

Sådan måles potentiale for kvælstofudvaskning

Måling af jordens indhold af mineralsk kvælstof (N-min) om efteråret kan anvendes som indikator for den potentielle kvælstofudvaskning fra rodzonen. Prøvetagning og bestemmelse af N-min efter veldefinerede retningslinjer er afgørende for med hvilken præcision N-min er indikator for kvælstofudvaskning i vinterhalvåret.

CHRISTEN D. BØRGESEN, KRISTOFFER
PIL, FINN P. VINTHNER &
SØREN KOLIND HVID

N-min er en betegnelse for summen af en jords indhold af nitrat-N og ammonium-N. Indholdet af N-min bestemmes normalt til 1 meters dybde. Efter høst er N-min niveauet i jorden normalt lavt, fordi det mineralske kvælstof er optaget af afgrøden. På grund af mineralisering sker der på ubevokset jord en øgning af N-min gennem efteråret indtil afstrømningen begynder og der fjernes nitrat fra rodzonen ved udvaskning. Indholdet af N-min i jorden om efteråret før afstrømningen starter har stor betydning for, hvor meget kvælstof, der kan blive udvasket fra rodzonen i den efterfølgende vinterperiode.

Tidspunkt for prøvetagning

Det optimale tidspunkt for udtagning af jordprøver til bestemmelse af N-min om efteråret er umiddelbart inden afstrømningen ud af rodzonen begynder. På sandjord med en lille vandholdende evne begynder afstrømningen ud af rodzonen på et tidligere tidspunkt om efteråret end på lerjord. Derfor skal forskellige jordtyper prøvetages på forskellige tidspunkter. På sandjord kan der også hurtigere ske en større ændring i N-min som følge af afstrømning. Måling af N-min på sandjord er derfor væsentlig mere følsom for valg af prøvetag-



Foto 1. Prøvetagningsudstyret kan f. eks. være monteret på en Gator.

ningstidspunkt end lerjord. Prøvetagningen kan justeres i forhold til det tidspunkt, hvor det i det aktuelle år forventes, at jorden er fugtet op til markkapacitet og afstrømningen starter.

Anbefalede prøvetagningsterminer på baggrund af undersøgelser i projektet opdelt efter jordtype:

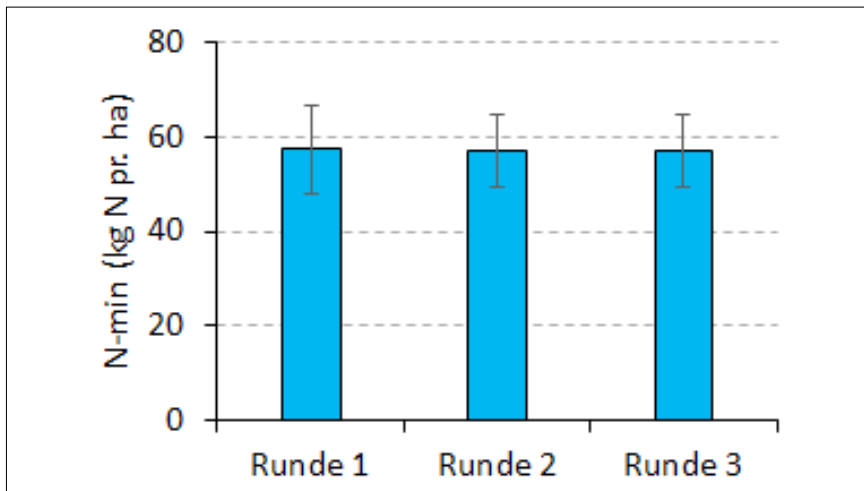
JB 1 og 3: 1. oktober – 15. oktober

JB 2 og 4: 15. oktober – 1. november

JB 5-7: 1. november – 15. november

Ændring i N-min gennem efteråret

Af praktiske grunde vil udtagning af jordprøver til bestemmelse af N-min strække sig over en periode på må-ske en måned, hvis der skal udtages mange prøver i et område. Derfor er det undersøgt, hvor meget N-min typisk kan ændre sig i prøvetagningsperioden, jf. figur 1. N-min indholdet i jorden kan stige ved mineralisering af jordens organiske materiale og hvis der tilføres gødning. N-min indholdet kan falde, hvis der bliver fjernet kvælstof fra



Figur 1. Middel N-min på 81 lokaliteter, der er prøvetaget på tre tidspunkter i løbet af efteråret. Runde 1 i 2. halvdel af september, runde 2 i oktober og runde 3 i november.

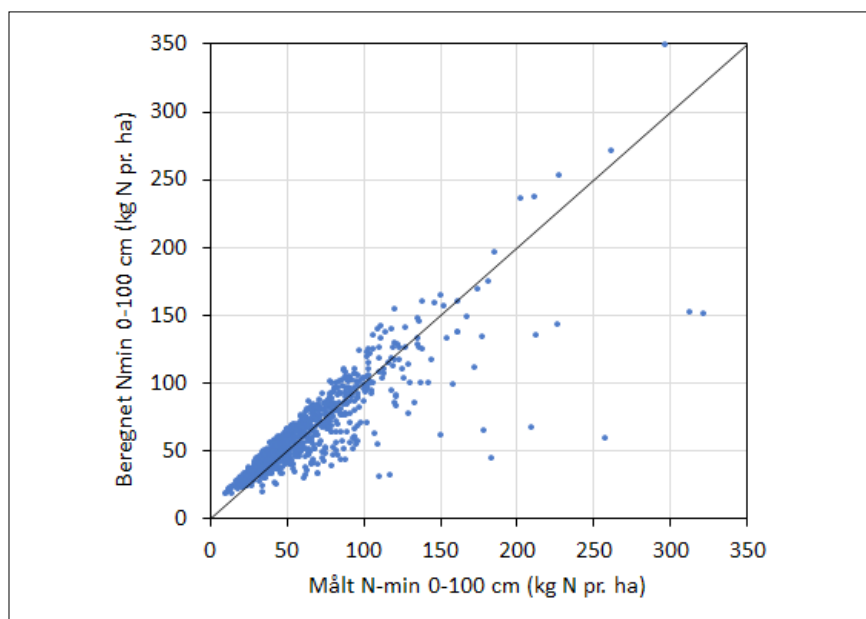
rodzonen ved udvaskning, denitrifikation og planteoptagelse. Normalt er flere af disse omsætningsprocesser i gang samtidig. Da prøvetagningsperioden ligger før der sker udvaskning, så vil udviklingen i N-min især afhænge af balancen mellem mineralisering, denitrifikation og planteoptagelse.

Figur 1 viser det gennemsnitlige N-min i jorden på 81 lokaliteter, der er prøvetaget på tre tidspunkter i løbet af efteråret. 1. runde med prøvetagning var i 2. halvdel af september. 2. runde var i oktober og 3. runde i november. I gennemsnit er der ingen forskel på N-min. På den enkelte lokalitet kan der være ret stor forskel på N-min mellem de tre runder, bl.a. afhængig af plantedækket på lokaliteten. Overordnet set viser undersøgelsen dog, at bestemmelse af N-min som gennem-

snit af flere marker er ret robust i forhold til prøvetagningstidspunktet.

Prøvetagning og markstørrelse

Hver jordprøve skal bestå af en sammenblanding af mindst 16 jordprøvestik. Inden for alle marker er der en variation i N-min. Jordprøven skal bedst muligt repræsentere det gennemsnitlige N-min niveau i marken. Antal ha pr. jordprøve er en afvejning af prøvetagningssikkerhed og omkostninger til prøvetagning. Det anbefales, at 1 jordprøve maksimalt repræsenterer 5 ha. Større marker neddeles i delmarker på maksimalt 5 ha. På det markareal, der er repræsenteret ved én prøve, skal der have været samme afgrøde og dyrkningspraksis på hele arealet.



Figur 2. N-min i 0-100 cm dybde estimeret ud fra målt N-min i 0-50 cm dybde sammenholdt med målt N-min i 0-100 cm dybde. 916 målinger i Kvadratnettet og i forsøgsmarker. Omregning: Beregnet N-min 0-100 cm = $1,3 \cdot \text{målt N-min 0-50 cm} + 8,9$ ($R^2 = 0,75$).

Prøvetagningsdybde

N-min indholdet i jorden bestemmes som standard til 1 meters dybde. Det er imidlertid undersøgt, om N-min kan bestemmes med en acceptabel sikkerhed ved at udtage jordprøverne til 50 cm dybde og så omregne til N-min i 1 meters dybde. Det er undersøgt ved at udtage et stort antal N-min prøver lagdelt til 1 meters dybde. Der er opstillet en relation mellem N-min målt i 0-50 cm dybde med N-min målt i 0-100 cm dybde. I figur 2 er vist, hvor godt N-min i 0-100 cm dybde kan estimeres med denne relation ud fra N-min målt i blot 0-50 cm dybde.

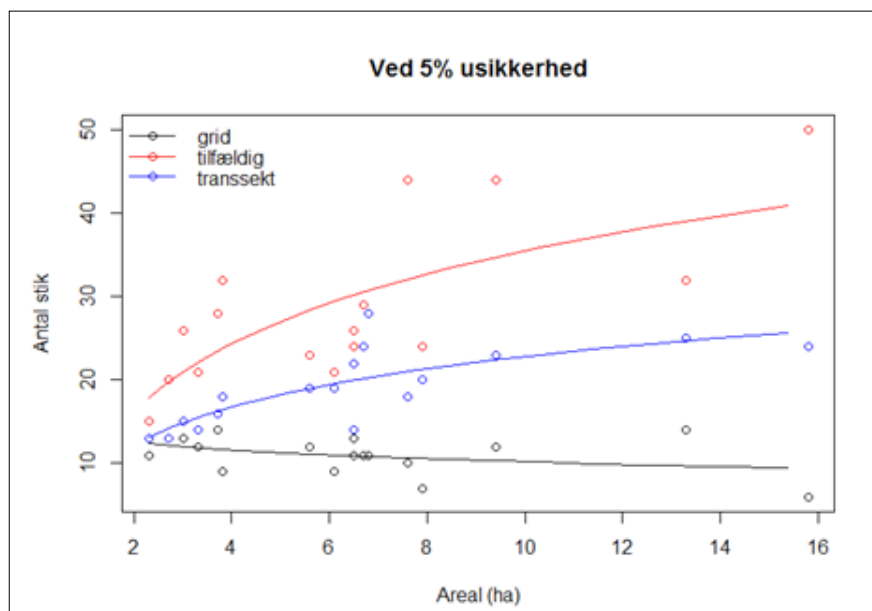
Prøvetagning i 0-50 cm dybde vil være langt billigere end prøvetagning til 1 meters dybde; men som det fremgår af figur 2, så er der for mange af prøvestederne en stor afvigelse mellem det beregnede N-min i 0-100 cm dybde sammenlignet med det målte indhold. Derfor anbefales det, at N-min prøver udtages til 1 meters dybde.

Udtagningslinjer

Der er gennemført en grundig analyse af den mest optimale prøvetagningsstrategi ^{1/}. Det er undersøgt på såkaldte prikmarker, hvor der er udtaget ét stik med jordprøveboret i et systematisk grid med 25 m mellem prøvetagningspunkterne (punktprøver). N-min er bestemt for hvert prøvepunkt. Derefter er der foretaget en statistisk analyse af hvilken udtagningsstrategi, der giver den mindste usikkerhed i forhold til den "sande" N-min værdi, der er beregnet som gennemsnittet af alle punktprøverne på marken. Udtagning af jordprøver i praksis er simuleret ved at beregne gennemsnittet af 16 punktprøver svarende til, at en jordprøve består af en sammenblanding af jord fra 16 enkeltstik fordelt på arealet. Udtagning af prøvestik i et grid giver den mindste usikkerhed, jf. figur 3. Udtagning af 16 stik på en linje, der går diagonalt fra hjørne til hjørne i forhold til markens dyrkningsretning, giver en lidt større usikkerhed. Udtagning af prøvestik på en diagonal linje er imidlertid langt hurtigere end udtagning i et grid, da der ikke skal køres så langt med prøvetageren. Samtidig begrænses afgrødeskaden ved prøvetagning på en diagonal linje. Det anbefales derfor, at en jordprøve udtages med mindst 16 prøvestik på den længste diagonallinje fra hjørne til hjørne på udtagningsfladen. De 16 stik placeres med lige stor indbyrdes afstand.

Gravetilladelse

Inden man går i gang med at udtage jordprøver til større dybde end 40 cm er det lovpligtigt at foretage en graveforespørgsel ved



Figur 3. Antal stikprøver som funktion af markens areal (ha) ved en N-min bestemmelsesusikkerhed på 5% for prøvetagning i henholdsvis et grid, tilfældig og på en transekt (diagonalinje).

ledningsejerregistret (LER). Hvis jordprøverne udtages på en linje, så skal forespørgslen mindst omfatte et areal, der går 5-10 meter til hver side i forhold til udtagningslinjen. Betalingen for ledningsoplysninger og tidsforbruget til forespørgslerne skal medregnes i omkostningerne ved udtagning af N-min prøver.

N-min eller kun nitrat

N-min omfatter både nitrat-N og ammonium-N i jorden. Nitrat-N udgør normalt langt den største andel af N-min. Opbevaring og håndtering af jordprøverne er enklere, hvis prøverne kun analyseres for nitrat. Der kan også spares lidt på analyseomkostningerne ved kun at analysere for nitrat og så omregne fra nitrat-N til N-min med en fast omregnings-

faktor. Der er gennemført en analyse af hvor sikkert N-min kan beregnes ud fra nitrat-N alene. Ud fra 1.065 bestemmelser af N-min, hvor der både er målt nitrat og ammonium er der opstillet en relation mellem målt nitrat-N i prøverne og målt N-min (nitrat-N + ammonium-N). I figur 4 er vist med hvilken sikkerhed N-min kan beregnes ud fra måling af nitrat alene.

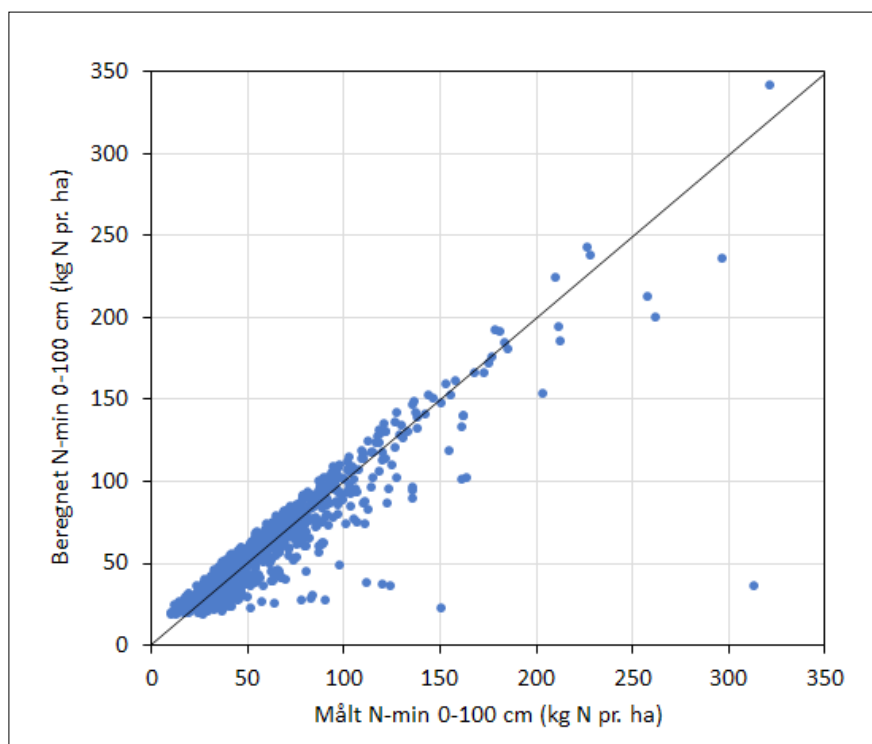
En analyse af 6.036 N-min målinger om efteråret i perioden 1986-2009 viste, at i 69 pct. af prøverne lå ammoniumindholdet i intervallet 5-15 kg N pr. ha. Kun 10 pct. af prøverne havde et indhold over 19 kg N pr. ha. Nitratindholdet i jorden varierer mere end ammoniumindholdet. Det skal dog bemærkes, at der er nogle prøver, hvor ammoniumandelen udgør en stor andel af N-min. Det gælder især ved lave N-min værdier. Det anbefales, at jordprøver til bestemmelse af N-min analyseres for både nitrat og ammonium.

Beregning af kg N-min pr. ha

Analyseværdierne, der opgøres i mg N pr. kg tør jord, skal omregnes til kg N pr. ha i 0-100 cm dybde. Til omregningen skal man anvende jordens rumvægt. For jordtyperne JB 1 til JB 7 anvendes normalt en standardrumvægt på 1,43 g pr. cm³, hvis humusindholdet er under 7%. For jordtyper med et højere humusindhold skal der anvendes en specifik rumvægt. Anvendelse af en standardrumvægt medfører en vis usikkerhed på bestemmelsen af N-min.

Usikkerhed på måling af N-min

Ved en eventuel anvendelse af N-min målinger til kvælstofregulering er det væsentligt at vide, hvilken usikkerhed den målte N-min er behæftet med. Usikkerheden på en N-min værdi skyldes dels den usikkerhed, der er på analysen i laboratoriet og omregningen til kg N-min pr. ha, dels usikkerheden på prøvetagningen i marken. Der er gennemført analyser af de forskellige usikkerheder [1]. Usikkerheden i marken stiger med stigende markstørrelse. Usikkerheden på prøvetagningen afhænger også af hvor meget N-min varierer inden for marken. Markvariationen er undersøgt i fire marker og ideelt bør markvariationen undersøges i flere marker, for at kunne generalisere usikkerhedsestimater. Under alle omstændigheder vil usikkerheden på en enkelt N-min måling være relativt stor. Derfor er det nødvendigt med et vist antal målinger for at kunne bestemme N-min med en acceptabel lav usikkerhed til reguleringsformål. Kravet til antal målinger vil afhænge af både N-min niveauet og variationen mellem marker. Antallet af målinger vil derfor afhænge af, om man ønsker at bestemme det gennemsnitlige N-



Figur 4. N-min estimeret ud fra målt nitrat-N sammenholdt med målt N-min (nitrat-N + ammonium-N). 1.065 målinger i kvadratnettet og i forsøgsmarker. Omregning: $Beregnet\ N-min = 1,05 * \text{målt nitrat-N} + 16$ ($R^2 = 0,84$).

Faktaboks:

Retningslinjer for måling af N-min.

Prøveudtagningstidspunkt:

JB 1 og 3: 1. oktober – 15. oktober

JB 2 og 4: 15. oktober – 1. november

JB 5-7: 1. november – 15. november

Prøvetagningsdybde: 1,0 meter

1 prøve pr. 5 ha.

16 enkeltstik pr. prøve. Diagonal prøvetagningslinje (længste diagonal fra hjørne til hjørne). Ingen stik på foragre.

Udtagne jordprøver nedkøles i marken med fryseelementer. Nedfryses herefter og sendes nedfrosne til laboratorium. Analyse for ammonium + nitrat efter standardmetode.

Omgregning af analyseresultat til N-min med standardrumvægt for JB1 til JB7 med humusindhold under 7 pct.

min på bedriftsniveau, hvor N-min kan variere meget mellem forskellige afgrøder, eller om man ønsker at bestemme det gennemsnitlige N-min i marker med en bestemt afgrøde. I projektet er tilvejebragt grundlaget for at beregne usikkerheden på et N-min estimat, der er beregnet som et gennemsnit af et antal målinger.

Hele bedrifter eller udvalgte afgrøder

Hvorvidt der skal måles N-min på hele bedriften eller kun i udvalgte afgrøder afhænger af hvordan reguleringsmodellen udformes. Der vil kunne fastsættes N-min normværdier på enten bedrifts- eller afgrødeniveau. Hvis man ønsker at bestemme det gennemsnitlige N-min niveau på bedriftsniveau, kan man eventuelt udforme retningslinjerne for prøvetagning således, at man kan udelade marker med bestemte afgrøder, hvor N-min med stor sikkerhed altid er meget lav. Det vil gælde permanente græsarealer, arealer med overvintrende frøgræs (ikke udlægsåret) og arealer med slætgræs (ikke udlægsåret). For marker med disse afgrøder kan der anvendes

en standard N-min værdi på 20 kg N pr. ha. Det svarer til gennemsnittet af målinger i disse afgrøder i Kvadratnettet.

Afgræsningsmarker og især marker med afgræsning sent på året er en særlig udfordring, da markvariationen i N-min er stor på grund af urin- og gødningsspletter. Afgræsningsmarker er ikke egnede til måling af N-min. Der kan i stedet fastsættes standardværdier baseret på antal dyreenheder og afgræsningsperiodens længde.

Måleomkostninger

Der er en række omkostninger forbundet med måling af N-min. Betalingen for en graveforespørgsel i ledningsejerregisteret udgør typisk 60 kr. pr. jordprøve. Tidsforbruget til planlægning af prøvetagningen på en bedrift, herunder kortlægning af udtagningslinjer, forespørgsel i ledningsejerregisteret og håndtering af GIS-filer, er estimeret til 12 minutter pr. jordprøve ved udtagning af i alt 40 jordprøver pr. bedrift. Ved en timepris på 700 kr. udgør det en omkostning på 140 kr. pr. prøve. Tidsforbruget til selve prøvetag-

ningen kan variere meget. Prøvetageren skal transporteres på en trailer til markerne. Nogle steder kan prøvetageren køre fra mark til mark. Prøvetageren må ikke køre på offentlig vej. Mange steder skal prøvetageren derfor transporteres på trailer fra mark til mark. Man må også regne med spildtid, når prøvetagningen må indstilles på grund af regnvej eller for våde marker. Det er estimeret, at tidsforbruget til prøvetagning inklusiv transporttid og forsendelse af jordprøver til laboratoriet vil variere mellem 1 og 2 timer pr. prøve. Der er regnet med en time-pris på 700 kr., der udover arbejds løn også skal dække omkostninger til kørsel og til forrentning og afskrivning af prøvetager og trailer. Prøvetagningen vil dermed koste mellem 700 og 1.400 kr. pr. prøve. Laboratorieanalysen koster ca. 70 kr. Endelig er der regnet med 6 minutter pr. prøve til beregning af analyseresultatet, data-lagring og til at informere landmanden. Det udgør en omkostning på ca. 90 kr. pr. prøve. I alt koster en N-min måling mellem 1.200 og 1.800 kr. Ved 1 prøve pr. 5 ha er der således en omkostning på 240 til 360 kr. pr. ha. Det er for dyrt til, at landmænd vil vælge at måle N-min på hele bedriften hvert år. Det er mere realistisk, at måling af N-min kan blive brugt målrettet efter bestemte afgrøder eller til stikprøveundersøgelser.

Referencer

/1/ Trénel, P., Boldsen S. 2018. Optimeret N-bestemmelse. Notat om statistisk optimering af bestemmelsen af N-min. Internt notat, SEGES

CHRISTEN DUUS-BØRGESSEN (christen.borgesen@agro.au.dk) og FINN P VINTHER (finnpilgaard.vinther@agro.au.dk) er begge seniorforskere ved Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi. Arbejder med kvælstofmodellering og kvælstoftab fra landbrugsjord
KRISTOFFER PIIL (krp@seges.dk) er specialkonsulent og SØREN KOLIND HVID (skh@seges.dk) er Landskonsulent begge ved SEGES, Agro Food Park, Aarhus.