



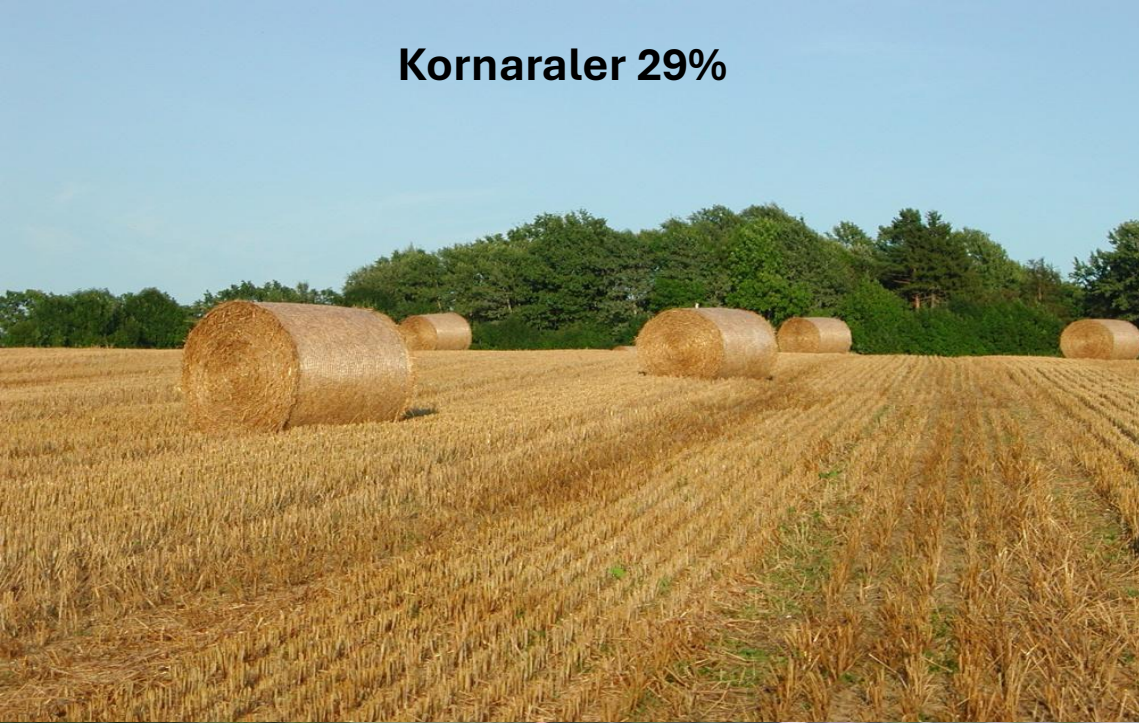
FOSFOR. Grunnleggende
egenskaper for jord og miljø
i et historisk perspektiv.

Professor emeritus Tore Krogstad, NMBU

Noen temaer som blir berørt:

- ❑ En påminnelse av hvorfor fosfor er så viktig både for landbruk og miljø
- ❑ Litt om fosforets historie i norsk landbruk med fokus på jordas bidrag
- ❑ Miljøfokuset fra 1980-tallet og inn i vår tid
- ❑ Kan resultater fra langvarige feltforsøk hjelpe oss framover i en bedre ressursutnytting av fosfor?
- ❑ Et spørsmål for dagen:
Er regelverket angående fosforbruken i landbruket godt nok til å ivareta både agronomi og miljø?

Kornaraler 29%



Eng og beite 67%

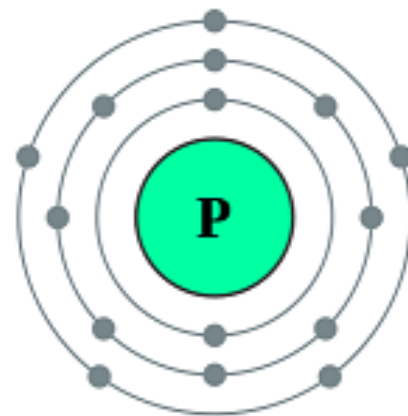


Jordbruksarealene er ofte små arealer i nærheten av vannveier



Grønnsaker, potet, frukt og bær 4%





Atomnr. 15
Rel. atommasse 30,97

Periodic Table of the Elements

relative atomic mass (atomic weight), 1993 IUPAC values; * for radioactive elements: nucleic mass of an important isotope (see line 4 for mass number); for Th, Pa and U: natural isotopic composition

important or most stable radioisotope (predominant type of decay) half-life

atomic number

symbol:

Fe solid element
Hg liquid element (20°C)
Ne gaseous element
Po radioactive element with detectable natural occurrence (some in very small amounts, eg. in natural radioactive series)
Ra artificial radioactive element

number of natural isotopes; (i): radioisotopes only in natural radioactive series or from other natural nuclear reactions
long-lived natural radioisotopes

mass number of most abundant natural isotopes;
natural abundance of isotope in % (Commercially available L- and D-salts are nowadays often depleted with regard to ¹³C and ²H, respectively)
first ionization energy in eV

density in g/cm³ at 20°C
(gaseous elements in g/L at 1013 mbar)
melting point (solid elements) or boiling point (liquid and gaseous elements) in °C

old IUPAC recommendation
IUPAC proposal since 1995
Chemical Abstracts Service group notation

Compiled by FLUCK and HEUMANN, with IUPAC recommendations of 1994
© VCH 1995, all rights reserved. No part of this work may be translated, transmitted into a machine language, or reproduced by photoprint or any other means.
VCH: The international name in scientific publishing



Plantene har et aktivt opptak av P som H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} og noe som organisk P.

I landbrukssammenheng er det derfor viktig at gjødsla består av disse formene.



**Alle
næringsstoffer**

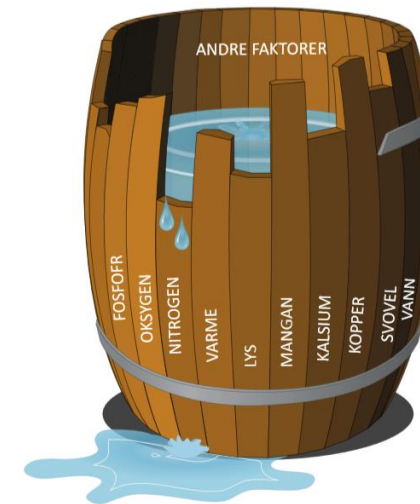
Uten N

Uten P

Uten K

Uten S

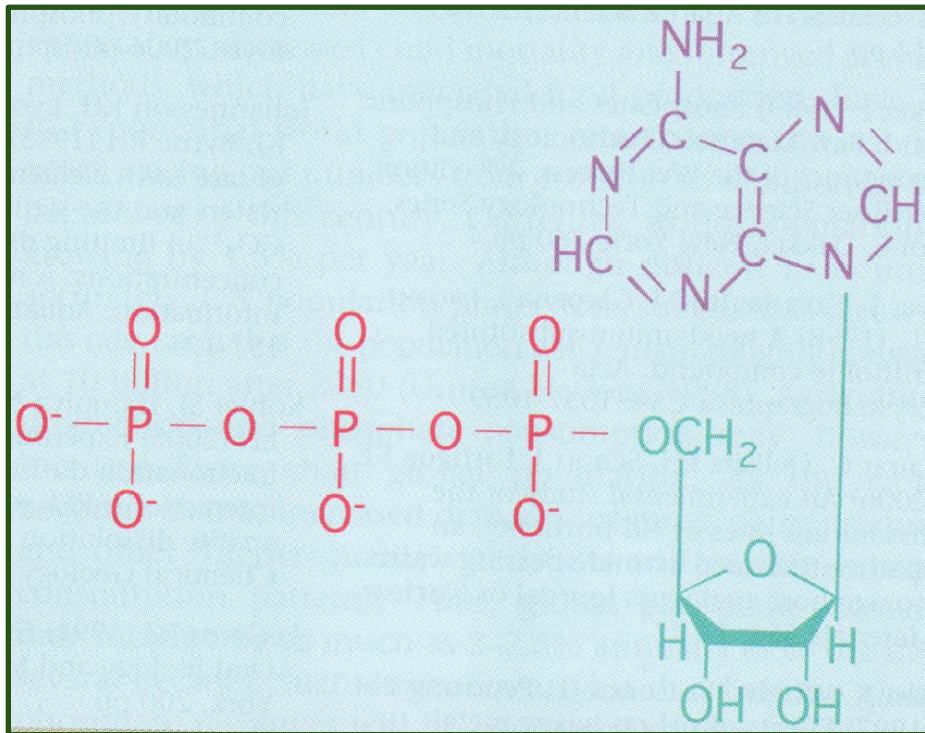
(Demoforsøk for YARA)



Fosfor er spesielt viktig for
plantenes rotutvikling.
Hemmes denne hemmes
også veksten.

P i plantene

Planter kan ikke fullføre sin livssyklus uten fosfor, det inngår med en unik rolle i plantens metabolisme som ikke kan erstattes av et annet grunnstoff. Mangel på fosfor vil derfor være svært dramatisk for matproduksjon.



Adenosin Trifosfat (ATP)

Den universelle energibærer for all form for liv, oppfører seg som et oppladbart batteri.

Fosformangel



← Havre med sterk P-mangel. Rødlig farge og begynnende visning fra plaspissen på eldre blad
(Foto: Ragnar Bærug)

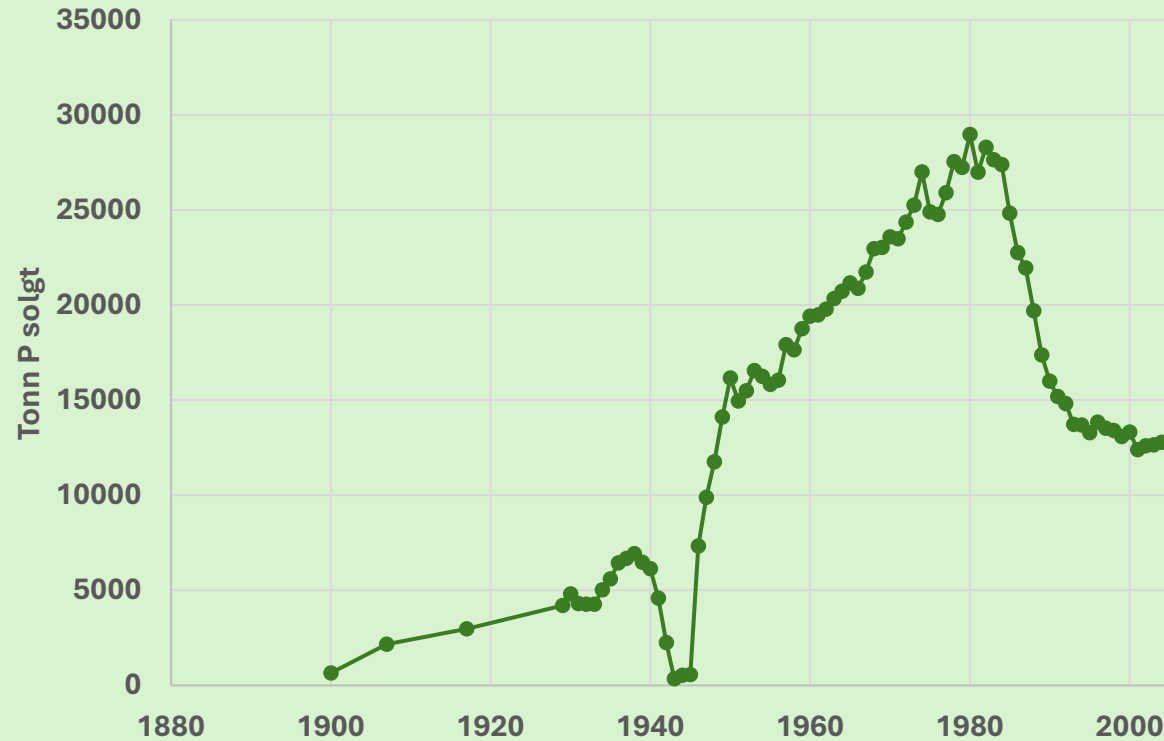
Effekt av P-gjødsling til gras.
Fra venstre: 4, 0 og 6 kg P/daa.

(Foto: Ivar Aasen)



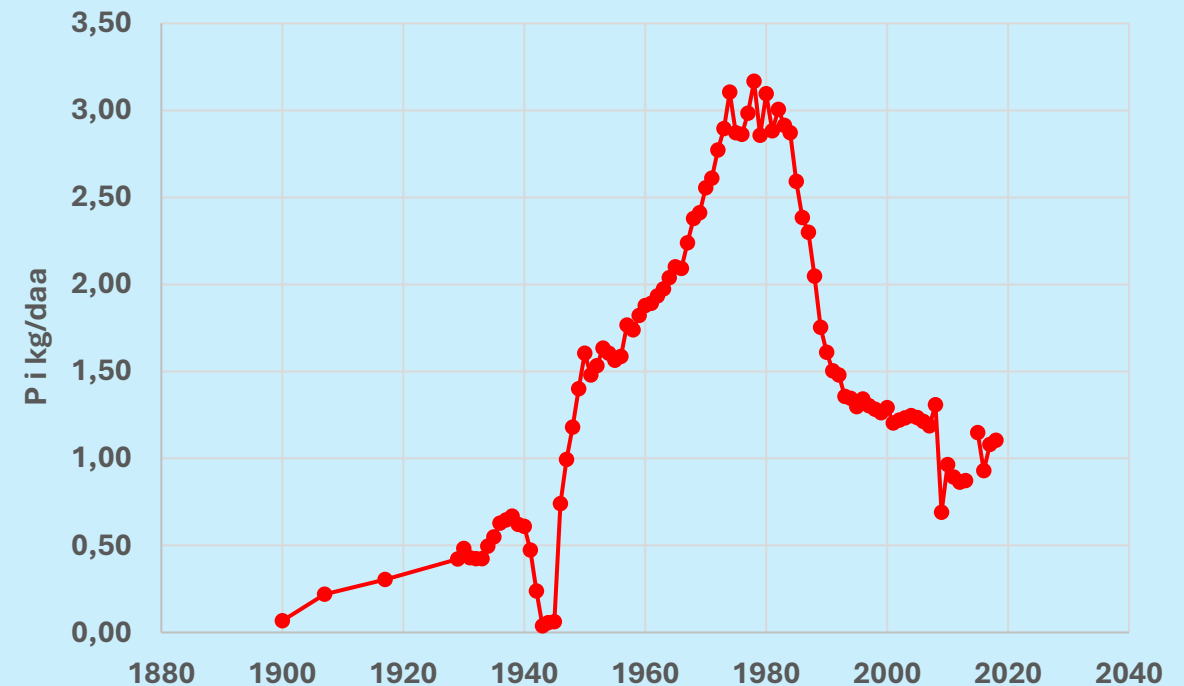
Forbruk av P i norsk landbruk

P i mineralgjødning



Opptappingen av gjødselbruken etter 2. verdenskrig var en bevist strategi for å bygge opp næringsstatusen i jorda og får å øke avlingene både av gras og korn.

P i mineralgjødning pr. daa



- ❑ Statens Jordundersøkelse ble startet i 1921 og ble en del av Institutt for jordbunnslære ved NLH.
- ❑ Fra 1930-tallet ble en viktig oppgave å gjennomføre feltforsøk for å teste ut effekten av gjødsling på jord og avling i samarbeid med det nyopprettede Institutt for jordkultur.
- ❑ Fosfor var viktig også på den tiden og man hadde både husdyrgjødsel og superfosfat som viktige kilder.

Superfosfat består av $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ og gips (CaSO_4).

- ❑ Mange av de mest kjente jordanalysemetodene for P ble utviklet på 1930-tallet.
Blant annet Egners Ca-laktatmetode som ble tatt i bruk i Norge.

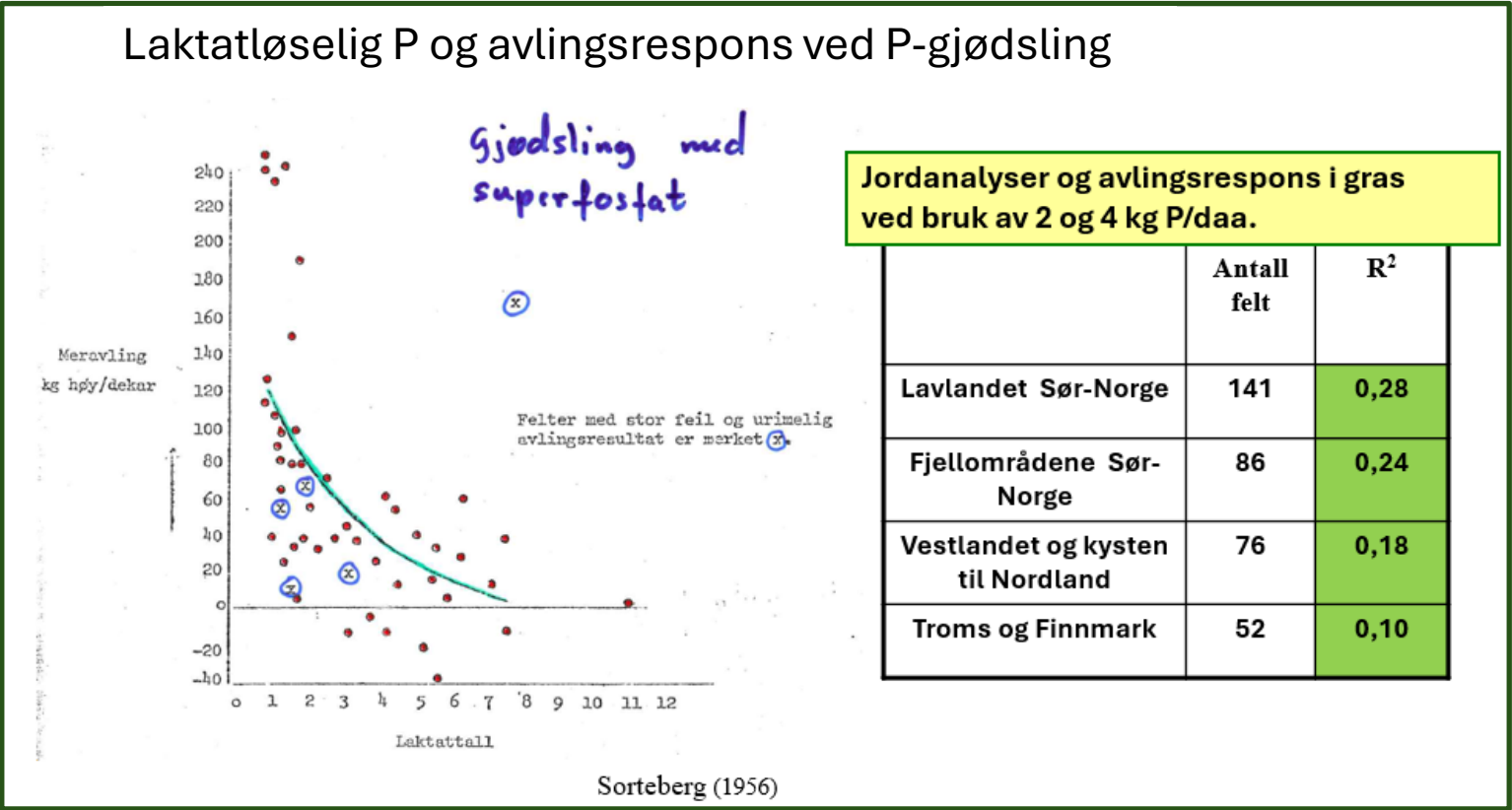
På denne tiden var jordanalyser for fosfor brukt i hovedsak for å vurdere mangel som kan gi reduserte avlinger.

Hans Egnér ønsket å forbedre sin Ca-laktat metode. Og etter en lang rekke forsøk ble dagens AL-metode tatt i bruk i Norge og Sverige i 1960.

Metoden gjorde det mulig å få et brukbart mål på ikke bare innholdet av fosfor, men også innhold av K, Mg og Ca som alle er viktige næringsstoffer i landbruket.

For kalibrering av den nye AL metoden ble det anlagt mer enn 350 feltforsøk over hele Norge på ulike jordarter og med variasjoner i P-innhold. Vanlige gjødslingsmengder var 2 og 4 kg P/daa for å se respons på avling. Feltforsøkene ble gjennomført som 2-årige forsøk i hovedsak i gras på 1950-tallet.

Dette var forsøk styrt fra NLH og sentrale personer var de senere professorene Asbjørn Sorteberg og Gotfred Uhlen og forsøksleder Gunnar Semb ved Statens Jordundersøkelser.

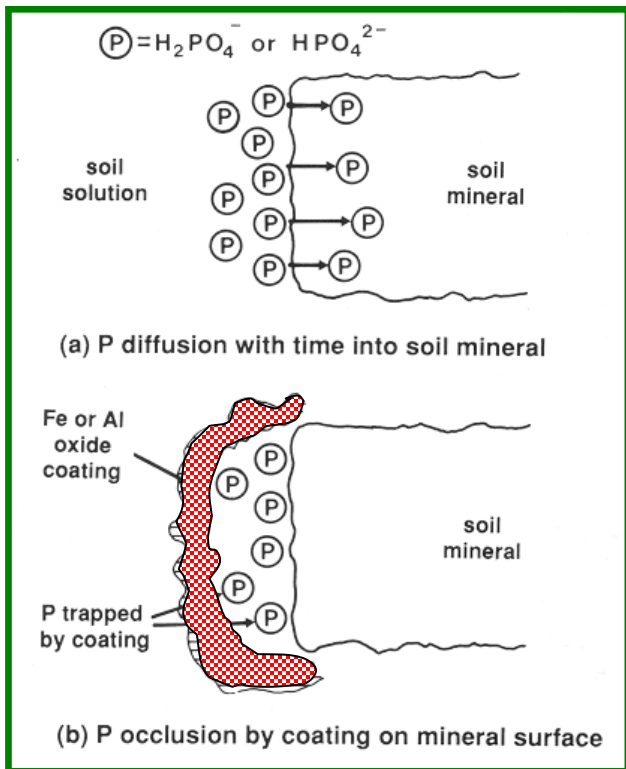


Korrelasjonen mellom de gamle laktat-tallene og de nye AL tallene var 0.96-0.99.

AL-tallene for P (mg P/100g) var i mineraljord 15-20% lavere enn laktattallene (mg P₂O₅/100g).

AL-løsningen ekstraherer ca. 50% mer en den tidligere laktatløsningen.

- ❑ Forråds gjødsling med fosfor er en viktig årsak til høye P-AL tall i dyrka jord i dag.
- ❑ At mineraljord hadde stor evne til å binde fosfor var kjent, men man var ikke klar over at bindingen var så sterkt at store mengder av det som ble tilført ble utilgjengelig for plantene over tid.
- ❑ Undersøkelser utført på 1980-tallet av prof. Uhlen viste at man måtte regne med at opp til 50% av overskuddet av P fra et år til et annet ble bundet i ikke-tilgjengelig form allerede et år etter gjødsling.



Fra McLaren & Cameron (1994)

- ❑ I mine notater fra Vefsn landbruksskole i 1975 har jeg skrevet at **«God agronomisk praksis er å gjødsle med minst 3 ganger den mengde P som plantene trenger for å gi god avling».**

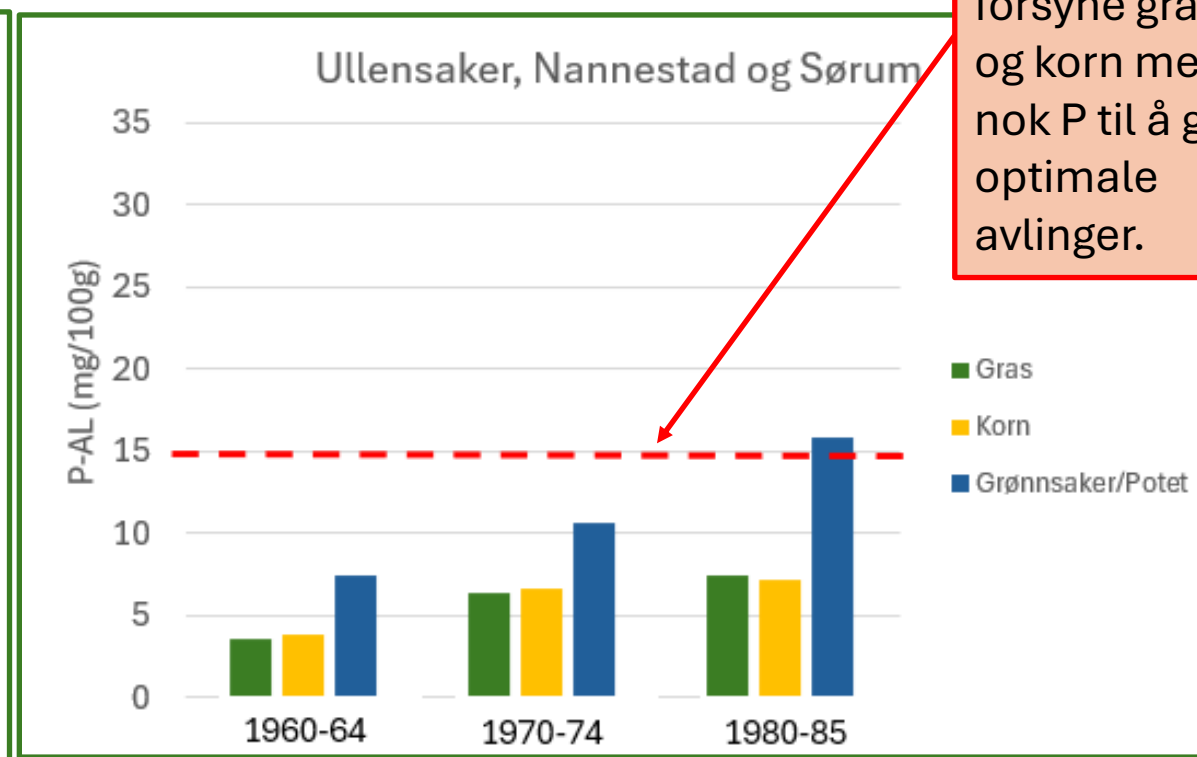
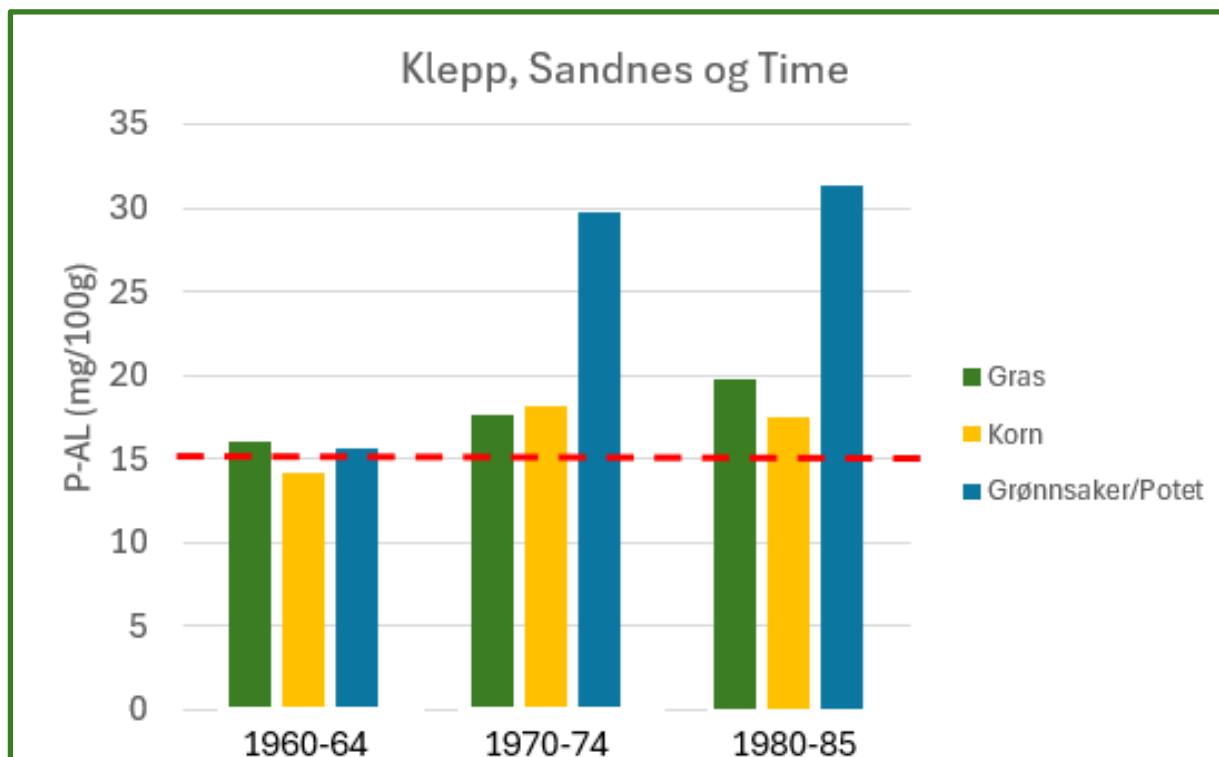
På denne tiden hadde man enda ikke begynt å tenke på miljø og ressursbruk knyttet til P-gjødsling, og gjødsla var billig.

Klasseinndeling av jordanalyseresultater

Klasse	1 Lite	2 Middels	3 God	4 Meget god
P-AL (Lettløselig fosfor)	0-2	3- 6	7- 15	> 15

Allerede på tidlig 1960-tallet var P-AL i Rogaland på et nivå som tilsa at jorda selv kunne forsyne enga med tilstrekkelige mengder P til å gi optimale avlinger.

I perioden fra 1959 til 1985 er det beregnet at det for Rogaland fylke ble tilført fra 4,3-4,9 kg P/daa dyrka mark fra husdyrgjødsel, mens tilsvarende tall for Akershus var fra 0,8-1,3 kg P/daa. (Krogstad, 1987. Basis i data fra SSB).

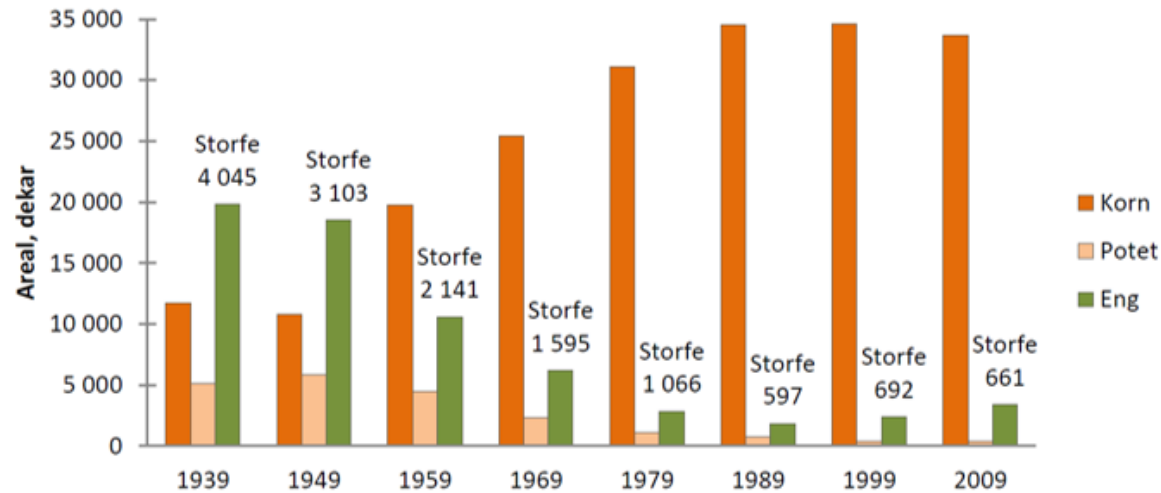


Over denne grensen klarte jorda å forsyne gras og korn med nok P til å gi optimale avlinger.

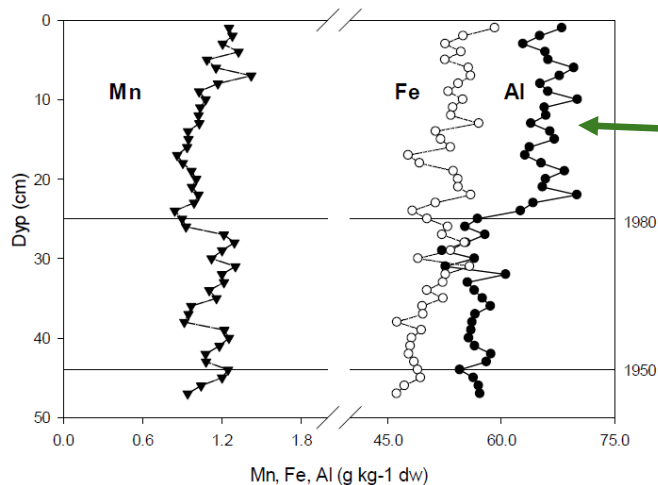
(Basert på data fra Statens Jordundersøkelser og Rogaland Jordanalyse)

❑ Kanaliseringspolitikken i norsk landbruk.

Legge til rette for kornproduksjon der det er best egnet for dette, dvs. en gradvis overgang til ensidig kornproduksjon på flatbygdene. Områder med mye leirjord og jord utsatt for erosjon.

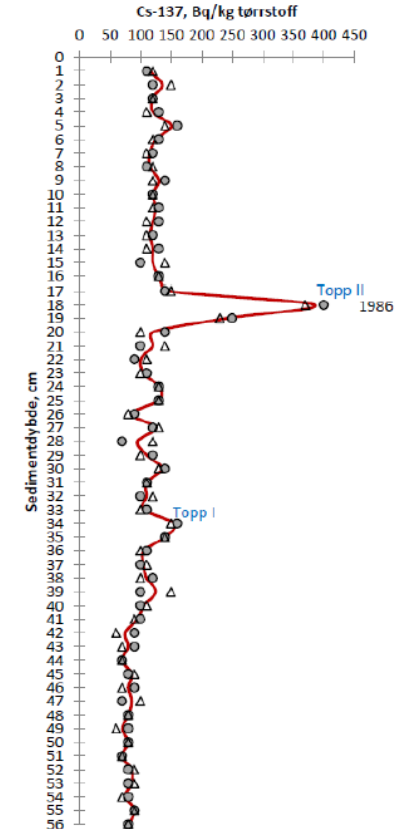
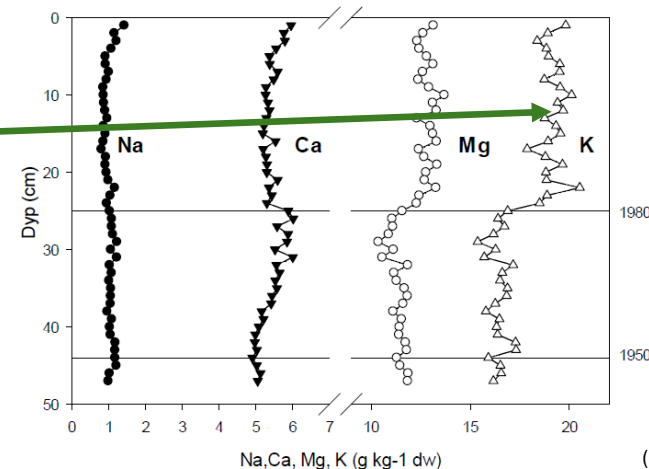


Historisk utvikling i jordbruksareal i Ås kommune i perioden 1939-2009 for eng, potet og korn. Totalt antall storfe hvert år er angitt i figuren. (Fra Snuggerud 2013).



Økende erosjon og mer leire i sedimentene

Illitt
 $(K(Si_3Al)Mg_3OH_{10}(OH)_2)$



(Riise, Krogstad & Rohrlack, 2013)

❑ Mjøsa aksjonen.

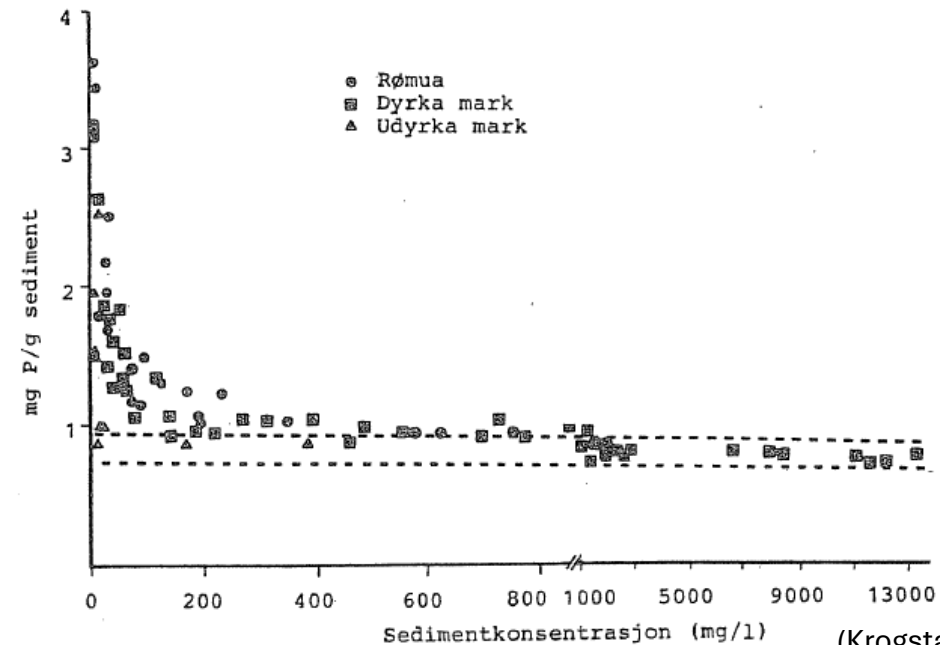
Miljøaksjon som pågikk i perioden 1973 til 1982 for å redusere forurensingen i Mjøsa.

Miljøfokus på fosforbruken i landbruket begynte på slutten av 1970-tallet, men kom for fullt midt på 1980-tallet

❑ NLVF. Satsning på forskning knyttet til erosjon og avrenning med hovedfokus på fosfor.



(NIBIO)



Det ble også dokumentert betydelig transport av P-rike partikler i grøftevann.

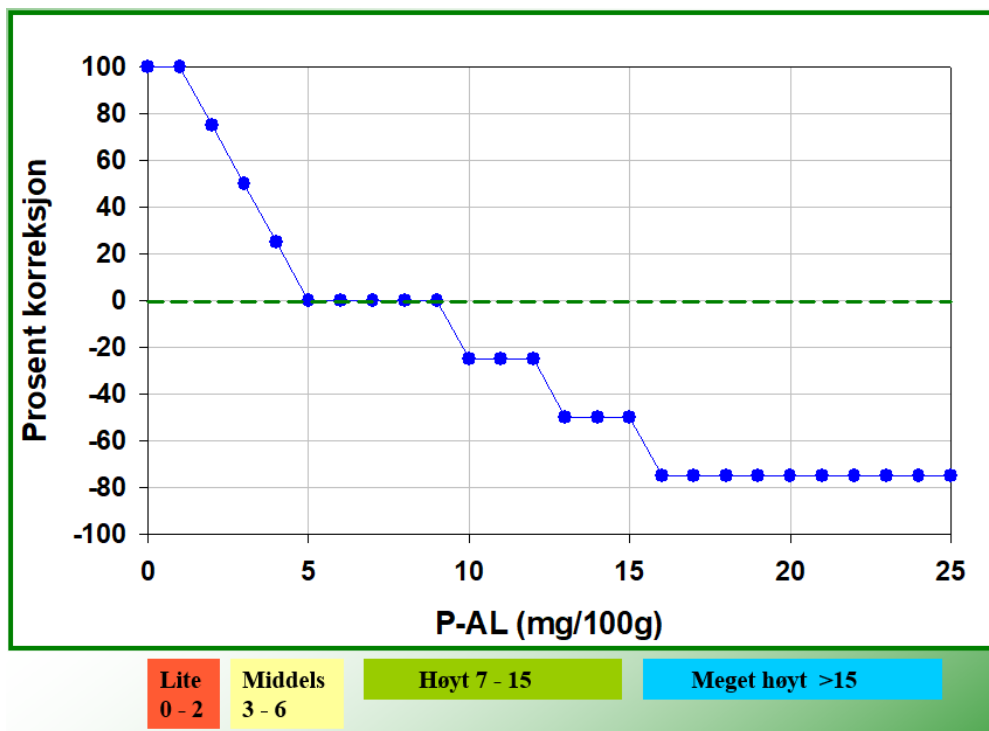
❑ Dataprogrammer for gjødslingsplanlegging kom på slutten av 1980-tallet.

- ❑ Dataprogrammer for gjødslingsplanlegging krever at vi som forskere må sette tall på ting. Hva betyr de ulike P-AL tallene? Hvilke jordarter og hvilke vekster skal de gjelde for?

Her ble det en del kompromiss i de anbefalingene som kom.

To viktige regler som ble innbakt i anbefalingene var:

1. Det anbefales 0.5 kg P/daa mer enn plantene høster ut av systemet for å ta høyde for binding av P i mineraljorda.
2. Det skal uansett vekst alltid tilføres minst 25% av norm-gjødsling selv ved $P\text{-AL} > 15 \text{ mg/100g}$. Dvs. at P-gjødslingen skal aldri sløyfes helt.



Gjødslingsplanlegging på data førte til en større bevisstgjøring hos gårdbrukerne og jordas bidrag som P-kilde ble mer fokusert.

Disse anbefalingene sto i 20 år fram til 2008.

Spørsmål ble stilt om avrenning fra landbruket ikke bare i form av løst P, men også i form av jordpartikler kunne føre til forringet vannkvalitet og oppblomstring av alger i bekker, elver og innsjøer.

Kan adsorbert P (Fe-P og Al-P) være mat for algene?

Kan vi bruke landbrukets standard jordanalyser til å si noe om potensialet for algevekst i vann?





I de øverste 20 cm jord (tetthet 1.20 kg/dm³):

Total P ofte > 1000 mg P/kg

>480 kg P/daa

Organisk P ca. 30% av total P

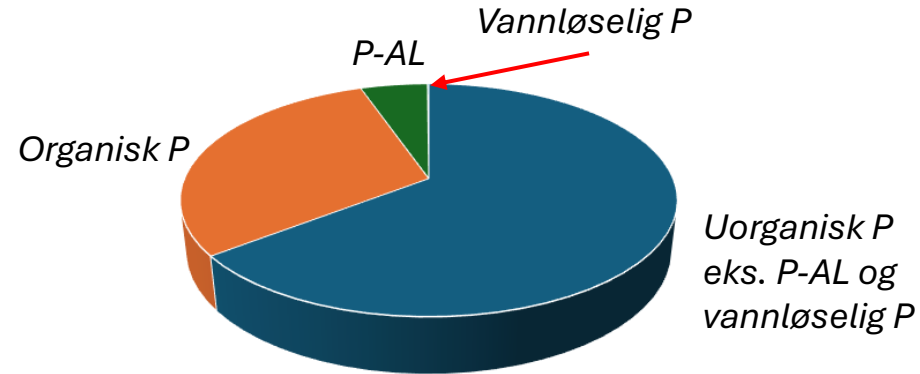
145 kg P/daa

P-AL 7-15 mg P/100g

16 – 36 kg P/daa

Vannløselig P ofte << 0.5% av total P

<< 1 kg P/daa



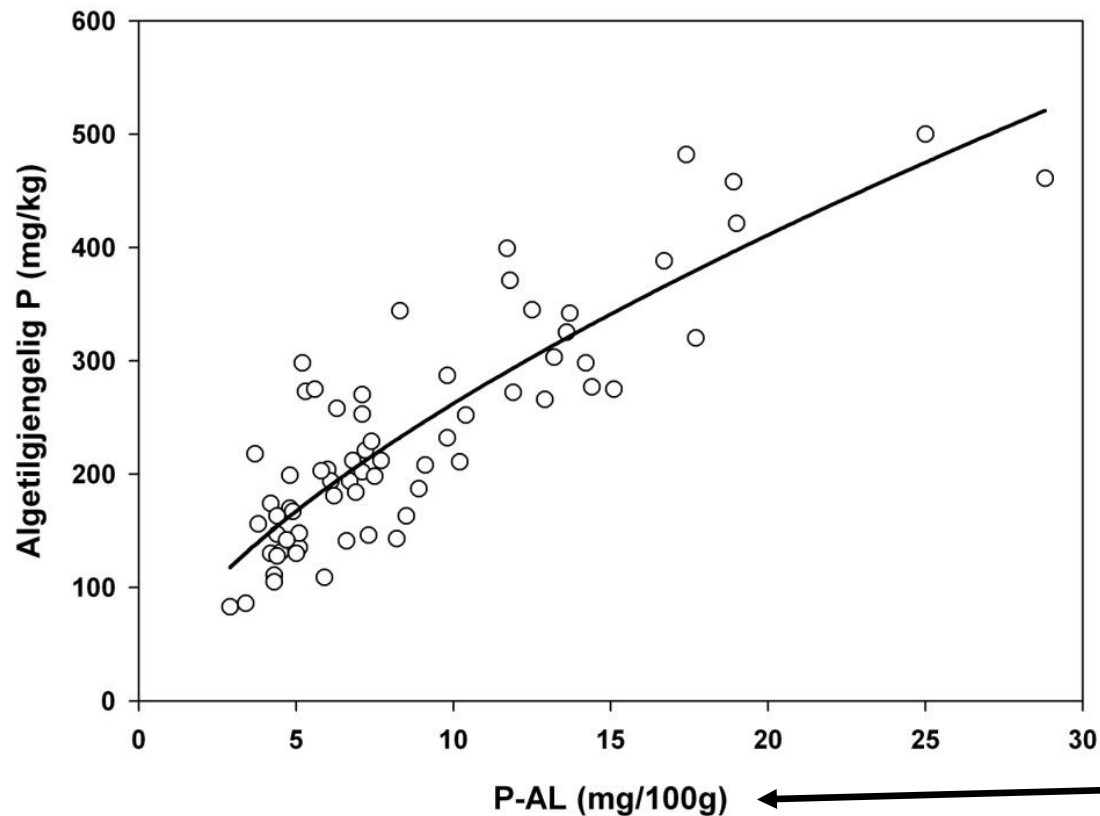
En kornavling på 450 kg/daa fjerner ca. 1.6 kg P/daa

En grasavling på 700 kg/daa fjerner ca. 2.0 kg P/daa

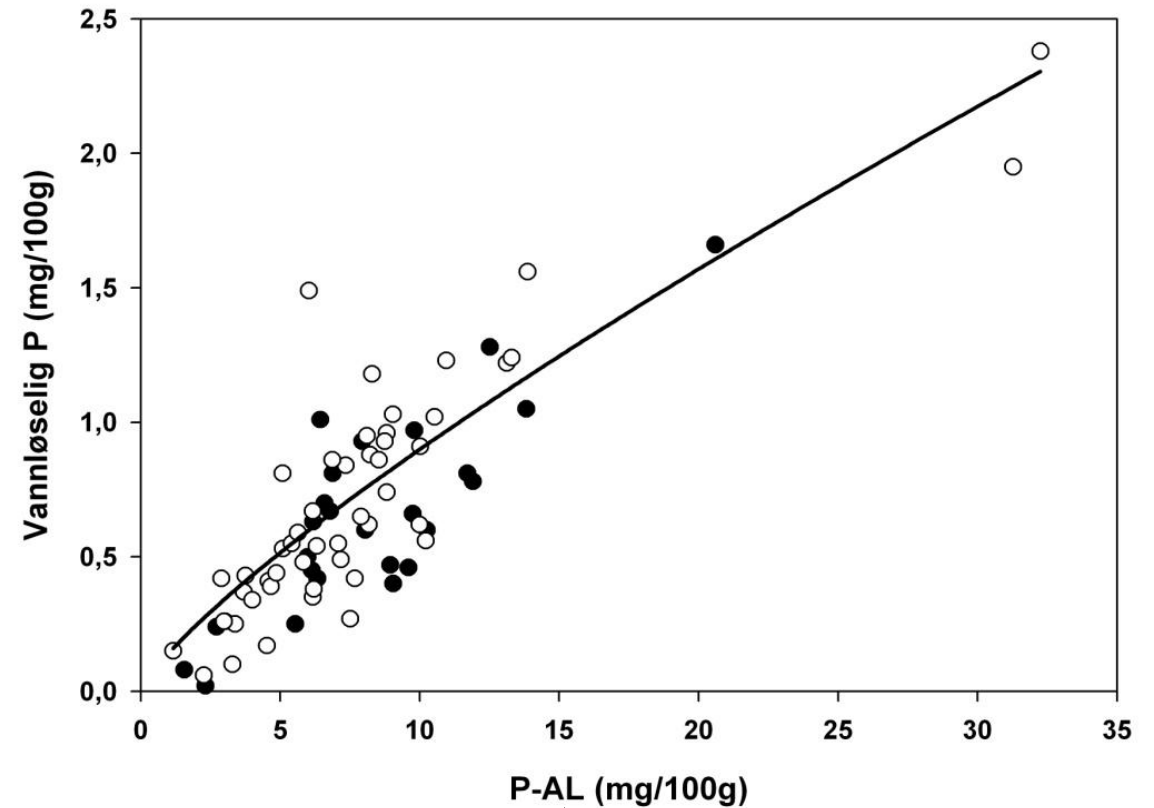
Planter ekstraherer P fra jorda ved utskillelse av organiske syrer fra røttene. Kan alger i vann gjøre det samme?

Data fra nedbørsfelt i Akershus og Østfold

Algetilgjengelig P i jord som en funksjon av P-AL



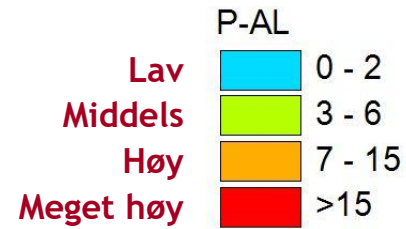
Sammenhengen mellom vannløselig P og P-AL



Plantetilgjengelig
P målt som P-AL

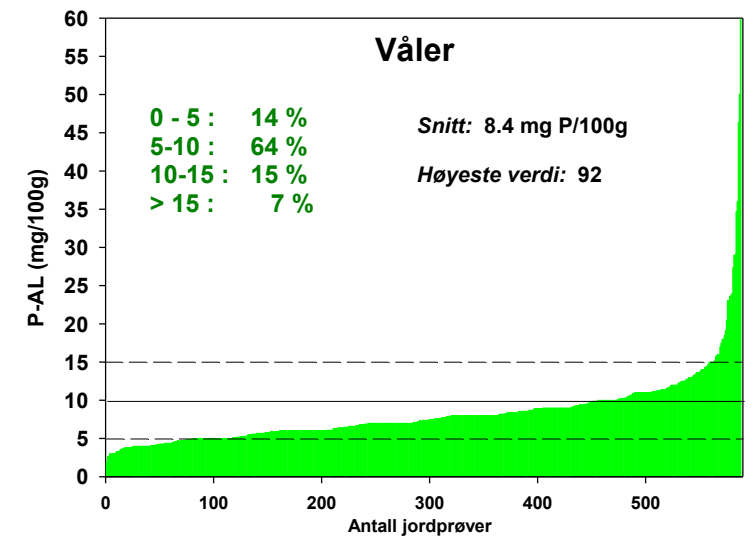
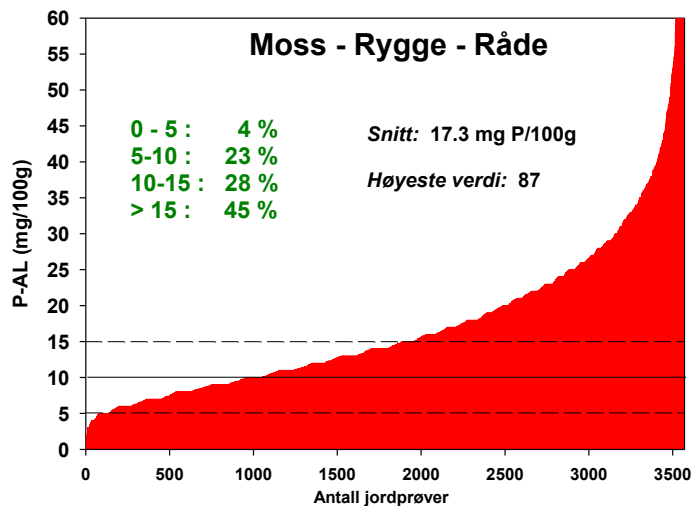


□ MORSA prosjektet var en pådriver for å endre gjødslingen av fosfor.



Korn

Korn



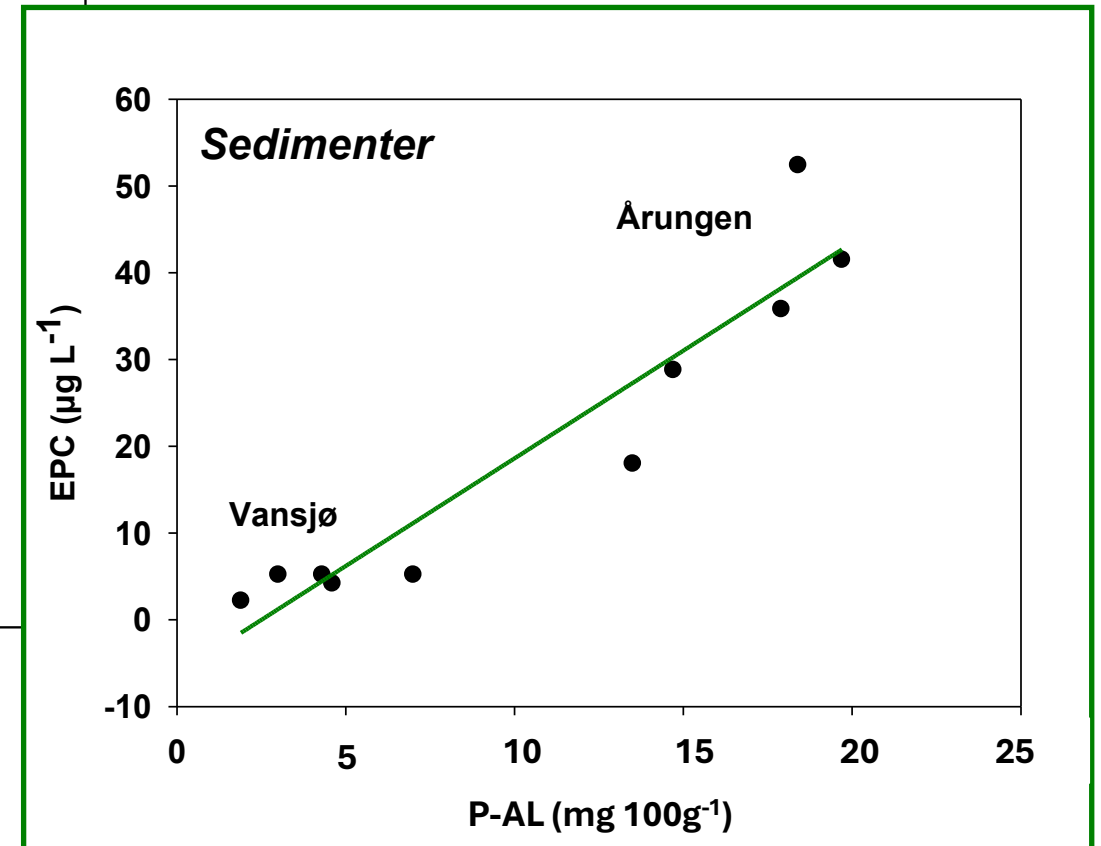
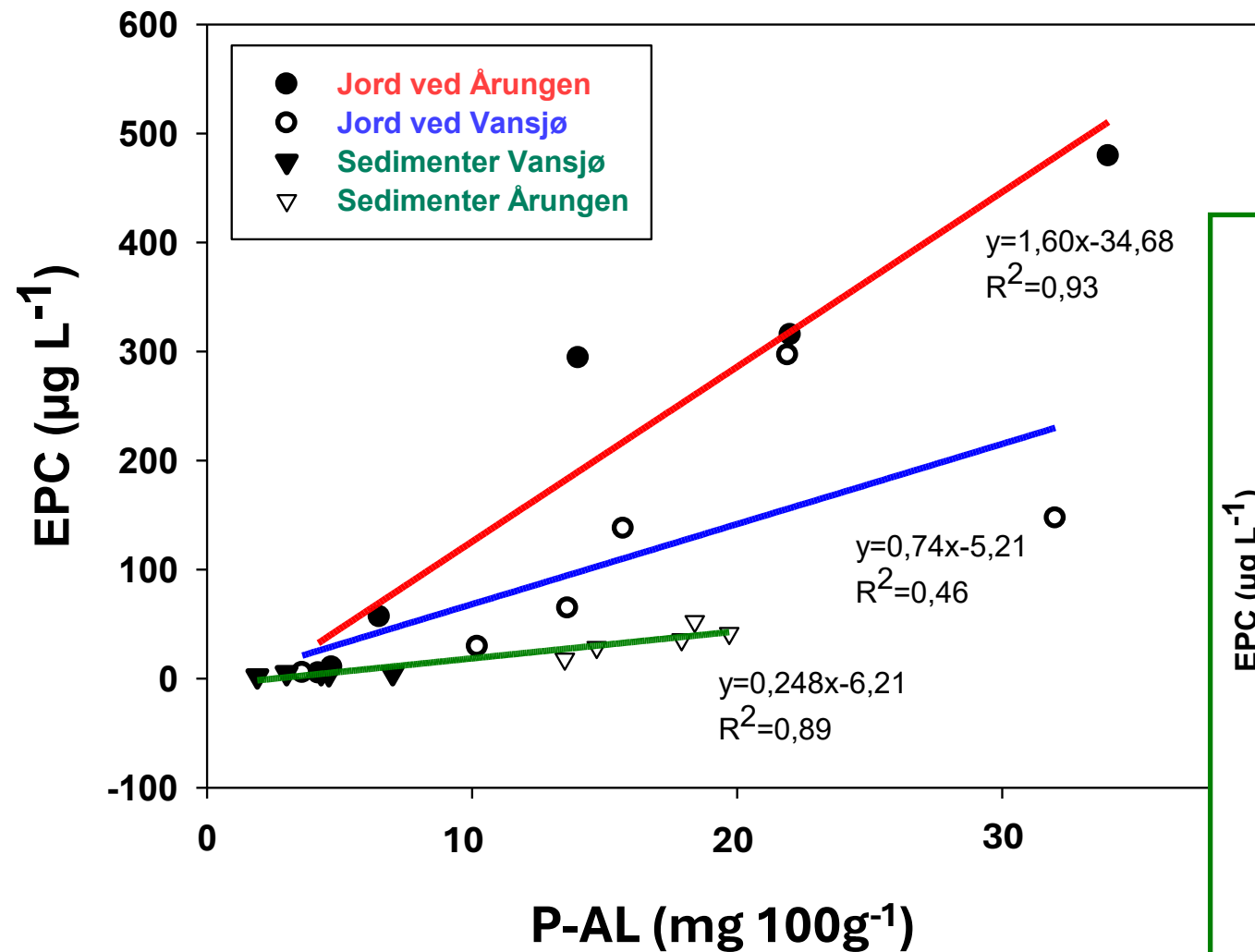
Potet og
grønnsaker på
morenejord



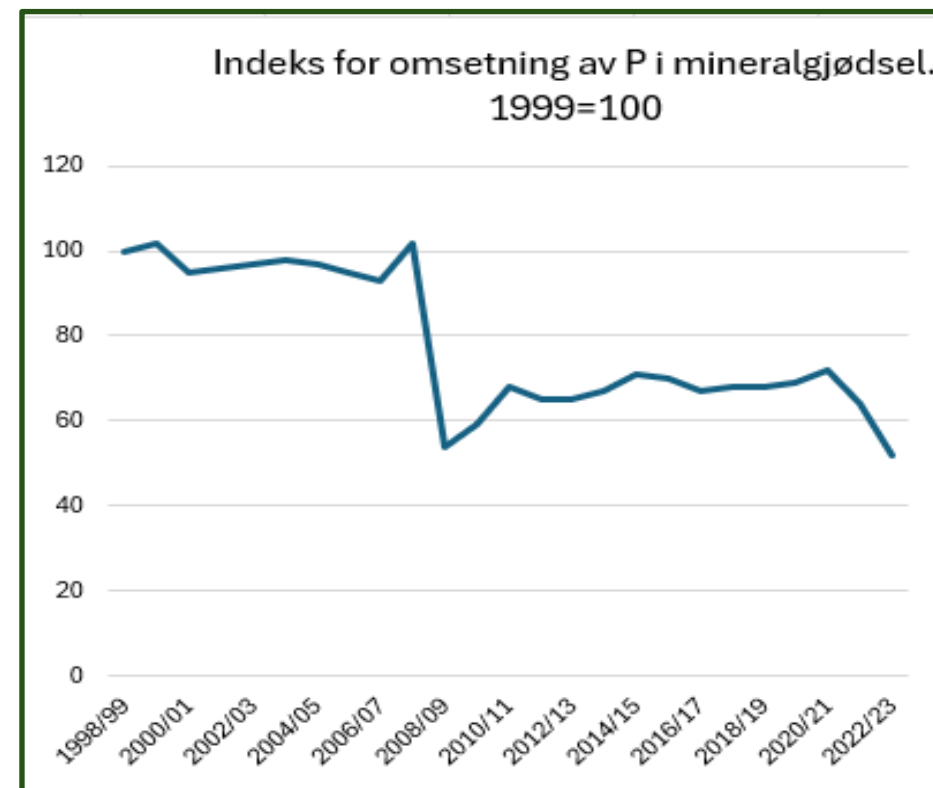
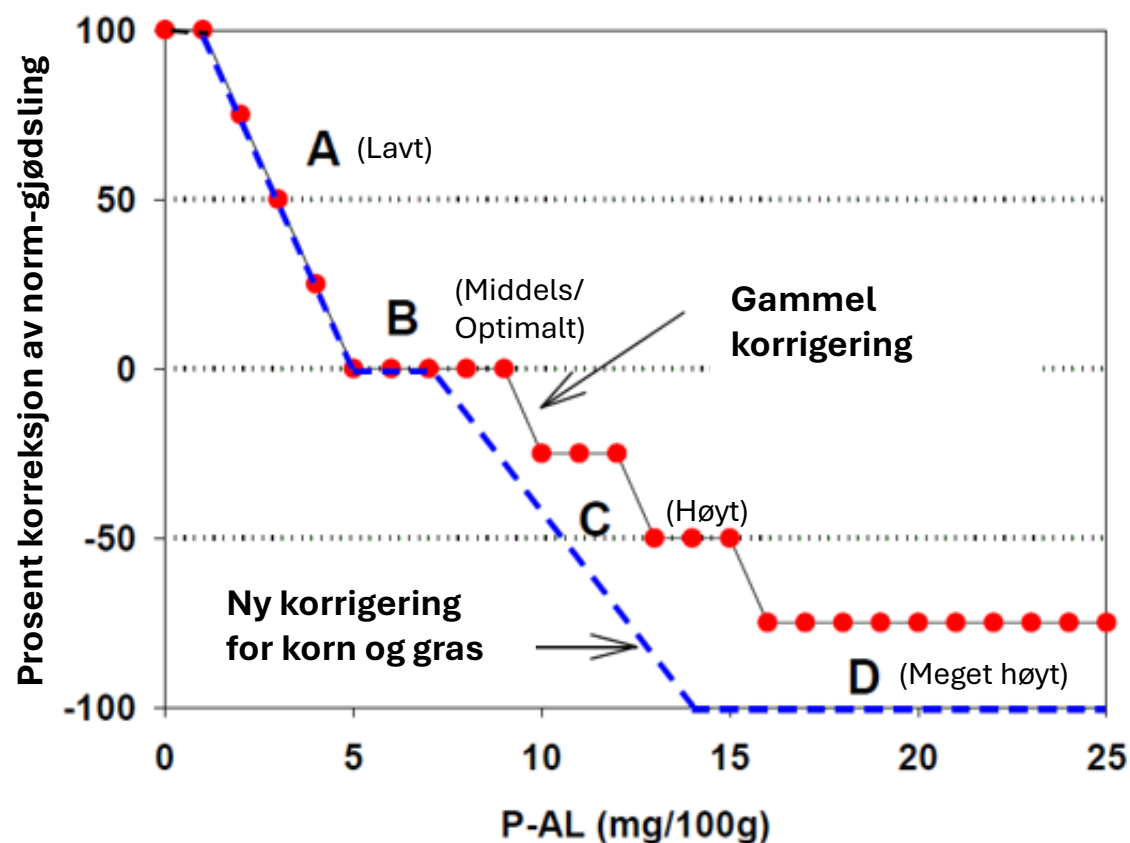
0 0.7 Kilometers

(Kartet from Bechmann, Nibio)

EPC (Equilibrium P Concentration): Den konsentrasjonen av løst P i vannet hvor det er likevekt mellom binding og frigjøring av fosfor.

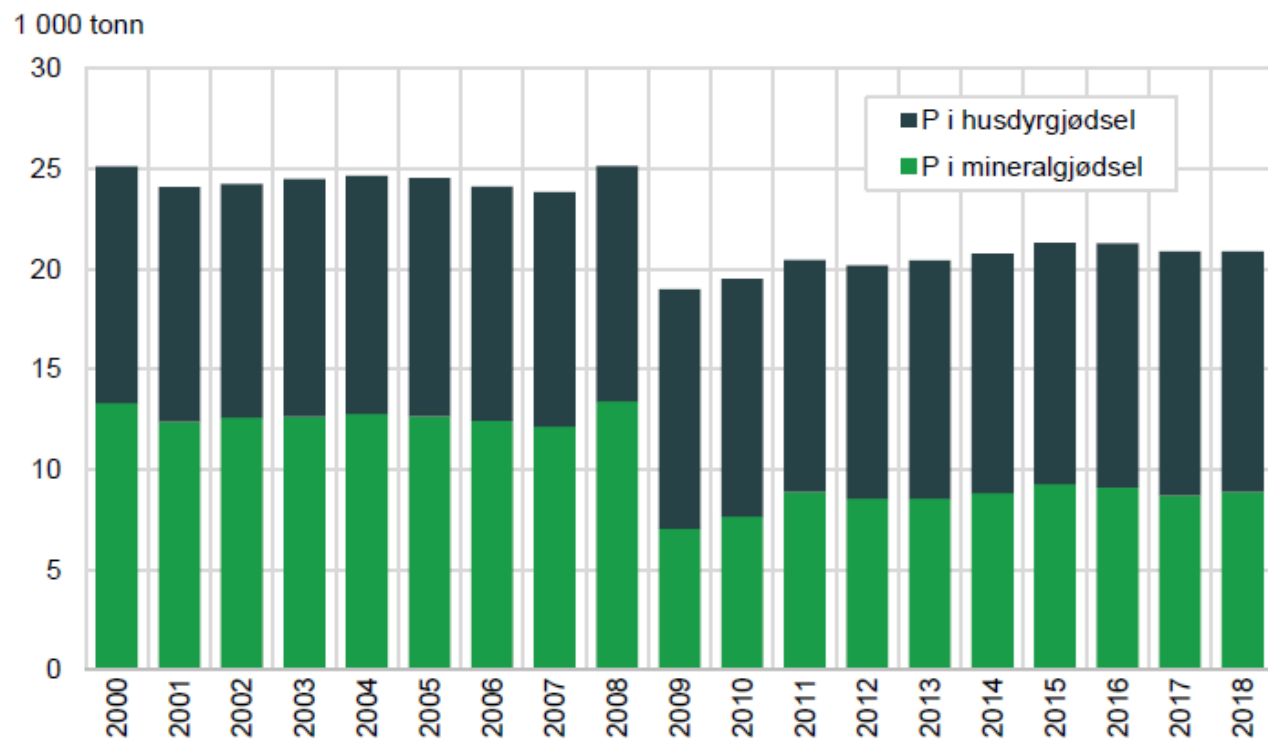


- Med basis i både nye og gamle forsøk ble det i 2008 gjort en stor endring i hvordan jordanalyser skulle brukes i anbefalingen av P-gjødsling. For eng og korn ble normgjødslingen redusert med 0,5 kg P/daa og tolkingen av jordanalysene ble endret ved at det ble lagt større vekt på jordas eget bidrag av P.
- Balansegjødsling er prinsippet for dagens anbefaling om P-gjødsling i eng og korn. Men kan i praksis kun gjennomføres når $P-AL < 14$.**



Selv med obligatorisk gjødslingsplanlegging og andre tilgjengelige tiltak i jordbruket er det fortsatt en positiv P-balanse i norsk landbruk på om lag 1 kg P/daa.

Figur 8.10 Omsett mengde fosfor (P) i mineralgjødning og uttrekna mengde fosfor spreidd i husdyrgjødsel



Kilde: Jordbruksstatistikk, Statistisk sentralbyrå og Mattilsynet

Husdyrgjødsel er en stor P-ressurs hvor totalt P-innhold kan likestilles med P i handelsgjødsel.

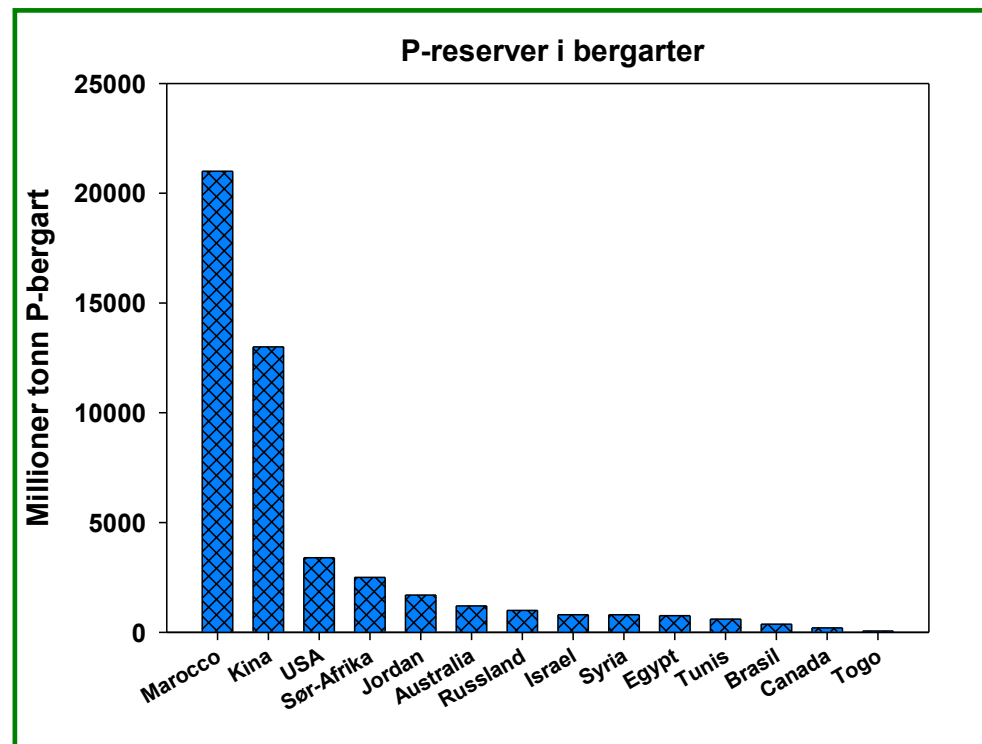
Andre kilder som bør videreutvikles og utnyttes er bl.a.:

- Produkter med marint opphav
- Slam
- Diverse komposterte materialer

Hvordan er tilgangen på mineralsk P i verden i dag?



Hydroksylapatitt
 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$



- USA, Marokko og Kina produserer i dag mer enn 60% av forbruket av P til gjødsel.
- Marokko og Kina kontrollerer omkring 70% av P-reservene av apatitt i verden.

Langtidsforsøk startet i 1966 på lettleire i Ås og på stiv leire på Øsaker i Sarpsborg og gjødslet med 0, 1.6, 3.2 og 4.8 kg P/daa hvert år siden da.

Informasjon om feltet:

Areal 28.8m x 30m

Anleggsrute 3.6m x 7.5m

Høsterute 2m x 5.5m

Informasjon om feltet:

32 forsøksruter. Årlig P og K gjødsling av feltet med referanse til koder i rutene:

I 0 kg K/daa

II 5 kg K/daa

III 10 kg K/daa

IV 15 kg K/daa

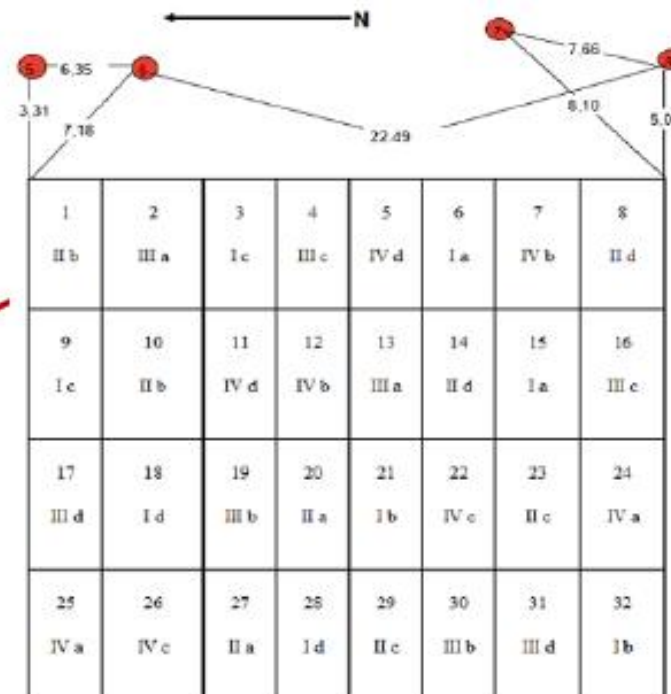
a 0 kg P/daa

b 1.6 kg P/daa

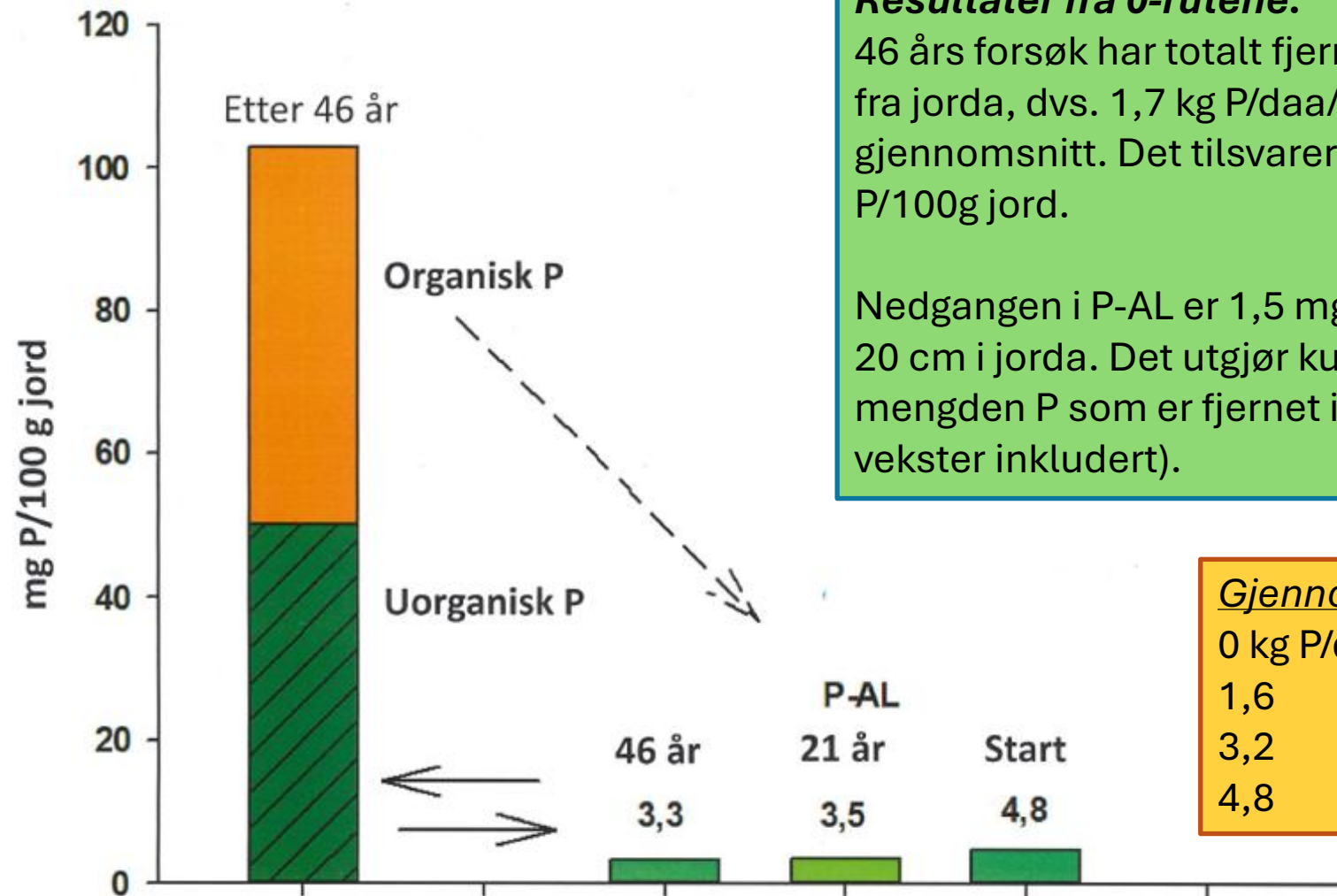
c 3.2 kg P/daa

d 4.8 kg P/daa

Feltet på NMBU, Ås



Langtidsforsøk startet i 1966 på lettleire i Ås og gjødslet med 0, 1.6, 3.2 og 4.8 kg P/daa hvert år siden da.



Korn har vært veksten i 25 av forsøksårene.

Resultater fra 0-rutene:

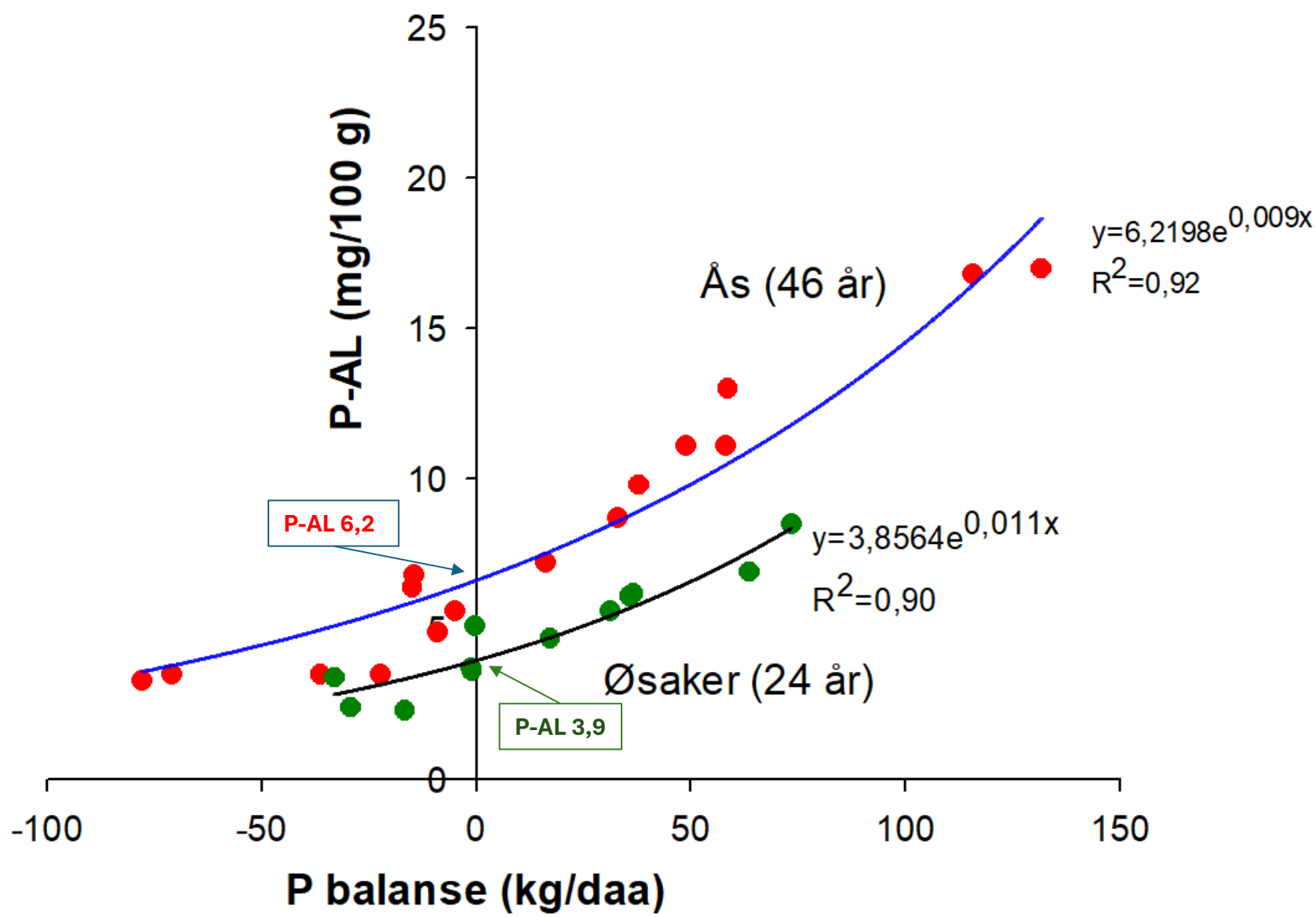
46 års forsøk har totalt fjernet 78 kg P/daa fra jorda, dvs. 1,7 kg P/daa/år i gjennomsnitt. Det tilsvarer ca. 33 mg P/100g jord.

Nedgangen i P-AL er 1,5 mg/100g i de øvre 20 cm i jorda. Det utgjør kun 4,6% av mengden P som er fjernet i avlingene (alle vekster inkludert).

Gjennomsnittlig kornavling (kg/daa) over 46 år

0 kg P/daa	366 a
1,6	386 a
3,2	398 b
4,8	377 a

Utviklingen av P-AL i jorda knyttet opp mot P-balansen



Lettleire Ås		
P-AL intervall		Nødvendig overskudd av kg P/daa
Fra balanse 6,2 til 7,2		16
14	15	8

Stiv leire Øsaker		
P-AL intervall		Nødvendig overskudd av kg P/daa
Fra balanse 3,9 til 4,9		22

Mange tiltak er tilgjengelig i landbruket i dag både for å optimalisere gjødslingen av fosfor og for å bremse miljøkonsekvensene av for mye bruk og avrenning:

- ❑ Obligatorisk gjødslingsplanlegging innført i 1998.
- ❑ P-Indeks som hjelpemiddel for å plukke ut arealer med spesiell stor fare for P-avrenning. Indeksen er implementert i gjødslingsplanprogrammet Skifteplan og tilgjengelig fritt på NIBIOs sider.
- ❑ En rekke tilskudd til P-reduserende tiltak på gården.



Noen temaer som vil bli diskutert videre, også her i dag:

- Kan jorda bidra med mer fosfor til plantene enn det som ligger i dagens gjødslingsplanmodeller?
- Hvordan kan jordanalyse-data for P blir mer tilgjengelig og bedre nyttet i miljø-sammenheng?
- Er den nye «Gjødselbrukforskriften» god for å ivareta både agronomi og miljø?



Takk for
oppmerksomheten!

