FLEX Fertilizer System
-less gives more!

FOSS

# Bladanalyser med Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)

Frederikke Neergaard Mikkelsted
PhD-studerende
Forskergruppen for Plantenæringsstoffer og Fødevarekvalitet

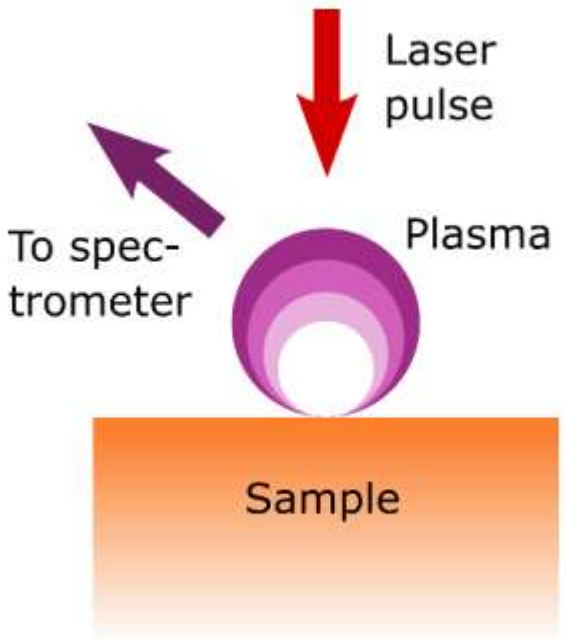
UNIVERSITY OF COPENHAGEN

# Plantevækstfaktorerne

Lys + kuldioxid ($CO_2$) + 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* |

# Hvad er Laser Induced Breakdown Spectroscopy?




Laserpuls rammer materiale og danner plasma

⬇

Når plasmaet afkøles, udsender det lys med karakteristiske bølgelængder

⬇

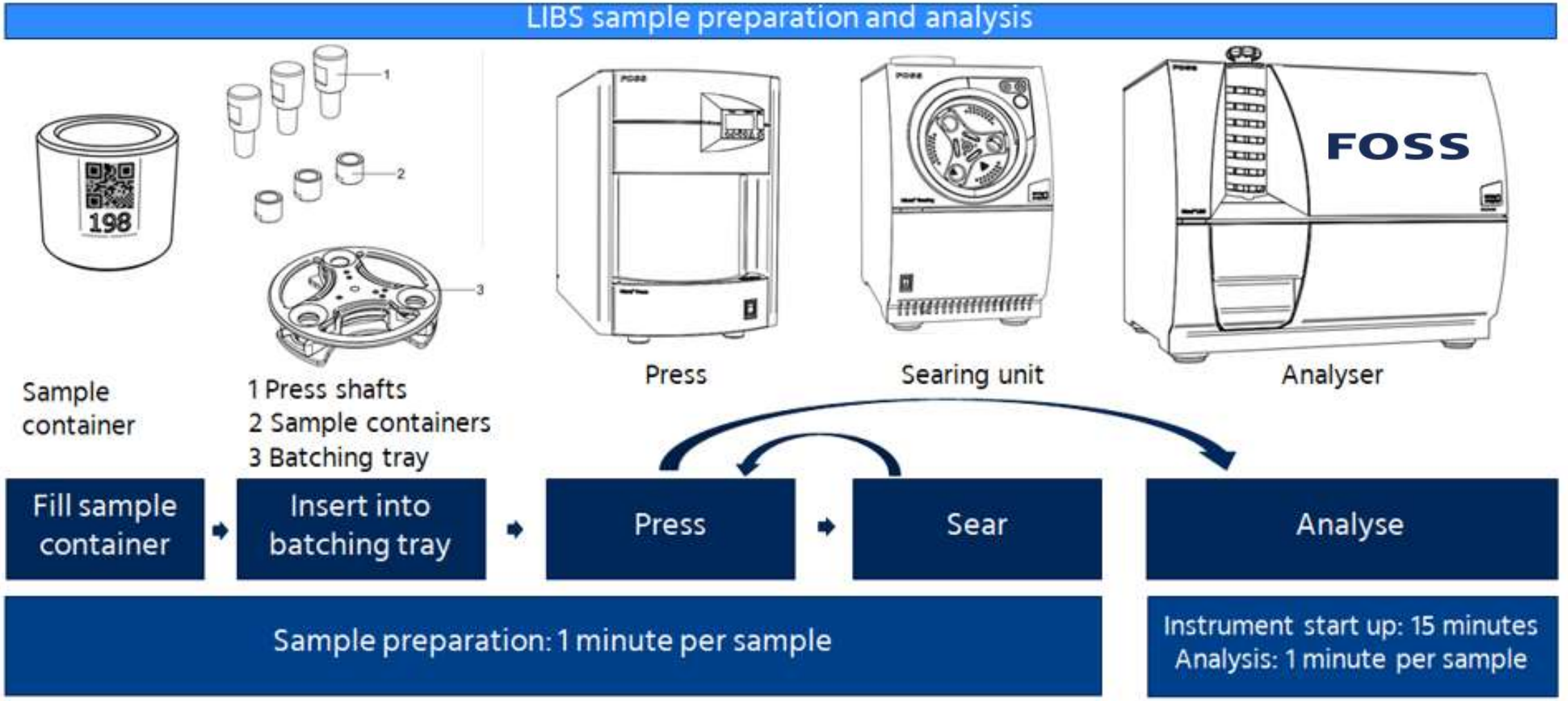
Lyset kan analyseres med spektroskopi

⬇

Grundstoffer i prøven kan kvantificeres

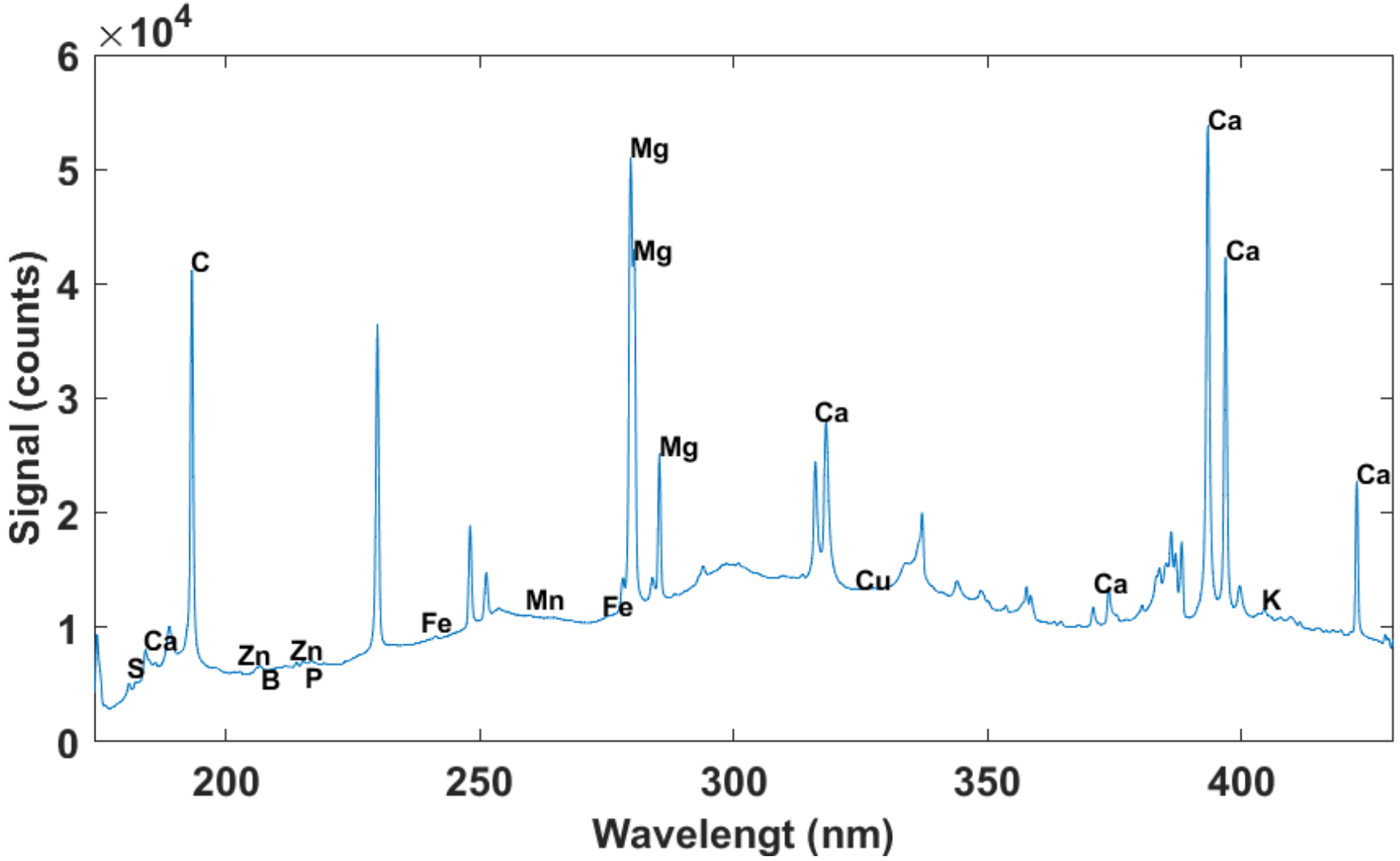
Mikkelsted, F. N., Adén, D., Nikolajsen, T., & Laursen, K. H. (2024). A novel LIBS method for quantitative and high-throughput analysis of macro- and micronutrients in plants , Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 39(8), 2008–2020. https://doi.org/10.1039/D4JA00105B

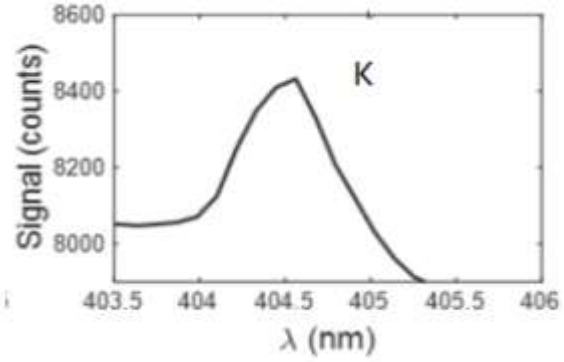
# Instrumentet




Mikkelsted, F. N., Adén, D., Nikolajsen, T., & Laursen, K. H. (2024). A novel LIBS method for quantitative and high-throughput analysis of macro- and micronutrients in plants , Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 39(8), 2008–2020. https://doi.org/10.1039/D4JA00105B

# LIBS spektrum

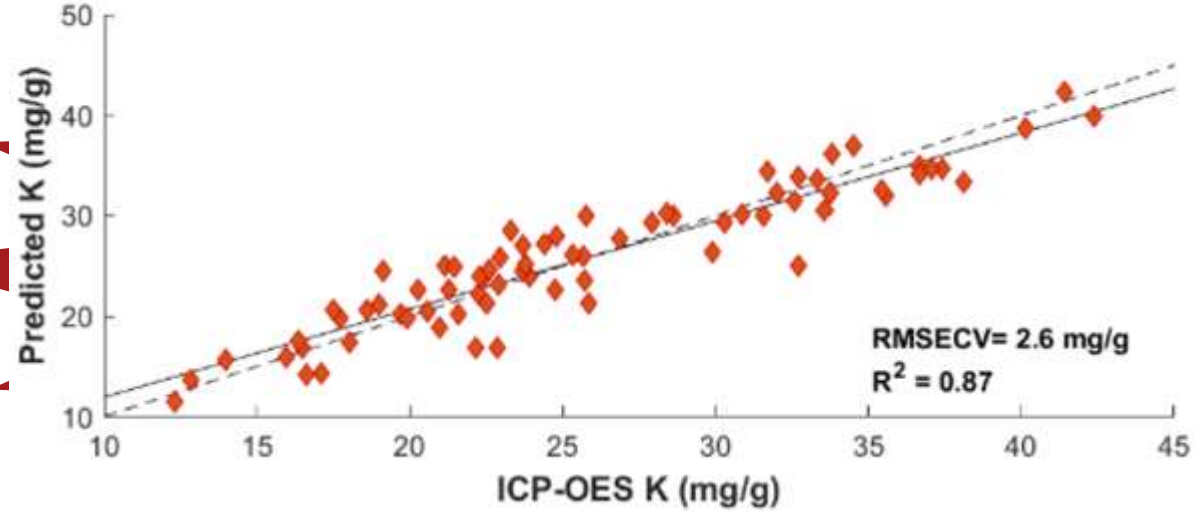



Mikkelsted, F. N., Adén, D., Nikolajsen, T., & Laursen, K. H. (2024). A novel LIBS method for quantitative and high-throughput analysis of macro- and micronutrients in plants , Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 39(8), 2008–2020. https://doi.org/10.1039/D4JA00105B

# Forudsætninger for LIBS analyse

- ~ 0.3 g tør prøve
- Formalet
- Flad og hård overflade



JAAS

ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY

PAPER

View Article Online
View Journal | View Issue

Check for updates

Cite this: *J. Anal. At. Spectrom.*, 2024, **39**, 2008

# A novel LIBS method for quantitative and high-throughput analysis of macro- and micronutrients in plants†

Frederikke Neergaard Mikkelsted,[ab] Daniel Adén,[b] Thomas Nikolajsen[b] and Kristian Holst Laursen[*a]

Laser induced breakdown spectroscopy (LIBS) is an emerging technique for the analysis of elements in plant tissue. This study reports the validation of a newly developed LIBS instrument and a method for analysis of plant material. The LIBS setup consists of a press, a searing unit, and an analyser with an Nd:YAG laser with a pulse energy of 0.15 mJ operating at a central wavelength of 1064 nm in a nitrogen atmosphere. The LIBS measurements were conducted on 257 plant samples from eight different plant species. The plant samples were also analysed with inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES) to obtain reference values for phosphorus (P), potassium (K), magnesium (Mg), sulphur (S), calcium (Ca), iron (Fe), zinc (Zn), manganese (Mn), boron (B), and copper (Cu). Based on the reference values and the LIBS spectra, partial least squares regression was used to build prediction models for each nutrient. Mixed models and specific models for wheat and faba bean were made. Specific models for wheat and faba bean performed better than mixed species models. Prediction models for P, K, Mg, S, Ca, Zn, Fe, B and Cu from wheat were superior and were sufficiently precise and accurate to enable detection of plant nutrient deficiencies. However, for Mn the accuracy needs to be improved. The results document the usefulness of the novel LIBS setup for plant tissue analysis and for detection of plant nutrient deficiencies.

Received 25th March 2024
Accepted 5th June 2024

DOI: 10.1039/d4ja00105b

rsc.li/jaas

icle. Published on 12 June 2024. Downloaded on 10/3/2024 11:29:38 AM.
article is licensed under a Creative Commons Attribution 3.0 Unported Licence.

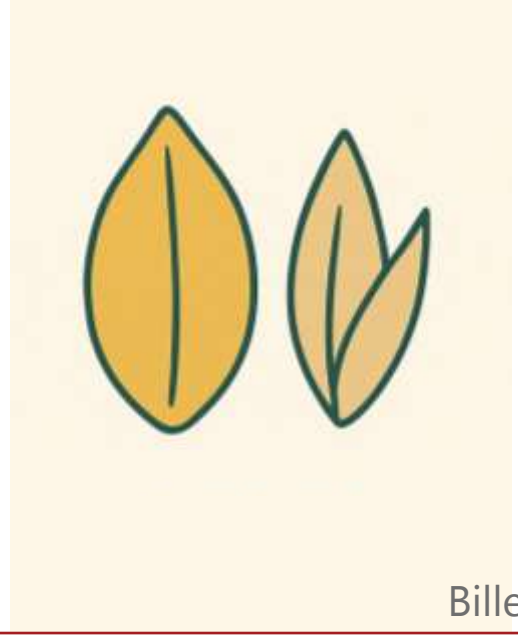
Mikkelsted, F. N., Adén, D., Nikolajsen, T., & Laursen, K. H. (2024). A novel LIBS method for quantitative and high-throughput analysis of macro- and micronutrients in plants , Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 39(8), 2008–2020. https://doi.org/10.1039/D4JA00105B

# Analyser til forbedring af gødskningsstrategier

Jord

Planter

Kerner



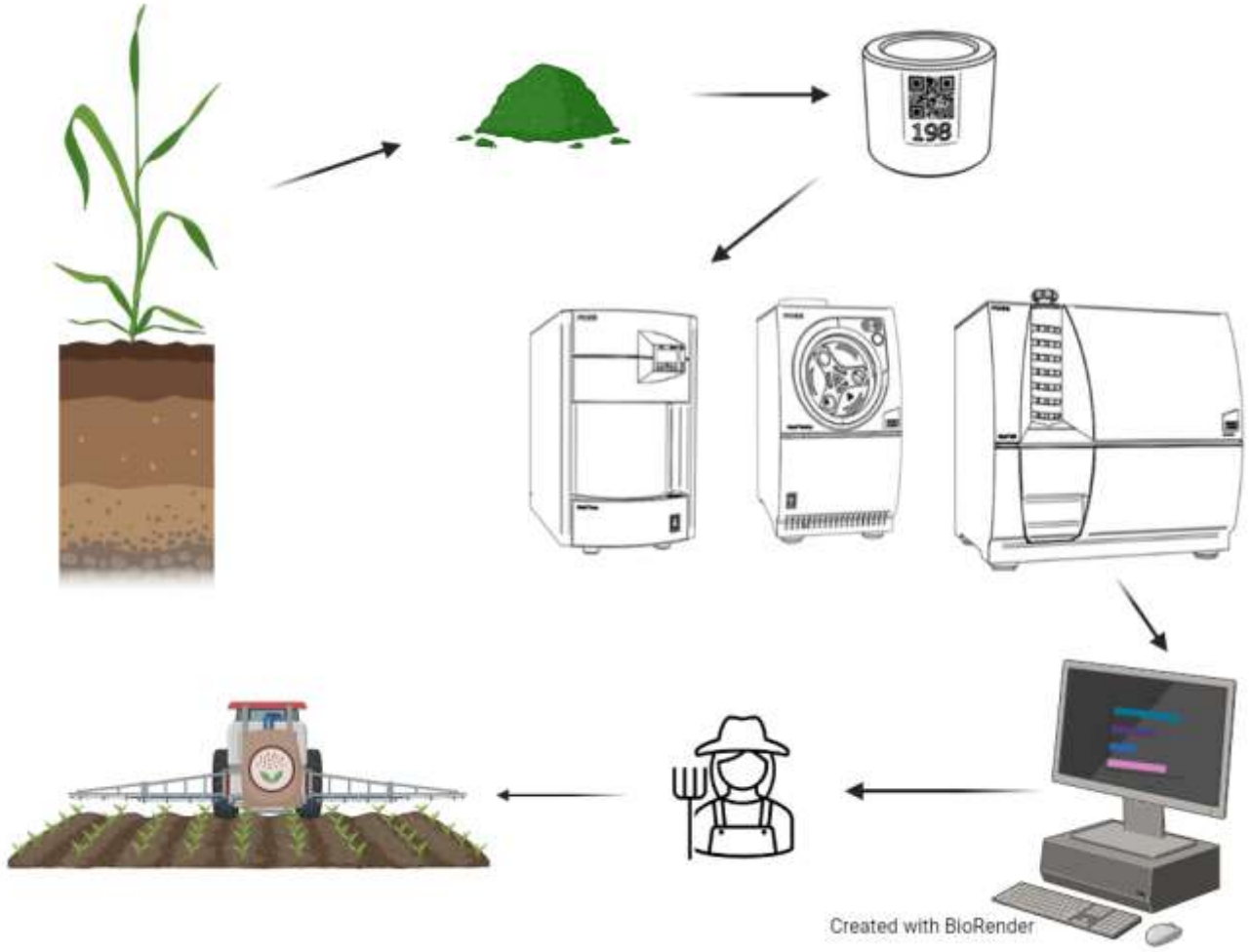
Billeder fra copilot

| 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 |

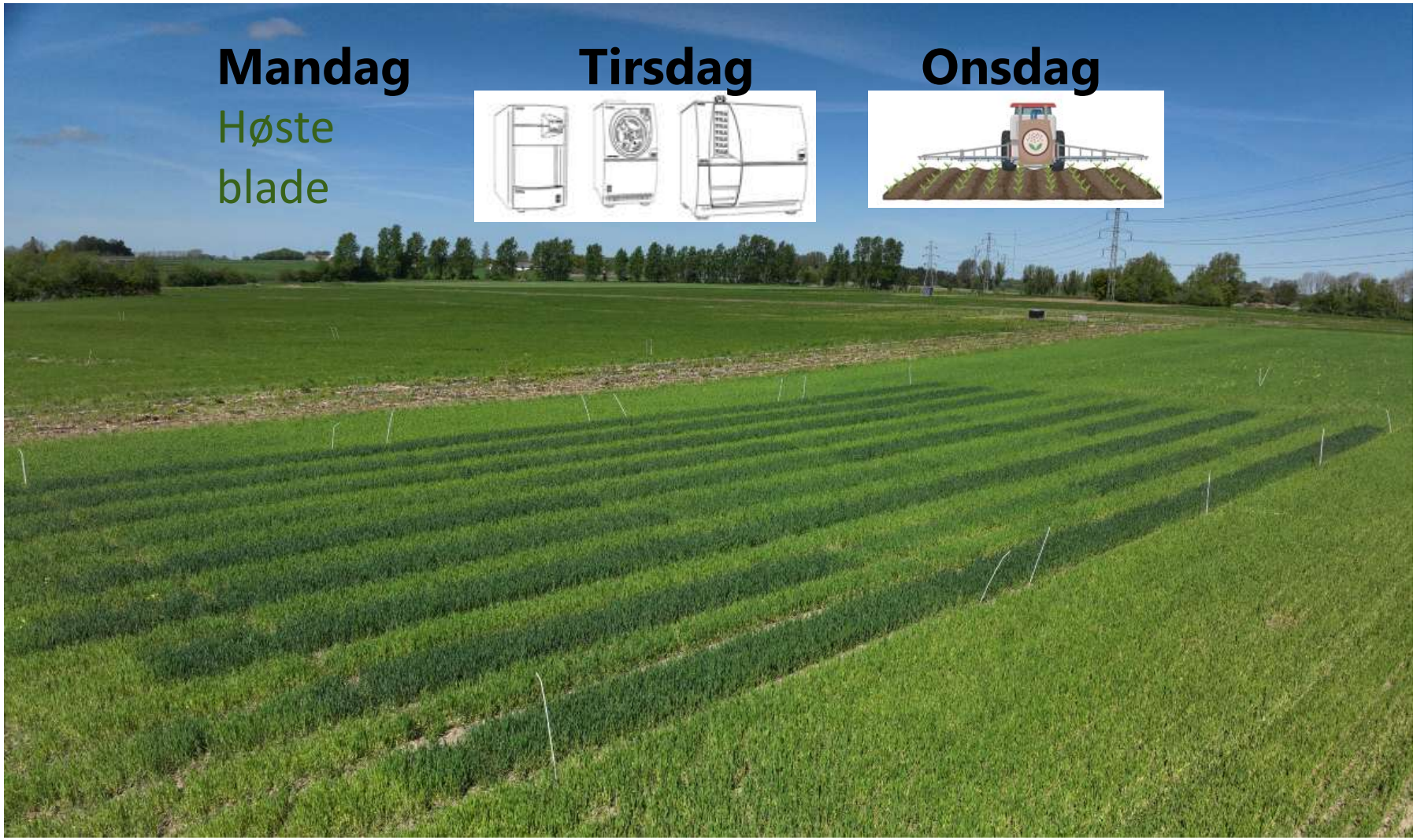
# Hvorfor lave bladanalyser og hvorfor bliver det ikke brugt mere?

- Bladanalyser viser, hvilke næringsstoffer planten faktisk optager – ikke kun hvad der er i jorden.
- Man kan opdage mangel på næringsstoffer før visuelle symptomer opstår.
- Gødningen kan tilpasses præcist efter afgrødens behov, hvilket øger effektiviteten.
- Minimerer risikoen for overgødskning og udvaskning af næringsstoffer til grundvand og vandmiljø.
- Relativt dyrt og tidskrævende.
- Kræver erfaring og kendskab til afgrøde og vækststadie at tolke på bladanalyserne.

# Hvorfor vil vi analysere planter med LIBS?



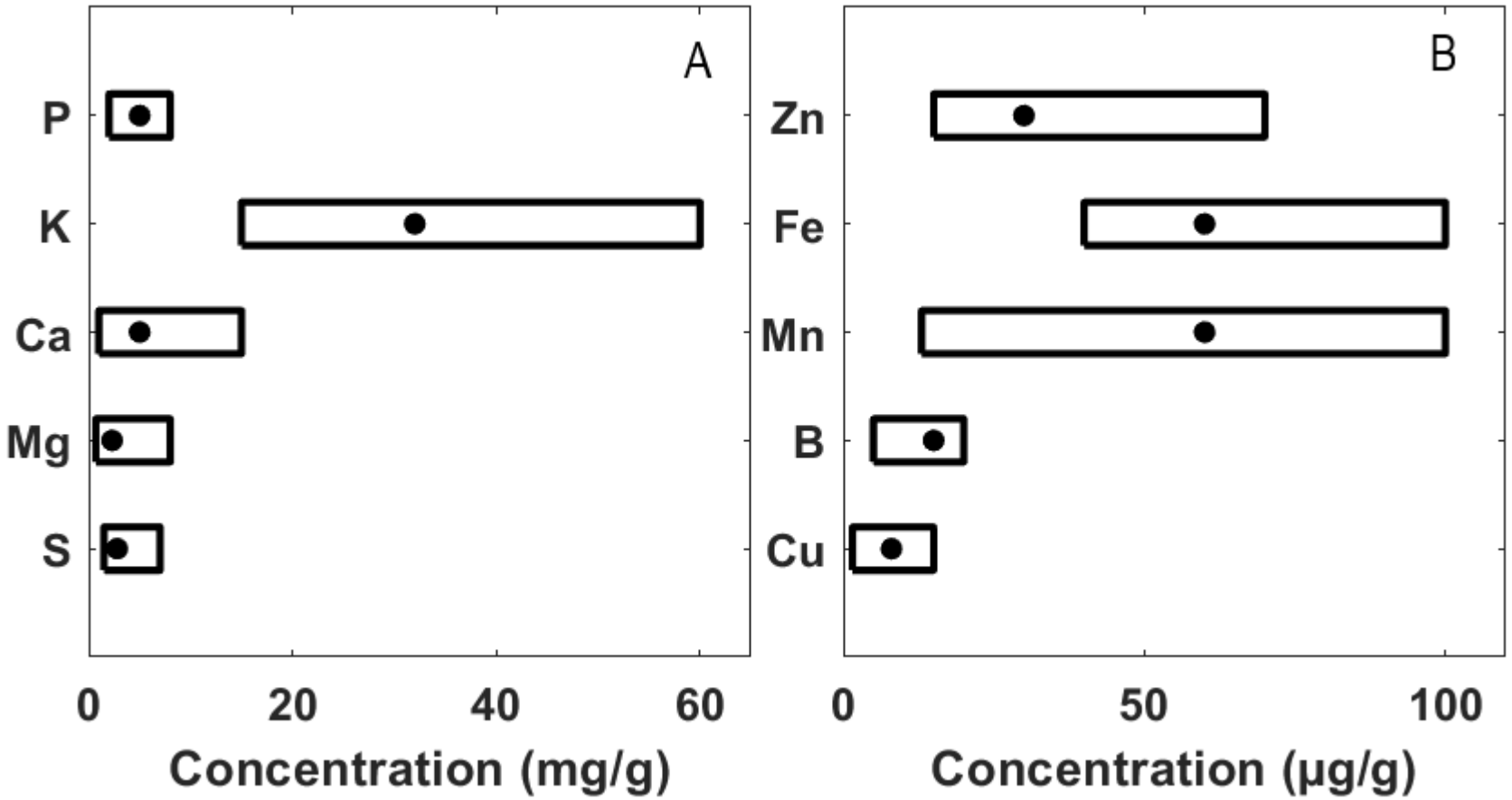
# LIBS-assisteret bladgødskning



- S - standard gødning
- S 25% - kvart dosis standard
- S 50% - halv dosis standard
- S+M - standard+mikro
- S+M+FF - standard + mikro + bladgødning
- N - kun nitrogen
- N+FF - kun nitrogen + bladgødning
- NPK - NPK
- NPK+FF - NPK + bladgødning

| Behandlinger (kg/ha) | N | P | K | S | Mg | Ca | Mn | B | Zn | Cu | Fe | Mo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Standard | 190 | 31 | 74 | 8 | 22 | 25 | | | | | | |
| Standard 25 % | 48 | 8 | 18 | 21 | 6 | 6 | | | | | | |
| Standard 50% | 95 | 16 | 37 | 42 | 11 | 12 | | | | | | |
| Standard + micro | 190 | 31 | 74 | 82 | 22 | 25 | 0.06 | 0.012 | 0.013 | 0.012 | 0.108 | 0.001 |
| N | 190 | | | 28 | 4 | | | | | | | |
| NPK | 190 | 25 | 70 | 23 | 3.4 | | | | | | | |

# Grænseværdier for hvede




| Næringsstof | Grænseværdi |
|---|---|
| P | 2 (mg/g) |
| K | 15 (mg/g) |
| Ca | 1 (mg/g) |
| Mg | 0,7 (mg/g) |
| S | 1,5 (mg/g) |
| Zn | 15 (µg/g) |
| Fe | 40 (µg/g) |
| Mn | 13 (µg/g) |
| B | 5 (µg/g) |
| Cu | 1,5 (µg/g) |

Den venstre side af en boks repræsenterer grænseværdien og den højre side repræsenterer et højt niveau. Den sorte prik repræsenterer en normal værdi.

Mikkelsted, F. N., Adén, D., Nikolajsen, T., & Laursen, K. H. (2024). A novel LIBS method for quantitative and high-throughput analysis of macro- and micronutrients in plants , Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 39(8), 2008–2020. https://doi.org/10.1039/D4JA00105B

# 19 maj

NPK+FF

S+M+FF

S

N

S+M

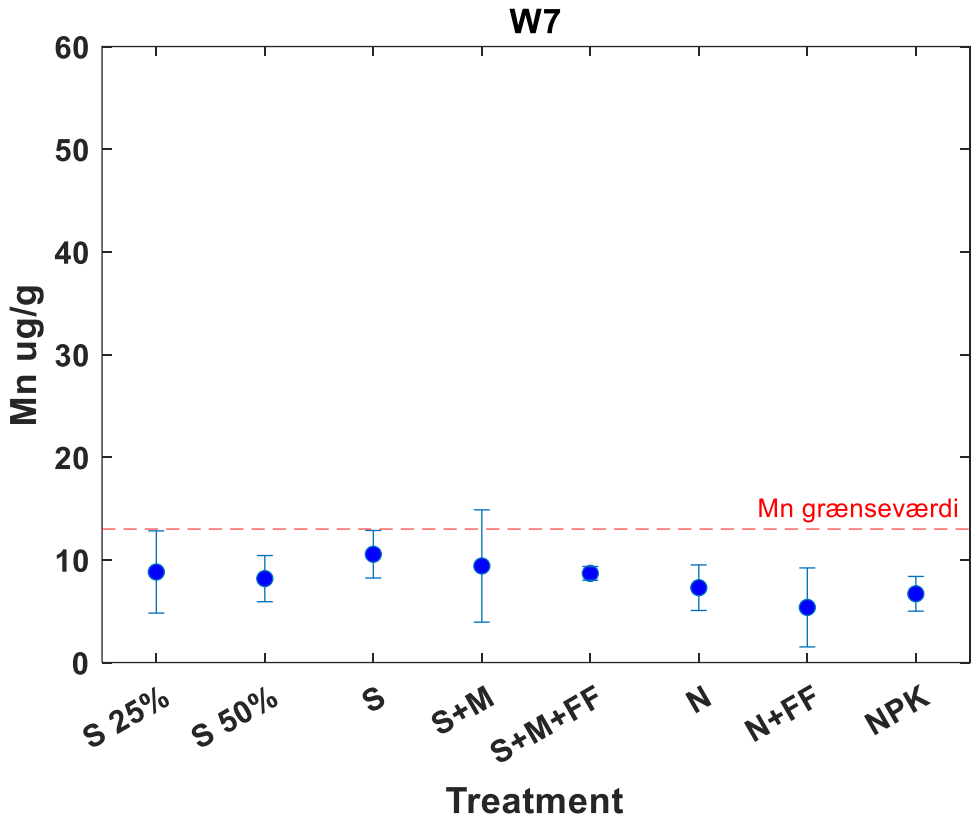
S 25%

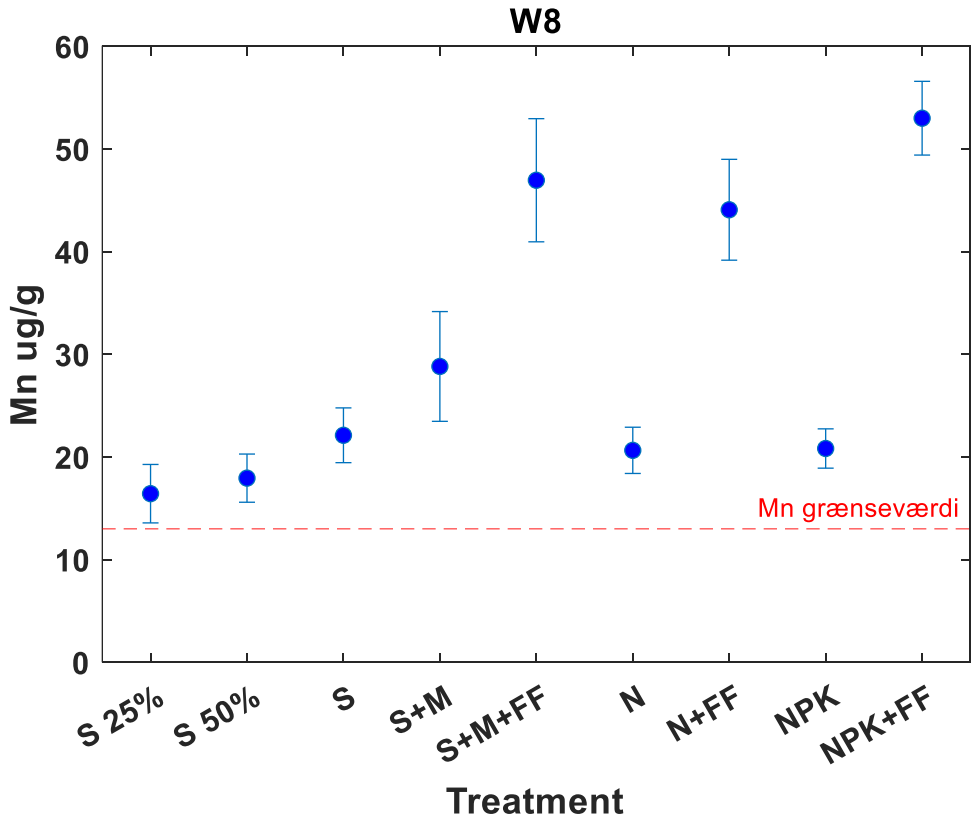
S 50%

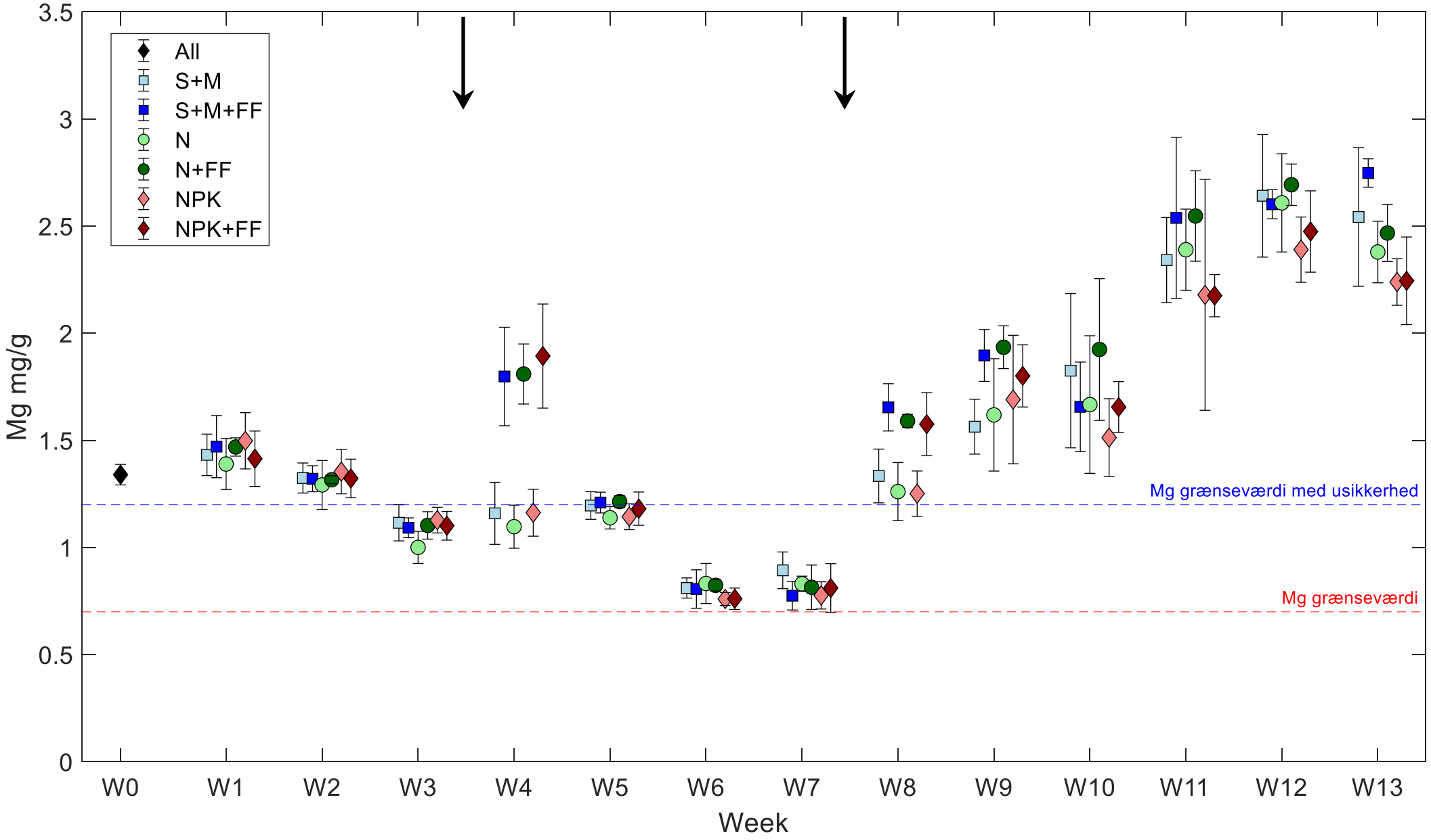
NPK

N+FF

# LIBS-assisteret bladgødskning



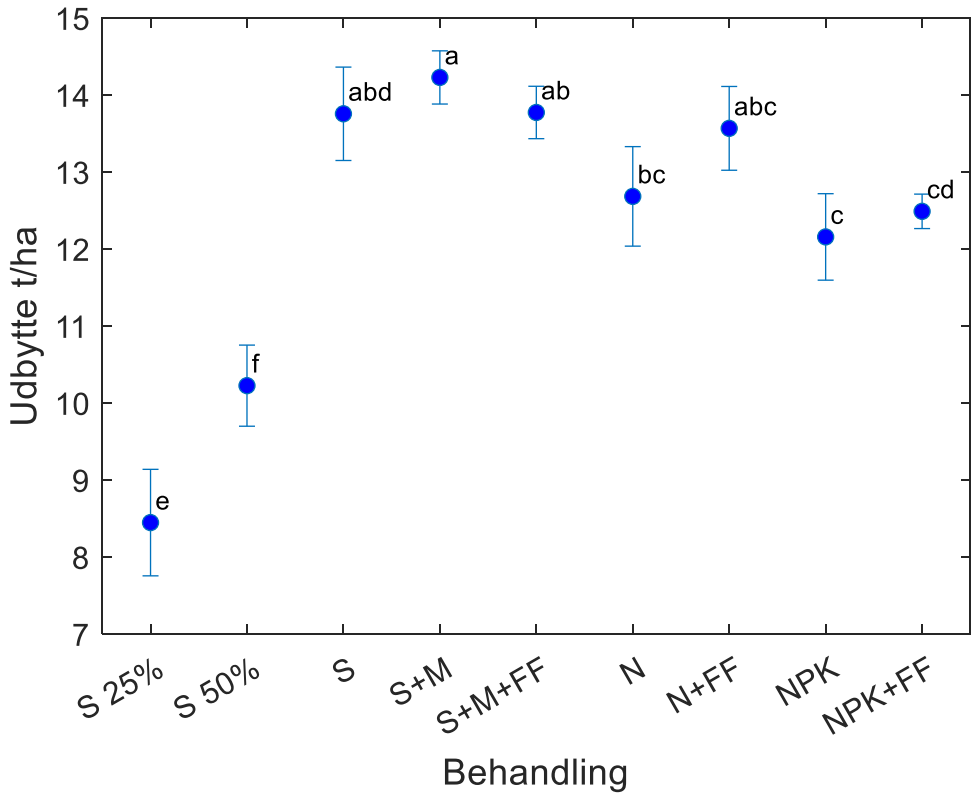

All
S+M
S+M+FF
N
N+FF
NPK
NPK+FF
Mg mg/g
Week
W0
W1
W2
W3
W4
W5
W6
W7
W8
W9
W10
W11
W12
W13
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
Mg grænseværdi med usikkerhed
Mg grænseværdi

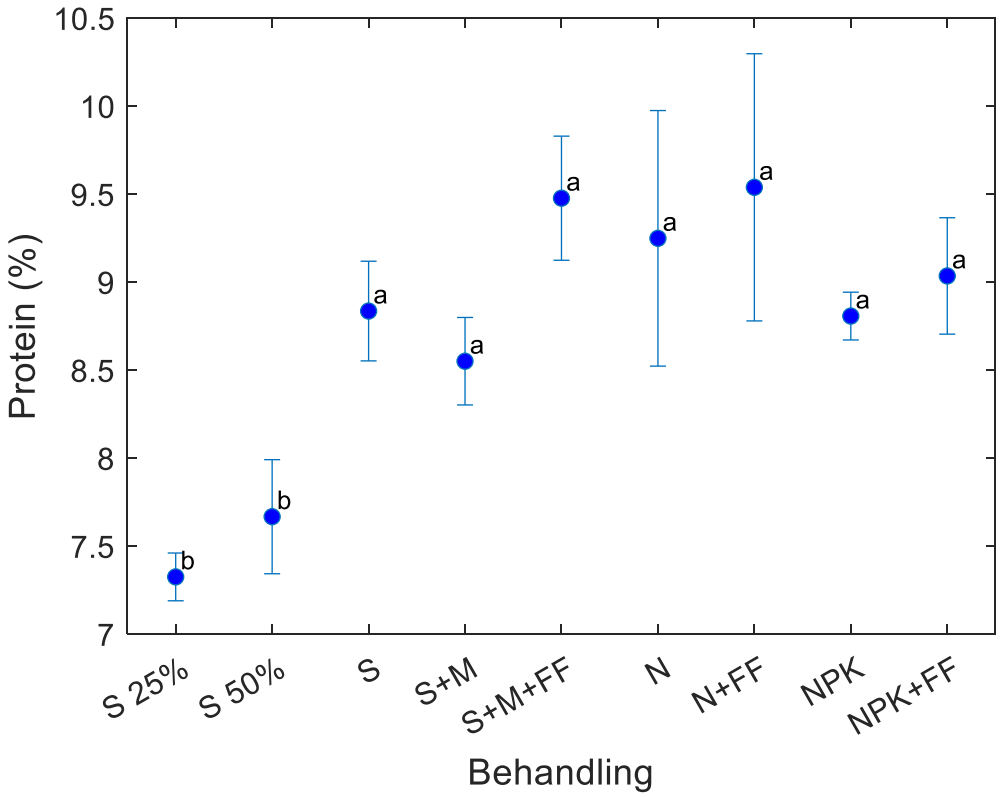
# Mangler i sæsonen

Kalium
Magnesium
Mangan
Bor

| Bladgødning(kg/ha) | N | P | K | S | Mg | Ca | Mn | B | Zn | Cu | Fe | Mo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Standard+micro+FF | 3.4 | | 11.6 | 0.2 | 3.8 | | 0.35 | 0.01 | | | | |
| N+FF | 3.6 | | 23.3 | 0.3 | 3.8 | | 0.52 | 0.01 | | | | |
| NPK+FF | 3.5 | | 11.6 | 0.3 | 3.8 | | 0.52 | 0.01 | | | | |

# Udbytte og protein



# Konklusion

- LIBS er en hurtig og nem metode til at måle næringsstoffer i blade.
- Vækststadie og prøveudtagning er vigtigt for tolkningen.
- Man kan måle mangel på næringsstoffer, før man kan se dem.
- Man kan potentielt opnå samme udbytte med mindre gødning.

# Tak for opmærksomheden

**Bevillingsgivere og samarbejdspartnere**

FOSS

Innovation Fund Denmark

FLEX Fertilizer System
-less gives more!

Vejledere: Kristian Holst Laursen, KU & Daniel Adén, FOSS

JAAS

ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY

PAPER View Article Online

Check for updates

Cite this: J. Anal. At. Spectrom., 2024, 39, 2008

A novel LIBS method for quantitative and high-throughput analysis of macro- and micronutrients in plants†

Frederikke Neergaard Mikkelsted, Daniel Adén, Thomas Nikolajsen and Kristian Holst Laursen

UNIVERSITY OF COPENHAGEN
FACULTY OF SCIENCE

# Kerneanalyser for optimeret gødskning

AnaKorn

Dorthe Horn Larsen
Postdoc

Forskergruppen for Plantenæringsstoffer og Fødevarekvalitet
8-1-2026

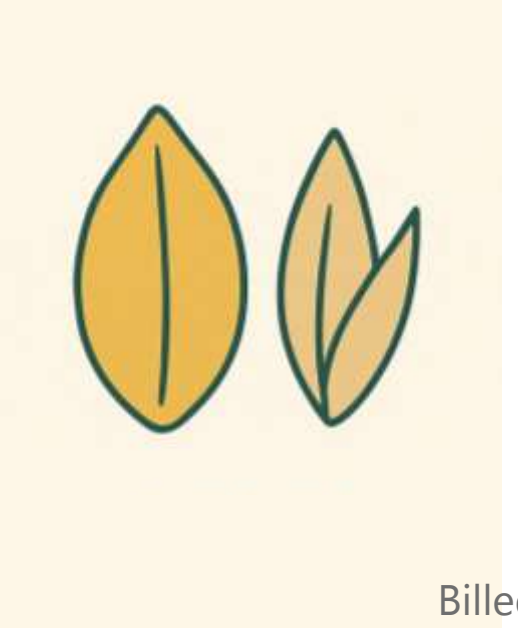
KØBENHAVNS UNIVERSITET

# Analyser til forbedring af gødskningsstrategier

Jord

Planter

Kerner

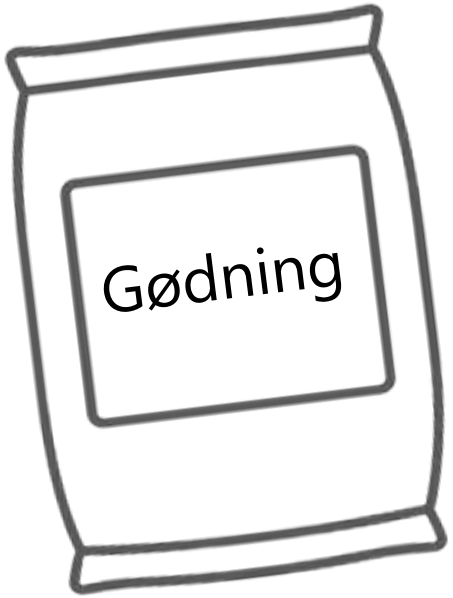


Billeder fra copilot

| 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 |

# AnaKorn

- Indholdet af næringsstoffer analyseres
- Kvaliteten af kornet bestemmes




Anbefaling

Grafik fra copilot, pexels

# Kerneanalyser

- Kerneanalyser bruges allerede som værktøj i dag i England
  - Præsenteret på Plantekongressen for 2 år siden

- **Men** for at kerneanalyser skal kunne bruges skal vi have:

  **kritiske værdier for indholdet af næringsstoffer**

- Så vi kan sige, om der har været for meget eller for **lidt** af et næringsstof til planten

# Kerneanalyser i England – Yield Enhancement Network

- YEN er et internationalt netværk, der hjælper landmænd, rådgivere og forskere forstå og forbedre udbyttepotentialet i afgrøder

**En del af YEN er YEN nutrition:**

- Identificere overforbrug af gødning
- Viser potentielle besparelser
- Diagnostiserer mangler

# YEN Nutrition

## Grain Nutrient Benchmarks Charts 2023: ADAS Example, 2023

# Fokus på kerneanalyser og kritiske værdier i litteraturen

Field Crops Research 322 (2025) 109691

Contents lists available at ScienceDirect

Field Crops Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate

## Can grain P concentration be used as an indicator of ferti in winter wheat?

S.M. Haefele [a,*], A.S. Gregory [b], P.R. Poulton [a], J. Hernandez-Allica [a], R. S.P. McGrath [a]

[a] Sustainable Soils and Crops, Rothamsted Research, Harpenden, Hertfordshire AL5 2JQ, UK
[b] Protecting Crops and the Environment, Rothamsted Research, Harpenden, Hertfordshire AL5 2JQ, UK
[c] Net Zero and Resilient Farming, Rothamsted Research, Harpenden, Hertfordshire AL5 2JQ, UK

**Konklusion i UK:**

**Kritisk værdi for P er for høj!**

**Brug Olsen- P.**

# Hypoteser

- En stor andel af danske kornprøver mangler ét eller flere næringsstoffer.
- Tilgængeligheden af næringsstoffer i jord afspejles i kornets næringsstofindhold, og derfor kan vi bestemme kritiske værdier for næringsstofindholdet i kornet.
- Kornets næringsstofindhold bestemmer kornstørrelsen og høstudbyttet.
- Kornanalyser kan bruges til at justere gødskningsstrategien i den følgende vækstsæson.

# Kritiske værdier fra Yield Enhancement Network (YEN)- UK

**Kritiske værdier i korn**

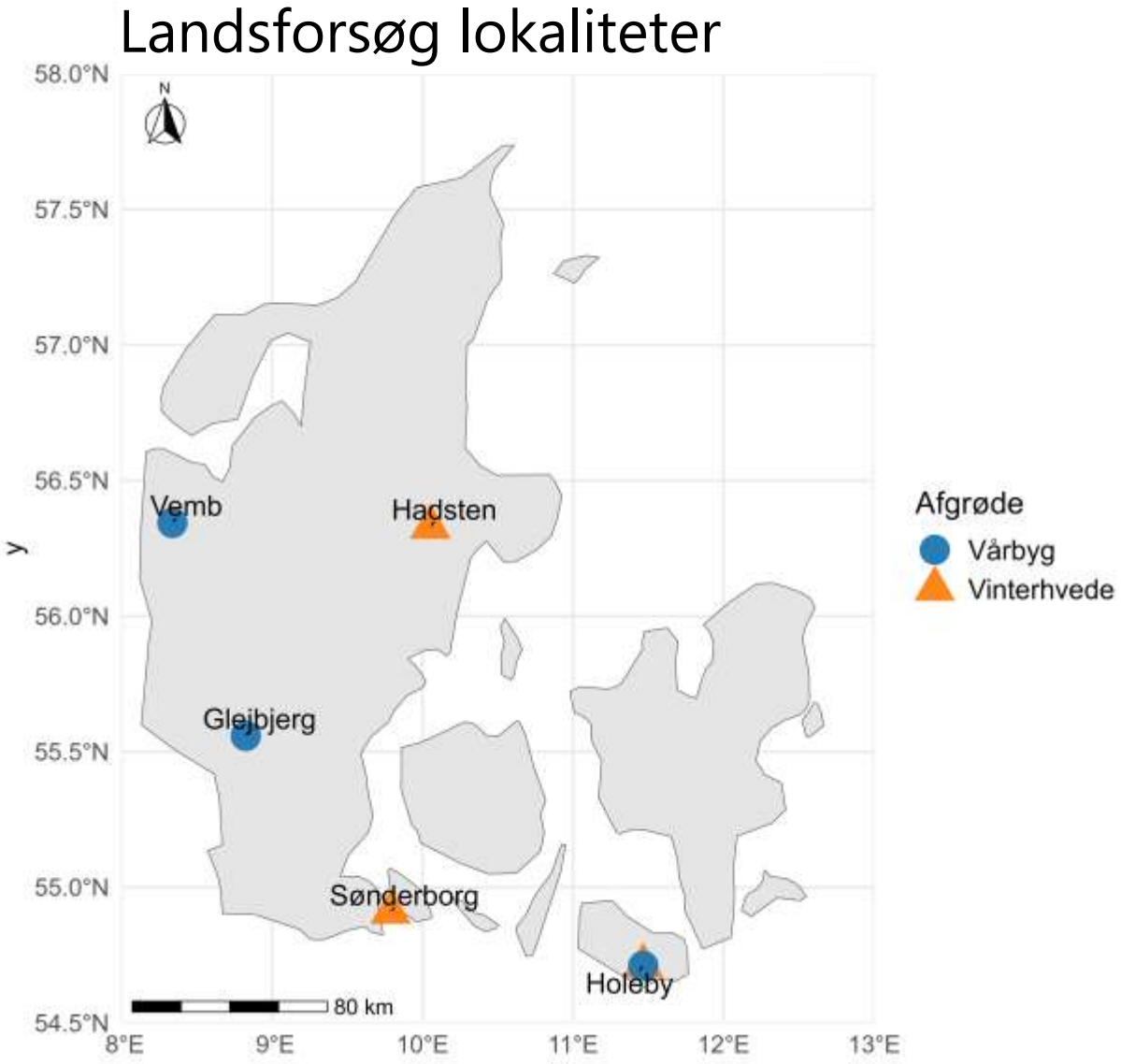
| Næringsstof | Koncentration i tørstof | Enhed |
|---|---|---|
| **N** | 2 | % |
| **K** | 3,8 | g/kg |
| **P** | 3,2 | g/kg |
| **S** | 1,2 | g/kg |
| **Mg** | 0,8 | g/kg |
| **Mn** | 20 | mg/kg |
| **Zn** | 15 | mg/kg |
| **Cu** | 3 | mg/kg |

Kritiske værdier i korntørstof anvendt i YEN Nutrition som kritiske værdier for mangler i kornafgrøder (Sylvester-Bradley et al., 2022). Makronæringsstoffer (N, K, P, S og Mg) er angivet i % og g/kg, mens mikronæringsstoffer (Mn, Zn og Cu) er angivet i mg/kg.

**Passer de til danske forhold?**

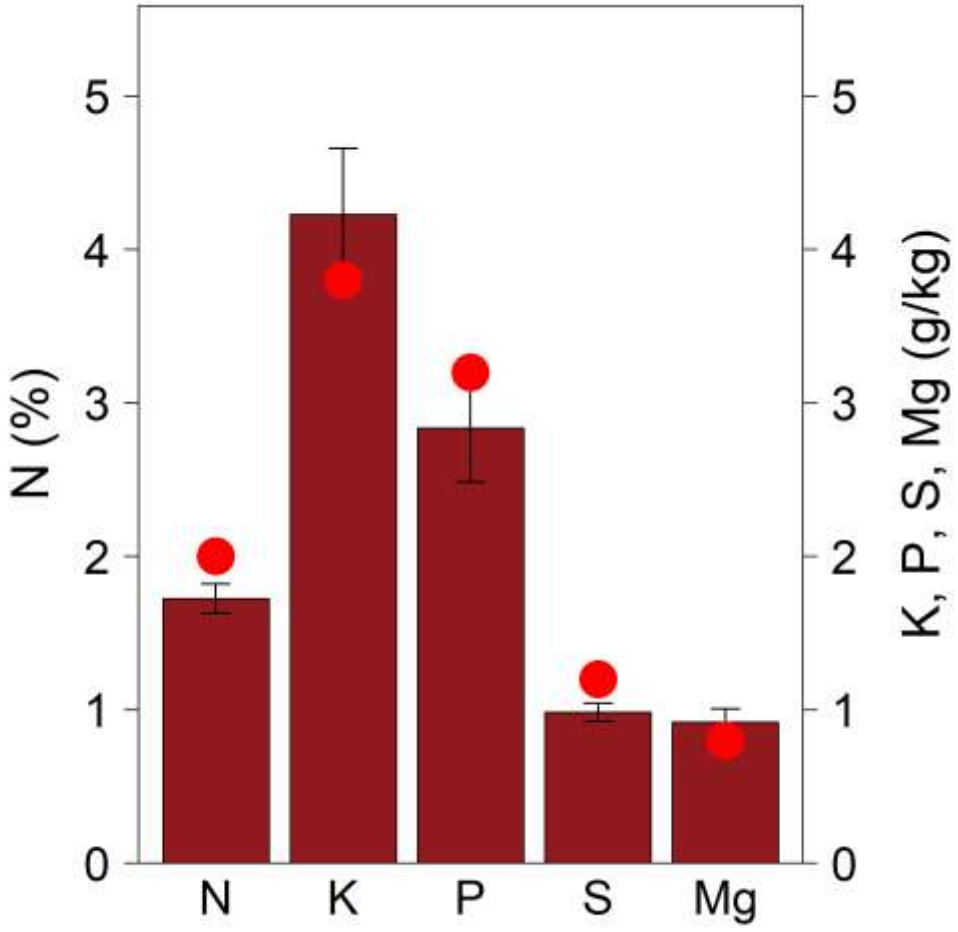
# Næringsstofindhold i Landsforsøgene

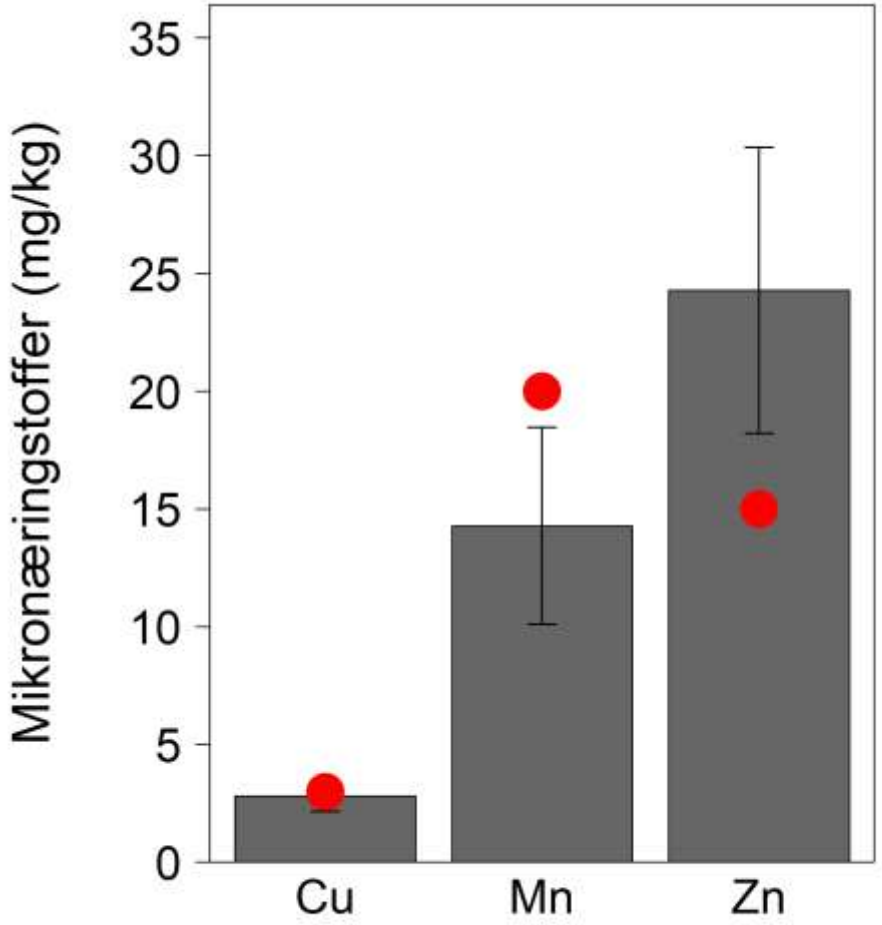
- Velgødede marker
- Svampemiddelforsøg
- 6 lokaliteter
- 222 plots
- Vinterhvede og vårbyg
- Vaskede, tørrede og formalede
- Målt på ICP-OES
- Kvælstofindholdet beregnet fra protein i tørstof



# Næringsstofindhold i Landsforsøgene

● Kritiske værdier fra YEN



| | | Næringsstof | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **N** | **K** | **P** | **S** | **Mg** | **Mn** | **Zn** | **Cu** |
| **Total Vinterhvede & vårbyg** | Antal prøver | 222 | 222 | 222 | 222 | 222 | 221 | 222 | 221 |
| | Antal prøver under den kritiske værdi | 222 | 38 | 179 | 222 | 12 | 209 | 1 | 120 |
| | **Procent under den kritiske værdi (%)** | **100** | **17,1** | **80,6** | **100** | **5,4** | **94,6** | **0,5** | **54,3** |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **N** | | | | | | |
| **Total Vinterhvede & vårbyg** | Antal prøver | 2 | | | | | | |
| | Antal prøver under den kritiske værdi | | | | | | | |
| | **Procent under den kritiske værdi (%)** | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| **Vinterhvede** | Antal prøver | | | | | | | |
| | Antal prøver under den kritiske værdi | | | | | | | |
| | **Procent under den kritiske værdi (%)** | 100 | 25,9 | 92,6 | 100 | 6,5 | 0,9 | **3,1** |
| | | | | | | | | |
| **Vårbyg** | Antal prøver | 114 | 114 | 114 | 114 | 114 | 114 | 113 |
| | Antal prøver under den kritiske værdi | 114 | 10 | 71 | 114 | 8 | 1 | 68 |
| | **Procent under den kritiske værdi (%)** | **100** | **8,8** | **69,3** | **100** | **7,0** | **0** | **60,2** |

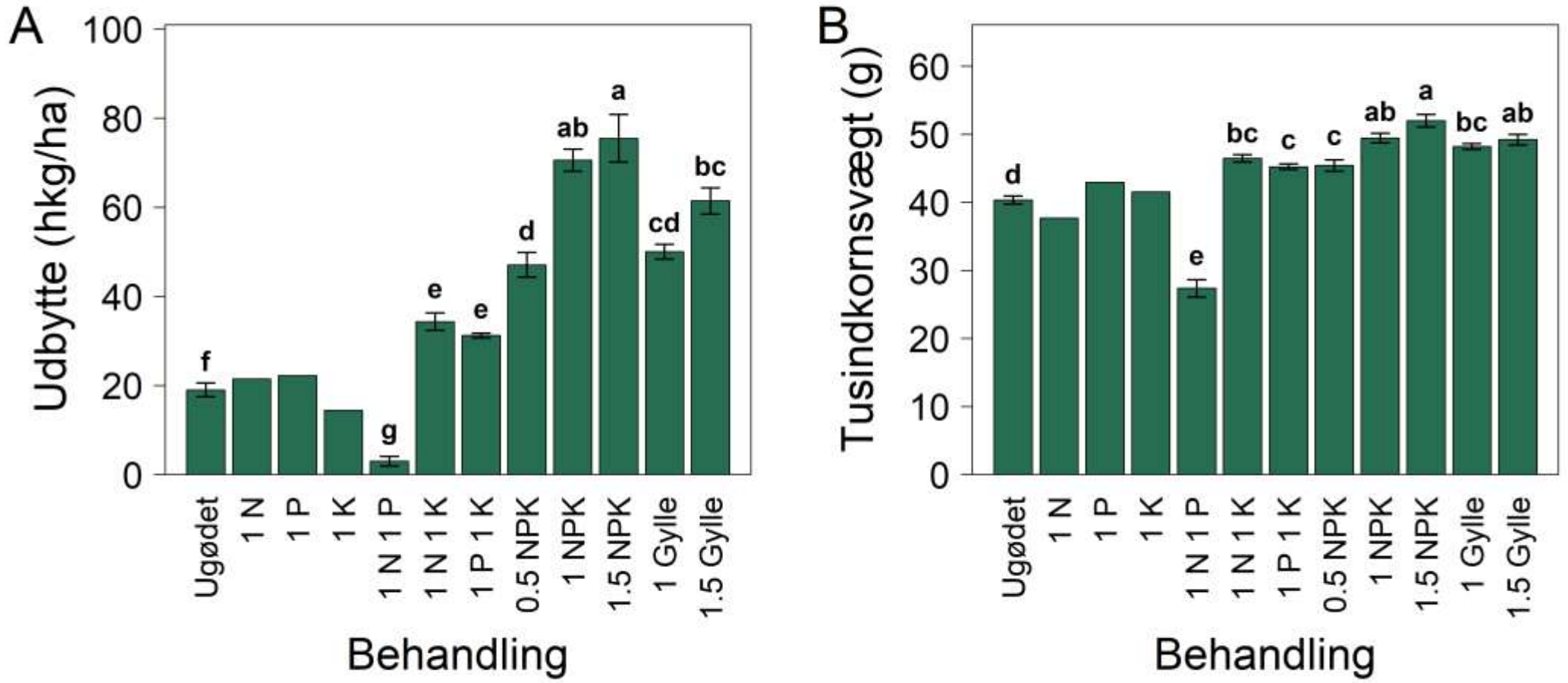
**Er de kritiske værdier for kvælstof, fosfor, svovl og mangan for høje?**

# Justering af kritiske værdier for N og P

- Langvarige forsøg i Askov
- Vinterhvede
- NPK gradient og gylle

https://agro.au.dk/om-instituttet/faciliteter/askov

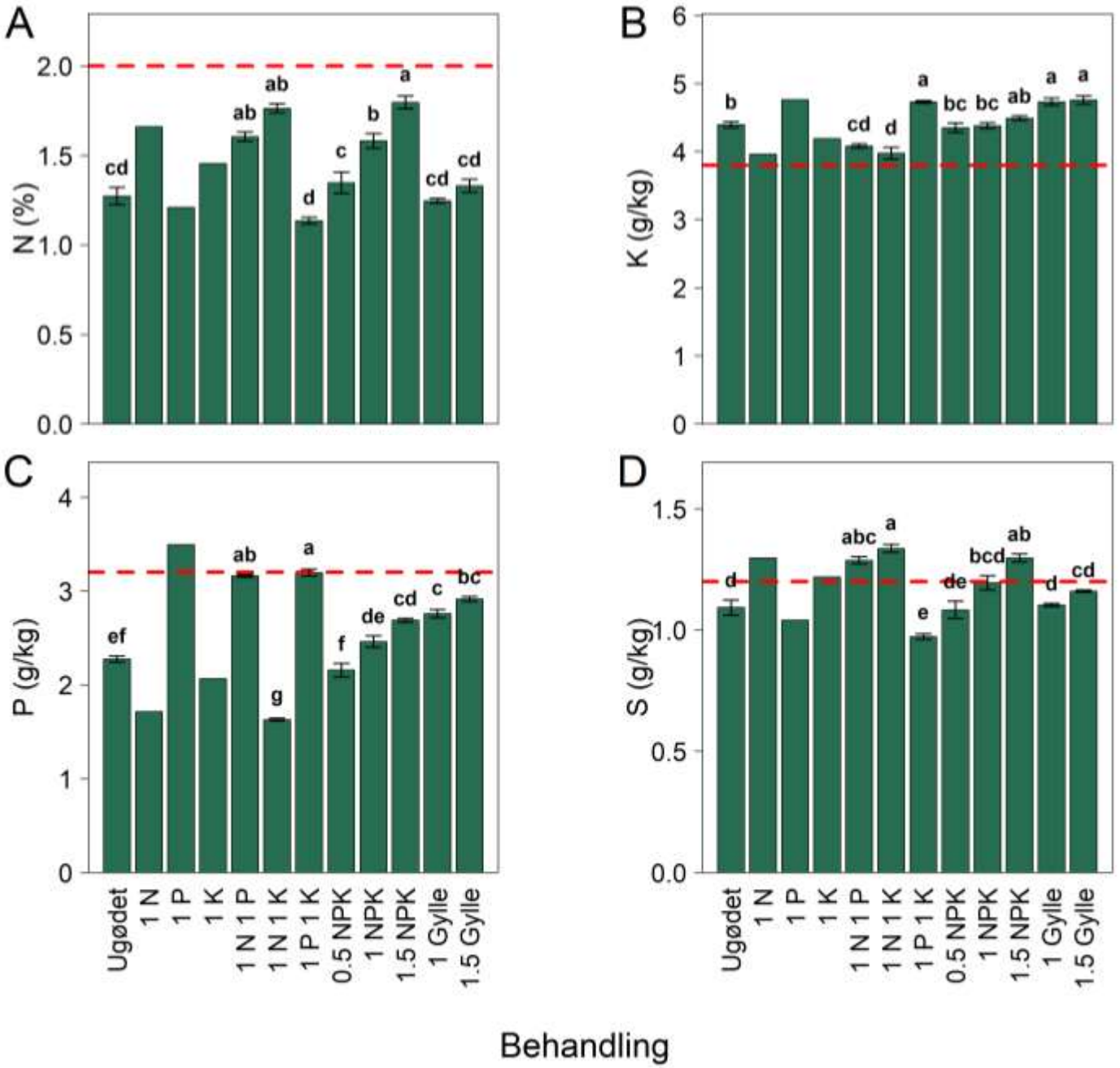
# Udbytte og tusindkornsvægt 2023




Udbytterespons og tusindkornsvægt (TKV) for gødningsbehandlinger i Askov-markforsøget baseret på tørstof. Søjlerne repræsenterer gennemsnittet ± standardafvigelse. Bogstaver over søjlerne indikerer statistisk signifikante forskelle mellem behandlingerne baseret på Tukey's HSD test ($p<0.05$).

# Næringsstofkoncentration i kernerne

- N < kritiske værdi (2 %)
- K> kritiske værdi (3.8 g/kg)
- P < kritiske værdi (3.2 g/kg) for NPK
- S ≈ kritiske værdi (1.2 g/kg)



# Opdatering af kritiske værdier til danske forhold

Askov 2023, @ Kristian Holst Laursen

Grafik fra copilot

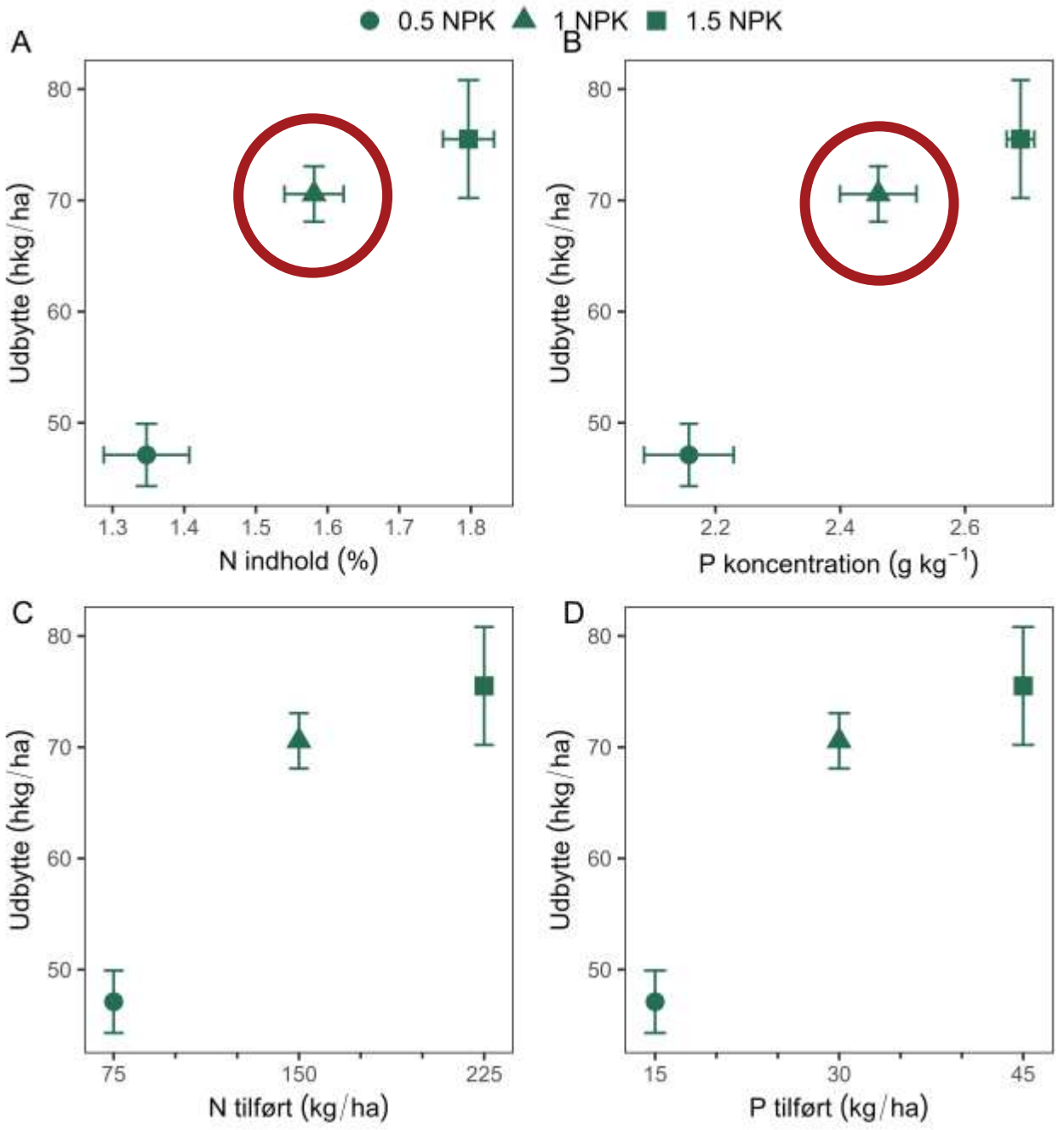
# Foreløbige nye kritiske værdier

NPK gradient:

- 0,5 NPK
- 1 NPK
- 1,5 NPK

**N = 1,6 %** (tidligere 2 %)

**P= 2,5 g/kg** (tidligere 3,2 g/kg)



# Konklusion

- For at kunne bruge kritiske værdier for næringsstoffer i korn i en dansk sammenhæng skal de justeres
- Endelig justering af kritiske værdier for N og P med Askov 2022, 2023, 2024 data
- Svovl- og manganmangel i landbruget?
- Kritisk værdi for svovl og mangan kan ikke justeres på baggrund af Askov data

# Drivhusforsøg - skjulte næringsstofmangler i vandkultur

- Dyrkes til modenhed
- Fokus på N, P, K, S, Mg, Mn og Cu
- 2 Gødningsniveauer:
- Makronæringsstoffer: 50 % og 75 %
- Mikronæringsstoffer: 25 % og 50 %

# Tak til

Kristian Holst Laursen

Frederikke Neergaard Mikkelsted

Dimitris Kafidas

Anja Ivø Hecht

Lena Byrgesen

Morten Cowland

Samarbejde med:

SEGES INNOVATION

FOSS

Danish Agro

Støttet af:

Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri

gudp