelsesværdigt, at der i det biodynamiske system blev observeret en stigning i kulstof lagrene sammen med de laveste N₂O-emissioner. Dette resultat viser, at en stigning i jordens kulstof indhold ved brug af en tilpasset gødningsstrategi ikke nødvendigvis fører til øgede N₂O-emissioner. I forhold til arealet blev der målt 44 % mindre drivhusgasemissioner i BIOORG 2 og 63 % mindre i BIODYN 2, sammenlignet med det konventionelle system, hvor der i begge tilfælde blev anvendt typiske gødningsmetoder.

Robusthed overfor tørkestress

Hvordan dyrkningssystemer reagerer under tørkestress er et vigtigt spørgsmål for evnen til at tilpasse sig klimaforandringer. I den eksperimentelle sammenligning betød det mere mangfoldige bakteriesamfund i jorden i BIOORG 2, at tørkestress havde mindre indflydelse på proteaseaktivitet og N-mineralisering end i CONMIN. Som følge heraf udviklede planterne i BIOORG 2 sig betydeligt bedre under tørkestress.

Aktuelle undersøgelser fra DOK-forsøgene viser, at jordens vandfordampning er næsten den samme i alle dyrkningssystemer, ligesom den dybde, hvorfra planterne henter deres vand. Jordens fugtighed i rodzonen var imidlertid betydeligt højere i de økologiske systemer, og planterne var i stand til at udnytte vandet mere effektivt. Resultaterne tyder på, at økologiske landbrugssystemer har fordele med hensyn til agronomisk vandudnyttelses-effektivitet og er mere modstandsdygtige over for tørkestress. To store, igangværende projekter undersøger i øjeblikket dette nærmere.

Figur 38: Klimapåvirkning af jordbunden i DOK-forsøget



CO₂-ækvivalenter fra de fuldt gødskede dyrkningssystemer, vist for ændringerne i jordens organiske stof (SOM, humus) over alle 42 år og udledningen af lattergas og metan fra en næsten toårig måle kampagne under kløvergræs, majs og grøngødning i det sjette CRP.

Kort sagt: Klimaforandringer

Af de forskellige dyrkningssystemer var det kun det biodynamiske system, der anvendte typiske gødskningsniveauer, som lagrede yderligere organisk kulstof i jorden. De laveste udledninger af lattergas blev også målt i BIODYN-systemet. De høje udledningsniveauer i CONFYM 2 og CONMIN skyldes høje niveauer af kvælstofgødning. Samlet set var drivhusgasemissionerne pr. arealenhed 63 % lavere i BIODYN og 44 % lavere i BIOORG end i CONFYM. Under moderate tørkeperioder forbliver det mere diversificerede bakteriesamfund i økologisk dyrkede parceller aktivt i længere tid, hvilket kan have en positiv effekt på kvælstofmineraliseringen og dermed på plantevæksten.

Tak til

Det er takket være den langsigtede finansiering af forsøget fra det schweiziske forbundskontor for landbrug FOAG og den utrættelige indsats fra FiBL og Agroscope forsøgsledere, feltteamets engagement og landmændenes rådgivningsgruppes loyalitet, at forsøget har overlevet seks sædskifteperioder på hver syv år, og fortsat leverer svar og nye spørgsmål til landbrugs- og miljøforskningsprojekter. Forskere trækker fortsat intensivt på DOK-forsøget til projekter finansieret af det schweiziske nationale forskningsråd, Europa-Kommissionen, det føderale miljøagentur og mange andre organisationer.

Tak for den generøse økonomiske støtte.

- Federal Office for Agriculture FOAG
- Federal Office for the Environment FOEN
- Swiss National Science Foundation SNSF
- Coop Sustainability Fund
- European Commission

Tak for det gode samarbejde.

- Agroscope
- ETH Zurich
- University of Basel

Tak for at forpagte de værdifulde landbrugsforsøgsarealer

- Agrico Cooperative, Birsmatthof, Therwil
- Stamm family, Oberwil

Tak til medarbejderne hos

Agroscope og FiBL

Leder af DOK-forsøget, Agroscope

- Jean-Marc Besson[†]
- David Dubois
- Padruot Fried
- Jochen Mayer

Markteam og dataforvaltning, Agroscope

- Ernst Brack
- Shiva Ghiasi
- Lucie Gunst
- Werner Jossi
- Victor Lehmann
- Ernst Spiess
- Werner Stauffer
- Hansueli Zbinden

Leder af DOK forsøget, FiBL

- Paul Mäder
- Urs Niggli
- Henri Suter[†]
- Hartmut Vogtmann

Markteam og dataforvaltning, FiBL

- Thomas Alföldi
- Franz Augstburger
- Robert Frei
- Adrian Lustenberger
- Paul Mäder
- Frédéric Perrochet
- Moritz Sauter
- Andreas Schmutz
- Roland Widmer
- Marcel Züllig

Tak til de landmænd, der fungerede som rådgivere og medlemmer af DOK-supportteamet.

- Fritz Baumgartner[†], founder
- Daniel Böhler
- Ruedi Frey[†], founder
- Matthias Hünerfauth
- Andreas Ineichen
- Herman Lutke Schipholt
- Emil Meier[†]
- Hans Miesch[†]
- Christian Müller
- Hans Oswald[†]
- Benno Otter
- Rainer Sax
- Werner Scheidegger
- Urs Sprecher
- Niklaus Steiner
- Ruedi Ulrich
- Samuel Vogel
- Andreas Würsch
- Niklaus Wynistorf[†]

Tak til bidragsyderne

- Vittorio Delucchi[†]
- Günter Kahnt
- Susanna Küffer Heer
- Philippe Matile[†]
- Michael Rist[†]
- Hans-Rudolf Roth[†]

Tak til alle deltagende forskere og medarbejdere, både i felten og i laboratoriet, for deres værdifulde forskningsarbejde.

[†] død

Publikationer fra DOK-forsøget (peer reviewet)

Videnskabelige publikationer

1. Arncken, C. M., Mäder, P., Mayer, J., & Weibel, F. P. (2012). Sensory, yield and quality differences between organically and conventionally grown winter wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92, 2819-2825.
2. Autret, B., Mary, B., Strullu, L., Chlebowski, F., Mäder, P., Mayer, J., Olesen, J. E., & Beaudoin, N. (2020). Long-term modelling of crop yield, nitrogen losses and GHG balance in organic cropping systems. *Science of the Total Environment* 710, 134597.
3. Bai, Z., Caspari, T., Gonzalez, M. R., Batjes, N. H., Mäder, P., Bünemann, E. K., De Goede, R., Brussaard, L., Xu, M., Ferreira, C. S. S., Reintam, E., Fan, H., Mihelič, R., Glavan, M., & Tóth, Z. (2018). Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 265, 1-7.
4. Berchtold, A., Besson, J. M., & Feller, U. (1993). Effects of fertilization levels in two farming systems on senescence and nutrient contents in potato leaves. *Plant and Soil* 154(1), 81-88.
5. Besson, J. M., Spiess, E., & Niggli, U. (1995). N uptake in relation to N application during two crop rotations in the DOC field trial. *Biological agriculture & horticulture* 11(1-4), 69-75.
6. Birkhofer, K., Bezemer, T. M., Bloem, J., Bonkowski, M., Christensen, S., Dubois, D., Ekelund, F., Fliessbach, A., Gunst, L., Hedlund, K., Mader, P., Mikola, J., Robin, C., Setälä, H., Tatin-Froux, F., Van Der Putten, W. H., & Scheu, S. (2008). Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control and productivity. *Soil Biology & Biochemistry* 40(9), 2297-2308.
7. Birkhofer, K., Fliessbach, A., Wise, D. H., & Scheu, S. (2008). Generalist predators in organically and conventionally managed grass-clover fields: implications for conservation biological control. *Annals of Applied Biology* 153(2), 271-280.
8. Birkhofer, K., Fliessbach, A., Wise, D. H., & Scheu, S. (2011). Arthropod food webs in organic and conventional wheat farming systems of an agricultural long-term experiment: a stable isotope approach. *Agricultural and Forest Entomology* 13(2), 197-204.
9. Birkhofer, K., Fliessbach, A., Gavín-Centol, M. P., Hedlund, K., Ingimarsdóttir, M., Jørgensen, H. B., Kozjek, K., Meyer, S., Montserrat, M., Moreno, S. S., Laraño, J. M., Scheu, S., Serrano-Carnero, D., Truu, J., & Kundel, D. (2021). Conventional agriculture and not drought alters relationships between soil biota and functions. *Scientific Reports* 11(1), 23975.
10. Bongiorno, G., Bünemann, E. K., Oguejiofor, C. U., Meier, J., Gort, G., Comans, R., Mäder, P., Brussaard, L., & De Goede, R. (2019). Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. *Ecological Indicators* 99, 38-50.
11. Bongiorno, G., Postma, J., Bünemann, E. K., Brussaard, L., De Goede, R. G. M., Mäder, P., Tamm, L., & Thuerig, B. (2019). Soil suppressiveness to *Pythium ultimum* in ten European long-term field experiments and its relation with soil parameters. *Soil Biology & Biochemistry* 133, 174-187.
12. Bongiorno, G., Bodenhausen, N., Bünemann, E. K., Brussaard, L., Geisen, S., Mäder, P., Quist, C. W., Walser, J.-C., & De Goede, R. G. M. (2019). Reduced tillage, but not organic matter input, increased nematode diversity and food web stability in European long-term field experiments. *Molecular Ecology* 28(22), 4987-5005.
13. Bongiorno, G., Bünemann, E. K., Brussaard, L., Mäder, P., Oguejiofor, C. U., & De Goede, R. G. M. (2020). Soil management intensity shifts microbial catabolic profiles across a range of European long-term field experiments. *Applied Soil Ecology* 154, 103596.
14. Bonte, A., Neuweget, H., Goesmann, A., Thonar, C., Mäder, P., Langenkämper, G., & Niehaus, K. (2014). Metabolite profiling on wheat grain to enable a distinction of samples from organic and conventional farming systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94(13), 2605-2612.
15. Bosshard, C., Frossard, E., Dubois, D., Mäder, P., Manolov, I., & Oberson, A. (2008). Incorporation of nitrogen-15-labeled amendments into physically separated soil organic matter fractions. *Soil Science Society of America Journal* 72(4), 949-959.
16. Bosshard, C., Sørensen, P., Frossard, E., Dubois, D., Mäder, P., Nanzer, S., & Oberson, A. (2009). Nitrogen use efficiency of 15 N-labelled sheep manure and mineral fertiliser applied to microplots in long-term organic and conventional cropping systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 83(3), 271-287.
17. Brock, C., Fliessbach, A., Oberholzer, H.-R., Schulz, F., Wiesinger, K., Reinicke, F., Koch, W., Pallutt, B., Dittman, B., Zimmer, J., Hülsbergen, K.-J., & Leithold, G. (2011). Relation between soil organic matter and yield levels of nonlegume crops in organic and conventional farming systems. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 174(4), 568-575.
18. Brock, C., Hoyer, U., Leithold, G., & Hülsbergen, K.-J. (2012). The humus balance model (HU-MOD): a simple tool for the assessment of management change impact on soil organic matter levels in arable soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 92(3), 239-254.
19. Chalker-Scott, L. (2013). The science behind biodynamic preparations: A literature review. *Horttechnology* 23(6), 814-819.
20. Chowdhury, S. P., Babin, D., Sandmann, M., Jacquiod, S., Sommermann, L., Sørensen, S. J., Fliessbach, A., Mäder, P., Geistlinger, J., Smalla, K., Rothballer, M., & Grosch, R. (2019). Effect of long-term organic and mineral fertilization strategies on rhizosphere microbiota assemblage and performance of lettuce. *Environmental Microbiology*.
21. Dubois, D., Scherrer, C., Gunst, L., Jossi, W., & Stauffer, W. (1998). Effect of different farming systems on the weed seed bank in the long term-trials Chaiblen and DOK. *Journal of Plant Diseases and Protection (Special issue XVI)*, 67-74.
22. Dos Reis Martins, M., Necpalova, M., Ammann, C., Buchmann, N., Calanca, P., Flechard, C. R., Hartman, M. D., Krauss, M., Le Roy, P., Mäder, P., Maier, R., Morvan, T., Nicolardot, B., Skinner, C., Six, J., & Keel, S. G. (2022). Modeling N₂O emissions of complex cropland management in Western Europe using DayCent: Performance and scope for improvement. *European Journal of Agronomy* 141, 126613.
23. Esperschütz, J., Gattinger, A., Mäder, P., Schlöter, M., & Fliessbach, A. (2007). Response of soil microbial biomass and community structures to conventional and organic farming systems under identical crop rotations. *FEMS Microbiology Ecology* 61(1), 26-37.
24. Fliessbach, A., & Mäder, P. (2000). Microbial biomass and size-density fractions differ between soils of organic and conventional agricultural systems. *Soil Biology & Biochemistry* 32(6), 757-768.

25. Fliessbach, A., & Mäder, P. (2004). Short- and long-term effects on soil microorganisms of two potato pesticide spraying sequences with either glufosinate or dinoseb as defoliant. *Biology and Fertility of Soils* 40(4), 268-276.
26. Fliessbach, A., Imhof, D., Brunner, T., & Wüthrich, C. (1999). Tiefenverteilung und zeitliche Dynamik der mikrobiellen Biomasse in biologisch und konventionell bewirtschafteten Böden. *Regio Basiliensis* 3(40), 253-263.
27. Fliessbach, A., Mäder, P., & Niggli, U. (2000). Mineralization and microbial assimilation of 14 C-labeled straw in soils of organic and conventional agricultural systems. *Soil Biology & Biochemistry* 32(8-9), 1131-1139.
28. Fliessbach, A., Messmer, M., Nietlisbach, B., Infante, V., & Mäder, P. (2012). Effects of conventionally bred and *Bacillus thuringiensis* (Bt) maize varieties on soil microbial biomass and activity. *Biology and Fertility of Soils* 48(3), 315-324.
29. Fliessbach, A., Nietlisbach, B., Messmer, M., Rodríguez-Romero, A.-S., & Mäder, P. (2013). Microbial response of soils with organic and conventional management history to the cultivation of *Bacillus thuringiensis* (Bt)-maize under climate chamber conditions. *Biology and Fertility of Soils* 49(7), 829-837.
30. Fliessbach, A., Oberholzer, H.-R., Gunst, L., & Mäder, P. (2007). Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118, 273-284.
31. Fliessbach, A., Winkler, M., Lutz, M. P., Oberholzer, H.-R., & Mäder, P. (2009). Soil amendment with *Pseudomonas fluorescens* CHA0: lasting effects on soil biological properties in soils low in microbial biomass and activity. *Microbial Ecology* 57(4), 611-623.
32. Frossard, E., Buchmann, N., Bünemann, E. K., Kiba, D. I., Lompo, F., Oberson, A., Tamburini, F., Traore, O.Y.A. (2016). Soil properties and not inputs control carbon: nitrogen: phosphorus ratios in cropped soils in the long term. *SOIL* 2, 83-99.
33. Fuchs, J. G., Fliessbach, A., Mäder, P., Weibel, F. P., Tamm, L., Mayer, J., & Schleiss, K. (2014). Effects of compost on soil fertility parameters in short-, mid- and long-term field experiments. *Acta Horticulturae* 1018, 39-46.
34. García-Palacios, P., Gättinger, A., Bracht-Jørgensen, H., Brussaard, L., Carvalho, F., Castro, H., Clément, J.-C., De Deyn, G., D'Hertefeldt, T., Foulquier, A., Hedlund, K., Lavorel, S., Legay, N., Lori, M., Mäder, P., Martínez-García, L. B., Martins Da Silva, P., Muller, A., Nascimento, E., Reis, F., Symanczik, S., Paulo Sousa, J., & Milla, R. (2018). Crop traits drive soil carbon sequestration under organic farming. *Journal of Applied Ecology* 55(5), 2496-2505.
35. Gasser, M., Hammelehle, A., Oberson, A., Frossard, E., & Mayer, J. (2015). Quantitative evidence of overestimated rhizodeposition using N-15 leaf labelling. *Soil Biology & Biochemistry* 85, 10-20.
36. Gättinger, A., Muller, A., Haeni, M., Skinner, C., Fliessbach, A., Buchmann, N., Mäder, P., Stolze, M., Smith, P., Scialabba, N. E.-H., & Niggli, U. (2012). Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109(44), 18226-18231.
37. Grüter, R., Costerousse, B., Mayer, J., Mäder, P., Thonar, C., Frossard, E., Schulin, R., & Tandy, S. (2019). Long-term organic matter application reduces cadmium but not zinc concentrations in wheat. *Science of the Total Environment* 669, 608-620.
38. Hammelehle, A., Oberson, A., Lüscher, A., Mäder, P., & Mayer, J. (2018). Above- and belowground nitrogen distribution of a red clover-perennial ryegrass sward along a soil nutrient availability gradient established by organic and conventional cropping systems. *Plant and Soil* 425(1), 507-525.
39. Hartmann, M., & Widmer, F. (2006). Community structure analyses are more sensitive to differences in soil bacterial communities than anonymous diversity indices. *Applied and Environmental Microbiology* 72(12), 7804-7812.
40. Hartmann, M., Fliessbach, A., Oberholzer, H.-R., & Widmer, F. (2006). Ranking the magnitude of crop and farming system effects on soil microbial biomass and genetic structure of bacterial communities. *FEMS Microbiology Ecology* 57, 378-388.
41. Hartmann, M., Frey, B., Kölliker, R., & Widmer, F. (2005). Semi-automated genetic analyses of soil microbial communities: comparison of T-RFLP and RISA based on descriptive and discriminative statistical approaches. *Journal of Microbiological Methods* 61, 349-360.
42. Hartmann, M., Frey, B., Mayer, J., Mäder, P., & Widmer, F. (2015). Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *The ISME Journal* 9, 1177.
43. Haubert, D., Birkhofer, K., Fliessbach, A., Gehre, M., Scheu, S., & Russ, L. (2009). Trophic structure and major trophic links in conventional versus organic farming systems as indicated by carbon stable isotope ratios of fatty acids. *Oikos* 118(10), 1579-1589.
44. Heger, T. J., Straub, F., & Mitchell, E. A. D. (2012). Impact of farming practices on soil diatoms and testate amoebae: A pilot study in the DOK-trial at Therwil, Switzerland. *European Journal of Soil Biology* 49(0), 31-36.
45. Hijri, I., Sykora, Z., Oehl, F., Ineichen, K., Mäder, P., Wiemken, A., & Redecker, D. (2006). Communities of arbuscular mycorrhizal fungi in arable soils are not necessarily low in diversity. *Molecular Ecology* 15, 2277-2289.
46. Hildermann, I., Messmer, M., Dubois, D., Boller, T., Wiemken, A., & Mäder, P. (2010). Nutrient use efficiency and arbuscular mycorrhizal root colonisation of winter wheat cultivars in different farming systems of the DOK long-term trial. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90(12), 2027-2038.
47. Hildermann, I., Thommen, A., Dubois, D., Boller, T., Wiemken, A., & Mäder, P. (2009). Yield and baking quality of winter wheat cultivars in different farming systems of the DOK long-term trial. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89(14), 2477-2491.
48. Hirte, J., Leifeld, J., Abiven, S., & Mayer, J. (2018). Maize and wheat root biomass, vertical distribution, and size class as affected by fertilization intensity in two long-term field trials. *Field Crops Research* 216, 197-208.
49. Hirte, J., Leifeld, J., Abiven, S., Oberholzer, H.-R., Hammelehle, A., & Mayer, J. (2017). Overestimation of crop root biomass in field experiments due to extraneous organic matter. *Frontiers in Plant Science* 8(284).
50. Jaffuel, G., Mäder, P., Blanco-Perez, R., Chiriboga, X., Fliessbach, A., Turlings, T. C. J., & Campos-Herrera, R. (2016). Prevalence and activity of entomopathogenic nematodes and their antagonists in soils that are subject to different agricultural practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 230, 329-340.
51. Joergensen, R., Mäder, P., & Fliessbach, A. (2010). Long-term effects of organic farming on fungal and bacterial residues in relation to microbial energy metabolism. *Biology and Fertility of Soils* 46, 303-307.
52. Kahl, J., Busscher, N., Mergardt, G., Mäder, P., Torp, T., & Ploeger, A. (2015). Differentiation of organic and non-organic winter wheat cultivars from a controlled field trial by crystallization patterns. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95(1), 53-58.

53. Keel, S. G., Anken, T., Büchi, L., Chervet, A., Fliessbach, A., Flisch, R., Huguenin-Elie, O., Mäder, P., Mayer, J., Sinaj, S., Stürny, W., Wüst-Galley, C., Zihlmann, U., & Leifeld, J. (2019). Loss of soil organic carbon in Swiss long-term agricultural experiments over a wide range of management practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 286, 106654.
54. Keller, M., Oberson, A., Annaheim, K. E., Tamburini, F., Mäder, P., Mayer, J., Frossard, E., & Bünemann, E. K. (2012). Phosphorus forms and enzymatic hydrolyzability of organic phosphorus in soils after 30 years of organic and conventional farming. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 175(3), 385-393.
55. Kessler, N., Bonte, A., Albaum, S. P., Mäder, P., Messmer, M., Goesmann, A., Niehaus, K., Langenkämper, G., & Nattkemper, T. W. (2015). Learning to classify organic and conventional wheat – a machine learning driven approach using the MeltDB 2.0 metabolomics analysis platform. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 3, 35.
56. Knapp, S., Gunst, L., Mäder, P., Ghiasi, S., & Mayer, J. (2023). Organic cropping systems maintain yields but have lower yield levels and yield stability than conventional systems – Results from the DOK trial in Switzerland. *Field Crops Research* 302, 109072.
57. Kozjek, K., Kundel, D., Kushwaha, S. K., Olsson, P. A., Ahrén, D., Fliessbach, A., Birkhofer, K., & Hedlund, K. (2021). Long-term agricultural management impacts arbuscular mycorrhizal fungi more than short-term experimental drought. *Applied Soil Ecology* 168, 104140.
58. Krause, H. M., Thonar, C., Eschenbach, W., Well, R., Mader, P., Behrens, S., Kappler, A., & Gättinger, A. (2017). Long term farming systems affect soils potential for N₂O production and reduction processes under denitrifying conditions. *Soil Biology & Biochemistry* 114, 31-41.
59. Krause, H.-M., Stehle, B., Mayer, J., Mayer, M., Steffens, M., Mäder, P., & Fliessbach, A. (2022). Biological soil quality and soil organic carbon change in biodynamic, organic, and conventional farming systems after 42 years. *Agronomy for Sustainable Development* 42(6), 117.
60. Krause, H.-M., Stehle, B., Mayer, J., Mayer, M., Steffens, M., Mäder, P., & Fliessbach, A. (2022). Soil organic carbon over 42 years of organic and conventional farming and biological soil quality in year 42 of the DOK long-term field experiment. *PANGAEA*. DOI 10.1594/PANGAEA.948567
61. Kundel, D., Bodenhausen, N., Jørgensen, H. B., Truu, J., Birkhofer, K., Hedlund, K., Mäder, P., & Fliessbach, A. (2020). Effects of simulated drought on biological soil quality, microbial diversity and yields under long-term conventional and organic agriculture. *FEMS Microbiology Ecology* 96(12).
62. Kundel, D., Lori, M., Fliessbach, A., Van Kleunen, M., Meyer, S., & Mäder, P. (2021). Drought Effects on Nitrogen Provisioning in Different Agricultural Systems: Insights Gained and Lessons Learned from a Field Experiment. *Nitrogen* 2(1), 1-17.
63. Kundel, D., Meyer, S., Birkhofer, H., Fliessbach, A., Mäder, P., Scheu, S., Van Kleunen, M., & Birkhofer, K. (2018). Design and manual to construct rainout-shelters for climate change experiments in agroecosystems. *Frontiers in Environmental Science* 6(14).
64. Langenkämper, G., Zörb, C., Seifert, M., Mäder, P., Fretzdorff, B., & Betsche, T. (2006). Nutritional quality of organic and conventional wheat. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 80, 150-154.
65. Langmeier, M., Frossard, E., Kreuzer, M., Mäder, P., Dubois, D., & Oberson, A. (2002). Nitrogen fertilizer value of cattle manure applied on soils originating from organic and conventional farming systems. *Agronomie* 22, 789-800.
66. Leifeld, J., Reiser, R., & Oberholzer, H. R. (2009). Consequences of conventional versus organic farming on soil carbon: Results from a 27-year field experiment. *Agronomy Journal* 101(5), 1204-1218.
67. Lori, M., Piton, G., Symanczik, S., Legay, N., Brussaard, L., Jaenicke, S., Nascimento, E., Reis, F., Sousa, J. P., Mäder, P., Gättinger, A., Clément, J.-C., & Foulquier, A. (2020). Compared to conventional, ecological intensive management promotes beneficial proteolytic soil microbial communities for agro-ecosystem functioning under climate change-induced rain regimes. *Scientific Reports* 10(1), 7296.
68. Lori, M., Symanczik, S., Mäder, P., Efosa, N., Jaenicke, S., Buegger, F., Tresch, S., Goesmann, A., & Gättinger, A. (2018). Distinct nitrogen provisioning from organic amendments in soil as influenced by farming system and water regime. *Frontiers in Environmental Science* 6(40).
69. Lori, M., Symanczik, S., Mäder, P., De Deyn, G., & Gättinger, A. (2017). Organic farming enhances soil microbial abundance and activity – A meta-analysis and meta-regression. *PLOS ONE* 12(7), e0180442.
70. Lori, M., Hartmann, M., Kundel, D., Mayer, J., Mueller, R.C., Mäder, P., Krause H.-M. (2023). Soil microbial communities are sensitive to differences in fertilization intensity in organic and conventional farming systems. *FEMS Microbiology Ecology* 99 (6).
71. Mäder, P., & Berner, A. (2012). Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. *Renewable Agriculture and Food Systems* 27(Special Issue 01), 7-11.
72. Mäder, P., Alfvöldi, T., Niggli, U., Besson, J.-M., & Dubois, D. (1997). Der Wert des DOK-Versuches unter den Aspekten moderner agrarwissenschaftlicher Forschung. *Archiv für Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde* 42, 279-301.
73. Mäder, P., Edenhofer, S., Boller, T., Wiemken, A., & Niggli, U. (2000). Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *Biology and Fertility of Soils* 31, 150-156.
74. Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., & Niggli, U. (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296, 1694-1697.
75. Mäder, P., Hahn, D., Dubois, D., Gunst, L., Alfvöldi, T., Bergmann, H., Oehme, M., Amadö, R., Schneider, H., Graf, U., Velimirov, A., Fliessbach, A., & Niggli, U. (2007). Wheat quality in organic and conventional farming: Results of a 21-year old field experiment. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87(10), 1826-1835.
76. Mäder, P., Kaiser, F., Adholeya, A., Singh, R., Uppal, H. S., Sharma, A. K., Srivastava, R., Sahai, V., Aragno, M., Wiemken, A., Johri, B. N., & Fried, P. M. (2011). Inoculation of root micro-organisms for sustainable wheat-rice and wheat-black gram rotations in India. *Soil Biology and Biochemistry* 43(3), 609-619.
77. Mäder, P., Pfiffner, L., Niggli, U., Balzer, U., Balzer, F., Plocherberger, K., Velimirov, A., & Besson, J.-M. (1993). Effect of three farming systems (bio-dynamic, bio-organic, conventional) on yield and quality of beetroot (*Beta vulgaris* L. var. *esculenta* L.) in a seven year crop rotation. *Acta Horticulturae* 339, 11-31.
78. Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., & Niggli, U. (2002). The Ins and Outs of Organic Farming. FiBL response to the letter of Goklany in *Science* Vol 298. *Science* 298(5600), 1889-1890.
79. Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., & Niggli, U. (2002). Organic Farming and Energy Efficiency. FiBL response to the letter of Zobel in *Science* Vol 298. *Science* 298(5600), 1891-1891.

80. Marinari, S., Liburdi, K., Fliessbach, A., & Kalbitz, K. (2010). Effects of organic management on water-extractable organic matter and C mineralization in European arable soils. *Soil & Tillage Research* 106(2), 211-217.
81. Mayer, J., Gunst, L., Mäder, P., Samson, M.-F., Carcea, M., Narducci, V., Thomsen, I. K., & Dubois, D. (2015). Productivity, quality and sustainability of winter wheat under long-term conventional and organic management in Switzerland. *European Journal of Agronomy* 65(0), 27-39.
82. Mayer, M., Krause, H.-M., Fliessbach, A., Mäder, P., & Steffens, M. (2022). Fertilizer quality and labile soil organic matter fractions are vital for organic carbon sequestration in temperate arable soils within a long-term trial in Switzerland. *Geoderma* 426, 116080.
83. Mosimann, C., Oberhansli, T., Ziegler, D., Nassal, D., Kandeler, E., Boller, T., Mader, P., & Thonar, C. (2017). Tracing of two *Pseudomonas* strains in the root and rhizoplane of maize, as related to their plant growth-promoting effect in contrasting soils. *Frontiers in Microbiology* 7, 14.
84. Necpalova, M., Lee, J., Skinner, C., Büchi, L., Wittwer, R., Gättinger, A., Van Der Heijden, M., Mäder, P., Charles, R., Berner, A., Mayer, J., & Six, J. (2018). Potentials to mitigate greenhouse gas emissions from Swiss agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 265, 84-102.
85. Nemecek, T., Dubois, D., Huguenin-Elie, O., & Gaillard, G. (2006). Life cycle assessment of Swiss organic farming systems. *Aspects of Applied Biology* 79, 15-18.
86. Nemecek, T., Dubois, D., Huguenin-Elie, O., & Gaillard, G. (2011). Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agricultural Systems* 104(3), 217-232.
87. Nemecek, T., Huguenin-Elie, O., Dubois, D., Gaillard, G., Schaller, B., & Chervet, A. (2011). Life cycle assessment of Swiss farming systems: II. Extensive and intensive production. *Agricultural Systems* 104(3), 233-245.
88. Oberson, A., Besson, J. M., Maire, N., & Sticher, H. (1996). Microbiological processes in soil organic phosphorus transformations in conventional and biological cropping systems. *Biology and Fertility of Soils* 21(3), 138-148.
89. Oberson, A., Fardeau, J.-C., Besson, J.-M., & Sticher, H. (1993). Soil phosphorus dynamics in cropping systems managed according to conventional and biological methods. *Biology and Fertility of Soils* 16, 111-117.
90. Oberson, A., Frossard, E., Bühlmann, C., Mayer, J., Mäder, P., & Lüscher, A. (2013). Nitrogen fixation and transfer in grass-clover leys under organic and conventional cropping systems. *Plant and Soil* 371(1), 237-255.
91. Oberson, A., Nanzer, S., Bosshard, C., Dubois, D., Mäder, P., & Frossard, E. (2007). Symbiotic N₂ fixation by soybean in organic and conventional cropping systems estimated by N-15 dilution and N-15 natural abundance. *Plant and Soil* 290(1-2), 69-83.
92. Oberson, A., Tagmann, H., Langmeier, M., Dubois, D., Mäder, P., & Frossard, E. (2010). Fresh and residual phosphorus uptake by ryegrass from soils with different fertilization histories. *Plant and Soil* 334(1), 391-407.
93. Oberson, A., Jarosch, K. A., Frossard, E., Hammelehle, A., Fliessbach, A., Mäder, P., Mayer, J. (2024). Higher than expected: Nitrogen flows, budgets, and use efficiencies over 35 years of organic and conventional cropping. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 362, 108802.
94. Oehl, F., Frossard, E., Fliessbach, A., Dubois, D., & Oberson, A. (2004). Basal organic phosphorus mineralization in soils under different farming systems. *Soil Biology & Biochemistry* 36, 667-675.
95. Oehl, F., Oberson, A., Probst, M., Fliessbach, A., Roth, H. R., & Frossard, E. (2001). Kinetics of microbial phosphorus uptake in cultivated soils. *Biology and Fertility of Soils* 34(1), 31-41.
96. Oehl, F., Oberson, A., Sinaj, S., & Frossard, E. (2001). Organic phosphorus mineralization studies using isotopic dilution techniques. *Soil Science Society of America Journal* 65, 780-787.
97. Oehl, F., Oberson, A., Tagmann, H. U., Besson, J.-M., Dubois, D., Mäder, P., Roth, H.-R., & Frossard, E. (2002). Phosphorus budget and phosphorus availability in soils under organic and conventional farming. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 62, 25-35.
98. Oehl, F., Sieverding, E., Ineichen, K., Mäder, P., Boller, T., & Wiemken, A. (2003). Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of central Europe. *Applied and Environmental Microbiology* 69(5), 2816-2824.
99. Oehl, F., Sieverding, E., Ineichen, K., Mäder, P., Wiemken, A., & Boller, T. (2009). Distinct sporulation dynamics of arbuscular mycorrhizal fungal communities from different agroecosystems in long-term microcosms. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 134, 257-268.
100. Oehl, F., Sieverding, E., Mäder, P., Dubois, D., Ineichen, K., Boller, T., & Wiemken, A. (2004). Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia* 138, 574-583.
101. Pesaro, M., & Widmer, F. (2006). Identification and specific detection of a novel *Pseudomonadaceae* cluster associated with soils from winter wheat plots of a long-term agricultural field experiment. *Applied and Environmental Microbiology* 72(1), 37-43.
102. Pfiffner, L., & Luka, H. (2007). Earthworm populations in two low-input cereal farming systems. *Applied Soil Ecology* 37(3), 184-191.
103. Pfiffner, L., & Luka, H. (2000). Overwintering of arthropods in soils of arable fields and adjacent semi-natural habitats. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 78, 215-222.
104. Pfiffner, L., & Mäder, P. (1997). Effects of biodynamic, organic and conventional production systems on earthworm populations. *Biological Agriculture and Horticulture – Entomological Research in Organic Agriculture* 15, 3-10.
105. Pfiffner, L., Besson, J., & Niggli, U. (1995). DOK-Versuch: Vergleichende Langzeituntersuchungen in den drei Anbausystemen biologisch-dynamisch, organisch-biologisch und konventionell. III. Boden: Untersuchungen über die epigäischen Nutzarthropoden, insbesondere auf die Laufkäfer (Col. Carabidae), in Winterweizenparzellen. *Schweiz. Landw. Forsch. Sonderheft* 1: 1-15.
106. Pfiffner, L., & Niggli, U. (1996). Effects of bio-dynamic, organic and conventional farming on ground beetles (Col. Carabidae) and other epigeic arthropods in winter wheat. *Biological Agriculture and Horticulture* 12: 353-364.
107. Pfiffner, L. (1993). Long-term effects of biological and conventional farming on earthworm populations. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 156(3), 259-265.
108. Rotches-Ribalta, R., Armengot, L., Mäder, P., Mayer, J., & Sans, F. X. (2017). Long-term management affects the community composition of arable soil seedbanks. *Weed Science* 65(1), 73-82.
109. Schärer, M.-L., Dietrich, L., Kundel, D., Mäder, P., & Kahmen, A. (2022). Reduced plant water use can explain higher soil moisture in organic compared to conventional farming systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 332, 107915.
110. Scheifele, M., Hobi, A., Buegger, F., Gättinger, A., Schulin, R., Boller, T., & Mäder, P. (2017). Impact of pyrochar and hydrochar on soybean (*Glycine max* L.) root nodulation and biological nitrogen fixation. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 180(2), 199-211.

111. Schneider, S., Hartmann, M., Enkerli, J., & Widmer, F. (2010). Fungal community structure in soils of conventional and organic farming systems. *Fungal Ecology* 3(3), 215-224.
112. Siegrist, S., Schaub, D., Pfiffner, L., & Mäder, P. (1998). Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long-term field study on loess in Switzerland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 69, 253-264.
113. Simpson, R.J., Oberson, A., Culvenor, R.A., Ryan, M.H., Veneklaas, E.J., Lambers, H., Lynch, J.P., Ryan, P.R., Delhaize, E., Smith, F.A., Smith, S.E., Harvey, P.R., Richardson, A.E. 2011. Strategies and agronomic interventions to improve the phosphorus-use efficiency of farming systems. *Plant Soil* 349, 89-120.
114. Skinner, C., Gattinger, A., Krauss, M., Krause, H.-M., Mayer, J., Van Der Heijden, M. G. A., & Mäder, P. (2019). The impact of long-term organic farming on soil-derived greenhouse gas emissions. *Scientific Reports* 9(1), 1702.
115. Skinner, C., Gattinger, A., Muller, A., Mäder, P., Fliessbach, A., Stolze, M., Ruser, R., & Niggli, U. (2014). Greenhouse gas fluxes from agricultural soils under organic and non-organic management – A global meta-analysis. *Science of The Total Environment* 468–469, 553-563.
116. Stracke, B. A., Eitel, J., Watzl, B., Mäder, P., & Rüfer, C. E. (2009). Influence of the production method on phytochemical concentrations in whole wheat (*Triticum aestivum* L.): A comparative study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(21), 10116-10121.
117. Schwalb, S. A., Li, S., Hemkemeyer, M., Heinze, S., Joergensen, R. G., Mayer, J., Mäder, P., & Wichern, F. (2023). Long-term differences in fertilisation type change the bacteria:archaea:fungi ratios and reveal a heterogeneous response of the soil microbial ionome in a Haplic Luvisol. *Soil Biology and Biochemistry* 177, 108892.
118. Tamm, L., Thürig, B., Bruns, C., Fuchs, J. G., Köpke, U., Laustela, M., Leifert, C., Mahlberg, N., Nietlispach, B., Schmidt, C., Weber, F., & Fliessbach, A. (2010). Soil type, management history, and soil amendments influence the development of soil-borne (*Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*) and air-borne (*Phytophthora infestans*, *Hyaloperonospora parasitica*) diseases. *European Journal of Plant Pathology* 127(4), 465-481.
119. Tamm, L., Thürig, B., Fliessbach, A., Goltlieb, A. E., Karavani, S., & Cohen, Y. (2011). Elicitors and soil management to induce resistance against fungal plant diseases. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences* 58(3-4), 131-137.
120. Thuerig, B., Fliessbach, A., Berger, N., Fuchs, J. G., Kraus, N., Mahlberg, N., Nietlispach, B., & Tamm, L. (2009). Re-establishment of suppressiveness to soil- and air-borne diseases by re-inoculation of soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry* 41(10), 2153-2161.
121. Widmer, F., Rasche, F., Hartmann, M., & Fliessbach, A. (2006). Community structures and substrate utilization of bacteria in soils from organic and conventional farming systems of the DOK long-term field experiment. *Applied Soil Ecology* 33(3), 294-307.
122. Woese, K., Lange, D., Boess, C., & Bogl, K. W. (1997). A comparison of organically and conventionally grown foods – Results of a review of the relevant literature. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 74(3), 281-293.
123. Zörb, C., Langenkämper, G., Betsche, T., Neehaus, K., & Barsch, A. (2006). Metabolite profiling of wheat grains (*Triticum aestivum* L.) from organic and conventional agriculture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54(21), 8301-8306.
124. Zörb, C., Niehaus, K., Barsch, A., Betsche, T., & Langenkämper, G. (2009). Levels of compounds and metabolites in wheat ears and grains in organic and conventional agriculture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(20), 9555-9562.

Bogkapitler

1. FAC, & FiBL. (Eds) (1995). DOK-Versuch: vergleichende Langzeit-Untersuchungen in den drei Anbausystemen biologisch-Dynamisch, Organisch-biologisch und Konventionell. Bern: Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).
2. Fliessbach, A., Eychorn, F., Mäder, P., Rentsch, D., & Hany, R. (2001). DOK long-term farming systems trial: Microbial biomass, activity and diversity affect the decomposition of plant residues. In *Sustainable Management of Soil Organic Matter* Eds R. M. Rees, B. C. Ball, C. D. Campbell & C. A. Watson, pp. 363-369. London: CABI.
3. Fliessbach, A., & Mäder, P. (1997). Carbon source utilization by microbial communities in soils under organic and conventional farming practice. In *Microbial Communities – Functional versus Structural Approaches* Eds H. Insam & A. Rangger, pp. 109-120. Berlin: Springer.
4. Frey, B., Brunner, I., Christie, P., Wiemken, A., & Mäder, P. (1998). The use of polytetrafluoroethylene (PTFE) hydrophobic membranes to study transport of ¹⁵N by mycorrhizal hyphae. In *Mycorrhiza Manual* (Ed A. Varma), pp. 151-158. Heidelberg: Springer.
5. Frossard, E., Bünemann, E.K., Gunst, L., Oberson, A., Schärer, M., Tamburini, F. (2016). Fate of fertilizer P in soils the organic pathway. In: Schnug, E., De Kok, L.J. (Eds.), *Phosphorus in agriculture: 100 % zero*. Springer Dordrecht, pp. 41-61.
6. Fuchs, J. G., Fliessbach, A., Mäder, P., Weibel, F. P., Tamm, L., Mayer, J., & Schleiss, K. (2014). Effects of compost on soil fertility parameters in short-, mid- and long-term field experiments. In *International Symposium on Organic Matter Management and Compost Use in Horticulture* Eds J. Biala, R. Prange & M. Raviv, pp. 39-46.
7. Krause, H.-M., Fliessbach, A., Mayer, J., & Mäder, P. (2020). Chapter 2 - Implementation and management of the DOK long-term system comparison trial. In *Long-Term Farming Systems Research* Eds G. S. Bhullar & A. Riar, pp. 37-51. Academic Press.
8. Mayer, J., & Mäder, P. (2016). Langzeitversuche – Eine Analyse der Ertragsentwicklung. In *Forschung im Ökologischen Landbau* Eds. B. Freyer pp.421-445 Stuttgart VTB.
9. Mäder, P. (1997). Erhöhte bodenmikrobiologische Aktivität durch ökologischen Landbau. In *Naturschutz durch ökologischen Landbau. Ökologische Konzepte* 95 Eds H. Weiger & H. Willer, pp. 49-72. Bad Dürkheim: Deukalion, Stiftung Ökologie und Landbau.
10. Mäder, P., Alföldi, T., Fliessbach, A., Pfiffner, L., & Niggli, U. (1999). Agricultural and ecological performance of cropping systems compared in a long-term field trial. In *Nutrient Disequilibria in Agroecosystems* Eds E. M. A. Smaling, O. Oenema & L. O. Fesco, pp. 247-264. London, Amsterdam: CABI.
11. Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Jossi, W., Widmer, F., Oberson, A., Frossard, E., Oehl, F., Wiemken, A., Gattinger, A., & Niggli, U. (2006). The DOK experiment (Switzerland). In *Long-term field experiments in organic farming* Eds J. Raupp, C. Pekrun, M. Oltmanns & U. Köpke, pp. 41-58. Bonn: Koester.
12. Oberson, A., Pypers, P., Bünemann, E., Frossard, E. (2011). Management impacts on biological phosphorus cycling in cropped soils In: Bünemann, E., Oberson, A., Frossard, E. (Eds.), *Phosphorus in action - Biological processes in soil phosphorus cycling*. Springer Soil Biology Series, pp. 431-458.
13. Pfiffner, L., & Armengot L. (2019). Biodiversity as a prerequisite of sustainable organic farming. In : Köpke, U. (Ed.), *Improving organic crop cultivation* , Chapter 16 : 401-433. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK (ISBN: 978-1-78676-184-2; www.bdsublishing.com).

Forkortelser og ordliste

a	årligt / år	LU	gødningsdyrenhed. 1 LU svarer til en årlig produktion på 105 kg N og 15 kg P ₂ O ₅ (den empiriske formel for difosforpentoxid).
altædende	lever af både planter og dyr		
bakterieæder	lever af bakterier	Mark	i DOK-forsøget dyrkes afgrøder med forskudte intervaller på tre marker (A, B, C).
basal respiration	jordrespiration under standardbetingelser	metabolit	produkter fra enzymkatalyserede reaktioner
BIODYN	DOK-dyrkningssystem baseret på biodynamiske principper	metagenomik	genetisk materiale udvindes direkte fra miljøprøver, sekventeres og analyseres
BIOORG	DOK-dyrkningssystem baseret på økologiske principper	n	prøvestørrelse
BT	<i>Bacillus thuringiensis</i> . BT-præparate der indeholder sporer eller toksiner fra bakterien.	N	kvælstof
C	kulstof	N ₂	molekylært atmosfærisk nitrogen
CaO	brændt kalk, kemisk calciumoxid	N ₂ O	nitrogenoxid (lattergas)
CH ₄	metan	NRP	Swiss National Research Programme
Cmic	mikrobielt bundet kulstof	NIR	nær-infrarød spektroskopi
Cmic/Corg	forholdet mellem mikrobielt kulstof og organisk kulstof	NIV	nivalenol, et mykotoksin
C/N	forholdet mellem kulstof og kvælstof	Nmic	mikrobielt bundet kvælstof
CO ₂	kuldioxid	Nmin	mineralsk kvælstof fra ammonium og nitrat
Corg	organisk kulstof	NMR	kerne-magnetisk resonansspektroskopi
CONFYM	DOK-system med konventionel dyrkning og husdyrgødning	Ntotal	total kvælstof
CONMIN	DOK-system, der anvender konventionel dyrkning med kun kunstgødning	NOFERT	DOK-dyrkningssystem uden gødning
CRP	sædskifte rotation periode i DOK forsøg CRP 1: 1978–84; CRP 2: 1985–91; CRP 3: 1992–98; CRP 4: 1999–2005; CRP 5: 2006–12; CRP 6: 2013–19	NUE	kvælstof-udnyttelsesgrad
DE	1 dyreenhed (DE); DOK forsøget svarer til en årlig produktion på 105 kg N og 15 kg P ₂ O ₅	OS	organisk substance
dehydrogenaser	enzymgruppe i mikroorganismers respirationskæde	P	fosfor
DM	tørstof	P ₂ O ₅	empirisk formel for difosforpentoxid
DOK	forkortelse for DOK-forsøget med (bio) dynamiske, økologiske og konventionelle dyrkningssystemer.	Planteæder	lever af planter
DON	deoxynivalenol, et mykotoksin	PLFA	fosfolipid-fedtsyre og eterlipidmønster
gentagelser	gentagelser af testenhederne	parcel	individuel område af et dyrkningssystem i DOK-forsøgsanlægget
Gødning	husdyrgødning i DOK forsøget reduceret = 1 = 0.7 LU standard practice = 2 = 1.4 LU	PPP	plante beskyttelse produkter
GRUD	principper for gødsning af landbrugsafgrøder i Schweiz (2017)	qCO ₂	metabolisk kvotient: En lav værdi indikerer, at mikroorganismesamfundet effektivt omdanner den tilgængelige energi.
IP	integreret produktion (integreret landbrug)	RFLP	restriktionsfragmentlængdepolymorfisme
jord respiration	CO ₂ udledt af mikroorganismer	rodexudater	rodinput fra rødder og stoffer, der frigives i jorden af rødder
K	kali	SD	standardafvigelse
Leddyr	insekter, tusindben, krebsdyr, spindlere	SIMS	sekundær ionmassespektrometri
		SNSF	Swiss National Science Foundation
		svampespisere	spiser svampe
		SOM	organisk stof i jorden = humus = 1,725 × Corg
		t	metriske tons
		TPF	Triphenylformazan (indikatorfarvestof)
		15N	stabil kvælstof isotop
		32P, 33P	radioaktive fosfor isotoper



Tryk

Udgiver

Research Institute of Organic Agriculture FiBL
Ackerstrasse 113, P.O. Box 219, 5070 Frick, Schweiz
Tel. +41 (0)62 865 72 72
info.suisse@fibl.org, fibl.org

Dansk udgave ved Foreningen for Biodynamisk Jordbrug (FBJ), Agro Food Park 26, 8200 Århus N, Danmark
Tlf. +45 4116 4842 info@biodynamisk.dk www.biodynamisk.dk

I samarbejde med Agroscope og ETH Zurich

Forfattere: Andreas Fliessbach, Hans-Martin Krause (begge FiBL Schweiz),
Klaus Jarosch, Jochen Mayer (begge Agroscope), Astrid Oberson (ETH Zurich), Paul Mäder (FiBL Schweiz)

Gennemse: Lukas Pfiffner, Else Bünemann-König (begge FiBL Schweiz)

Redaktører: Vanessa Gabel, Simona Moosmann (both FiBL Schweiz)

Oversættelse: Erik Frydenlund, Niels Jensen og Klaus Loehr-Petersen, alle FBJ

Design: Brigitta Maurer (FiBL Schweiz)

Foto: Thomas Alföldi (FiBL Switzerland): pp. 16, 22, 32; Andreas Fliessbach (FiBL Schweiz): pp. 1, 2, 6, 8, 12, 18, 24, 37, 39 (2); Tibor Fuchs: cover photo, p. 9; Dominika Kundel (FiBL Schweiz): pp. 13, 19, 41; Adrian Lustenberger: pp. 27, 43; Paul Mäder (FiBL Switzerland) pp. 21, 42; Simona Moosmann (FiBL Schweiz): pp. 8, 23, 38; Lukas Pfiffner (FiBL Schweiz): p. 39 (1); FiBL pp. 20, 28, 52; Wikimedia (CSIRO, CC BY 3.0), p. 40; Geoinformation Platform of the Swiss Confederation: p. 7

Permalink: orgprints.org/id/eprint/56499

FiBL item no.: 1850

Foreslået henvisning: Fliessbach, A., Krause, H-M., Jarosch, K., Mayer, J., Oberson, A., & Mäder, P. (2024). DOK-forsøget: En 45-årig sammenlignende undersøgelse af biodynamiske, økologiske og konventionelle dyrkningssystemer. Forskningsinstitut for Økologisk Landbrug FiBL, Frick. På: shop.fibl.org > 1741

Dette dossier kan downloades gratis på shop.fibl.org.

Alle oplysninger i dette dossier er baseret på forfatternes bedste viden og erfaring. På trods af den største omhu kan unøjagtigheder og anvendelsesfejl ikke udelukkes. Af denne grund kan forfattere og udgivere ikke påtage sig noget ansvar for eventuelle unøjagtigheder i indholdet eller for skader, der måtte opstå som følge af, at anbefalingerne følges.

2025 © FiBL

For yderligere oplysninger om ophavsret, se fibl.org/en/copyright.