



**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Gjødslingsforsøket på Møystad 1922-2021

Jubileumsrapport

NIBIO RAPPORT | VOL. 8 | NR. 133 | 2022



Hugh Riley og Annbjørg Øverli Kristoffersen  
Divisjon for mat og samfunn, Apelsvoll forskningscenter

**TITTEL/TITLE**

Gjødslingsforsøket på Møystad 1922-2021 – jubileumsrapport

The fertilizer trial at Møystad 1922-2021 – centenary report

**FORFATTER(E)/AUTHOR(S)**

Hugh Riley og Annbjørg Øverli Kristoffersen

<b>DATO/DATE:</b>	<b>RAPPORT NR./ REPORT NO.:</b>	<b>TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:</b>	<b>PROSJEKTNR./PROJECT NO.:</b>	<b>SAKSNR./ARCHIVE NO.:</b>
07.11.2022	8/133/2022	Åpen	1210111	22/01413
<b>ISBN:</b>	<b>ISSN:</b>	<b>ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:</b>	<b>ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:</b>	
978-82-17-03156-7	2464-1162	66	-	

**OPPDRAUGSIVER/EMPLOYER:**

Landbruksdepartementet

**KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:**

Hugh Riley

**STIKKORD:**Nitrogen, fosfor, kalium, husdyrgjødsel,  
mineralgjødsel, langvarig feltforsøk**FAGOMRÅDE:**

Næringsforsyning, jordkvalitet

**SAMMENDRAG:**

Forsøket ble startet i 1922 ved den tidligere forsøksgården Møystad, på Hedemarken, for å finne ut om bruk av husdyrgjødsel og mineralgjødsel var likeverdige på lang sikt. Forsøksfeltet består av 72 forsøksruter à 30 kvm, hvorav 8 har vært uten gjødsel hele tiden, 20 får ulike mengder husdyrgjødsel og 44 får ulike mengder og kombinasjoner av N, P og K i form av mineralgjødsel. Forsøksbehandlingene har enten fire eller åtte gjentak. Det følges et sjuårig vekstomløp med tre år eng og fire år åpenåker.

I de første 60 årene ble det brukt relativt små mengder N-gjødsel, unntatt på ett forsøksledd. I 1983 ble N-mengdene oppjustert til datidens nivå, samtidig som mengdene med husdyrgjødsel ble økt på noen ledd. Avlingene er blitt målt rutevis i hele forsøksperioden, og deres innhold av N, P og K er blitt målt siden omkring 1960.

Denne rapporten presenterer gjennomsnittlige avlinger og næringsopptak i periodene før og etter endringene i forsøksplanen. Det er drøftet ettervirkningene av husdyrgjødsel som er blitt studert de seinere årene. Det er også gjort rede for kjemiske jordanalyser utført de siste 60 årene, og for endringer i jordkarbon siden 1930. Rapporten omtaler dessuten en rekke undersøkelser innenfor jordkjemi, jordbiologi og jordfysikk, som er blitt utført de siste 30 årene med jord fra forsøket.

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

**SUMMARY:**

The trial was started in 1922 at the former experimental husbandry farm at Møystad, near Hamar in south-east Norway, to establish whether the long-term use of farmyard manure and mineral fertilizer were equally beneficial. The trial comprises 72 plots à 30 m<sup>3</sup>, of which 8 have received no fertilizer throughout, 20 receive various amounts of farmyard manure and 44 receive various amounts and combinations of N, P and K in the form of mineral fertilizer. All treatments have either four or eight replicates. A 7-year crop rotation is followed, with three ley years and four arable years.

Relatively low levels of N-fertilizer were used for the first 60 years, except in one treatment. The N-levels were increased in 1983, in accordance with farmer practice at that time, and the amounts of farmyard manure were also increased in some treatments. Yields have been recorded on all plots throughout the trial period, and their contents of N, P and K have been measured since around 1960.

This report presents average yields and nutrient uptakes in the periods before and after the changes made in the trial treatments. Also discussed are the after-effects of manure use, which have been studied in recent years. Results are presented of soil chemical analyses made since 1960, and of changes in soil carbon since 1930. Mention is also made of investigations performed with soil from the trial over the last 30 years, within the fields of soil chemistry, soil biology and soil physics.

LAND/COUNTRY: Norge  
FYLKE/COUNTY: Innlandet  
KOMMUNE/MUNICIPALITY: Østre Toten  
STED/LOKALITET: NIBIO Apelsvoll

GODKJENT /APPROVED

Wendy Waalen

NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

Annbjørg Øverli Kristoffersen

NAVN/NAME



**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Forord

I 1922 ble det etablert et langvarig gjødslingsforsøk på forsøksgården Møystad i Vang, nær Hamar. Da var bruk av mineralgjødsel så vidt begynt å bli utbredt i Norge. Forsøkets formål var å finne ut om bruk av husdyrgjødsel og mineralgjødsel var likeverdige på lang sikt, med tanke på avlinger, jordstruktur, økonomisk utbytte, fôrverdi og menneskeernæring.

Langvarige forsøk har både fordeler og ulemper. De tillater måling av trender over tid i avlingsnivå og jordegenskaper og de kan være nyttige som referanse og ved demonstasjoner osv. Blant ulempene kan nevnes at slike forsøksopplegg er lite fleksible, da behandlingene ikke bør endres for ofte dersom man vil følge tidstrender. De kan etter hvert bli utdaterte hvis man ikke tilpasser behandlingene til det som er dagens praksis. Det kan også være usikkerhet forbundet med evt. jordflytting mellom forsøksrutene.

Man kan spørre seg hvorvidt et slikt forsøk fortsatt er relevant? Forsøkets grunnlegger, forsøksleder Ole Glærum, skrev allerede i 1929 «*Man kan løpe den risiko etter en del år å arbeide med spørsmål som neppe har noen større interesse enn nok en gang å dokumentere en fastsatt regel*». Utsagnet er fortsatt gyldig, men forsøket gir også muligheter for å undersøke nye ting. I de senere årene er det undersøkt problemstillinger knyttet blant annet til jordkjemi og jordbiologi. Mange av spørsmålene er relevante i forbindelse med dagens debatter omkring økologisk kontra konvensjonell jordbruk.

Det er nå gått 100 år siden forsøket ble startet, men forsøket blir fortsatt drevet tross flere omorganiseringer. Da Møystad forsøksgård ble nedlagt i 1975, ble ansvaret overført til Statens forskingsstasjon Kise. Ved nedleggelsen av Kise i 2008 ble ansvaret overført til Bioforsk Apelsvoll (nå NIBIO), som i dag utfører alt praktisk arbeid på feltet. Landbruks- og Matdepartementet bevilger midler til driften.

I årenes løp er resultatene fra forsøket presentert i et stort antall foredrag på fagmøter og i mange vitenskapelige publikasjoner. Denne rapporten har til hensikt å gi et overblikk over resultater fra ulike perioder i forsøkets historie, samt å vise evt. interesserte hvor de kan lese mer om de ulike emnene.

Gjennom 100 år er det svært mange som har arbeidet ifm. 'Møystadfeltet', slik det omtales i dag, både med feltarbeid og med publisering. Foruten Ole Glærum som arbeidet på Møystad fram til 1947, og et stort antall teknisk personale, kan nevnes Knut Rønsen og Magnus Jetne, begge ansatte ved Møystad i etterkrigsårene, samt Einar Vigerust og Godtfred Uhlen ved NLH. Innsatsen til Egil Ekeberg fortjener spesiell oppmerksomhet. Egil drev forsøket i en 30-års periode fra seint på 1960-tallet, sørget for at feltet ble bevart da forsøksgården ble nedlagt i 1975 og han stod for endringene som ble innført i 1983. De undertegnede overtok ansvaret for driften av feltet i hhv. 1998 og 2017.

Apelsvoll, 07.11.22

*Hugh Riley og Annbjørg Ø. Kristoffersen*



Ole Glærum  
1877-1966



Et tidlig bilde fra 'Møystadfeltet' (Digitaltmuseum.no)



Egil Ekeberg  
1930-2002

# Innhold

1	Materiale og metoder .....	6
1.1	Lokalitet, jord- og klimaforhold .....	6
1.2	Feltkart og forsøksbehandlinger .....	7
1.2.1	Forsøksbehandlinger 1922-1982 .....	9
1.2.2	Forsøksbehandlinger 1983-2021 .....	10
1.2.3	Flere opplysninger om driften på forsøksfeltene .....	12
2	Avlinger og næringsopptak .....	14
2.1	Perioden 1922-1982 (opprinnelig forsøksplan) .....	14
2.1.1	Avlinger .....	14
2.1.2	Næringsopptak .....	17
2.2	Perioden 1983-2021 (endret forsøksplan) .....	19
2.2.1	Avlinger .....	19
2.2.2	Næringsopptak .....	25
3	Jordanalyser .....	31
3.1	Jordreaksjon (pH) og baseinnhold (Ca, Mg, K) i matjorda .....	31
3.2	Fosforinnhold i matjorda .....	36
3.3	Kjemiske analyser i undergrunnen .....	39
3.4	Moldinnhold og totalt N-innhold .....	40
4	Undersøkelser med jord fra Møystadfeltet .....	45
4.1	Jordkjemi .....	45
4.1.1	Tungmetaller .....	45
4.1.2	Fosfor .....	45
4.1.3	Svovel .....	47
4.2	Jordbiologi .....	47
4.2.1	Meitemark .....	47
4.2.2	Mykorrhiza .....	50
4.2.3	N-mineralisering .....	51
4.3	Jordfysikk .....	53
4.3.1	Jordstruktur .....	53
4.3.2	Jordkartlegging med hjelp av elektrisk ledningsevne .....	55
	Utvidet sammendrag .....	56
	Extended summary .....	59
	Referanser .....	62

# 1 Materiale og metoder

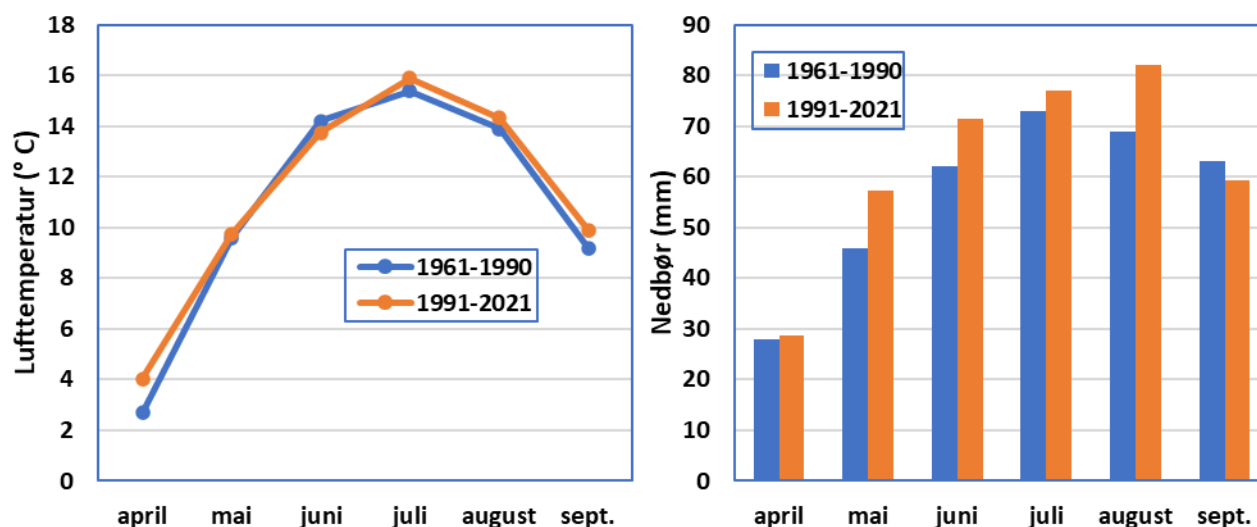
## 1.1 Lokalitet, jord- og klimaforhold

Feltet ligger på gården Møystad i Vang (60°47' N 11°11' Ø, 180 m høyde) i en sørvestvendt skråning. Lokaliteten ligger i nordenden av 'Oslofeltet' hvor jorda er dannet på baserikt morenemateriale fra sandige kull- og kalkholdige skifre fra Silur og Ordovicium. Jordtypen er en naturlig drenert brunjord, klassifisert som Endostagnic Cambisol (Eutric) (IUSS Working Group WRB 2006). Jordteksturen er lettleire i sjikt ned 60 cm (tabell 1) og trolig dypere, med relativt høyt sandinnhold og en god del stein. Jorda på forsøksgården Møystad ble beskrevet av Glømme (1925). Møystad gård er nevnt i kilder fra rundt år 1400, og regnes som representativ for mye av den eldste, om ikke den aller beste kulturjorda i distriktet. Som Glærum skrev i 1943 «*en må erindre at jordbunden her er en utpreget opplendt jord av temmelig skarp type... denne jordtype på Hedmark, som selv under moderate tørkeperioder begynner å like seg ille og vise typiske tegn på tørke, finnes på store arealer.*» Glømme skrev at jorda hadde vært dyrket i mange hundre år. Det har trolig vært vekselbruk med et stort innslag av husdyr.

**Tabell 1: Grusinnhold (vekt % av hele prøven) og innhold av sand, silt og leir (vekt % av materialet <2 mm) i tre dybder (middel ± standardavvik av 16 prøver pr. sjikt fordelt over hele feltet, etter prøvetaking i 1992).**

Dybde	Grus (>2 mm)	Sand (0,06-2 mm)	Silt (0,002-0,06 mm)	Leir (<0,002 mm)
0-20 cm	16±4	52±3	34±1	14±2
20-40 cm	20±4	55±4	33±2	12±2
40-60 cm	23±6	59±7	31±4	10±3

Klimaet er karakterisert ved relativt korte, varme somre med en vekstsesong (>5 °C) på ca. 180 døgn. Nærmeste værstasjon til Møystad ligger <3 km unna ved Bjørke forsøksgård (NIBIO LMT-Ilseng). Midlere lufttemperatur i månedene fra april til september viser en økning på 0,5 °C (5 %) de siste 30 år sett i forhold til forrige 30-års periode og nedbørmengden har økt med 35 mm (10 %). Økningen i temperatur har vært mest markert i april og fra juli til september, mens nedbør har økt fra mai til august (figur 1). Midlere verdier i årene 1922-1963 oppgitt av Rønsen (1965) for mai til september var litt kaldere og noe tørrere enn i de seinere årene, men det var store variasjoner i denne perioden.



**Figur 1: Midlere temperaturer og nedbørmengder i månedene april-september ved Bjørke-Ilseng værstasjon.**

## 1.2 Feltkart og forsøksbehandlinger

Forsøket dekker et areal på ca. 2,2 daa (bredde 31,2 m, lengde 69,3 m), med 72 forsøksruter à 30 m<sup>2</sup> (3,9 x 7,7 m). Forsøkets lengderetning heller nedover mot sørvest. De øverste 32 rutene utgjør det som fra starten ble kalt 'Erstatningsgjødsling' (E-feltet) mens de nedre 40 rutene ble kalt 'Forrådgjødsling' (F-feltet). Dette speilte på å erstatte næringen som plantene tar opp og å gi forråd med ulike intervall. E-feltet har åtte behandlinger (E1-E8) og F-feltet har ti (F1-F10). Alle behandlingene har fire gjentak. Gjentakene på E1-feltet er fordelt på tvers av feltet mens de på F-feltet er fordelt i lengderetningen. Behandlingene er ulikt fordelt innenfor gjentakene på en noenlunde tilfeldig måte (se figur 2). Enkelte av behandlingene er identiske på begge felt (f.eks. E8 og F1), slik at disse har til sammen åtte gjentak.

<b>E-feltet</b>	<b>Gjentak 1</b>							
<i>Rute</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Ledd</i>	E8	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1
	<b>Gjentak 2</b>							
<i>Rute</i>	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Ledd</i>	E3	E2	E1	E8	E7	E6	E5	E4
	<b>Gjentak 3</b>							
<i>Rute</i>	17	18	19	20	21	22	23	24
<i>Ledd</i>	E6	E5	E4	E3	E2	E1	E8	E7
	<b>Gjentak 4</b>							
<i>Rute</i>	25	26	27	28	29	30	31	32
<i>Ledd</i>	E1	E8	E7	E6	E5	E4	E3	E2
<b>F-feltet</b>	<b>Gjentak 1</b>		<b>Gjentak 2</b>		<b>Gjentak 3</b>		<b>Gjentak 4</b>	
<i>Rute</i>	33	34	35	36	37	38	39	40
<i>Ledd</i>	F8	F5	F10	F2	F7	F4	F6	F1
<i>Rute</i>	41	42	43	44	45	46	47	48
<i>Ledd</i>	F9	F1	F6	F3	F8	F5	F7	F2
<i>Rute</i>	49	50	51	52	53	54	55	56
<i>Ledd</i>	F10	F2	F7	F4	F9	F1	F8	F3
<i>Rute</i>	57	58	59	60	61	62	63	64
<i>Ledd</i>	F6	F3	F8	F5	F10	F2	F9	F4
<i>Rute</i>	65	66	67	68	69	70	71	72
<i>Ledd</i>	F7	F4	F9	F1	F6	F3	F10	F5

Figur 2: Feltkart som viser fordeling av gjentakene og forsøksbehandlingene på E-feltet og F-feltet.

Forsøksbehandlingene omfatter ulike mengder og kombinasjoner av mineralgjødning (nitrogen (N), fosfor (P) og kalium (K)) og ulike mengder av husdyrgjødsel. Behandlingene ble fulgt tilnærmet uendret i tidsrommet 1922-1982, men det er gjennomført endringer i perioden 1983-2021. Detaljene er beskrevet i avsnitt 1.2.1 og 1.2.2.

Det er i all hovedsak fulgt et sjuårig vekstomløp: tre år med eng etterfulgt av havre, potet, vårhvete og bygg med gjenlegg. Veksten i startåret 1922 var potet. Avvikene fra dette omløpet har vært som følger:

- i 1977 og 2006 ble enga beholdt som fjerde års eng
- i 2008 og 2014 ble det dyrket bygg istedenfor potet
- i 2010 ble feltet braket om våren og gjenlegget ble sådd uten dekkvekst av bygg
- i 2015 ble det dyrket bygg istedenfor vårhvete

I løpet av 100-års perioden har det dermed vært eng 44 % av tiden og korn 55 % av tiden. Sortsvalget har endret seg over tid i tråd med den generelle utviklingen i jordbruket.



Bilde 1: Utkjøring av fast husdyrgjødsel (venstre). Gjødsel spredt for hånd på stubb (høyre). Foto: E. Ekeberg



Bilde 2: Flytende husdyrgjødsel fordelt med vannkanner (venstre). Håndspredning av mineralgjødning (høyre). Foto: A. Ø. Kristoffersen



### 1.2.1 Forsøksbehandlinger 1922-1982

E-feltet hadde i perioden 1922-1982 to behandlinger med husdyrgjødsel og fem med mineralgjødsel, mens F-feltet hadde tre med husdyrgjødsel og seks med mineralgjødsel. Begge feltene hadde et kontroll-ledd uten gjødsling. Gjødselmengdene ble tilpasset med ulike mengder til de enkelte vekstene, og disse er beskrevet i detalj av Rønsen (1965). Tallene oppgitt her er middeltall pr. dekar og år for hele omløpet. Selv om ikke alle ledd er til stede i begge felt, utgjør til sammen et utvalg av NPK-leddene fra begge felt en faktoriell kombinasjon av N, P og K, med to nivå (med/uten) for hvert stoff (E2-E5, E8, F1, F6-F9). Som kuriositet kan nevnes at faktorielle forsøksplaner ble først beskrevet i 1935 av statistikkpionéren R.A. Fisher ved Rothamsted i England, i boken 'Design of Experiments'.

#### **E-feltet:**

**E1:** 'Erstatningsgjødsling' hvert år (store mengder N, P og K i mineralgjødsel) (11,35 kg N, 2,20 kg P og 10,8 kg K). Mest N og P ble brukt til potet og hvete og minst til bygg og havre. Mest K ble brukt til potet og minst til korn. **E2:** Mineralgjødsel med N, P og K hvert år (små N-mengder): (2,16 kg N, 1,48 kg P og 3,09 kg K). Mest ble gitt til potet, dernest til hvete samt 2. og 3. års eng, og minst til bygg, havre og 1. års eng.

**E3:** To stoff i mineralgjødsel hvert år (P og K): (1,48 kg P, 3,09 kg K). Fordeling til vekstene som E2.

**E4:** To stoff i mineralgjødsel hvert år (N og P): (2,16 kg N, 1,48 kg P). Fordeling til vekstene som E2.

**E5:** To stoff i mineralgjødsel hvert år (N og K): (2,16 kg N, 3,09 kg K). Fordeling til vekstene som E2.

**E6:** Husdyrgjødsel (fastgjødsel av storfe) to ganger i hvert omløp: 7 tonn pr. daa til potet og 3,5 tonn til bygg (tilsvarende ca. 5,5 kg N, 1,9 kg P og 6,2 kg K pr. år i middel av alle 7 år i omløpet).

**E7:** Husdyrgjødsel som i E6, men med tillegg av P i mineralgjødsel til potet og bygg (0,74 kg P pr. år i middel av alle 7 år i omløpet, dvs. totalt ca. 2,6 kg P pr. år).

**E8:** Kontroll-ledd uten bruk av gjødsel.

#### **F-feltet:**

**F1:** Kontroll-ledd uten bruk av gjødsel.

**F2:** Husdyrgjødsel (fastgjødsel av storfe) to ganger i hvert omløp: 8,75 tonn pr. daa til potet og 3,5 tonn til bygg (tilsvarende ca. 6,4 kg N, 2,2 kg P og 7,2 kg K pr. år i middel av alle 7 år i omløpet).

**F3:** Husdyrgjødsel (fastgjødsel av storfe) fire ganger i hvert omløp: 4,2 tonn pr. daa til potet, 2,8 tonn til både hvete og 2. års eng, og 2,45 tonn til bygg (samme totale og middelmengder som i F2).

**F4:** Husdyrgjødsel som i F3, men med tillegg av P og K i mineralgjødsel til potet, hvete, bygg og 2. års eng (0,74 kg P og 1,51 kg K pr. år i middel av 7 år i omløpet, dvs. totalt ca. 2,9 kg P og 8,7 kg K pr. år).

**F5:** Mineralgjødsel med N hvert år og P og K annethvert år ('forrådsjødsling'): P og K tilført i årene med potet, bygg, 2. års eng og havre (samme middelmengder som i F6).

**F6:** Mineralgjødsel med N, P og K hvert år (samme mengder og fordeling mellom vekster som i E2).

**F7:** Ett stoff i mineralgjødsel hvert år (P): (1,48 kg P). Fordeling til vekstene som i E2, E4 og E5.

**F8:** Ett stoff i mineralgjødsel hvert år (K): (3,09 kg K). Fordeling til vekstene som i E2, E3 og E5.

**F9:** Ett stoff i mineralgjødsel hvert år (N): (2,16 kg N). Fordeling til vekstene som i E2, E4 og E5.

**F10:** Før 1950 ble det brukt samme mineralgjødsling som for E2 og F6, men med 'jordsmitte' fra areal med husdyrgjødsel. Fra 1950 ble det brukt dobbelt så store mengder (4,3 kg N, 3,0 kg P, 6,1 kg K).

Gjødslingsbehandlingene ovenfor ble gjennomført i hele perioden 1922-1982, med unntak av 1977 da feltet ikke ble gjødslet. I dette året ble evt. ettervirkninger av de tidligere 55 års behandlinger målt.

Mineralgjødsetypene som ble brukt var kalksalpeter (15,5 % N), superfosfat (8 % P) og kaliumsulfat (41 % K). Husdyrgjødselen ble beskrevet av Glærum (1929) som «kjørt direkte ut av kjelleren... godt blandet... efter ca. 20-24 kjør og 5 hester... anvendt årlig ca. 70 baller strø og en del sagflis... har vært en temmelig jevn velbrent masse uten antydning til å være våt eller fuktig... karakteriseres som en god husdyrgjødsel, ganske sikkert noe bedre enn den store masse husdyrgjødsel i landet».

Husdyrgjødselsla ble analysert bare sporadisk i denne perioden. Glærum (1943) oppgav middeltall av 16 analyser tidlig i forsøksperioden til å være 0,40 % N, 0,09 % P og 0,35 % K, men med stor variasjon. Rønsen (1964) oppgav tall for 1922, 1952, 1955, 1957 og 1959. Middeltall og standardavvik av disse var 0,37±0,04 % N, 0,12±0,02 % P og 0,41±0,06 % K. Vigerust og Rønsen (1965) oppgav at det var 19,1 % tørrstoff i middel av disse prøvene. Ut fra dette var de estimerte tørrstofftilførslene i forsøksperioden fram til 1963 ca. 12 og 14 tonn/daa på hhv. E-feltet og F-feltet (dvs. 286 kg ts./daa/år på ledd E6 og E7 og 333 kg ts. på ledd F2, F3 og F4). Ifølge tall oppgitt av Glærum (1936) utgjorde organisk materiale 83 % av tørrstoffet i husdyrgjødselsla fra Møystad (med 18,1 % tørrstoff hvorav 3,0 % aske). Det er uvisst hvor mye tørrstoff som ble tilført i årene 1964-1982. Ekeberg (1987) skrev at en fra 1964 måtte hente gjødselsla i nabolaget, trolig av ulik kvalitet, og at i 1970 kom overgangen til bløtgjødsel.

Med unntak av ledd E1 (Erstatningsgjødsling) var gjødselemengdene som ble brukt svært små sett med dagens øyne, særlig når det gjelder N og K i mineralgjødsling. Bruken av mineralgjødsling var generelt på et lavt nivå i førkrigsårene, men Glærum skrev allerede i 1943 at «våre langvarige gjødslingsforsøk... vakte formodning om at enkelte av de anvendte mengder av kunstgjødslingsblandinger... var i minste laget...». Torpen (1957) viste til resultater for bygg og hvete som tydet på at det optimale gjødselnivået lå på ca. 4,5 kg N/daa for gårder på Hedemarken med vekselbruk og husdyrgjødsel. Dette samsvarer med N-mengden som ble brukt i middel av alle vekster på 1950-tallet, mens mengden ved slutten av 1970-tallet hadde steget til omtrent det tredobbelte (Stabbetorp 2014). Dette var bakgrunnen for at det ble gjort omfattende oppjusteringer av gjødselemengdene som er blitt brukt i årene 1983-2001.

### 1.2.2 Forsøksbehandlinger 1983-2021

I mars 1982 drøftet Egil Ekeberg aktuelle endringer med prof. Godtfred Uhlen, NLH, i en brevveksling. De bestemte å heve NPK-nivået på ledd med mineralgjødsling og å heve mengdene med husdyrgjødsel. I tillegg ble det innført et forsøksledd med bruk av en Fullgjødslingstype med N i form av ammoniumnitrat. Bakgrunnen for dette var denne gjødslingstypens kjente effekt på kalkbehovet (Uhlen 1979). Endringene ble utført på en måte som medførte at husdyrgjødsel skulle tilføres på ruter hvor slik gjødsling var blitt brukt også tidligere. Dessuten ble de tidligere faktorielle kombinasjonene av N, P og K i mineralgjødsling opprettholdt. Til forskjell fra tidligere, ble det nå brukt de samme gjødselemengdene hvert år i omløpet.

De nye forsøksbehandlingene var som følger:

#### **E-feltet:**

**E1:** N, P og K i mineralgjødsling (10 kg N i kalksalpeter, 2,5 kg P i superfosfat og 12 kg K i kaliumklorid).

**E2:** N, P og K i Fullgjødsling A (14:6:16) til 1992 (10 kg N, 4,4 kg P og 11,5 kg K), i Fullgjødsling 11-5-17 til 2000 (10 kg N, 4,1 kg P og 15 kg K), i Fullgjødsling 11-5-18 (10 kg N, 4,1 kg P og 16 kg K) til 2011 og seinere i Fullgjødsling 12-4-18 (10 kg N, 3,4 kg P og 15 kg K).

**E3:** To stoff i mineralgjødsling hvert år (P og K): (2,5 kg P i superfosfat, 12 kg K i kaliumklorid).

**E4:** To stoff i mineralgjødsling hvert år (N og P): (10 kg N i kalksalpeter, 2,5 kg P i superfosfat).

**E5:** To stoff i mineralgjødsling hvert år (N og K): (10 kg N i kalksalpeter, 12 kg K i kaliumklorid).

**E6:** Lav mengde husdyrgjødsel hvert år. Fastgjødsling brukt 1983-2010, unntatt 1994 og 2004-2007 da ettervirkninger ble målt, våtkompostert storfegylle brukt 2011-2021 (se tekst for mengdene av NPK).

**E7:** Middels mengde husdyrgjødsel hvert år (det dobbelte av mengden i E6). Gjødslingstyper som for E6.

**E8:** Kontroll-ledd uten bruk av gjødsling.

### **F-feltet:**

**F1:** Kontroll-ledd uten bruk av gjødsel.

**F2:** Lav mengde husdyrgjødsel hvert år (det samme som E6).

**F3:** Middels mengde husdyrgjødsel hvert år (det samme som E7).

**F4:** Stor mengde husdyrgjødsel hvert år (50 % mer enn E7 og F3) fra 1983 til 2003, deretter ugjødslet.

**F5:** N, P og K i mineralgjødsel (5 kg N i kalksalpeter, 2,5 kg P i superfosfat, 12 kg K i kaliumklorid).

**F6:** N, P og K i mineralgjødsel (10 kg N i kalksalpeter, 2,5 kg P i superfosfat, 12 kg K i kaliumklorid).

**F7:** Ett stoff i mineralgjødsel hvert år (P): (2,5 kg P i superfosfat).

**F8:** Ett stoff i mineralgjødsel hvert år (K): (12 kg K i kaliumklorid).

**F9:** Ett stoff i mineralgjødsel hvert år (N): (10 kg N i kalksalpeter).

**F10:** N, P og K i mineralgjødsel (15 kg N i kalksalpeter, 2,5 kg P i superfosfat, 12 kg K i kaliumklorid).

(obs. superfosfat Hydro P8 ble byttet ut på begge felt med trippelsuperfosfat Hydro P20 etter 2013).

Med denne forsøksplanen er følgende leddpar identiske: E1 og F6, E6 og F2, E7 og F3, E8 og F1. Det er også her en faktoriell kombinasjon av N, P og K, men her inngår ledd E1 istedenfor E2. På F-feltet er det mulig å evaluere stigende N-mengder i mineralgjødsel fra null til 15 kg N/daa (F1, F5, F6 og F10).

I årene 1983-1989 ble det brukt lagret husdyrgjødsel av svin eller storfe med noe varierende kvalitet. Fra 1990 fram til 2010 ble det brukt kompostert storfe gjødsel fra en biodynamisk gård (Alm Østre i Stange). Denne gjødselen inneholdt relativt mye strø og hadde lite mineralisert N. Tabell 2 viser at konsentrasjonene av total N, P og K var relativt høye og bare litt lavere enn det som ble oppgitt av Tveitnes (1983) som normalverdiene for slik storfe gjødsel. Denne gjødselen ble brukt i mengder av 2, 4 og 6 tonn/daa på leddene med hhv. lav, middels og stor mengde husdyrgjødsel. Dette medførte årlig tilførsel av hhv. ca. 8, 16 og 24 kg N/daa, ca. 2, 4 og 6 kg P/daa og ca. 7, 14 og 21 kg K/daa. Den lave mengden var ment å representere et typiske nivå på økologiske gårder med husdyr og åpenåker, mens middels N-mengde ligger i nærheten av det som er tillatt å tilføre i form av husdyrgjødsel i nitratsensitive områder ifølge EUs nitratdirektiv (17 kg total N/daa), som også gjelder på Østlandet.

**Tabell 2: Analyser (kg/tonn ferskvekt) av kompostert storfe gjødsel fra Alm Østre som ble brukt i forsøkene 1990-2010 (middel og std.av. av 10 år), sammenliknet med normalverdier for storfe gjødsel med strø.**

	<b>Tørrstoff</b>	<b>Total N</b>	<b>NH<sub>4</sub>-N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>
<b>Middelverdi</b>	215	4.09	0.18	1.01	3.46	4.30	0.67
<b>Std. Avvik.</b>	43	0.65	0.13	0.33	0.77	1.33	0.19
<b>Normalverdi</b>	200	4.60	0.13	1.20	4.30	-	-

Fra 2011 ble bruken av fastgjødsel endret til bruk av våtkompostert storfe gylle. Dette hadde praktiske årsaker og en faglig begrunnelse. De førstnevnte oppstod pga. eierskifte på Alm Østre og nedleggelse av Kise forskingsstasjon, som begge kompliserte anskaffelse og frakt av fastgjødselen. Den faglige begrunnelsen var at bruk av våtkompostert gylle var blitt langt mer utbredt enn bruk av fastgjødsel, både i konvensjonelle driftsformer og på økologiske gårder. Det ble tatt i bruk den samme gjødselen som brukes i 'Dyrkingssystemforsøket' på Apelsvoll. Denne gjødselen har mye lavere tørrstoffinnhold og en langt høyere andel nitrogen i mineralisert form enn i fastgjødselen (tabell 3). Mengdene som brukes ble bestemt ut fra det som er praktisk å frakte på en biltilhenger de sju milene fra Apelsvoll til Møystad (ca. 2 tonn fordelt på to 1 m<sup>3</sup> dunker). Som vist i tabell 3 er de tilførte N-mengdene nesten like store som tidligere, men nå med 70 % i mineralisert form mot <5 % tidligere. P-mengden var bare halvparten så stor enn tidligere og K-mengdene var nesten 40 % større enn før. Tørrstoffmengden som tilføres med denne gjødselen er bare en fjerdedel av det som ble tilført før.

**Tabell 3: Analyser (kg/tonn ferskvekt) av våtkompostert storfegylle fra Apelsvoll 2011-21 (middel og std.av.) og mengdene med tørrstoff og næringsstoffer tilført årlig på leddene med lav og middels mengde husdyrgjødsel.**

Kg/tonn ferskvekt	Tørrstoff	Total N	NH <sub>4</sub> -N	P	K	Ca	Mg
<b>Middelverdi</b>	41	2,7	1,9	0,3	3,6	0,8	0,4
<b>Std. avvik.</b>	11	0,3	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1
<b>Tilført kg/daa</b>							
<b>Lav mengde</b>	110	7,2	5,1	0,9	9,7	2,0	1,0
<b>Middels mengde</b>	221	14,3	10,3	1,8	19,3	4,0	2,0

Det er stor variasjon i mengdene med kalsium som blir tilført årlig på de ulike forsøksleddene. Med bruk av 10 kg N/daa i kalksalpeter tilføres det ca. 12 kg Ca/daa, mens bruk av tilsvarende N- mengde med Fullgjødsel tilfører under 2 kg Ca/daa. Bruk av 2,5 kg P/daa i superfosfat tilfører også ca. 2 kg Ca. Ved bruk av middels mengde fastgjødsel ble det tilført ca. 17 kg Ca/daa/år, mens tilførselen av kalsium er blitt redusert til ca. en fjerdedel av dette ved bruk av gylle.

### 1.2.3 Flere opplysninger om driften på forsøksfeltene

Gjødselen er tilført for hånd om våren (bilde 1) og moldet ned ved harving like etterpå, unntatt i engårene. I kornår er all husdyrgjødsel tilført om våren mens i engår er den flytende husdyrgjødselen fra 2011 fordelt likt mellom våren og etter første slått, tilført med vannkanner (bilde 2). Fordi det er brukt N-gjødsel i form av kalksalpeter (unntatt E2), er det ikke blitt kalket på feltet i forsøksperioden.

Fram til 1980-tallet ble jordarbeiding utført på tradisjonelt vis, som regel med høstpløying etter åkervekster. Høsterutestørrelse var 15 m<sup>2</sup> med kanter på 1,3 m i lengderetning og 1,9 m til sidene i denne perioden. Glærum skrev i 1936 «*Vårt inntrykk er at beltene er unødig store og at sidevirkning av en gjødsling er svært liten...*». Etter hvert ble man klar over at jordarbeiding kan forårsake jordflytting mellom forsøksruter (jfr. Sibbesen mfl. 1985), og man har derfor begrenset jordarbeiding mest mulig. Ekeberg (1997) skrev «*I de senere år er bare 3. års eng pløyd. Til korn er det harvet én gang og potetene er satt rett i stubben både i 1986 og 1993. Halm og planterester blir fjernet slik at denne minimaliseringen ikke er brysom*». Siden tidlig på 1990-tallet er feltet ikke blitt pløyd i det hele tatt. Det er brukt glyfosat med jevne mellomrom mot flerårige ugras, og det er ofte høstharvet til 8-10 cm. Om våren brukes det som regel en horisontalt roterende harv til ca. 6-8 cm før såing med slepelabber. I denne perioden har høsterutestørrelsen blitt redusert til ca. 9-10 m<sup>2</sup>, avhengig av høstemaskintype.

De tidligste forsøksmeldingene sier lite om sortsblandingen som ble brukt i engåra, men timotei er nevnt som hovedart av Glærum (1928, 1936, 1943). Det er trolig at kløver er brukt fram til 1970-åra. Rønsen (1965) oppgav kløvernøtninger i middel av 1922-1963, som på leddet med sterkest gjødsling (E1) falt fra 22 % i første engår til 4 % i tredje engår. På ledd med svakere gjødsling falt verdiene fra ca. 70 % første år til ca. 15 % tredje år. I perioden etter 1980 er det brukt timotei/engsvingel blandinger uten kløver. Man har likevel sett en del hvitkløver og alsikekløver i engårene, spesielt på ruter med bruk av fastgjødsel og til dels på kontrollruter og ruter med bruk av P+K uten N. I de senere årene er det flere ganger blitt brukt sprøytemidler som inneholder MCPA for å begrense kløvermengden.

I alle forsøksmeldingene om forsøkene er avlingene presentert som fôrenheter etter metoden som tidligere ble brukt i Norge: én fôrenhet tilsvarer 1,0 kg bygg- og hveteavling, 1,2 kg havreavling, 3,8 kg bygghalm, 4,7 kg hvete-halm, 3,9 kg havrehalm (både korn og halm ved 15 % vanninnhold), 1,1 kg potettørrstoff og 2,5 kg høy (15 % vann). Ekeberg (1987) oppgav at 2,0 kg grastørrstoff utgjør én fôrenhet og dette tallet er brukt i alle forsøksmeldingene utgitt etter 1980. Halmen er tatt med i kornavlingstallene i alle år unntatt noen få år rundt 2000. Ifølge Ekeberg (1987) består engavlingene fram til 1955 av bare én slått tatt seint i juli. Fra 1960 er det tatt to slåtter pr. år, med første slått seint i juni eller tidlig i juli, og annen slått i september.

Selv om man har tilstrebet å utføre alt feltarbeidet så godt som råd, har driften hatt noen svakheter. Særlig i perioden etter nedleggelsen av Møystad og Kise har den lange avstanden til feltet begrenset hyppigheten av tilsynet. Såing har ofte blitt utført noe seinere enn på forsøksgårdene, og det har noen ganger vært mye ugras. Jorda på feltet er relativt tørkesvak og det er ikke tilgang til vanning. På grunn av disse svakhetene kan avlingsnivået på feltene ikke karakteriseres som større enn middels høyt. Man mener likevel at resultatene er representative for mye av Hedemarks-regionen som helhet.



**Bilde 3: Grashøsting i 1989. I forgrunnen til venstre står Helge Olsen, som var 'fagassistent' (tidligere tittel på tekniker) først på Møystad og siden på Kise. Helge utførte svært mye feltarbeid på Møystad i 1970-1990 åra. Rett bak ham står Trygve Sund, pioner i biodynamisk jordbruk på Alm Østre i Stange. Han kjørte fastgjødsel fra Alm til Møystad i en 20-års periode. For øvrig på bildet ser vi Annemarie Fløttum og Sverre Viken fra Kise. Foto: E. Ekeberg**

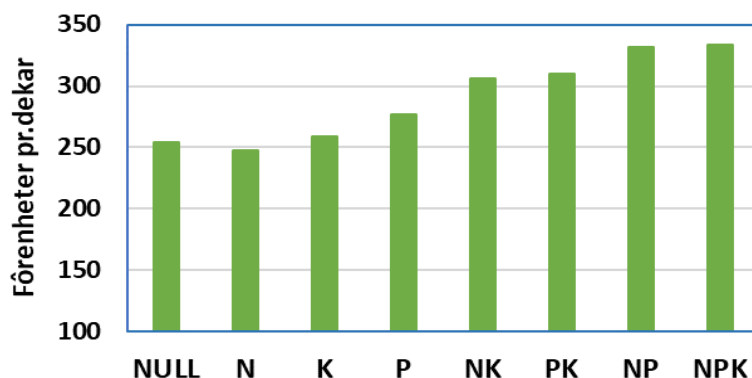
## 2 Avlinger og næringsopptak

### 2.1 Perioden 1922-1982 (opprinnelig forsøksplan)

Avlingsresultater er tidligere presentert for de første tre omløp av Glærum (1928, 1936 og 1943) og for hele perioden 1922-1963 av Rønsen (1965). Jetne (1974) tok for seg årene 1964-1970. Ekeberg (1987) presenterte resultatene for 1971-1982, og et sammendrag av alle år finnes i Ekeberg og Riley (1995).

#### 2.1.1 Avlinger

Figur 3 viser effektene av *ulike kombinasjoner av N, P og K gitt som mineralgjødning* på avlingsnivå i middel av alle vekster og år. Tross de små gjødselmengdene som ble brukt i denne perioden var det flere samspill mellom næringsstoffene. Tilførsel av N eller K alene hadde ingen effekt, og P gitt alene økte avlingene relativt lite. Responsene var større da K ble gitt i kombinasjon med enten N eller P, og enda mer når P ble gitt i kombinasjon med N. Kombinasjonen av alle tre stoff gav ikke avlingsøkning sammenliknet med bare NP-gjødsel, men det var økning for begge disse sammenliknet med NK og PK.



Figur 3: Middellavlinger i perioden 1922-1982 ved ulike kombinasjoner av N, P og K, med årlige tilførsler av 2,2 kg N, 1,5 kg P og 3,1 kg K pr. dekar i gjennomsnitt.

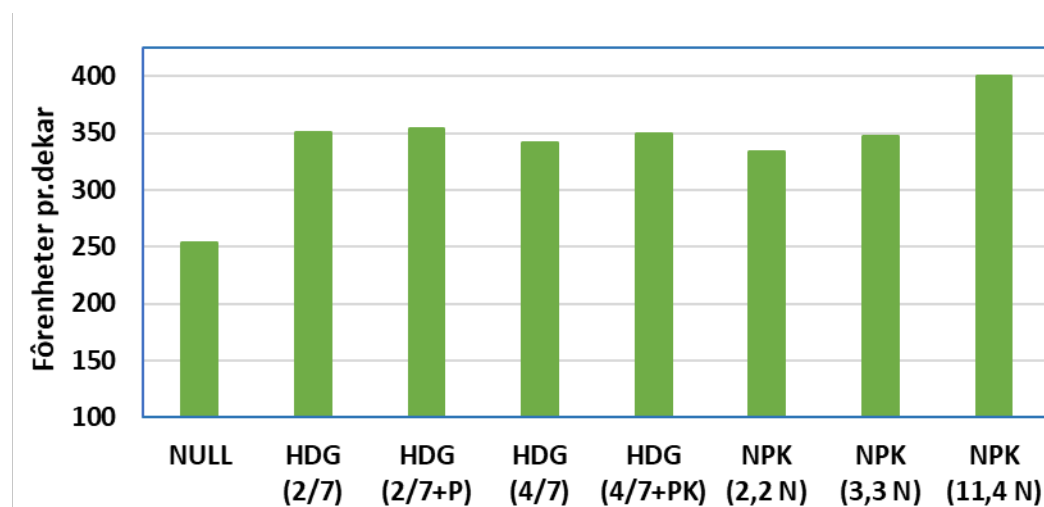
Tabell 4 viser relative avlingstall for ulike vekstgrupper sett i forhold til nivået uten gjødsling. Det var omtrent like mange år med korn- og engvekster, og utslagene fulgte samme mønster hos disse, men med noe høyere prosentvis utslag i eng enn for korn for kombinasjonene av P med K og N med P. Det ble brukt noe større NPK-mengder til eng enn til korn. Potet skilte seg ut fra de andre vekstene med en negativ respons for N gitt alene og med større positive utslag for kombinasjonene PK og NPK. Potet fikk større NPK-mengder enn begge de andre vekstgruppene (jfr. beskrivelse av leddene på side 8).

Tabell 4: Relative avlinger i middel av perioden 1922-1982 hos korn (26 år), eng (25 år) og potet (9 år) ved ulike kombinasjoner av N, P og K tilført som mineralgjødning uttrykt som prosent av det ugjødslete null-leddet.

	Korn	Eng	Potet
NULL	100 (284 f.e.)	100 (177 f.e.)	100 (380 f.e.)
N	101	99	89
K	102	99	105
P	108	114	106
NK	122	123	117
PK	113	126	136
NP	127	139	129
NPK	121	138	145

Figur 4 sammenlikner *forsøksledd med husdyrgjødsel og mineralsk NPK med stigende N-mengder* i middel av alle vekster og år. Leddene med husdyrgjødsel har omtrent samme avlingsnivå som leddet med i gjennomsnitt 3,3 kg N (sistnevnte, F10, fikk ca. 2,2 kg N fram til 1949 og deretter 4,3 kg N). Det var ca. 100 f.e. større avling med bruk av husdyrgjødsel enn uten gjødsling og ca. 50 f.e. mindre enn ved bruk av den største N-mengden.

Forskjellene mellom de ulike leddene med husdyrgjødsel var små. Tilførsel av husdyrgjødsel to ganger i omløpet gav litt større avling enn når samme totale mengde ble fordelt fire ganger i omløpet. Det er uvisst om forskjellen skyldtes variasjon mellom E-feltet og F-feltet, eller om f.eks. N-utnyttelsen kan ha vært bedre med to store doser enn med fire mindre doser. Bruk av P og K i mineralgjødsel sammen med husdyrgjødsel økte avlingene litt, men også disse forskjellene var små.



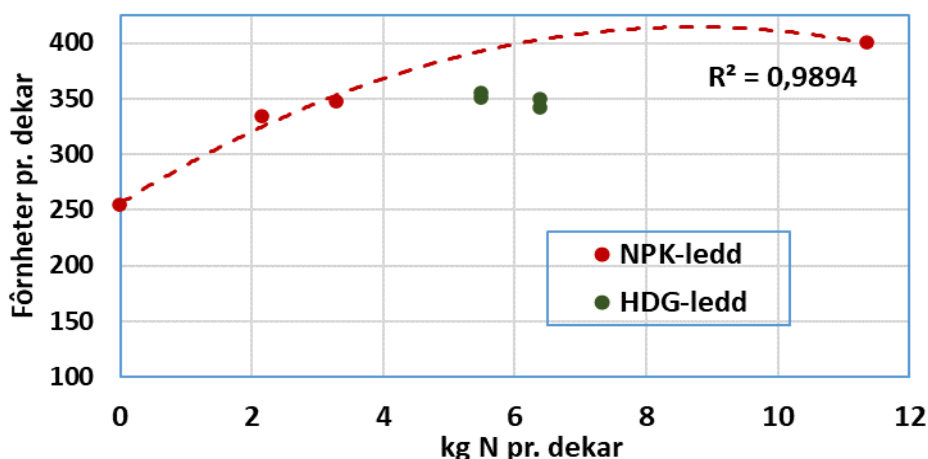
Figur 4: Middelavlinger i perioden 1922-1982 ved ulike behandlinger med husdyrgjødsel (HDG) tilført i enten to av sju år (2/7) eller i fire av sju år (4/7) med/uten ekstra P og K, sammenliknet med ugjødslete ledd (NULL) og ulike N-mengder gitt sammen med P og K i mineralgjødsel.

Tabell 5 viser relative avlingstall for ulike vekstgrupper sett i forhold til nivået uten gjødsling. Bruk av husdyrgjødsel gav omtrent samme prosentvis økning i avlingen til potet som bruk av den største NPK-mengden, mens utslagene var betydelig mindre hos de andre vekstene. Denne forskjellen gjenspeiler når i vekstomløpet husdyrgjødsel ble tilført, med mest til potet og i gjenleggsåret. Av samme årsak hadde potet størst nytte av ekstra P og K tilført sammen med husdyrgjødsel. Som nevnt ovenfor fikk potet også større NPK-mengder enn de andre vekstene, mens korn fikk minst. Dette forklarer trolig hvorfor også forskjellene mellom vekstene i utslagene for bruk av små mengder NPK i mineralgjødsel.

Tabell 5: Relative avlinger i middel av perioden 1922-1982 hos korn (26 år), eng (25 år) og potet (9 år) ved ulike behandlinger med husdyrgjødsel (HDG) og mineralgjødsel (NPK) uttrykt som prosent av det ugjødslete null-leddet.

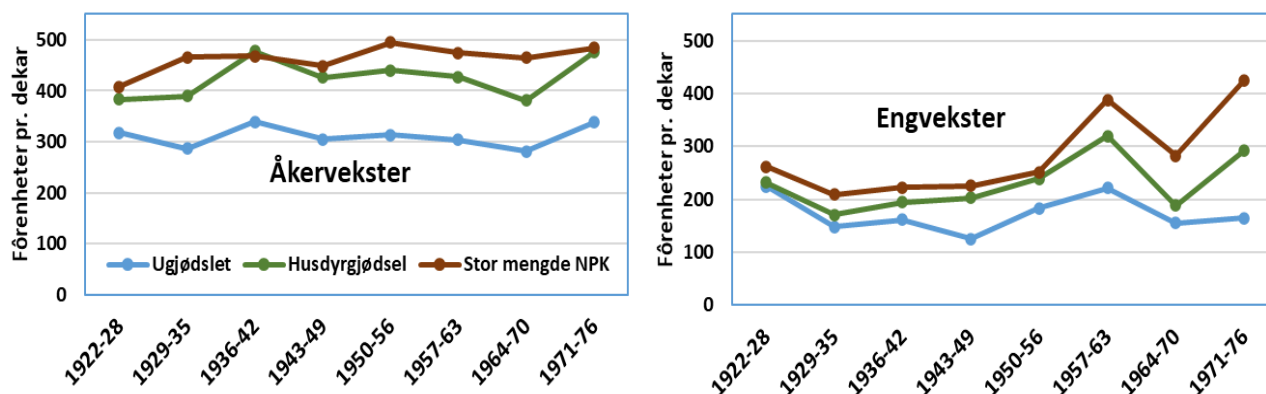
	Korn	Eng	Potet
NULL	100 (284 f.e.)	100 (177 f.e.)	100 (380 f.e.)
HDG (2/7)	132	133	157
HDG (2/7+P)	132	136	162
HDG (4/7)	127	133	154
HDG (4/7+PK)	127	137	163
NPK (2,2 N)	121	138	145
NPK (3,3 N)	125	145	151
NPK (11,4 N)	156	163	154

På leddene med bruk av N, P og K i mineralgjødning økte avlingene som ventet med stigende N-mengde. Responsen var svakt avtakende mot største N-mengde, som kurven i figur 5 antyder. Når avlingene på leddene med husdyrgjødning plottes i samme figur ved de aktuelle N-mengdene som ble tilført hos disse (i gjennomsnitt hhv. 5,5 og 6,4 kg N), ser man at punktene lå under kurven for N gitt i mineralgjødning. Avlingene med bruk av husdyrgjødning var  $88 \pm 2$  % av avlingene ved tilsvarende mengder N i mineralgjødning, beregnet etter kurven i figuren.



Figur 5: Middelavlingene i perioden 1922-82 plottet mot gjennomsnittlige N-mengder tilført i mineralgjødning (NPK, røde punkt) eller som husdyrgjødning (HDG, grønne punkt). Den røde, stiplede linjen er kurvetilpasset avlingsrespons for tilført mineralgjødning.

Figur 6 viser middelavlingene for utvalgte forsøksledd i hvert av de åtte omløpene fra 1922-1976 (1977 er utelatt da det ikke ble tilført gjødning det året). Det ser ikke ut til å ha vært noen betydelig endring, hverken oppover eller nedover i midlere avlingsnivå over tid, bortsett at overgangen til at bruk av to slåtter etter det femte omløpet førte til en nivåheving hos engvekster. Avlingene var i de fleste tilfellene mindre ved bruk av husdyrgjødning enn ved bruk av en stor mengde NPK i mineralgjødning.



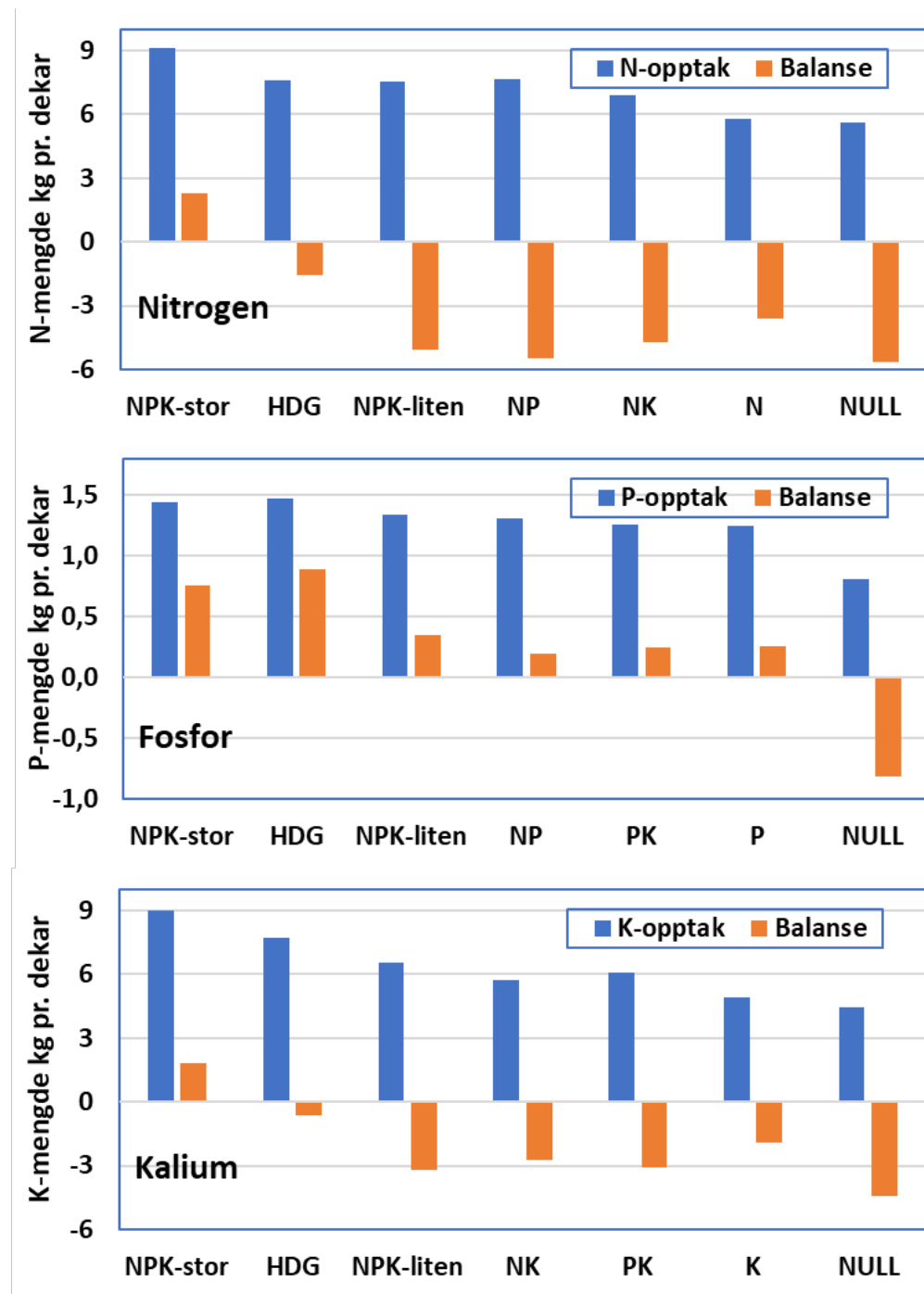
Figur 6: Middelavlingene av alle vekster for utvalgte forsøksledd i de åtte omløpsperioder fra 1922 til 1976 (Stor mengde NPK = E1, Ugjødset = middel av E8 og F1, Husdyrgjødning = middel av E6, E7, F10, F11 og F12).

I 1977 ble ettervirkningene i eng etter de forutgående 55 år redegjort for av Ekeberg (1987). Avlingen på de ulike forsøksledd varierte fra 172 til 261 f.e. på E-feltet og fra 117 til 205 f.e. på F-feltet. Det var statistisk sikre forskjeller mellom enkelte av forsøksleddene, men med store LSD-verdier på begge felt (hhv. 74 og 40 f.e.). Sett i forhold til null-leddene, var det likevel klart større positiv ettervirkning i middel av de fem leddene med husdyrgjødning (47 % større avling enn uten gjødning) enn i middel av de elleve leddene med mineralgjødning (4 % større avling).



## 2.1.2 Næringsopptak

Det ble utført bare få analyser av innholdet av næringsstoffene i avlingene i forsøksperioden 1922-70. På bakgrunn av det lille som var tilgjengelig sammenliknet Jetne (1974) mengdene av N, P og K som var tilført og bortført i middel av alle vekstene i omløpet for 1964-70. Fra og med 1971 ble N, P og K analysert i alle vekster hvert år, både korn, halm, gras og potetknoller. Ekeberg (1987) brukte middel-tall fra denne perioden til å beregne næringsmengdene tilført og bortført for hele perioden 1922-82. Selv om det er noe usikkerhet om nivået på de absolutte verdiene, er forskjellene mellom forsøks-leddene trolig realistiske. Et sammendrag av resultatene tas med her, oppgitt som mengder pr. dekar og år.



Figur 7: Opptak av N, P og K i avlingene og balansen mellom mengdene tilført minus bortført, i middel av alle vekster fra 1922 til 1982 (HDG = 5 ledd med husdyrgjødsel, NPK-liten = 3 ledd med 2-3 kg N/daa).

Figur 7 viser gjennomsnittlige NPK-mengder som ble bortført med avlingen (inklusive halm) og balansen (tilførte minus bortførte mengder, dvs. pluss = overskudd, minus = underskudd). Når det gjaldt nitrogen, var det kun på leddet med en stor mengde N i mineralgjødning at det var overskudd. Underskuddet var relativt lite ved bruk av husdyrgjødsel, mens flere av de andre forsøksleddene hadde nesten like store N-underskudd som leddet uten gjødning. Dette betyr at de tappet jorda for N.

P-opptaket var omtrent like stort med bruk av husdyrgjødsel som ved bruk av den største NPK-mengden i mineralgjødning og relativt stort også på de andre forsøksleddene hvor P-gjødsel ble tilført. Ingen av disse leddene viste P-underskudd, mens uten gjødning var underskuddet ca. 0,8 kg P pr. år.

K-opptaket var størst på leddet med stor NPK-mengde, og på dette leddet var det noe overskudd. Bruk av husdyrgjødsel hadde et relativt stort K-opptak, og bare litt underskudd, sett i forhold til tilførselen. Andre ledd med bruk av K-gjødsel hadde opptak på ca. 5-7 kg K og underskudd på ca. 2-3 kg K. Uten gjødning var underskuddet 4,5 kg K pr. år. Dette tyder på at denne jorda har stor evne til å frigjøre K.

Ut fra tallene bak figur 7 er det estimert prosentandelen av næringsstoffene som ble fjernet med avlingene, sett i forhold til mengdene tilført som gjødning, etter å ha trukket fra opptakene som ble målt uten gjødning. Dette kalles 'gjenvinningsgraden' og er et mål på hvor effektivt næringsstoffene blir utnyttet. Tabell 6 viser verdiene som er beregnet i middel av alle årene.

**Tabell 6: Gjenvinning av tilførte N-, P- og K-mengder beregnet som økningen i opptak relativt til ugjødslete ledd, som prosent av mengdene tilført pr. år (kg/daa, middel av 60 år med gjødning og 1 år uten gjødning).**

	N tilført	N-gjenv. %	P tilført	P-gjenv. %	K tilført	K-gjenv. %
<b>NPK-stor</b>	11,2	31	2,2	29	10,6	43
<b>HDG</b>	5,9	33	2,3	28	7,0	47
<b>NPK-liten</b>	2,4	79	1,6	32	3,4	62
<b>NP</b>	2,1	95	1,5	34	-	-
<b>NK</b>	2,1	59	-	-	3,0	43
<b>N</b>	2,1	9	-	-	-	-
<b>PK</b>	-	-	1,5	31	3,0	55
<b>P</b>	-	-	1,5	30	-	-
<b>K</b>	-	-	-	-	3,0	16

(samme gruppering av HDG og NPK-liten som i figur 7)

For nitrogen var det langt høyere gjenvinningsgrad ved bruk av liten N-mengde i mineralgjødning enn ved bruk av stor mengde. Det var relativt dårlig gjenvinning av N tilført i form av husdyrgjødsel kontra bruk av mineralsk NPK-gjødsel. Forutsatt en lineær nedgang i gjenvinningsgrad mellom liten og stor mengde N i sistnevnte, ville man ved N-mengden tilført som husdyrgjødsel ha forventet 60 % gjenvinning, mens tallet som ble funnet var omtrent det halve. N-utnyttelsen var også hemmet når P-gjødsel ble utelatt og var ekstremt lav når både P og K ble utelatt.

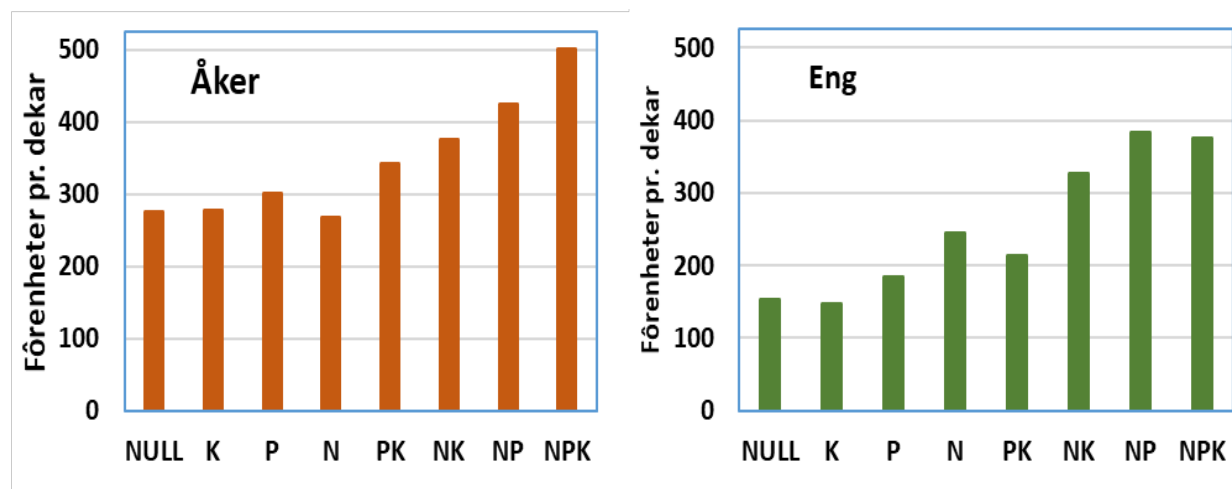
Gjenvinningsgraden av P var ca. en tredjedel av tilført mengde, med bare små variasjoner mellom de ulike forsøksleddene. Gjenvinningsgraden av K-gjødsel var som oftest 40-60 %, bortsett fra når det ble tilført alene, da det var mye mindre. Også for K var det stor nedgang i gjenvinning mellom bruk av liten og stor mengde NPK-gjødsel, med ca. 2,5 % nedgang pr. ekstra kg K tilført. Utnyttelsen av K tilført som husdyrgjødsel så ut til å være bare litt dårligere enn utnyttelsen av K tilført som mineralgjødning. Ved en lineær nedgang, ville man med K-mengden tilført som husdyrgjødsel ha forventet gjenvinning av 53 %, mens den målte verdien var 47 %. Dette avviket er trolig innenfor estimatenes feilmargin.

## 2.2 Perioden 1983-2021 (endret forsøksplan)

### 2.2.1 Avlinger

Noen avlingsresultater fra de første årene i denne perioden er tidligere publisert av Ekeberg (1987), for perioden 1983-1996 av Ekeberg (1994) og for årene 1997-2001 av Riley (2002). Resultater for alle årene 1983-2003 ble publisert av Riley (2007). Resultatene for ettervirkninger målt i årene 2004-2007 ble publisert av Riley (2009) og for perioden fram til 2014 av Riley (2015, 2016a og b).

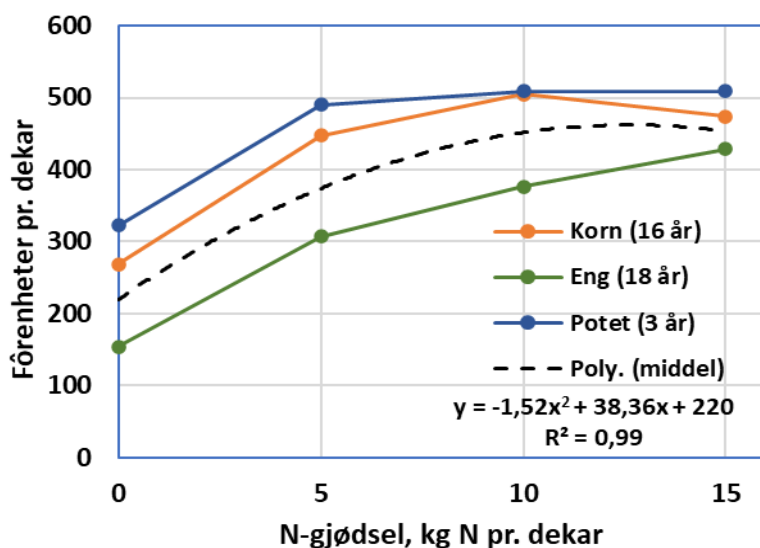
Figur 8 viser effektene av ulike kombinasjoner av N, P og K gitt som mineralgjødning på avlingsnivå i middel av 37 år (1983-2021, unntatt 1994 da feltet ikke ble gjødslet og 2010 da feltet ble brakket). Resultatene viser samme trend som i den tidligere forsøksperioden (figur 3), og kan trolig tolkes som et eksempel på 'klassisk kunnskap'. Avlingsnivået er noe høyere her enn tidligere fordi det er brukt større gjødselmengder. Også her er det tydelige samspill mellom hovednæringsstoffene N, P og K. Det er som kjent N som betyr mest for avlingsmengden, men særlig avlingsøkning ble ikke oppnådd uten P, og i mindre grad uten K. Tilførsel av K alene øker ikke avlingen og P alene gav svært lite økning. Når P og K ble gitt uten N hadde de noe større virkning, særlig hos åkervekster. Bruk av N alene har ikke økt avlingen hos sistnevnte, men det har hatt positivt utslag i eng. Tilførsel av K sammen med N var gunstig hos begge vekstgrupper, og dette gjaldt i enda større grad ved tilførsel av P sammen med N. Størst avling hos åkervekstene fikk man ved bruk av alle tre stoffene, mens i eng ser ikke bruk av K sammen med P og N til å ha gitt noen ytterligere gevinst over bruk av bare N og P.



Figur 8: Avlinger i perioden 1983-2021 i middel av 19 år med åker (16 korn og 3 potet) og 18 år med eng, ved ulike kombinasjoner av N, P og K med årlige tilførsler av 10 kg N, 2,5 kg P og 12 kg K pr. dekar.

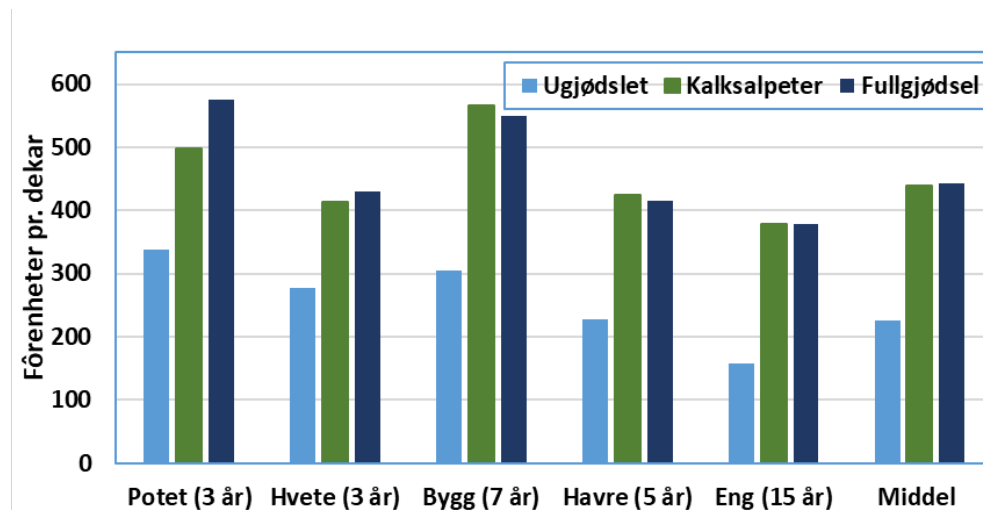
Figur 9 viser middelavlingene oppnådd i løpet av perioden 1983-2021 ved stigende N-mengder i kalksalpeter, tilført sammen med P og K, for hhv. korn, eng og potet. Korn og eng var representert med omtrent like mange år, mens potet ble dyrket i bare tre år. Uttrykt i form av fôrenheter viser her potet og korn noenlunde samme maksimale avlingsnivå (500 f.e.). Hos potet motsvarer dette en knollavling på ca. 2.500 kg pr. dekar, mens hos korn motsvarer det ca. 400 kg korn og 400 kg halm pr. dekar. Maksimalt gjennomsnittlig avlingsnivå oppnådd i eng motsvarer ca. 850 kg tørrstoff pr. dekar.

Hos potet var det bare litt økning i avling mellom 5 og 10 kg N. Hos korn var det økning opp til 10 kg N og litt nedgang ved 15 kg N, trolig som følge av legde i noen år. I eng fortsatte avlingen å øke nesten lineært opp til 15 kg N, slik at optimal N-gjødsling til denne veksten trolig ligger høyere enn dette. Den stiplede linjen i figuren viser en beregnet responskurve i middel av alle tre vekstene, med et maksimalt nivå midtveis imellom 10 og 15 kg N.



Figur 9: Middellavlinger av korn, eng og potet oppnådd i perioden 1983-2021 ved stigende N-mengder sammen med 2,5 kg P og 12 kg K pr. dekar, samt en beregnet responskurve i middel av alle tre vekstene.

Bruk av 10 kg N/daa i form av både kalksalpeter (tilført sammen med P og K) og Fullgjødning er blitt sammenliknet i 33 år, med like mange kornår som engår, men med potet i bare tre år (figur 10). Hos sistnevnte vekst var det 15 % større avling ved bruk av Fullgjødning enn ved bruk av kalksalpeter, mens hos de andre vekstene var det nesten ingen forskjell mellom N-kildene. Det er mulig at potet hadde noe fordel av at det ved bruk av Fullgjødning ble tilført mer P og K, og betydelig mer svovel. Utslaget var imidlertid ikke statistisk signifikant. I middel av alle 33 årene ble avlingsnivået doblet ved bruk av 10 kg N i begge N-kildene, sett i forhold til det ugjødslete leddet.



Figur 10: Middellavlinger av ulike vekster oppnådd ved bruk av 10 kg N i kalksalpeter, pluss 2,5 kg P og 12 kg K, og med bruk av 10 kg N i Fullgjødning med ca. 4 kg P og 14 kg K sammenliknet med ugjødslet ledd (tall fra E-feltet i periodene 1983-2003 og 2008-2021).

Avlingsresultatene for bruk av husdyrgjødsel (HDG) i perioden 1983-2021 er delt mellom årene med bruk av fastgjødning (1983-2010, 28 år minus 5 år da HDG ikke ble tilført og 1 år uten høstet avling) og årene med bruk av våtkompostert gylle (2011-2021). Tabell 7 viser avlingene av åkervekster og eng som ble oppnådd, og prosentvise økninger sett i forhold til avlingen uten gjødning. Avlingen med den største mengden av fastgjødning er ikke vist i tabellen, da denne behandlingen ble avsluttet etter 2003.

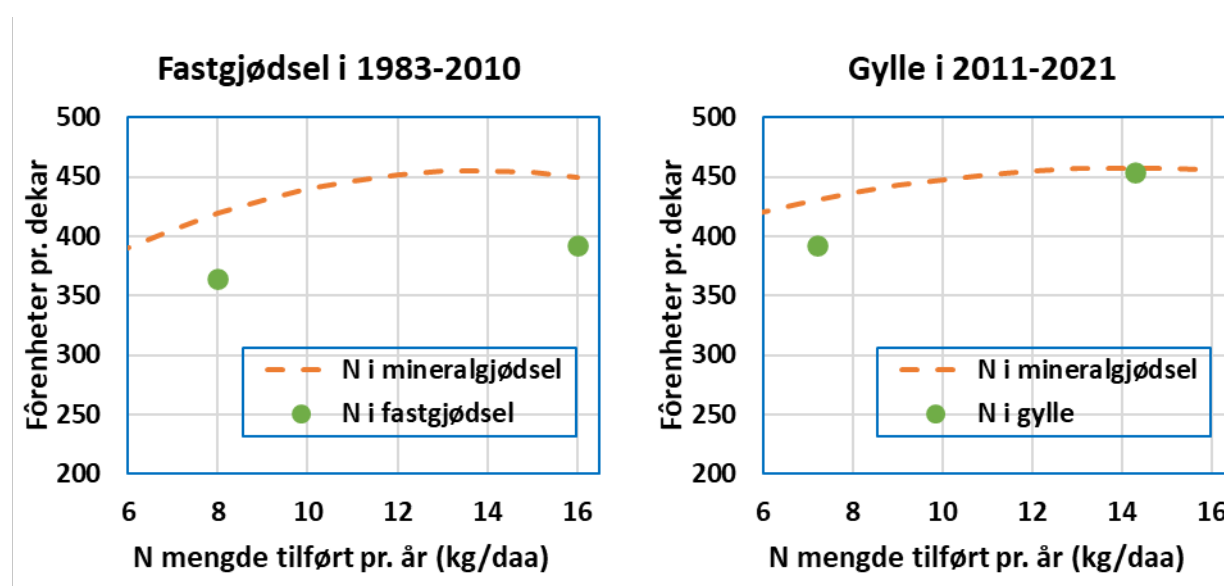
Tabell 7: Avlinger ved bruk av lave og middels høye mengder med hhv. fastgjødning i perioden 1983-2010 og av våtkompostert gylle i perioden 2011-2021, sett i forhold til forsøksledd uten gjødning siden 1922.

	Förenheter pr. dekar			Økning over ugjødset ledd	
	Ugjødset	Lav HDG	Middels HDG	Lav HDG	Middels HDG
<b>1983-2010</b>					
Eng (9 år)	141	276	310	+96 %	+120 %
Åker (13 år)	270	424	449	+57 %	+66 %
<i>Middel (22 år)</i>	<i>217</i>	<i>364</i>	<i>392</i>	<i>+68 %</i>	<i>+81 %</i>
<b>2011-2021</b>					
Eng (6 år)	170	328	403	+93 %	+138 %
Åker (5 år)	290	469	515	+61 %	+77 %
<i>Middel (11 år)</i>	<i>224</i>	<i>392</i>	<i>454</i>	<i>+75 %</i>	<i>+102 %</i>

I begge periodene økte bruk av HDG avlingene av engvekster betydelig mer enn det gjorde for avlingene av åkervekster. Gylle gav generelt noe større økninger enn fastgjødning, til tross for at det ble tilført vel så store NPK-mengder med fastgjødning. Dette skyldes trolig den høye andelen av mineralisert nitrogen i gyllen. Bruk av 6 tonn fastgjødning på F-feltet i årene fram til 2003 gav 28 f.e. større avling (+8 %) enn bruk av 4 tonn fastgjødning på F-feltet i samme tidsrom (ikke vist i tabellen).

For å sammenlikne effektiviteten av nitrogen tilført i form av husdyrgjødsel med det man oppnådde ved bruk av N i mineralgjødning, sammen med P og K, ble det laget N-responskurver for middelavlingene oppnådd ved N-tilførsler av 5, 10 og 15 kg N pr. dekar i periodene hhv. før og etter 2010. Begge kurver viste svakt avtakende respons (begge med  $R^2$  verdier = 1).

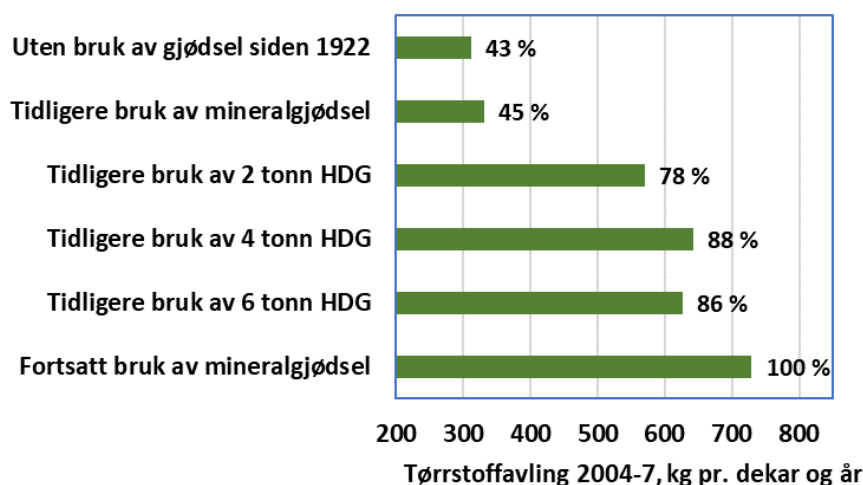
Avlingene som ble oppnådd med HDG ble plottet mot N-responskurven for de aktuelle periodene (figur 11). Ved bruk av både lav og middels stor mengde fastgjødning oppnådde man avlinger som tilsvarte 87 % av det man fikk ved tilførsel av de samme N-mengdene i form av mineralgjødning. Ved bruk av lav og middels stor mengde gylle, tilsvarte avlingene hhv. 91 % og 99 % av det man fikk ved de samme N-mengdene gitt i form av mineralgjødning. Generelt er altså N-effektiviteten ved bruk av HDG ca. 90 % av den til mineralgjødning. Ved tolking av resultatene bør man huske på at N-mengdene som ble tilført i form av HDG nok varierte en del mellom årene (jfr. analysetallene i tabeller 1 og 2), og evt. tap til luft kan også ha variert.



Figur 11: Middelavlinger ved bruk av fastgjødning i årene 1983-2010 og ved bruk av gylle i årene 2011-2021, plottet mot N-responskurver ved bruk av N i mineralgjødning, sammen med P og K, i de samme periodene.

Feltene ble ikke gjødslet i 1994, og Ekeberg (1997) meldte om *ettervirkningene av tidligere gjødsling* det året. I likhet med resultatet nevnt tidligere for 1977, fant han betydelig større ettervirkning på ruter som tidligere hadde fått husdyrgjødsel enn på ruter som tidligere hadde fått mineralisk NPK-gjødsel. På ledd uten tidligere gjødsling var hveteavlingen 196 f.e., mens den etter tidligere bruk av mineralisk NPK-gjødsel var 213 f.e. (+9 %) og etter tidligere bruk av husdyrgjødsel var den 266 f.e. (+36 %). Etter husdyrgjødsel var proteininnhold i kornet 2 %-enheter høyere enn etter mineralgjødsel. Det var sterk tørke i 1994, og resultatet skyldes trolig både større frigjøring av næring i veksttida og større vann-tilgjengelighet i jorda etter bruk av husdyrgjødsel.

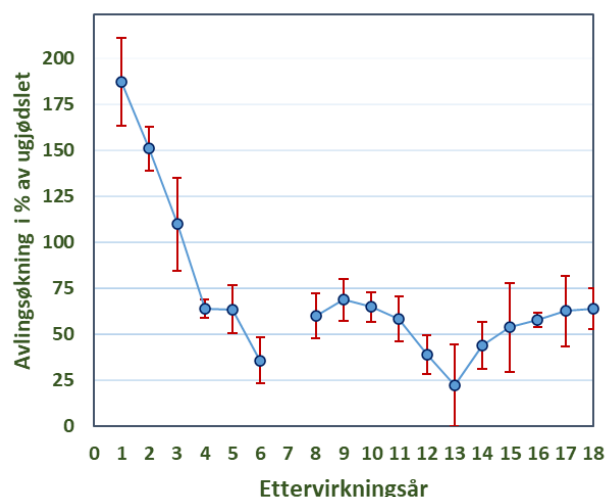
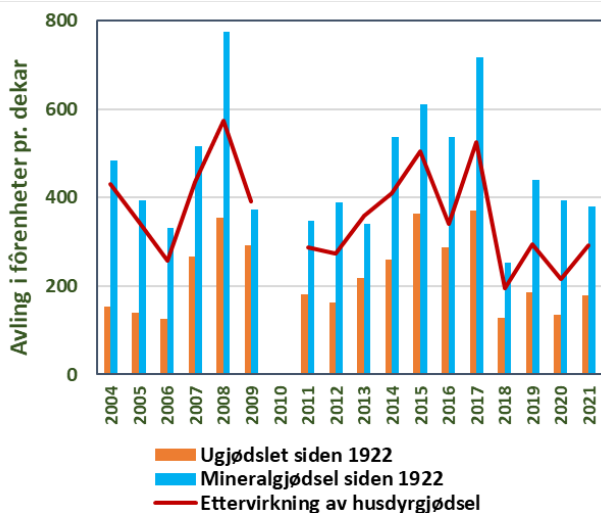
*Ettervirkningene av husdyrgjødsel og mineralgjødsel* ble også undersøkt i perioden 2004-2007. I disse årene ble det ikke tilført husdyrgjødsel og mineralisk NPK-gjødsel ble heller ikke tilført på noen av leddene (E2 og F10) som tidligere hadde blitt gjødslet relativt sterkt med mineralgjødsel. Ettervirkninger ble evaluert i forhold til både ruter som hadde vært helt uten næringstilførsel siden 1922 og ruter som fortsatt ble gjødslet med 10 kg N; 2,5 kg P; 12 kg K pr. dekar og år. Det var ingen signifikant ettervirkning av mineralgjødsel på avling, sett i forhold til ledd uten næringstilførsel siden 1922. På begge disse ledd var avlingsnivået bare 43-45 % av nivået på ledd som fortsatt ble gjødslet med 10 kg N i mineralgjødsel. Ved tidligere bruk av husdyrgjødsel var det derimot store positive ettervirkninger. På disse leddene holdt avlingene seg fremdeles på ca. 80-90 % av det nivået man fikk ved fortsatt bruk av mineralgjødsel (figur 12).



**Figur 12:** Tørrstoffavlinger målt i 2004-7 (3 engår og 1 kornår), da ettervirkningene ved tidligere bruk av husdyrgjødsel i ca. 80 år (2, 4 og 6 tonn fastgjødsel pr. år fra 1983 til 2003 og ca. 1,6 tonn pr. år tidligere) ble sammenliknet med ledd uten gjødsel siden 1922 og ledd med både tidligere bruk av mineralgjødsel og ledd med fortsatt bruk av 10 kg N i mineralisk NPK-gjødsel.

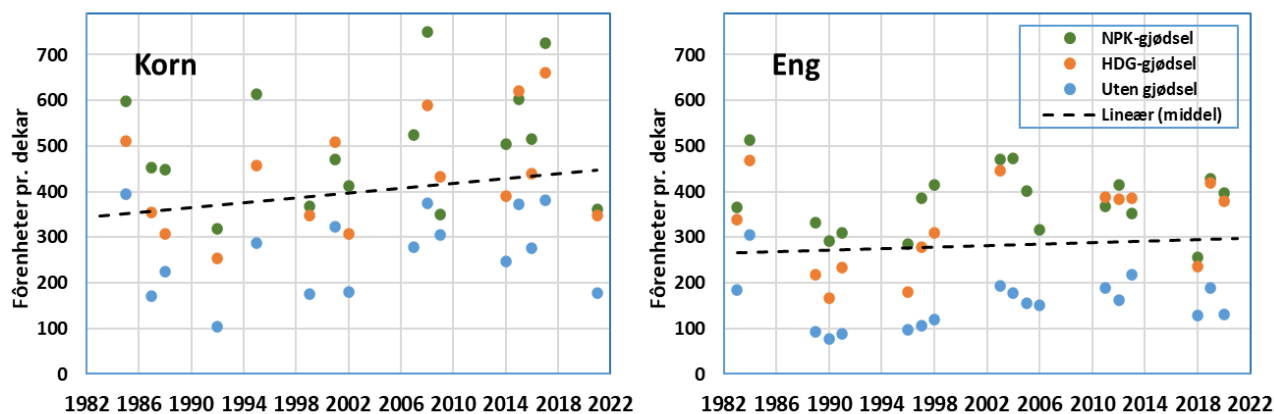
I 2008 ble tilførsel av mineralgjødsel gjenopptatt på samme nivå som tidligere. Da begynte man igjen med bruk av husdyrgjødsel på ledd som tidligere hadde fått 2 og 4 tonn fastgjødsel pr. dekar og år, men ikke på leddet som tidligere hadde fått 6 tonn pr. dekar og år.

På sistnevnte ledd er det ikke tilført gjødsel siden 2003, og det er funnet positive ettervirkninger av tidligere husdyrgjødsel hvert år etterpå, i alt 18 år. Avlingene på dette leddet har i middel av hele perioden ligget på 79 % av det man har fått ved årlig bruk av 10 kg N pr. dekar i NPK-gjødsel (figur 13, til venstre). De tre første årene var det mer enn 100 % meravling sett i forhold til det ugjødslete kontroll-leddet, og fra det fjerde til det attende året har meravlingene ligget i gjennomsnitt 54 % over kontroll-leddet (figur 13, til høyre).



Figur 13: Ettvervirkninger målt i 2004-2021 ved bruk husdyrgjødsel siden 1922 (6 tonn fastgjødning siden 1983) sammenliknet med ledd uten gjødning siden 1922 og fortsatt bruk av 10 kg N i mineralgjødning. Venstre figur viser avlinger i fôreheter og høyre figur viser økninger ved tidligere bruk av husdyrgjødsel i % av ugjødslet.

Figur 14 viser *avlingsvariasjonene i perioden 1983-2021 for korn og eng* ved utvalgte gjødslinger. Variasjonen var særlig stor hos korn, men denne vekstgruppen viste en svak økning i nivå over tid. Det var mindre variasjon i engavling enn i korn, og eng viste nesten ingen økning over tid. I middel av alle gjødselledd som er vist i figur 14 var økningen i kornavling 2,6 f.e. pr. år, dvs. en økning på ca. 100 f.e. pr. dekar i løpet av 40-års perioden, eller snaut +30 % sett i forhold til starten. Likningen forklarte bare 8 % av variasjonen i middelavlingen, så man skal være forsiktig med å trekke sikre konklusjoner. Det kan likevel nevnes at økningen er av samme størrelsesorden som den årlige sortsframgangen i norske konsorter som er blitt oppgitt for perioden 1990-2010 av Stabbetorp (2010, 2021).



Figur 14: Avlingene av korn og eng for utvalgte forsøksledd fra 1983 til 2021. NPK-gjødsel = 10 kg N (middel av E1 og F6), HDG = lav og middels mengder husdyrgjødsel (middel av E6, E7, F10 og F11), Uten gjødning siden 1922 (middel av E8 og F1).

Tallene i figur 14 gjelder for totalavlingen i fôreheter, med fôrverdien av halm satt til ca. én fjerdedel av fôrverdien til korn. Kornprosenten (dvs. vekten av korn i forhold til summen av korn og halm) har som kjent økt betraktelig over tid. Etter tallene oppgitt av Rønsen (1965), var kornprosenten i forsøket i middel av årene 1922-1963 bare 42 %. Tidlig på 1980-tallet lå kornprosenten rundt 50 %, mens det i middel av åtte år med korn i perioden 2008-2021 var 64 %. Dette betyr at kornet utgjør i dag nærmere 90 % av totalavlingen uttrykt som fôreheter, mot bare litt over 70 % i 1922-1963 og ca. 80 % rundt 1980. Dette betyr at andelen med korn har økt relativt sett mer enn andelen av halm i totalavlingen.



**Uten gjødsel siden 1922**



**Med NPK-gjødsel hvert år**



**Husdyrgjødsel hvert år**



**Bare N-gjødsel hvert år**



**Bare P-gjødsel hvert år**



**Bare K-gjødsel hvert år**

Bilde 4: Forskjeller mellom ulike gjødselbehandlinger er ofte godt synlig i potet, som her sommeren 1993.

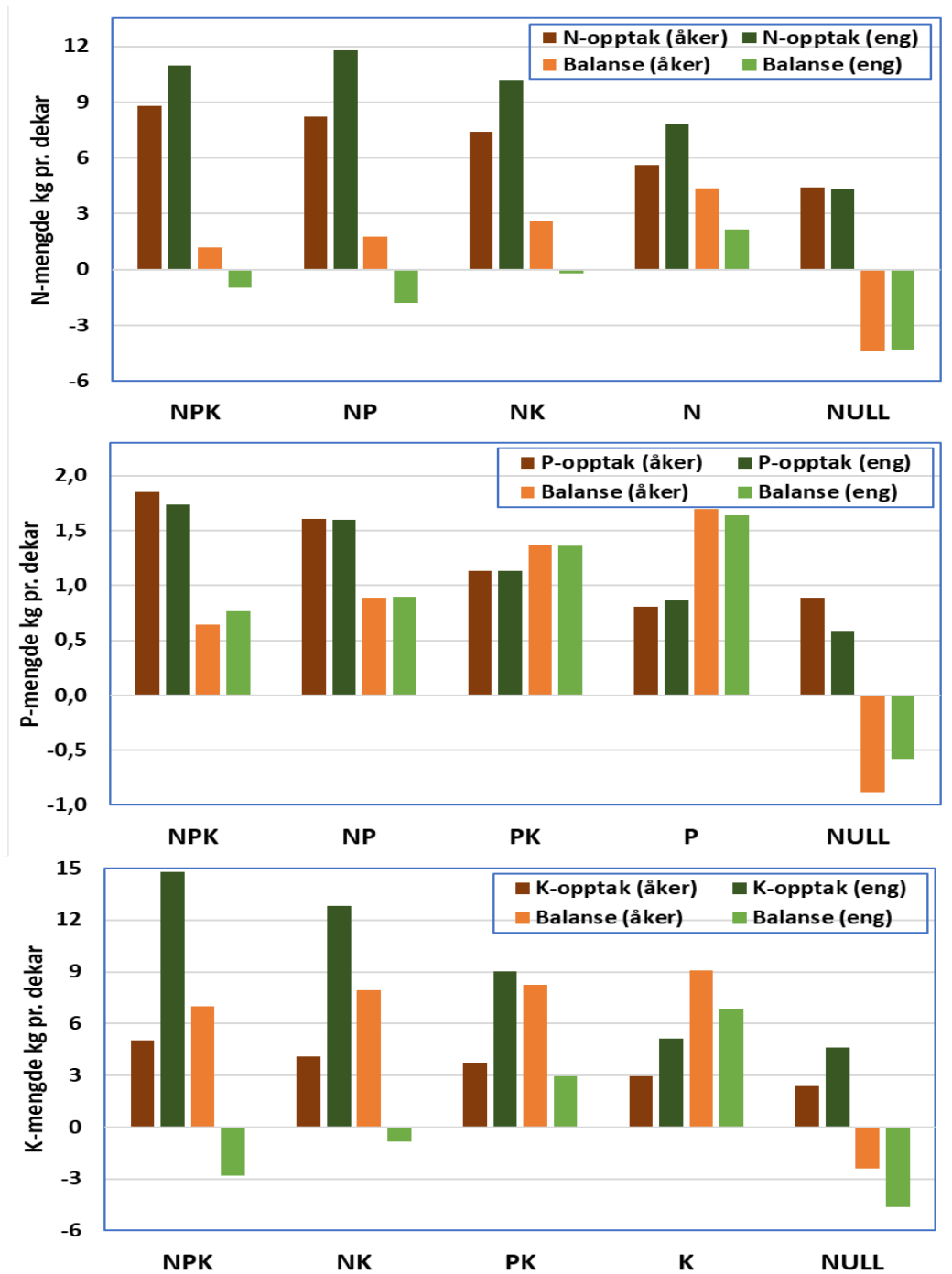
Foto: E. Ekeberg



## 2.2.2 Næringsopptak

Analyser av N-, P- og K-konsentrasjonene i avlingene er utført årlig i perioden etter 1983. Resultater for opptakene tidlig i perioden er presentert i de samme rapportene som nevnt for avlinger (jfr. 2.2.1). I det følgende gis en oversikt over opptakene i middel av hele perioden (obs. det er brukt relevante middeltall for konsentrasjonene i årene 2020 og 2021, da analysene for disse årene ikke var ferdige).

Figur 15 viser gjennomsnittlige NPK-mengder som ble bortført med avlingene i forsøksleddene med faktorielle kombinasjoner av N-, P- og K-gjødsel, og balansen (tilførte minus bortførte mengder, dvs. pluss = overskudd, minus = underskudd). Åkervekstene bestod av 16 år med korn og tre med potet.



Figur 15: Opptak av N, P og K i avlingene ved ulike kombinasjoner av N, P og K og balansen mellom mengdene tilført minus bortført, i middel av 19 år med åkervekster og 18 år med eng fra 1983 til 2021. Gjødselmengdene var 10 kg N/daa i kalksalpeter, 2,5 kg P/daa i superfosfat og 12 kg K/daa i kaliumklorid.

N-opptaket var høyere i eng enn i åkervekster på alle ledd unntatt leddet uten gjødsling. NPK- og NP-leddene hadde tilnærmet samme N-opptak, mens det var mindre på NK- og N-leddene. I åkervekster var det overskudd av N-gjødsel, mens i eng var det små underskudd. Relativt til de største opptakene, var N-opptakene uten gjødsling bare ca. 40 % i eng og 50 % i åkervekster. N-opptaket økte også ved bruk av P og PK uten N, spesielt i eng (ikke vist), trolig fordi det ofte var mye kløver på disse rutene.

P-opptakene var relativt like hos både åkervekster og eng. Opptaksmengdene fulgte den samme trend mellom forsøksledd som for N-opptak. Det var store P-overskudd på alle ledd som ble tilført P-gjødsel. P-opptak uten gjødsel var noe høyere i åkervekster enn i eng.

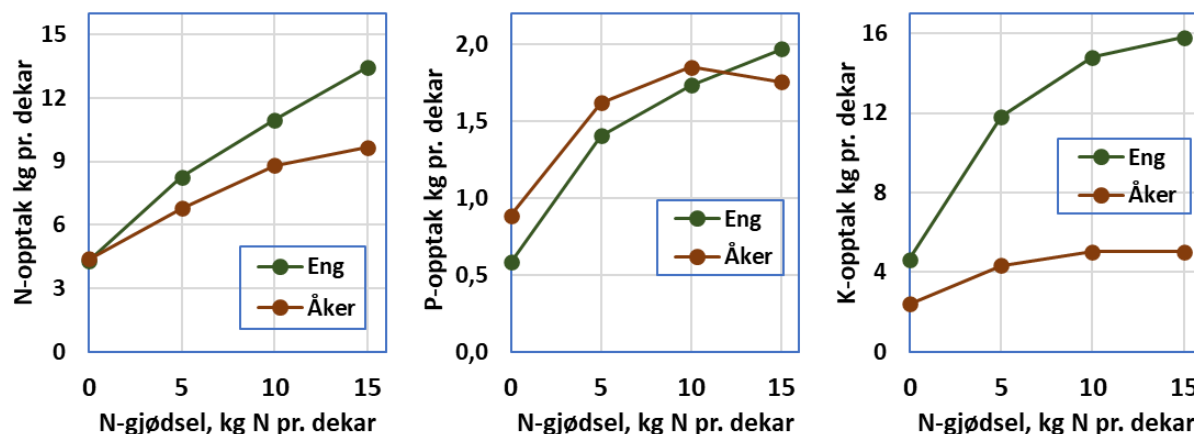
K-opptakene var gjennomgående langt høyere i eng enn i åkervekstene, spesielt for K-gjødsel brukt i kombinasjon med N-gjødsel. Det var følgelig større overskudd av K hos åkervekster enn i eng. Korn inneholder relativt lite K og mye K kan vaskes ut av halmen ved regnvær etter gulmodning.

Gjenvinningsgraden av de ulike næringsstoffene er vist i tabell 8, beregnet som beskrevet ifm. tabell 5. Det var høyere gjenvinning av alle tre næringsstoff i eng enn i åkervekster. Gjenvinningsgraden var spesielt lav når stoffene ble gitt alene. Den lave gjenvinning av K-gjødsel hos åkervekster har sammenheng med at den tilførte mengden (12 kg/daa) var langt over det som normalt brukes til korn.

**Tabell 8: Gjenvinning av tilførte N-, P- og K-mengder beregnet som økningen i opptak relativt til ugjødslete ledd, som prosent av mengdene tilført pr. år. Tallene er midler av samme antall år som i figur 15.**

N-gjenvinning	NPK	NP	NK	N
Eng	66	75	59	35
Åker	44	38	30	12
P-gjenvinning	NPK	NP	PK	P
Eng	46	41	22	11
Åker	39	29	10	-3
K-gjenvinning	NPK	NK	PK	K
Eng	85	68	37	4
Åker	22	14	11	4

Figur 16 viser NPK-opptakene i eng og åkervekster ved stigende mengder N-gjødsel. N-opptaket økte opp til største N-mengde hos begge vekstgrupper, men betydelig mer hos førstnevnte. P-opptaket i eng steg opp til den største N-mengden som ble brukt, mens i åkervekster steg det opp til 10 kg N-gjødsel. K-opptaket i eng steg langt mer ved økende N-gjødselmengde enn tilsvarende opptak i åkervekster.



**Figur 16: Opptak av N, P og K i avlingene ved stigende mengder N-gjødsel, sammen med 2,5 kg P og 12 kg K, i middel av 19 år med åkervekster og 18 år med eng i perioden 1983 til 2021.**

Gjenvinningsgraden av de ulike næringsstoffene ved bruk av stigende N-mengder er vist i tabell 9. Den prosentvise gjenvinning av tilført N-gjødsel avtok markert ved stigende N-mengder hos begge vekster. Verdiene hos åkervekstene var lavere enn hos eng, men de var på omtrent samme nivå som det som er rapportert tidligere fra et stort antall norske N-gjødslingsforsøk i korn (Riley mfl. 2012). Bruk av stigende N-mengder økte gjenvinningsgraden av P- og K-gjødsel, spesielt i eng.

**Tabell 9: Gjenvinning av tilførte N-, P- og K-mengder beregnet som økningen i opptak ved bruk stigende mengder N relativt til ugjødslete ledd, som prosent av mengdene tilført pr. år. Antall år som i figur 16.**

	5 kg N	10 kg N	15 kg N
<b>N-gjenvinning</b>			
Eng	79	66	61
Åker	48	44	35
<b>P-gjenvinning</b>			
Eng	33	46	55
Åker	29	39	35
<b>K-gjenvinning</b>			
Eng	60	85	93
Åker	16	22	22

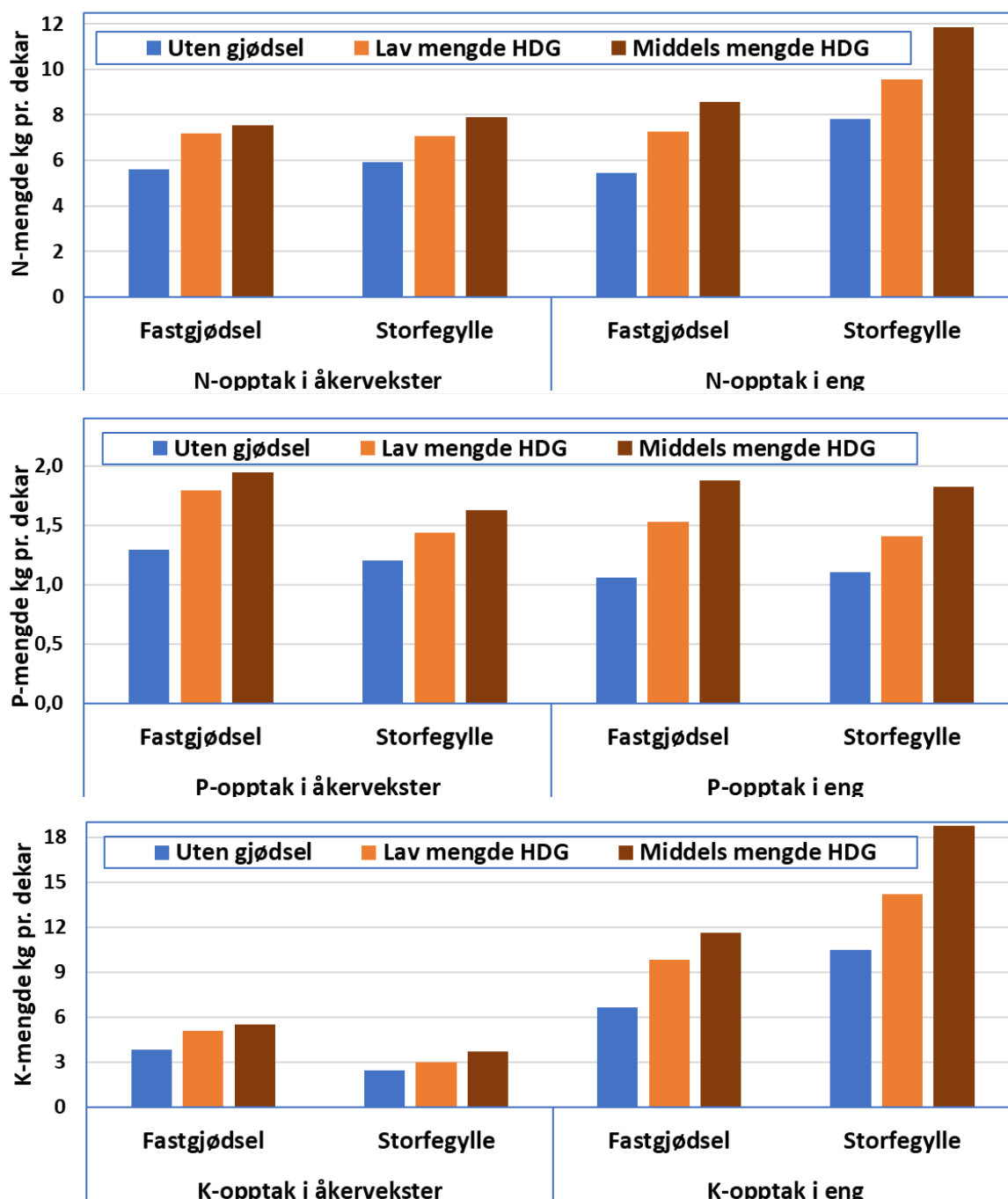
Det var små forskjeller i NPK-opptakene mellom gjødselkildene i middel av alle 33 årene da *bruk av kalksalpeter og Fullgjødsel* ble sammenliknet. Det var 4-5 % større N- og P-opptak ved bruk av samme N-mengde i Fullgjødsel som i kalksalpeter, men utslagene var ikke statistisk signifikante.

Figur 17 viser gjennomsnittlige NPK-mengder som ble bortført med avlingene ved *bruk av lav og middels mengder husdyrgjødsel*, og tabell 10 viser gjenvinningsgradene av de tilførte næringsstoffene. Opptakene av alle tre stoff økte med stigende mengde husdyrgjødsel. Hos åkervekster var N-opptaket ved bruk av storfegylle på samme nivå som ved bruk av fastgjødsel, men P- og K-opptakene var noe mindre med bruk av storfegylle. I eng steg N- og K-opptakene mer ved bruk av storfegylle enn ved bruk av fastgjødsel. Det må imidlertid presiseres at disse forskjellene kan være påvirket av at sammenlikningene er basert på bruk av gjødseltypene i ulike perioder, hhv. før 2010 for fastgjødsel og etter 2010 for storfegjødsel.

Gjenvinningsgradene av de tilførte næringsstoffene var lave ved bruk av begge typer husdyrgjødsel, spesielt når det gjelder N og K. De var noe høyere ved bruk av storfegylle enn ved bruk av fastgjødsel, men likevel lavere enn ved bruk av noenlunde tilsvarende mengder næringsstoff i mineralgjødsel.

**Tabell 10: Gjenvinning av tilførte N-, P- og K-mengder beregnet som økningen i opptak ved bruk av lav og middels mengder husdyrgjødsel, som prosent av mengdene tilført pr. år. Antall år som i figur 17.**

	Åker		Eng	
	Fastgjødsel	Storfegylle	Fastgjødsel	Storfegylle
<b>N-gjenvinning</b>				
Lav mengde	20	16	23	24
Middels mengde	12	14	20	28
<b>P-gjenvinning</b>				
Lav mengde	25	26	24	33
Middels mengde	16	24	21	40
<b>K-gjenvinning</b>				
Lav mengde	18	6	45	39
Middels mengde	12	7	35	43

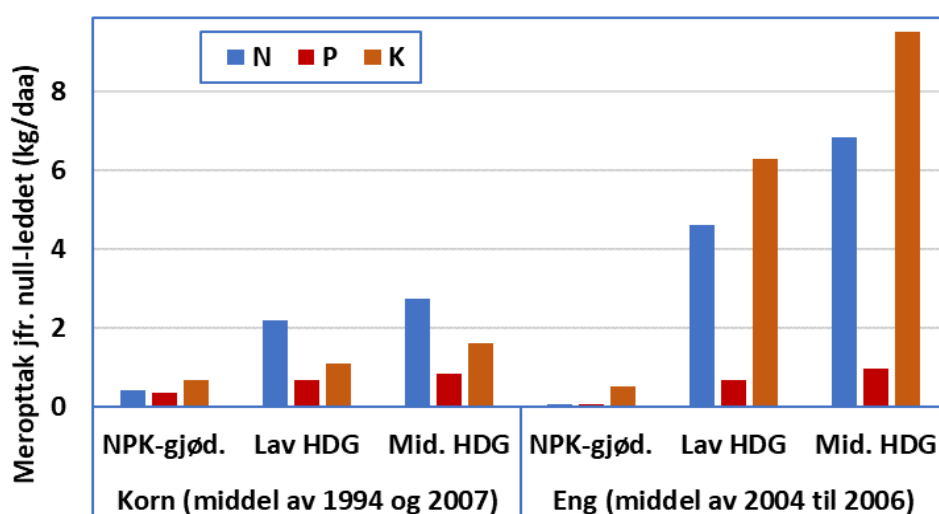


Figur 17: Opptak av N, P og K i avlingene ved lav og middels mengder husdyrgjødsel, med kompostert fastgjødsel fra 1983 til 2010 og våtkompostert storfegylle fra 2011 til 2021. For åkervekster er det middel av hhv. 13 år med fastgjødsel og 5 år med storfegylle. For eng er det tilsvarende middel av hhv. 9 år og 6 år. Ved lav mengde HDG ble det tilført hhv. ca. 8/7 kg N, 2/1 kg P og 7/10 kg K/daa i fastgjødsel/storfegylle.

I perioden 1983-2003, da det også ble tilført 6 tonn fastgjødsel pr. år i et forsøksledd på F-feltet, var opptakene noe større enn på leddet med 4 tonn fastgjødsel på samme felt (hhv. 8 % større for N, 13 % større for P og 15 % større for K). Gjenvinningsgraden av de tilførte næringsstoffene ved bruk av 6 tonn fastgjødsel var 14 % for N, 21 % for P og 29 % for K. Ved bruk av 6 tonn var de altså noe lavere for N enn ved bruk av 4 tonn, mens de for P og K var på omtrent samme nivå som ved sistnevnte mengde.

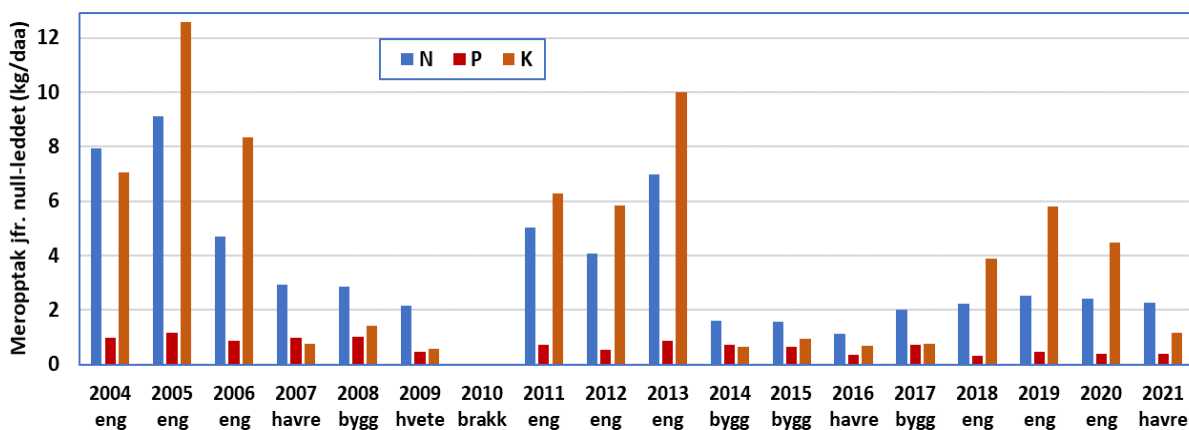
Ettervirkninger på NPK-opptakene ved tidligere bruk av hhv. mineralgjødning og husdyrgjødning ble undersøkt i hvete i 1994, i eng fra 2004 til 2006 og i havre i 2007. Figur 18 viser meropptakene av N, P og K i disse årene, sett i forhold til opptaket uten gjødsling siden 1922.

I begge årene med korn ble det funnet økt opptak av alle tre stoff ved tidligere bruk av NPK-gjødsel, men økningene var langt mindre enn de som ble funnet ved tidligere bruk av fastgjødning. Sett i forhold til de ugjødslete kontroll-leddene gav tidligere bruk av NPK-gjødsel 9 % større N-opptak, 29 % større P-opptak og 28 % større K-opptak. Prosentvise økninger i korn ved tidligere bruk av hhv. lav/middels mengder fastgjødning var 46/58 % for N, 53/67 % for P og 62/92 % for K. I eng hadde tidligere bruk av NPK-gjødsel liten virkning på opptakene, mens tidligere bruk av fastgjødning hadde stor virkning, spesielt på opptakene av N og K. De prosentvise økningene i eng var 90/134 % for N, 104/146 % for P og 108/163 % for K ved hhv. lav/middels mengder fastgjødning.



Figur 18: Ettervirkninger av langvarig bruk av mineralgjødning (NPK-gjødsel med ca. 10 kg N, 3 kg P og 13 kg K) sammenliknet med ettervirkningene av lav og middels mengder fastgjødning (HDG). Ettervirkningene er meropptakene av N, P og K i hhv. korn- og engavlinger, sammenliknet med ledd uten gjødsling siden 1922.

Figur 19 viser meropptakene i hele perioden etter siste tilførsel i 2003 for leddet med bruk ca. 1,8 tonn fastgjødning pr. år fra 1922-1982 og 6 tonn pr. år fra 1983 til 2003. Det har vært positive ettervirkninger hvert år i hele perioden 2004-2021, og de har vært betydelig større i år med eng enn i år med korn.



Figur 19: Ettervirkning av langvarig og til dels sterk gjødsling med fast husdyrgjødsling (ca. 1,7 tonn/daa/år fra 1922 til 1982 og 6 tonn/daa/år fra 1983 til 2003) på meropptak av N, P og K.

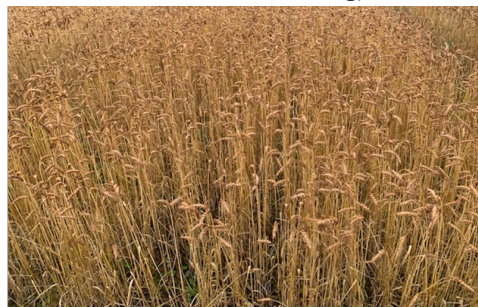
Hos begge vekstgrupper har meropptakene avtatt noe over tid, som vist i tabell 11. Sammenliknet med første engperiode (2004-'06) var meropptaket av N redusert med en firedel i andre engperiode (2011-'13) og med to tredeler i tredje engperiode (2018-'20). Meropptaket av N i korn var 35 % mindre i perioden etter 2013 enn i perioden 2007-'10. Hos begge vekstgruppene avtok også meropptakene av P og K over tid, men i noe mindre grad enn for N.

Tabell 11: Gjennomsnittlige meropptak av N, P og K (kg/daa) etter tidligere gjødsling med fast husdyrgjødsel (som nevnt i figur 19), gruppert etter vekst (eng/korn) og årstall etter siste tilførsel av husdyrgjødsel i 2003.

Vekstgruppe og periode	Meropptak av N	Meropptak av P	Meropptak av K
Eng 2004-'06	7,3	1,0	9,3
Eng 2011-'13	5,4	0,7	7,4
Eng 2018-'20	2,4	0,4	4,7
Korn 2007-'10	2,6	0,8	0,9
Korn 20014-'17 og '21	1,7	0,6	0,8
<i>Middel</i>	3,6	0,7	4,2



**Uten gjødsel siden 1922.** Hvete 265 kg/daa Halm 245 kg/daa



**Husdyrgjødsel fram til 2003, uten gjødsel de siste 19 årene**

Hvete 431 kg/daa Halm 324 kg/daa (+57 % fôrenheter)



**Mineralgjødsel hvert år (10 kg N, 2,5 kg P, 12 kg K /daa)**

Hvete 616 kg/daa Halm 527 kg/daa (+130 % fôrenheter)

Bilde 5: Hveteavlinger i 2022 på forsøksledd uten gjødsel siden 1922 (øverst), ettervirkning av langvarig bruk av husdyrgjødsel (i midten) og ved årlig bruk av mineralgjødsel (nederst). Foto: H. Riley

## 3 Jordanalyser

Hovden (1937) og Glærum (1949) utførte mange kjemiske analyser av jorda på forsøksfeltet, men flere av metodene de brukte vanskeliggjør sammenlikninger med nyere analyser. Vigerust og Rønsen (1965) redegjorde for analyser av matjorda utført i 1963 etter de samme metodene som fortsatt brukes i dag, og det er sju ganger seinere tatt jordprøver av matjorda (0-20 cm) fra alle ruter, med 5-12 års intervall. De fleste av analysene fra disse er redegjort for av Jetne (1974), Ekeberg (1987, 1997), Ekeberg og Riley (1995) og Riley (2007, 2016). Endringene i jordas karboninnhold er også omtalt av Singh mfl. (1998). Det er utført noen analyser av jord tatt fra dybdene 20-40 og 40-60 cm i 1992 (Riley 2007) og i 1996.

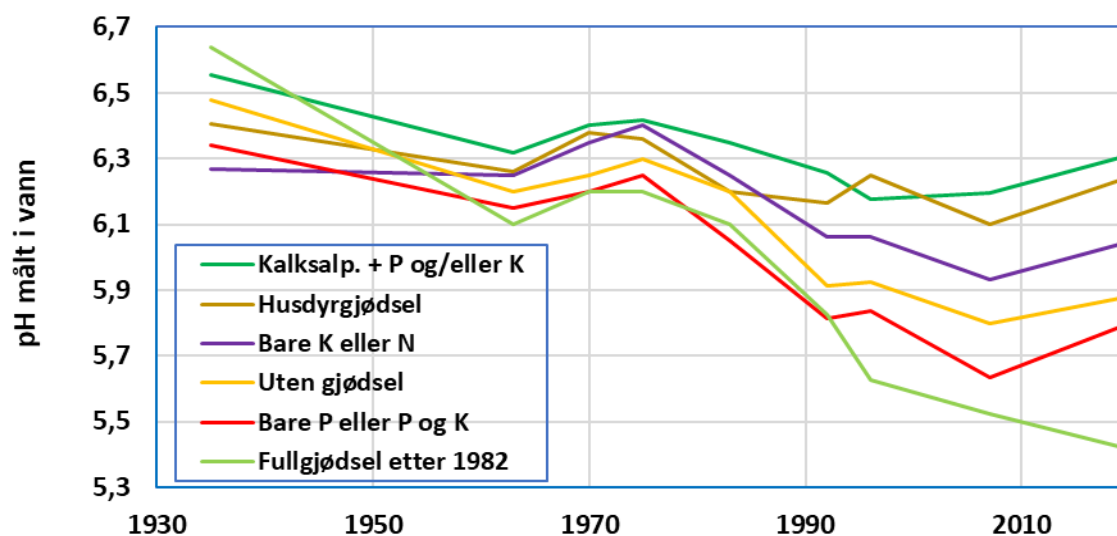
### 3.1 Jordreaksjon (pH) og baseinnhold (Ca, Mg, K) i matjorda

Tabell 12 viser leddmiddelverdiene for matjordas pH målt på ti tidspunkt fra 1928 til 2019, og ulike grupperinger er vist i figur 20. Jordreaksjonen var relativt høy på alle ledd i begynnelsen av perioden, og har avtatt noe over tid, spesielt etter 1970. Middelverdiene for perioden 1992-2019 er vist i figur 21 (venstre). Nedgangen har vært svakest på ledd med kalksalpeter og leddene med husdyrgjødsel, og sterkere på ledd uten gjødsel og de med bruk av bare P-gjødsel eller bare P- og K-gjødsel. Nedgangen har vært spesielt stor på leddet med bruk av Fullgjødsel siden 1983 (E2), som følge av den forsurende virkningen av ammoniumnitrat. Nedgangen i denne perioden ligger på ca. 0,02 pH-enheter pr. år.

Tabell 12. Jordreaksjon (pH i vann) i 0-20 cm dybde målt på ulike ledd gjennom hele forsøksperioden.

Ledd		1928	1935	1963	1970	1975	1983	1992	1996	2007	2019
E1	Mid. NPK	6,6	7,0	6,7	6,7	6,7	6,7	6,4	6,4	6,3	6,4
E2	Lav NPK <sup>1</sup>	6,5	6,6	6,1	6,2	6,2	6,1	5,8	5,6	5,5	5,4
E3	PK	6,4	6,5	6,0	6,1	6,2	5,9	5,7	5,7	5,6	5,8
E4	NP	6,5	6,7	6,2	6,3	6,3	6,3	6,2	6,1	6,3	6,5
E5	NK	6,5	6,7	6,2	6,4	6,4	6,3	6,3	6,2	6,2	6,3
E6	Lav HDG	6,5	6,7	6,3	6,3	6,4	6,2	6,1	6,1	5,9	6,2
E7	Mid. HDG	Mv	mv	6,2	6,3	6,4	6,3	6,2	6,2	6,1	6,5
E8	Ugjødslet	6,4	6,7	6,2	6,3	6,3	6,2	6,0	6,0	5,8	6,0
F1	Ugjødslet	6,2	6,3	6,2	6,2	6,3	6,2	5,9	5,9	5,8	5,8
F2	Lav HDG	6,2	6,3	6,2	6,5	6,3	6,2	6,1	6,1	6,0	6,1
F3	Mid. HDG	6,2	6,4	6,3	6,4	6,4	6,2	6,2	6,3	6,2	6,5
F4	Høy HDG <sup>2</sup>	6,2	6,3	6,3	6,4	6,3	6,1	6,3	6,5	6,4	6,0
F5	Lav NPK	6,3	6,4	6,2	6,2	6,3	6,2	6,1	6,0	6,0	6,1
F6	Mid. NPK	6,2	6,3	6,3	6,4	6,4	6,3	6,2	6,2	6,2	6,3
F7	P	6,2	6,2	6,3	6,3	6,3	6,2	5,9	6,0	5,7	5,8
F8	K	6,2	6,3	6,2	6,3	6,4	6,2	6,0	6,0	5,8	6,0
F9	N	6,3	6,3	6,3	6,4	6,4	6,3	6,1	6,2	6,1	6,1
F10	Høy NPK	6,3	6,2	6,3	6,4	6,4	6,3	6,3	6,2	6,2	6,3
	<b>Middel</b>	6,3	6,5	6,3	6,3	6,4	6,2	6,1	6,1	6,0	6,1

<sup>1</sup> Lav NPK erstattet med mid. NPK i Fullgjødsel på E2 etter 1982, <sup>2</sup> Ingen HDG tilført på F4 etter 2003



Figur 20: Endringer over tid i matjordens pH-nivå i ulike grupperinger av forsøksledd.

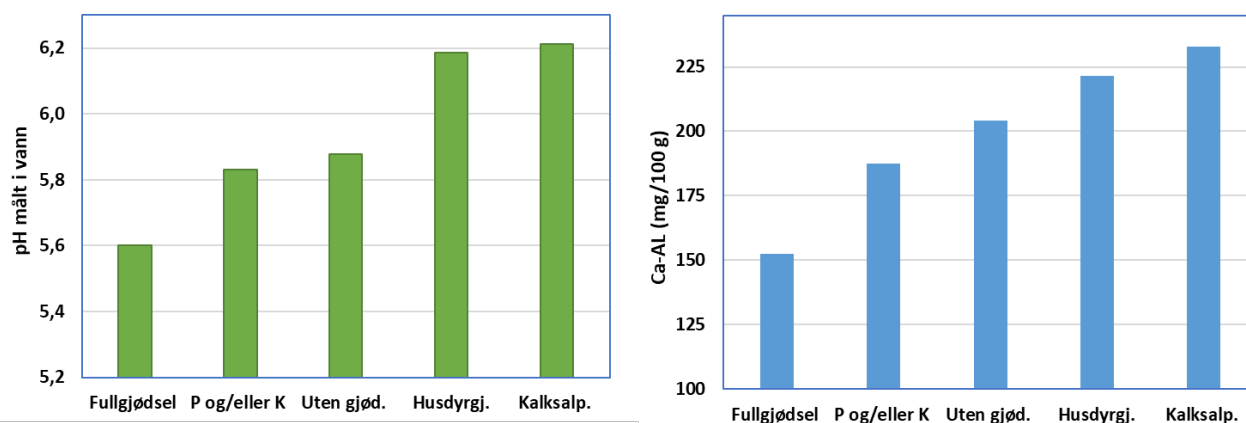
Tabell 13 viser leddmiddelverdiene for lett-tilgjengelig kalsium (Ca-AL) og magnesium (Mg-AL) i matjord, målt etter AL-metoden på fire tidspunkt fra 1992 til 2019. Tallene for Ca-AL følger samme mønster som for pH (figur 21, til høyre). Vigerust og Rønsen (1965) viste tidligere at kalsium står for i snitt 73 % av ombyttingskapasiteten (jfr. hydrogen 22 %, magnesium 3 % og kalium og natrium <2 %).

Tabell 13. Lett-tilgjengelig kalsium (Ca-AL) og magnesium (Mg-AL) i 0-20 cm dybde målt på ulike ledd i perioden 1992-2019.

Ledd	(mg/100g)	Ca-AL				Mg-AL			
		1992	1996	2007	2019	1992	1996	2007	2019
E1	Mid. NPK	255	257	273	218	2,5	3,1	1,8	3,5
E2	Fullgjødsel <sup>1</sup>	178	172	149	112	4,9	5,9	3,5	8,7
E3	PK	171	180	171	140	4,5	4,2	2,0	5,0
E4	NP	244	245	294	258	3,0	3,2	2,0	3,7
E5	NK	233	224	213	185	3,7	3,8	2,0	3,5
E6	Lav HDG	232	231	238	200	11,8	10,9	4,0	11,4
E7	Mid. HDG	236	224	245	213	15,8	11,9	4,0	14,5
E8	Ugjødslet	207	210	216	260	5,5	5,1	2,8	5,4
F1	Ugjødslet	191	190	181	178	4,0	4,4	2,3	4,7
F2	Lav HDG	213	211	213	190	11,7	10,6	4,0	11,1
F3	Mid. HDG	218	218	221	198	14,9	13,8	4,0	16,3
F4	Høy HDG <sup>2</sup>	237	237	254	203	17,4	15,8	4,0	9,5
F5	Lav NPK	215	212	208	188	3,3	3,4	2,0	,4
F6	Mid. NPK	236	230	241	228	2,6	3,2	1,5	3,7
F7	P	222	228	221	208	4,3	4,5	2,3	5,9
F8	K	190	199	164	155	4,5	4,6	2,0	4,5
F9	N	223	224	231	208	3,0	3,1	1,8	3,4
F10	Høy NPK	272	242	241	228	2,6	2,9	1,5	3,2
<b>Middel</b>		221	218	221	198	6,7	6,3	2,6	6,7

<sup>1</sup> Samme N-mengde i Fullgjødsel som i leddet Mid. NPK, <sup>2</sup> Ingen HDG tilført på F4 etter 2003

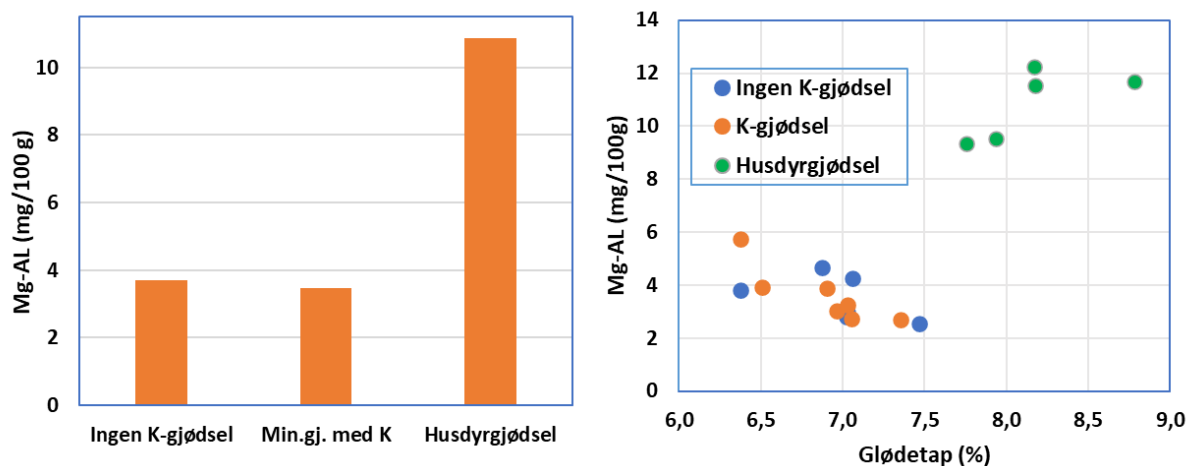




**Figur 21: Middelverdier av pH og Ca-AL målt i matjorda fire ganger i perioden 1992-2019, gruppert etter ulike N-kilde (Fullgj./Kalksalp), P og/eller K uten N, uten gjødsling siden 1922 eller med husdyrgjødsel siden 1922.**

Når det gjelder tallene for magnesium skiller leddene med bruk av husdyrgjødsel seg klart ut med mye større innhold av Mg-AL enn andre ledd, mens det er lite som skiller ledd med og uten K-gjødsel (figur 22 til venstre). De laveste Mg-AL verdiene er blitt målt på ledd med N i form av kalksalpeter, med eller uten P- og K-gjødsel. De ugjødslete leddene (E8 og F1) har gjennomgående hatt noe høyere verdier enn de sistnevnte. Det samme gjelder i mange tilfeller for leddene med bare P- og/eller K-gjødsel.

Årsaken til høyere Mg-AL ved bruk av husdyrgjødsel kan, i tillegg til tilførselen av en del magnesium, ha sammenheng med at disse leddene har høyere moldinnhold enn ledd uten husdyrgjødsel (figur 22, til høyre). Det er nærliggende å tro at disse leddene har høyere ombyttingskapasitet for kationer, noe som kan føre til større Mg-lagring.



**Figur 22: Middelverdier av Mg-AL målt i matjorda fire ganger i perioden 1992-2019, uten eller med bruk av K-gjødsel sammenliknet med bruk av husdyrgjødsel (til venstre), og plottet mot jordas glødetap (til høyre).**

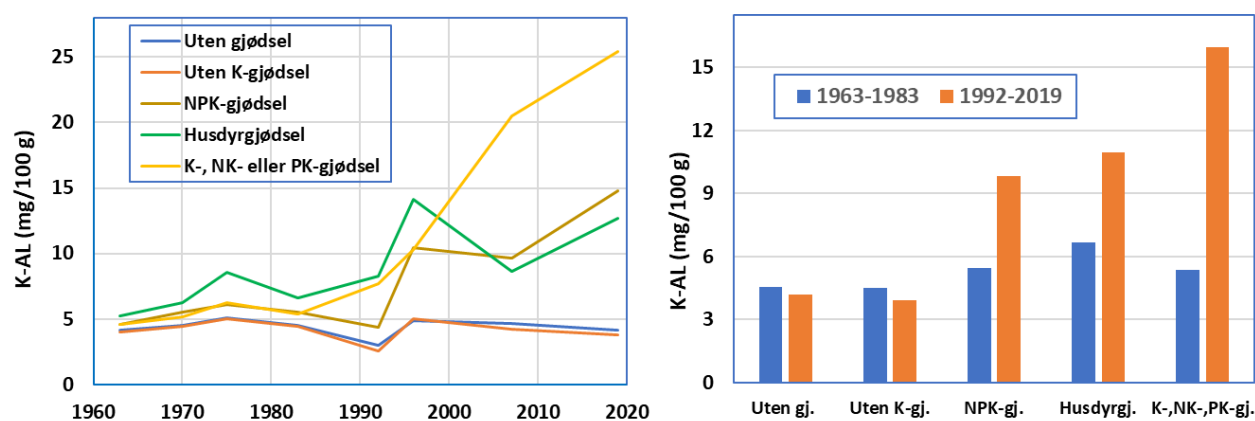
Forholdet mellom kalsium og magnesium uttrykt på ekvivalentbasis (ekvivalentvekt = masse delt med atomvekt/valens) var høyt på alle ledd, sammenliknet med det som ofte regnes som ideelt i jord (3-8). Verdiene som var nærmest dette nivået ble funnet på ledd med husdyrgjødsel (12) og leddet med fullgjødelse (16). Verdiene på ledd uten gjødsel eller med bare P og/eller K var i snitt nærmere 30 og på ledd med kalksalpeter var de nærmere 50. Sistnevnte kan trolig medføre risiko for hemmet opptak av magnesium.

Tabell 14 viser leddmiddelverdiene for lett-tilgjengelig kalium i matjorda (K-AL) målt på åtte tidspunkt fra 1963 til 2019. Figur 23 viser endringene over tid for ulike grupperinger av K-gjødsel.

Tabell 14. Lett-tilgjengelig kalium (K-AL) i 0-20 cm dybde målt på ulike ledd i perioden 1963-2019.

Ledd	(mg/100g)	1963	1970	1975	1983	1992	1996	2007	2019
E1	Mid. NPK	6,1	7,9	8,8	8,4	5,9	11,6	10,4	15,8
E2	Lav NPK <sup>1</sup>	4,0	4,5	5,6	4,7	3,2	10,0	9,0	16,3
E3	PK	4,3	4,8	6,0	5,3	7,7	11,4	16,9	21,8
E4	NP	4,0	4,5	5,3	4,0	2,4	5,2	4,1	3,5
E5	NK	4,9	5,4	6,6	5,3	6	4,4	15,2	21,5
E6	Lav HDG	5,7	6,6	9,5	7,4	5,4	10,8	6,1	9,7
E7	Mid. HDG	5,0	5,4	7,6	5,9	9,5	11,4	6,9	15,3
E8	Ugjødslet	4,5	4,9	5,6	4,8	3,4	5,4	5,2	4,8
F1	Ugjødslet	3,8	4,1	4,6	4,2	2,6	4,4	4,1	3,6
F2	Lav HDG	5,0	5,6	8,3	6,1	5	8,3	5,6	7,9
F3	Mid. HDG	5,3	6,4	8,5	6,8	7,4	16,0	10,0	25,0
F4	Høy HDG <sup>2</sup>	5,3	7,1	8,9	6,9	14,1	24,2	14,7	5,6
F5	Lav NPK	4,2	5,1	5,0	4,7	5,2	10,9	13,4	16,0
F6	Mid. NPK	4,0	4,6	5,3	4,5	3,8	9,3	9,4	12,8
F7	P	4,0	4,5	4,8	4,1	2,6	4,4	4,1	3,7
F8	K	4,6	5,4	6,2	5,5	9,3	15,2	29,4	33,0
F9	N	4,0	4,4	5,0	5,3	7	5,4	4,4	4,3
F10	Høy NPK	4,6	5,6	6,0	5,5	3,7	10,6	6,2	13,0
	<b>Middel</b>	<b>4,6</b>	<b>5,4</b>	<b>6,5</b>	<b>5,5</b>	<b>5,6</b>	<b>9,9</b>	<b>9,7</b>	<b>13,0</b>

<sup>1</sup> Lav NPK erstattet med mid. NPK i Fullgjødsel på E2 etter 1982, <sup>2</sup>Ingen HDG tilført på F4 etter 2003



Figur 23: K-AL målt i matjord åtte ganger i perioden 1963-2019 med ulik bruk av K-gjødsel (til venstre), og middelerverdier for periodene med ulike gjødselsregimer før og etter endringen av forsøksplanen (til høyre).

Nivåene på K-AL holdt seg relativt lave i den første forsøksperioden (fram til 1982). Da var de litt høyere ved bruk av K-gjødsel enn på leddene uten noe gjødsel og uten K-gjødsel, og betydelig høyere på ledd med husdyrgjødsel. I perioden fra 1983-2019 har de holdt seg på omtrent samme lave nivå uten gjødsling, men de har steget på andre ledd. Ved bruk av enten husdyrgjødsel eller NPK-gjødsel

har de ligget på et middels (optimalt) nivå, mens de har steget markert på ledd med K-, NK- og PK-gjødsel. Sistnevnte stigning kan ha sammenheng med at jordas K-bindingsevne nærmer seg metning.

I middel av målingene i perioden 1992-2019 var forholdet mellom kalium og magnesium, uttrykt på ekvivalentbasis, innenfor det som regnes som optimalt (0,2-0,4) på ledd uten gjødsel og ledd med husdyrgjødsel (0,30 hos begge). Verdiene var litt høyere på ledd med N-, P- og NP-gjødsel uten K (0,37 i snitt) og på leddet med fullgjødsel (0,51). Verdiene på ledd med kalksalpeter var betydelig høyere (1,10 i snitt) og enda høyere på ledd med K-, NK-, og PK-gjødsel (1,33 i snitt). På begge de sistnevnte gruppene kan det være risiko for hemmet Mg-opptak.

Mengden av syreløselig kalium (K-HNO<sub>3</sub>) målt på tre tidspunkt er vist i tabell 15, sammen med jordas totale K-innhold målt i 1996. I snitt av disse tre tidspunktene var det sju ganger så mye syreløselig K som lett-tilgjengelig K, mens mengden av syreløselig utgjorde bare 9-16 % av jordas totale K-innhold.

**Tabell 15. Syreløselig kalium (K-HNO<sub>3</sub>) i 0-20 cm dybde målt på tre tidspunkt sammenliknet med jordas totale K-innhold (mg/100 g). Midlere andel K-HNO<sub>3</sub> i prosent t av total K i siste kolonne.**

Ledd	(mg/100g)	Syreløselig kalium				Total K (1996)	% andel syreløselig
		1963	1975	1992	Middel		
E1	Mid. NPK	45	51	44	47	313	15
E2	Lav NPK <sup>1</sup>	28	38	28	31	295	11
E3	PK	42	38	44	42	300	14
E4	NP	34	33	24	30	280	11
E5	NK	42	40	42	41	313	13
E6	Lav HDG	46	51	41	46	288	16
E7	Mid. HDG	39	45	48	44	280	16
E8	Ugjødslet	41	41	30	37	295	13
F1	Ugjødslet	30	34	23	29	320	9
F2	Lav HDG	40	45	32	39	298	13
F3	Mid. HDG	40	48	39	42	290	14
F4	Høy HDG	42	49	52	48	303	16
F5	Lav NPK	33	37	36	36	288	12
F6	Mid. NPK	30	37	31	33	305	11
F7	P	34	36	28	33	285	11
F8	K	40	43	50	45	320	14
F9	N	34	38	26	33	285	11
F10	Høy NPK	mv	41	33	37	287	13
	<b>Middel</b>	38	41	36	38	297	13

<sup>1</sup> Lav NPK erstattet med mid. NPK i Fullgjødsel på E2 etter 1982

I gjennomsnitt av leddene uten K-gjødsel var det nesten samme mengde syreløselig K som på leddene uten gjødsel (hhv. 32 og 33 mg K-HNO<sub>3</sub>/100g) og andelen syreløselig var 11 % av det totale K-innhold. På ledd med NPK-gjødsel var syreløselig K noe høyere (i snitt 37 mg K-HNO<sub>3</sub>/100g, 12 % av total K), og nivåene var høyest på leddene med husdyrgjødsel (i snitt 44 mg/100g, 15 % av total K).

De totale K-mengdene var nokså variable, og forskjellene mellom ledd utgjorde bare en liten del av restmengdene med K (dvs. forskjellene mellom tilført K og bortført K i tidsrommet fram til 1996).

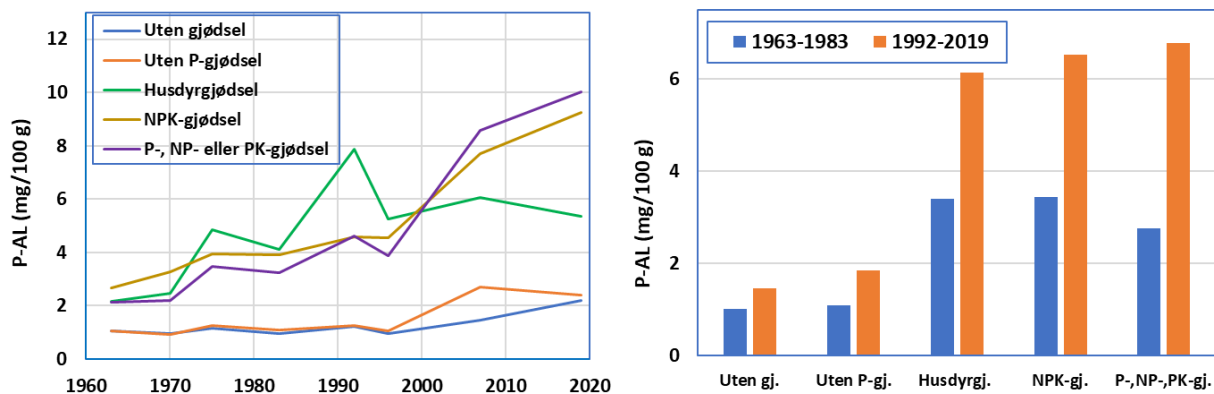
## 3.2 Fosforinnhold i matjord

Tabell 16 viser leddmiddelverdiene for lett-tilgjengelig fosfor i matjord (P-AL) målt på åtte tidspunkt fra 1963 til 2019. Figur 23 viser endringene over tid for ulike grupperinger av P-gjødsel.

Tabell 16. Lett-tilgjengelig fosfor (P-AL) i 0-20 cm dybde målt på ulike ledd i perioden 1963-2019.

Ledd	(mg/100g)	1963	1970	1975	1983	1992	1996	2007	2019
E1	Mid. NPK	3,8	3,7	4,6	5,4	5,4	5,5	9,0	10,3
E2	Lav NPK <sup>1</sup>	2,1	3,2	3,9	3,2	3,6	4,7	6,4	10,4
E3	PK	2,1	2,0	3,4	3,2	4,0	3,6	7,6	8,8
E4	NP	2,0	2,1	3,4	3,0	5,5	4,2	9,2	10,5
E5	NK	1,2	1,0	1,6	1,1	1,5	1,2	1,6	2,5
E6	Lav HDG	1,7	2,4	5,4	4,6	4,0	3,0	3,1	3,7
E7	Mid. HDG	2,1	2,4	5,4	4,6	9,9	5,0	5,6	7,2
E8	Ugjødslet	1,2	1,0	1,2	1,0	1,4	1,0	1,5	2,3
F1	Ugjødslet	0,9	0,9	1,1	0,9	1,1	0,9	1,4	2,2
F2	Lav HDG	1,7	1,6	4,2	3,1	4,2	2,9	3,0	3,6
F3	Mid. HDG	2,1	2,2	3,9	3,6	7,4	5,6	6,9	6,4
F4	Høy HDG <sup>2</sup>	3,3	3,8	5,4	4,7	13,8	10,0	11,6	6,0
F5	Lav NPK	2,1	2,6	2,7	2,6	4,3	3,3	7,9	8,6
F6	Mid. NPK	1,9	2,3	3,1	3,1	3,7	3,9	9,4	9,3
F7	P	2,3	2,5	3,6	3,5	4,4	3,9	9,0	10,9
F8	K	1,1	1,0	1,2	1,1	1,2	1,0	5,2	2,9
F9	N	0,9	0,8	1,0	1,1	1,1	1,0	1,3	1,8
F10	Høy NPK	3,4	4,5	5,5	5,3	6,0	5,5	5,8	7,9
	<b>Middel</b>	2,0	2,2	3,4	3,1	4,6	3,7	5,9	6,4

<sup>1</sup> Lav NPK erstattet med mid. NPK i Fullgjødsel på E2 etter 1982, <sup>2</sup> Ingen HDG tilført på F4 etter 2003



Figur 24: P-AL målt i matjord åtte ganger i perioden 1963-2019 med ulik bruk av P-gjødsel (til venstre), og middelverdier for periodene med ulike gjødselsregimer før og etter endringen av forsøksplanen (til høyre).

Uten gjødsling og uten bruk av P-gjødsel har nivåene på P-AL holdt seg lave gjennom hele forsøksperioden, særlig fram til 1996. De så ut til å ha økt litt ved de to siste to prøvetakingene (2007/2019). Nivåene var høyere på alle ledd med bruk av mineralsk P-gjødsel, med eller uten N- og K-gjødsel, og på leddene med husdyrgjødsel. På sistnevnte har de ligget på et middels nivå i perioden etter 1982, mens på ledd med bruk av P-gjødsel har de økt gradvis og var spesielt høye i både 2007 og 2019.

I 2007 ble det brukt samme analysemetode som tidligere (spektrofotometri), mens i 2019 ble prøvene analysert med ICP-metoden. Det er kjent at sistnevnte metode tar med noe organisk fosfor i tillegg til fosfat. Dette kan være årsaken til økningene i 2019, men ikke de som ble funnet i 2007. En annen forklaring kan være at endringen i jordarbeiding, uten pløying siden tidlig på '90-tallet, har ført til opphoping av fosfor i det øvre jordlaget, mens det tidligere ble blandet noe dypere i jorda.

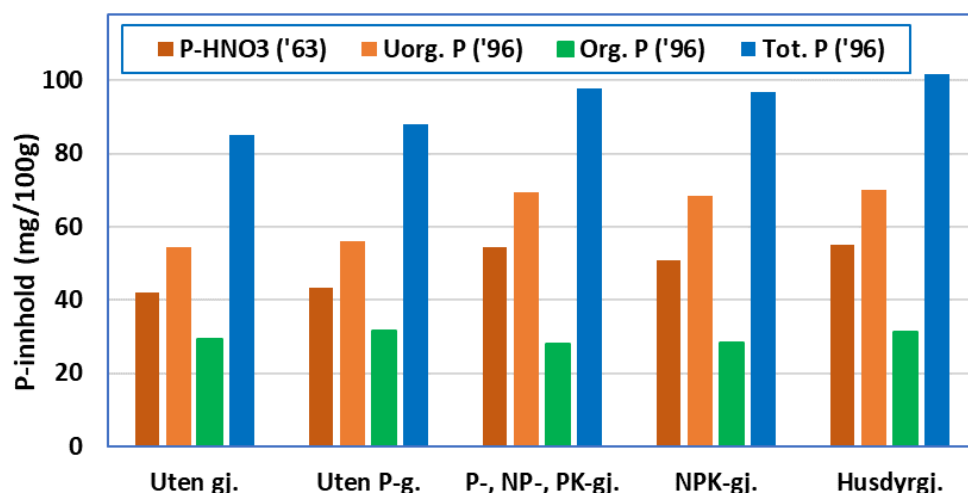
Tabell 17 viser leddmiddelverdiene for syreløselig fosfor i matjorda (P-HNO<sub>3</sub>) målt i 1963 og ulike P-fraksjoner målt i 1996. Figur 25 viser middelverdier for ulike grupperinger av P-gjødsel.

**Tabell 17. Syreløselig fosfor (P-HNO<sub>3</sub>) i 0-20 cm dybde målt på ulike ledd i 1963 og ulike P-fraksjoner målt i samme dybde i 1996.**

Ledd	(mg/100g)	P-HNO <sub>3</sub> i 1963	Ulike P-fraksjoner målt i 1996		
			Uorganisk P	Organisk P	Total P
E1	Mid. NPK	61	76	26	102
E2	Lav NPK <sup>1</sup>	46	73	22	95
E3	PK	52	72	26	98
E4	NP	59	72	26	98
E5	NK	47	63	28	92
E6	Lav HDG	55	73	31	105
E7	Mid. HDG	62	72	27	100
E8	Ugjødslet	44	60	27	88
F1	Ugjødslet	40	49	32	82
F2	Lav HDG	49	63	31	94
F3	Mid. HDG	52	67	32	99
F4	Høy HDG	57	76	35	111
F5	Lav NPK	49	62	31	93
F6	Mid. NPK	47	63	31	94
F7	P	52	64	32	97
F8	K	42	54	33	87
F9	N	41	51	34	85
F10	Høy NPK	-	68	32	100
	<i>Middel</i>	50	65	30	95

<sup>1</sup> Lav NPK erstattet med mid. NPK i Fullgjødsel på E2 etter 1982

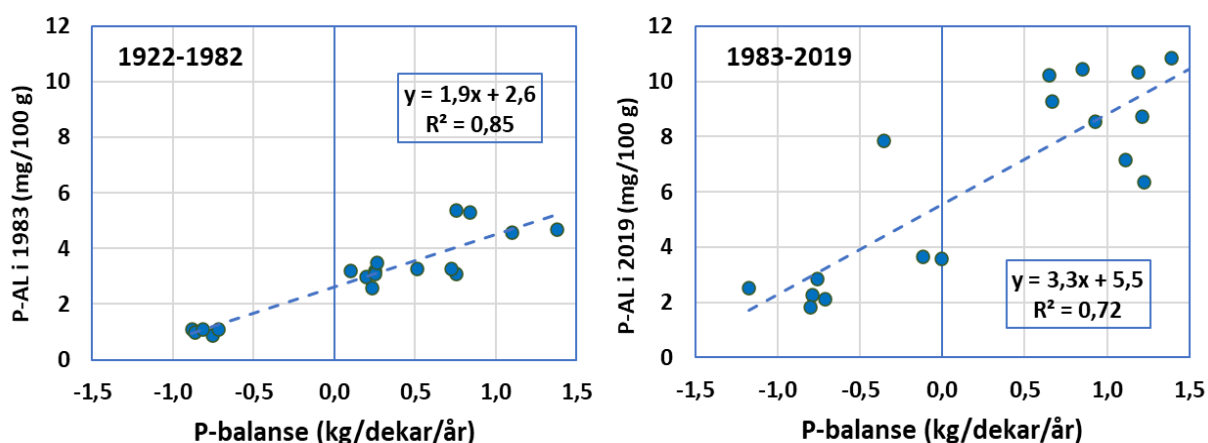
Mengden av syreløselig P målt i 1963 var ca. tre firedeler av det uorganiske målt i 1996 og omtrent halvparten av den totale P-mengden. Med unntak av ett ledd (E2) var HNO<sub>3</sub>-P målt i 1963 relativt godt korrelert med uorganisk P målt i 1996 ( $r^2=0,87$ ). Mengden av organisk-P i 1996 var i snitt litt under halvparten så stor som mengden av uorganisk -P.



Figur 25: Middelveier ved ulike gjødslingsregimer av P-HNO<sub>3</sub> målt i matjorda i 1963 og ulike P-fraksjoner (uorganisk og organisk, og summen av disse) målt i matjorda i 1996.

Forskjellene mellom de ulike grupperingene av P-gjødselbruk var mindre tydelige enn forskjellene som ble funnet i lettløselig P. Mengden av organisk P var ca. 10 % lavere på ledd med bruk av P-gjødsel enn på de øvrige leddene. Den totale P-mengden var i snitt 13 % høyere på ledd med P-gjødsel enn på ledd uten P-gjødsel. På ledd med husdyrgjødsel var det 20 % høyere enn på ledd uten P-gjødsel. Disse forskjellene utgjør henholdsvis ca. 27 og 39 kg P pr. dekar. Disse mengdene tilsvarte mindre enn halvparten av restmengdene med P (dvs. forskjellene mellom tilført P og bortført P i årene fram til 1996).

I forbindelse med gjødslingsrådgivning kan det være av interesse å se på sammenhengen mellom P-AL og balansen mellom P-tilførsel og det som er blitt tatt bort med avlingene etter lang tid. Figur 26 viser P-AL nivåene målt i 1983 og i 2019 i middel av hvert forsøksledd, plottet mot de årlige P-balansene mellom tilført og bortført P i periodene før og etter 1982. Måleverdien for ledd F4 er utelatt fra figuren for perioden 1983-2019. Dette er leddet som fikk en stor mengde husdyrgjødsel fram til 2003 men som ikke har fått gjødsel siden. Overskuddet i middel av hele perioden var 3,5 kg P årlig, og P-AL nivået lå på 12 i snitt av målingene fra 1992 til 2007. I 2019 hadde imidlertid nivået falt til halvparten av dette.



Figur 26: P-AL målt på ulike forsøksledd i 1983 og i 2019 plottet mot de årlige P-balansene mellom P tilført i gjødsel og bortført i avlinger i hhv. periodene 1922-82 (til venstre) og 1983-2019 (til høyre).

I begge periodene var det sammenheng mellom P-balansen og P-AL nivået i slutten av perioden, men det var skjedd en klar nivåendring over tid. Ved likevekt mellom tilført og bortført P var P-AL nivået 2,6 i 1983 mens det var 5,5 i 2019. P-AL verdien ved oppstarten av forsøket i 1922 antas å ha vært < 1,

og på leddene uten P-gjødsel har den steget lite over tid (jfr. tabell 15). Den antatt lave startverdien antyder at P-AL nivået i jorda har økt over tid også uten overskudd på fosforbalansen. På leddene med mest P-gjødsel lå P-AL verdiene etter 61 år på ca. 5 i 1983, mens verdiene steg til det doble av dette i løpet av de neste 36 årene (til 2019), trolig som følge av at den totale P-mengden i jorda har steget over tid på disse leddene (jfr. tabell 16). Med økende fosfornivå i jorda blir tilført fosfor mindre sterkt bundet, og dermed øker P-AL-verdiene raskere ved overskudd på fosforbalansen. Den brattere stigningen i likningen for den siste perioden forklarer økningen i P-AL ved likevekt.

P-AL nivåene ved likevekt beregnet med data hentet fra to langvarige P-gjødslingsforsøk på leirjord (Falk Øgaard 1995) var etter 21 år hhv. 4,2 i et forsøk med P-AL 3,3 ved oppstarten av forsøket og 6,6 i et forsøk med P-AL 5,0 ved oppstart. Mengden av uorganisk P i jorda var størst i sistnevnte forsøk, på omtrent samme nivå som i leddene med P-gjødsel på Møystad. Resultatene fra både disse to forsøkene og fra Møystad tyder på at P-AL nivået trolig vil ved balanse eller et årlig P-overskudd på inntil 0,5 kg P/daa, holde seg innenfor optimalområdet (5-7) i relativt lang tid.

### 3.3 Kjemiske analyser i undergrunnen

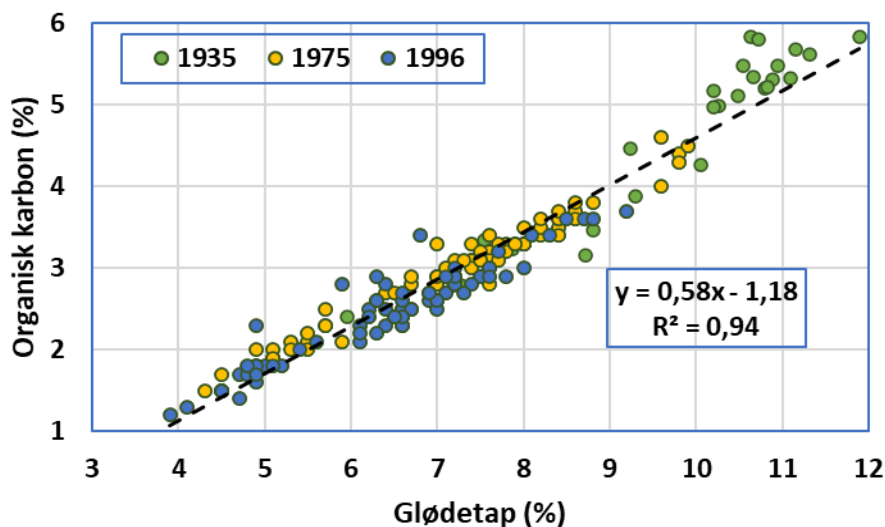
Tabell 18 viser middelverdier av jordanalyser utført på jordprøver tatt i 1992 fra undergrunnen (20-40 cm og 40-60 cm), ved ulike grupperinger av gjødselbruk. Ved begge dybder hadde bruk av kalksalpeter og husdyrgjødsel ført til en liten økning i pH og Ca-AL. Husdyrgjødselbruk hadde ført til økninger i Mg-AL i begge dybder. Analyseverdiene for P-AL, K-AL og K-HNO<sub>3</sub> var lave i begge sjikt. Det var likevel tegn til at bruk av P- og K-gjødsel hadde ført til visse økninger i innholdet av de respektive stoffene også i undergrunnen.

**Tabell 18. Analyser av jordreaksjon, lettløselig Ca, Mg, P og K, samt syreløselig K (mg/100 g) utført på jordprøver tatt i 1992 ved to dybder i undergrunnen, ved ulike grupperinger av gjødselbruk.**

Gruppering av forsøksledd		20-40 cm	40-60 cm
pH i vann	Uten gjødsel	6,1	6,4
	P-gj. og/eller K-gj. uten N-gj.	6,1	6,4
	N som kalksalpeter (+/- PK)	6,3	6,5
	Husdyrgjødsel	6,2	6,5
	N som ammoniumnitrat (+PK)	6,1	6,3
Ca-AL	Uten gjødsel	18,5	14,5
	P-gj. og/eller K-gj. uten N-gj.	18,7	16,0
	N som kalksalpeter (+/- PK)	21,5	15,8
	Husdyrgjødsel	20,1	17,9
	N som ammoniumnitrat (+PK)	18,3	17,8
Mg-AL	Uten K-gjødsel	2,8	2,7
	K i mineralgjødsel	2,8	3,2
	Husdyrgjødsel	8,0	5,8
P-AL	Uten P-gjødsel	1,4	1,8
	P i mineralgjødsel	2,1	2,3
	Husdyrgjødsel	2,6	1,9
K-AL	Uten K-gjødsel	1,9	1,7
	K i mineralgjødsel	2,3	1,8
	Husdyrgjødsel	2,8	1,9
K-HNO <sub>3</sub>	Uten K-gjødsel	24	18
	K i mineralgjødsel	26	20
	Husdyrgjødsel	28	20

### 3.4 Moldinnhold og totalt N-innhold

Moldinnholdet i matjorda er blitt målt som glødetap på alle ruter gjennom hele forsøksperioden, men med varierende mellomrom. Det foreligger to måleserier fra 1930-åra og åtte måleserier etter 1960. Det er også utført målinger av organisk karbon på prøvene som ble tatt i 1935, 1975 og 1996. Middeltall for glødetapsmålingene er presentert i egne tabeller, mens endringene i jordas karboninnhold over tid er estimert ut fra sammenhengen mellom organisk karbon (org. C) og glødetap (figur 27). De tre måleseriene utfylte hverandre godt. Regresjonslikningen dekker et spenn i glødetap fra ca. 4 % til 12 % (org. C ca. 1 % til 6 %) og forklarer 94 % av variasjonen i sammenhengen. Alle målingene er uttrykt som konsentrasjoner på vektbasis, dvs. prosent av jordas finmateriale (<2 mm).



Figur 27: Sammenhengen mellom målt organisk karbon og glødetap målt på Møystad i 1935, 1975 og 1995.

Tabell 19 viser leddmiddelverdiene for glødetapet i plogsjiktet i prøvene fra 1930-åra. Den nøyaktige dybden på plogsjiktet er ukjent, men ut fra datidens ployingspraksis med hest eller liten traktor, kan en anta at dybden var omkring 15 cm. I 1935 ble glødetap også målt i en del prøver tatt i og under plogbunnen. Hovden (1937) skrev at plogbunnsjiktet hadde en tykkelse på 10 cm, og at det også ble tatt prøver 10-12 cm under dette sjiktet. I disse to sjiktene var glødetapet hhv. 2,3 og 3,4 %-enheter lavere enn i plogsjiktet. Ut fra dette, kan man anslå at en seinere økning av ployedybden til ca. 30 cm trolig vil senke glødetapet i toppsjiktet med ca. 1,5 %-enhet, og øke det noe i sjiktet under.

Tabell 19. Glødetap (%) målt i plogsjiktet i perioden 1930-1935.

E-feltet	Ledd	1930	1935	F-feltet	Ledd	1932	1935
E1	Erst. <sup>1</sup>	11,0	10,3	F1	Ugjødslet	10,8	10,5
E2	NPK	10,0	9,2	F2	HDG	11,7	10,6
E3	PK	10,8	10,2	F3	HDG	11,4	10,7
E4	NP	10,6	10,2	F4	HDG	11,5	11,2
E5	NK	11,5	10,9	F5	NPK	11,5	10,9
E6	HDG	12,0	11,9	F6	NPK	10,3	10,5
E7	HDG	11,6	mv	F7	P	10,6	11,1
E8	Ugjødslet	12,0	10,8	F8	K	11,4	11,3
<b>Middel (E-feltet)</b>		11,2	10,5	F9	N	11,0	10,7
<b>Middel (F-feltet)</b>		11,1	10,8	F10	NPK	11,3	10,8

<sup>1</sup> Erst. = såkalt 'erstatningsgjødsling' med gjennomsnittlig 11,3 kg N, 2,2 kg P og 10,8 kg K pr. år



Sett i forhold til leddene uten gjødsel (E8 og F9), var det i 1930-åra ca. 3 % større glødetap på ruter med husdyrgjødsel og ca. 3 % lavere glødetap på ruter med mineralgjødsel. I 1937 konkluderte Anders Hovden (sitat) «Det er vist at husdyrgjøssel fører til auke i humusinnholdet, og dette atter til auke i katjonutbytningskapasiteten, mens unormalt sterk kunstgjøssel forbraker humus utover det som plantene selv produserer ved røtter og avfall». På dette tidspunktet var det imidlertid relativt små forskjeller mellom leddene. Ut fra dagens kunnskap på området, er det trolig grunn til å trekke i tvil utsagnet om at 'kunstgjøssel' senker moldinnhold.

Tabell 20 viser leddmiddelverdiene for glødetapet i prøvene tatt i perioden 1963-2019. I 1963 hadde det skjedd en tydelig nedgang i glødetapsnivået siden 1930-åra, på i snitt snaut 4 %-enheter. I denne perioden er det kjent at pløedybden økte betraktelig, med påfølgende utjevning av moldinnholdet i matjorda, som antydnet ovenfor. Etter 1963 har endringene i glødetap vært betydelig mindre, trolig som følge av det store innslaget av eng i omløpet og kanskje også fordi jordarbeidingsintensiteten har blitt redusert de seinere tiårene (siste gang feltet ble pløyd var våren 1991 etter eng, og det ble praktisert redusert jordarbeiding til korn også i flere år før 1989).

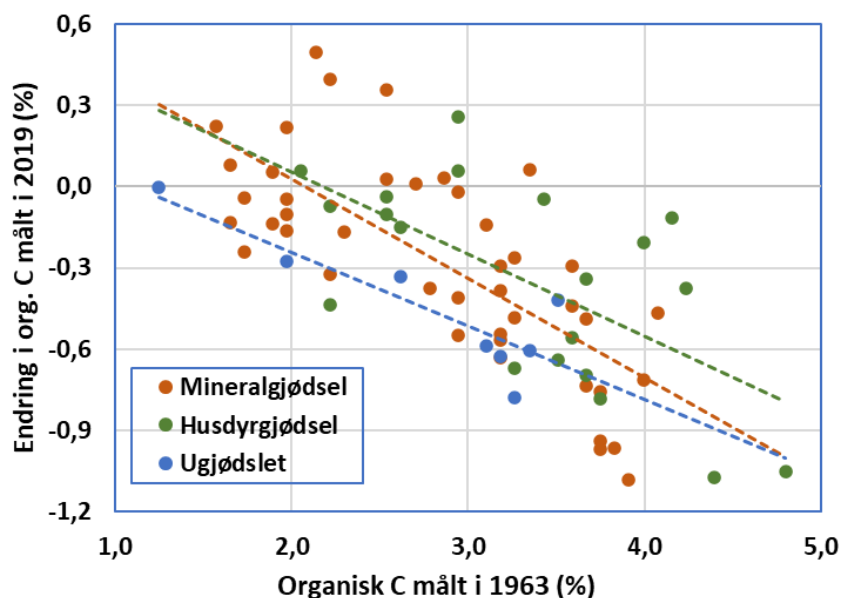
Tabell 20. Glødetap (%) i 0-20 cm dybde målt på ulike ledd i perioden 1963-2019.

Ledd		1963	1970	1975	1983	1992	1996	2007	2019
E1	Mid. NPK	7,4	7,2	7,2	7,7	7,0	6,6	7,5	6,7
E2	Lav NPK <sup>1</sup>	6,2	5,7	6,2	6,1	6,0	5,7	6,2	5,9
E3	PK	6,7	6,2	6,4	6,5	6,1	5,9	6,3	5,9
E4	NP	6,3	6,3	6,5	6,6	6,2	6,1	7,0	6,6
E5	NK	7,3	7,2	7,0	7,3	6,6	6,4	7,1	6,6
E6	Lav HDG	8,2	7,9	8,2	8,7	7,7	7,2	8,3	7,1
E7	Mid. HDG	7,5	7,2	7,5	8,0	8,1	7,0	8,2	7,3
E8	Ugjødslet	6,9	6,9	7,1	7,1	6,5	6,2	6,8	6,2
F1	Ugjødslet	6,8	6,5	6,6	6,6	6,2	5,8	6,2	5,9
F2	Lav HDG	8,1	7,7	7,9	7,9	7,5	6,8	7,6	6,8
F3	Mid. HDG	7,5	7,7	8,0	8,0	7,7	7,0	8,3	7,4
F4	Høy HDG <sup>2</sup>	7,7	7,7	8,1	7,9	8,4	7,8	9,3	7,4
F5	Lav NPK	7,2	6,8	7,2	7,2	6,8	6,4	6,8	6,4
F6	Mid. NPK	7,0	7,4	7,2	7,2	6,6	6,4	7,0	6,6
F7	P	7,1	6,9	7,2	7,3	6,7	6,4	6,8	6,6
F8	K	7,5	7,2	7,2	7,6	6,7	6,5	6,8	6,5
F9	N	8,3	7,0	6,9	7,2	6,7	6,4	6,9	6,7
F10	Høy NPK	7,1	7,1	7,4	7,4	7,1	6,6	7,2	7,0
<b>Middel</b>		7,3	7,0	7,2	7,4	6,9	6,5	7,2	6,6

<sup>1</sup> Lav NPK erstattet med mid. NPK i Fullgjødsel på E2 etter 1982, <sup>2</sup> Ingen HDG tilført på F4 etter 2003

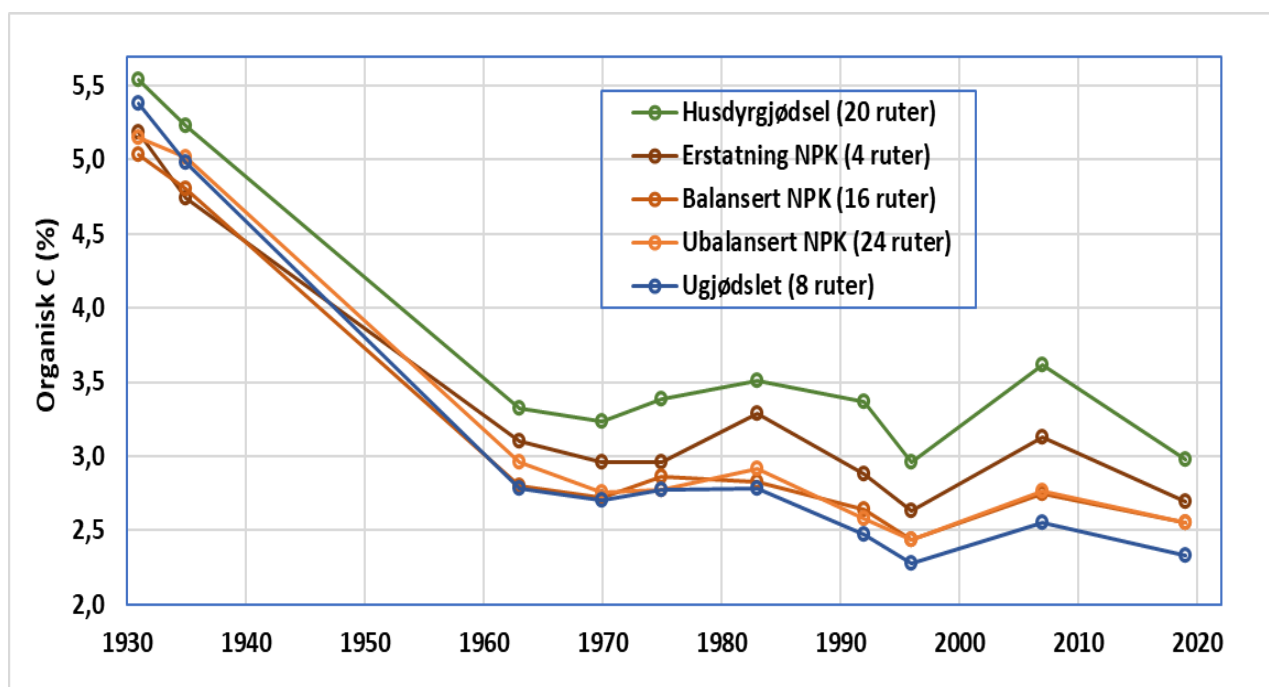
Variabiliteten i glødetapet på feltet har vært relativt høy i hele forsøksperioden. I middel av målingene fra 1963 til 2019 ligger variasjonskoeffisientene omkring 20 % både innenfor ulike grupperinger av forsøksledd (ugjødslet, ulike mineralgjødsel, husdyrgjødsel) og for det samlede materialet. Spredningen i glødetapsverdiene er i alle grupperinger fra ca. 4 % til >9 % (ca. 1 til >4 % org. C). Slik variabilitet gjør at det er sannsynlig for endringer over tid å vise sammenheng med nivået som ble målt i starten. I flere andre undersøkelser er det funnet størst nedgang i moldinnhold når utgangspunktet var høyt, og at det finnes et 'balansepunkt' (ingen endring over tid) når startnivået ligger omkring 2 % org. C.

I figur 28 er endringene i org. C målt på Møystad i 2019 plottet mot verdiene som ble målt i 1963, dvs. 56 år tidligere. Dette viser at ovenfornevnte sammenheng ser ut til å gjelde også på dette feltet. Det var størst nedgang i org. C og tydeligst sammenheng med startnivået på de ugjødslete rutene ( $R^2=0,75$ ), men det var liknende forløp også for ruter med mineralgjødning ( $R^2=0,54$ ) og ruter med husdyrgjødsel ( $R^2=0,40$ ). For alle ruter under ett, forklarte startnivået i 1963 nesten halvparten av endringene målt i 2019 (endring =  $0,62-0,315 \cdot \text{org. C ved start}$ ,  $R^2=0,47$ ). Også her lå balansepunktet ved ca. 2 % org. C.



Figur 28: Sammenhengen mellom endringene i organisk karbon målt i 2019 og nivået målt i 1963.

Figur 29 viser utviklingen over tid i innholdet av org. C for ulike grupperinger av forsøksledd. Det er ulike antall forsøksledd bak disse grupperingene. Gruppen med husdyrgjødsel = E6, E7, F2, F3 og F4; Erstatnings NPK = E1; Balansert NPK = E2, F5, F6 og F10; Ubalansert NPK=E3, E4, E5, F7, F8 og F9; Ugjødslet =E8 og F1.



Figur 29: Organisk karbon målt i matjord i ulike grupperinger av forsøksledd fra 1930-åra fram til 2019.

I perioden fram til 1963 avtok den midlere konsentrasjonen av org. C fra 5,3 % til 3,0 % (dvs. -0,07 % org. C pr. år). Om lag halvparten av denne endringen kan ha skyldes dypere pløying. Det var noe større nedgang på de ugjødslete rutene enn på de øvrige. I 1963 hadde ledd med bruk av husdyrgjødsel ca. 0,5 % høyere org. C enn ledd uten gjødsel. 'Erstatningsleddet' (E1), som har fått relativt mye N-gjødsel helt siden 1922, hadde 0,3 % mer org. C enn ugjødslete ledd. Forskjellene på de øvrige leddene med mineralgjødsel var langt mindre.

Tross variabiliteten i moldinnholdet på forsøksfeltet, har forskjellene mellom de ulike grupperingene av forsøksledd vist et relativt stabilt mønster i perioden 1963 til 2019. Gjennomgående lavere verdier for prøvene tatt i 1996 kan ha sammenheng med at disse prøvene ble tatt maskinelt til 60 cm det året. Dette kan ha medført komprimering av toppsjiktet, slik at en fikk med noe jord fra sjiktet under. Sett bort fra dette, er det lite tegn til nedganger på leddene med gjødsel, mens i fravær av gjødsel har det fortsatt vært en svak nedgang over tid (-0,009 % org. C pr. år).

Tabell 21 viser tallverdiene for økningene i org. C i ulike grupperinger sett i forhold til ledd uten gjødsel siden 1922. Alle HDG-ledd fikk samme mengde fastgjødsel fram til 1982, men med noe ulik fordeling i omløpet (i snitt <2 tonn pr. år). I denne perioden var det relativt små forskjeller i org. C mellom disse leddene. Etter 1983 økte org. C ganske markert på leddene med middels høy og høy mengde fastgjødsel. Den siste tilførselen av høy mengde fastgjødsel var i 2003, og ved prøvetaking i 2019 var nivået på dette leddet på samme nivå som bruk av middels mengde HDG. Nivået hadde også avtatt noe i 2019 på de andre leddene med HDG, kanskje fordi det de seinere årene er tilført mindre karbon etter overgangen fra fastgjødsel til bløtgjødsel i 2011.

Økningen på leddet 'Erstatning' NPK (dvs. ca. 10 kg N pr. år helt siden 1922) har siden 1983 holdt seg på ca. halvparten av økningene med husdyrgjødsel. Det er noen små økninger i org. C etter 1983 på de øvrige leddene med mineralgjødsel. Dette kan ha sammenheng med bruk av større N-mengder på noen av disse leddene.

**Tabell 21. Økningene i estimert organisk C (%) på ulike forsøksledd sett i forhold til forsøksledd uten gjødsel.**

	Høy HDG mengde	Middels HDG mengde	Lav HDG mengde	'Erstatning' NPK-gjødsel	Balansert NPK-gjødsel	Ubalansert NPK-gjødsel
<b>1963</b>	0,48	0,38	0,74	0,32	0,02	0,18
<b>1970</b>	0,57	0,42	0,64	0,26	0,02	0,05
<b>1975</b>	0,71	0,50	0,68	0,19	0,08	0,00
<b>1983</b>	0,63	0,66	0,85	0,50	0,05	0,13
<b>1992</b>	1,20	0,91	0,73	0,40	0,17	0,10
<b>1996</b>	1,06	0,59	0,58	0,35	0,16	0,15
<b>2007</b>	1,62	1,01	0,85	0,57	0,19	0,21
<b>2019</b>	0,76	0,73	0,52	0,37	0,22	0,22
<b>Middel</b>	<b>0,88</b>	<b>0,65</b>	<b>0,70</b>	<b>0,37</b>	<b>0,11</b>	<b>0,13</b>

*Moldinnholdet i undergrunnen* var betydelig lavere enn i matjorda (ikke vist). I middel av 16 ruter som ble analysert i 1996, var glødetapet 5,0 % ved 20-40 cm og 2,9 % ved 40-60 cm (hhv. 1,7 % og 0,5 % org. C). Verdiene var noe høyere enn ellers på ruter med HDG eller NPK, men forskjellene var små.

*Konsentrasjonene av total-N i matjorda* er blitt målt på alle ruter tre ganger i forsøksperioden. Org. C ble målt samtidig i disse prøvene, slik at C:N forholdet kunne beregnes direkte (tabell 22). Det hadde skjedd en svak nedgang i total-N over tid. HDG-leddene hadde i snitt 10 % høyere total-N enn ledd uten gjødsel, men det var lite forskjell mellom andre ledd. C:N forholdene hadde endret seg markert mellom 1935 og 1975. I 1935 lå verdiene i den øvre enden av det som er vanlig i dyrka mineraljord, mens de i 1975 og 1996 lå i den nedre enden. Dette tyder på at jordas humifiseringsgrad var mindre i den første forsøksperioden. Det kan ha sammenheng med at prøvene i 1935 ble tatt fra et noe grunnere pløyesjikt, og at dette sjiktet hadde et relativt større innhold av planterester enn det som var tilfelle i

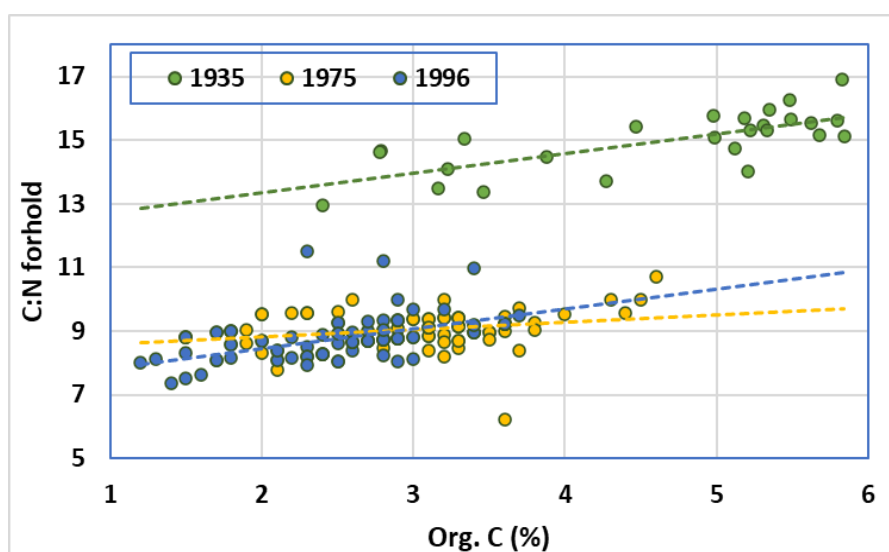
1975 og 1996. I prøver tatt i 1935 i 'plogbunnen' og sjiktet under dette, var total-N hhv. 0,24 % og 0,19 % og C:N forholdet hhv. 13,9 og 14,7, som betyr at det var lav humifiseringsgrad også i disse dybdene.

Tabell 22. Total-N (%) og C:N forhold målt i matjorda ved tre anledninger i forsøksperioden.

Ledd		Total-N			C:N forhold		
		1935	1975	1996	1935	1975	1996
E1	Mid. NPK	0,33	0,34	0,29	15,1	8,8	8,5
E2	Lav NPK <sup>1</sup>	0,29	0,29	0,24	15,4	8,7	8,5
E3	PK	0,32	0,34	0,25	15,8	8,2	8,2
E4	NP	0,33	0,29	0,26	15,7	9,0	8,9
E5	NK	0,35	0,33	0,28	15,6	8,8	9,4
E6	Lav HDG	0,39	0,38	0,32	15,1	9,4	9,4
E7	Mid. HDG	mv	0,34	0,30	Mv	8,9	9,2
E8	Ugjødslet	0,37	0,35	0,27	14,0	8,6	8,4
F1	Ugjødslet	0,34	0,30	0,25	16,3	8,9	8,4
F2	Lav HDG	0,35	0,35	0,30	16,9	9,7	9,2
F3	Mid. HDG	0,37	0,35	0,32	15,6	9,7	8,6
F4	Høy HDG	0,38	0,36	0,34	15,1	9,2	9,3
F5	Lav NPK	0,34	0,32	0,28	15,5	9,1	8,3
F6	Mid. NPK	0,35	0,32	0,28	14,8	9,3	8,9
F7	P	0,35	0,32	0,27	15,3	9,4	8,5
F8	K	0,36	0,33	0,29	15,5	9,4	8,7
F9	N	0,34	0,33	0,28	16,0	9,0	9,2
F10	Høy NPK	0,34	0,34	0,30	15,3	8,9	8,2
	<b>Middel</b>	<b>0,35</b>	<b>0,33</b>	<b>0,28</b>	<b>15,5</b>	<b>9,1</b>	<b>8,8</b>

<sup>1</sup> Lav NPK erstattet med mid. NPK i Fullgjødsel på E2 etter 1982

Figur 30 viser at det i prøvene fra 1935 var relativt sterk sammenheng mellom C:N forholdet og org. C (nedgang i C:N = 0,6 pr. prosent nedgang i org. C,  $R^2=0,53$ ). Sammenhengene var langt svakere i 1975 ( $R^2=0,07$ ) og 1996 ( $R^2=0,25$ ). Stabiliseringen av C:N forholdet på et såpass lavt nivå som her, tyder på at jorda på Møystad nærmer seg N-metning. Dette kan bety at den har begrenset evne til å lagre mer N uten at det samtidig blir tilført mer karbon, f.eks. i form av planterester eller annet organisk materiale.



Figur 30: Sammenhengen mellom C:N forholdet og organisk karbon i måleserier fra 1935, 1975 og 1996.

## 4 Undersøkelser med jord fra Møystadfeltet

De siste tretti årene er det blitt utført flere undersøkelser med jord fra Møystadfeltet, og det gis her et kort resymé av disse. Mer fullstendig informasjon finnes i publikasjonene som er nevnt i hvert avsnitt.

### 4.1 Jordkjemi

#### 4.1.1 Tungmetaller

Høye kadmiumnivå i jorda kan være skadelige for både planter og andre organismer. I humanmedisin er kadmium (Cd) kjent for å føre til bla. nyresjukdom, svekket beinstyrke og kreft. Ved siden av Cd fra atmosfærisk nedfall, regnes bruk av P-gjødsel som en hovedkilde til Cd-opphoping i jord.

*Alhaji Jeng og Bal Ram Singh* studerte virkningen av ulik gjødsling på Møystad på jordas innhold av kadmium og Cd-opptak i planter. Utdraget nedenfor er oversatt fra en artikkel publisert i *Plant and Soil* (Jeng & Singh 1995):

*For å bestemme hvorvidt bruk av fosforgjødsel har forårsaket målbar opphoping av kadmium i jord og høstede vekster, ble jord- og planteprøver samlet fra noen utvalgte behandlinger i et sytti-år gammelt gjødslingsforsøk på Møystad, sørøst Norge. Analyser av Cd ble utført etter ekstrahering av jord med Aqua Regia (kongevann) eller 1 M NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> og etter syre-oppslutning av planteprøver. Beregninger av Cd-balansen ble utført på basis av tilførsler med gjødsel samt atmosfærisk nedfall og bortføring med vekster samt utvasking. Hverken det totale Cd-innholdet eller den tilgjengelige (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-ekstraherbar) Cd-mengden i jord var påvirket signifikant av Cd tilført med gjødsel, selv om en så tendens til høyere Cd i jord fra forsøksruter som hadde mottatt store gjødselmengder. Den samme trenden ble også observert for Cd-konsentrasjonen i planter. Årlige Cd-tilførsler (gjødsel og atmosfærisk) varierte fra 0,120 til 0,257 g Cd pr. dekar og årlige mengder bortført (avlinger og utvasking) varierte fra 0,116 til 0,179 g Cd pr. dekar. Balanseberegninger basert på sytti års data tydet på at årlig Cd-opphoping i jorda var <0,1 g pr. dekar, men at økte tilførselsrater av mineralgjødsel eller husdyrgjødsel trolig vil føre til økt opphoping av dette grunnstoffet. Dette vil kunne ha en negativ virkning fordi den tilgjengelige Cd-mengden i jorda ville øke i raskere tempo, som vil resultere i økt opptak i planter. Tross tendensen til Cd-opphoping som ble sett som resultat av P-gjødsling, gikk økningen sakte. Den årlige økningen i det totale Cd-innhold av gjødslete forsøksruter varierte fra 0,04 til 0,12 %, noe som tyder på at det kan ta fra 800 til 2000 år, avhengig av gjødselmengdene tilført, for at det vil akkumulere samme mengde Cd som det som allerede befinner seg i jorda i dag.*

#### 4.1.2 Fosfor

Fosfor er lite mobilt i jorda, særlig under kalde forhold og i tørr jord eller ved jord som er blitt pakket. Jordpakking reduserer jordas luftfylte porevolum og hindrer rotvekst, noe som kan hemme plantenes evne til å ta opp vann og lite mobile stoff som P. Hvorvidt jordpakking påvirker plantenes P-forsyning, kan avhenge av bla. jordas vannstatus og nivået på plantetilgjengelig fosfor.

*Annbjørg Ø. Kristoffersen og Hugh Riley* brukte jord med ulik P-AL status fra bla. Møystad-feltet i en undersøkelse av hvorvidt ulike grader av jordpakking og ulike vannregimer i jorda innvirker på vekst og P-opptak hos byggplanter.

Utdraget nedenfor er oversatt fra en artikkel publisert i *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (Kristoffersen & Riley 2005):

*Virkningene av jordas pakkingsgrad og vannstatus på plantevekst og opptak av fosfor (P) ble undersøkt i et karforsøk med vårbygg (*Hordeum vulgare* L.). Tre jordarter ble brukt (letteire, mellomleire og silt), med i hvert tilfelle tre nivå av plantetilgjengelig P i jorda (lavt, middels og høyt P-AL innhold). Jordartene ble komprimert til to nivå, 75 % og 90 % av den standardiserte graden av jordpakking som oppnås under fri drenering ved belastning med 200 kPa. De ble holdt ved to nivå av vannstatus (20 % og 30 % vanninnhold på vektbasis). Total rotlengde (RL) var 59 % lavere ved den høyeste av de to pakkingsgradene, mest på grunn av færre røtter med diameter <0,5 mm. Både skuddvekst og P-opptak i plantene ble imidlertid redusert i mindre grad enn RL. Dette innebar at det ble produsert 69 % mer skuddtørrstoff pr. RL-enhet i jorda med den høyeste pakkingsgraden, og at P-opptaket pr. RL-enhet var 75 % høyere i denne jorda enn i jord med lavere pakkingsgrad. Derfor må plantene ha kompensert for redusert RL ved å øke opptaket av vann og næringsstoffer pr. RL-enhet, selv om dette ikke fullt ut kompenserte for den reduserte RL. Effektene av vannregime på skuddvekst varierte mellom de ulike jordartene. På mellomleiren var det en signifikant økning i avling ved høy vannstatus i jorda ved alle tre P-AL nivå i jorda. Det same gjaldt på lettleire ved middels og høye P-AL nivå. På siltjorda, derimot, økte avlingen med 62 % ved høy vannstatus, men bare ved det høyeste P-AL nivået i jorda. Plantene dyrket på siltjorda ved lave og middels nivå av plantetilgjengelig P viste markerte symptomer på P-mangel gjennom hele vekstperioden.*

*Annbjørg Ø. Kristoffersen mfl. utførte dessuten et karforsøk med jord fra bla. Møystad, for å undersøke om jordas P-AL status og temperatur påvirket effekten av P-gjødselplassering. Det ble også undersøkt hvorvidt behandlingene påvirket dannelsen av rothår i bygg.*

Utdraget nedenfor er oversatt fra en artikkel publisert i *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (Kristoffersen, Riley & Sogn 2005):

*Plassering av P-gjødsel sammen med såkornet er antatt å øke utnyttelsen av P hos plantene, særlig under kjølige klimaforhold. Et forsøk ble utført i veksthus for å evaluere effektene av ulik P-plassering ved to temperaturregimer (7° C natt/9° C dag eller 13° C natt/15° C dag) under vekstsesongens første uker, på dannelsen av rothår, skuddvekst og P-innhold hos vårbygg (*Hordeum vulgare* L.). Det ble brukt tre jordarter (letteire, mellomleire og siltjord), hver med to nivå av plantetilgjengelig P (lavt og høyt P-AL). I halvparten av vekstkarene, ble all P-gjødsel (10 mg P pr. kg jord) plassert 5 cm under såkornet. I de andre karene, ble halvparten av P-mengden plassert på samme måte, mens resten ble gitt sammen med frøene som startgjødsel. Da plantene nådde vekststadiet (VS) 21, ble to gjentak høstet og temperaturregimet ble endret til 15° C natt/17° C dag for de resterende tre gjentak. Disse ble høstet ved VS 49. Plasseringen av P-gjødsel viste ikke samspill med temperaturregime, P-AL nivå eller jordart, og det hadde bare få og små effekter på skudd tørrstoffmengde (TS) og P-innhold. Det lavere temperaturregimet forsinket vekstutvikling med ni dager fram til VS 21, men skudd-TS og P-innhold ble ikke påvirket signifikant. Ved VS 49, var både skudd-TS og P-innhold økt med 20 % fra lavt til høyt temperaturregime. Jordas P-AL nivå påvirket i høy grad skuddenes P-innhold, med økninger på hhv. 190 % ved VS 21 ved høyt P-AL sammenliknet med lavt P-AL, og 170 % ved VS 49. Rothårlengden viste stor variasjon innenfor behandlingene, og ingen signifikante forskjeller ble funnet mellom disse. Dette tyder på at planterøttens evne til å tilpasse seg morfologisk til suboptimale forhold ikke var stor nok til å unngå redusert vekst som følge av P-mangel. Plassering av noe P sammen med såkornet kunne i dette forsøket heller ikke hindre begrenset P-opptak under suboptimale vekstforhold. Frøplassering av P som startgjødsel er anbefalt i Norge, spesielt på siltrike jordarter. Resultatene fra dette forsøket støtter imidlertid det som er blitt observert i feltforsøk, nemlig at de positive effektene av å plassere startgjødsel sammen med såkornet varierer mye. Temaet trenger derfor nærmere undersøkelse for å få en bedre forståelse av effektene av frøplassert startgjødsel.*

### 4.1.3 Svovel

Svovel (S) er et viktig næringsstoff for planter som kan akkumulere i jord i organisk form eller tapes i sulfatform ved utvasking. Svovel kan akkumulere i jord ved gjødsling, men det er rapportert at svovelmengden og hvilke S-fraksjoner som lagres er påvirket av om det gjødsles med mineralgjødsel eller organisk gjødsel. Organisk svovel bundet på ulike måter kan ha ulik plantetilgjengelighet og det er derfor viktig å undersøke disse for å få mer kunnskap om plantetilgjengelig svovel i jorda.

*Zhihui Yang og Bal Ram Singh mfl.* brukte jord fra utvalgte forsøksledd på Møystad for å studere virkningen av ulik gjødsling på ulike S-fraksjoner i jord og hvordan de fordelte seg mellom ulike aggregatstørrelser i jorda.

Resultatene nedenfor er hentet fra en artikkel publisert i *Journal of Soil Science Society of America* (Yang, Singh, Hansen, Hu, & Riley 2007):

*Forståelsen av jordas svovelpuljer og assosierte aggregat S-fraksjoner kan gi en plattform for å studere S dynamikken i jorda. Feltet på Møystad ble valgt for å undersøke effektene av langvarig gjødsling på S-fraksjoner i bulkjorda og fraksjonene forbundet med jordaggregater. Ekstrahering med kloroform-fumigasjon ble brukt for å bestemme mengden svovel i mikrobiell biomasse (MBS) og de ulike svovelfraksjonene ble fordelt i ester-S, karbonbundet-S og rest-S. Tilførsel av en stor mengde husdyrgjødsel (HDG) resulterte i høyere MBS i bulkjorda enn bruk av nitrogen+kalium (NK), men det førte ikke til noen signifikant forskjell fra det ugjødslete kontroll-leddet. Tilførsel av at 6 tonn HDG pr. dekar resulterte i opphoping av total-S, total organisk-S og karbonbundet-S i bulkjorda. Bruk av mineralgjødsel (nitrogen+fosfor+kalium+svovel [NPKS] og NK) og en mindre mengde HDG, førte derimot ikke til økt opphoping av total-S og organiske S-fraksjoner. Makroaggregatstørrelsene >2 mm og 1-2 mm og den minste aggregatstørrelsen (<0.106 mm) hadde signifikant høyere konsentrasjoner av total-S enn middels aggregatstørrelser. Ester-S og rest-S var dominerende organiske S-fraksjoner og de utgjorde henholdsvis 39-52 % og 38-51 % av organisk S. Makroaggregatstørrelser >2 mm og 1-2 mm inneholdt mest ester-S, mens mikroaggregater (<0.106 mm) viste høyere karbonbundet-S og rest-S enn andre aggregater. Resultatene viste at det ble akkumulert mest svovel i jord der det ble tilført mest husdyrgjødsel og i jordaggregatene som enten var store eller svært små.*

## 4.2 Jordbiologi

### 4.2.1 Meitemark

Meitemark bidrar til bedre jordstruktur ved å grave ganger og legge igjen næringsrik gjødsel både på jordoverflata og nede i jorda. De omdanner også store mengder organisk materiale til næringsrik jord. Meitemarkene i jorda under 1 m<sup>2</sup> eng kan årlig ete seg gjennom over 20 kg jord og planterester i løpet av et år. De bidrar dermed til dannelsen av stabile jordaggregater i grynstørrelsen.

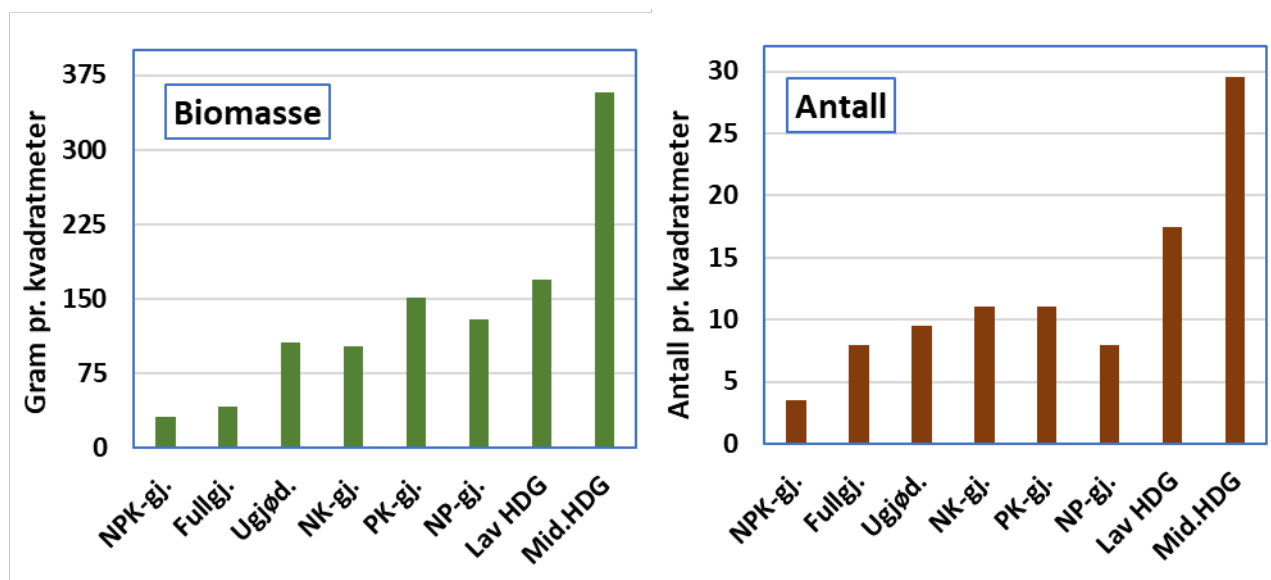
Mengden av meitemark i jorda er blitt undersøkt ved to anledninger på E-feltet på Møystad, av hhv. *Egil Ekeberg og Reidun Pommeresche*. Høsten 1994, ca. 1,5 år etter siste gjødsling og etter tre år med åpenåker, gravde Ekeberg etter meitemark i matjordlaget på alle 32 rutene. Høsten 2006 gravde Pommeresche mfl. etter mark i to jorddyp på noen av rutene. Dette var i perioden med måling av ettervirkning av gjødsling, og leddene hadde da ikke vært gjødslet på 3,5 år. Det hadde vært eng de fire foregående årene. I tillegg til å sortere ut mark fra jorda 0-20 cm, brukte de også sennepsvann for å drive fram meitemark fra jorda under 20 cm dyp.

Det var relativt store variasjoner i antallet og total biomasse av meitemark som ble funnet, men ved begge anledninger var det tydelig at tidligere bruk av husdyrgjødsel hadde gitt størst bestand av meitemark. Artsbestemmelse i 2006 viste at alle de vanligste artene som finnes i norsk åkerjord var til

stede. Det var flest stormeitemark (*Lumbricus terrestris*) i jorda under 20 cm dyp. I matjordlaget var det gråmeitemark (*Aporrectodea caliginosa*) og rosameitemark (*Aporrectodea rosea*) som dominerte, sammen med et par individer av skogsmeitemark (*Lumbricus rubellus*). Alle disse artene er med å blande jord og organisk materiale slik at planterester ikke blir liggende på toppen av jorda. Grå- og rosameitemark er effektive jordblandere ved at de stadig graver nye ganger og legger igjen skiter i gangene sine. Stormeitemark bor i de samme gangene lenge og disse fungerer som drenerør for vann og bidrar til luftveksling i jorda.

Ved undersøkelsen i 1994 ble det funnet færrest mark og lavest biomasse av mark på ledd E1, som fram til 1993 hadde fått ca. 10 kg N i kalksalpeter pluss P- og K-gjødsel (figur 31). Det var også lav total biomasse av meitemark på ledd E2 som hadde fått samme N-mengde i Fullgjødsel siden 1983, men der var antallet noe høyere. Det var størst vekt og antall av meitemark på ledd E4 som hadde fått middels mengde husdyrgjødsel (4 t HDG). Også på ledd E3, som hadde fått lav HDG-mengde (2 t), ble det funnet et større antall meitemark. På de øvrige leddene, dvs. leddet uten gjødsling siden 1922 og leddene som hadde fått NP, NK eller PK, lå både biomassen og antallet av mark på et middels nivå, med ikke-signifikante forskjeller seg imellom.

Ekeberg fant det naturlig at «meitemarken trives best der det er mest mat - etter husdyrgjødsel», men han var i tvil om resultatet på ledd E2 var riktig, da Fullgjødsel bare hadde blitt brukt der siden 1983. Han mente dette forholdet burde studeres nærmere.

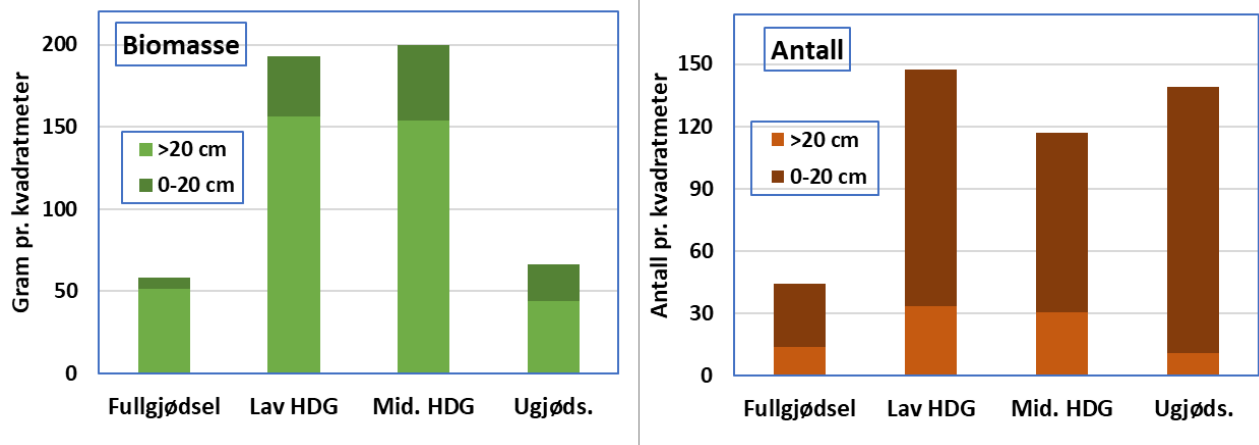


Figur 31: Mengdene av meitemark funnet i matjorda i 1994 på de åtte forsøksleddene på E-feltet, med biomassen til venstre og antallet til høyre (Ekeberg 1997 og upublisert materiale).

Undersøkelsen i 2006 bekreftet at det var lavest total biomasse og antall av meitemark på ledd E2, etter tidligere bruk av fullgjødsel (figur 32). Jordreaksjonen på dette leddet hadde sunket til pH 5,5 i 2007. Biomassen av mark var like lavt på leddet uten gjødsling siden 1922, men her var antallet av mark i matjorda mye høyere. Tross en del variasjoner, kunne man også i denne undersøkelsen konstatere at tidligere bruk av HDG hadde ført til større bestand av meitemark. Denne gangen var det ingen signifikant forskjell mellom lav og middels stor HDG-mengder. Antallet mark på disse leddene var størst i matjordlaget, mens bidraget til dypt-levende mark forklarer de høye biomassene av mark drevet opp fra undergrunnen, da stormeitemarken er mye større enn de andre artene. På leddet uten gjødsel siden 1922 var det mange små meitemark i matjordlaget, med få stormeitemark dypere i jorda.

Pommeresche fant det «oppsiktsvekkende at man i 4. års eng og 3,5 år etter avsluttet gjødsling, fremdeles skulle finne såpass klare forskjeller i meitemarkbestanden mellom behandlingene». De konkluderte at langtidseffekten av HDG var mer positiv enn bruk av Fullgjødsel, men spekulerte også på hvorvidt et innslag av selvetablert kløver kan ha hatt positiv betydning for noen av resultatene.





Figur 32: Mengdene av meitemark funnet i to jorddybder i 2006 på utvalgte forsøksledd på E-feltet, med biomassen til venstre og antallet til høyre (Pommeresche og Riley 2009, Pommeresche og Løes 2009).



Bilde 6: Artene av meitemark som ble funnet på Møystad i 2006 (øvre bilde) og visualisering av mengdene meitemark på ulike forsøksledd (nedre bilde) - fra venstre: uten gjødning, lav HDG, middels HDG, Fullgjødning. Fotoer: R. Pommeresche

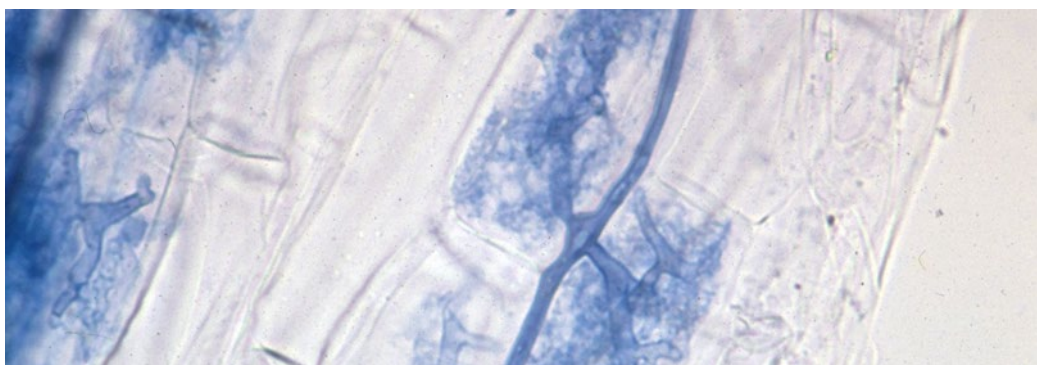
## 4.2.2 Mykorrhiza

Arbuskulær mykorrhiza (rotsopper) danner symbiose med flere nytteplantearter, og de er særlig kjent for sin gunstige innvirkning på plantenes forsyning med fosfor. Ved hjelp av jord fra Møystad, studerte Erik Joner virkningen av ulike gjødslinger på slike sopper og kløverplanters opptak av fosfor.

Utdraget nedenfor er oversatt fra en artikkel publisert i *Biology and Fertility of Soils* (Joner 2000):

*Et karforsøk ble utført med jord fra et langsiktig (74-år) gjødslingsforsøk for å sammenlikne effektene av organiske og mineralske gjødseltyper på dannelsen av mykorrhiza i kløver, og mykorrhiza-styrt opptak av fosfor (P) i plantene. Fem forsøksbehandlinger ble valgt ut fra feltforsøket, som representerte ulike former og nivå av P i jorda. Effektene av mykorrhiza på plantevekst og P-opptak ble estimert ved å sammenlikne planter dyrket i ubehandlet jord som inneholdt stedegen arbuskulær mykorrhiza (AM) sopparter, med planter dyrket i pasteurisert jord. Kortsiktige virkninger vs. ettervirkninger av mineralgjødsel/husdyrgjødsel ble også målt ved å sammenlikne behandlinger med eller uten gjødsel tilført ved oppstarten av karforsøket. Dannelsen av mykorrhiza var størst i jord som ikke hadde blitt tilført noe P i 74 år, etterfulgt av jord som hadde fått 3 eller 6 tonn husdyrgjødsel pr. dekar, og jord som hadde fått 2,5 eller 4,4 kg P i mineralsk NPK-gjødsel. I alle behandlinger med mineralgjødsel ble plantevekst og P-opptak sterkt redusert i fravær av AM sopparter. I motsetning til dette, vokste planter dyrket i jord som hadde fått husdyrgjødsel like godt eller bedre på jord i fraværet av mykorrhiza. Nylige tilførsler av NK gjødsel og husdyrgjødsel hadde ingen innvirkning på dannelsen av mykorrhiza, mens tilførsel av NPK gjødsel ga redusert kolonisering. Det kan se ut til at bruk av moderate mengder husdyrgjødsel har mindre uheldige virkninger på AM enn bruk av tilsvarende mengder næringsstoffer i mineralsk NPK-gjødsel, et fenomen som mest sannsynlig skyldes en tidsmessig forskjell i P tilgjengelighet med saktere P-frigjøring fra husdyrgjødsel i takt med plantenes behov.*

Jord fra Møystad er også blitt benyttet i tre nyere publikasjoner som omhandler undertrykking av AM ved biotiske og abiotiske faktorer (se: Cruz-Paredes mfl. 2019 og 2021; Svenningsen mfl. 2018).



**Bilde 7: Rotsopp (AM) i hvete:** Her er rotsoppen farget blå, og arbusklene ses tydelig som sterkt forgrenete strukturer inne i rotceller. Veggene til plantecellene skimtes som blanke firkanter. Foto: Th. Ruissen (kilde: Pommeresche & Ruissen 2018).

I en undersøkelse av effekten av biologiske mekanismer på frigjøring av fosfor fra jord, brukte Yanliang Wang jord fra bla. Møystad for å studere rollen til mykorrhiza og roteksudater (organiske anioner og fosfatase) på fosforopptaket fra jorda. Nedenfor gis et forkortet og noe omskrevet utdrag oversatt fra en artikkel publisert i *Frontiers in Plant Science* (Wang mfl. 2016):

*I mye jordbruksjord har overskudd av tilført fosfor (P) blitt akkumulert i former som er lite tilgjengelige for planter. Det er dokumentert at organiske anioner utskilt fra planterøtter spiller en nøkkelrolle for å øke P-tilgjengeligheten, men det er lite informasjon om hvilken grad slike anioner bidrar til plantenes utnyttelse av P i jord med lite tilgjengelig P. I et forsøk med mini-rotbokser studerte vi effekten av utskilte organiske anioner på P-opptak fra jorda i hvete, havre, potet og kålrot. I forsøket ble det brukt jord fra Møystad med lav P-tilgjengelighet sammen med jord fra et langvarig gjødslingsforsøk på Ås med både lav og høy P-tilgjengelighet. Malat var det dominerende organiske anionet som ble funnet i rotsonen. Kålrot viste 74–103 % høyere innhold av malat i rotsonen når det ble dyrket i Møystad-jorda sammenliknet med dyrking i jorda fra Ås (både lav og høy P-tilgjengelighet). Det ble målt mer av det organiske anionet sitrat i rotsonen i jord med lav P-tilgjengelighet enn i jord med høy P-tilgjengelighet. I alle jordtyper hadde rotsonen til havre større sitrat-konsentrasjon enn rotsonen til de andre veksttypene. Potet hadde lavest konsentrasjon av organiske anioner i rotsonen. Havre viste det største nivået av rotkolonisering med arbuskulær mykorrhiza (AM). I den lav-P jorda fra Ås og Møystad utgjorde rotmassen hhv. 51 % og 66 % av den totale plantemassen, og AM-koloniseringen var hhv. 36 og 40 %. P-opptaket var også størst i jorda fra Møystad. Rotsonen til kålrot hadde 15–44 % mer fosfatase-aktivitet, lavere pH (~0,1–0,4 pH-enheter) enn de andre vekstene og størst økning i vannløselig P i lav-P jord (både Møystad og Ås). I tillegg hadde kålrot størst P-opptak i lav-P jord fra Ås. På tvers av vekstene kunne P-innholdet i skuddene på lav-P jord i stor grad relateres til fosfatase-aktiviteten i rotsonen, jordas innhold av vannløselig P og pH. Effektene av organiske anioner i rotsonen varierte mellom vekstslagene og de spilte tilsynelatende en mindre rolle i å øke tilgjengeligheten og opptaket av fosfor.*

### 4.2.3 N-mineralisering

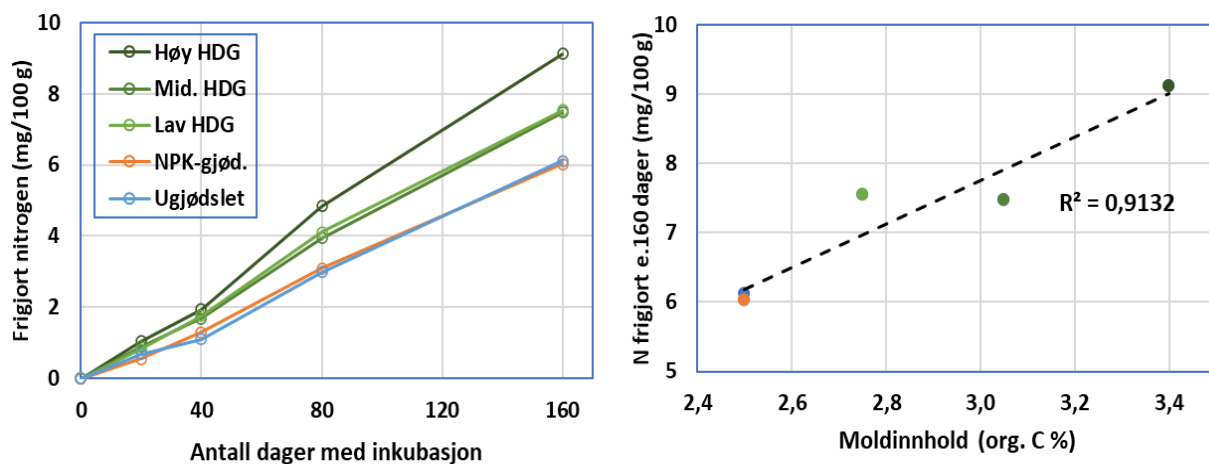
Jordas evne til å frigjøre næringsstoffer (særlig nitrogen) i plantetilgjengelig form avhenger av et komplisert samspill mellom jordbiologi, jordkjemi og jordfysikk. Tidligere gjødsling spiller en viktig rolle i dette samspillet, særlig hvis det er brukt organiske gjødselmidler.

Trond Maukon Henriksen utførte inkubasjonsforsøk med prøver av matjorda tatt på Møystadfeltet høsten 2019. Prøvene ble tatt fra to gjentak med følgende fem forsøksledd: 1) uten gjødsel siden 1922, 2) NPK-gjødsel med 10 kg N/daa, 3) lav mengde husdyrgjødsel (HDG), 4) middels mengde HDG, 5) stor mengde HDG fram til 2003, deretter ugjødslet. Innholdet av både karbon og nitrogen var likt på de to førstnevnte leddene, mens begge parametere økte med bruk av husdyrgjødsel.

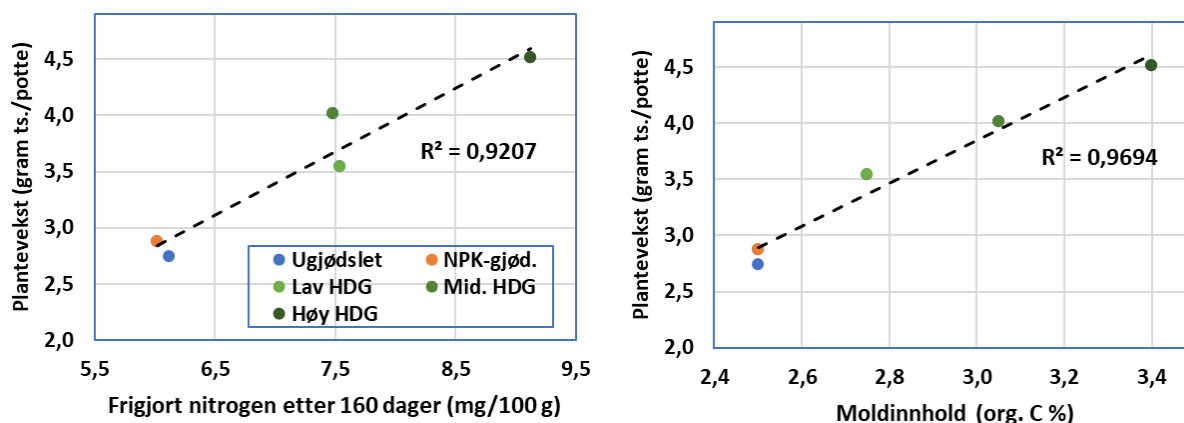
Det ble gjennomført et inkubasjonsforsøk for å bestemme jordas evne til å frigjøre nitrogen ved 15 °C over en periode på 160 dager, og to karforsøk for å måle plantevekst. Resultatene fra sistnevnte ble sammenliknet med N-mengdene frigjort i inkubasjonsforsøket.

Frigjøringen av nitrogen var lavest fra jorda uten gjødsling siden 1922 og fra jorda med NPK-gjødsel. Den var høyere ved bruk av lav og middels mengder HDG og høyest ved bruk av stor mengde HDG. Mengdene av frigjort nitrogen hadde nær sammenheng med moldinnholdet i jordprøvene (figur 33).

Også planteveksten i karforsøkene var lavest på leddet uten gjødsling siden 1922 og på leddet med NPK-gjødsling, mens den økte med bruk av stigende mengde husdyrgjødsel (ikke vist). Planteveksten viste nær sammenheng med både N-mengdene frigjort i inkubasjonsforsøket og med moldinnholdet i jordprøvene (figur 34).



Figur 33: Mengdene av nitrogen frigjort over tid i inkubasjonsforsøket fra jord med ulik gjødsling (til venstre) og sammenheng mellom disse mengdene og moldinnhold (til høyre). (Henriksen mfl. 2022).



Figur 34: Sammenhengen av planteveksten (bygg) i et karforsøk med N-mengdene frigjort i inkubasjonsforsøket (til venstre) og med jordas moldinnhold (til høyre). (Henriksen mfl. 2022).

Resultatene fra disse forsøkene bekrefter det som også er observert i felt, nemlig at langvarig bruk av husdyrgjødsel gir ei fruktbar jord, som igjen gir gode avlinger selv om en kutter ned i den normale gjødslinga. Sammenliknet med ugjødsla jord, gav bruk av mineralgjødsel ingen slik økning.



Bilde 8: Veksten av bygg i karforsøket, med stigende mold og tilgang på N fra venstre. Foto: T. M. Henriksen

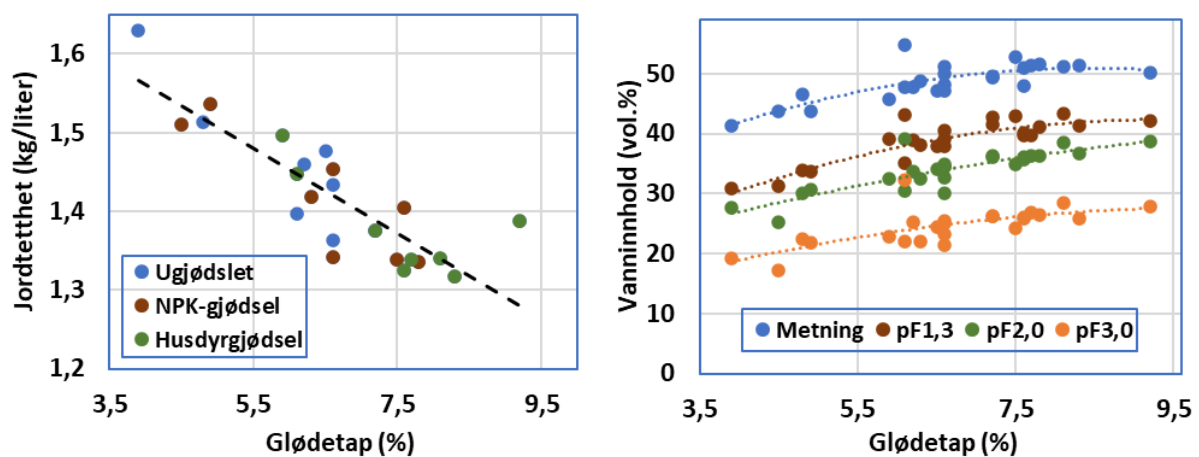
## 4.3 Jordfysikk

### 4.3.1 Jordstruktur

Eventuelle endringer i jordstruktur ved ulike gjødsling er blitt undersøkt relativt lite på Møystad. Dette skyldes delvis stort steininnhold i jorda på Møystad, som gjør det vanskelig å ta ut uforstyrrede prøver. I de målingene som foreligger er det funnet relativt beskjedne forskjeller mellom forsøksledd. Dette kan ha sammenheng med variasjonen i moldinnholdet på feltet. Det er også sannsynlig at det store innslag av eng i vekstomløpet har bidratt til å opprettholde god jordstruktur uansett gjødslingsregime.

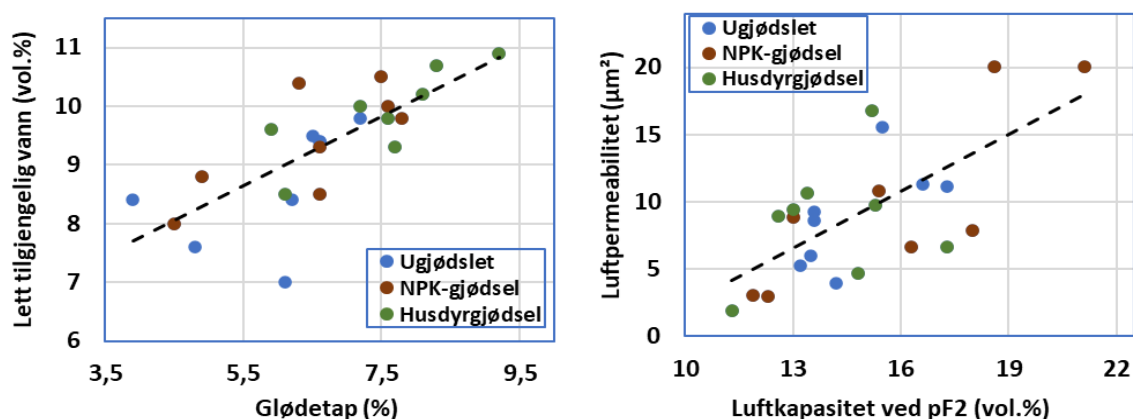
I 1996 undersøkte *Hugh Riley* jordtetthet, porevolum og porestørrelser i uforstyrrede sylindrer tatt fra åtte gjentak som hadde fått følgende behandlinger siden 1922: Uten gjødsling (E8/F1), 10 kg N i NPK-gjødsel (E1/F6), husdyrgjødsel (E6/F4). Det ble tatt 4 sylindrer pr. rute i 5-10 cm dybde (84 stk).

Jordtettheten avtok med økende moldinnhold i disse prøvene og både porevolumet og jordas vannlagringsevne ved ulike bindingstrykk økte med moldinnhold (figur 35).



Figur 35: Sammenhengen mellom jordas glødetap og jordtettheten (til venstre) og jordas vannlagringsevne ved ulike bindingstrykk (til høyre) i uforstyrrede jordprøver tatt ved 5-10 cm dybde i 1996 (Riley, upublisert).

Jordas innhold av lett-tilgjengelig vann (pF2-3) steg med økende moldinnhold (figur 36, venstre), mens jordas luftvolum ved pF2 (luftkapasitet) og luftledningsevne (permeabilitet) ved pF2 avtok svakt (ikke vist). Som ventet, steg permeabiliteten med økende luftkapasitet (figur 36, høyre). Uansett gjødslingsregime, lå som regel begge luftparametere godt over nivåene som regnes som hemmende for plantevekst (hhv. <10 vol.% luftkapasitet, <3  $\mu\text{m}^2$  luftpermeabilitet).



Figur 36: Sammenhengen mellom jordas glødetap og mengden lett-tilgjengelig vann (til venstre) og mellom jordas luftpermeabilitet og luftkapasitet (til høyre), målt ved 5-10 cm dybde i 1996 (Riley, upublisert).

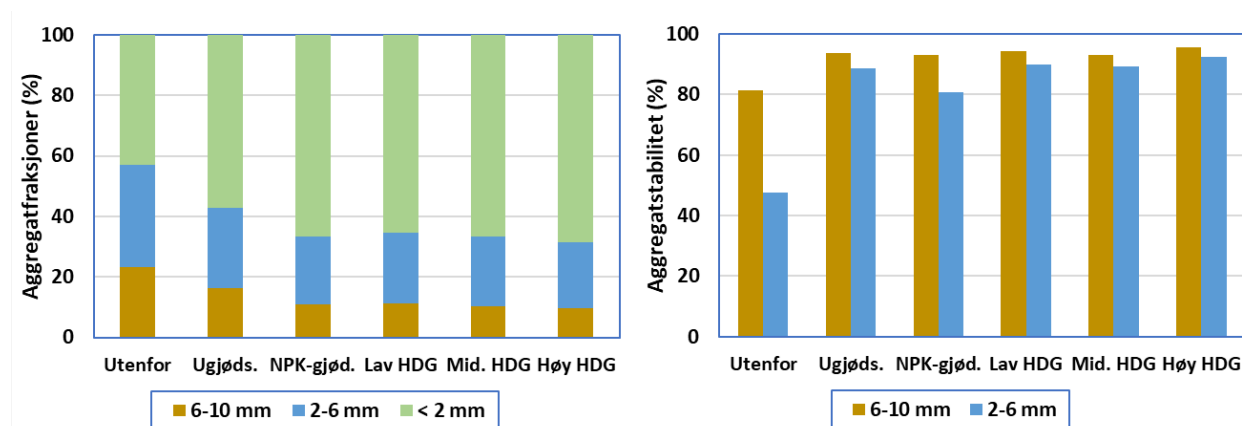
I disse målingene var glødetapet 0,5 og 1,5 prosentenheter større ved bruk av hhv. NPK-gjødsel og husdyrgjødsel enn på ruter uten gjødsel siden 1922 (tabell 23). Ved bruk av NPK-gjødsel var det totale porevolumet uendret, men det var skjedd en økning i mengden av de større poreklassene i jorda. Ved bruk av husdyrgjødsel hadde både porevolumet og vannlagringsevne økt. Sistnevnte økning var delvis på bekostning av luftkapasiteten, men ingen av de nevnte forskjellene kan betegnes som dramatiske.

**Tabell 23.** Endringene i jordas glødetap, tetthet, volumprosent vanninnhold og luftkapasitet ved 75 års bruk av NPK-gjødsel eller husdyrgjødsel sett i forhold ledd uten gjødsling (Riley, upublisert).

	Uten gjødsel	Endring ved NPK	Endring ved HDG
<b>Glødetap (%)</b>	6,0	+0,5	+1,5
<b>Jordtettheten (kg/liter)</b>	1,46	-0,04	-0,08
<b>Vanninnhold ved metning</b>	48,2	+0,2	+1,6
<b>Vanninnhold ved pF 1,3</b>	38,1	-0,5	+2,4
<b>Vanninnhold ved pF 2,0</b>	33,5	-0,9	+2,2
<b>Vanninnhold ved pF 3,0</b>	24,8	-1,7	+1,0
<b>Lett tilgjengelig vann</b>	8,7	+0,7	+1,2
<b>Luftkapasitet ved pF 1,3</b>	10,0	+0,8	-0,8
<b>Luftkapasitet ved pF 2,0</b>	14,7	+1,1	-0,6

Trond Maukon Henriksen undersøkte jordas aggregatstørrelsesfordeling og aggregatstabilitet i prøver av matjorda tatt i 2019 fra samme utvalg av forsøksbehandlinger som nevnt i undersøkelsen med N-mineralisering (se avsnitt 4.2.3). I denne undersøkelsen tok han også med en jordprøve fra arealet som ligger rundt forsøksfeltet. På dette arealet har det vært ensidig korndyrking i minst 50 år.

Det mest iøynefallende ved resultatene var forskjellen mellom prøven tatt på arealet utenfor feltet og prøvene fra selve Møystadfeltet (figur 37). I førstnevnte tilfelle var det flere store aggregater og lavere aggregatstabilitet enn i prøvene tatt innenfor feltet. Dette skyldes trolig ensidig korndyrking i mange år, mens det på forsøksfeltet har vært eng i omløpet hele tiden, og også eng i de to foregående årene før prøveuttaket. Forskjellene mellom forsøksleddene var små, både når det gjaldt aggregatstørrelser og aggregatstabilitet. Det ble konkludert med at det varierte vekstskiftet (med tre engår og fire år åpenåker), samt redusert jordarbeiding, gir en god jordstruktur på denne moreneletteira.



**Figur 37:** Andelen av jordaggregater med ulik størrelse (til venstre) og aggregatstabiliteten av to størrelsesgrupper (til høyre) på utvalgte forsøksledd sammenliknet med arealet utenfor feltet (Henriksen mfl. 2022).

### 4.3.2 Jordkartlegging med hjelp av elektrisk ledningsevne

I presisjonsjordbruk søker man å finne teknologiske løsninger som gjør det mulig å tilpasse f.eks. gjødsling, vanning og jordarbeiding til jordvariasjonen på et skifte. Sensorer som måler elektrisk ledningsevne, er en rask og enkel metode å kartlegge variasjoner i flere jordegenskaper.

*Audun Korsæth* har testet bruk av en slik sensor (EM38) flere steder, bla. på Møystad-feltet. Instrumentet var montert på en kjelke, som ble slept bak en ATV. Det var av interesse å undersøke hvordan plasseringen av måleren, horisontalt eller vertikalt, innvirket på korrelasjonene med jordas tekstur og moldinnhold i ulike jorddybder.

Tabell 24 viser at EM38-målingene var positivt korrelert med leirinnhold og glødetap og negativt korrelert med sand og til dels grus. I de øvre jordsjikt fant man størst korrelasjon når instrumentet var montert horisontalt, mens i dypere sjikt gav vertikal montering større korrelasjon. Disse egenskapene var ofte interkorrelert (f.eks. leir og glødetap  $r=0,38$ ). En regresjonslikning med både leir og glødetap forklarte 74 % av variasjonen i EM38-målingene, og dette ble økt til 89 % når silt og sand ble tatt med.

Tabell 24. Korrelasjonskoeffisienter for elektrisk ledningsevne (EM38 målt horisontalt og vertikalt) med jordtekstur og glødetap i ulike dybder på Møystad (Korsæth 2005, Korsæth & Riley 2003).

	0-20 cm dybde		20-40 cm dybde		40-60 cm dybde	
	Horisontalt	Vertikalt	Horisontalt	Vertikalt	Horisontalt	Vertikalt
Grus	-0,54*	i.s.	-0,60*	i.s.	i.s.	i.s.
Sand	-0,73**	-0,57*	-0,53*	-0,60*	i.s.	-0,64**
Silt	i.s.	i.s.	i.s.	i.s.	i.s.	0,56*
Leir	0,83***	0,75**	0,77**	0,74**	0,62*	0,67**
Glødetap	0,49*	i.s.	0,69**	i.s.	0,62*	0,67**

Statistisk signifikans av korrelasjonene: \*\*\* =  $p < 0,001$ , \*\* =  $p < 0,01$ , \* =  $p < 0,05$ , i.s. = ikke signifikant

Resultatene fra Møystad var basert på målinger med relativt lite variasjon i jordegenskaper (spredning = 12 % for leirinnhold og 6 % for glødetap), men de stemmer godt overens med resultater fra andre undersøkelser på morenejord med større spredning i jordegenskaper.



Bilde 9: Kartlegging av jorda på Møystad med EM38 i oktober 2001. Foto: A. Korsæth

# Utvidet sammendrag

Forsøket ble startet i 1922 for å finne ut om bruk av husdyrgjødsel og mineralgjødsel var likeverdige på lang sikt. Forsøksfeltet består av 72 forsøksruter à 30 kvm, hvorav 8 har vært uten gjødsel hele tiden, 20 får ulike mengder husdyrgjødsel (HDG) og 44 får ulike mengder og kombinasjoner av N, P og K i form av mineralgjødsel. Alle forsøksbehandlingene har enten fire eller åtte gjentak. Det følges et sjuårig vekstomløp med tre år eng og fire år åpenåker.

I de første 60 årene ble det brukt relativt små mengder N-gjødsel, unntatt på ett forsøksledd. I 1983 ble N-mengdene oppjustert til datidens nivå, samtidig som mengdene med HDG ble økt på noen ledd. Avlingene er blitt målt rutevis i hele forsøksperioden, og deres innhold av N, P og K er blitt målt siden omkring 1960. I denne rapporten presenteres gjennomsnittlige avlinger og næringsopptak i periodene før og etter endringene i forsøksplanen. Avlingene er oppgitt som fôrenheter, f.e. (1 f.e. = fôrverdien av 1 kg bygg).

*I den første perioden* (med lav N-gjødsling) var det ingen økning i avling når N eller K ble tilført alene, mens P gitt alene økte avlingene med ca. 10 %. Kombinasjonene NK og PK økte avlingene med ca. 20 %, mens både NP og NPK gav økninger med ca. 30 %. En større N-mengde, gitt sammen med P og K, økte avlingene med 57 %. Bruk av i snitt ca. 2 tonn fast HDG pr. dekar og år økte avlingene med 37 %, med omtrent samme virkning om HDG ble tilført i enten to eller fire av årene i det sjuårige omløpet. Ved bruk av HDG ble avlingene estimert til å utgjøre 88 % av de som kunne oppnås med tilsvarende N-mengde gitt i mineralgjødsel.

På alle ledd unntatt leddet med en stor mengde N-gjødsel, var N-opptaket i den første perioden større enn N-mengdene som ble tilført. Gjenvinningen av tilført N, fratrukket N-opptaket uten gjødsling, ble beregnet til 78 % i snitt på leddene med lav N-mengde, sammen med P og/eller K, og til bare 31 % på leddet med stor N-mengde. Gjenvinning av N tilført som HDG var 33 %. På alle ledd med P-tilførsel var P-opptaket mindre enn det som ble tilført, og gjenvinningsgraden var omkring 30 % på alle ledd. K-opptakene var større enn tilførslene unntatt på leddet med stor N-mengde, og gjenvinningsgraden var i gjennomsnitt 50 % (unntatt leddet med K alene, hvor det var bare 16 %).

*I den andre perioden* (med høyere N-gjødsling) hadde bruk av K alene ingen virkning på avlingene, mens bruk av P alene økte avlingene med i snitt 15 %, med større utslag i eng enn hos åkervekster. Ved bruk av P og K sammen økte avlingene med 30 %. Bruk av N alene var uten virkning i åkervekster, men det økte grasavlingene med 60 %. Kombinasjonene NP og NPK økte avlingene av åkervekster og eng med hhv. 87 % og 104 %. Forskjellen mellom NP og NPK var mest markert hos åkervekstene. Ved bruk av fra 0 til 15 kg N pr. dekar var det nesten lineær stigning i grasavlingene til største N-mengde. Bruk av mer enn 5 kg N gav lite økning i potetavling, mens det i korn var en svak avlingsnedgang med bruk av mer enn 10 kg N. Det var bare små forskjeller ved bruk av Fullgjødsel kontra N gitt som kalksalpeter sammen med P og K.

I den andre perioden ble det brukt fast HDG fram til 2010, og våtkompostert gylle deretter. Bruk av 2 og 4 tonn fastgjødsel pr. dekar og år økte avlingene med hhv. 68 % og 81 %. Økningene var 75 % større i eng enn hos åkervekster. Bruk av 6 tonn fastgjødsel økte avlingene til 8 % mer enn bruk av 4 tonn. Bruk av gylle de siste 11 årene har gitt omtrent samme avlingsutslag som tidligere bruk av fastgjødsel (75 % og 102 % ved hhv. lav og middels stor gyllemengde). Også med gylle har utslagene vært betydelig større i eng enn i korn. Ved bruk av både lav og middels mengder fastgjødsel oppnådde man 87 % av det man fikk ved bruk av tilsvarende mengder N gitt i form av mineralgjødsel, mens ved bruk av lav og middels mengder gylle oppnådde man hhv. 91 % og 99 % av det man fikk med tilsvarende N-mengder i mineralgjødsel.

Opptakene av N, P og K har i den andre perioden for det meste vært mindre enn tilførslene i form av mineralgjødsel. Opptakene av N og K var større i eng enn i åkervekster, mens P-opptaket var mer likt. Gjenvinningsgraden av N ved tilførsel av 10 kg/daa var ca. 55 % på ledd med NP og NPK, 45 % med NK og bare 24 % med N alene. Gjenvinning av P var i snitt 42 % med NPK, 35 % med NP, 16 % med



PK og bare 4 % med P alene. Gjenvinning av K var i snitt 53 % med NPK, 41 % med NK, 24 % med PK og 4 % med K alene. For alle tre næringsstoff var gjenvinningsgraden betydelig høyere i eng enn hos åkervekster. N-gjenvinning avtok fra 64 % ved bruk av 5 kg N/daa til 48 % ved bruk av 15 kg N/daa. Gjenvinning av P og K økte noe ved bruk av stigende N-mengder.

Opptakene av N, P og K steg med bruk av stigende mengder HDG. I åker var N-opptaket på samme nivå med gylle som med fastgjødning, men P- og K-opptakene var noe mindre ved bruk av gylle. I eng steg N- og K-opptakene mer ved bruk av gylle enn med fastgjødning. Gjenvinning av N fra HDG var 15 % i åkervekster og 24 % i eng. P-gjenvinning var i snitt hhv. 23 % og 30 % i åker og eng, og tallene for K-gjenvinning var hhv. 11 % og 40 %. For alle tre stoff var det relativt små forskjeller i gjenvinning mellom bruk av fastgjødning og gylle eller mellom lav og middels mengder HDG.

Ettervirkningene etter mangeårig bruk av ulike mengder fast HDG ble sammenliknet i årene 2004-7 med tidligere bruk av 10 kg N/daa sammen med P og K i form av mineralgjødning. Med fortsatt bruk av 10 kg N (pluss P og K) som referanse, var avlingene i denne perioden 43 % på leddet uten gjødning siden 1922 og 45 % på leddet med tidligere bruk av mineralgjødning. Derimot lå de ved tidligere bruk av HDG, på i snitt 84 % av referansen, dvs. at det var store, positive ettervirkninger fra tidligere HDG. På forsøksleddet med den største HDG-mengden (6 tonn) har man fortsatt å måle ettervirkningene helt fram til i dag. Ettervirkningene avtok over de første seks årene, men over de neste tolv årene har avlingsnivået holdt seg i gjennomsnitt 54 % større enn det ugjødning kontroll-leddet. Meropptaket av N, P og K i perioden 2004-21 har vært i gjennomsnitt 3,6 kg N, 0,7 kg P og 4,2 kg K pr. dekar og år.

Matjordas reaksjon (pH i vann) og moldinnhold (glødetap) er blitt målt rutevis ti ganger siden 1930, og innholdet av en rekke lett-tilgjengelige næringsstoff (AL-løselig P, K, Ca og Mg) er blitt målt åtte ganger siden 1960. Syreløselig-K i matjorda er blitt målt ved tre anledninger (1963-1992) og ulike P-fraksjoner ble undersøkt i 1996. I tillegg er det utført en del kjemiske jordanalyser av undergrunnen. Matjordas innhold av total-N og organisk karbon (org. C) ble målt i 1935 og to ganger seinere.

Fram til 1983 var det relativt små forskjeller i pH-nivået mellom forsøksledd. Seinere har nivået holdt seg over pH 6 på ledd med bruk av kalksalpeter og på HDG-leddene. Nivået har sunket en del på ledd med lave eller ubalanserte mengder N, P og K gitt i mineralgjødning. Det har sunket mest på leddet med bruk av Fullgjødning siden 1983, der nedgangen har vært på ca. 0,02 pH-enheter pr. år. Tallene for Ca-AL følger i stor grad samme mønster som for pH. Tallene for Mg-AL var betydelig høyere på ledd med HDG enn på alle andre ledd. Ca:Mg forholdet var høyt på alle ledd, unntatt de med bruk av HDG eller Fullgjødning, noe som tyder på risiko for hemmet Mg-opptak i plantene.

I den første forsøksperioden var K-AL tallene lave på alle ledd, men høyest ved bruk av HDG. Etter 1983 har tallene steget til et middels høyt nivå både på HDG-leddene og ved bruk av NPK-gjødning, mens på K-, NK- og PK-leddene har nivået steget enda mer. Både på de sistnevnte leddene og på NPK-leddene med kalksalpeter, har K:Mg forholdet vært mye høyere enn optimalt i den siste perioden, noe som medfører risiko for hemmet Mg-opptak, mens det har vært innenfor det optimale ved bruk av HDG og Fullgjødning. Syreløselig K var i snitt sju ganger høyere enn K-AL, men det utgjorde bare ca. en tittel av jordas totale K-innhold.

Uten P-gjødning har P-AL holdt seg på et lavt nivå over tid. Fram til 1990-årene var nivået høyest ved bruk av HDG, mens det seinere har vært høyest ved bruk av P i mineralgjødning. I begge forsøksperioder har det vært nær sammenheng mellom P-balansen og P-AL nivået målt i slutten av hver periode. Ved likevekt mellom tilført og bortført P var P-AL nivået 2,6 i 1983 og 5,5 i 2019. Dette tyder på at P-AL trolig vil ved balanse eller et årlig overskudd på inntil 0,5 kg P/daa, holde seg innenfor det anbefalte optimalområdet (5-7) i relativt lang tid. Syreløselig P var mer enn ti ganger så stor som P-AL, og utgjorde på alle ledd ca. halvparten av den totale P-mengden i jorda. Mengden av organisk P var som regel under halvparten så stor som mengden av uorganisk P.

Konsentrasjonen av mold i matjorda avtok markert mellom 1930- og 1960-tallet, delvis pga. økninger i pløedybden. Endringene i de seinere årene har vært mindre, og nivåene har holdt seg relativt stabile på ledd med HDG og på leddet med en stor mengde NPK-gjødning hvert år siden 1922. De har fortsatt å

synke noe på de andre leddene. Omregnet til organisk karbon (org. C) var nivåene for perioden 1963-2019, gjennomsnittlig 0,74 % org. C høyere på ledd med HDG enn på ledd uten gjødsel siden 1922. På nevnte ledd med NPK siden 1922, var den tilsvarende forskjellen halvparten så stor (0,37 % org. C). Total-N konsentrasjonen i matjorda har avtatt svakt over tid. Den var i gjennomsnitt 10 % høyere på ledd med HDG enn helt uten gjødsling, men ellers var det lite forskjell mellom forsøksleddene. C:N forholdet ble sterkt redusert mellom 1935 og 1996, fra ca. 15 til ca. 9. Dette tyder en sterk grad av humifisering.

Rapporten omtaler dessuten en rekke undersøkelser som er blitt utført de siste 30 årene med jord fra forsøket. Innenfor jordkjemi er det undersøkt hvorvidt gjødsling har påvirket jordas kadmiuminnhold, og effekten av HDG kontra mineralgjødsel på opphoping av ulike svovelfraksjoner. Jord med ulik P-status er dessuten brukt i en rekke karforsøk for å studere effektene av jordpakking, vannregime og ulik plassering av P-gjødsel på plantenes P-opptak. Innenfor jordbiologi er det studert effektene av ulik gjødsling på meitemarkbestanden og aktiviteten til mykorrhiza (rotsopp). Det er dessuten utført inkubasjonsforsøk og karforsøk for å måle effekten av ulik gjødslingshistorikk på N-mineralisering. Innenfor jordfysikk er det studert effektene av ulik gjødsling på jordas porestørrelsesfordeling og på stabiliteten til jordaggregater. Feltet er også brukt til å prøve ut metoder for automatisert kartlegging av jordas leir- og moldinnhold ved hjelp av utstyr som måler jordas elektriske ledningsevne.

## Extended summary

The trial was started in 1922 to establish whether the long-term use of farmyard manure and mineral fertilizer were equally beneficial. The trial comprises 72 plots à 30 m<sup>2</sup>, of which 8 have received no fertilizer throughout, 20 receive various amounts of farmyard manure (FYM) and 44 receive various amounts and combinations of N, P and K in the form of mineral fertilizer. All treatments have either four or eight replicates. A 7-year crop rotation is followed, with three ley years and four arable years.

Relatively low levels of N-fertilizer were used for the first 60 years, except in one treatment. The N-levels were increased in 1983, in accordance with farmer practice at that time, and the amounts of FYM were also increased in some treatments. Yields have been recorded on all plots throughout the trial period, and their contents of N, P and K have been measured since around 1960. This report presents average yields (expressed as fodder units equivalent to 1 kg barley grain) and nutrient uptakes in the periods before and after the changes made in the trial treatments.

*In the first period* (with low N-fertilizer) there was no yield increase when N or K were applied alone, whereas P applied alone increased yields by ca. 10 %. The combinations NK and PK increased yields by med ca. 20 %, whilst both NP and NPK gave increases of ca. 30 %. Use of a higher N-amount, together with P and K, increased yields by 57 %. Average use of ca. 20 tons FYM per hectare and year increased yields by 37 %, with approximately the same effect whether the manure was applied in either two or four years in the 7-year rotation. Yields with the use of FYM were estimated to be to 88 % of that which could be obtained with an equivalent amount of N applied as mineral fertilizer.

The N-uptake in the first period was in all treatments greater than the N-amounts applied, except in that with a large amount of N-fertilizer. The apparent recovery of applied N, calculated by deducting the uptake in the absence of fertilizer, was on average 78 % in treatments with low N-fertilizer together with P and/or K, but only 31 % in the treatment with a large amount of N. Recovery of N applied as FYM was 33 %. The uptake of P was lower than the amounts applied in all treatments with the use of P, and the recovery rate was around 30 %. K-uptakes were greater than the amounts applied except in the high N treatment, and the recovery rate was on average 50 % (except when K was applied alone, where it was only 16 %).

*In the second period* (with higher N-fertilizer) there was no effect on yields when K was applied alone, whereas the use of P alone increased yields by on average 15 %, with greater responses in ley years than in arable crops. Use of P and K together increased yields by 30 %. There was no yield response when N was applied alone to arable crops, but it increased grass yields by 60 %. The NP and NPK combinations increased arable and grass yields by 87 % and 104 %, respectively. The difference between these treatments was more marked in arable crops. Use of from zero to 150 kg N per hectare gave an almost linear increase in grass yields, but there was little response beyond 50 kg N in potatoes, whilst in cereals yields declined slightly with the use of more than 100 kg N. There was little difference in yield when the same amount of N was applied, either as calcium nitrate together with P and K, or as an NPK-compound with ammonium nitrate as the N-source.

In the second period, FYM was applied in solid form until 2010, and thereafter as wet-composted slurry. The use of 20 and 40 tons solid FYM per hectare and year increased yields by 68 % and 81 %, respectively. The increases were 75 % greater in ley years than in arable crops. Use of 60 tons of solid FYM increased yields to 8 % more than the use of 40 tons. The use of slurry in the last 11 years has given approximately the same yield responses as the earlier use of solid FYM (75 % and 102 % with low and medium slurry amounts, respectively). As found with solid FYM, slurry has also given greater yield responses in leys than in cereals. The yields achieved with both low and medium amounts of solid FYM were 87 % of those obtained with equivalent amounts of N in the form of mineral fertilizer. The yields achieved with the use of low and medium amounts of slurry, were 91 % and 99 % respectively, of those obtained with corresponding N-amounts in mineral fertilizer.

The uptakes of N, P and K in the second period have mostly been lower than the amounts applied in the form of mineral fertilizer. The uptakes of N and K were greater in leys than in arable crops, but the amount of P-uptake was more similar. The apparent recoveries of N applied at a rate of 100 kg/ha were ca. 55 % in treatments with NP and NPK, 45 % with NK and bare 23 % with N alone. The recovery of P was on average 42 % with NPK, 35 % with NP, 16 % with PK and only 4 % with P alone. Recovery of K was on average 53 % with NPK, 41 % with NK, 24 % with PK and 4 % with K alone. Recoveries of all three nutrients were markedly higher in leys than in arable crops. N-recoveries declined from 64 % with the use of 50 kg N/ha to 48 % with the use of 150 kg N/ha. Recoveries of P and K increased slightly with the use of increasing N-amounts.

The uptakes of N, P and K rose with increasing amounts of FYM. The N-uptake in arable crops was at the same level with slurry as with solid FYM, but the P- and K-uptakes were somewhat lower with the use of slurry. The N- and K-uptakes in leys increased more with the use of slurry than with solid FYM. Recovery of N from FYM was 15 % in arable crops and 24 % in leys. P-recovery was on average 23 % and 30 % in arable crops and leys, respectively, and the corresponding figures for K-recovery were 11 % and 40 %. In the case of all three nutrients, there were relatively small differences in their recoveries between the use of solid FYM and slurry or between low and medium amounts of FYM.

The residual effects of long-term use of different amounts of solid FYM were compared in the years 2004-7, with previous use 100 kg N/ha together with P and K in the form of mineral fertilizer. Using continued use of 100 kg N (plus P and K) as a reference, the yields in this period were 43 % in the treatment with no fertilizer since 1922 and 45 % in that with previous use of mineral fertilizer. With previous use of FYM on the other hand, they were on average 84 % of the reference, indicating that there were large, positive residual effects of previous FYM. Measurements of residual effects have continued to be made up until the present in the treatment with the highest amount of FYM (60 tons). The residual effects declined over the first six years, but over the next twelve years the yield level has been on average 54 % higher than the unfertilized control treatment. The accompanying increases in N-, P- and K-uptakes during the period 2004-21 have been on average 36 kg N, 7 kg P and 42 kg K per hectare and year.

The topsoil reaction (pH in water) and organic matter content (ignition-loss) have been measured on all plots ten times since 1930, and the contents of some readily available nutrients (AL-extractable P, K, Ca and Mg) have been measured eight times since 1960. Acid-extractable K in the topsoil has been measured three times (1963-1992) and various P fractions were investigated in 1996. Some analyses have also been made of subsoil samples. The topsoil contents of total-N and organic carbon (org. C) were measured in 1935 and on two later occasions.

Up until 1983, there was relatively little difference between treatments in the pH-level. In later years the level has been maintained above pH 6 in treatments with calcium nitrate and those with FYM. The level has declined somewhat in treatments with low or unbalanced amounts of N, P and K applied as mineral fertilizer. It has declined most in the treatment with N given since 1983 as ammonium nitrate in an NPK-compound, where the decline has been ca. 0.02 pH-units per year. The levels of Ca-AL follow largely the same pattern as for pH. Levels of Mg-AL were markedly higher in treatments with FYM, than in all other treatments. The Ca:Mg ratios were high in all treatments except those with the use of FYM or the NPK-compound, indicating a risk of inhibited Mg-uptake in plants.

K-AL levels were low in all treatments during the first trial period, but highest in treatments with FYM. After 1983 levels have risen to a medium high level, both in the FYM treatments and with the use of NPK-fertilizer, whilst they have increased even more in treatments with K-, NK- and PK-combinations. The K:Mg ratios have in the second trial period been much higher than the recommended level, both in the latter treatments and in NPK treatments with the use of calcium nitrate. This indicates a risk of inhibited Mg-uptake in these treatments, whereas the ratios have been within the recommended range with the use of FYM or the NPK-compound. Acid-extractable K was on average seven times greater than K-AL, but it only represented about one tenth of the soil's total K-content.

In the absence of P-fertilizer, P-AL levels have remained low throughout. Up until the 1990's, levels were highest with the use of FYM, whilst in more recent years they have been highest with the use of P in mineral fertilizer. In both trial periods there have been close relationships between the P-balance and the P-AL levels measured at the end of each period. At equilibrium between applied and removed P, the P-AL levels were 26 g/kg in 1983 and 55 g/kg in 2019. This suggests that at equilibrium or with an annual surplus of up to 5 kg P/ha, P-AL will probably remain within the recommended optimal range (50-70 g/kg) for a relatively long time. Acid-extractable P was more than ten times as great as P-AL, and it represented in all treatments about half of the total P-content in the soil. The amount of organic-P was normally less than half as great as the amount of inorganic-P.

The concentration of organic matter in the topsoil declined markedly between the 1930's and 1960's, partly due to increases in ploughing depth. The changes have been smaller in recent years, and levels have remained relatively stable in treatments with FYM and in that which has received a large amount of NPK-fertilizer each year since 1922. Levels have continued to decline somewhat in other treatments. Expressed as organic carbon (org. C), the levels in the period 1963-2019 were on average 0.74 % org. C higher in treatments with FYM than without fertilizer since 1922. In the above-mentioned treatment with NPK since 1922, the corresponding difference was half as much (0,37 % org. C). The topsoil's total-N concentration has declined slightly over time. It was on average 10 % higher in treatments with FYM than without fertilizer, but there was otherwise little difference between treatments. The C:N ratio decreased markedly between 1935 and 1996, from ca. 15 to ca. 9. This suggests a strong degree of humification.

The report also mentions a number of investigations that have been performed over the last 30 years using soil from the trial. Within soil chemistry, these have included studies of whether fertilization has affected the soil's cadmium content, and of effects of FYM and mineral fertilizer on the accumulation of various sulphur fractions. Soil with contrasting P-status has been used in several pot experiments to study effects of soil compaction, soil moisture status and P-fertilizer placement on the uptake of P by plants. Within soil biology, the effects of contrasting fertilization on earthworm populations and mycorrhizal activity have been studied. Laboratory incubation and pot experiments have also been performed to establish the effect of contrasting long-term fertilization on N-mineralisation. Within soil physics, the effects of contrasting fertilizer regimes on moisture retention and pore size distribution have been studied, as well as effects on soil aggregate stability. The trial has also been used to test out methods for automated mapping of the soil's clay and organic matter contents using equipment which measures soil electrical conductivity.

# Referanser

- Cruz-Paredes, C., Diera, T., Davey, M., Rieckmann, M.M., Christensen, P., Dela Cruz, M., Laursen, K.H., Joner, E.J., Christensen, J.H., Nybroe, O., & Jakobsen, I. 2021. Disentangling the abiotic and biotic components of amf suppressive soils. *Soil Biology and Biochemistry* 159: 108305.
- Cruz-Paredes, C., Svenningsen, N.B., Nybroe, O., Kjøller, R., Frøslev, T.G., & Jakobsen, I. 2019. Suppression of arbuscular mycorrhizal fungal activity in a diverse collection of non-cultivated soils. *FEMS Microbiology Ecology* 95, 1–10.
- Ekeberg, E. 1987. Langvarige gjødslingsforsøk på Møystad. *Aktuelt fra statens fagtjeneste for landbruket*, nr. 3/1987, s. 64-87.
- Ekeberg, E. 1997. Langvarige gjødslingsforsøk på Møystad, Vang Hedmark. *Planteforsk Grønn Forskning* 4/1997, s. 194-204.
- Ekeberg, E. & Riley, H. 1995. The long-term fertilizer trial at Møystad, S.E. Norway. Danish Institute of Plant and Soil Science, SP Report No. 29, s. 83-97.
- Falk Øgaard, A. 1995. Effect of Phosphorus Fertilization and Content of Plant-available Phosphorus (P-AL) on Algal-available Phosphorus in Soils. *Acta Agric. Scand., Sect. B - Soil & Plant Science* 45(4): 242-250.
- Glærum, O. 1929. Langvarige gjødslingsforsøk. *Meld. Statens forsøksgård Møistad* 1928, s. 10-76.
- Glærum, O. 1937. Langvarige gjødslingsforsøk. *Meld. Statens forsøksgård Møistad* 1936, s. 3-54.
- Glærum, O. 1943. Langvarige gjødslingsforsøk. *Meld. Statens forsøksgård Møistad* 1942, s. 3-56.
- Glærum, O. 1949. Noen analyser av jord og kornarter på langvarige gjødslingsfelter sammenholdt med gjødslinger og avlinger. *Meld. Statens forsøksgård Møistad* 1946 og 1947, s. 41-57.
- Glømme, H. 1925. Om jordsmonnet på forsøksgaarden Møistad, Hedemark fylke. *Meld. fra Norges Landbrukshøiskole* 1925, s. 33-92.
- Henriksen, T.M., Kristoffersen, A.Ø. & Riley, H. 2022. Verdien av mold. *Jord- og Plantekultur* 2022. NIBIO bok vol. 8, nr. 2, s. 121-127.
- Hovden, A.A. 1937. Kjemiske jordundersøkelser i langvarige gjødslingsforsøk og noen andre jordanalyser. *Meld. Statens forsøksgård Møistad* 1936, s. 1-103.
- IUSS Working Group WRB, 2006. World reference base for soil resources 2006. 2nd edition. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome, 145 pp. ISBN 92-5-105511-4
- Jeng, A.S & Singh B.R. 1995. Cadmium status of soils and plants from a long-term fertility experiment in southeast Norway. *Plant and Soil* 175: 67-74.
- Jetne, M. 1974. Langvarige gjødslingsforsøk på Statens forskingsstasjon Møystad. *Forsk. Fors. Landbr.* 25, s. 519-536.
- Joner, E.J. 2000. The effect of long-term fertilization with organic or inorganic fertilizers on mycorrhiza-mediated P uptake in subterranean clover. *Biology and Fertility of Soils* 32: 435-440.
- Korsæth, A. & Riley, H. 2003. Relations between electrical conductivity, soil texture and SOM content: Experiences with EM38 on morainic soil in southeast Norway. DIAS report Plant Production no. 100: 139-142. Proceedings NJF seminar 336, Implementation of Precision Farming in Practical Agriculture, Skara, Sweden, 10-12 June 2002.
- Korsæth, A. 2005. Dependence soil apparent electrical conductivity ( $EC_a$ ) upon soil texture and ignition loss at various depths in two morainic soils in southeast Norway. In: Allred, B.A, Daniels, J.J. & Reza Ehsani, M. (eds.) *Handbook of Agricultural Geophysics* pp. 218-223. CRC Press Boca Raton, Florida USA.

- Kristoffersen, A.Ø. & Riley, H. 2005. Effects of soil compaction and moisture regime on the root and shoot growth and phosphorus uptake of barley plants growing on soils with varying phosphorus status. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (2005a) 72: 135–146.
- Kristoffersen, A.Ø., Riley, H. & Sogn, T.A. 2005. Effects of P fertilizer placement and temperature on root hair formation, shoot growth and P content of barley grown on soils with varying P status. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 73: 147–159.
- Pommeresche, R. & Ruissen, T. 2018. Mykorrhiza i landbruksjord. *Norsøk Faginfo* Nr. 6, 8s.
- Pommeresche, R. & Riley, H. 2009. Meitemark i Møystadforsøkene - ettervirkning av langvarig bruk av husdyrgjødsel og mineralgjødsel. *Jord- og Plantekulturboka, Bioforsk FOKUS 4* (1) s. 25-28.
- Pommeresche, R. & Løes, A.K. 2009. Relationships between agronomic practice and earthworms in Norwegian arable soils. *Dynamic Soil-Dynamic Plant* 3, special issue 2, *Global Science Books*: 130-142.
- Riley, H. 2002. De langvarige gjødslingsforsøkene på Møystad: Avlingsresultater 1997-2001. *Planteforsk Grønn Forskning*, Nr. 1/2002, s. 110-114.
- Riley, H. 2007. Long-term fertilizer trials on loam soil at Møystad, south-eastern Norway: Crop yields, nutrient balances and soil chemical analyses from 1983 to 2003. *Acta Agric. Scand. Sect. B - Soil and Plant Science*, 57: 140-154.
- Riley, H. 2009. Ettervirkning av langvarig bruk av mineral- og husdyrgjødsel i gjødslingsforsøkene på Møystad. *Bioforsk FOKUS 4*(1): 21-24.
- Riley, H. 2015. Ettervirkning av mineral- og husdyrgjødsel i et langvarig gjødslingsforsøk på Møystad. *Bioforsk-konferansen 2015 / Bioforsk FOKUS* s. 120.
- Riley, H. 2016a. Residual value of inorganic fertilizer and farmyard manure for crop yields and soil fertility after long-term use on a loam soil in Norway. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 104: 25–37.
- Riley, H. 2016b. Ettervirkning av lang tids bruk av husdyrgjødsel. *Buskap* 2: 68-70.
- Riley, H., Hoel, B.O. & Kristoffersen, A.Ø. 2012. Economic and environmental optimization of nitrogen fertilizer recommendations for cereals in Norway. *Acta Agric. Scand. Sect. B-Soil and Plant Science* 62: 87–400.
- Rønsen, K. 1965. Langvarige gjødslingsforsøk på Statens forsøksgard Møystad 1922-63. *Forsk. Fors. Landbr.* 16, s. 293-338.
- Sibbesen, E. & Andersen, C.E. 1985. Soil movement in long-term field experiments as a result of cultivations. II. How to estimate the two-dimensional movement of substances accumulating in the soil. *Experimental Agriculture* 21: 109-117.
- Singh, B.R., Børresen, T., Uhlen, G. & Ekeberg, E. 1998. Long-term effects of crop rotation, cultivation practices, and fertilizers on carbon sequestration in soils in Norway. In: Lal, R., Kimble, J.M., Follett, R.F. & Stewart, B.A. (eds.) *Management of carbon sequestration in soil* pp. 195-208. CRC Press Boca Raton, Florida USA.
- Stabbetorp, H. 2010. Manglende avlingsframgang i norsk korndyrking de siste årene. Utredning februar 2010, *Bioforsk*. 8 s.
- Stabbetorp, H. 2014. Landbrukets utvikling siden 1950. Utviklingstrekk av betydning for vannkvaliteten. Innlegg ved møter i Vannforeningen, *Vann 01*, s. 89-96.
- Stabbetorp, H. 2021. Bak en grøderik norsk kornåker ligger det mye forskning. [www.nibio.no/nyheter](http://www.nibio.no/nyheter). Publisert 08.06.2021 av Siri Elise Dybdal.
- Svenningsen, N.B., Watts-Williams, S.J., Joner, E.J., Battini, F., Efthymiou, A., Cruz-Paredes, C., Nybroe, O. & Jakobsen, I. 2018. Suppression of the activity of arbuscular mycorrhizal fungi by the soil microbiota. *ISME Journal* 12: 1296–1307.

- Torpen, H. 1957. Kvelstoffgjødsling til bygg og hvete. Hedmark Forsøksring, stensiltrykk, 3 s.
- Tveitnes, S. 1993. Husdyrgjødsel. Næringsinnhold i husdyrgjødsel, mengde gjødsel og næringsstoff. Statens fagtjeneste for landbruket, kap. 2, s. 11-18.
- Uhlen, G. 1979. Virkningen av fullgjødsel, superfosfat og halmnedpløying på behovet for kalking. Jord og Myr, 3. årgang (1), s. 20-29.
- Vigerust, E. & Rønsen, K. 1965. Jordundersøkelsr i langvarige gjødslingsforsøk på Statens forsøksgard Møystad. Forsk. Fors. Landbr. 16, s. 339-365.
- Wang, Y., Krogstad, T., Clarke, J.L., Hallama, M., Øgaard, A.F., Eich-Greatorex, S., Kandeler, E. & Clarke, N. 2016. Rhizosphere Organic Anions Play a Minor Role in Improving Crop Species' Ability to Take Up Residual Phosphorus (P) in Agricultural Soils Low in P Availability. *Frontiers in Plant Science, Section Plant Nutrition*, article 1664, vol.7: 1-14.
- Yang, Z., Singh, B.R., Hansen, S., Hu, Z. & Riley, H. 2007. Aggregate Associated Sulfur Fractions in Long-Term (>80 Years) Fertilized Soils. *J. Soil Sci. Soc. Am.* 71 (1): 193-170.





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

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

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

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