

Plantenæringsstoffer i regenerativt landbrug

Kristian Holst Laursen



Institut for Plante- og Miljøvidenskab

holst@plen.ku.dk



KØBENHAVNS UNIVERSITET

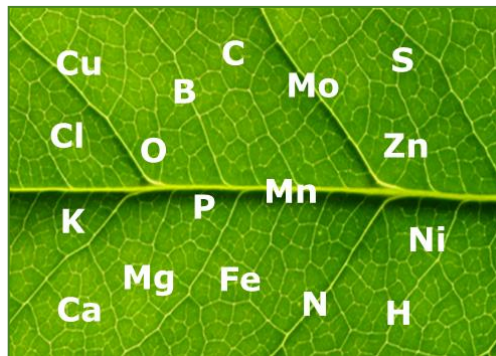
8. januar 2025

Vi skal tale om...

- Hvordan påvirker regenerative principper tilgængeligheden af plantenæringsstoffer?
- Hvad skal man være opmærksom på?
- Hvordan kan man bruge data og analyser af jord og planter til at optimere plantevækst og -udbytte?
- Er der behov for særligt fokus på næringsstoffer i regenerativt landbrug?

Forskergruppen for Plantenæringsstoffer og Fødevarer kvalitet

Plantenæringsstoffer



Fødevarer kvalitet

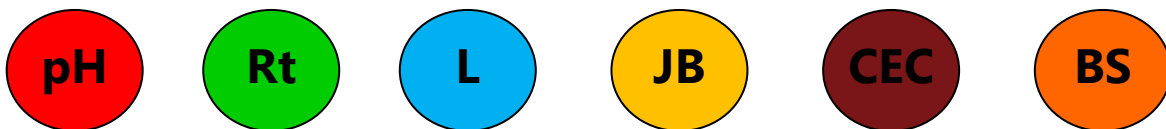


Vores mission er:

at levere ny viden og anbefalinger inden for bæredygtig og ressourceeffektiv planteproduktion, som samtidig giver næringsrige og sikre fødevarer

Kurset Jord, Vand og Planter

4 jorde



Næringsstofftilgængelighed

Aggregatstabilitet



Plantevækst



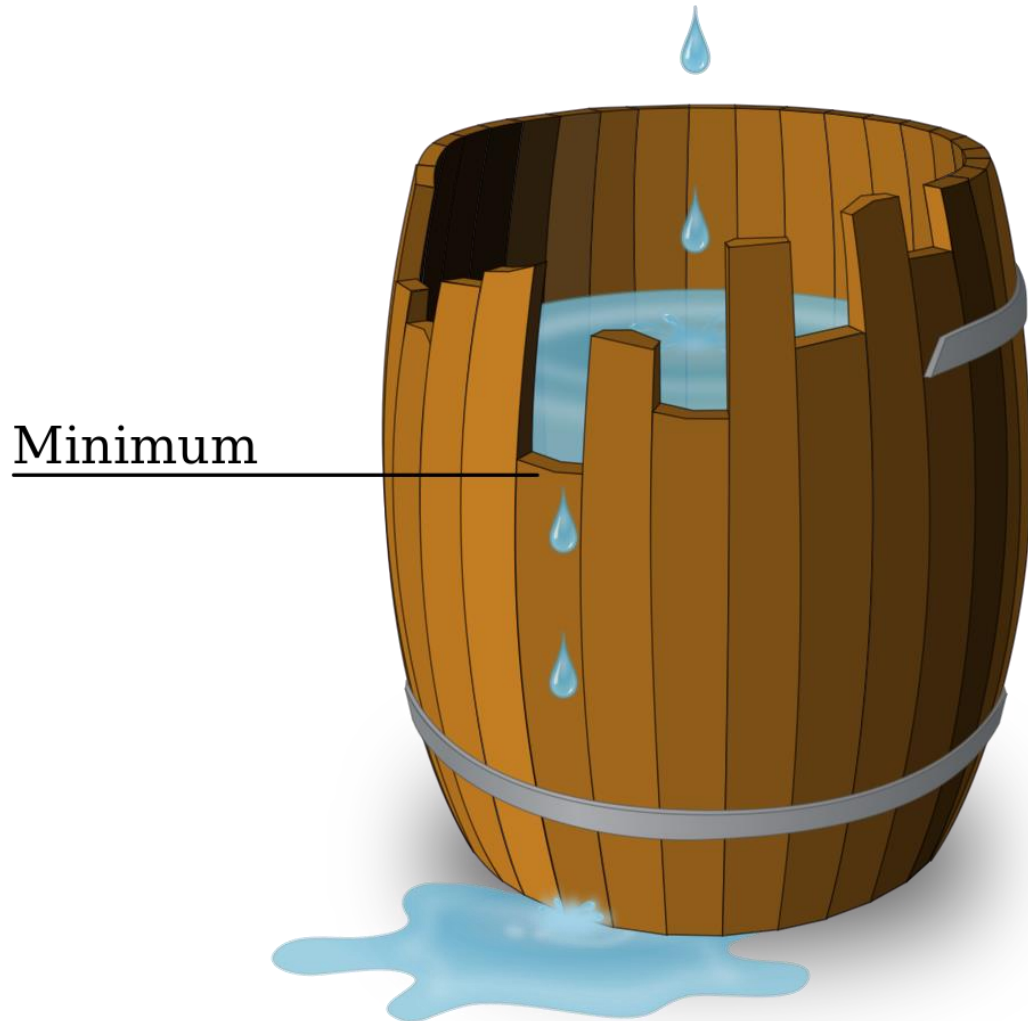
Plantevækstfaktorerne

Lys + kuldioxid + vand + 14 næringsstoffer = **BIOMASSE**

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|
| H | | | | | | | | | | | | | | | | | He |
| Li | Be | | | | | | | | | | | B | C | N | O | F | Ne |
| Na | Mg | | | | | | | | | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar |
| K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr |
| Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Aq | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe |
| Cs | Ba | La | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |
| Fr | Ra | Ac | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Uun | Uuu | Uub | | | | | | |
| Lanthanider | | | | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
| Actinider | | | | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr |



Liebig's Minimums Lov (Carl Sprengel 1840)



Lys?

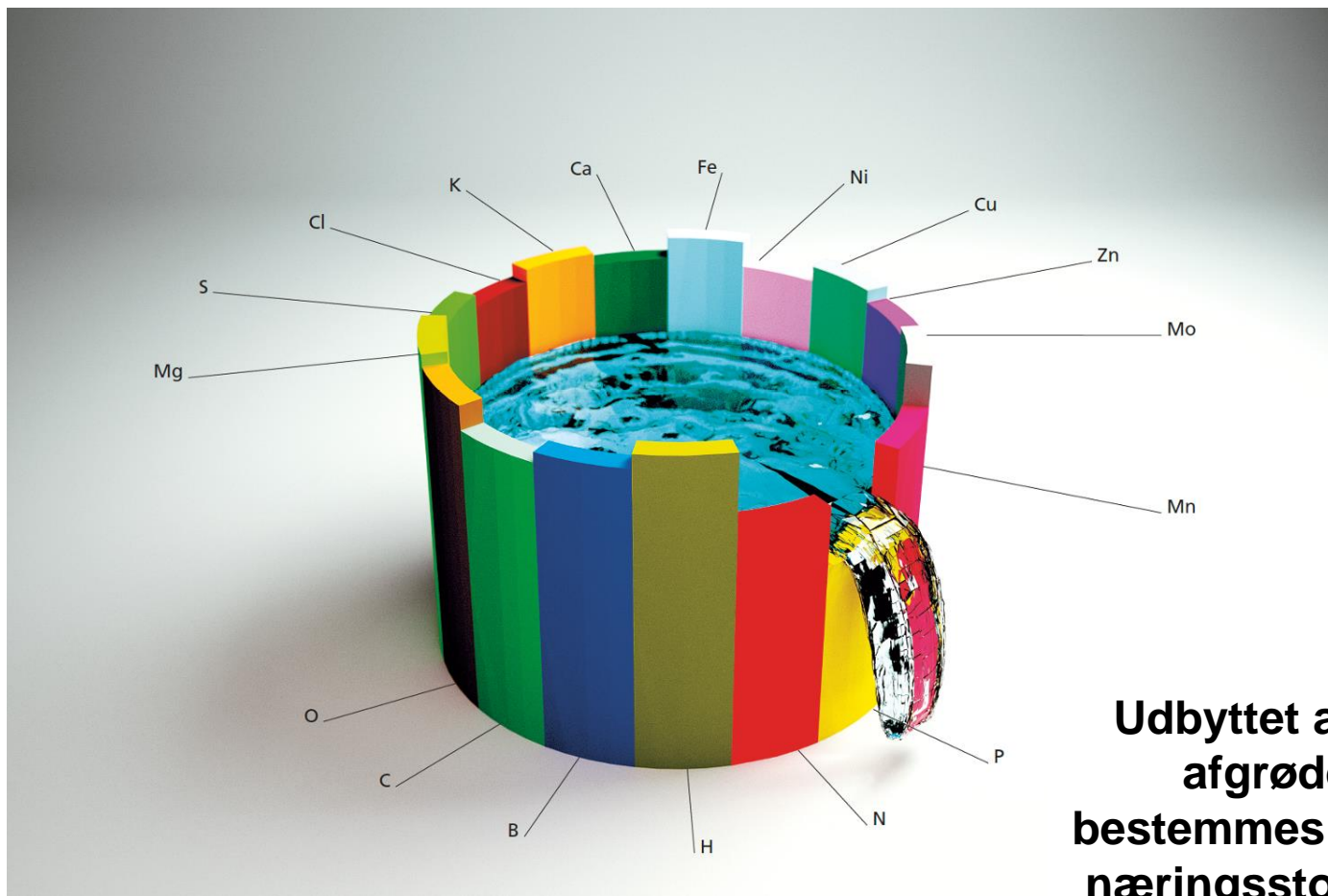
Vand?

CO₂?

Næringsstoffer?

Udbyttet af en afgrøde bestemmes af den vækstfaktor, der er i størst underskud

Den klassiske måde at tænke næringsstoffer



Udbyttet af en afgrøde bestemmes af det næringsstof, der er i størst underskud

Gødskningsstrategi



Type?



Mængde?



Tidspunkt?



Lokalitet?

Planters vækst, høstudbytte og kvalitet er styret af mange faktorer



GENETIK

- Planteart
- Sort
- Optag af vand og næring
- Stresstolerance
- Mikroorganismer

MILJØ

- Nedbør
- Lys
- Temperatur
- CO₂/Ilt
- Jordtype
- Mikrobiologi

MANAGEMENT

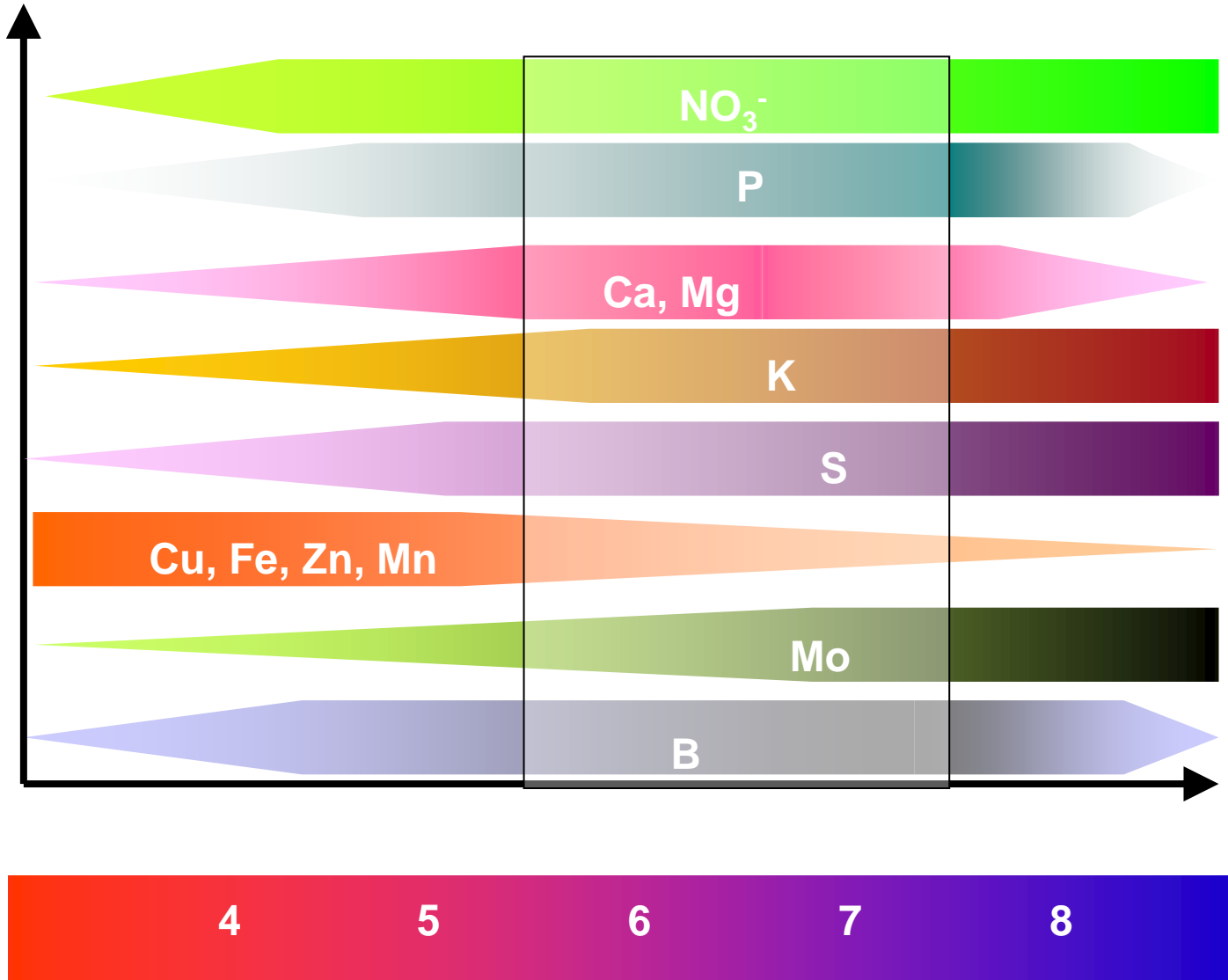
- Jordbearbejdning
- Såning
- Gødskning
- Plantebeskyttelse
- Vanding
- Sædskifte

Plantenæringsstofferne

| | Grundstof | Symbol | Tilgængelig form | % af tørstof | Antal atomer relativt til molybdæn |
|--------------|--------------|--------|--|-----------------|------------------------------------|
| MAKRO | Hydrogen | H | H ₂ O | 6 | 60.000.000 |
| | Carbon | C | CO ₂ | 45 | 40.000.000 |
| | Oxygen | O | O ₂ , H ₂ O, CO ₂ | 45 | 30.000.000 |
| | Nitrogen | N | NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ | 1,5 | 1.000.000 |
| | Kalium | K | K ⁺ | 1,0 | 250.000 |
| | Calcium | Ca | Ca ²⁺ | 0,5 | 125.000 |
| | Magnesium | Mg | Mg ²⁺ | 0,2 | 80.000 |
| | Fosfor | P | H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻ | 0,2 | 60.000 |
| | Svovl | S | SO ₄ ²⁻ | 0,1 | 30.000 |
| | MIKRO | Klor | Cl | Cl ⁻ | 0,01 |
| Jern | | Fe | Fe ³⁺ , Fe ²⁺ | 0,01 | 2.000 |
| Bor | | B | H ₃ BO ₃ | 0,002 | 2.000 |
| Mangan | | Mn | Mn ²⁺ | 0,005 | 1.000 |
| Zink | | Zn | Zn ²⁺ | 0,002 | 300 |
| Kobber | | Cu | Cu ²⁺ | 0,0006 | 100 |
| Nikkel | | Ni | Ni ²⁺ | 0,00001 | 1 |
| Molybdæn | | Mo | MoO ₄ ²⁻ | 0,00001 | 1 |

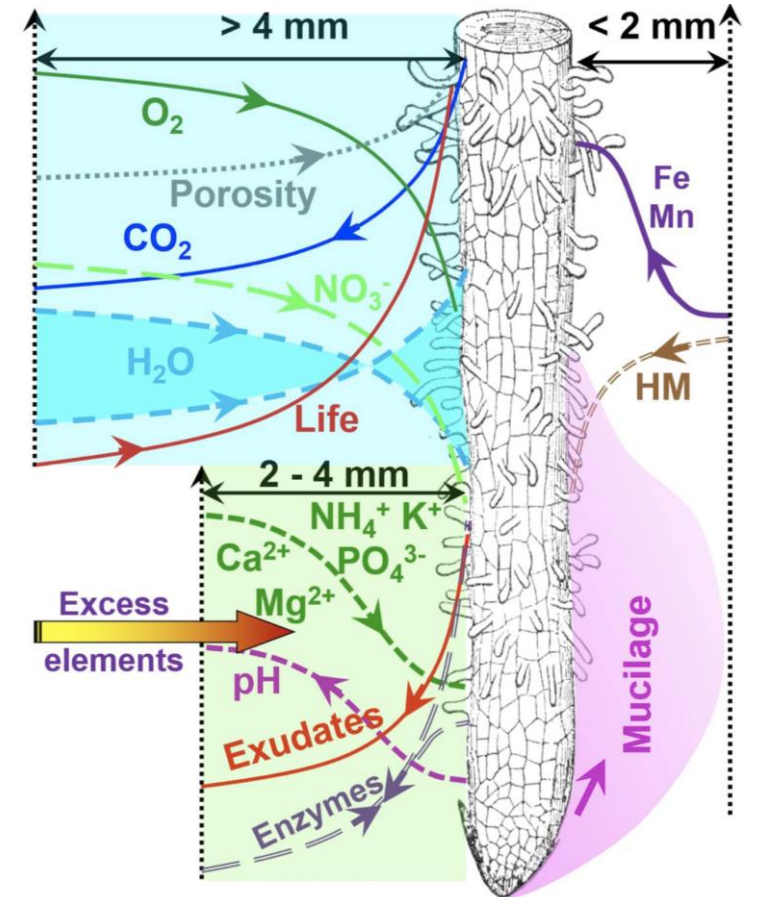


Næringsstoftilgængelighed og pH



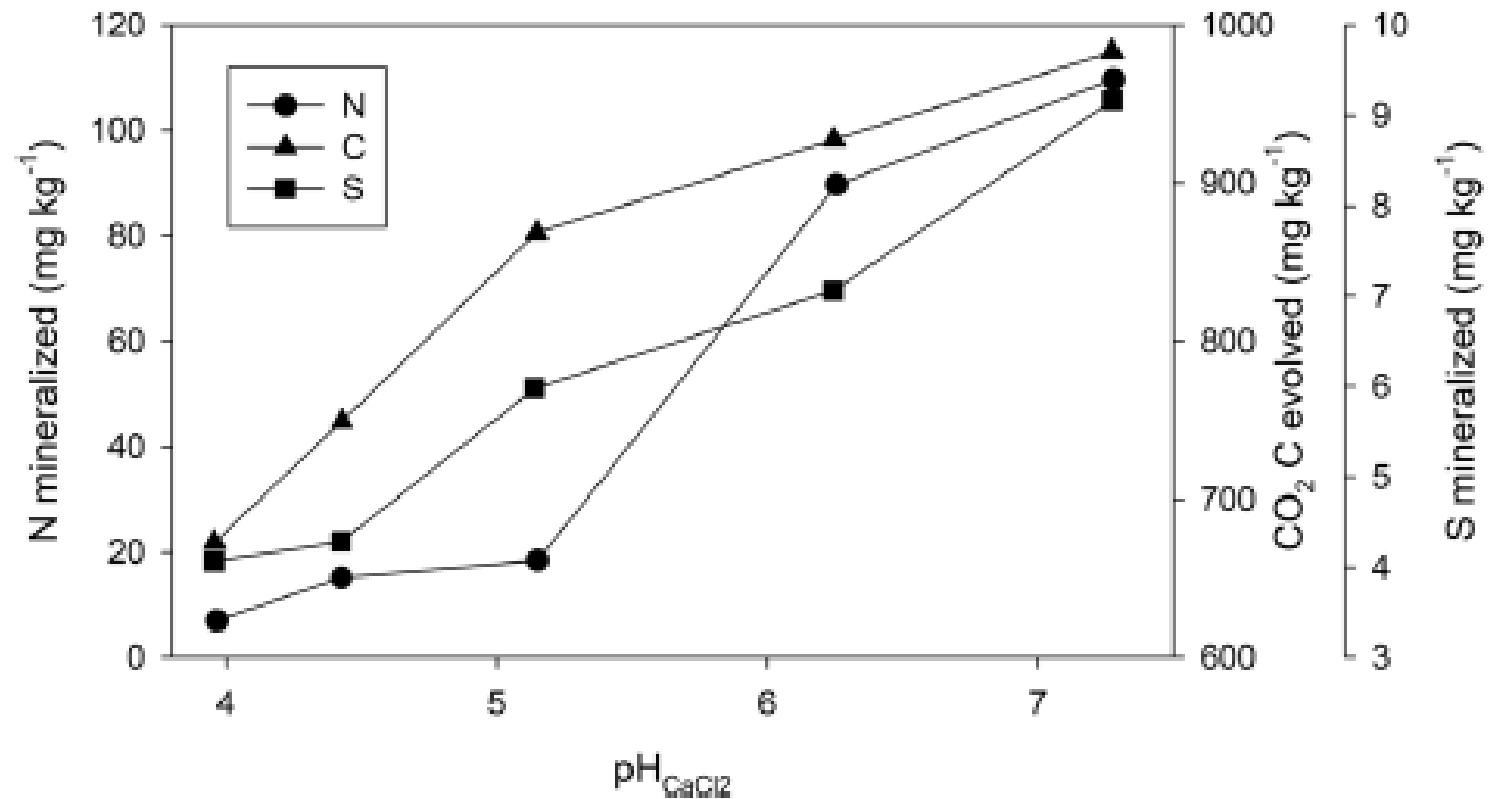
pH styrer desuden:

Opløselighed af toksiske forbindelser
 Mikrobiel aktivitet – omsætning af SOM
 Aggregatstabilitet



pH og mineralisering af kulstof, kvælstof og svovl

Fig. 12 Effect of pH on mineralisation of carbon, sulfur and nitrogen from a soil. (Drawn from the data of Barrow (1965))

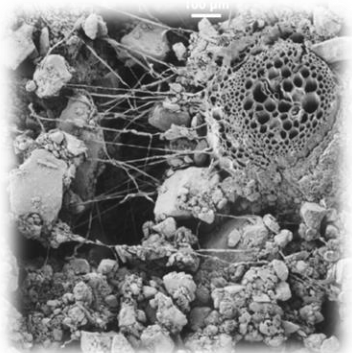


Næringstoftilgængelighed styres af **Fysiske**, **Kemiske** og **Biologiske** faktorer

- Jordtekstur
- Jordstruktur
- Vandindhold
- Iltindhold
- Temperatur

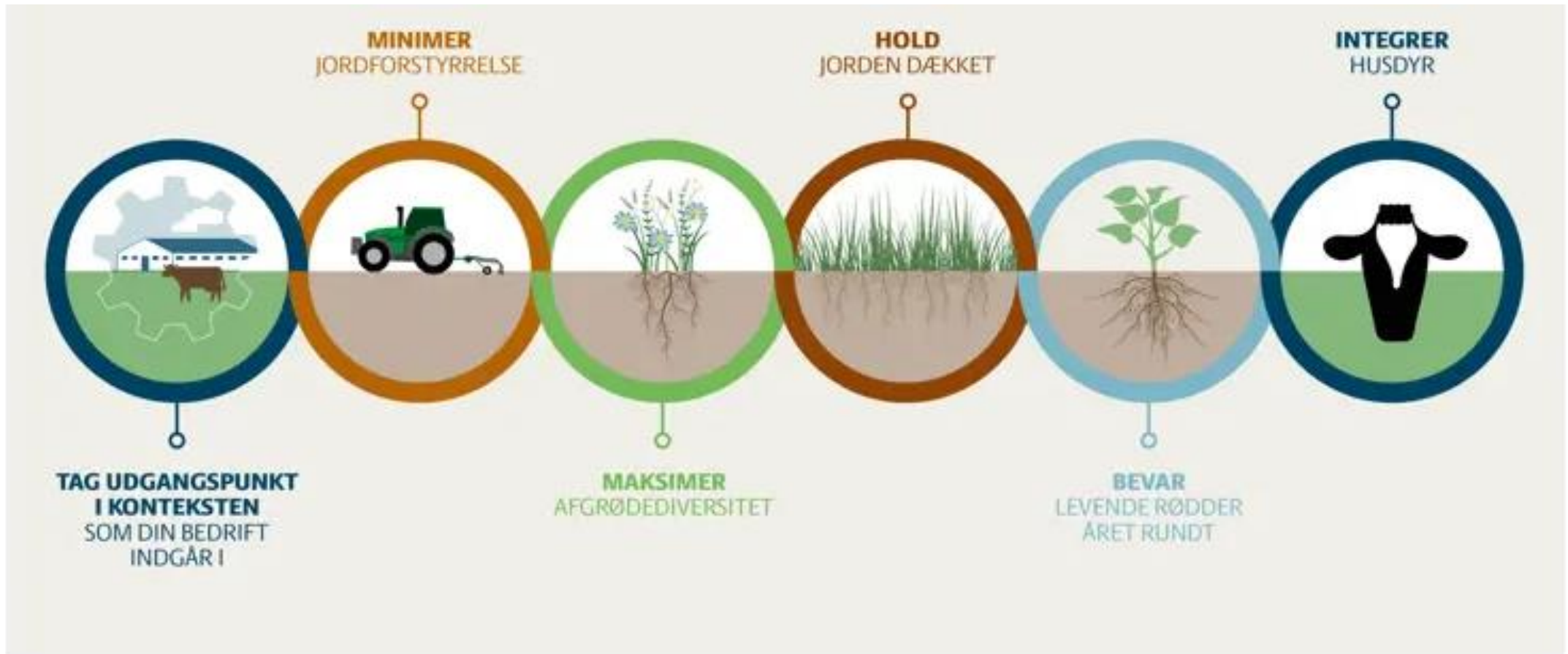
- Jordens pH
- Kationbytningskapacitet (CEC)
- Basemætningsgrad
- Salinitet
- Næringsstofbalancer
- Redox processer - iltindhold
- Opløselighed/kompleksdannelse

- Mikroorganismer – bakterier/svampe
- Regnorme
- Organisk stof
- Plantearter
- Planterødder



Næringstoftilgængelighed

Regenerative principper



Regenerative principper og næringsstoffer?

Omsætning af organisk materiale?

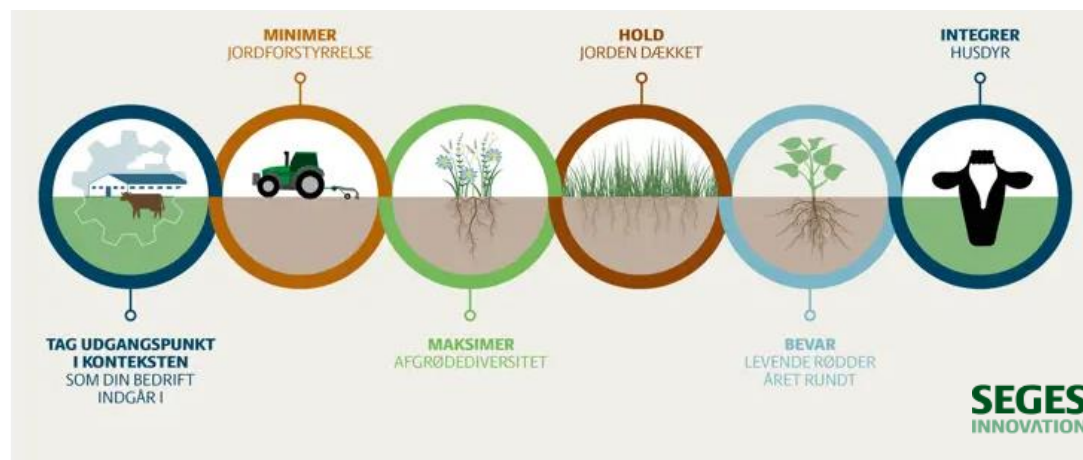
Biologiske næringsstofkredsløb?

Organisk materiale i jord?

Mikrobiel aktivitet?

Husdyrgødning og afgrøderester?

Mineralisering?



Høstudbytte og plantekvalitet?

Mobilisering versus immobilisering?

Udnyttelse af næringsstoffer?

Jord pH?

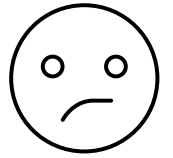
CEC og BS?

Makro- versus mikronæringsstoffer?

Lad os diskutere disse udsagn?

1. Hvis man nurser mikrolivet i jorden, så frigives næringsstoffer til planterne, og man behøver ikke at gødske jorden.
2. Kvælstof skal holdes på ammoniumform. Nitrat-ernærede planter er svage og modtagelige for sygdomme.
3. Balancering af næringsstoffer er vigtigt. Kalcium- og kalium dominerede jorde giver dårlig kvælstofudnyttelse.
4. Oxidative processer giver fejlernærede planter, herunder også modtagelighed overfor sygdomme.
5. Vitalisering af planter med kompost-te styrker afgrøden.
6. Vi bør fokusere mere på jord- og planteanalyser og gødskning ud fra disse.

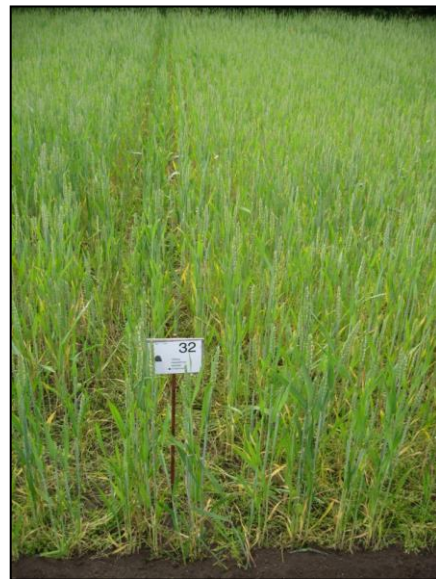
1. Hvis man nurser mikrolivet i jorden, så frigives næringsstoffer til planterne, og man behøver ikke at gødske jorden.



Mit svar: Mikrolivet i jorden (f.eks. bakterier og svampe) spiller en afgørende rolle i at frigive næringsstoffer fra organisk materiale. Det kan reducere behovet for gødskning, men i intensiv landbrugsproduktion vil der stadig være behov for at tilføre gødning. Husk at det ikke kun handler om kvælstof!



Kunstgødning



Husdyrgødning



Grøngødning

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|
| H | | | | | | | | | | | | | | | | | He |
| Li | Be | | | | | | | | | | | B | C | N | O | F | Ne |
| Na | Mg | | | | | | | | | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar |
| K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr |
| Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Aq | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe |
| Cs | Ba | La | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |
| Fr | Ra | Ac | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Uun | Uuu | Uub | | | | | | |
| Lanthanider | | | | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
| Actinider | | | | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr |

Sammenhængen mellem SOC og udbytte i majs

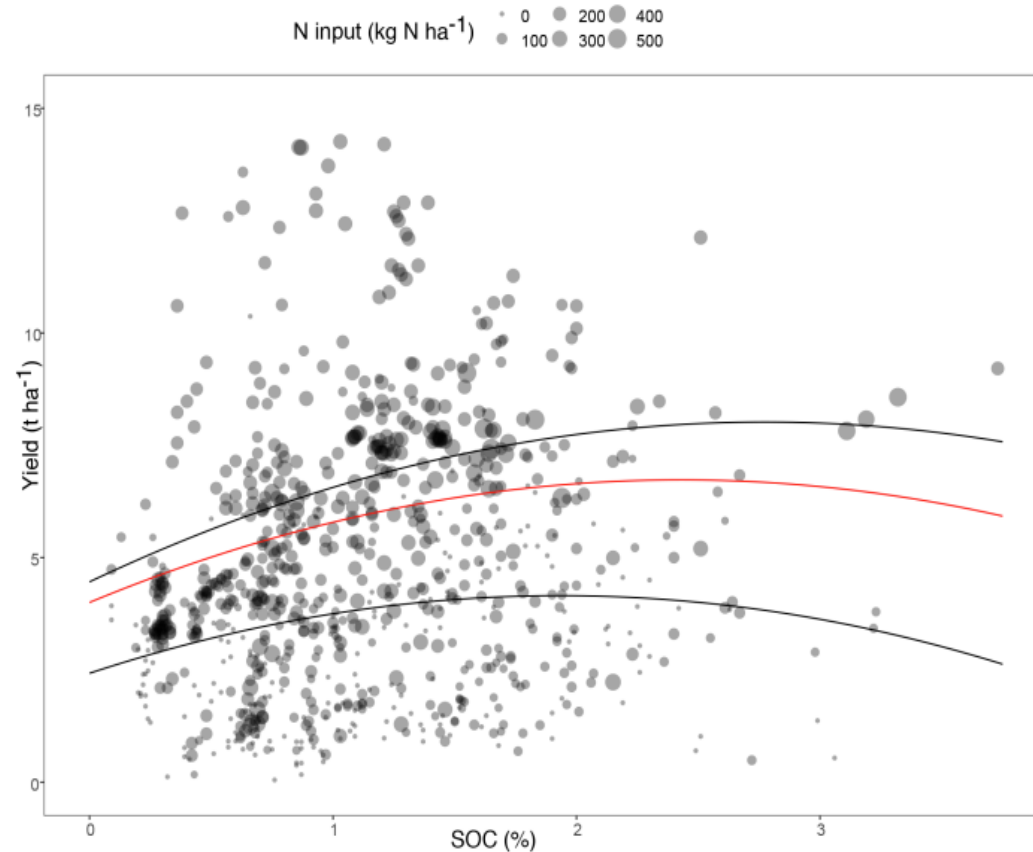


Figure 1. Relationship between SOC and yield of maize for published studies. The regression lines are modeled yields (i.e., effect sizes) for rain-fed (i.e., non-irrigated) maize using observed means of our meta-dataset for aridity, pH, texture, and latitude at different N input rates. We varied SOC (x axis) across the range of values extracted from the literature. The red line represents the mean N input rate ($118 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) across all studies, with the bottom line representing 0 inputs of N and the top line representing $200 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. For the raw data points, N input is mapped as a continuous variable across its range from 0 (smallest circles) to $500 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ (largest circles). Note that the observed scatter of the individual observations is an outcome of the fact that yield is controlled by multiple factors (Table 1), and therefore the regression lines isolate just the potential effect of SOC with all other factors held constant.

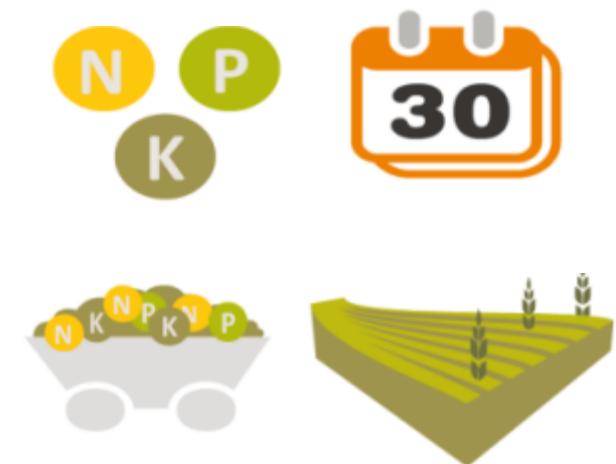
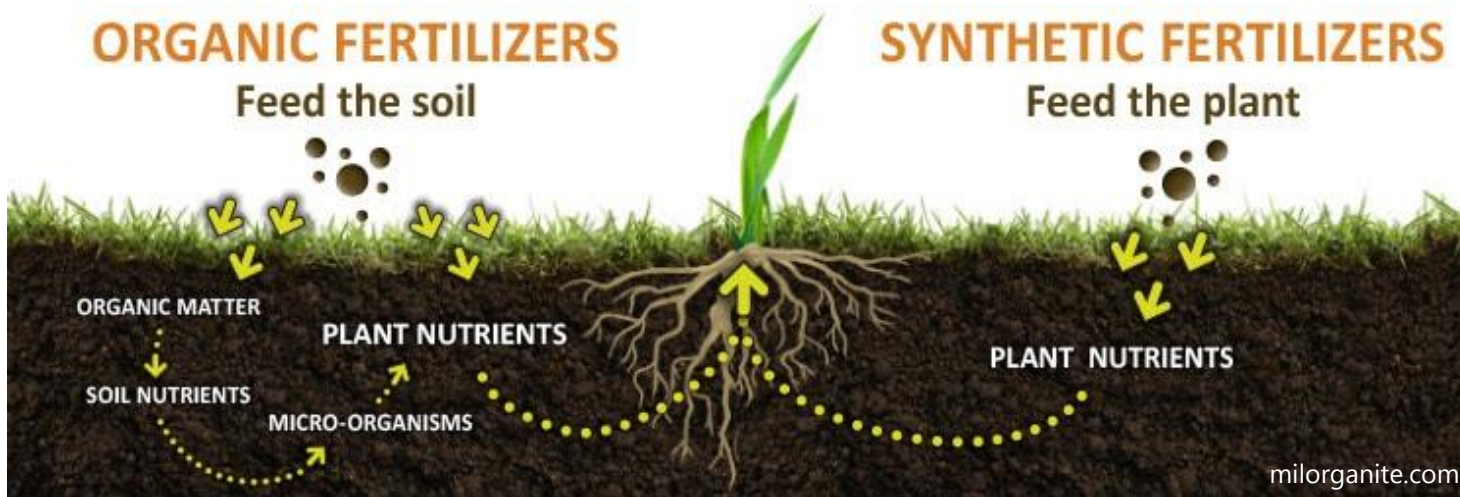
Organisk versus mineralisk gødning

Organisk gødning

- Husdyrgødning, kompost, kompost-te, grøngødning, efterafgrøder, dækafgrøder, industrielle restprodukter osv.
- Skal mineraliseres før planteoptag
- Stimulerer mikrobiel aktivitet
- Langsom frigivelse, lav tilgængelighed

Mineralisk gødning (kunstgødning)

- Skal ikke mineraliseres
- Er plantetilgængelig
- Stimulerer ikke direkte mikrobiel aktivitet
- Hurtig frigivelse, høj tilgængelighed



Store forskelle i efterafgrøders indhold af næringsstoffer

Table 2

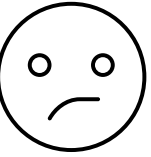
Nutrient composition, C:N, C:P and C:S ratios, and the content of lignin, cellulose and hemicellulose of cover crop shoot and root biomass.

| Species | B $\mu\text{g g}^{-1}$ | Mn | Mo | Zn | Ca mg g^{-1} | K | Mg | P | S | N % | C | C:N | C:P | C:S | Lignin % | Cellulose | Hemicellulose |
|-------------------------|---------------------------|-------|-----|------|--------------------------|------|-----|-----|-----|--------|------|-----|-----|-----|-------------|-----------|---------------|
| Shoot material | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Buckwheat | 18.8 | 33.5 | 0.9 | 31.9 | 13.9 | 19.3 | 2.0 | 3.3 | 1.4 | 1.8 | 43.3 | 25 | 132 | 319 | 4.2 | 19.3 | 17.1 |
| Clover | 31.9 | 23.3 | 1.4 | 32.2 | 12.8 | 30.3 | 1.5 | 3.6 | 2.5 | 4.4 | 45.4 | 10 | 125 | 181 | 1.1 | 16.7 | 11.6 |
| Lupin | 22.8 | 535.8 | 1.3 | 34.7 | 10.8 | 34.5 | 1.5 | 3.6 | 2.3 | 4.3 | 44.9 | 10 | 126 | 195 | 1.5 | 25.4 | 5.5 |
| Oilseed radish | 33.8 | 25.6 | 1.5 | 29.4 | 11.0 | 52.8 | 1.3 | 6.5 | 4.1 | 3.2 | 41.1 | 13 | 64 | 100 | 0.6 | 18.8 | 0.0 |
| Ryegrass | 2.3 | 31.2 | 1.7 | 22.2 | 5.0 | 34.1 | 0.9 | 3.8 | 2.4 | 2.9 | 43.5 | 15 | 114 | 180 | 0.7 | 19.0 | 16.0 |
| Sorrel | 19.4 | 47.7 | 1.4 | 31.2 | 4.4 | 51.1 | 2.5 | 8.2 | 2.7 | 3.4 | 41.9 | 12 | 51 | 156 | 1.4 | 12.6 | 8.3 |
| Vetch | 41.8 | 32.8 | 1.6 | 55.0 | 16.8 | 31.1 | 1.9 | 4.4 | 2.7 | 4.5 | 41.6 | 9 | 95 | 152 | 2.5 | 18.4 | 6.6 |
| Recovered root material | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Buckwheat | 11.7 | 43.1 | 1.2 | 28.3 | 9.0 | 19.7 | 1.5 | 2.6 | 0.9 | 0.9 | 42.5 | 46 | 162 | 447 | 11.3 | 38.8 | 10.5 |
| Clover | 26.6 | 28.4 | 3.2 | 38.6 | 4.9 | 30.5 | 1.7 | 4.5 | 3.5 | 2.7 | 42.6 | 16 | 95 | 123 | 2.6 | 33.6 | 10.5 |
| Lupin | 12.5 | 65.2 | 5.2 | 37.3 | 3.1 | 27.5 | 1.1 | 3.3 | 2.9 | 2.8 | 43.7 | 16 | 134 | 153 | 6.0 | 40.0 | 11.8 |
| Oilseed radish | 21.7 | 11.1 | 1.6 | 35.6 | 5.3 | 40.7 | 1.2 | 7.5 | 6.8 | 1.8 | 40.0 | 23 | 53 | 58 | 3.0 | 16.7 | 2.0 |
| Ryegrass | 3.7 | 54.3 | 0.8 | 60.9 | 3.9 | 18.3 | 1.0 | 2.6 | 1.3 | 1.1 | 41.3 | 37 | 157 | 315 | 3.6 | 30.7 | 26.0 |
| Sorrel | 23.4 | 26.0 | 0.5 | 29.6 | 5.6 | 23.9 | 3.9 | 6.3 | 1.3 | 1.3 | 42.9 | 32 | 68 | 319 | 1.7 | 12.1 | 6.5 |
| Vetch | 17.3 | 34.3 | 5.1 | 62.8 | 5.3 | 38.5 | 3.2 | 4.0 | 5.9 | 3.6 | 41.3 | 11 | 104 | 70 | 5.1 | 23.9 | 7.3 |

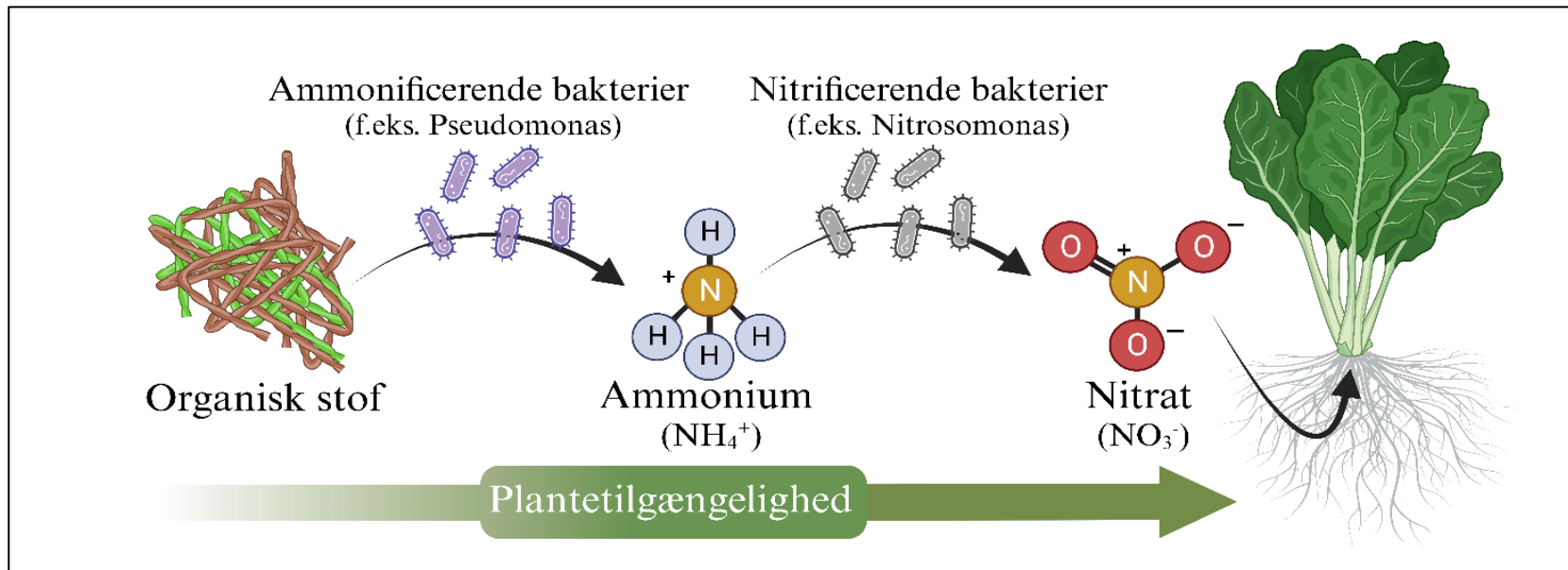
Efterafgrøder som kilde til mikronæringsstoffer?



2. Kvælstof skal holdes på ammoniumform. Nitrat-ernærede planter er svage og modtagelige for sygdomme.



Mit svar: Både ammonium (NH_4^+) og nitrat (NO_3^-) er plantetilgængelige kvælstofformer. Ammonium dominerer ved lav pH i jorden, og reducerer risikoen for udvaskning, men en overvægt af ammonium kan føre til toksicitet. Nitrat er mere mobilt i jorden, og kan let optages af planter. Der er ingen stærk evidens for, at nitrat-ernærede planter er svagere. En kombination af ammonium/nitrat ernæring vil have en positiv effekt på de fleste planter.

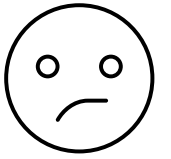


Dyrkning af planter ved lav pH

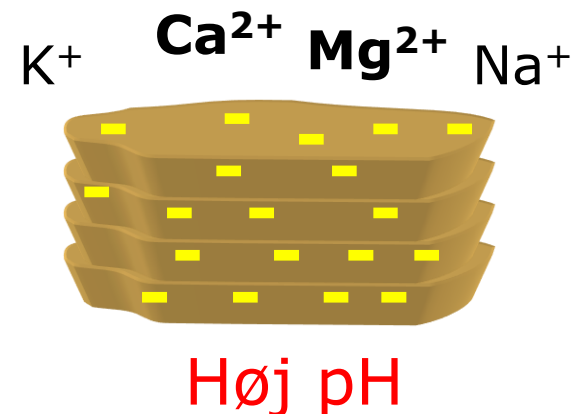
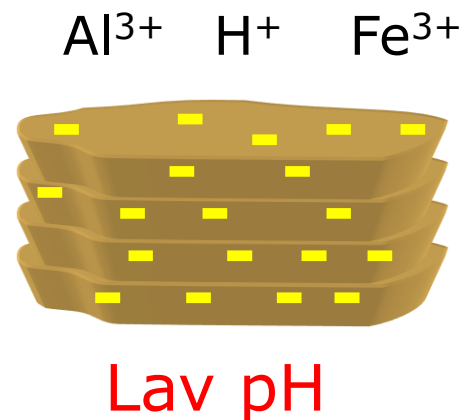
- Kvælstof på ammoniumform
- Dårlig aggregatstabilitet (lerjorde)
- Aluminium, mangan og ammonium toksicitet
- Mangel på calcium, kalium og magnesium (udvaskning)
- Mangel på fosfor og molybdæn (lav opløselighed)
- Reduceret rodvækst og vandoptag



3. Balancering af næringsstoffer er vigtigt. Kalcium og kalium-dominerede jorde giver dårlig kvælstofudnyttelse.

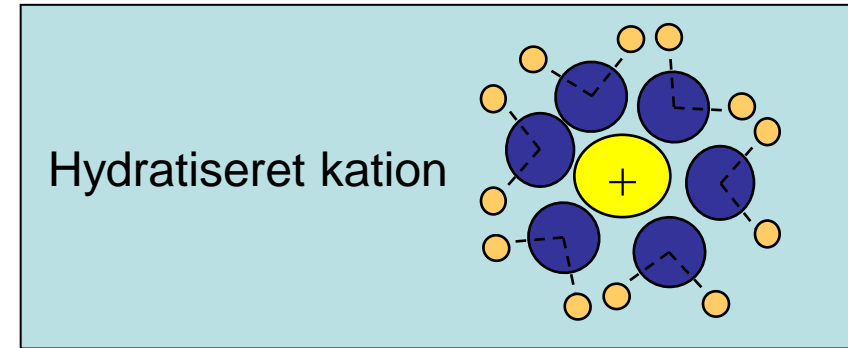
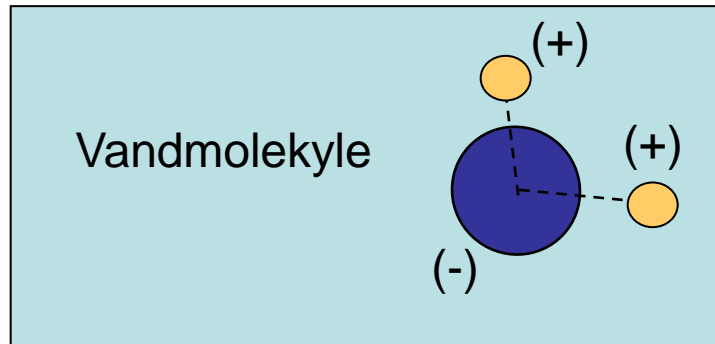


Mit svar: Jordens næringsstofbalance er afgørende for optimal plantevækst, da overskud eller mangel på ét næringsstof kan hæmme optagelsen af andre. Kalcium og kalium er begge essentielle basekationer, men har forskellige egenskaber i forhold til aggregatdannelse og stabilitet. Kalcium er især vigtig for jordens struktur og pH-regulering. I kalium-dominerede jorde kan der opstå antagonisme mellem K og andre kationer som magnesium (Mg) og kalcium (Ca). Dvs., at der er en indirekte effekt på kvælstofoptagelse.



Kationers flokkulerende evne

I vand tiltrækker kationer vandmolekyler pga. deres positive ladning → hydratisering



Monovalente kationer med stor hydratiseret radius → dårlig flokkulering

| Kation | Ladninger per molekyle | Hydratiseret radius (nm) | Flokkulerings evne (relativ) |
|-----------|------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Natrium | 1 | 0.79 | 1.0 |
| Kalium | 1 | 0.63 | 1.7 |
| Magnesium | 2 | 1.08 | 27.0 |
| Kalcium | 2 | 0.96 | 43.0 |

Aggregate projektet

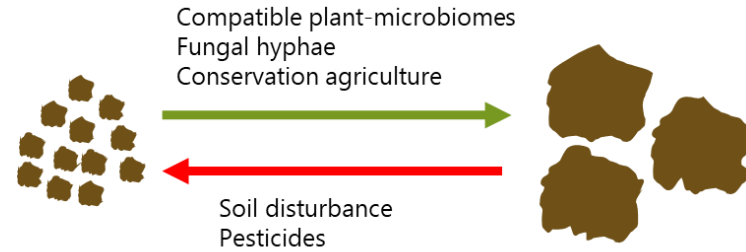
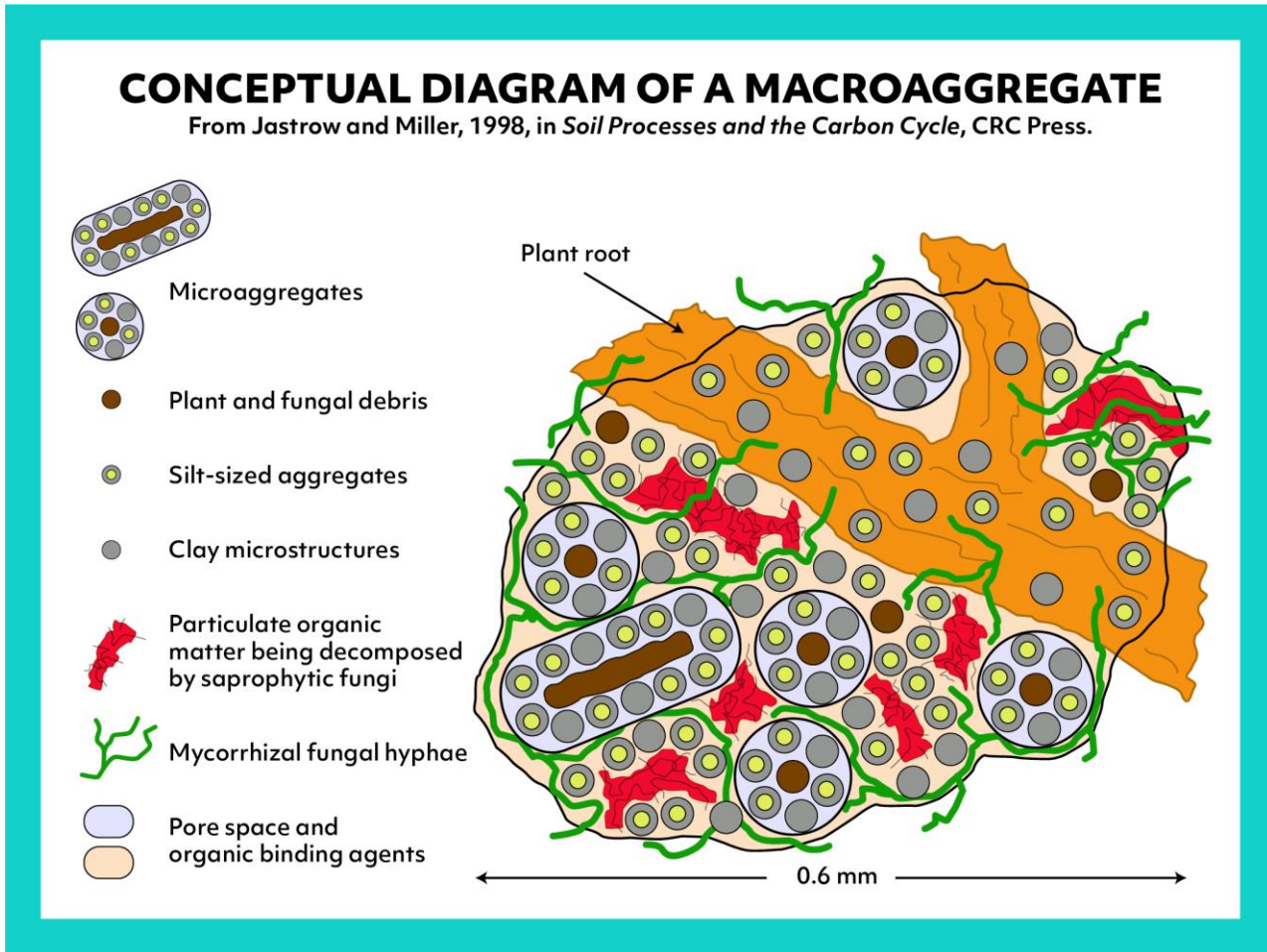
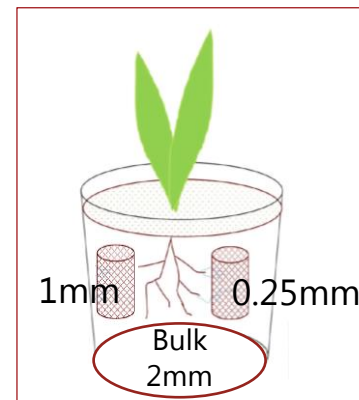
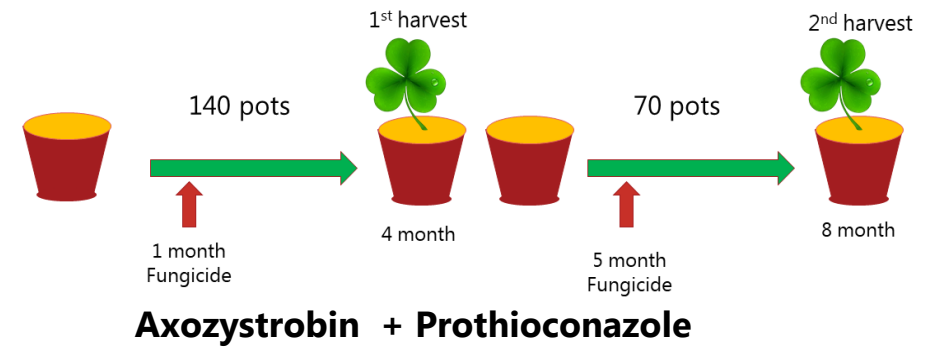
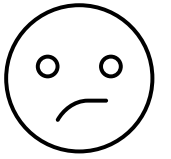


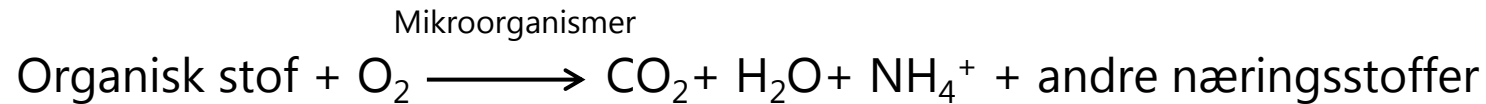
Fig. 1. Soil aggregates are dynamic entities that continuously are formed and broken down. Various factors may push the equilibrium as exemplified above and below arrows



4. Oxidative processer giver fejlnærede planter, herunder også modtagelighed overfor sygdomme.



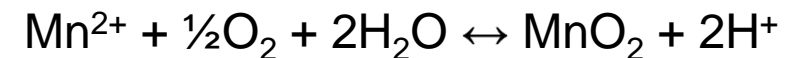
Mit svar: Oxidative processer i jorden er naturlige og nødvendige for frigivelse af næringsstoffer til planter. Vigtige eksempler er mineralisering af organisk materiale og nitrificering. Oxidering af næringsstoffer kan dog også føre til udvaskning og dannelse af kemiske forbindelser, som er utilgængelige for planter.



Nitrificering:

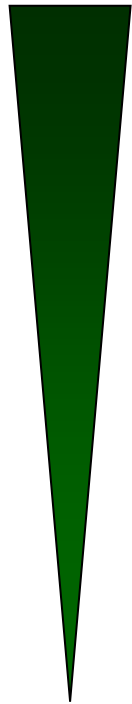


pH optimum = 6-8

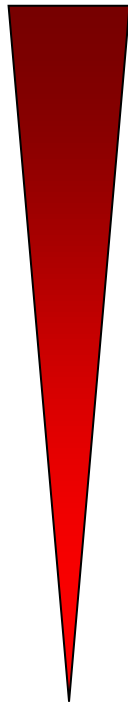


Jordens redoxpotentiale -oxiderings/reduceringspotentiale

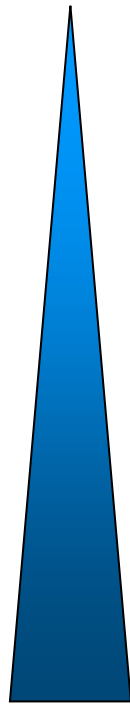
Redoxpotentiale



Ilt



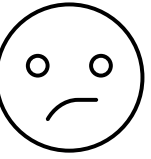
Vand



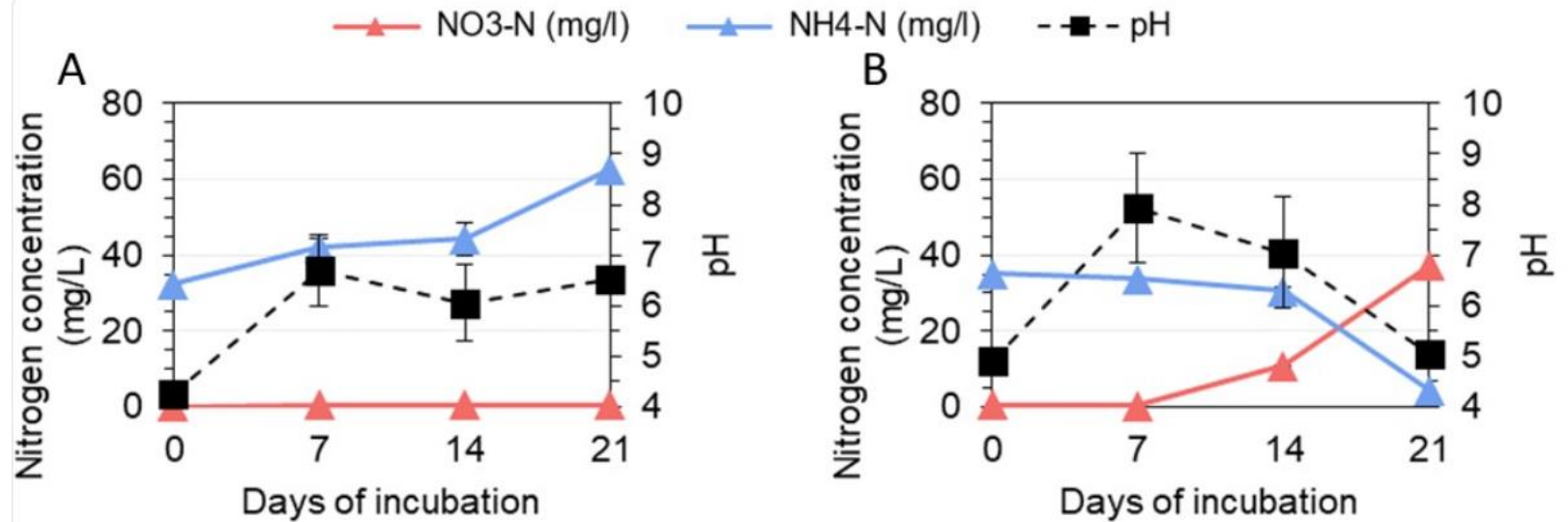
| Redox reaktion | Redox potentiale* (mV) Ved pH 7 |
|--|------------------------------------|
| Nitrat reducering (denitrifikation) ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$) | 450-550 |
| Mn ²⁺ dannelse | 350-450 |
| Fraværet af frit O ₂ | 330 |
| Fraværet af nitrat | 220 |
| Fe ²⁺ dannelse | 150 |
| Sulfat (SO ₄ ²⁻) reducering (H ₂ S dannelse) | -50 |
| Fraværet af sulfat | -180 |

*Villighed til at optage eller afgive elektroner. Danske jorde ligger normalt mellem -300 mV (anaerob) til +700 mV (aerob)

5. Vitalisering af planter med kompost-te styrker afgrøden.



Mit svar: Kompost-te kan tilføje mikroorganismer og nogle næringsstoffer til jord og planter. Det kan forbedre planternes sundhed, men effektiviteten afhænger af kvaliteten af komposten og de lokale forhold. Effektiviteten af biostimulanter og flydende organiske gødninger er ikke velundersøgt. Der er stigende interesse for brugen af organiske flydende gødninger i indendørs planteproduktion, men næringsstoftilgængeligheden skal optimeres.





6. Vi bør fokusere mere på jord- og planteanalyser og gødskning ud fra disse.

Mit svar: Jord- og planteanalyser er essentielle for at kunne optimere gødningsstrategier og undgå både over- og undergødskning. Data-drevet planteproduktion er vejen frem!



Bestemmelse af næringsstofftilgængelighed ved jord- og planteanalyser

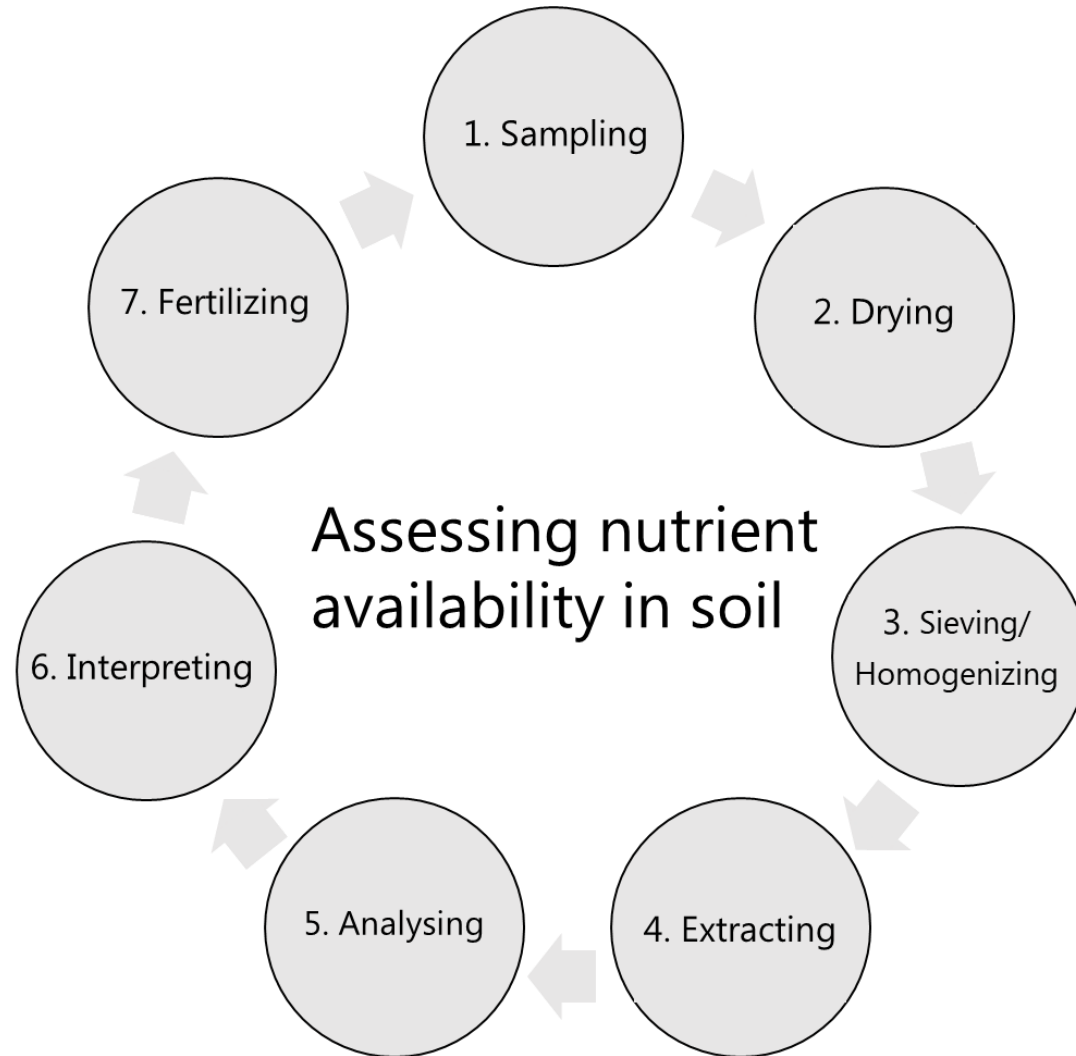


Biorender.com

| Prøvetype | Formål | Hvornår | Hurtigmetoder tilgængelige |
|---------------|------------|----------------------|----------------------------|
| Jord | Prædiktion | Før/efter vækstsæson | pH, ledningsevne. Tekstur? |
| Gødning | Gødskning | Før tilførsel | Nej |
| Blade | Status | I vækstsæson | N, Mn og P |
| Råvare (korn) | Prædiktion | Efter høst | N |
| Efterafgrøde | Potentiale | Løbende | N, Mn og P |

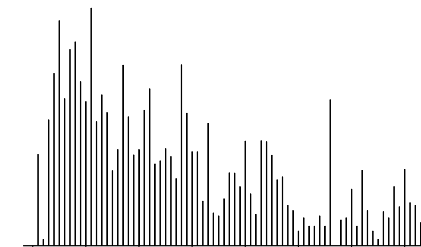
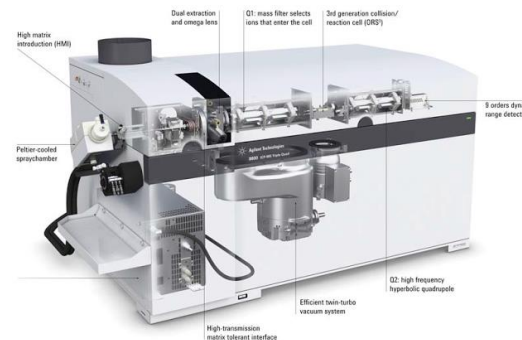
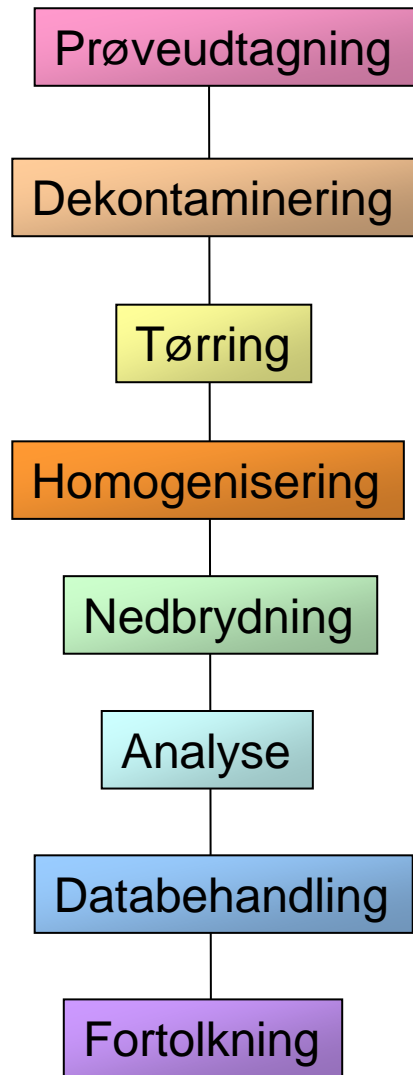
Anbefaling: Udtag prøver fra gode og dårlige pletter i marken og sammenlign baseret på data fra laboratorieanalyser. Brug planten som sensor for næringsstofftilgængelighed!

Analyse af plantenæringsstoffer i jord



| Nutrient | Plant-available form(s) | Methods |
|----------|--|---|
| N | NH_4^+ , NO_3^- | N-min (potassium chloride) N mineralization |
| P | H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} | Olsen P DGT Colwell P Mehlich 3 |
| K | K^+ | Ammonium acetate Mehlich 3 |
| S | SO_4^{2-} | Mono-calcium phosphate Calcium chloride Ammonium chloride Sodium bicarbonate and N_{en} (aerobic incubation) |
| Mg | Mg^{2+} | Ammonium acetate, potassium chloride, calcium chloride and more |
| Ca | Ca^{2+} | Ammonium acetate |

Workflow for planteanalyser



LIBS analyse af næringsstoffer – en ny metode på vej!

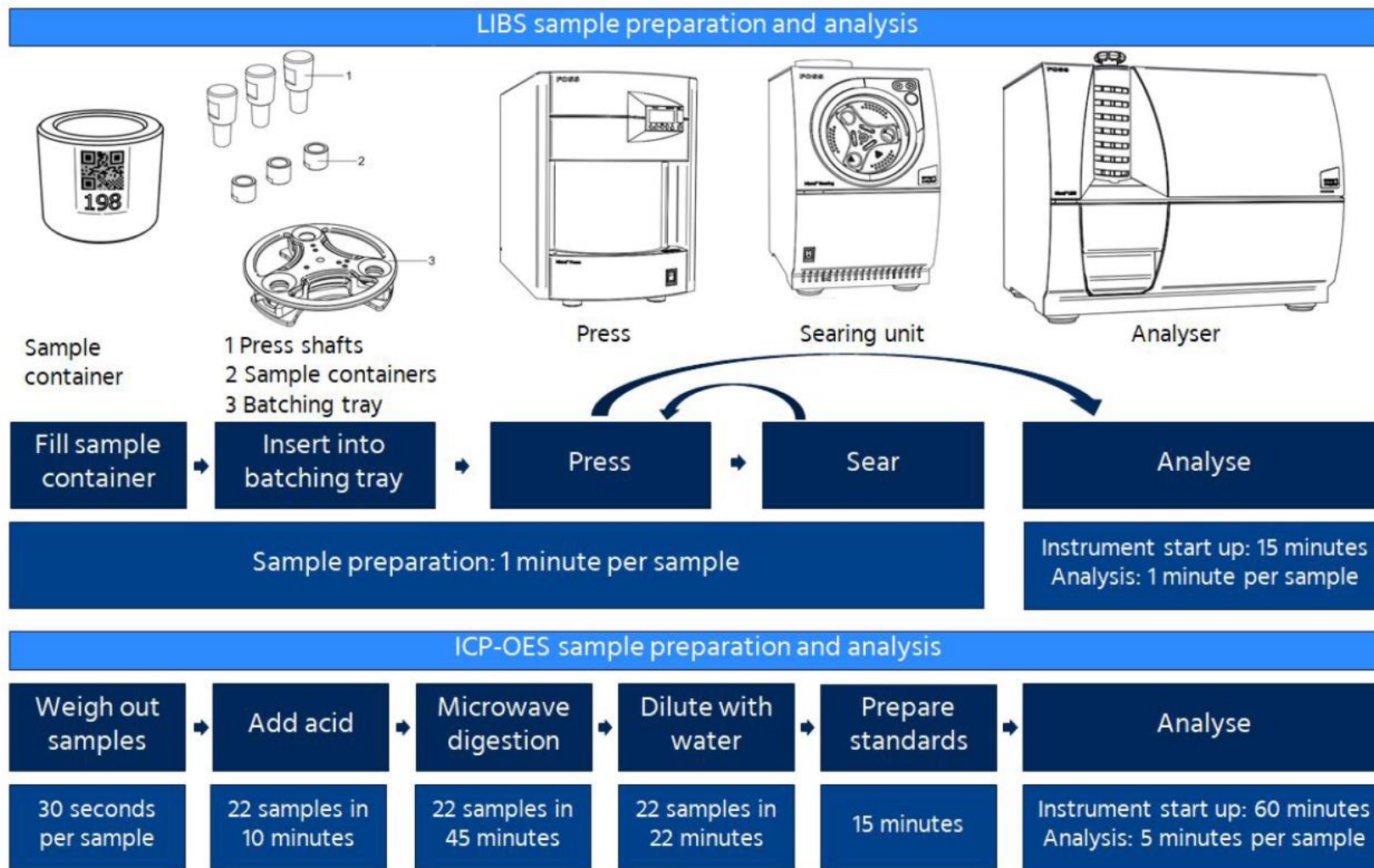


Fig. 2 Schematic overview of sample preparation and analysis with the LIBS and ICP-OES setup used in the present study (illustrations not to scale).

Konklusioner

- Plantetilgængeligheden af næringsstoffer i jord er styret af fysiske, kemiske og biologiske faktorer.
- Planter vækst, høstudbytte og kvalitet er styret af mange faktorer (Genetik, Miljø, Management).
- Regenerative principper vil potentielt øge tilgængeligheden af plantenæringsstoffer på den lange bane, men der er også behov for gødsning i regenerativt landbrug.
- Hvis man minimerer de eksterne inputs og er mere afhængig af biologiske næringsstofkredsløb, skal man være meget opmærksom på næringsstofftilgængeligheden.
- Brug jord- og planteanalyser til at optimere plantevækst og –udbytte.
- Husk agronomien!

Stadig mange uafklarede spørgsmål

- Er regenerativt landbrug bæredygtigt ud fra både et klimamæssigt, socialt og økonomisk perspektiv?
- Hvad er sammenhængen mellem jordsundhed og plantevækst?
- Fører regenerativt landbrug til:
 - højere udbytter?
 - mere stabile udbytter?
 - mere robuste planter?
 - forbedret plante- og råvarekvalitet?



Hør mere om plante- og råvarekvalitet i morgen

68. Råvarer til fødevarer – krav til kvalitet

Hvordan påvirkes kvalitetsegenskaber som næringsstoffer, anti-næringsstoffer, funktionalitet og smag af sort, dyrkningsmetode og tidspunkt for høst? Et forskningsprojekt har undersøgt disse egenskaber i havre, ærter og hestebønner – fra råvare til produkt.

Indlægstitlerne er: "AQRIFood – råvarekvalitet til plantebaserede fødevarer" og "GrainLegsGo – høsttidspunkts betydning for friske bælgfrugter".

Kristian Holst Laursen

Lektor, Københavns Universitet

Jim Rasmussen

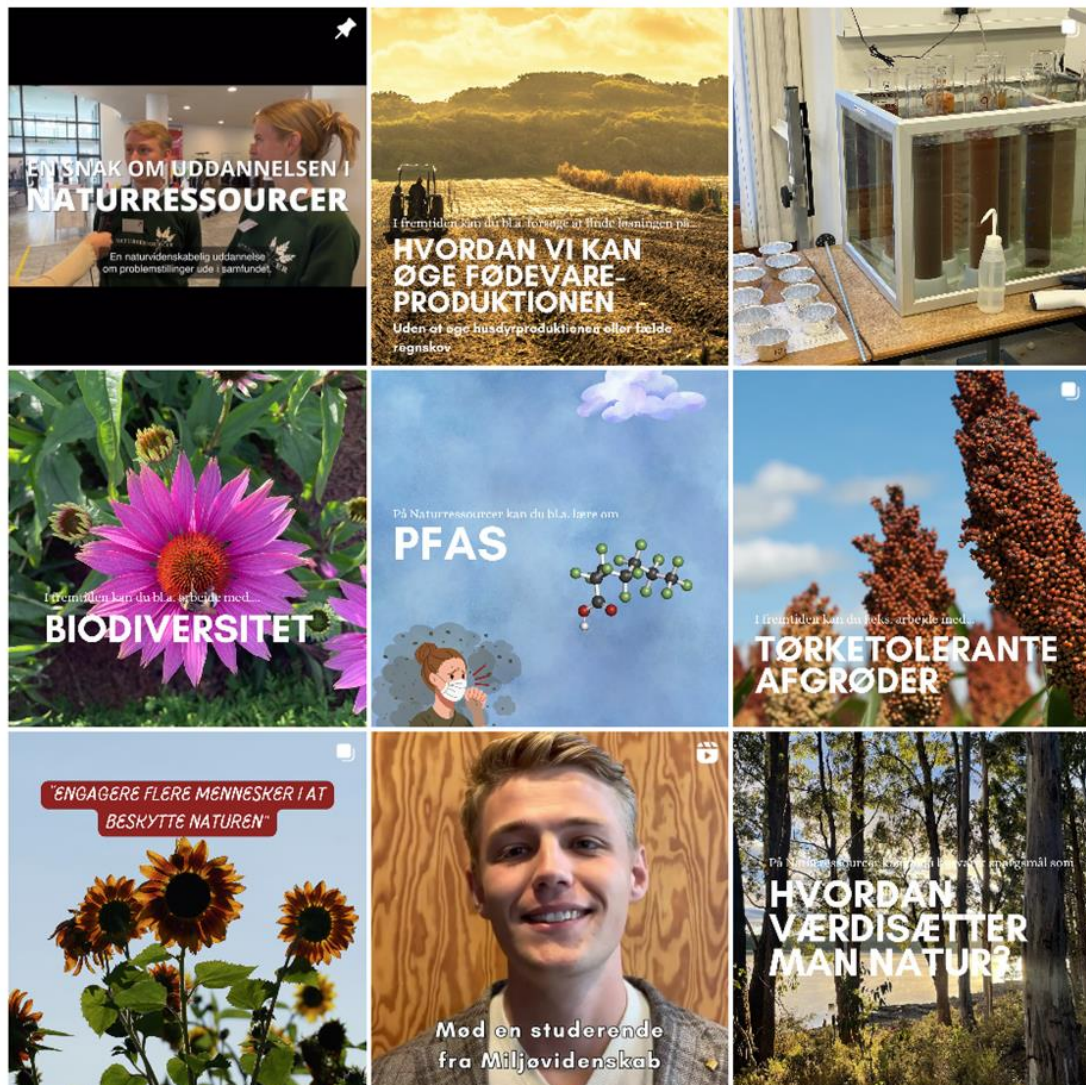
Seniorforsker, Aarhus Universitet

Moderator: Christian Bugge Henriksen

Københavns Universitet



Mød vores studerende til Karrierematch kl. 17.15



<https://studier.ku.dk/bachelor/naturressourcer/>

<https://studies.ku.dk/masters/agriculture/>



http://instagram.com/naturressourcer_ku



Tak for opmærksomheden



Og tak til kollegaer og studerende på Institut for Plante- og Miljøvidenskab og samarbejdspartnere og bevillingsgivere i projekterne LIBS FlexFix, Anakorn og Aggregate.

