

## Måling af nitrat i jord som grundlag for emissionsbaseret kvælstofregulering

Christen D. Børgesen, Helle Sønderbo og Finn P. Vinther, AU-AGRO  
Kristoffer Piil og Hans S. Østergaard, SEGES

Dette projekt er finanseret af:





## Indhold

<b>MÅLING AF NITRAT I JORD SOM GRUNDLAG FOR EMISSIONSBASERET KVÆLSTOFREGULERING.....</b>	<b>1</b>
<b>1 INTRODUKTION .....</b>	<b>5</b>
<b>2 BAGGRUND .....</b>	<b>6</b>
2.1 FAKTORER DER BESTEMMER DEN ÅRLIGE AKTUELLE NITRATUDVASKNING .....	7
2.2 REGULERING EFTER JORDENS NITRATINDHOLD I UDLANDET .....	7
2.3 N-MIN KONCEPTET - SOM ET FREMTIDIGT FRIVILLIGT REGULERINGSSYSTEM I DANMARK .....	7
2.4 STANDARDER FOR N-MIN KONCEPTET .....	8
<b>3 RELATIONER MELLEM N-MIN I JORD EFTERÅR OG N-UDVASKNING.....</b>	<b>9</b>
3.1 SAMMENDRAG .....	9
3.2 INDLEDNING.....	10
3.3 LITTERATUR DATA FOR N-MIN OG UDVASKNING .....	10
3.3.1 <i>Danske undersøgelser</i> .....	10
3.3.2 <i>Svenske undersøgelser</i> .....	16
3.3.3 <i>Tyske undersøgelser</i> .....	17
3.3.4 <i>Andre undersøgelser</i> .....	18
3.4 OPSAMLING.....	20
3.5 FORELØBIG RELATION MELLEM N-MIN OG N-UDVASKNING.....	21
3.6 ANVENDELSE AF FORELØBIG RELATION MELLEM N-MIN OG N-UDVASKNING MED TILHØRENDE OPSLAGSTABEL.....	21
3.7 USIKKERHED .....	22
<b>4 N-MIN KONCEPT – TEKNISKE ANVISNINGER ”KOGEBOKEN”.....</b>	<b>24</b>
4.1 PRØVETAGNING.....	24
4.1.1 <i>Prøveudtager og kvalitetskontrol</i> .....	24
4.1.2 <i>Tidspunkt for prøvetagning</i> .....	24
4.1.3 <i>Markstørrelse og prøvetagningsplan</i> .....	24
4.1.4 <i>Gravetilladelser</i> .....	24
4.1.5 <i>Prøvetagning</i> .....	25
4.1.6 <i>Analyser</i> .....	25
4.2 BEREGNING AF JORDENS INDHOLD AF N-MIN ELLER NITRATKVÆLSTOF I KG N PR. HA.....	25
<b>5 MÅLING AF NITRAT ALENE, ELLER MÅLING AF BÅDE NITRAT OG AMMONIUM .....</b>	<b>26</b>
<b>6 TIDSPUNKT FOR PRØVETAGNING OG KORREKTION FOR VEJRFORHOLD.....</b>	<b>29</b>
SAMMENDRAG .....	29
6.1 BAGGRUND.....	29
6.2 FREMGANGSMÅDE .....	29
6.3 RESULTATER.....	29
6.3.1 <i>N-min på markniveau</i> .....	30
6.4 KONKLUSION.....	34
6.5 KORREKTION AF N-MIN FOR VEJRFORHOLD I EFTERÅRET.....	34
<b>7 USIKKERHED FORBUNDET MED PRØVETAGNING OG ANALYSE .....</b>	<b>36</b>
7.1 BAGGRUND.....	37
7.2 FORMÅL.....	37
7.3 METODE .....	37

7.4	SAMLET USIKKERHED PÅ BESTEMMELSE AF NITRATINDHOLDET I EN MARK .....	38
7.5	USIKKERHEDEN PÅ OMREGNING AF LABORATORIEANALYSENS RESULTAT TIL KVÆLSTOFINDHOLD I JORDENS ØVERSTE METER.....	38
7.6	USIKKERHEDEN PÅ DEN KEMISKE NITRATANALYSE - LABORATORIEUSIKKERHEDEN.....	39
7.7	USIKKERHEDEN PÅ PRØVETAGNINGEN .....	40
<b>RESULTATER.....</b>		<b>43</b>
7.8	ANBEFALET ANTAL PRØVETAGNINGSSTIK I PRAKSIS .....	47
<b>8</b>	<b>SAMLET USIKKERHED PÅ METODEN .....</b>	<b>49</b>
8.1	METODE FOR STOKASTISK MODELLERING AF USIKKERHED FOR RUMVÆGTSBESTEMMELSE .....	49
8.2	METODE FOR STOKASTISK MODELLERING AF USIKKERHED FOR LABORATORIEANALYSE .....	50
8.3	METODE FOR STOKASTISK MODELLERING AF SAMLET USIKKERHED FOR PRØVETAGNING I EN MARK.....	50
8.4	METODE FOR STOKASTISK SIMULERING AF OMREGNINGEN FRA N-MIN SAMT DEN SAMLEDE USIKKERHED .....	51
8.5	SAMLET USIKKERHED FOR DEN ESTIMEREDE NITRATUDVASKNING .....	51
8.6	SAMLET USIKKERHED FOR DEN ESTIMEREDE NITRATUDVASKNING .....	53
<b>9</b>	<b>LABORATORIEANALYSER .....</b>	<b>56</b>
9.1	KRAV TIL LABORATORIEANALYSE .....	56
<b>10</b>	<b>BEREGNING AF JORDENS INDHOLD AF NITRATKVÆLSTOF I KG N/HA .....</b>	<b>57</b>
<b>11</b>	<b>GRAVETILLADELSER .....</b>	<b>58</b>
<b>12</b>	<b>BEGRÆNSNINGER I METODENS ANVENDELSE .....</b>	<b>59</b>
12.1	BEGRÆNSNINGER PÅ GRUND AF AFGRØDE.....	59
<b>13</b>	<b>OMKOSTNINGER OG ØKONOMISK POTENTIALE .....</b>	<b>60</b>
13.1	GRAVEFORESPØRGSLE I LEDNINGSEJERREGISTRET (LER).....	60
13.2	PRØVETAGNING OG ANALYSE.....	60
13.3	SAMLEDE OMKOSTNINGER .....	60
13.4	MARKSKADER.....	60
13.5	STYRINGSMULIGHEDER OG POTENTIALE .....	61
<b>BILAG 1. MÅLING AF NITRAT I JORD SOM REGULERINGSVÆRKTØJ I BADEN-WÜRTEMBERG, TYSKLAND.....</b>		<b>62</b>
<b>BILAG 2. MÅLING AF NITRAT I JORD SOM REGULERINGSVÆRKTØJ I FLANDERN, BELGIEN .....</b>		<b>67</b>
<b>BILAG 3. VEJLEDNING I PRØVETAGNING, OPBEVARING OG FORSENDELSE.....</b>		<b>71</b>
<b>BILAG 4. EUROFINS AGROTESTING DANMARK A/S LABORATORIE METODE BESKRIVELSE .....</b>		<b>73</b>

## 1 INTRODUKTION

Formålet med dette kapitel er at beskrive de faglige overvejelser, der er forbundet med at opgøre kvælstofudledningen fra enkelt-egendomme eller oplande, baseret på måling af jordens indhold af potentielt udvaskeligt kvælstof i rodzonen om efteråret. Den grundlæggende forudsætning er, at der er en sammenhæng mellem jordens indhold af N-min (nitrat-N + ammonium-N) i efteråret og størrelsen af nitratudvaskningen fra rodzonen i det efterfølgende vinterhalvår. Hvis denne sammenhæng kan beskrives med en matematisk relation, kan udvaskningens størrelse bestemmes ved at måle N-min i efteråret. Ud fra en øvre grænseværdi for udvaskning i et opland, kan der via denne relation bestemmes en grænseværdi for N-min på mark-, ejendoms- eller oplandsniveau. Overholdelse af disse grænseværdier kan kontrolleres ved måling af N-min indholdet i jordprøver udtaget på landmandens marker i efteråret.

Kapitlet indeholder både en beskrivelse af den teoretiske sammenhæng mellem N-min i jorden og nitratudvaskningen i det efterfølgende vinterhalvår samt en beskrivelse af N-min konceptet med en angivelse af de praktiske retningslinjer for både prøvetagning og analyse. Desuden præsenteres de analyser, der ligger til grund for disse retningslinjer. Der er lagt vægt på at beskrive sammenhængen og de usikkerheder, der er forbundet med anvendelse N-min konceptet. Hvor det er muligt er disse usikkerheder kvantificeret.

Beskrivelsen af N-min konceptet bygger overordnet på følgende delelementer:

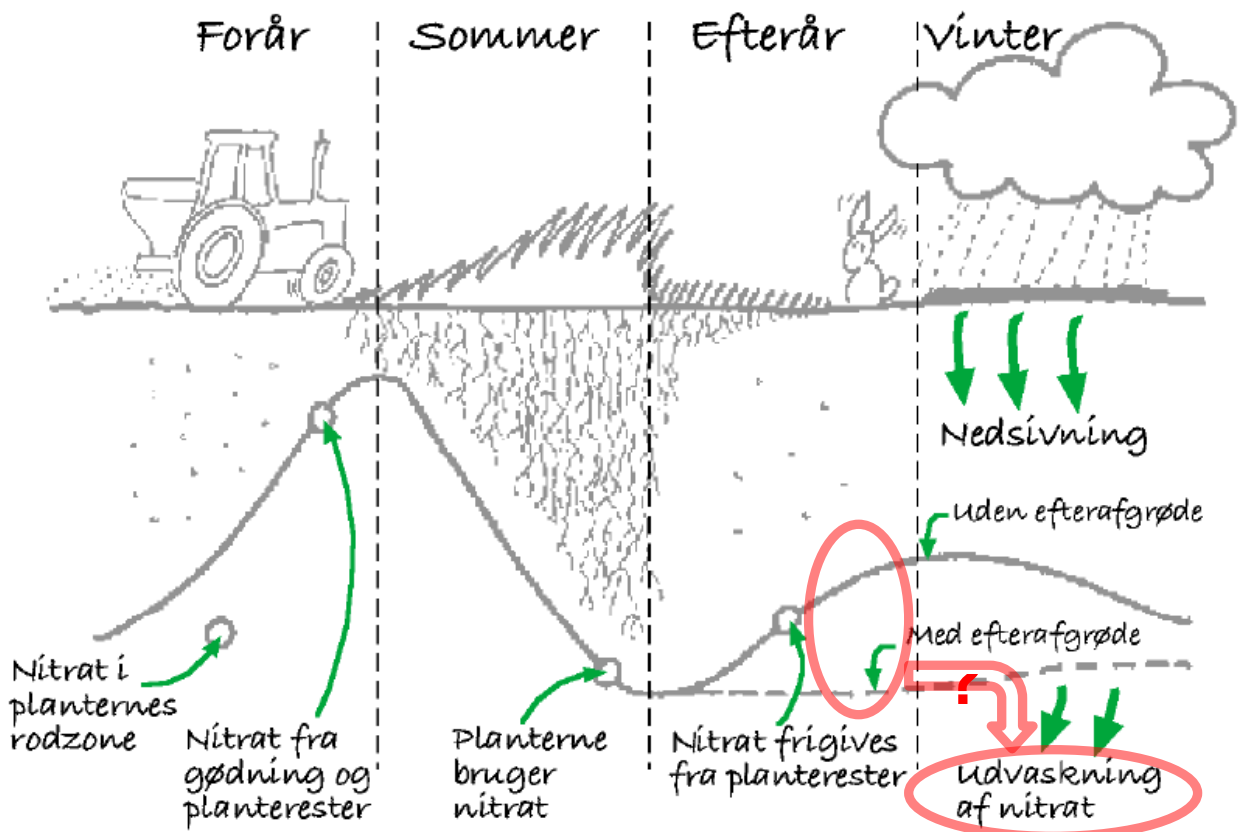
- 1) Fastsættelse af sammenhængen mellem de beskrivende parametre jordtype, afstrømning og det målte N-min indhold i efteråret på den ene side og nitratudvaskningen i den følgende afstrømningsperiode på den anden side. Desuden kvantificeres usikkerheden på denne sammenhæng.
- 2) Fastsættelse af den maksimale arealstørrelse som én N-min prøve kan repræsenterer og bestemmelse af usikkerheden på bestemmelsen af jordens N-min indhold.
- 3) Fastlægnings af optimalt prøvetagningstidspunkt.
- 4) Prøvetagningsmetode, prøvehåndtering og analyseparametre.
- 5) Udvikling af en metode til klimanormalisering af det målte nitratindhold

Der opstilles i kapitlet en foreløbig beskrivelse af sammenhængen mellem N-min i rodzonen i efteråret og så den efterfølgende nitratudvaskning. Denne sammenhæng er baseret på data fra gennemførte danske markforsøg og fra litteraturen. Ved projektafslutning (2018) kvalificeres denne sammenhæng yderligere. Som grundlag herfor gennemføres der i perioden 2014-2017 en række markforsøg med målinger af både nitratudvaskning og N-min indholdet i jorden i efteråret.

## 2 BAGGRUND

Den mineralske kvælstofpulje i jord består af nitrat- og ammoniumkvælstof. Nitrat er under de fleste forhold den dominerende komponent og er ligeledes den form for mineralsk kvælstof, der lettest kan udvaskes.

Jordens nitratindehold varierer meget henover året (se figur 2.1), mens indholdet af ammonium som udgangspunkt er mere konstant. Udviklingen i N-min hen over året er derfor primært drevet af ændringer i jordens nitratindehold. Ammoniumindholdet kan dog ændre sig betydeligt ved tildeling af husdyrgødning eller andre ammoniumholdige gødninger og det er i kapitel 5 analyseret, om man kan nøjes med at undersøge jordens nitratindehold, eller om det er nødvendigt at måle både nitrat og ammonium (N-min). Den typiske udvikling i jordens nitratindehold hen over året er beskrevet på figur 2.1 og i teksten nedenfor.



**Figur 2.1.** Det typiske forløb af jordens nitratindehold i en landbrugsjord igennem året.

Den typiske dynamik i jordens nitratindehold over året ved dyrkning af almindelige landbrugsafgrøder kan overordnet beskrives således: **Forår:** Ved vækstsæsonens begyndelse er mængden af nitrat stor som følge af tilført af kvælstofgødning. **Sommer:** I løbet af vækstsæsonen tømmes jorden næsten helt for nitrat som følge af afgrødens kvælstofoptagelse. Ved høst er nitratindeholdet i jorden derfor lavt. Fordampningen af vand fra afgrøden om sommeren betyder, at der ikke løber vand ud af rodzonen, og derfor sker der ingen nitratudvaskning. **Efterår:** Hvis jorden er ubevokset om efteråret, vil den frigivelse af kvælstof fra omsætning af planterester og organisk stof føre til, at nitratindeholdet igen stiger. Hvis jorden er bevokset med en efterafgrøde af f.eks. græs, vil den voksende afgrøde optage en stor del af kvælstoffet, og indholdet af ni-

trat i jorden vil forblive lavt. **Vinter:** En større eller mindre del af det nitrat, som jorden indeholder om efteråret, kan – afhængig af nedbørsmængde og jordtype – udvaskes i vinterhalvåret. Indholdet af nitrat i jorden falder derfor når afstrømningen fra jorden begynder, hvilket typisk sker mellem oktober og december, afhængig af jordtypen og vejrforholdene.

## 2.1 Faktorer der bestemmer den årlige aktuelle nitratudvaskning

Kvælstofudvaskningen fra jorden bestemmes af jordens nitratindhold i efteråret og vandafstrømningen fra rodzonen.

Jo større jordens nitratindhold er i efteråret før afstrømningen fra marken begynder, jo større er risikoen for udvaskning i afstrømningsperioden. Nitratindholdet i jorden i efteråret påvirkes af dyrkningshistorien, herunder N gødsning og afgrødevalg. F.eks. påvirker dyrkningshistorien størrelsen af jordens puljer af organisk kvælstof, der kan omsættes ved mineralisering til ammonium og nitrat. Efterårsbevoksningen på marken har stor betydning for kvælstofindholdet i jorden, da nogle afgrøder kan optage store mængder kvælstof fra rodzonen i efteråret og derved reducere nitratindholdet i jorden. Dette er veldokumenteret for vel-etablerede efterafgrøder, græsmarker eller roer.

Vandafstrømningen fra jorden bestemmes af nedbør, jordtype, og efterårsbevoksningen på arealet. Stor nedbør giver større vandbalanceoverskud og dermed større afstrømning. Sandede jorder kan tilbageholde mindre vand end lerede jorder, hvorfor afstrømningen vil være større på sandjord end på lerjord. Er arealet bevokset om efteråret kan fordampning fra afgrøden medvirke til at mindske afstrømningen, fordi der forekommer større fordampning fra et bevokset areal.

## 2.2 Regulering efter jordens nitratindhold i udlandet

Der findes i udlandet (se f. eks. Finck (2014)) igangværende kontrolsystemer af landbrug, hvor jordens nitratindhold målt i efteråret anvendes som indikator for kvælstofudvaskningens størrelse. Metoden anvendes i den tyske delstat Baden-Württemberg og i Flandern i Belgien, og er den del af den landbrugsovervågning der skal dokumentere, at nitratdirektivet overholdes. Kontrolsystemerne er omfattende; til eksempel prøvetages der årligt mellem 25.000 ha og 30.000 ha i Baden-Württemberg. I Baden-Württemberg er der defineret en række overvågningsværdier og toleranceværdier, hvor overskridelse af overvågningsværdierne medfører hyppigere prøvetagning i de følgende år, mens overskridelse af toleranceværdierne medfører bortfald af den del af landbrugsstøtten, der udbetales til miljøtiltag. Toleranceværdierne er defineret ud fra jordtypen og det ønskede beskyttelsesniveau i de enkelte områder. Systemet i Baden-Württemberg er beskrevet i bilag 1 og resultaterne fra programmet kan findes i Finck (2014). Kontrolsystemet for Flandern er beskrevet i bilag 2.

## 2.3 N-min konceptet - som et fremtidigt frivilligt reguleringssystem i Danmark

I udviklingen af nærværende koncept er det forudsat, at regulering efter jordens N-min eller nitratindhold er en tilvalgsmulighed for landmanden, som delvist eller helt kan erstatte den nuværende mere generelle regulering. Vælges emissionsbaseret regulering af bedriften efter jordens N-min eller nitratindhold vælges også, at der skal ske en dataindsamling (måling af N-min eller nitratindholdet i jorden) baseret på en beskrevet metode. Forud for tilmeldingen til systemet skal landmanden både kende betingelserne i metoden herunder de usikkerheder, der er med hensyn til måleusikkerhed mv. samt være bekendt med de sanktioner, der er ved en overskridelse af de fastsatte grænseværdier.

Regulering efter jordens N-min indhold tænkes at erstatte de gældende generelle regler vedrørende kvælstofkvoter, efterafgrøder og andre dyrkningsrelaterede regler (nugældende bekendtgørelse om gødsning og plantedække). Det forudsættes dog, at reglerne om harmoniarealer, opbevaringskapacitet og udbringningstidspunkter for husdyr- og handelsgødning fortsat skal overholdes.

## 2.4 Standarder for N-min konceptet

Anvendelse af N-min eller nitratmålinger til regulering af areal- og kvælstofanvendelsen kræver, at der fastsættes grænseværdier (tålegrænser) for, hvor stort nitratindholdet om efteråret må være. Grænseværdierne kan i princippet fastsættes på mark-, bedrifts- og oplandsniveau. Udover fastsættelse af grænseværdierne kræver metoden, at der opstilles kravspecifikationer for en række forhold. Det drejer sig om:

- Tidspunkt for prøvetagning
- Fremgangsmåde ved udtagning af jordprøven
- Fremgangsmåde ved opbevaring, transport og analyse af jordprøven

Disse forhold er beskrevet kortfattet i kapitel 4 "**N-min koncept – Tekniske anvisninger**", hvor der er givet en foreløbig "*kogebog*" for den praktiske gennemførelse af jordprøvetagningen og prøvehåndtering.

I kapitel 3 "**Relationer mellem N-min i jord efterår og N-udvaskning**" er sammenhængen mellem jordens N-min indhold om efteråret og nitratudvaskningen analyseret baseret på litteraturstudier. I analysen er der opstillet **en foreløbig** sammenhæng mellem N-min målt i efteråret og nitratudvaskningen i det efterfølgende vinterhalvår. Analysens konklusioner er beskrevet i et kort sammendrag.



### 3 RELATIONER MELLEM N-MIN I JORD EFTERÅR OG N-UDVASKNING

#### 3.1 Sammendrag

Med fokus på danske, svenske, tyske og en enkelt nordvestfransk undersøgelse er der foretaget en vurdering af sammenhængen mellem N-min om efteråret og N-udvaskning i den efterfølgende vinterperiode. N-udvaskningen er stærkt afhængig af nedbørsmængden det pågældende år, hvorfor udvaskningsdata er udtrykt som normaliseret udvaskning, dvs. angivet som gennemsnitskoncentration i mg N/l.

Der er set på, hvordan sammenhængen mellem N-min og normaliseret N-udvaskning påvirkes af tidspunktet for N-minmåling (1), afgrøde (2) og jordtype (3).

Tidspunkt for N-minmåling: N-minmålinger er i den gennemgåede litteratur foretaget i månederne september, oktober og/eller november. Resultaterne viser, at nitratmålinger i september er for tidligt. Desuden viser resultaterne, at der ikke er signifikante forskelle på N-minmålinger foretaget i oktober og november.

Afgrøde: Resultaterne tyder på, at afgrøder med stor N-optagelse i efteråret (vinterraps og sukkerroer) samt efterafgrøder har betydning for forholdet mellem N-min og normaliseret N-udvaskning.

Jordtype: Resultaterne viser, at jordtypen har betydning for forholdet mellem N-min og normaliseret N-udvaskning. Ud fra de gennemgåede data vurderes forholdet mellem N-min og normaliseret N-udvaskning at være ca. 0,32 for sandjord (JB 1-4) og ca. 0,16 for lerjord (JB 5-8).

Forsøgene viser som nævnt, at såvel plantedække om efteråret som jordtype har betydning for forholdet mellem N-min efterår og udvaskning i den efterfølgende periode. Men på grund af det lille antal forsøg repræsenterende den enkelte afgrøde vil det være meget usikkert at angive et N-min/udvaskningsforhold for enkelte eller grupper af afgrøder, og det er her valgt kun at fokusere på forskelle mellem jordtyper, dvs. sandjord (JB1-4) og lerjord (>JB4), som skitseret ovenfor. Effekten af plantedække om efteråret, såsom f.eks. efterafgrøder, vil komme til udtryk ved et lavere indhold af uorganisk N i jorden, hvorved der vil blive beregnet en lavere udvaskning.

N-udvaskning kan derfor estimeres ud fra målinger af N-min om efteråret vha. følgende udtryk:

$$\text{N-udvaskning (kg N/ha)} = (\text{N-min (kg N/ha)}) * F * A \text{ (mm)} / 100,$$

hvor:

F = Forholdet mellem N-min (kg N/ha) og normaliseret N-udvaskning (mg N/L). F = 0,32 på sandjord (JB1-4) og 0,16 på lerjord (>JB4) og

A = Afstrømning (mm) for pågældende jordtype, afgrøde og klimaregion.

Der er udarbejdet opslagstabeller, hvor udvaskningen fra rodzonen (kg N/ha) ved forskellige værdier af afstrømning (mm) og N-min efterår (kg N/ha) på hhv. sandjord (JB1-4) og lerjord (>JB4) kan aflæses. De beregnede relationer mellem N-min og udvaskning er behæftet med betydelig usikkerhed, - dels en usikkerhed på målingerne af N-min og udvaskning i de enkelte markforsøg, der ligger til grund for relationen og dels usikkerheden ved at beregne den endelige relation som et gennemsnit af forholdsvis få markforsøg. Variationskoefficienten, dvs. standardafvigelsen delt med middelværdien, for relationen mellem N-min efterår og udvaskning kan beregnes til 30 %. Relationerne, som er beregnet i dette litteraturstudie, **skal betragtes som foreløbige**, og vil blive verificeret med et større antal målinger af N-min og udvaskning, som gennemføres i projektet.

### 3.2 Indledning

Det synes indlysende, at jordens indhold af nitrat om efteråret er en afgørende faktor for hvor meget N, der potentielt kan blive udvasket i den efterfølgende vinterperiode jfr. figur 1. Anvendelse af målinger af N-min om efteråret til at vurdere størrelsen af nitratudvaskningen forudsætter dog en god relation til at beregne den efterfølgende nitratudvaskning.

Vi har her vha. tilgængelig litteratur undersøgt, om der findes anvendelige relationer mellem N-min efterår og nitratudvaskning i den efterfølgende vinterperiode. Mængden af litteratur om emnet, dvs. litteratur, der indeholder data/datasæt med samhørende værdier for N-min efterår og nitratudvaskning, er dog forholdsvis begrænset, og da måling af både N-min og nitratudvaskning er karakteriseret af stor usikkerhed, kan det være vanskeligt at fastsætte statistisk sikre relationer mellem N-min efterår og den efterfølgende nitratudvaskning.

### 3.3 Litteratur data for N-min og udvaskning

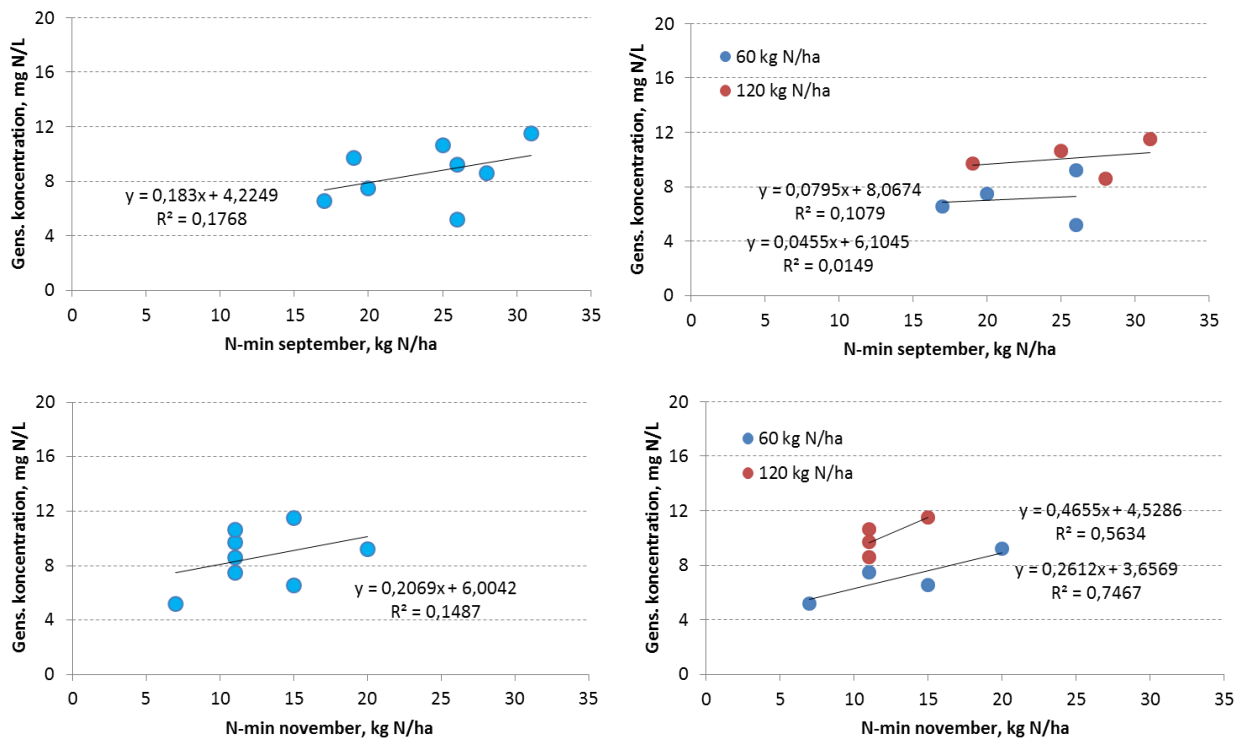
Der er fokuseret på både danske undersøgelser, og undersøgelser fra vore nabolande Sverige og Tyskland og suppleret med en enkelt undersøgelse fra det nordvestlige Frankrig. Resultaterne er præsenteret i figurer med N-min (kg N/ha) på x-aksen og årlig gennemsnitlig N koncentration på y-aksen. For om muligt at neutralisere variationen mellem år som følge af forskellig nedbør og afstrømning, er data omregnet til gennemsnitlig årlig nitrat-N koncentration (mg N/L), og er i den efterfølgende tekst og figurer benævnt som afstrømningsnormaliseret udvaskning.

I figurerne (3.1 ...3.5) er der vist en lineær regression med tilhørende hældnings- og korrelationskoefficienter, hvor  $y$  = årlig nitratudvaskning (mg N/L eller kg N/ha) og  $x$  = N-min efterår (kg N/ha).

I figurerne er der vist en lineær regression med tilhørende hældnings- og korrelationskoefficienter, hvor  $y$  = afstrømningsnormaliseret udvaskning eller gennemsnitskoncentration (mg N/L) og  $x$  = N-min efterår (kg N/ha).

#### 3.3.1 Danske undersøgelser

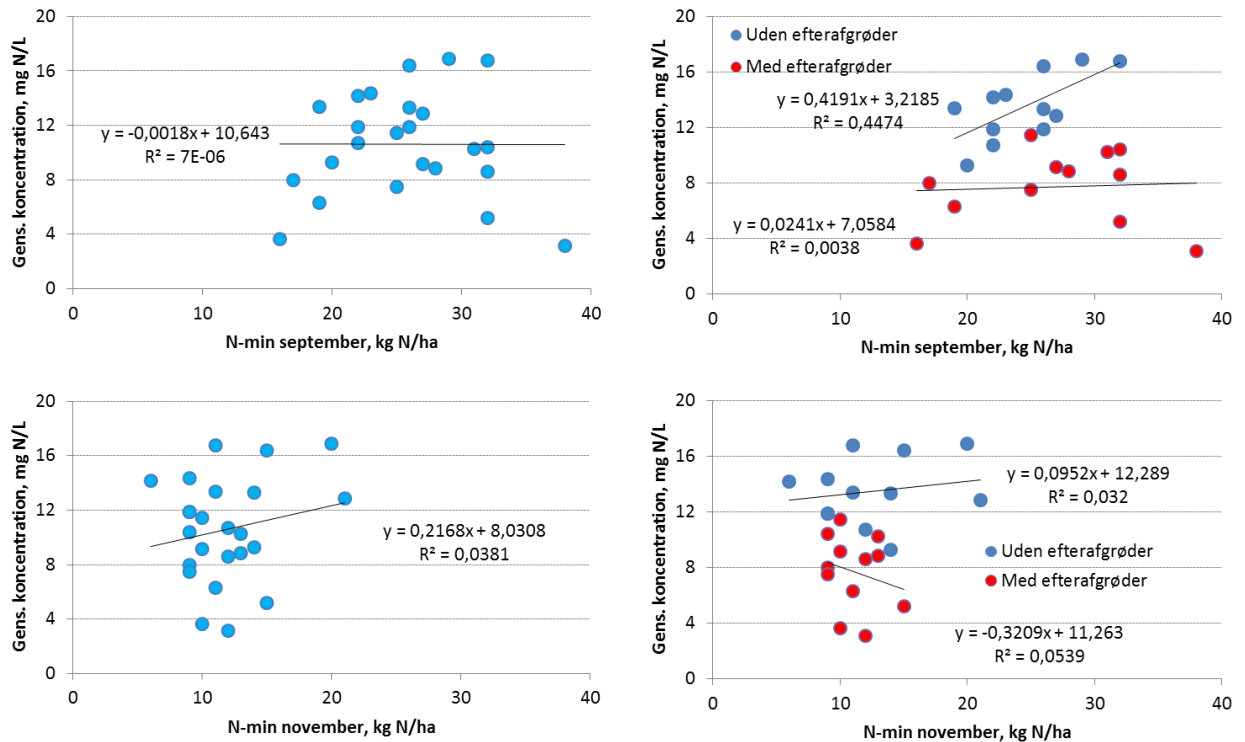
Hansen & Djurhuus (1996) gennemførte i perioden 1987-1992 et forsøg på grovsandet jord (JB 1) i Jyndevad for at undersøge effekten af gødningstildeling (60 og 120 kg N/ha) på udvaskning fra vårbyg. Der blev målt N-min i dybden 0-80 cm både september og november, og samhørende værdier for N-min (kg N/ha) og normaliseret nitratudvaskning (mg N/L) er vist i Fig. 3.1.



**Figur 3.1** Relationer mellem normaliseret årlig nitratudvaskning (mg N/L) og N-min (kg N/ha) i Jyndevad (JB 1) målt hhv. september (øverst) og november (nederst), og opdelt efter gødskning med 60 eller 120 kg N/ha. Afgrøde vårbyg. Fra Hansen & Djurhuus (1996).

Det ses i Fig. 3.1, at der er en positiv sammenhæng mellem N-min både september og november og nitratudvaskning. Dog er sammenhængen væsentlig dårligere, hvis N-min måles i september i stedet for i november med  $R^2$ -værdier på hhv. 0,14 og 0,25. Det kan også bemærkes, at N-min målt i november er 10-15 kg N/ha lavere end i september. Der er tilsyneladende sket en reduktion i N-min i denne størrelsesorden i den mellemliggende periode.

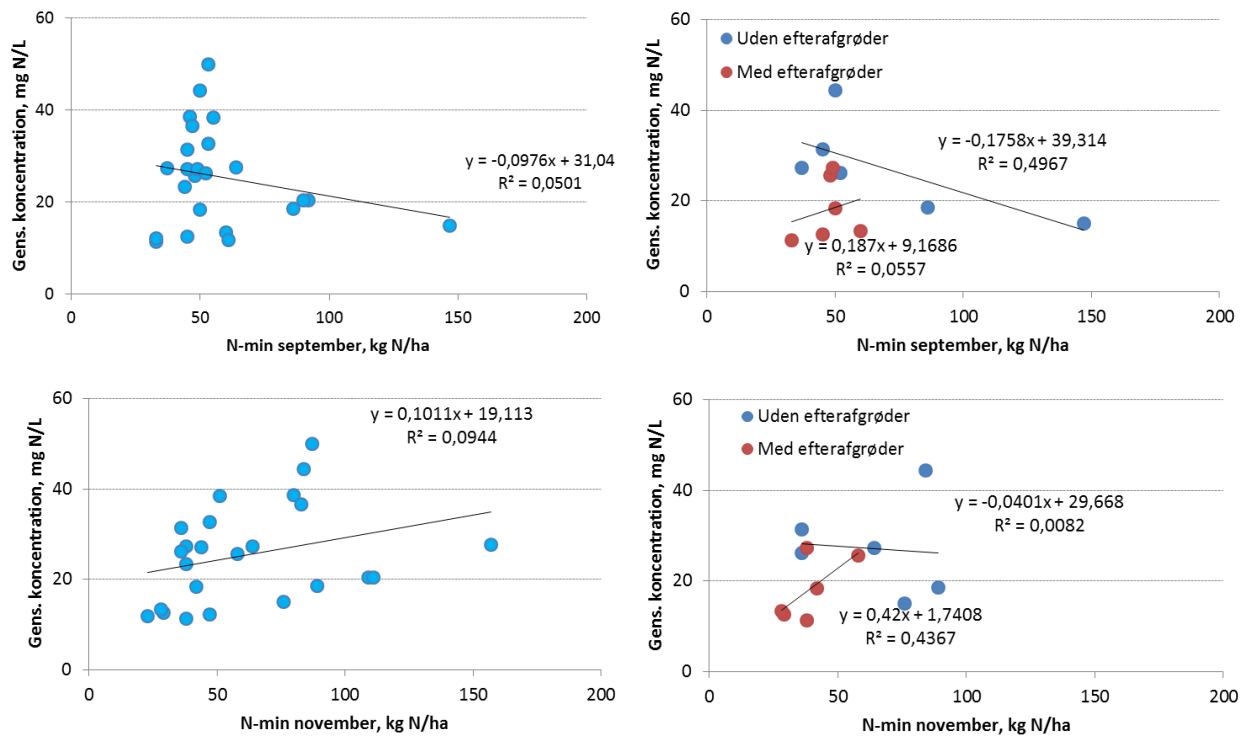
Hansen & Djurhuus (1997) gennemførte i perioden 1988-1992 en forsøgsserie med det formål at undersøge effekter af jordbearbejdning og efterafgrøder på nitratudvaskning fra vårbyg. Undersøgelserne blev gennemført i Jyndevad (JB 1) og i Ødum (JB 6). Der blev målt N-min i 0-80 cm i Jyndevad og 0-100 cm i Ødum både september og november og samhörørende værdier for N-min og normaliseret nitratudvaskning er vist i hhv. Fig. 3.2 og Fig. 3.3.



**Figur 3.2.** Relationer mellem normaliseret årlig nitratudvaskning (mg N/L) og N-min i Jyndevad (JB 1) målt hhv. september (øverst) og november (nederst), og opdelt efter om det er uden eller med efterafgrøder (højre). Afgrøde vårbyg. Fra Hansen & Djurhuus (1997).

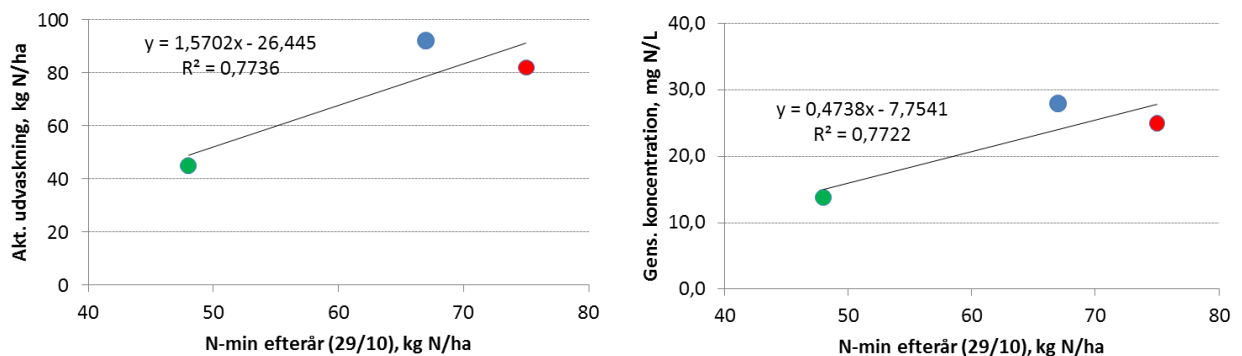
Samhørende værdier for N-min og nitratudvaskning i Jyndevad er vist i Fig. 3.2 og de lave  $R^2$ -værdier for relationerne mellem udvaskning og N-min både september og november antyder, at der er en ikke signifikant sammenhæng, når alle forsøgsbehandlinger betragtes under ét. Sammenhængen er lidt bedre når N-min måles i november end i september. Opdeles resultaterne i uden eller med efterafgrøder ses en noget bedre sammenhæng i forsøgsled uden efterafgrøder end i forsøgsled med efterafgrøder.

Samhørende værdier for N-min og nitratudvaskning i Ødum er vist i figur 3.3 og det fremgår her, at der på denne jordtype (JB 6) ikke er nogen forklarlig sammenhæng mellem N-min og nitratudvaskning uanset tidspunkt for N-min målinger, og uanset om en mulig outlier (Nitrat = 147 kg N/ha) medregnes eller udelades fra relationen (ikke vist).



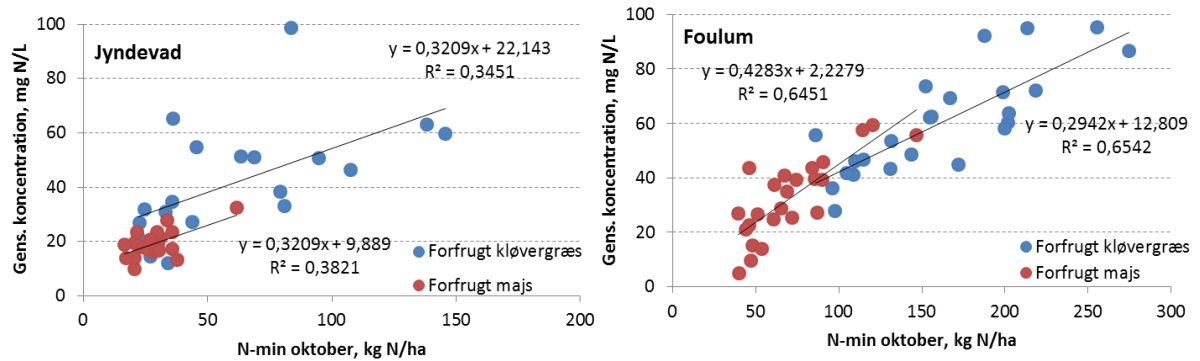
**Figur 3.3** Relationer mellem normaliseret årlig udvaskning (mg N/L) og N-min i Ødum (JB 6) målt hhv. september (øverst) og november (nederst), og opdelt efter om det er uden eller med efterafgrøder (højre). Afgrøde vårbyg. Fra Hansen & Djurhuus (1997).

Hansen & Munkholm (2014) har offentliggjort et enkelt års (2013/14) samhørende værdier for N-min (målt 29/10) og nitratudvaskning (14/10 - 20/3) fra et fastliggende forsøg i Foulum (JB 4) med tidlig såning af vinterhvede (Figur 3.4). Det kan beregnes herfra, at N-min d. 29/10 var 20-30 kg N/ha lavere ved tidlig såning end ved normal og sen såning, og at tidlig såning har reduceret nitratudvaskningen betydeligt. Der er her en god sammenhæng mellem N-min og nitratudvaskning, men det skal dog også bemærkes at der kun indgår tre punkter i relationen.



**Figur 3.4.** Relationer mellem N-min i Foulum (JB 4) målt 29/10 og aktuel (venstre) eller normaliseret nitratudvaskning (højre). Afgrøde vinterhvede sået hhv. 3/9 (grøn), 18/9 (blå) og 27/9 (rød). Fra Hansen & Munkholm (2014).

Manevski et al. (2014) har i perioden 2009-2011 gennemført markforsøg i Jyndeved (JB1) og Foulum (JB4) med målinger af N-min i oktober og november og målinger af årlig nitratudvaskning i majs med kløvergræs eller majs som forfrugt og med efterafgrøder. Der er udarbejdet plots med alle samhørende værdier for årlig normaliseret nitratudvaskning (mg N/L) og N-min (kg N/ha) i oktober eller november. Figur 3.5 viser et ek-



**Figur 3.5** Relationer mellem normaliseret nitratudvaskning (mg N/L) og N-min (kg N/ha) målt oktober opdelt efter forfrugt i Jyndeved og Foulum. Afgrøde majs.

sempel herfra, hvor relationerne er sammenlignet mellem Jyndeved og Foulum med hhv. kløvergræs og majs som forfrugt.

Det fremgår af Fig. 3.5 at der er en betydelig variation i N-min, men det fremgår dog samtidig at N-min målt i oktober er væsentligt højere i Foulum (40-275 kg N/ha) end i Jyndeved (17-145 kg N/ha). Endvidere ses at N-min er betydelig lavere med majs som forfrugt end med kløvergræs.

**Tabel 3.1.** Hældnings- (x) og korrelations-koefficienter (R<sup>2</sup>) for relationer mellem N-min efterår (oktober eller november) og årlig normaliseret nitratudvaskning (mg N/l) i majs-forsøgene i Jyndeved og Foulum. Øverst alle forsøgsresultater og dernæst opdelt efter forfrugt, som er yderligere opdelt om det er uden (-cc) eller med efterafgrøde (+cc). Data fra Kiril Manevski (pers.meddel.).

	Jyndeved (JB1)				Foulum (JB4)			
	N-min oktober		N-min november		N-min oktober		N-min november	
	X	R <sup>2</sup>	x	R <sup>2</sup>	x	R <sup>2</sup>	x	R <sup>2</sup>
Alle	0,421	0,51	0,505	0,14	0,314	0,78	0,282	0,74
Forfrugt kløvergræs	0,321	0,35	0,731	0,19	0,294	0,65	0,252	0,49
-cc	0,216	0,15	-0,289	0,03	0,201	0,35	0,275	0,31
+cc	0,318	0,72	0,763	0,47	0,286	0,59	0,309	0,75
Forfrugt majs	0,285	0,38	0,232	0,35	0,428	0,65	0,374	0,71
-cc	0,285	0,54	0,205	0,50	0,346	0,74	0,314	0,83
+cc	0,213	0,14	0,035	0,00	0,489	0,64	0,415	0,69

Tabel 3.1 viser hældnings- (x) og korrelations-koefficienter (r<sup>2</sup>) for relationer mellem N-min efterår (oktober eller november) og årlig normaliseret nitratudvaskning (mg N/L) i majs-forsøgene i Jyndeved og Foulum.

Der er en del variation mellem behandlingerne i både Jyndeved og Foulum, og tilsyneladende ingen nævneværdig og forklarlig forskel afhængig af hverken forfrugt, efterafgrøder, jordtype eller tidspunkt for N-min

målinger. Hvis alle resultater betragtes under ét synes hældningskoefficienterne dog at være højere i Jyndevad (JB 1) end i Foulum (JB 4). Endvidere antyder den lave  $R^2$ -værdi på 0,12 for N-min november i Jyndevad, at november er for sent til N-min målingerne på denne jordtype.

Spørgsmålet om hvorvidt prøveudtagningstidspunktet har betydning for N-min kan belyses ud fra dette forsøg, idet N-min er målt både oktober og november (Tabel 3.2).

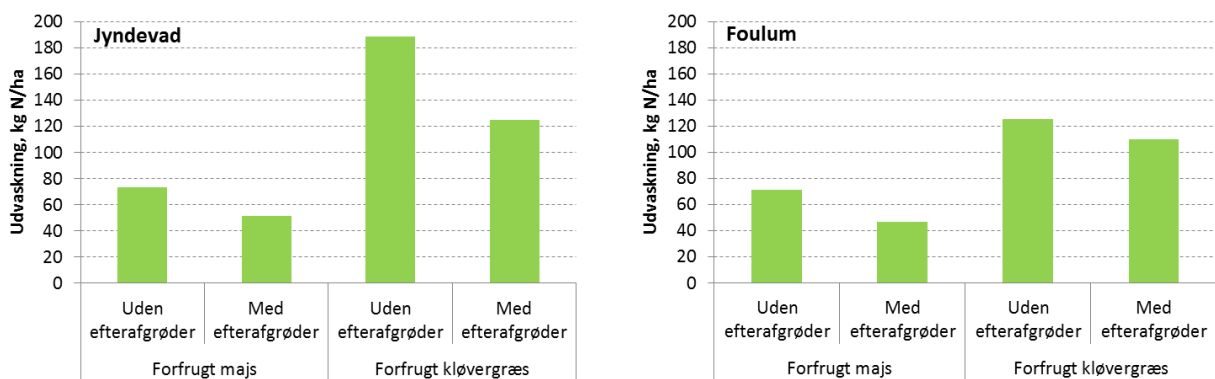
**Tabel 3.2.** N-min (kg N/ha) målt i oktober eller november i årene 2009-2011 i Jyndevad og Foulum med kløvergræs eller majs som forfrugt.

Jyndevad	Forfrugt kløvergræs						Forfrugt majs					
	2009		2010		2011		2009		2010		2011	
	Gns	Std	Gns	Std	Gns	Std	Gns	Std	Gns	Std	Gns	Std
<b>Oktober</b>	37,5	14,0	47,3	23,6	108,1	26,9	31,8	13,0	25,1	8,2	25,9	3,8
<b>November</b>	28,1	13,9	26,9	14,0			30,8	15,9	17,2	7,9		

Foulum	Forfrugt kløvergræs						Forfrugt majs					
	2009		2010		2011		2009		2010		2011	
	Gns	Std	Gns	Std	Gns	Std	Gns	Std	Gns	Std	Gns	Std
<b>Oktober</b>	113,9	28,1	174,5	50,5	189,3	35,4	58,0	14,7	58,5	18,1	94,1	27,9
<b>November</b>	156,6	50,5	161,4	48,2	204,5	48,2	58,6	27,0	63,7	20,6	104,3	31,7

N-min er karakteriseret ved en betydelig variation og der er ingen signifikant forskel mellem N-min målinger i oktober og november. Som bonus information fra dette forsøg er den gennemsnitlige nitratudvaskning (gennemsnit af tre år og tre gødningsniveauer ( $\frac{1}{2}N$ ;  $1N$ ;  $1\frac{1}{2}N$ )) og effekter af efterafgrøde vist i figur 3.6. Det fremgår her, at den gennemsnitlige effekt af efterafgrøder i Jyndevad var 22 og 63 kg N/ha med hhv. majs og kløvergræs som forfrugt, og tilsvarende 24 og 16 kg N/ha i Foulum.



**Figur 3.6.** Årlig nitratudvaskning (kg N/ha) i majsforsøgene i Jyndevad og Foulum med kløvergræs eller majs som forfrugt, og uden eller med efterafgrøder. Gennemsnit af tre år. Data fra Kiril Manevski (pers. meddel.).

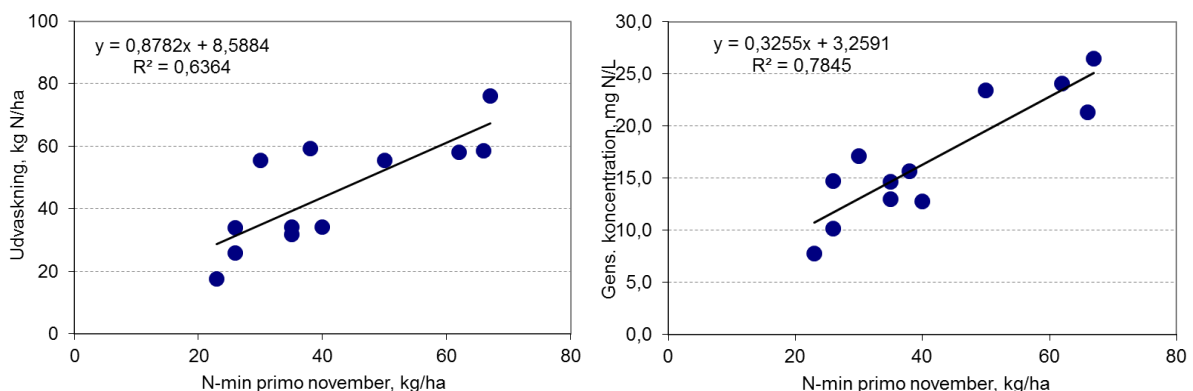
### 3.3.2 Svenske undersøgelser

I løbet af 90'erne og frem til midten af 00'erne er der gennemført en række markforsøg i Sverige med det formål at undersøge effekter af efterafgrøder, jordbearbejdning, gødningstilførsel og sædskifter på høstudbytter og nitratudvaskning (Aronsson & Torstensson, 2009; Aronsson et al., 2003; Engström et al., 2008; Hessel et al., 1998; Lindén et al., 1993a, 1993b, 1999, 2006a, 2006b; Lindgren, 2007; Stenberg et al., 1999). I disse forsøg er der bl.a. målt N-min om efteråret og årlig nitratudvaskning, og Börje Lindén, Skara har, hvor det har været muligt, i 2009 sammenstillet samvarende værdier af N-min efterår og årlig nitratudvaskning (pers. medd.).

Börje Lindén har analyseret fire forsøg fra Västergötland i Midtsverige (Lindén et al., 1993a, 2006a; Engström et al., 2008; Lindén et al., 2006b) og konkluderer (citater): *Varken på lerjordarna (två försök) eller på sandjordarna (två försök) i Västergötland tyder data för mineral-N på senhösten och nitratkväveutlakning (under agrohydrologiska år) på något tydligt samband mellan dessa parametrar. Troligen inverkar vädrets variationer mellan olika vintrar: 1) milda vintrar med bara korta perioder då jorden fryser ytligt (i matjorden) och med milda perioder däremellan som tillåter vattenavrinning och utlakning samt 2) vissa vintrar med mer långvariga perioder med frusen jord och normalt mindre N-utlakning. I områden med sådana skiftande vintrar är det tydligen svårt att med hjälp av mineralkväve-mängderna under senhösten att bedöma hur stor N-utlakningen blir under vintern (och fram till 30 juni under det aktuella agrohydrologiska året).*

Börje Lindén har desuden analyseret resultaterne fra fire forsøg på forskellige jorde i Sydsverige (Lindén et al., 1993b; Lindgren et al., 2007; Hessel et al., 1998; Aronsson et al., 2003; Stenberg et al., 1999) og nævner (citater): *I de tre försökerna i Halland och i försöket vid Lönnstorp i Skåne skulle väder- och jordförhållandena kunna ha många motsvarigheter i Danmark. Det är milt väder under vinter-halvåret, och jordarna bör ha motsvarigheter i Danmark. Dessa försök borde därför bäst visa möjligheterna att använda mineralkväve på senhösten som en parameter för att beräkna N-utlakningen under det efterföljande vinterhalvåret. Bara försöket på sandjord med tillförsel av handels- och stallgödsel vid Mellby visar ett tydligt samband mellan mineral-N på senhösten och N-utlakning.*

Resultaterne fra det ene forsøg i Mellby, hvor der fandtes en sammenhæng mellem N-min efterår og nitratudvaskning er vist i Fig. 3.7.

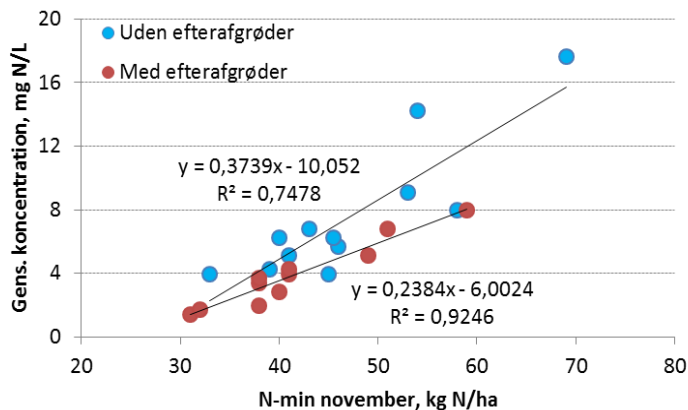


**Figur 3.7.** Relationer mellem N-min (kg N/ha) målt primo november og hhv. aktuel nitratudvaskning (kg N/ha) til venstre og normaliseret udvaskning (mg N/L) til højre. Fra Lindén et al. (1993b).



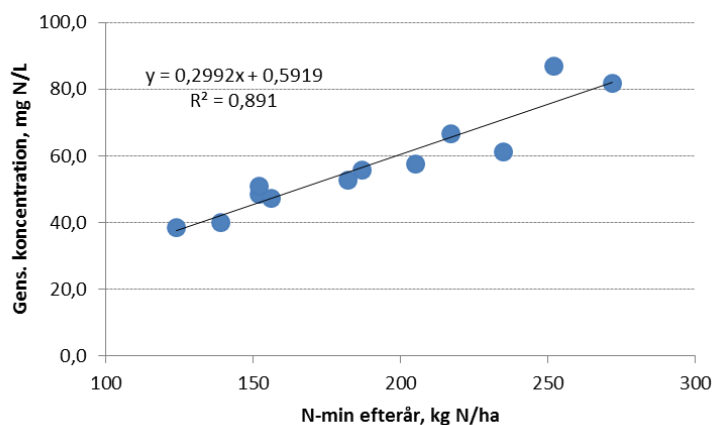
### 3.3.3 Tyske undersøgelser

Wachendorf et al. (2006b): Fireårigt gødningsforsøg (1998-2001) med majs og efterafgrøder (Alm. rajgræs) på forsøgsarealer i Nordvesttyskland, hvor der har været dyrket majs efter majs i minimum fem år (Figur 3.8). Grovsandet jord med grundvand i 80-150 cm i vinterperioden og udvaskning målt med sugeceller i 60 cm. N-min målt medio november til 90 cm (Wachendorf et al., 2006a).



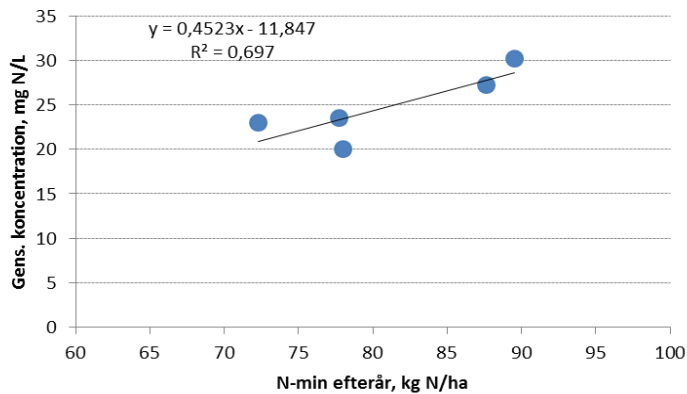
**Figur 3.8** Relationer mellem N-min (kg N/ha) målt medio november og normaliseret nitratudvaskning (mg N/L) i majs med og uden efterafgrøder.

Kayser et al. (2011): Gødningsforsøg i majs, Nordvesttyskland (Figur 3.9). Finsandet jord med 87% sand (50% finsand), 11% silt and 2% ler. Jorden er karakteriseret af et forholdsvis højt indhold af organisk stof på 6–8%. Grundvand i 95-140 cm i vinterperioden og nitratudvaskning målt med sugeceller i 70 cm. N-min målt ved starten af udvaskningssæsonen til 90 cm.



**Figur 3.9.** Relationer mellem N-min efterår (kg N/ha) og normaliseret udvaskning (mg N/L) i majs.

Müller et al. (2011): Sammenligning af majs-sorter, Nordvesttyskland (Figur 3.10). Sand/tørvejord (4% C) med majs foregående seks år. Sugeceller installeret i 75 cm og N-min målt til 90 cm i begyndelsen af udvaskningssæsonen. Data i figur 3.10 er gennemsnit af to år.



**Figur 3.10.** Relationer mellem N-min efterår (kg N/ha) og normaliseret nitratudvaskning (mg N/L) i majs.

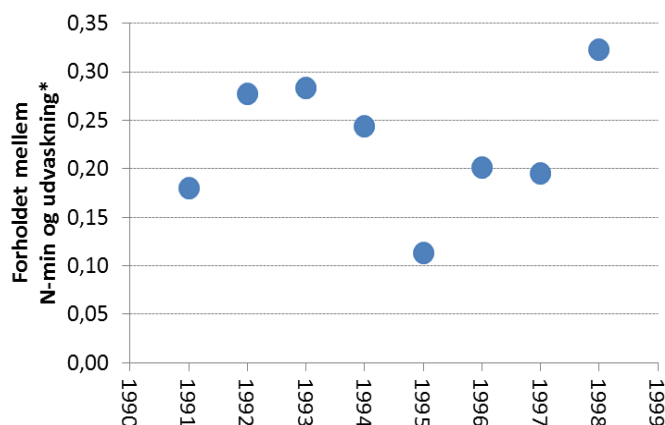
### 3.3.4 Andre undersøgelser

Beaudoin et al. (2005) gennemførte i perioden 1991-1998 en række undersøgelser i det nordvestlige Frankrig i et opland på 187 ha. Gennemsnitlig årlig nedbør i området er ca. 700 mm og typiske afgrøder er vinterhvede (39 %), sukkerroer (19 %), ærter (16 %), vinterbyg (12 %) og vinterraps (7 %).

Området domineres af lerjorde og Beaudoin et al. (2005) har defineret fire typer: “*deep loam (DL) or neoluvisols developed on decarbonated loess; shallow loamy clay (SLC) or calcosols developed on marl and rocks; shallow sandy loam (SSL) or calcaric rendosols developed on coarse limestone; shallow loamy sand (SLS) or redoxic arenosols overlying sand.*” De fire jordtyper udgør hhv. 43, 21, 14 and 6 % af landbrugsarealet i området.

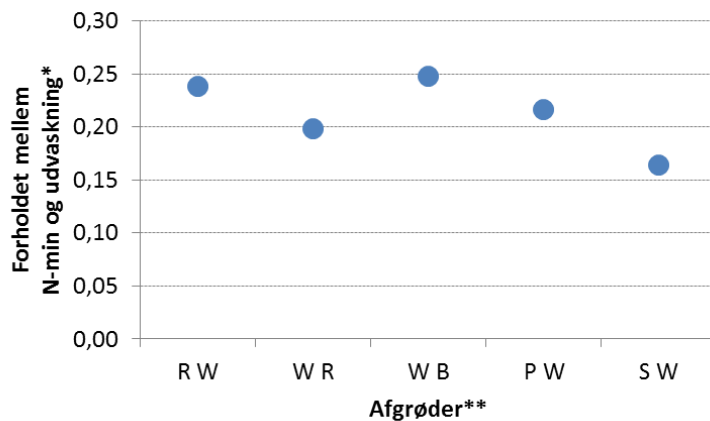
I 35 målepunkter er der hvert år bl.a. målt N-min (kg N/ha) og nitrat-N koncentration eller normaliseret udvaskning (mg N/L) i ca. 1 m’s dybde. I figurerne herunder er resultaterne vist som forholdet mellem N-min og nitratudvaskning, svarende til hældningskoefficienterne (x) i de foregående figurer.

I figur 3.11 er forholdet mellem N-min (kg N/ha) og normaliseret nitratudvaskning (mg N/L) i perioden 1991-1998 vist, hvor hvert punkt repræsenterer gennemsnit af afgrøder og jordtyper. Efteråret 1995 var meget tørt, hvilket resulterede i et N-min indhold, der var ca. 25 kg N/ha højere end ”normalt”, og omvendt var N-min i 1998 20-30 kg N/ha lavere end ”normalt”, hvorved forholdet mellem N-min og nitratudvaskning i disse to år afveg fra de ca. 0,23, der er beregnet som gennemsnit for alle årene.



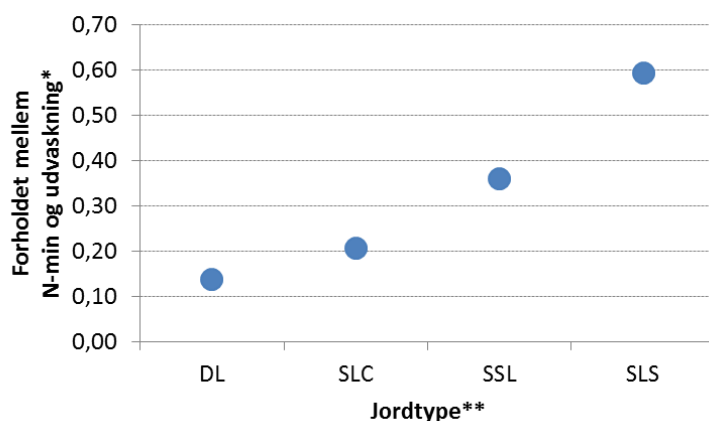
**Figur 3.11** Forholdet mellem N-min (kg N/ha) og normaliseret nitratudvaskning (mg N/L) i perioden 1991-1998 i en oplandsundersøgelse i Nordfrankrig. Hvert punkt repræsenterer gennemsnit af afgrøder og jordtyper. Fra Beaudoin et al. (2005).

Beregnes forholdet mellem N-min og nitratudvaskning pr. afgrødefølge ses, at afgrødefølgerne vinterhvede-vinterraps (W R) og sukkerroer-vinterhvede (S W) ligger lidt lavere end de øvrige (Figur 3.12). Dette kan forklare ved at vinterraps optager meget N om efteråret og vil derved reducere udvaskningen den efterfølgende vinter. Sukkerroer "tømmer" jorden for N og vil ligeledes reducere udvaskningen den efterfølgende vinter.



**Figur 3.12.** Forholdet mellem N-min (kg N/ha) og normaliseret udvaskning (mg N/L) i perioden 1991-1998 i forskellige afgrødefølger, hvor første bogstav symboliserer den høstede afgrøde de pågældende år og andet bogstav afgrøden det efterfølgende efterår/vinter. R = vinterraps; W = vinterhvede; B = vinterbyg; P = ærter; S = sukkerroer. Fra Beaudoin et al. (2005).

En opdeling på jordtyper er vist i figur 3.13. Som forventet har jordtypen stor betydning for både N-min og nitratudvaskning og dermed også for forholdet mellem disse. Det fremgår ikke af Beaudoin et al. (2005), hvad den aktuelle tekstur er for de definerede jordtyper, men de to der er benævnt "deep loam (DL)" og "shallow loamy clay (SLC)" kan formentlig sammenlignes med vores lerjorde JB7-JB9.



**Figur 3.13.** Forholdet mellem N-min (kg N/ha) og normaliseret udvaskning (mg N/L) i perioden 1991-1998 i forskellige jordtyper. DL = "deep loam"; SLC = "shallow loamy clay lying on marl and rocks"; SSL = "shallow sandy loam lying on limestone"; SLS = "shallow loamy sand lying on sand". Fra Beaudoin et al. (2005).

### 3.4 Opsamling

I Tabel 3.3 ses en oversigt over forhold mellem N-min oktober eller november og normaliseret nitratudvaskning, som beregnet i foregående afsnit, med angivelse af reference, jordtype og afgrøder.

**Tabel 3.3** Forhold mellem N-min oktober eller november og normaliseret nitratudvaskning med angivelse af reference, jordtype, afgrøder og tidspunkt for N-min måling.

Reference	Jordtype	Afgrøde høst/ efterår-vinter	N-min sept.* eller okt.	N-min Nov.
Manevski et al. (2014)	JB1	Majs/majs	0,42	0,50
	JB4	Majs/majs	0,31	0,28
Hansen & Munkholm (2014)	JB4	Ukendt/vinterhvede	0,47	0,47
Hansen & Djurhuus (1997)	JB1	Vårbyg/bar jord	0,00*	0,22
	JB6	Vårbyg/bar jord	-0,10*	0,10
Hansen & Djurhuus (1996)	JB1	Vårbyg (60N)/bar jord	0,04*	0,26
	JB1	Vårbyg (60N)/bar jord	0,08*	0,46
Lindén et al. (1993b)	JB1-4	Forskellige		0,33
Kaiser et al. (2011)	JB1-4	Majs/majs		0,33
Müller et al. (2011)	JB1-4	Majs/majs		0,39
Wachendorf et al. (2006)	JB1-4	Majs u. efterafgrøder		0,39
	JB1-4	Majs m. efterafgrøder		0,26
Beadoin et al. (2005)	JB7-9	Vinterraps/vinterhvede		0,24
		Vinterhvede/vinterraps		0,20
		Vinterhvede/vinterbyg		0,25
		Ærter/vinterhvede		0,22
		Sukkerroer/vinterhvede		0,16
		Gns. forskellige afgrøder		0,19

Tidspunkt for N-min måling: I tabel 3.3 er der vist resultater af N-minmålinger foretaget i september, oktober og november. Hansen & Munkholm (2014) udtog jordprøver til N-min bestemmelse d. 29/10, hvorfor der i er angivet samme værdi for oktober og november. Resultaterne viser helt klart, at N-minmålinger i september er for tidligt. Desuden antyder resultaterne fra Manevski et al. (2014), at måling af N-min i november måske er for sent på JB1, hvor der i visse år kan ske en betydelig udvaskning i perioden oktober til november.

Afgrøder: Resultaterne i tabel 3.3 og her specielt Beadoin et al. (2005) antyder, at afgrøder med stor N-optagelse i efteråret (vinterraps og sukkerroer) kan have betydning for forholdet mellem N-min og normaliseret nitratudvaskning. Også efterafgrøder har betydning for forholdet, som det ses i majs-forsøget med og uden efterafgrøder (Wachendorf et al., 2006).

Jordtyper: Resultaterne i tabel 3.3 viser, at jordtypen har betydning for forholdet mellem N-min og normaliseret N-udvaskning. Et sammendrag af resultaterne i tabel 3.3 er vist i figur 3.14, hvor værdien for den enkelte jordtype er fremkommet som et gennemsnit af værdierne i tabel 3.3 for den pågældende jordtype. F.eks. er værdien for JB1 fremkommet som gennemsnit af forsøg gennemført på JB1 eller JB1-4. Det skal bemærkes at JB6 kun er repræsenteret i et enkelt forsøg.

Baseret på disse data kan der beregnes et gennemsnitsforhold mellem N-min efterår og normaliseret nitratudvaskning på ca. 0,32 for sandjord (JB 1-4) og ca. 0,16 for lerjord (JB 5-8), som vist i Tabel 3.4 med angivelse af standardafvigelse og variationskoefficient. Vi har pt. ikke datagrundlag for yderligere opdeling på jordtyper.

**Tabel 3.4.** Gennemsnitsforhold (gns) mellem N-min efterår og normaliseret nitratudvaskning, samt standardafvigelse (std) og variationskoefficient (%) i sandjord (JB1-4) og lerjord (>JB4)

	gns	std	%
JB1-4	0,32	0,10	31,4
>JB4	0,16	0,05	32,5

Af forsøgene refereret i tabel 3.3 fremgår det, at såvel plantedække om efteråret som jordtype har betydning for forholdet mellem N-min efterår og nitratudvaskning i efterfølgende periode. Men på grund af det lille antal forsøg repræsenterende den enkelte afgrøde vil det være meget usikkert at angive et N-min eller nitratudvasknings-forhold for enkelte eller grupper af afgrøder, og det er her valgt kun at fokusere på forskelle mellem jordtyper, dvs. sandjord (JB1-4) og lerjord (>JB4), som skitseret ovenfor. Effekten af plantedække om efteråret, som f.eks. efterafgrøder, vil komme til udtryk ved et lavere indhold af uorganisk N i jorden (N-min), hvorved der vil blive beregnet en lavere udvaskning.

### 3.5 Foreløbig relation mellem N-min og N-udvaskning

Ud fra ovenstående kan nitratudvaskningen estimeres:

$$\text{Udvaskning (kg N/ha)} = (\text{N-min (kg N/ha)} * F * A \text{ (mm)}) / 100$$

F = Forholdet mellem N-min (kg N/ha) og normaliseret nitratudvaskning (mg N/L). F = 0,32 på sandjord (JB1-4) og 0,16 på lerjord (>JB4).

A = Afstrømning (mm) for pågældende jordtype, afgrøde og klima-region.

I den gennemgåede litteratur har den årlige afstrømning varieret mellem ca. 110 og 250 mm på lerede jorde og mellem ca. 200 og 550 mm på sandede jorde afhængig af nedbør og afgrøde. Modellen vil derfor kun med rimelig sikkerhed kunne anvendes ved en afstrømning på maks. 300 mm på lerjord og 600 mm på sandjord.

### 3.6 Anvendelse af foreløbig relation mellem N-min og N-udvaskning med tilhørende opslagstabel

#### Eksempler.

#### Sandjord høj afstrømning,

hvor N-min efterår = 40 kg N/ha og afstrømning i efterfølgende periode = 500 mm:

$$\text{Nitratudvaskning} = (40 * 0,32 * 500) / 100 = 64 \text{ kg N/ha}$$

**Lerjord med lille afstrømning,**

hvor N-min efterår = 70 kg N/ha og afstrømning i efterfølgende periode = 200 mm:

$$\text{Nitratudvaskning} = (70 \cdot 0,16 \cdot 200)/100 = 22,4 \text{ kg N/ha}$$

Med disse formler kan opslagstabeller for sand- og lerjord udarbejdes. I tabel 3.5, er nitratudvaskning fra rodzonen (kg N/ha) ved forskellige værdier af afstrømning (mm) og N-min efterår (kg N/ha) beregnet for henholdsvis sandjord (JB1-4) og lerjord (>JB4). Tabellen angiver en gennemsnitssituation hvor der ikke tages højde for afgrøde dækket i efteråret. Så der skal pointeres at denne relation er foreløbig og skal udvikles til også at tage mere detaljeret højde for jordtypen og afgrøden i efteråret/vinteren.

**Tabel 3.5.** Opslagstabeller for nitratudvaskning (kg N/ha) på sand- eller lerjord beregnet ved forskellig afstrømning (mm) og N-min i jord.

Afstrømning (A), mm	N-min (kg N/ha) på sandjord (JB 1-4)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50	2	3	5	6	8	10	11	13	14	16
100	3	6	10	13	16	19	22	26	29	32
150	5	10	14	19	24	29	34	38	43	48
200	6	13	19	26	32	38	45	51	58	64
250	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
300	10	19	29	38	48	58	67	77	86	96
350	11	22	34	45	56	67	78	90	101	112
400	13	26	38	51	64	77	90	102	115	128
450	14	29	43	58	72	86	101	115	130	144
500	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160
550	18	35	53	70	88	106	123	141	158	176
600	19	38	58	77	96	115	134	154	173	192

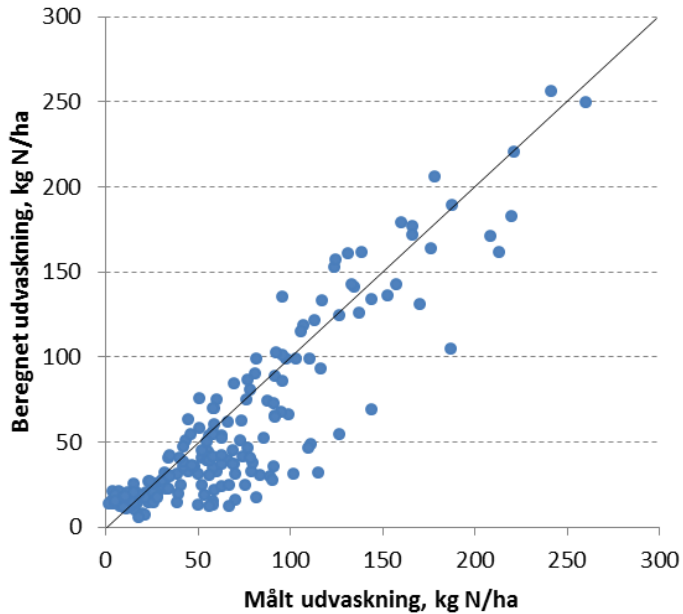
Afstrømning (A), mm	N-min (kg N/ha) på lerjord (>JB 4)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50	1	2	2	3	4	5	6	6	7	8
100	2	3	5	6	8	10	11	13	14	16
150	2	5	7	10	12	14	17	19	22	24
200	3	6	10	13	16	19	22	26	29	32
250	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
300	5	10	14	19	24	29	34	38	43	48
350	6	11	17	22	28	34	39	45	50	56
400	6	13	19	26	32	38	45	51	58	64
450	7	14	22	29	36	43	50	58	65	72
500	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
550	9	18	26	35	44	53	62	70	79	88
600	10	19	29	38	48	58	67	77	86	96

**3.7 Usikkerhed**

Som det fremgår af figur 3.14 er de beregnede relationer mellem N-min og udvaskning behæftet med betydelig usikkerhed - dels en usikkerhed på målingerne af nitrat og udvaskning i de markforsøg, der ligger til grund for relationen og dels usikkerheden ved at beregne den endelige relation som et gennemsnit af forholdsvise få markforsøg.

Variationskoefficienten for relationen mellem N-min efterår og den normaliserede udvaskning kan som det fremgår af tabel 3.4 beregnes til ca. 30 % på både lerjord og sandjord. Variationen i den fundne sammen-

hæng mellem N-min efterår og den normaliserede udvaskning på hver jordtype, dvs. variationen i parameteren  $F$  i ligningen i afsnit 3.5, er således meget betydelig.



**Figur 3.14.** Relation mellem målt udvaskning og udvaskning beregnet ved hjælp formlen vist i afsnit 3.5.

Relationerne mellem N-min målt i efteråret og nitratudvaskning i det efterfølgende vinterhalvår beregnet i dette litteraturstudie skal betragtes **som foreløbige**, og vil blive udbygget og kalibreret med et større antal målinger af N-min og udvaskning, som gennemføres i projektet. Overordnet har vi fundet bedre sammenhæng mellem høje N-min i efteråret og den efterfølgende udvaskning end hvad der ses ved lave N-min. Dog er sammenhængen ikke tilstrækkelig stærk til at bruge modellen på konkrete marker.

## 4 N-MIN KONCEPT – TEKNISKE ANVISNINGER ”KOGEBOGEN”

De tekniske anvisninger for anvendelse af N-min eller nitratmålinger i marken som grundlag for bestemmelse af nitratudvaskningen er kort beskrevet nedenfor. I kapitlerne 5-12 er en mere detaljeret dokumentation for anvisningerne og en beskrivelse af usikkerheder og økonomi ved metoden.

Formålet med de tekniske anvisninger er at sikre, at det gennemsnitlige N-min eller nitratindhold i jorden på bedriften bestemmes så nøjagtigt som muligt og kan danne grundlag for bestemmelse af den gennemsnitlige udvaskning fra rodzonen.

### 4.1 Prøvetagning

#### 4.1.1 Prøveudtager og kvalitetskontrol

Den ansvarlige myndighed for kontrol af landbrug er ansvarlig for at fordele prøvetagningsopgaven til godkendte prøvetagere. Det er et krav, at prøvetagerne har gennemgået et kursus i, hvordan udtagning af jordprøver til N-min eller nitratbestemmelse skal gennemføres. Prøveudtagningen skal dokumenteres med koordinater på prøvetagningslinjerne, foto af prøvestedet samt en opdeling i bar jord, vintersæd, vinterraps, græs og roer.

#### 4.1.2 Tidspunkt for prøvetagning

Sigtet med jordmålingerne er at bestemme jordens N-min eller nitratindhold om efteråret, før afstrømningen ud af rodzonen begynder. På sandjorde med lille markkapacitet sker der hurtigere en transport af opløste næringsstoffer, herunder nitrat, ud af rodzonen end på mere lerede jordtyper. Derfor skal forskellige jordtyper prøvetages på forskellige tidspunkter. Problematikken er behandlet detaljeret i kapitel 6.

Prøvetagningsterminerne foreslås opdelt efter jordtype på denne måde:

JB 1 og 3:	1. oktober – 15. oktober
JB 2 og 4:	15. oktober – 1. november
JB 5-7:	1. november – 15. november

#### 4.1.3 Markstørrelse og prøvetagningsplan

Hver prøve (der består af sammenblanding af 16 jordprøvestik til 1 meter) kan maksimalt dække 5 ha. Større marker neddeles i delmarker på maksimalt 5 ha. Neddelingen af marker i delmarker fastlægges på forhånd af den ansvarlige myndighed. Prøvetagningsstrategien for de deltagende ejendomme (fastlagt ved tilmelding af CVR nummeret) fastlægges af den ansvarlige myndighed. Problematikken er behandlet detaljeret i kapitel 7.

#### 4.1.4 Gravetilladelser

Ved udtagning af jordprøver og andre graveopgaver dybere end 40 cm er det lovpligtigt at lave en graveforespørgsel ved LedningsEjerRegistret (LER). Det betyder, at hvor der udtages jordprøver dybere end 40 cm, skal der inden prøveudtagning foretages en graveforespørgsel (Ministeriet for By, Bolig og Landdistrikter, 2014). Hvis prøvetagningen gennemføres på en eller flere linjer, skal der søges gravetilladelse ca. 5 – 10 m på hver side af hver linje. Hvis prøvetagningen gennemføres fordelt på en flade, skal der søges gravetilladelse på hele det areal, der prøvetages. Hvor der er ledninger o. lign. i marken, er det muligt at få ledningsejeren til at afmærke den nøjagtige placering. Problematikken er behandlet detaljeret i kapitel 11.



#### 4.1.5 Prøvetagning

Prøvetagningen kan gennemføres manuelt eller maskinelt. Fremgangsmåden ved prøvetagning, opbevaring og forsendelse af prøver er i beskrevet i Bilag 3: Vejledning i prøvetagning, opbevaring og forsendelse.

#### 4.1.6 Analyser

Jordprøverne analyseres for indhold af nitrat og eventuelt ammonium. Hvorvidt det er nødvendigt at måle ammoniumindholdet afgøres senere i projektet og er diskuteret i kapitel 5: "Måling af nitrat-N, eller måling af både nitrat og ammonium". Analyserne skal udføres på et laboratorium, der er akkrediteret til analysen. Fremgangsmåden ved modtagelse, opbevaring og analyse af jordprøverne er beskrevet i bilag 8 "Analyseforskrift".

#### 4.2 Beregning af jordens indhold af N-min eller nitratkvælstof i kg N pr. ha

Ved omregning fra analyseværdierne (mg N pr. kg tør jord (ppm)) til kg N pr. ha til den aktuelle prøvetagningsdybde multipliceres analyseværdierne med følgende faktorer:

Jordlaget 0-100 cm:  $10,0 * 1,43 = 14,3$

Denne omregningsfaktor anvendes på JB 1-7 med et humusindhold på <7 %. Standardrumvægten kan ikke anvendes på jordtype, der afviger fra disse krav til tekstur og humus indhold.

Problematikken er behandlet detaljeret i kapitel 10.

#### 4.3 Korrektion af måleresultater på grund af afvigende vejrforhold

Der udvikles i projektet en procedure for, hvordan de målte nitratindhold korrigeres på grund af afvigende vejrforhold. Det kan f. eks. være tilfældet, hvis der er sket en afstrømning, før prøvetagningen er gennemført. Hvis tørke i den forudgående vækstsæson har reduceret afgrødens kvælstofoptagelse, korrigeres grænseværdierne herefter. Proceduren er i dette foreløbige koncept ikke endeligt fastlagt.

#### 4.4 Begrænsninger i metodens anvendelse

Begrænsninger på grund af afgrøde.

Jordprøverne udtages på marker, hvor der dyrkes landbrugs- og grønsagsafgrøder med nedenstående undtagelser.

- 1) Afgrøder hvor jordens nitratindhold erfaringsmæssigt er lavt og kun varierer meget lidt. Her anvendes i stedet standardværdi på 20 kg N pr. ha (som er gennemsnit af målinger i samme afgrøde i Kvadratnettet). Det drejer sig om:
  - a) Permanente græsarealer
  - b) Arealer med frøgræs (ikke i udlægsåret)
  - c) Arealer med slætgræs (ikke i udlægsåret)
  - d) Udyrkede arealer.
  - e) Arealer med tilsagn under miljøordningerne.
- 2) Afgræsningsmarker udgør et særligt problem, fordi variationen i N-min indenfor marken er meget stor. Problemet kan måske håndteres ved, at marken ikke må være afgræsset efter 1. september, hvis marken skal måles. Alternativt, at der fastsættes standardværdier baseret på antal dyreenheder og afgræsningsperiodens længde.

Problematikken omkring disse marker er yderligere behandlet i kapitel 12.

## 5 MÅLING AF NITRAT ALENE, ELLER MÅLING AF BÅDE NITRAT OG AMMONIUM

Nitratanalysen er enklere end en analyse, der både omfatter nitrat og ammonium. Dette skyldes, at det stiller færre krav til opbevaring af jordprøverne. Derfor skal det overvejes, om det er tilstrækkeligt at måle nitrat som grundlag for emissionsbaseret regulering. På grundlag af nedenstående datanalyse vurderes det, at en emissionsbaseret regulering alene kan baseres på en nitratanalyse. En endelig beslutning afventer dog en vurdering af, om relationen mellem N-min og nitratudvaskning er bedre end relationen mellem nitrat-N og nitratudvaskning. Denne vurdering gennemføres i slutningen af projektet. Det kan nævnes, at kontrollen i Tyskland og Belgien baseres på nitratmålinger alene.

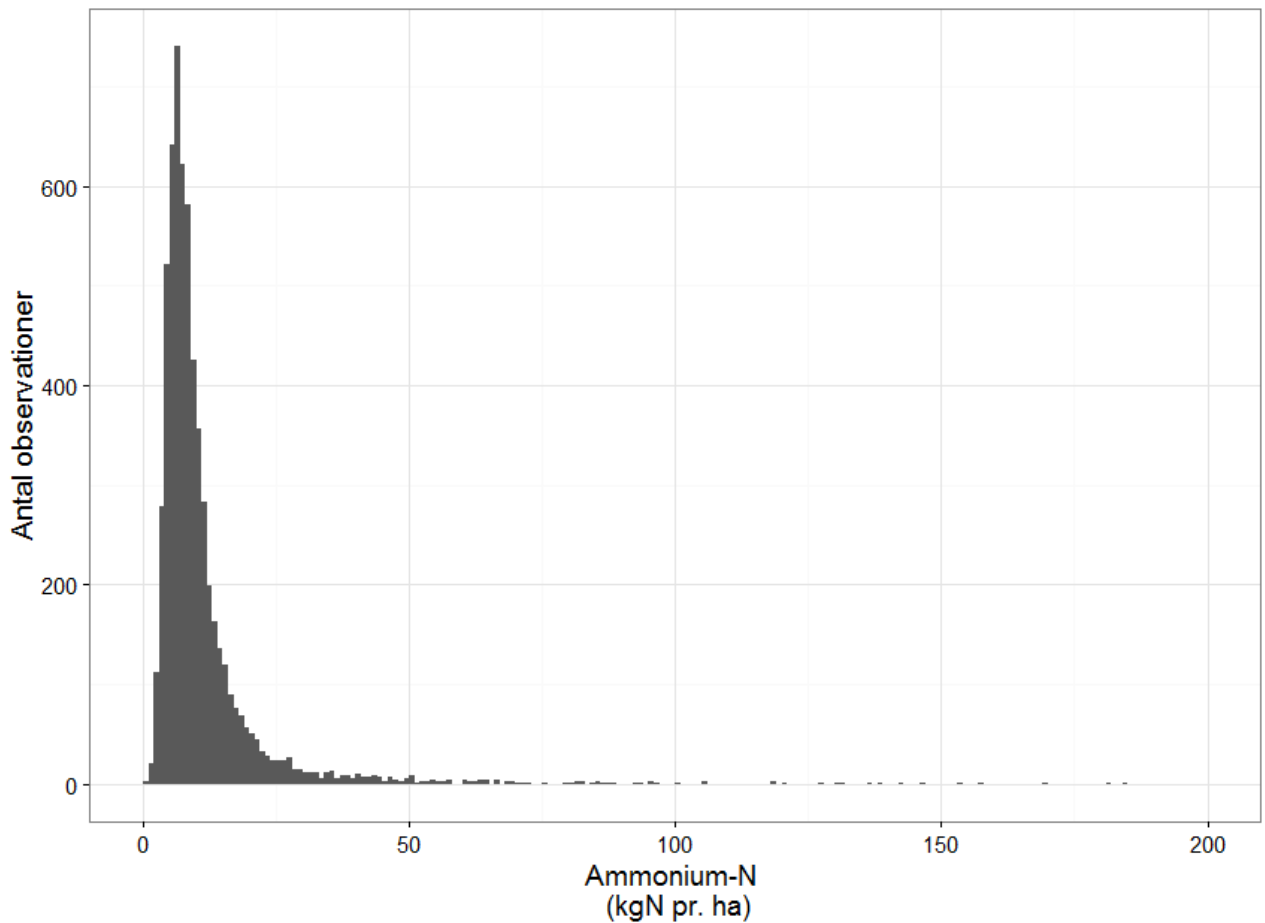
N-min er defineret som summen af jordens indhold af nitrat- og ammoniumkvælstof. Normalt udgør nitrat-N hovedparten af N-min og det kan derfor overvejes, om det er tilstrækkeligt at måle nitrat som grundlag for emissionsbaseret regulering. Denne problemstilling er analyseret på grundlag af et stort antal målinger af både nitrat og N-min i "Kvadratnet for nitratundersøgelser".

Grundlaget for dataanalysen er analyser af jordprøver udtaget i oktober, november og december i årene 1986-2009. Langt hovedparten af de data stammer fra slutningen af 1980'erne og starten af 1990'erne. Kun få procent af data er nyere end 1995. Til nærværende analyse er ikke medtaget data fra marker, hvor der er udbragt husdyrgødning senere end 1. juli. Desuden er kun agerjord medtaget, idet det ikke vurderes relevant at anvende N-min metoden på enge og brakarealer. I alt består datasættet af 6.036 målinger i jordlaget 0-100 cm udtaget på 687 marker i Kvadratnettet i årene 1986-2009.

I 69 pct. af observationerne ligger ammoniumindholdet i intervallet 5-15 kg N pr. ha med en median værdi på 8,1 kg ammonium-N pr. ha (se figur 5.1). I tabel 5.1 er vist decilerne for ammoniumindholdet i prøverne. I 5 pct. af observationerne ligger ammoniumindholdet under 3,6 kg ammonium-N pr. ha. Høje ammoniumkoncentrationer er sjældne, idet 90 pct. af ammoniumkoncentrationerne er under 19 kg ammonium-N pr. ha. Der er en begrundet formodning om, at meget høje ammoniumindhold skyldes, at der er sket en forurening, at der er udbragt gødning kort før prøvetagning eller at jorden har et meget højt humusindhold.

**Tabel 5.1.** Deciler for fordelingen af ammonium-N i datasættet.

Procent										
0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,3	4,4	5,4	6,3	7,2	8,1	9,3	10,8	13,3	18,9	433,8

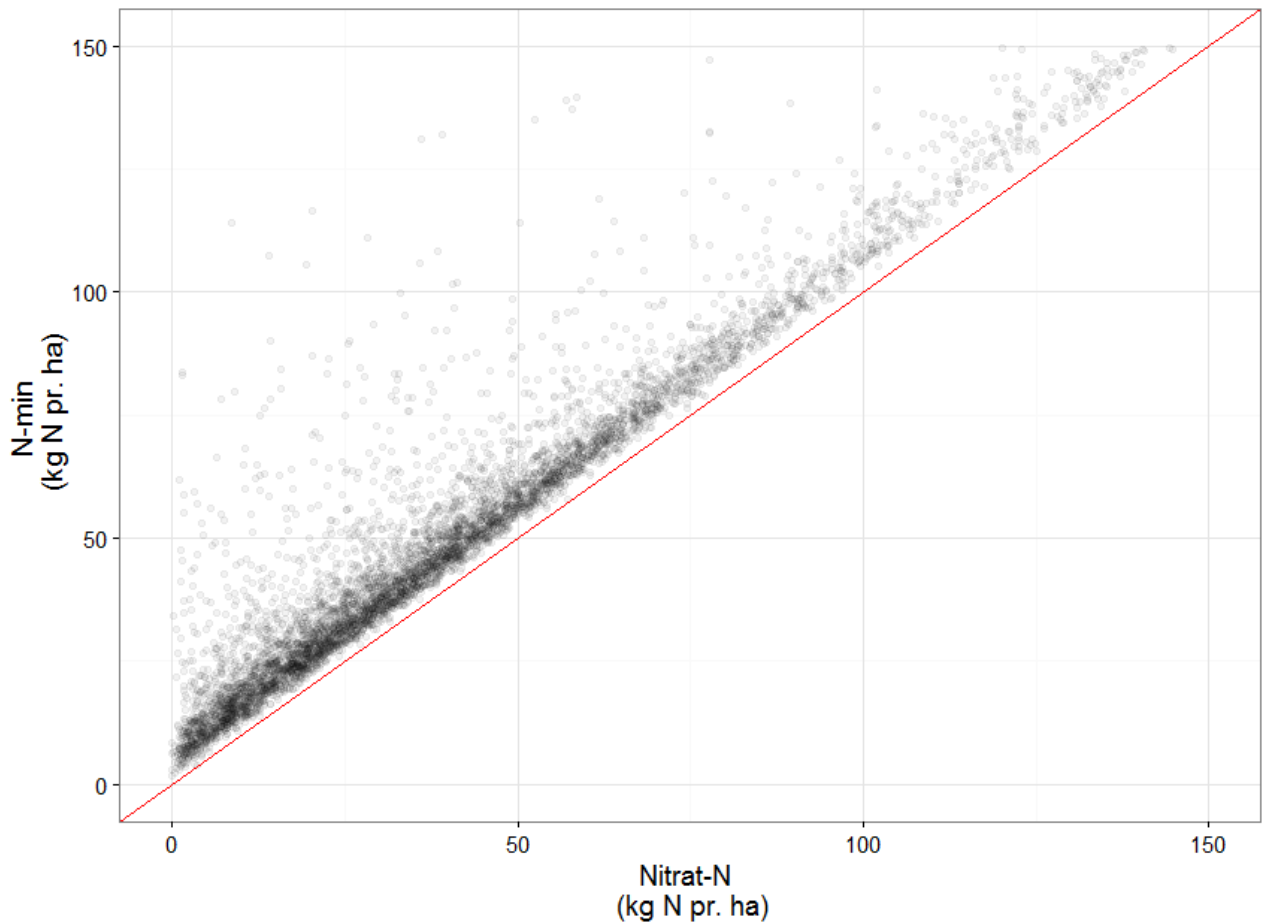


**Figur 5.1.** Histogram over ammoniumindholdet (0-100 cm) i de 6036 observationer i datasættet. 13 observationer hvor ammoniumindholder er på over 200 kgN pr. ha er ikke vist.

Variationen i jordens nitratindhold er større end variationen i ammoniumindholdet, og værdierne er typisk væsentligt højere. Medianværdien er således 34 kg nitrat-N pr. ha.

N-min indholdet i mange observationer domineres af nitrat-N, som udgør mere end 75% af N-min i 60% af observationerne. Der er dog også prøver, hvor ammoniumindholdet udgør en betydelig andel af N-min, særligt ved N-min værdier under 50 kg N pr. ha. Således udgør ammonium mere end 29 pct. af N-min i halvdelen af de observationer hvor N-min er under 50 kg N pr. ha.

Det fremgår af figur 5.2, at der overordnet er en god sammenhæng mellem N-min og nitrat i jorden. Den lodrette afstand fra en given observation til 1:1 linjen viser ammoniumindholdet for hver observation, og det er tydeligt at langt hovedparten af observationerne ligger tæt på den røde 1:1 linje, og kun relativt få punkter ligger langt over linjen. Der findes dog også observationer, hvor det er tydeligt, at ammonium er meget betydelig for N-min i jorden, idet de ligger betydeligt over linjen.



**Figur 5.2.** Sammenhæng mellem nitrat-N og N-min. Den røde linje viser en 1:1 sammenhæng mellem nitrat-N og N-min. Antallet af observationer kan aflæses i farveintensiteten, hvor mere intens sort angiver større antal observationer. Observationer, hvor nitrat-N eller N-min >150 er ikke vist (232 observationer ud af 6036 observationer i det samlede datasæt).

På det foreliggende datagrundlag kan det konkluderes, at måling af jordens nitratindhold i de fleste tilfælde giver en rimelig beskrivelse af det totale mineralske kvælstofindhold (N-min) i jorden. Årsagen er, at ammoniumindholdet i landbrugsjord, der ikke er tilført husdyrgødning eller andet organisk gødning kort tid før prøvetagning er meget stabilt på et niveau omkring 5-15 kg N pr. ha. I nogle tilfælde har ammoniumindholdet dog væsentlig betydning for N-min indholdet. Det gælder særligt ved lave N-min værdier, hvor 5-15 kg ammonium kan udgøre en betydelig del af jordens samlede N-min pulje. Generelt er ammoniumindholdet dog kun højt i få tilfælde, og generelt må det konkluderes at det er forsvarligt kun at bestemme jordens nitratindhold. Besparelsen ved udelukkende at måle jordens nitratindhold er begrænset i forhold til den totale omkostning ved prøvetagning og analyse. Derfor må et endeligt valg af analyse bero på, om relationen mellem N-min og nitratudvaskning er bedre end relationen mellem nitrat og nitratudvaskning. Denne relation belyses senere i projektet.

## 6 TIDSPUNKT FOR PRØVETAGNING OG KORREKTION FOR VEJRFORHOLD

### Sammendrag

Jordens indhold af N-min om efteråret er afgørende for, hvor meget kvælstof, der potentielt kan blive udvasket i den efterfølgende vinterperiode. Ved anvendelse af N-min målinger om efteråret som grundlag for en regulering af areal- og kvælstofanvendelsen, vil prøvetagningsperioden af praktiske grunde strække sig over ca. en måned. I denne undersøgelse har vi undersøgt, hvordan jordens N-min (nitrat- + ammoniumkvælstof indhold) ændrer sig fra oktober 2013 til november 2013 på seks marker på en bedrift ved Odder. Ændringerne i N-min indholdet skyldes, at kvælstof bliver fjernet ved udvaskning, denitrifikation og/eller planteoptagelse. Tilsvarende kan N-min indholdet stige ved mineralisering af jordens organiske materiale og hvis der tilføres kvælstofgødning. I undersøgelsen er der fundet stor variation i N-min indholdet indenfor den enkelte mark i løbet af prøvetagningsperioden. Det tyder på, at prøvetagningstidspunktet kan have stor betydning for kvælstofindholdet på den enkelte mark.

### 6.1 Baggrund

Anvendelse af nitratmålinger som reguleringsværktøj kræver, at der er skabt klarhed over en række forhold, bl.a. betydningen af prøvetagningstidspunktet, som behandles nedenfor.

Ved anvendelse af nitratmålinger som grundlag for en regulering af areal- og kvælstofanvendelsen i større målestok, vil prøvetagningen af praktiske grunde strække sig over en periode. I Tyskland og Belgien, hvor systemet anvendes i praksis, strækker prøvetagningen sig over en måned fra ca. midt i oktober til midt i november. Det er afgørende at afklare i hvilket omfang prøvetagningstidspunktet påvirker resultatet af nitratmålingen. Nedenfor er med udgangspunkt i målinger på seks marker vist eksempler på, hvor meget N-min ændrer sig indenfor en prøvetagningsperiode på en måned.

### 6.2 Fremgangsmåde

På en bedrift ved Odder er der på seks marker udtaget jordprøver i 2013, hhv. den 20. oktober 2013, den 7. november 2013 og den 20. november. Alle seks marker ligger på fin sandblandet lerjord (JB 6), men afgrøder og efterårsplantedække varierer. Jordprøverne er udtaget i jordlaget 0–75 cm, og er blevet analyseret for indhold af nitrat- og ammoniumkvælstof samt tørstof.

Prøverne er alle tre gange udtaget på den samme prøvetagningslinje. Ved hver prøvetagning er der udtaget 16 stik på prøvetagningslinjen. Jordprøverne er frosset straks efter prøvetagning og opbevaret frosset indtil analyse.

### 6.3 Resultater

Beregninger af afstrømningen med EvaCrop viser, at afstrømningen for de fleste af de seks marker først starter sidst i november efter prøvetagningens afslutning. På mark 49-0 starter afstrømningen dog den 9. november. Fra marken afstrømmer der knapt 20 mm i den sidste periode, hvilket svarer til 4 kg N pr. ha ved de målte koncentrationer.

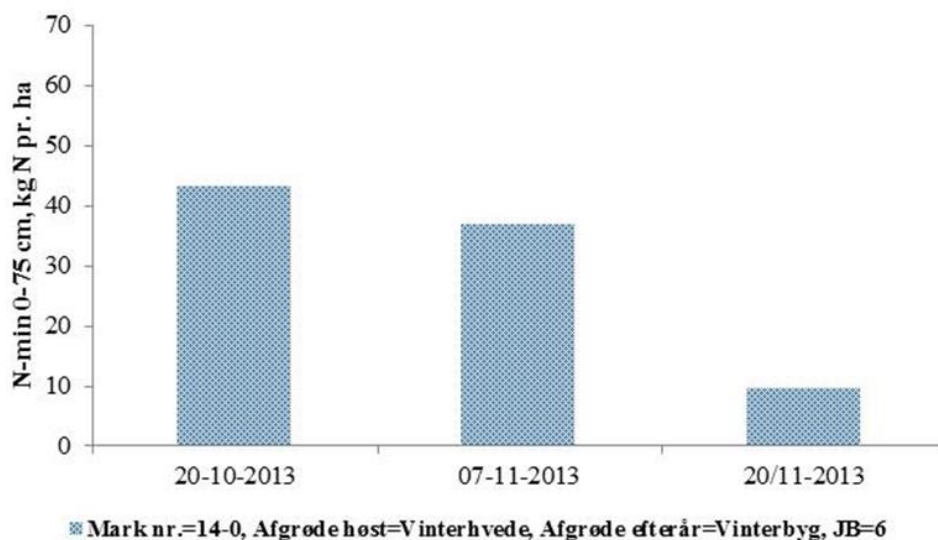
**Tabel 2.** Den samlede nedbør, gennemsnitlige dagtemperatur og samlede afstrømning mellem hver prøvetagning.

	20. oktober 2013 til 7. november 2013	7. november 2013 til 20. november 2013
<b>Nedbør, mm</b>	72	25
<b>Gennemsnitstemperatur, °C</b>	10	6
<b>Afstrømning, mm</b>	0	0 (20*)

\* Mark 49-0

### 6.3.1 N-min på markniveau

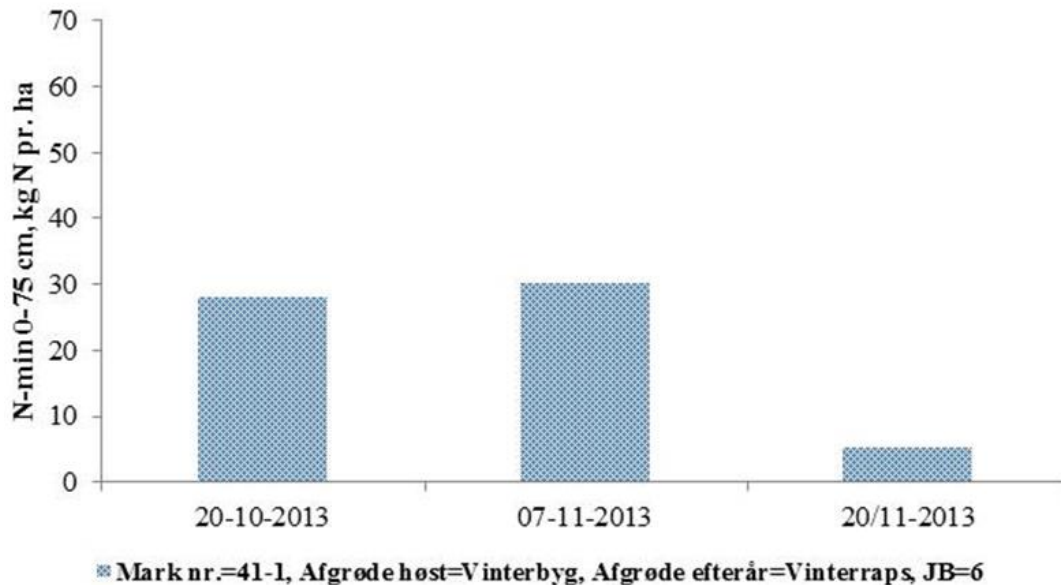
Resultaterne af N-min målinger samt afgrøder og jordtype på de enkelte marker er vist på figur 1-6.



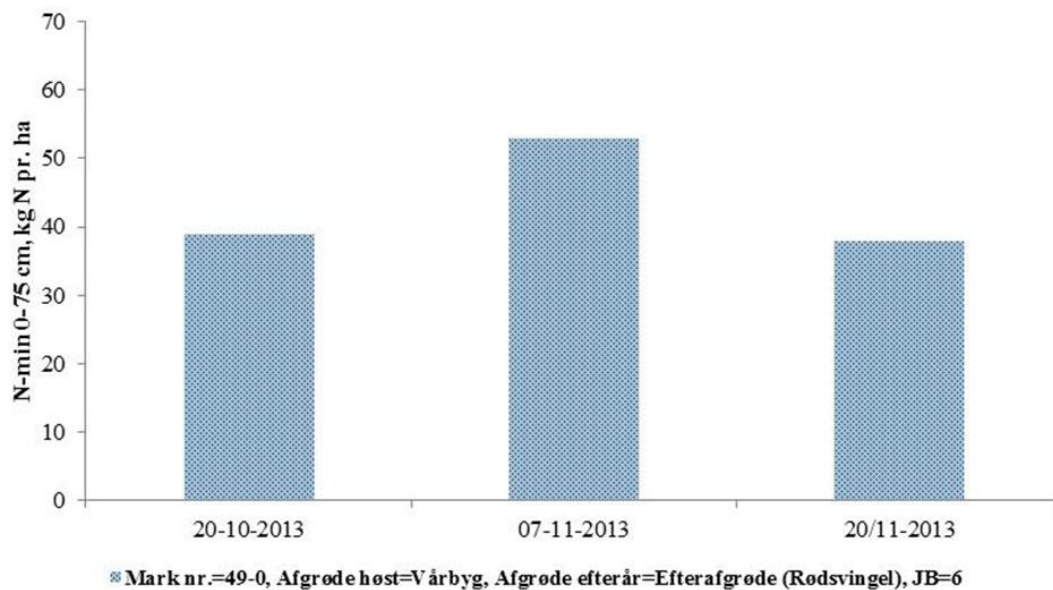
**Figur 6.1.** Resultaterne af tre N-min målinger gennemført i oktober og november måned 2013 på mark 14-0, hvor vinterhvede til høst 2013 efterfølges af vinterbyg.

Afgrøden på mark 14-0 (figur 6.1) var i 2013 vinterhvede, som blev efterfulgt af vinterbyg. Jordens N-min indhold til 75 cm dybde var 43, 37 og 9 kg N pr. ha ved første, anden og tredje prøvetagning. Det store fald i N-min indholdet i løbet af prøvetagningsperioden kan forklares med vinterbyggets kvælstofoptagelse i prøvetagningsperioden. Beregninger af afstrømningen med EvaCrop på en tilsvarende mark på ejendommen viser, at der ikke er sket afstrømning i prøvetagningsperioden.

På mark 41-1 (figur 6.2) er der høstet vinterhvede og der er efterfølgende sået vinterraps. Jordens indhold af nitrat- og ammonium blev målt til 28, 30 og 5 kg N pr. ha ved første, anden og tredje prøvetagning. Det store fald i N-min indholdet ved den sidste prøvetagning skyldes rapsens kvælstofoptagelse.

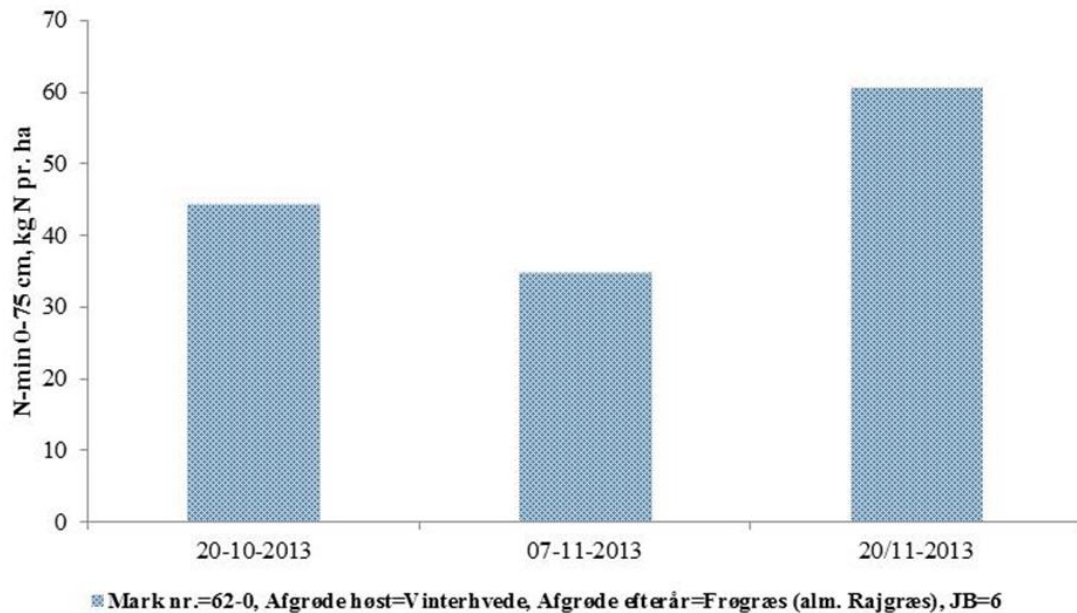


**Figur 6.2.** Resultaterne af tre N-min målinger gennemført i oktober og november måned 2013 på mark 41-1, hvor vinterbyg til høst 2013 efterfølges af vinterraps.



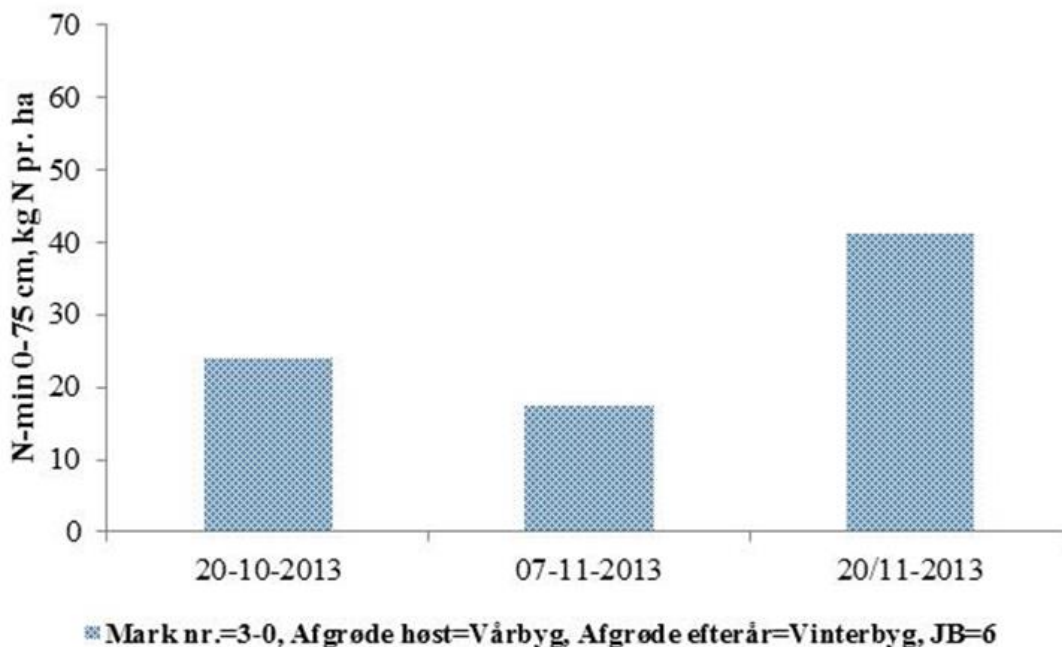
**Figur 6.3.** Resultaterne af tre N-min målinger gennemført i oktober og november måned 2013 på mark 49-0, hvor vårbyg til høst 2013 efterfølges af en efterafgrøde.

Afgrøden i 2013 var på mark 49-0 (figur 6.3) vårbyg med græsudlæg af rødsvingel. Kvælstofindholdet i jorden er målt til 39, 53 og 38 kg N pr. ha ved hhv. første, anden og tredje prøvetagning. Forskellen mellem den højeste og laveste måling er 15 kg N pr. ha. Jordens kvælstofindhold er faldende sidst i prøvetagningsperioden, hvilket kan skyldes et kvælstofoptag i efterafgrøden.



**Figur 6.4.** Resultaterne af tre N-min målinger gennemført i oktober og november måned 2013 på mark 62-0, hvor vinterhvede til høst 2013 efterfølges af efterårsudlagt frøgræs.

På mark 62-0 (figur 6.4) er der høstet vinterhvede, som er efterfulgt af efterårsudlagt frøgræs (alm. rajgræs), som er gødet med 27 kg N pr. ha.

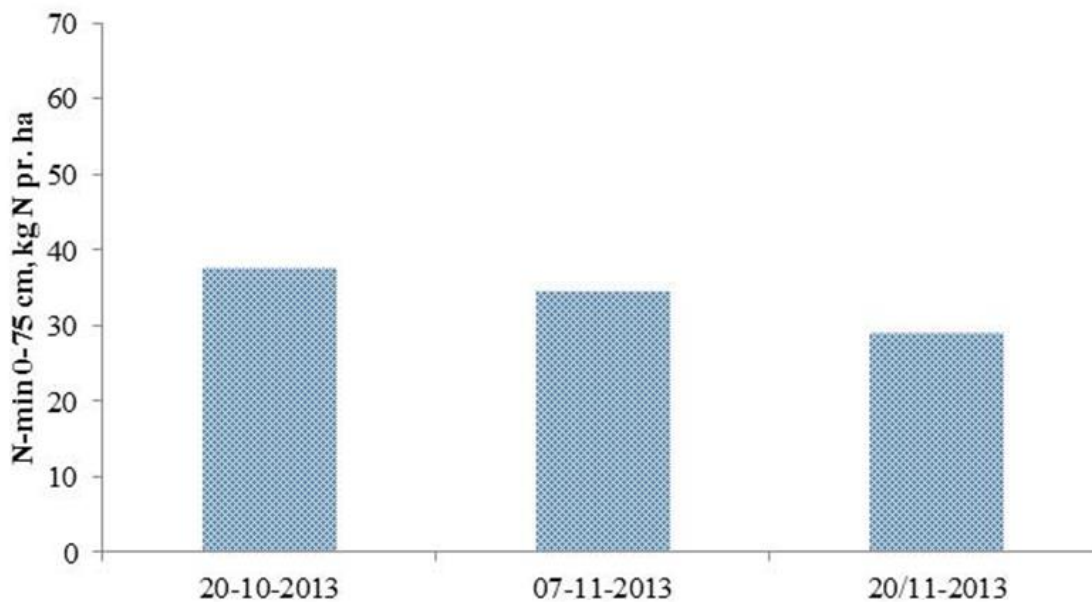


**Figur 6.5.** Resultaterne af tre N-min målinger gennemført i oktober og november måned 2013 på mark 3-0, hvor vårbyg til høst 2013 efterfølges af vinterbyg.



Jordens indhold af nitrat- og ammoniumkvælstof er målt til 44, 35 og 60 kg N pr. ha ved hhv. første, anden og tredje prøvetagning. Forskellen mellem målingerne er op til 26 kg N pr. ha. Jordens kvælstofindhold er stigende sidst i prøvetagningsperioden.

I 2013 var afgrøden på mark 3-0 (figur 6.5) vårbyg efterfulgt af vinterbyg. Indholdet af nitrat- og ammoniumkvælstof er målt til 24, 17 og 41 kg N pr. ha ved første, anden og tredje prøvetagning. N-min indholdet varierer mellem prøvetagningerne, og jordens N-min indhold er stigende sidst i prøvetagningsperioden. Årsagen er formentlig, at marken ligger på en kvægbrugsejendom, hvor der er husdyrgødning, majs og græs i dyrkningshistorien. Stigningen i N-min indholdet skyldes formentlig kvælstofmineralisering, som har været større end vinterbyggens optagelse af kvælstof.

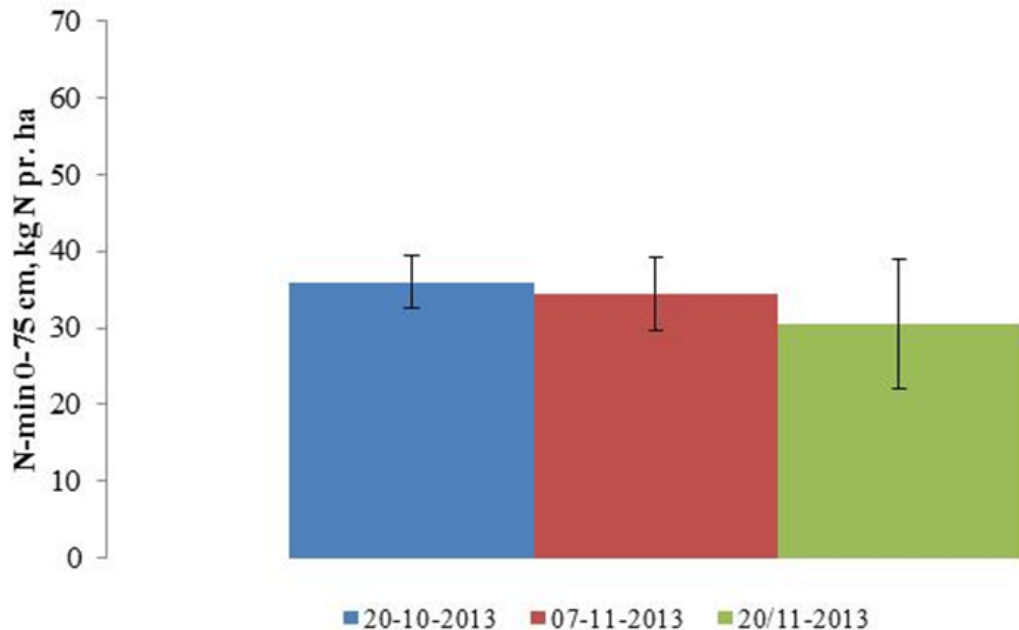


※ Mark nr.=41-0, Afgrøde høst=Vinterraps, Afgrøde efterår=Vinterhvede, JB=6

**Figur 6.6** Resultaterne af tre N-min målinger gennemført i oktober og november måned 2013 på mark 41-0, hvor vinterraps til høst 2013 efterfølges af vinterhvede.

Afgrøden til høst i 2013 på mark 41-0 (figur 6.6) var vinterraps efterfulgt af vinterhvede. Jordens N-min indhold er målt til 38, 35, 29 kg N pr. ha ved hhv. første, anden og tredje prøvetagning. Det faldende N-min indhold i løbet af prøvetagningsperioden skyldes, at kvælstofoptaget i vinterhveden har været større end mineraliseringen.

I figur 6.7 er vist resultaterne af N-min målingerne i gennemsnit af de seks marker (figur 6.1...6.6). Resultaterne viser, at N-min indholdet i gennemsnit af de seks marker er 36, 34 og 31 kg N pr. ha ved hhv. første, anden og tredje prøvetagning. At ændringen i det gennemsnitlige N-min indhold i perioden kun er lille skyldes, at N-min indholdet på de seks marker stiger på nogle marker, mens det falder på andre marker.



**Figur 6.7.** Resultaterne af tre N-min målinger gennemført i oktober og november måned 2013 i gennemsnit af seks marker (figur 6.1...6.7).

#### 6.4 Konklusion

N-min indholdet på de seks undersøgte marker ligger i alle tilfælde på et forholdsvis lavt niveau. På den enkelte mark kan der være betydelige forskelle mellem de målte N-min indhold på forskellige tidspunkter indenfor perioden fra midt i oktober til midt i november. Forskellene er forskellige fra mark til mark og afspejler balancen mellem planteoptagelse, denitrifikation, udvaskning, mineralisering og evt. gødskning.

Beregninger af vandafstrømningen med EvaCrop viser, at kvælstofudvaskning i perioden på de undersøgte marker har været minimal i perioden og derved ikke haft væsentlig betydning for N-min. I de tilfælde, hvor N-min indholdet er faldet i perioden, er den væsentligste årsag kvælstofoptagelse i den voksende afgrøde. De betydelige stigninger i N-min indholdet, der blev målt i to af markerne, skyldes formentligt en stor mineralisering i den ene mark og kvælstofgødskning af frøgræs i den anden mark.

På baggrund af ovenstående kan vi konkludere, at der i nogle tilfælde er betydelige forskelle i det målte N-min indhold mellem prøvetagningerne på den enkelte mark. I de fleste af markerne er N-min indholdet faldende gennem perioden, hvilket altovervejende skyldes kvælstofoptagelse i den afgrøde, der er på marken.

Senere i projektperioden gennemføres N-min målinger flere gange i løbet af efteråret på et betydeligt antal marker. Resultaterne af de målinger skal sammen med ovenstående målinger danne grundlag for en konklusion af betydningen af prøvetagningstidspunktet på ejendomme med forskellige bevoksninger i efteråret.

#### 6.5 Korrektion af N-min for vejrforhold i efteråret.

Formålet med korrektionen er at reducere den usikkerhed, der skyldes effekten på jordens N-min indhold af varierende vejrforhold fra år til år. Der findes ikke i litteraturen en metode til at normaliserer N-min i forhold til vejrforholdene. Desuden skal usikkerheden på de korrigerede N-min indhold også fastlægges, når proceduren er endelig fastlagt.

Der udvikles i projektet en procedure for, hvordan de målte N-min indhold korrigeres på grund af afvigende vejrforhold. Det kan f. eks. være tilfældet, hvis der er sket en afstrømning, før prøvetagningen er gennem-

ført. Hvis tørke i vækstsæsonen har reduceret afgrødens kvælstofoptagelse, så N-min indholdet ved høst er forøget, skal der ske en korrektion af grænseværdierne. Proceduren er ikke endelig bestemt, men kan omfatte etablering af et antal referencemarkere, hvor nitratindholdet måles år efter år eller ud fra modelberegninger med f. eks. Daisy-modellen, som er "sat op" på et antal marker fra praksis – f. eks. i Kvadratnettet - fordelt i hele landet.

Det understreges, at behovet for at opstille procedurer for korrektion af de målte N-min indhold og grænseværdierne afhænger af, hvor snært grænseværdierne fastsættes.

## 7 USIKKERHED FORBUNDET MED PRØVETAGNING OG ANALYSE

### Sammendrag

Ved anvendelse af målinger af markens nitratindhold til kontrolformål er det afgørende at vide bl.a. af hensyn til landmandens retssikkerhed, med hvor stor sikkerhed nitratindholdet er bestemt. Usikkerheden på bestemmelsen stammer fra den usikkerhed, der er på analysen i laboratoriet og fra den usikkerhed, som skyldes udtagningen i marken. Usikkerheden er i dette koncept udtrykt som 95 % konfidensintervallet, dvs. det interval som N-min værdien eller udvaskningen med 95 % sikkerhed vil befinde sig. Fordi usikkerheden i disse analyser ofte afhænger af middelværdien er konfidensintervallet i det følgende typisk angivet som  $\pm$  en procentdel af middelværdien.

Til belysning af usikkerheden på analysen i laboratoriet er der indhentet jord fra pløjelaget i to marker. Jorden fra hver mark er efterfølgende tørret, homogeniseret, opfugtet, neddelt i plastdåser og dybfrosset. I årene 2010 til 2015 er der flere gange sendt frosne jordprøver til laboratoriet, som har analyseret jordprøverne for indhold af nitrat- og ammoniumkvælstof.

Resultaterne af undersøgelsen af usikkerheden på laboratorieanalysen viser, at usikkerheden på nitratanalysen er ca.  $\pm 23$  % af analyseværdien, når resultaterne fra de to markers jord betragtes under ét. Bemærk dog at analyseusikkerheden er forskellig på de to jorder. Usikkerheden ved anvendelse af en standard rumvægt er ca.  $\pm 14$  %.

Datagrundlaget for undersøgelsen af den usikkerhed, der kommer fra udtagningen i marken stammer fra jordprøver udtaget til 100 cm dybde i et 25 x 25 m net på to marker. Indholdet af nitrat- og ammoniumkvælstof er bestemt i de enkelte stik. Usikkerheden er undersøgt for de tre prøvetagningsstrategier "tilfældig prøvetagning", "prøvetagning i et grid" og "prøvetagning på en linje". Usikkerheden er bestemt ved at simulere gentagne tilfældige udtagninger af varierende antal stik, der samles til en prøve, for alle tre prøvetagningsstrategier.

Det nødvendige antal prøvetagningsstik for at opnå en bestemt sikkerhed på bestemmelse af en marks nitratindhold stiger med stigende markstørrelse for de tre afprøvede prøvetagningsstrategier, undtagen hvis man kan acceptere en usikkerhed på mere end  $\pm 50$  %, altså at 95 % konfidensintervallet bliver ca. 1 middelværdi bredt. Vurderet på grundlag af data fra de to undersøgte marker skal der på en 5 ha stor mark udtages 15 stik for at opnå en usikkerhed på bestemmelsen af markens nitratindhold på 20 pct. ved prøvetagning på en fastlagt linje.

Da der er forskelle i markvariationen fra mark til mark, kræver generelle konklusioner om det nødvendige antal prøvetagningsstik på en given markstørrelse for at opnå en bestemmelse af nitratindholdet med en bestemt maksimal usikkerhed, at nærværende undersøgelse gennemføres på flere marker.

Den største sikkerhed opnås ved prøvetagning i et grid, og den mindste sikkerhed opnås ved tilfældig prøvetagning.

På baggrund af undersøgelsen fastholder SEGES den hidtidige anbefaling, at der til en N-min prøve skal udtages 16 stik og at prøven ikke dækker mere end 5 ha. De 16 stik udtages, så de repræsenterer hele marken enten ved at tage prøverne i et grid eller ved at udtage prøverne på en eller flere linjer, som placeres, så de løber gennem mest muligt af markens areal. Normalt anlægges prøvelinjen diagonalt. De 16 stik placeres med lige stor indbyrdes afstand på linjen.

## 7.1 Baggrund

Anvendelse af N-min målinger som reguleringsværktøj kræver, at der er klarhed omkring en række usikkerhedskomponenter herunder usikkerheden på prøvetagning og analyse samt betydningen af prøvetagningstidspunkt.

Ved anvendelse af målinger af markens nitratindehold til kontrolformål er det afgørende at vide, med hvor stor sikkerhed nitratindeholdet er bestemt. Usikkerheden på bestemmelsen stammer fra den usikkerhed, der er på analysen i laboratoriet, fra den usikkerhed der er på omregning af laboratorieanalysens resultat til kvælstofindehold i jordens øverste meter ved brug af en standard rumvægt for jordtypen, og fra den usikkerhed, som skyldes udtagningen i marken. Sidstnævnte afhænger af den enkelte marks størrelse og variation i nitratindehold samt antal og placering af de enkelte prøvetagningsstik. Usikkerheden varierer fra mark til mark. Endelig bestemmes usikkerheden af prøvehåndteringen fra udtagning til analyse. Sidstnævnte behandles ikke rapporten.

Usikkerheden er i dette koncept udtrykt som 95% konfidensintervallet, dvs. det interval som N-min værdien eller udvaskningen med 95% sikkerhed vil befinde sig. Fordi usikkerheden i disse analyser ofte afhænger af middelværdien er konfidensintervallet i det følgende typisk angivet som  $\pm$  en procentdel af middelværdien.

En mere grundig beskrivelse af usikkerheden på prøvetagningen i marken og usikkerheden hidrørende fra laboratorieanalysen er beskrevet i detaljer i [bilag 1](#). Bemærk at usikkerheden i bilag 1 er opgivet som  $\pm 1$  standardafvigelse. Grænserne for konfidensintervallet kan estimeres som  $\pm 1,96$  standardafvigelsen.

Usikkerheden på bestemmelse af nitratindehold i jordvand ved udtagning af jordprøver er desuden tidligere bestemt af Statens Planteavlsvforsøg (Djurhuus, J. & Jacobsen, O. H., 1995) og af Landskontoret for Planteavl (Hvelplund, E. og Østergaard, H., 1980).

## 7.2 Formål

Der er tre formål med undersøgelsen:

1. At fastlægge det nødvendige antal prøvetagningsstik til bestemmelse af en marks nitratindehold (i kg N pr. ha) med en bestemt sikkerhed som funktion af markens størrelse og prøvetagningsstrategi. Der er afprøvet følgende prøvetagningsstrategier: Tilfældig prøvetagning, prøvetagning i et fastlagt net og prøvetagning på en fastlagt linje gennem marken.
2. At bestemme usikkerheden på nitratanalysen i laboratoriet.
3. At bestemme usikkerheden på omregning fra analyseværdien, der angives i mg pr. kg tør jord (ppm), til kg nitrat pr. ha i 1 m's dybde, ved anvendelse af en standard rumvægt

## 7.3 Metode

Datasæt 1: Der er udtaget jordprøver til 100 cm dybde i et 25 x 25 m grid på to marker på henholdsvis 9,5 ha (mark 41-0) og 9,9 ha (mark 49-0). Indholdet af nitrat- og ammoniumkvælstof er bestemt i de enkelte stik. På mark 41-0 blev der udtaget og analyseret 156 jordprøver. På mark 49-0 var antallet 145. De fastlagte net er vist på figur 1 (mark 49-0) og figur 2 (mark 41-0). Datasættene anvendes til at bestemme usikkerheden ved udtagning af jordprøver i marken.

Datasæt 2: I 2010 er der indhentet jord fra pløjelaget i to marker. Jorden er efterfølgende tørret, homogeniseret, opfugtet, neddelt i plastdåser og dybfrosset. I årene 2010 til 2015 er der flere gange sendt frosne jordprøver til laboratoriet, som har analyseret jordprøverne for indhold af nitrat- og ammoniumkvælstof i forbindelse med kvalitetssikring af kvælstofprognosen. Datasættet består af 232 genbestemmelser af nitrat- og ammoniumindholdet i jordprøverne fra de to lokaliteter. Analyserne er udført i årene 2010-2015 og anvendes til bestemmelse af laboratorieusikkerheden.

**Datasæt 3:** I 1987 er der på 518 marker i Kvadratnettet bestemt tekstur i dybden 0-25 cm, 25-50 cm, 50-75 cm, 75-100 cm. Rumvægten afhænger af jordens humusprocent som beskrevet i ligning (1 - 4), og derfor er der ud fra ligning 1 - 4 bestemt en samlet rumvægt i dybden 0-100 cm for hvert af disse punkter.

Ligning (1) 0 – 25 cm:  $Rumvægt = 1,573 - 0,077 \times humuspct$

Ligning (2) 25 – 50 cm:  $Rumvægt = 1,586 - 0,108 \times humuspct$

Ligning (3) 50 – 75 cm:  $Rumvægt = 1,652 - 0,229 \times humuspct$

Ligning (4) 75 – 100 cm:  $Rumvægt = 1,720 - 0,253 \times humuspct$

Det resulterende datasæt er brugt til at estimere variationen i rumvægt indenfor inden for jordbundstyperne JB1-JB7. Der er ikke taget hensyn til den usikkerhed der hidrører fra omregningen fra tekstur til rumvægt.

#### 7.4 Samlet usikkerhed på bestemmelse af nitratindholdet i en mark

Den samlede usikkerhed på bestemmelse af nitratindholdet i en mark består af tre komponenter:

- Usikkerheden forbundet med prøvetagningen –  $1,96 \times SD(\widehat{NO_3^-})$  og
- Usikkerheden forbundet med den kemiske analyse -  $1,96 \times SD(NO_3^-)_{lab}$  og
- Usikkerheden forbundet med prøvetagningen -  $1,96 \times SD((NO_3^-))_{rumvægt}$

hvor "SD" står for standardafvigelsen.

Den samlede usikkerhed beregnes som  $1,96 \times \sqrt{SD(NO_3^-)_{rumvægt}^2 + SD(NO_3^-)_{lab}^2 + SD(\widehat{NO_3^-})^2}$  under antagelse om, at usikkerhedskomponenterne  $SD(\widehat{NO_3^-})$ ,  $SD(NO_3^-)_{lab}$  og  $SD(NO_3^-)_{rumvægt}$  er uafhængige af hinanden.

#### 7.5 Usikkerheden på omregning af laboratorieanalysens resultat til kvælstofindhold i jordens øverste meter

I laboratorieanalysen bestemmes jordens indhold af nitrat- og ammoniumkvælstof i mg pr. kg tør jord (ppm). Ved omregning fra analyseværdien (ppm) til kg nitrat pr. ha i 1 m's dybde anvendes jordens rumvægt. I konceptet er det fastlagt, at der for hver jordtype skal anvendes en fast rumvægt (afsnit 10), men det medfører naturligvis en usikkerhed i N-min bestemmelsen, fordi der er variation i jordens rumvægt indenfor jorde med samme jordtype (JB).

Usikkerheden for omregning med brug af en standard rumvægt kunne beskrives som en funktion af markens gennemsnitlige jordtype efter ligning (x).

ligning (5):  $\log(SD_{rumvægt}) = \beta_0 + \beta_1 JBnr + e$ , hvor  $e \sim N(0, \sigma^2)$ , og hvor JBnr standardafvigelsen for markens jordtype.

Usikkerheden blev bestemt til mellem 11,4 % og 13,8 % af rumvægten, afhængig af jordtypen (Følger af tabel 7.1).

Der tages i denne usikkerhedsberegning ikke hensyn til den usikkerhed, der hidrører fra omregningen af det originale datasæt fra tekstur til rumvægt. Usikkerheden er derfor et minimumsestimater.

**Tabel 7.1.** Standardafvigelse for anvendelsen af en standard rumvægt på forskellige jordtyper. Sikkerheden for usikkerhedsestimater er angivet som  $\pm 1$  Standard fejl (SE), bestemt med bootstrap metoden ved 499 gentagende simuleringer.

<i>JB</i>	<i>Rumvægt</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>Konfidensinterval</i>	<i>Konfidensinterval (% af standard rumvægten)</i>
1	1,43	0,099	0,006	[1,33;1,53]	13,6
2	1,43	0,098	0,004	[1,33;1,53]	13,4
3	1,43	0,099	0,009	[1,33;1,53]	13,6
4	1,43	0,101	0,004	[1,33;1,53]	13,8
5	1,43	0,097	0,006	[1,33;1,53]	13,3
6	1,43	0,093	0,004	[1,34;1,52]	12,7
7	1,43	0,083	0,003	[1,35;1,51]	11,4

### 7.6 Usikkerheden på den kemiske nitratanalyse - laboratorieusikkerheden

Standardafvigelsen på laboratorieanalysen  $SD(NO_3^-)_{lab}$  blev bestemt som den vægtede standardafvigelse med lige vægtning af hvert år og hver lokalitet. Ligeledes blev der beregnet  $SD(NO_3^-)_{lab}$  for hver lokalitet for sig. Der er fundet signifikant forskel i  $SD(NO_3^-)_{lab}$  mellem lokaliteterne ( $p=0.001438^{**}$ ), med højere standardafvigelse i Tåstrup-jorden. De beregnede standardafvigelser fremgår af tabel 2.

De beregnede standardafvigelser på nitrat- og ammoniumanalysen i laboratoriet er vist i tabel 2. Standardafvigelsen er bestemt for hver af de to lokaliteter – Kasted og Tåstrup. Standardafvigelsen (SD i tabel 2) er vist for nitrat (mg pr. kg), ammonium (mg pr. kg) og N-min (kg pr. ha).

I gennemsnit af de to jorder og alle årene under et er nitratindholdet 5,58 mg pr. kg med en standardafvigelse på 0,64 mg pr. kg. Det svarer til, at usikkerheden er  $\pm 22,5\%$  af den målte nitratkoncentration. Usikkerheden på dette usikkerhedsestimater er også bestemt, og det fremgår af tabel 2 at usikkerhedsestimateret med 95 % sikkerhed vil ligge mellem 14 % til 55 %. Bemærk at både nitratindholdet og usikkerheden var signifikant forskellig på de to lokaliteter.

Ved tørring af prøverne forrykkes balancen mellem nitrat og ammonium, således at det meste kvælstof foreligger på ammonium form i de frysetørrede prøver. I konceptet her er det foreskrevet, at der skal anvendes våde jordprøver, og i disse foreligger kvælstoffet primært som nitrat. Se afsnit 2. De her beskrevne usikkerheder kan dog med rimelighed anvendes, idet usikkerheden på nitratanalysen er udtrykt som procent af nitratindholdet, og derfor kan skaleres til de nitrat niveauer der findes i våde jordprøver.

**Tabel 7.2:** Usikkerheder på nitrat- og ammoniumanalysen i laboratoriet bestemt på jordprøver fra to lokaliteter – Kasted og Tåstrup. Der er signifikant forskel mellem lokaliteternes SD ( $\text{NO}_3^-$ ) ( $p=0.0067^{**}$ ), men ikke årene ( $p=0.065$ ). SD: standardafvigelse.

Lokalitet	År	$\text{NO}_3^-$	SD	$\text{NH}_4^+$	SD	$\text{N}_{\min}$	SD (95% c.i.)	N
Kasted	2010	2,76	0,16	15,54	0,59	18,3	0,64	12
Kasted	2011	2,31	0,27	16,94	0,67	19,23	0,71	21
Kasted	2012	2	0,22	16,67	1,3	18,64	1,34	24
Kasted	2013	1,97	0,34	17,37	0,59	19,34	0,84	21
Kasted	2014	2,59	0,24	17,87	0,86	20,42	0,99	20
Kasted	2015	1,48	0,33	17,76	1,29	19,21	1,29	18
<i>Kasted</i>	<i>Alle år</i>	2,15	0,48	17,1	1,16	19,23	1,03 (0,64; 2,52)	116
Tåstrup	2010	8,78	0,54	33,26	1,77	42,03	1,71	12
Tåstrup	2011	8,31	0,99	33,4	2,11	41,7	2,49	21
Tåstrup	2012	8,53	0,74	34,81	2,64	43,31	2,76	24
Tåstrup	2013	9,31	1,12	36,31	4,37	45,61	4,99	21
Tåstrup	2014	10,61	0,8	38,31	2,62	48,88	3	20
Tåstrup	2015	8,56	2,14	35,18	4,02	43,71	4,44	18
<i>Tåstrup</i>	<i>Alle år</i>	9,02	1,39	35,33	3,5	44,35	3,49 (2,18; 8,55)	116
<i>Begge lokaliteter</i>	<i>Alle år</i>	5,58	<b>0,64</b> <b>(0,40;</b> <b>1,57)</b>	26,21	1,65 (1,03; 4,04)	31,78	2,57 (1,82; 4,36)	232
			<b>CV=11,5</b> <b>%</b> <b>(7,2;</b> <b>28,1)</b>		CV=6,3% (3,9; 15,4)		CV=8,1% (5,7; 13,7)	

### 7.7 Usikkerheden på prøvetagningen

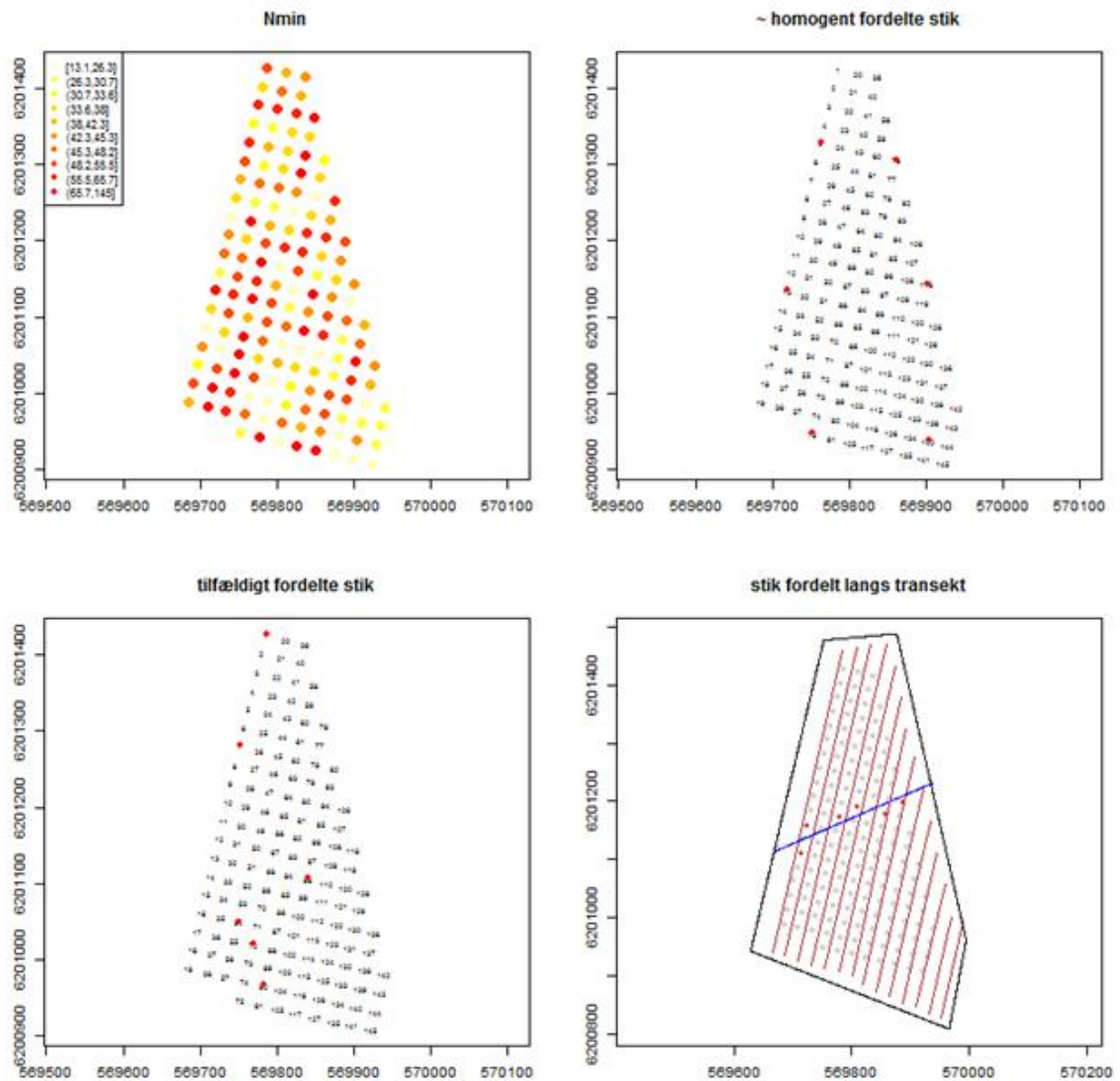
Usikkerheden på bestemmelsen af nitratindholdet som funktion af antallet af prøvetagningsstik for de tre prøvetagningsstrategier "tilfældig prøvetagning", "prøvetagning i et grid" og "prøvetagning på en linje" er bestemt ved at simulere gentagne tilfældige udtagninger af varierende antal prøver. Ved hver simulering blev der gennemført 500 udtagninger af datasættet fra begge marker og resultaterne heraf danner grundlaget for beregningerne af usikkerheden på prøvetagningen.

For hver af de to marker blev simuleringerne gennemført for et sæt af delmarker med forskellig størrelse. De forskellige delmarker blev genereret ved at tage udgangspunkt i de to oprindelige marker (Mark 49-0 og Mark 41-0, Fig. 1 og 2) og derefter neddele de oprindelige marker. Det samlede sæt af marker består af 17 marker og fremgår af fig. 3. Markstørrelserne varierer fra 2,3 til 15,8 ha.

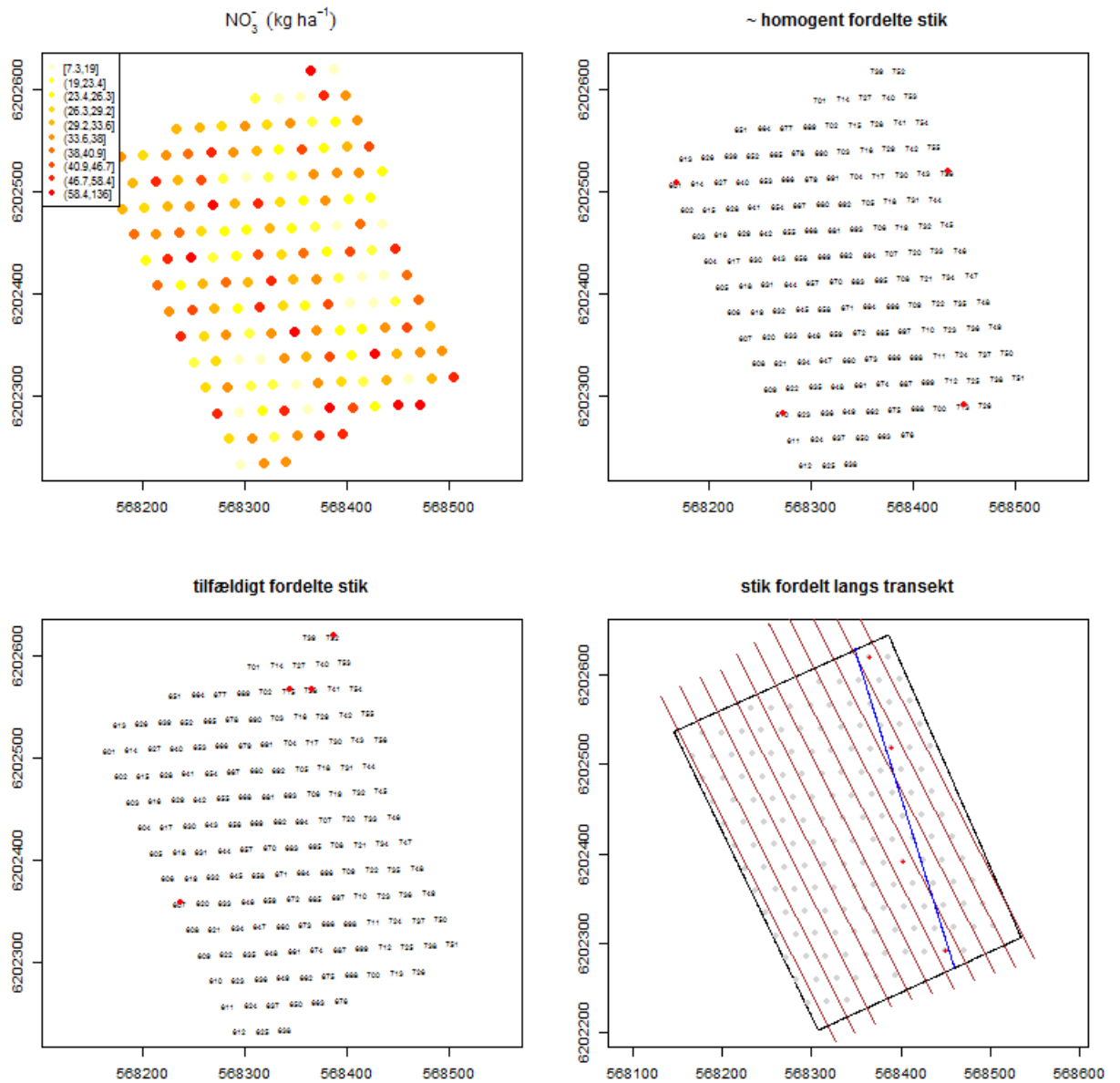
**Prøvetagning i grid** (Fig. 1 og 2) simulerer en jævn fordeling af stikprøverne i marken. Ved **tilfældig prøvetagning** udtages et antal prøver af det samlede datasæt tilfældigt. Ved **prøvetagning på en linje** er prøverne udtaget på linjer, som er tilfældigt placeret indenfor marken efter bestemte retningslinjer (vinkel til kørespor, længde og afstand til markkant). Fremgangsmåden ved udtagning af prøver efter de forskellige strategier er beskrevet i detaljer i bilag 1, side 2-3.

*Simuleringerne* er foregået ved, at der for hver af de 17 genererede marker, på grundlag af de 500 simulerede udtagninger med valgte prøveantal og prøvetagningsstrategier, er beregnet middelfvigelse og på baggrund af denne en middelstandardafvigelse for hvert prøveantal og prøvetagningsstrategi. Bestemmes usikkerheden udtrykt i procent af markens gennemsnit er derefter modelleret som funktion af markens areal, antal stikprøver og samplingsstrategien under hensyntagen til mark-til-mark variationen. Simuleringerne blev gennemført samlet for begge marker og for markerne hver for sig. Fremgangsmåden ved simuleringerne er beskrevet i detaljer i bilag 1, side 3-4.





**Figur 7.1.** Øverst til venstre:  $\text{NO}_3^-$  stikprøver fra 25 x 25 m net (alle stikprøver fra marken) for Mark 49-0. Øverst til højre: Som før, men nu med rødt markeret de stikprøver der blev samlet i én af de 500 iterationer af net sampling med  $n=24$  stikprøver. Nederst til venstre: Som før, men for tilfældig sampling. Nederst til højre: Som før, men sampling langs en linje; kørspor som brune linjer; markpolygonet som sorte kanter.



**Figur 7.2** Øverst til venstre: NO<sub>3</sub><sup>-</sup> stikprøver fra 25 x 25 m net for Mark 41-0. Øverst til højre: Som før, men nu med rødt markeret de stikprøver der blev samlet i én af de 500 iterationer af net sampling med n=4 stikprøver. Nederst til venstre: Som før, men for tilfældig sampling. Nederst til højre: Som før, men for sampling langs en linje; kørespor som brune linjer; markpolygonet som sorte kanter.

## Resultater

I gennemgangen af resultaterne er benyttet følgende forkortelser:

$\overline{NO_3^-}$ :	middel $NO_3^-$
SD:	standard afvigelse
$CVNO_3^-$ :	variationskoefficient, $CVNO_3^- = SDNO_3^- / \overline{NO_3^-} \times 100$
$\widehat{NO_3^-}$ :	Estimeret middel $NO_3^-$ på basis af subsample sættet S'
$\widehat{CVNO_3^-}$ :	Estimeret $CVNO_3^-$ på basis af subsample sættet S'

Figur 3 viser for de tre prøvetagningsstrategier "tilfældig prøvetagning", "prøvetagning i et fastlagt net" og "prøvetagning på en fastlagt linje" det nødvendige antal prøvetagningsstik ved forskellige variationskoefficienter på bestemmelse af nitratmængden som funktion af markens størrelse. Variationskoefficienten angiver standardafvigelsen i procent af middelværdien, og skal altså ganges med 1,96 for at få 95 % konfidensintervallet udtrykt som procent af middelværdien. Resultaterne på figur 3 er baseret på analyser af både mark 49-0 og 41-0. Figurerne viser, at det nødvendige antal prøvetagningstik for opnåelse af en bestemt variationskoefficient på resultatet stiger ved stigende markstørrelse undtagen ved meget høje variationskoefficienter. Prøvetagning i et fastlagt net er den strategi, der er mindst afhængig af markstørrelsen.

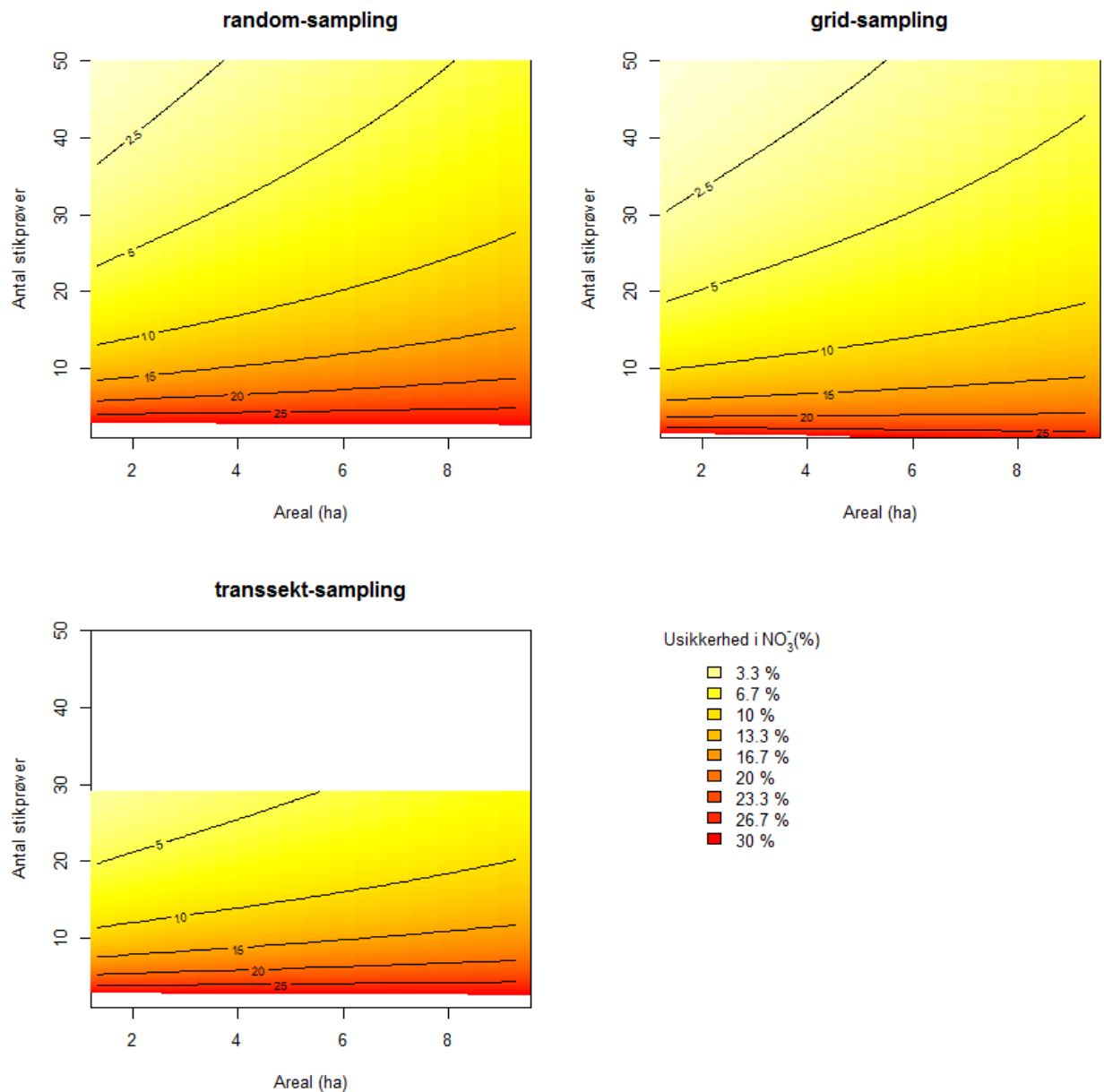
Figuren viser også, at det nødvendige antal prøvetagningsstik for opnåelse af en variationskoefficient på 10 %, dvs. en usikkerhed på  $\pm 20$  %, på en 5 ha stor mark er mindst (ca. 14 stik) ved grid-sampling og størst (ca. 20 stik) ved tilfældig prøvetagning. Prøvetagning på en fastlagt linje placerer sig mellem de to øvrige prøvetagningsstrategier.

Tabel 3 viser det gennemsnitlige antal prøvetagningsstik og den gennemsnitlige markstørrelse, som har resulteret i en fastsat variationskoefficient (%) på bestemmelsen af nitratmængden. Tabellen viser f. eks., at der på 5,1 ha store marker i gennemsnit er opnået en variationskoefficient på 10% svarende til en usikkerhed på  $\pm 20\%$  udtrykt som konfidensinterval, ved transekt-sampling ved udtagning af 15 prøvetagningsstik. Usikkerheden på 20 % er nået ved udtagning af 13-28 stik på marker, der i størrelse har varieret fra 1,3 til 9,3 ha.

**Tabel 7.3.** Det gennemsnitlige antal stikprøver og det gennemsnitlige markareal (samt deres 95 % konfidensinterval), der har resulteret i bestemte variationskoefficienter på bestemmelse af nitratmængden udtrykt i procent af markens nitratindhold. I tabellen svarer "random sampling" til tilfældig prøvetagning, "grid-sampling" til prøvetagning i et fastlagt net og "transekt-sampling" til prøvetagning på en fastlagt linje.

Usikkerhed i NO3 bestemmelse (%)	Strategi	Antal stik	95%-nedre grænse	95%-øvre grænse	Areal (ha)	95%-nedre grænse	95%-øvre grænse
5	random-sampling	35	23	49	4,5	1,3	8,1
	grid-sampling	30	19	45	5,2	1,3	9,3
	transekt-sampling	29	20	41	5,1	1,3	9,3
10	random-sampling	20	13	28	5,1	1,3	9,3
	grid-sampling	14	10	19	5,1	1,3	9,3
	transekt-sampling	15	11	21	5	1,3	9,3
15	random-sampling	12	9	16	5,1	1,3	9,3
	grid-sampling	7	6	9	5,1	1,3	9,3
	transekt-sampling	9	8	12	5	1,3	9,3
20	random-sampling	7	6	9	5	1,3	9,3
	grid-sampling	4	4	4	4,9	1,3	9,3
	transekt-sampling	6	5	7	4,9	1,3	9,3
25	random-sampling	4	4	5	4,9	1,3	9,3
	grid-sampling	2	2	2	4,7	1,3	9,3
	transekt-sampling	4	4	4	4,8	1,5	9,3

Det fundne forhold mellem de forskellige prøvetagningsstrategier skyldes formentlig, at prøvetagning i et fastlagt net minimerer risikoen for prøvetagning af rumligt korrelerede prøver, mens der ved tilfældig prøvetagning tilfældigvis kan optræde nabo-prøver, der er højt korrelerede. Prøvetagningen på en fastlagt linje er en mellemvej mellem de to andre prøvetagningsmetoder, fordi prøvernes afstand langs transekten er gjort så stor så mulig. Derfor er risikoen for rummeligt korrelerede prøver mindre ved prøvetagningen på en fastlagt line end ved tilfældig prøvetagning, men større end ved prøvetagning i et fastlagt net.

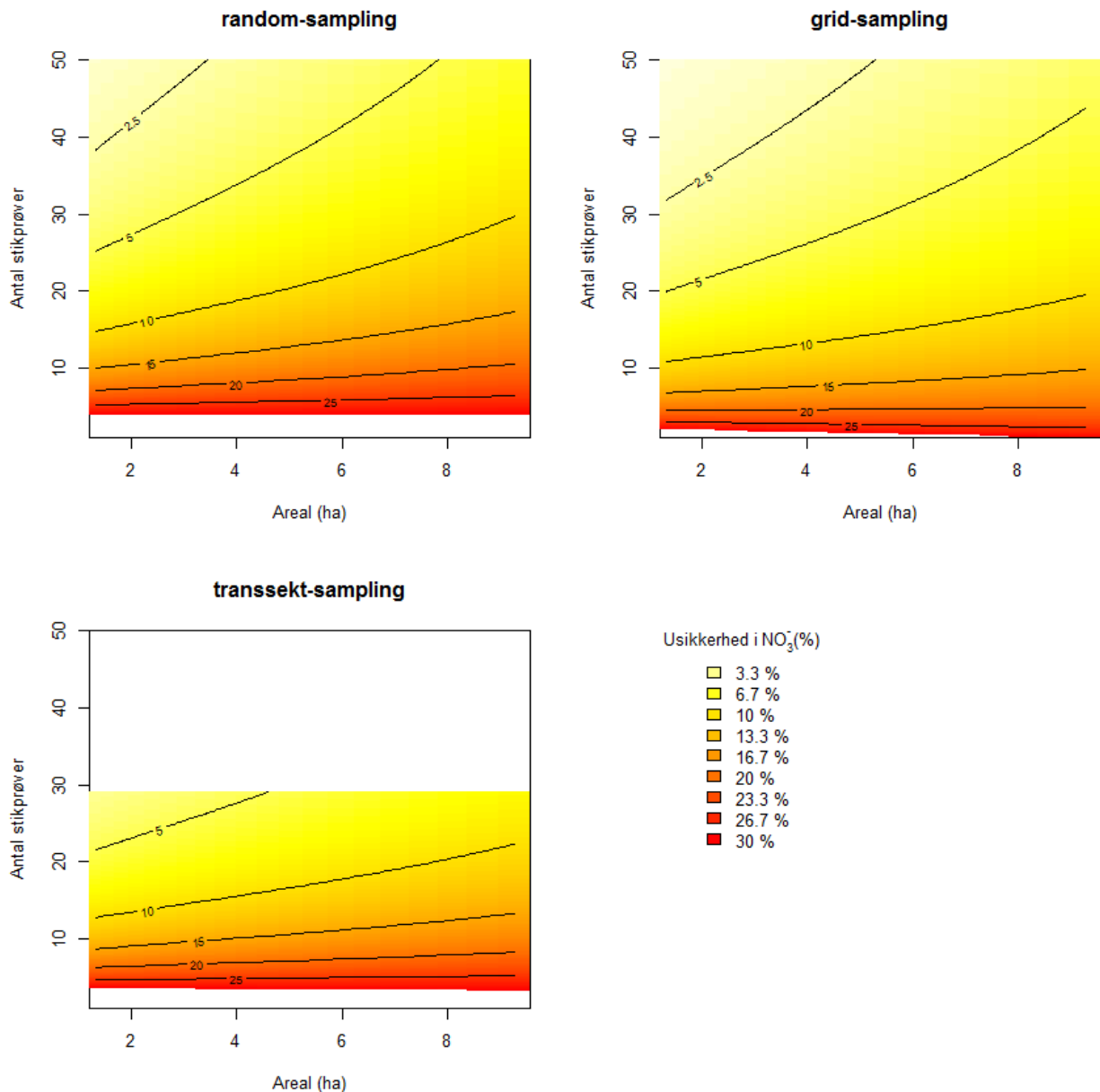


**Figur 7.3.** Det nødvendige antal prøvetagningsstik ved forskellige variationskoefficienter på bestemmelse af nitratmængden som funktion af markens størrelse. Usikkerheden udtrykt som konfidensinterval er  $\pm 1,96$  gange variationskoefficienten. Sammenhængene er vist for forskellige prøvetagningsstrategier – tilfældig prøvetagning, prøvetagning i et fastlagt net og prøvetagning på en fastlagt linje. Resultaterne er baseret på analyser af både mark 49-0 og 41-0. På figuren svarer "random sampling" til tilfældig prøvetagning, "grid-sampling" til prøvetagning i et fastlagt net og "transsekt-sampling" til prøvetagning på en fastlagt linje.

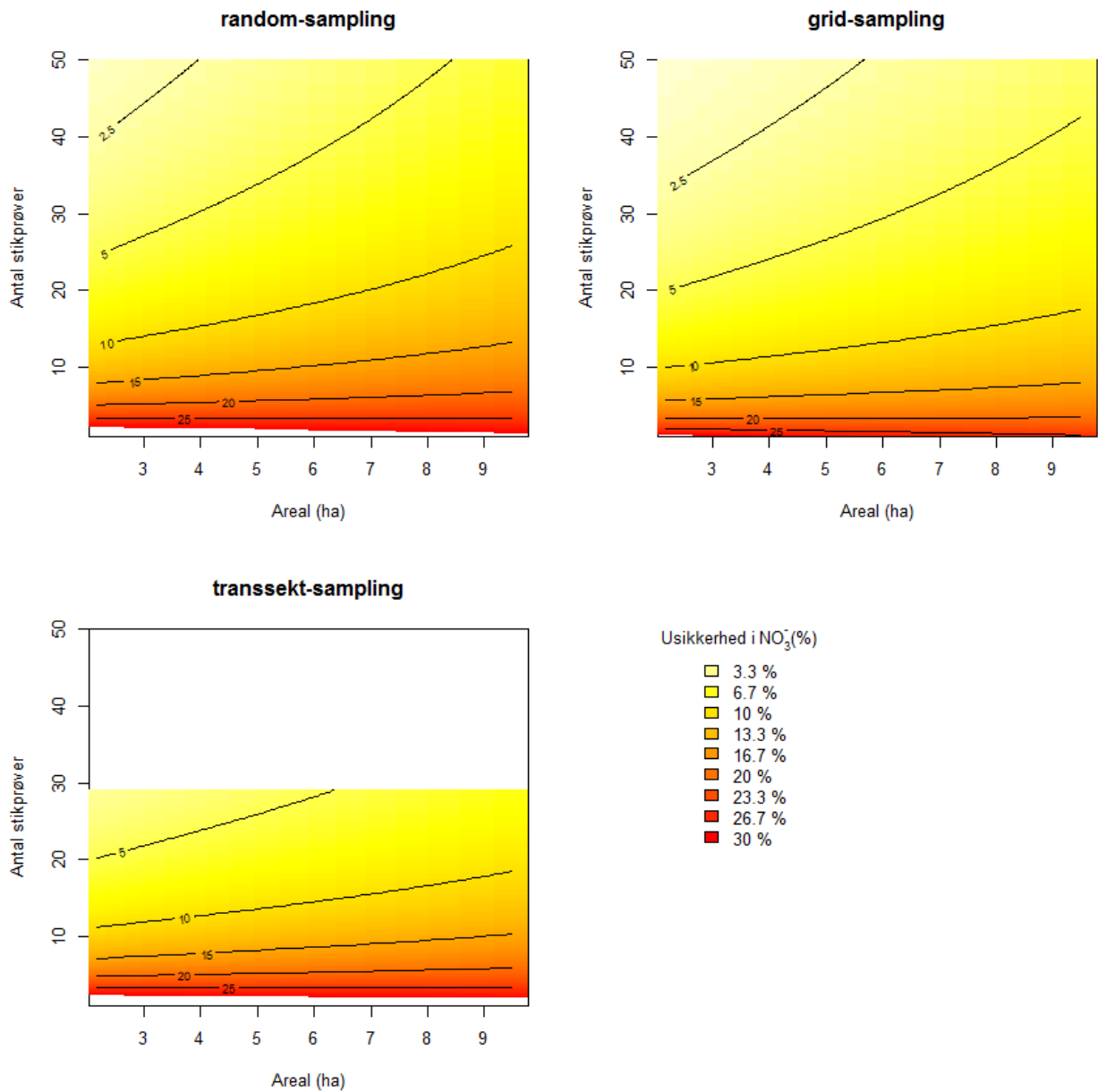
Sammenhængene vist på figur 3 er udledt af resultaterne fra mark 41-0 og mark 49-0 sammen.

På figur 4 og 5 er resultaterne vist for hver mark. De to figurer viser, at kurveforløbet er det samme på de to marker, men også at der er niveauforskelle, således at der i mark 49-0 skal tages flere stik end i mark 41-0

for at opnå samme sikkerhed. Generelle konklusioner om det nødvendige antal prøvetagningsstik på en given markstørrelse for at opnå en bestemmelse af nitratindholdet med en bestemt maksimal usikkerhed kræver, at ovennævnte undersøgelse gennemføres på flere marker. I nærværende projekt er der afsat midler til at undersøge det nødvendige antal prøvetagningsstik på yderligere to marker.



**Figur 7.4.** Det nødvendige antal prøvetagningsstik ved forskellige variationskoefficienter på bestemmelse af nitratmængden som funktion af markens størrelse. Usikkerheden udtrykt som konfidensinterval er  $\pm 1,96$  gange variationskoefficienten. Sammenhængene er vist for forskellige prøvetagningsstrategier – random-sampling, grid-sampling og transekt-sampling. Resultaterne er baseret på analyser af både mark 49-0. På figuren svarer "random sampling" til tilfældig prøvetagning, "grid-sampling" til prøvetagning i et fastlagt net og "transsekt-sampling" til prøvetagning på en fastlagt linje.



**Figur 7.5.** Det nødvendige antal prøvetagningsstik ved forskellige variationskoefficienter på bestemmelse af nitratmængden som funktion af markens størrelse. Usikkerheden udtrykt som konfidensinterval er  $\pm 1,96$  gange variationskoefficienten. Sammenhængene er vist for forskellige prøvetagningsstrategier – random-sampling, grid-sampling og transekt-sampling. Resultaterne er baseret på analyser af både mark 41-0. På figuren svarer "random sampling" til tilfældig prøvetagning, "grid-sampling" til prøvetagning i et fastlagt net og "transekt-sampling" til prøvetagning på en fastlagt linje.

### 7.8 Anbefalet antal prøvetagningsstik i praksis

Ved måling af N-min indholdet til gødsknings- eller andre formål er anbefalingen, at en prøve består af 16 stik, som homogeniseres til en enkelt fællesprøve. Anbefalingen baseres bl.a. på en tidligere undersøgelse af prøvetagningsusikkerheden (Hvelplund, E. og Østergaard, H., 1980). Resultaterne af nærværende un-

dersøgelse bekræfter resultaterne af den tidligere undersøgelse, og der er derfor ikke grund til at ændre denne anbefaling. I praksis er det ofte mest hensigtsmæssigt at fortage prøvetagningen på et transekt, og denne undersøgelse bekræfter, at udtagning af 16 stik på et transekt giver en usikkerhed udtrykt som 95% konfidensinterval på ca.  $\pm 20\%$ .

Usikkerheden på omregning af laboratorieanalysens resultat til kvælstofindhold i jordens øverste meter kan kvantificeres til 11,4 % - 13,8 % af jordens nitrat indhold. Dette er et minimumsestimat af usikkerheden, fordi der i beregningen af denne usikkerhed ikke tages hensyn til den usikkerhed der, hidrører fra omregningen af det originale datasæt fra tekstur til rumvægt.

Usikkerheden på nitratanalysen i laboratoriet blev bestemt til at være  $\pm 22,5\%$  af det gennemsnitlige nitratindhold udtrykt som 95% konfidensinterval. Usikkerhedsestimatet er i sig selv usikkert bestemt og 95% konfidensintervallet for den bestemte usikkerhed var 14% til 55%, når to forskellige jordprøver betragtes under et. Både nitratniveauet og usikkerheden på nitratanalysen var signifikant forskellige på de to lokaliteter.

Det nødvendige antal prøvetagningsstik for at opnå en bestemt sikkerhed på bestemmelse af en marks nitratindhold stiger med stigende markstørrelse for de tre afprøvede prøvetagningsstrategier. Kun hvis den acceptable usikkerhed er  $>50\%$  (standardafvigelse på 25%) er det nødvendige antal prøvetagningsstik uafhængig af markstørrelsen. Ved samme antal prøvetagningsstik opnås den største sikkerhed på bestemmelsen af nitratindholdet ved udtagning af prøverne i et fastlagt prøvetagningsgrid. Den mindste sikkerhed blev opnået ved tilfældig sampling, mens sikkerheden på prøvetagning på fastlagte linjer gennem marken falder mellem de to andre metoder. Det fundne forhold mellem de forskellige prøvetagningsstrategier skyldes formentlig, at prøvetagning i et fastlagt grid minimerer risikoen for prøvetagning af rumligt korrelerede prøver, mens der ved tilfældig sampling tilfældigvis kan optræde naboprøver, der er højt korrelerede. Den gennemførte prøvetagning på fastlagte linjer er en mellemting, fordi prøvernes afstand langs linjen er gjort så stor som muligt og fordi linjerne er placeret, så de dækker en stor del af marken.

Vurderet på grundlag af data fra de to undersøgte marker skal der på en 5 ha stor mark udtages 15 prøvetagningsstik for at opnå en usikkerhed på bestemmelsen af markens nitratindhold på 15 pct. Da der er forskelle i markvariationen fra mark til mark, kræver generelle konklusioner om det nødvendige antal prøvetagningsstik på en given markstørrelse for at opnå en bestemmelse af nitratindholdet med en bestemt maksimal usikkerhed, at nærværende undersøgelse gennemføres på flere marker.

På baggrund af undersøgelsen fastholder SEGES den hidtidige anbefaling, at der til en N-min prøve udtages 16 stik og at prøven ikke dækker mere end 5 ha. De 16 stik udtages, så de repræsenterer hele marken enten ved at tage prøverne i et net eller ved at udtage prøverne på en eller flere linjer, som placeres, så de løber gennem mest muligt af marken. Stikkene placeres med størst mulig afstand på linjen. På det foreliggende datagrundlag vurderes det, at denne strategi muliggør at jordens nitratindhold kan bestemmes med en usikkerhed udtrykt som 95% konfidensinterval på 20 % til 30 %.

#### Kilder

Djurhuus, J. & Jacobsen, O. H., 1995. Comparison of ceramic suction cups and KCl extraction for the determination of nitrate in soil. Statens Planteavlsvforsøg

Hvelplund, E. og Østergaard, H., 1980. Efterafgrøders kvælstofudnyttelse i relation til gødskningsøkonomi og miljø. Landskontoret for Planteavl.

Trénel, P., 2015. [Optimeret NO<sub>3</sub> bestemmelsesstrategi \(Bilag 1\)](#). AgroTech



## 8 SAMLET USIKKERHED PÅ METODEN

Som beskrevet i de foregående afsnit er der knyttet flere usikkerheder til måling af jordens indhold af nitrat- og ammoniumkvælstof (N-min) og omsætningen af måleresultatet til udvaskning. Usikkerheden udgøres dels af den usikkerhed, der er forbundet med prøvetagningen i marken og laboratorieanalysen, usikkerheden der hidrører fra at der anvendes en standard rumvægt for hver enkelt jordtype i stedet for en aktuel målt rumvægt i den prøvetagne mark, samt endelig usikkerheden forbundet med omregningen fra det målte nitratindehold til nitratudvaskning fra rodzonen. Se afsnit 7. Den samlede usikkerhed ved beregning af en udvaskning ud fra målt nitratindehold på markniveau er beregnet i dette afsnit. Desuden er usikkerheden på ejendomsniveau beskrevet for forskellige case-egendomme.

Den samlede usikkerhed er beregnet ved stokastisk modellering ud fra en række forudsætninger og ved forskellige niveauer af input parametre, som er beskrevet her under:

### Sampling strategi

Det er antaget at der i hver mark udtages 16 stik, der blandes til en samlet prøve, der sendes til analyse for indhold af nitrat- og ammoniumindhold. Stikkene udtages på et transekt i marken.

### Markstørrelse

Usikkerheden bestemmes ved markareal på 5 ha, idet konceptet foreskriver, at marker større end 5 ha neddeles i delmarker på maksimalt 5 ha. Usikkerheden er mindre på små marker (afsnit 7), hvorfor der beregnes en maksimal usikkerhed, når det antages, at alle marker er 5 ha.

### Jordtype

Usikkerheden beregnes for alle jordtyper fra JB 1 til JB 7.

### Afstrømning

Usikkerheden beregnes for afstrømninger fra 100 – 600 mm i intervaller på 50 mm.

### N-min niveau

Usikkerheden beregnes for niveauer af N-min fra 10 – 150 kg N pr. ha i intervaller på 10 kg N pr. ha. I analysen beregnes en usikkerhed på prøvetagningen i marken, på laboratorieanalysen, på anvendelsen af en standard rumvægt, samt på omregningen fra N-min til nitratudvaskning fra rodzonen.

Udover at beregne usikkerheden, beregnes den sikkerhed som usikkerheden er bestemt med, ved hjælp af en bootstrap metode. I en bootstrap metode konstrueres en række alternative datasæt ved tilfældigt, at trække data ud fra det oprindelige datasæt, således at der konstrueres et datasæt af samme størrelse som de oprindelige, men lidt forskelligt. Dette gøres i nærværende simuleringer 499 gange, og den usikkerheden for en given parameter bestemmes for hvert af de 499 datasæt. Ud fra fordelingen af de med bootstrap metoden beregnede usikkerheder kan den sikkerhed, hvormed usikkerhederne er estimeret beregnes.

### **8.1 Metode for stokastisk modellering af usikkerhed for rumvægtsbestemmelse**

Denne usikkerhed er her kvantificeret ud fra et datasæt fra Kvadratnettet med 518 rumvægte estimeret på grundlag af den målte tekstur. Se afsnit 7.5.

## 8.2 Metode for stokastisk modellering af usikkerhed for laboratorieanalyse

Der er også knyttet en usikkerhed til analysen i laboratoriet. Beregningen af denne usikkerhed er beskrevet i afsnit 7.6. Ud fra analysen i afsnit 7.6 kan standardafvigelsen for laboratorieanalysen beskrives efter ligning 1:

$$\text{Ligning (1): } \text{Nitrat}_{ppm} = \beta_0 + \text{lokalitet} + \text{år}_i + e, \text{ hvor lokalitet} \sim N(0, \sigma^2), \text{ år}_i \sim N(0, \sigma_{\text{år}}^2) \text{ og } e \sim N(0, \sigma^2)$$

hvor lokaliteten er det sted, jordprøven er taget, og år er den tilfældige effekt af analyseår. Den totale standardafvigelse for laboratorieanalysen er:  $SD_{\text{laboratorie}} = \sqrt{\sigma_{\text{år}}^2 + \sigma_e^2}$  og er som beskrevet i afsnit 7.6 afhængig af lokaliteten og er i gennemsnit af de to undersøgte lokaliteter 11,5 %, svarende til et konfidensinterval på  $\pm 22,5\%$ .

## 8.3 Metode for stokastisk modellering af samlet usikkerhed for prøvetagning i en mark

Usikkerheden forbundet med prøvetagningen i marken hidrører fra, at der er en usikkerhed knyttet til repræsentativiteten af de 16 stik, der udtages i marken. I en perfekt homogen mark hvor N-min er ens i hele marken vil denne usikkerhed således være nul. I praksis er denne variation dog betydelig, og det vil være forskelligt fra mark til mark, hvor stor den rummelige variation i N-min er inden for en mark. Estimatet for usikkerheden er baseret på prøvetagning i et grid på 25 x 25 m i to marker på samme ejendom i samme år som beskrevet i afsnit 7.7 og efterfølgende simuleringer af udtagninger af N-min prøver i et transekt med 16 stik.

Det antages, at den beregnede usikkerhed er generel og derfor gældende i en tilfældig mark. Det betyder, at det antages, at variationen i jordens N-min indhold i de to testmarker er repræsentativ for marker generelt. Denne antagelse kan for nuværende ikke underbygges af et empirisk datagrundlag, fordi der kun findes data fra disse to marker. Det forventes dog, at det beregnede usikkerhedsestimat er højere end det vil være for en dansk gennemsnitsmark, fordi den de prøvetagne marker er beliggende i et moræneområde i Østjylland, hvor jordbundsforholdene er meget varierende. Der er i nærværende projekt afsat midler til at udvide datagrundlaget med tre yderligere marker, som senere vil kvalificere om den her anvendte usikkerhed er repræsentativ for danske marker.

Modellen for standardafvigelsen ved prøvetagning i en mark er beskrevet ved ligning 2:

$$\text{Ligning (2): } \log(SD(\text{Nitrat})) = \beta_0 + \beta_1 \text{Nitrat}_m + \beta_2 \sqrt{\text{antal stik}} + \beta_3 \sqrt{\text{Areal}} + \beta_4 \text{Strategi} + \beta_5 \text{Nitrat}_m \times \sqrt{\text{Areal}} + \beta_6 \sqrt{\text{antal stik}} \times \sqrt{\text{Areal}} + \beta_7 \sqrt{\text{antal stik}} \times \text{strategi} + \beta_8 \text{Nitrat}_m \times \sqrt{\text{areal}} \times \sqrt{\text{antal stik}} + \text{mark} + e$$

hvor mark  $\sim N(0, \sigma_{\text{mark}}^2)$  og  $e \sim N(0, \sigma^2)$ , og hvor,  $\text{Nitrat}_m$  er markens gennemsnitlige N-min indhold,  $\text{antal stik}$  er det antal stik, der er taget i marken,  $\text{Areal}$  er markens areal,  $\text{Strategi}$  er prøvetagingsstrategien (grid, tilfældig, transekt), mark er den tilfældige effekt af hvilken mark undersøgelsen er lavet i, og  $e$  er restvariationen. I nærværende analyse er antal stik altid 16, strategien er transektsampling og arealet er 5 ha, som anbefalet i konceptet.

#### 8.4 Metode for stokastisk simulering af omregningen fra N-min samt den samlede usikkerhed

Omregningen fra N-min til udvaskning sker, jf. afsnit 3 efter formlen:

$$\text{Udvaskning} = (\text{N-min} * F * A)/100$$

hvor  $F$  er forholdet mellem N-min og normaliseret nitratudvaskning (mg N/L).  $F = 0,32$  på sandjord (JB1-4) og  $0,16$  på lerjord (>JB4).

Som beskrevet i afsnit 3 er der en væsentlig usikkerhed forbundet med estimatet for parameteren  $F$ , idet standardafvigelsen for faktoren  $F$  er ca. 30% på både ler- og sandjord.

Standardafvigelsen på omregningen fra nitrat i jorden til udvaskning er som for de andre parametre bestemt ved en stokastisk simulering med bootstrapping ( $n=499$ ). Standard afvigelsen for de beregnede N-udvaskninger beregnes som:

$$\text{Ligning (3): } SD(\text{Nudvaskning}_{m,i}) = \sqrt{\frac{\sum \text{Nudvasning}_m - \text{Nudvaskning}_{m,i}}{N}}, \text{ hvor } \text{Nudvaskning}_{m,i} \text{ beregnes som:}$$

$$\text{Ligning (4): } \text{Nudvaskning}_{m,i} = \frac{(p_i \times v_i + e_i) \times F(\text{JBnr})_i \times A}{100},$$

hvor,  $p_i$  beskriver usikkerheden ved prøvetagning i mar-ken og ved laboratorie analysen,  $v_i$  beskriver usikkerheden ved anvendelse af en standard rumvægt,  $F(\text{JBnr})_i$  er en funktion der beskriver usikkerheden på parameteren  $F$  på den  $i$ te jordtype (sand/ler) og  $A$  er afstrømningen.

#### 8.5 Samlet usikkerhed for den estimerede nitratudvaskning

Den samlede standardafvigelse på udvaskning estimeret ud fra en måling af jordens nitratindhold i 1 m's dybde i en enkelt mark er summen af standardafvigelsen på prøvetagning i marken, standardafvigelsen på analysen i laboratoriet, standardafvigelsen på rumvægten, og standardafvigelsen på omregningen fra nitrat indhold i jorden til en estimeret udvaskning. Denne samlede standardafvigelse beregnes i praksis med simuleringen beskrevet i ligning (4), men kan også beregnes selvstændigt efter ligning 5:

$$\text{Ligning (5): } SD_{\text{Udvaskning}} = \sqrt{SD_{\text{Prøvetagning}}^2 + SD_{\text{Laboratorie}}^2 + SD_{\text{Rumvægt}}^2 + SD_{\text{Omregning}}^2},$$

hvor  $SD_{\text{prøvetagning}}$  er standardafvigelsen ved prøvetagningen i marken,  $SD_{\text{Laboratorie}}$  er standardafvigelsen for analysen i laboratoriet, og  $SD_{\text{Rumvægt}}$  er standardafvigelsen ved anvendelse af en standard rumvægt, og  $SD_{\text{Omregning}}$  er standardafvigelsen ved omregning fra nitrat til udvaskning.

De usikkerheder der er beregnet herunder er alle udtrykt som 95% konfidensintervaller omkring den beregnede nitratudvaskning fra marken. Størrelsen for standardafvigelse afhænger både af nitratniveauet og for omregningen fra nitrat til udvaskning også af afstrømningens størrelse og stiger med højere nitratindhold i jorden og højere afstrømning. Derfor er det hver beregnet udvaskning knyttet en usikkerhed. Tabel 1 og 2 viser eksempler på usikkerheden ved forskellige niveauer af nitrat og afstrømning på henholdsvis JB1 og JB6, og dermed ved forskellige udvaskningsniveauer. Usikkerheden for JB1 og JB6 adskiller sig ved komponenten  $SD_{\text{omregning}}$  fordi den usikkerhed der er knyttet til  $F$  faktoren i omregning fra nitrat til udvaskning mindre på lerjord end på sandjord, og ved komponenten  $SD_{\text{rumvægt}}$  fordi usikkerhederne på rumvægten

er forskellige ved forskellige jordtyper. Forskellen i usikkerhed der skyldes  $SD_{\text{rumvægt}}$  er dog ubetydelig i forhold til den del af usikkerheden der skyldes forskellen i komponenten  $SD_{\text{omregning}}$ , og derfor er den beregnede usikkerhed på JB1 og JB6 stort set betragtes som repræsentativ for henholdsvis sandjord (JB1 - JB4) og lerjord (JB5 - JB7).

Den totale usikkerhed på metoden er meget betydelig på enkeltmarksniveau. På en mark med sandjord vil man ofte kunne observere et nitrat indhold i jorden på 70 kg nitrat pr. ha og en afstrømning på 400 mm. Det vil resultere i en beregnet udvaskning på 90 kg nitrat pr. ha, med en usikkerhed på  $\pm 65$  kg nitrat pr. ha (Tabel 1), således at den beregnede udvaskning med 95% sikkerhed vil ligge mellem 25-155 kg N pr. ha. I procent er usikkerheden således på hele 68 % af den beregnede udvaskning. På lerjord vil en typisk situation med 50 kg nitrat pr. ha og 200 mm afstrømning resultere i en beregnet udvaskning 16 kg nitrat pr. ha  $\pm 11$  kg nitrat pr. ha (Tabel 2), og udvaskning vil altså med 95% sikkerhed ligge mellem 5 og 27 kg N pr. ha, dvs. en usikkerhed på 69 % af den beregnede udvaskning.

**Tabel 8.1.** Beregnet udvaskning  $\pm$ konfidensinterval ved forskellige niveauer af nitrat og afstrømning på JB1.

Usikkerheden er angivet som 95% konfidensinterval. Usikkerheden ved typiske nitrat niveauer i jorden på 40 – 80 kg nitrat pr. ha og en afstrømning på 500 mm er mellem 45 og 99 kg N pr. ha. Det svarer til 71-77 % af den beregnede udvaskning.

<i>Afstrømning</i> (mm)	50	100	200	300	400	500	600
<i>Nitrat</i> (kg pr. ha)							
10	2 $\pm$ 1	3 $\pm$ 3	6 $\pm$ 6	9 $\pm$ 9	13 $\pm$ 11	16 $\pm$ 15	19 $\pm$ 19
20	3 $\pm$ 2	7 $\pm$ 5	13 $\pm$ 9	19 $\pm$ 14	26 $\pm$ 18	32 $\pm$ 22	39 $\pm$ 27
30	5 $\pm$ 3	10 $\pm$ 7	19 $\pm$ 13	29 $\pm$ 20	40 $\pm$ 27	48 $\pm$ 31	58 $\pm$ 38
40	6 $\pm$ 4	13 $\pm$ 9	26 $\pm$ 17	38 $\pm$ 27	51 $\pm$ 35	63 $\pm$ 45	77 $\pm$ 50
50	8 $\pm$ 5	16 $\pm$ 12	32 $\pm$ 22	47 $\pm$ 31	66 $\pm$ 46	79 $\pm$ 51	97 $\pm$ 68
60	9 $\pm$ 7	19 $\pm$ 13	38 $\pm$ 28	57 $\pm$ 38	77 $\pm$ 53	98 $\pm$ 69	110 $\pm$ 84
70	11 $\pm$ 9	21 $\pm$ 17	44 $\pm$ 34	66 $\pm$ 50	90 $\pm$ 65	111 $\pm$ 83	134 $\pm$ 100
80	12 $\pm$ 10	25 $\pm$ 21	50 $\pm$ 39	73 $\pm$ 63	102 $\pm$ 89	129 $\pm$ 99	153 $\pm$ 125
90	14 $\pm$ 13	29 $\pm$ 28	60 $\pm$ 54	85 $\pm$ 84	117 $\pm$ 112	145 $\pm$ 143	176 $\pm$ 166
100	16 $\pm$ 18	32 $\pm$ 35	63 $\pm$ 68	93 $\pm$ 107	125 $\pm$ 144	152 $\pm$ 167	200 $\pm$ 230
110	18 $\pm$ 25	36 $\pm$ 52	71 $\pm$ 98	109 $\pm$ 158	129 $\pm$ 203	172 $\pm$ 231	224 $\pm$ 306
120	19 $\pm$ 35	39 $\pm$ 76	77 $\pm$ 145	111 $\pm$ 206	162 $\pm$ 321	199 $\pm$ 343	228 $\pm$ 408
130	19 $\pm$ 51	39 $\pm$ 103	85 $\pm$ 206	129 $\pm$ 323	187 $\pm$ 463	211 $\pm$ 514	238 $\pm$ 604
140	24 $\pm$ 78	44 $\pm$ 159	85 $\pm$ 304	132 $\pm$ 486	177 $\pm$ 603	232 $\pm$ 758	240 $\pm$ 961
150	28 $\pm$ 112	43 $\pm$ 222	107 $\pm$ 463	153 $\pm$ 736	170 $\pm$ 925	227 $\pm$ 1164	339 $\pm$ 1411

**Table 8.2.** Beregnet udvaskning  $\pm$ konfidensinterval ved forskellige niveauer af nitrat og afstrømning på JB1.

Usikkerheden er angivet som 95% konfidensinterval. Usikkerheden ved typiske nitrat niveauer i jorden på 40 – 80 kg nitrat pr. ha og en afstrømning på 200 mm er mellem 9 og 20 kg N pr. ha. Det svarer til 69-80 % af den beregnede udvaskning

<b>Afstrømning</b> (mm)	50	100	200	300	400	500	600
<b>Nitrat</b> (kg pr. ha)							
10	1 $\pm$ 1	2 $\pm$ 2	3 $\pm$ 3	5 $\pm$ 5	6 $\pm$ 6	8 $\pm$ 7	10 $\pm$ 9
20	2 $\pm$ 1	3 $\pm$ 2	6 $\pm$ 5	10 $\pm$ 7	13 $\pm$ 10	16 $\pm$ 12	19 $\pm$ 14
30	2 $\pm$ 2	5 $\pm$ 3	10 $\pm$ 6	14 $\pm$ 11	19 $\pm$ 14	24 $\pm$ 17	29 $\pm$ 21
40	3 $\pm$ 2	6 $\pm$ 5	13 $\pm$ 9	19 $\pm$ 13	25 $\pm$ 16	33 $\pm$ 21	38 $\pm$ 25
50	4 $\pm$ 3	8 $\pm$ 6	16 $\pm$ 11	24 $\pm$ 17	33 $\pm$ 21	39 $\pm$ 27	48 $\pm$ 32
60	5 $\pm$ 3	10 $\pm$ 7	19 $\pm$ 13	30 $\pm$ 20	39 $\pm$ 27	49 $\pm$ 33	58 $\pm$ 40
70	6 $\pm$ 4	11 $\pm$ 9	22 $\pm$ 17	34 $\pm$ 25	46 $\pm$ 33	56 $\pm$ 42	67 $\pm$ 52
80	6 $\pm$ 5	13 $\pm$ 10	25 $\pm$ 20	39 $\pm$ 33	50 $\pm$ 42	65 $\pm$ 52	77 $\pm$ 63
90	7 $\pm$ 7	14 $\pm$ 13	29 $\pm$ 29	43 $\pm$ 39	60 $\pm$ 55	70 $\pm$ 68	87 $\pm$ 80
100	8 $\pm$ 9	16 $\pm$ 17	31 $\pm$ 34	48 $\pm$ 55	66 $\pm$ 71	83 $\pm$ 89	95 $\pm$ 105
110	9 $\pm$ 12	17 $\pm$ 23	35 $\pm$ 47	51 $\pm$ 75	72 $\pm$ 102	82 $\pm$ 118	108 $\pm$ 148
120	10 $\pm$ 18	19 $\pm$ 35	41 $\pm$ 71	55 $\pm$ 105	75 $\pm$ 133	91 $\pm$ 173	120 $\pm$ 214
130	10 $\pm$ 27	19 $\pm$ 53	40 $\pm$ 102	65 $\pm$ 151	77 $\pm$ 205	98 $\pm$ 268	127 $\pm$ 320
140	11 $\pm$ 35	22 $\pm$ 82	40 $\pm$ 145	72 $\pm$ 248	88 $\pm$ 295	113 $\pm$ 383	121 $\pm$ 469
150	11 $\pm$ 60	26 $\pm$ 128	49 $\pm$ 226	69 $\pm$ 327	109 $\pm$ 429	118 $\pm$ 543	137 $\pm$ 736

### 8.6 Samlet usikkerhed for den estimerede nitratudvaskning

I nærværende koncept er enheden for regulering bedriften og ikke den enkelte mark. Derfor skal der efter prøvetagning af alle bedriftens marker beregnes en gennemsnitlig udvaskning, som landmanden skal overholde. Det er derfor interessant at beskrive, hvordan usikkerheden på den beregnede udvaskning slår igennem på bedriftsniveau.

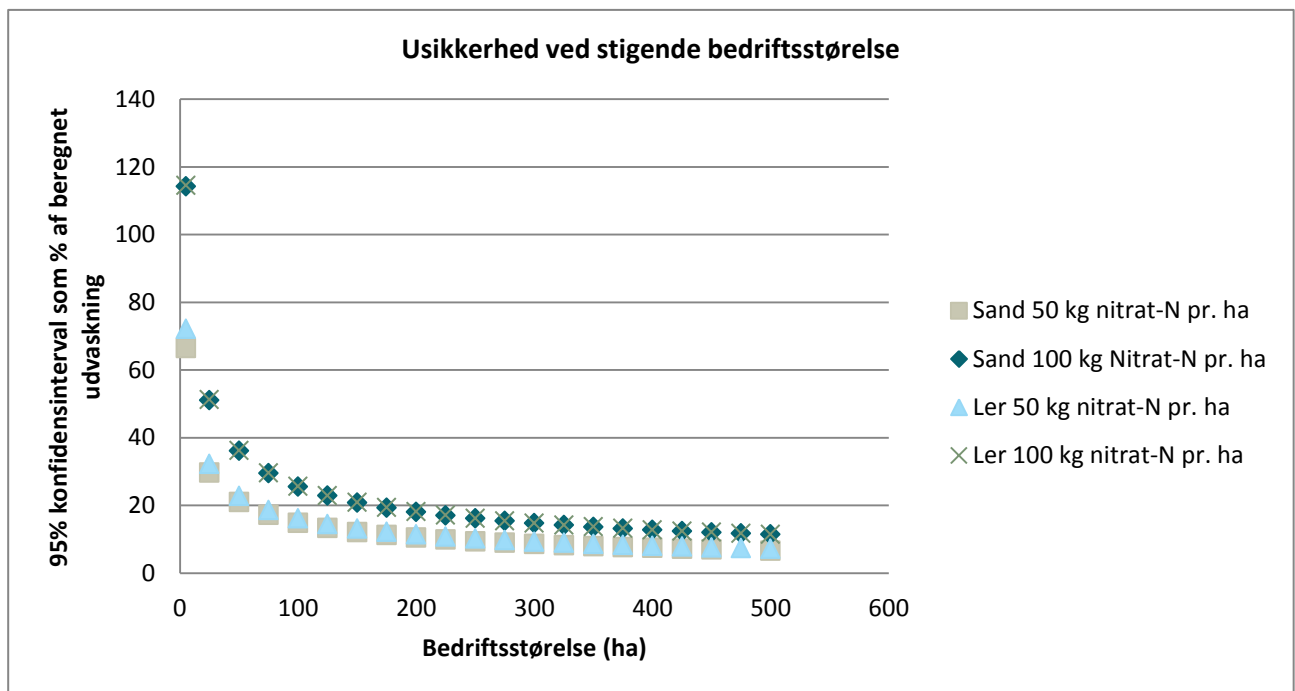
Standardafvigelsen på en ejendoms gennemsnitlige udvaskning er det vægtede kvadratiske gennemsnit af standardafvigelsen for bedriftens enkelte marker givet ved ligning 6:

$$\text{Ligning (6): } SD_{\text{Bedrift}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i SD_i^2}$$

hvor  $SD_i$  er standardafvigelsen for den  $i$ 'te mark,  $n$  er antallet af marker på bedriften og  $w_i$  er den  $i$ 'te marks arealandel ud af bedriftens samlede markareal.

Det fremgår af ligning 6 at standardafvigelsen, og dermed usikkerheden, for det samlede bedriftsgennemsnit falder, hvis der er mange marker på bedriften, fordi de vægtede varianser ( $w_i SD_i^2$ ) skaleres med  $1/n$ , hvor  $n$  er antallet af marker. I figur 1 er illustreret hvad bedriftsstørrelsen betyder for den relative usikkerhed på bedriftens gennemsnit, ved to N-min niveauer. Usikkerheden er beregnet for en fuldstændig homogen bedrift hvor alle marker har samme nitrat niveau og alle marker er 5 ha store. Usikkerheden er stor på små bedrifter, men falder hurtigt indtil bedriften ca. 100 ha. På en bedrift på 100 ha er usikkerheden ca. 8% af

udvaskningen ved 50 kg nitrat i jorden og 13% ved 100 kg nitrat i jorden. Ved højere N-min niveauer stiger usikkerheden meget betydeligt (data ikke vist). Udvasningsniveauerne er meget forskellige ved de to nitrat niveauer og imellem jordtyper, hvorfor man skal være opmærksom på, at den absolutte usikkerhed er meget forskellig for de forskellige scenarier. Jordtypen og afstrømningen (data ikke vist) har kun ringe effekt på relationen mellem bedriftsstørrelse og udvaskningen, og der er derfor regnet med en afstrømning på 300 mm på lerjord og 600 mm på sandjord. Metoden tilbyder generelt kun en fornuftig usikkerhed hvis bedriftsstørrelsen er større end 100 ha, hvor bedriftsgennemsnittet med 95% sikkerhed vil være bestemt inden for et interval på 15-25 % af den beregnede udvaskning. Bedriften skal være over 600 ha for at man med 95% sikkerhed kan bestemme udvaskningen med en sikkerhed på 10 %.



**Figur 8.1.** Usikkerhed ved forskellige bedriftsstørrelser. Usikkerheden er beregnet for sandjord (JB1) og lerjord (JB6), og ved 50 og 100 kg nitrat i jorden. Usikkerheden er opgjort som 95% konfidensinterval udtrykt som % af den beregnede udvaskning. Den beregnede udvaskning er ved 50 kg nitrat pr. ha og 300 mm afstrømning er henholdsvis 47 og 24 kg nitrat pr. ha på sand- og lerjord, og ved 100 kg nitrat pr. ha, henholdsvis 93 og 48 kg nitrat pr. ha på sand- og lerjord.

For yderligere at illustrere hvad usikkerheden vil betyde i praksis er der opstillet 14 hypotetiske modelbedrifter. Disse varierer i størrelse fra 100 – 400 ha og i gennemsnitligt N-min niveau fra 59 - 120 kg N pr. ha. Bedrifterne er beliggende enten på sand eller lerjord. Det fremgår klart af tabel 3, at usikkerhederne kan blive uacceptabelt høje på ved meget høje værdier af N-min, selv på bedrifter på 200 ha. Om usikkerheden er acceptabel er således en funktion af både bedriftsstørrelse (figur 1) og bedriftens gennemsnitlige N-min niveau. Dette gælder både på sand og lerjord.

**Tabel 8.3.** Beregnede udvaskning på forskellige hypotetiske modelbedrifter. Bedrifterne varierer i antal marker og nitrat niveau i jorden. På bedrifter mærket med \* indgår ti marker der ikke er prøvetaget, f.eks. frøgræs, og hvor N-min værdien er fastsat til 20 kg N pr. ha uden usikkerhed.

	JB	Afstrømning (mm)	Antal marker	Areal (ha)	Bedriftsgennemsnit for nitrat i jord (kg N pr. ha)	Beregnet udvaskning for bedrift (kg N. pr ha)	95% konfidensinterval	95% konfidensinterval som % af beregnet udvask.
<b>A</b>	1	450	20	100	62	89	[73;104]	17,1
<b>B</b>	1	450	20	100	120	174	[104;245]	40,5
<b>C</b>	1	450	40	200	120	174	[124;224]	28,6
<b>D</b>	1	450	40	200	73	105	[89;121]	15,2
<b>E</b>	1	450	80	400	87	126	[112;141]	11,6
<b>F</b>	1	450	40	200	73	105	[89;121]	15,2
<b>G</b>	1	450	80	400	64	92	[84;101]	9,3
<b>H</b>	1	450	80	400	59	85	[77;93]	9,7
<b>I</b>	6	250	20	100	62	25	[20;29]	17,7
<b>J</b>	6	250	20	100	120	49	[28;70]	42,1
<b>K</b>	6	250	40	200	120	49	[35;64]	29,8
<b>L</b>	6	250	40	200	73	29	[24;34]	15,7
<b>M</b>	6	250	80	400	87	34	[30;38]	12,2
<b>N</b>	6	250	40	200	73	29	[24;34]	15,7
<b>O</b>	6	250	80	400	64	25	[23;28]	9,6
<b>P</b>	6	250	80	400	59	23	[21;26]	9,9

### Konklusion

Usikkerheden falder med stigende bedriftsstørrelse og faldende kvælstofindhold i jorden. Usikkerheden er ikke særligt påvirket af afstrømningens størrelse. Metoden er meget usikker på bedrifter mindre end 100 ha, samt på bedrifter hvor det gennemsnitlige N-min indhold er >100 kg pr. ha, idet udvaskningen på sådanne bedrifter vil være bestemt med en usikkerhed på  $\geq \pm 20\%$ . Usikkerheden vil som hovedregel være  $\leq \pm 20\%$  på bedrifter >150 ha med et gennemsnitligt N-min niveau på <100 kg N pr. ha, og det kan ikke anbefales at anvende metoden på bedrifter der falder uden for dette interval. Intervallet vil dog inkludere langt hovedparten af de danske heltidsbedrifter.

## 9 LABORATORIEANALYSER

### 9.1 Krav til laboratorieanalyse

Analyserne skal udføres på et laboratorium, der er akkrediteret til analysen, og jordprøverne analyseres for indhold af nitratkvælstof. Fremgangsmåden ved modtagelse, opbevaring og analyse af jordprøverne er beskrevet i bilag 4.

Baggrunden, for at jorden alene analyseres for indhold af nitratkvælstof, er, at jordens ammoniumindhold normalt er lavt og variationen normalt lille. Det betyder, at variationen i Nitrat-N primært skyldes variationen i nitrat. I praksis har det tre fordele kun at analysere prøverne for nitrat:

- Der er stor risiko for at forurene prøverne med ammonium under prøvetagning,
- Nitrat er mindre følsom for prøvehåndtering fra prøvetagning til analyse end ammonium,
- Analyseomkostningerne er lidt lavere.

Prøveudtagningen er langt den største omkostning ved emissionsbaseret regulering baseret på jordmålinger. Derfor er det begrænset, hvad der samlet set kan spares ved kun at analysere for nitrat.

Ulempen ved kun at analysere for nitrat er,

- at høje Nitrat-N-tal, der skyldes ammonium, overses. Disse findes dog typisk kun hvor der er kørt husdyrgødning ud kort før prøvetagning og på afgræsningsarealer.

I kapitel 7 om usikkerhed forbundet med prøvetagning og analyse er beskrevet undersøgelser gennemført med det formål at bestemme usikkerheden på mark og bedriftsniveau. Her er der gennemgået en analyse af usikkerheden på laboratorie niveau.

Til belysning af usikkerheden på analysen i laboratoriet er der indhentet jord fra pløjelaget i to marker. Jorden fra hver mark er efterfølgende tørret, homogeniseret, opfugtet, neddelt i plastdåser og dybfrosset. I årene 2010 til 2015 er der flere gange sendt frosne jordprøver til laboratoriet, som har analyseret jordprøverne for indhold af nitrat- og ammoniumkvælstof.

Resultaterne af undersøgelsen af usikkerheden på laboratorieanalysen viser, at usikkerheden<sup>a)</sup> på nitratanalysen er ca. 10 pct., når resultaterne fra de to markers jord betragtes under ét. Men analyseusikkerheden er forskellig på de to jorder.

*I Bilag 4 er angivet hvorledes Eurofins AgroTesting Danmark A/S beskriver deres autoriserede bestemmelse af AMMONIUM- OG NITRATKVÆLSTOF I JORDPRØVER (N-MIN).*



## 10 BEREGNING AF JORDENS INDHOLD AF NITRATKVÆLSTOF I KG N/HA

Ved omregning fra analyseværdierne (mg N pr. kg tør jord (ppm)) til kg N pr. ha i jordlaget 0-100 cm multipliceres analyseværdierne med 14,3, idet der antages en standard rumvægt for hele jordlaget på 1,43. Denne omregningsfaktor anvendes på mineralske danske jordtyper JB 1-7 jorde.

På humusjord (JB 11, pct. humus >7) bestemmes rumvægten altovervejende af humusindholdet, og det er ikke muligt at bestemme en standard rumvægt for jordtypen JB 11 (Knudsen m.fl., 2011). Hvis landmanden har mistanke om, at jordtypen er JB 11 i et eller flere lag i profilen kan han for egen regning få gennemført en teksturanalyse, hvorefter rumvægten bestemmes på grundlag af analyseresultatet:

Spredningen på den gennemsnitlige rumvægt i 0-100 cm dybde beregnet ud fra teksturen er lidt under 10 pct. på JB 1-7 (beregnet på knap 600 landbrugsarealer i Kvadratnettet). Usikkerheden på et nitratindhold på 50 kg N pr. ha ved at anvende en standardværdi for rumvægtene altså +/- 5 kg N pr. ha.

## 11 GRAVETILLADELSER

Ved udtagning af jordprøver og andre graveopgaver dybere end 40 cm er det lovpligtigt at lave en graveforespørgsel ved Ledningsejerregistret (LER). Det betyder, at hvor der udtages jordprøver til bestemmelse for indhold af f. eks. nitrat dybere end 40 cm, skal der inden prøveudtagning foretages en graveforespørgsel.

### Ledningsejerregisteret

"Ledningsejerregisteret (LER) er et register over ejere af ledninger i den danske undergrund. Registeret indeholder ikke oplysninger om den faktiske placering af ledningerne." Se Ler.dk for yderligere information.

Der er krav om at forespørge på LER, hvis man skal foretage gravearbejde. Alle ledningsejere har pligt til at indberette, hvor deres ledninger ligger og hvilke typer der er tale om (stærkstrøm, vand, lysleder mm). Der er således en principiel pligt til at forespørge, når der udtages jordprøver dybere end 40 cm.

### Graveforespørgsel

En graveforespørgsel kræver, at ens virksomhed og den PC, hvor forespørgslen foretages fra, har installeret digital signatur. Selve forespørgslen foregår ved at uploade koordinater og adresseoplysninger for det område, hvor man vil grave eller udtage dybe jordprøver. Efter 5 arbejdsdage skal der foreligge svar om evt. ledninger fra evt. ledningsejere på arealet.

En graveforespørgsel koster på nuværende tidspunkt (maj 2016) 0,03 kr./m<sup>2</sup>. Der kan forespørges på et punkt, en linie eller en flade:

Punkt: Et koordinat sæt. Angiv ligeledes antal meter (radius) således at der dannes en cirkel som areal.

Linjer: to koordinat sæt. Angiv start og slut af linjen – hertil angives antal meter, der udgør bredden af arealet.

Flade: tre eller flere koordinatsæt angiver placeringen af arealet.

Proceduren er at sende koordinater i UTM Zone 32 samt en adresse – gade + postnummer/by (adressen tættest på gravepunktet) for graveforespørgslen. Derudover skal der angives: en startdato for forventet gravearbejde, en slutdato for forventet gravearbejde, en graveartskode (typisk kode 3, dvs. boring med pælebor), se en oversigt over LER's graveartskoder. Endeligt skal navnet på prøvetageren incl. e-mailadresse,

angives. For omregning mellem koordinatsystemer kan denne hjemmeside anvendes:

<http://valdemar.kms.dk/trf/>

En forespørgsel hos LER resulterer i en kvittering fra LER samt en række mails fra ledningsejerne, som modtages og samles af AgroTech i én svarmail til prøvetageren. I vil få tilsendt en mail på hver enkelt forespørgsel. Mailen indeholder:

### Det juridiske ansvar

I forbindelse med gravearbejde i dybere jordlag med risiko for personskade kan det være nødvendigt at udvide virksomhedens forsikring. Det juridiske ansvar for en eventuel skade på kabel/person ligger hos den graveansvarlige/virksomheden, hvis der graves uden at lave en forespørgsel eller hvis kablets/rørets placering fremgik af ledningsejernes svar.

Det er altså prøvetagerens ansvar at gennemgå det tilsendte materiale og efterfølgende tage kontakt til ledningsejer, hvor det kunne være nødvendigt.

En eventuel skade på kabel ligger hos ledningsejeren, hvis der er foretaget en graveforespørgsel, men det ikke fremgår af svarmails og kortmateriale, at der ligger én ledning, rør, dræn.

## 12 BEGRÆNSNINGER I METODENS ANVENDELSE

### 12.1 Begrænsninger på grund af afgrøde

Jordprøverne udtages i alle landbrugs- og grønsagsafgrøder, undtagen i afgrøder hvor jordens nitratindhold erfaringsmæssigt er lavt og kun varierer meget lidt. Her anvendes i stedet standardværdi på 20 kg N pr. ha (som er gennemsnit af målinger i samme afgrøde i Kvadratnettet). Det drejer sig om:

- 1) Permanente græsarealer
- 2) Arealer med frøgræs (ikke i udlægsåret)
- 3) Arealer med slætgræs (ikke i udlægsåret)
- 4) Udyrkede arealer),
- 5) Arealer med tilsagn under miljøordningerne),
- 6) Arealer med afgrøder i forbindelse med tilsagn eller miljøtiltag

På afgræsningsmarker gennemføres ikke målinger af jordens nitratindhold, fordi variationen indenfor markeren er meget stor. I stedet fastsættes standardværdier baseret på antal dyreenheder og afgræsningsperiodens længde.

Erfaringer fra tidligere undersøgelser viser, at indholdet af Nitrat-N og variationen i de målte Nitrat-N indhold er meget lille i afgrøderne nævnt under pkt. 1-6. Gevinsten ved at gennemføre målingerne anses ikke for at modsvare omkostningerne.

Bestemmelse af nitratindholdet på afgræsningsmarker indebærer særlige vanskeligheder, fordi markvariationen er ekstremt stor.

## 13 OMKOSTNINGER OG ØKONOMISK POTENTIALE

Metoden med nitrat som måleenhed til bestemmelse af udledning fra bedriften er forbundet med en række omkostninger til prøveudtagning og analyser. I det følgende er gennemgået omkostningerne opgjort per prøve og opgjort per hektar. Det skal bemærkes, at omkostningerne ikke er årlige, men kun gælder de år bedriften udtrækkes til at gennemføre nitratmålingerne, dvs. i gennemsnit er der regnet med hver 3.-5. år.

### 13.1 Graveforespørgsler i Ledningsejerregistret (LER)

Prisen for en forespørgsel i LER er pr. juni 2015 0,015 kr. pr. m<sup>2</sup> (Ledningsejerregisteret, 2015). En prøvetagningslinje er typisk ca. 200 m lang, og der skal søges gravetilladelse ca. 5 – 10 m på hver side af prøvetagningslinjen. Den direkte pris for en gravetilladelse er således 30-60 kr. pr. prøve, men dertil skal lægges timeforbruget til opmærkning af prøvetagningslinjerne i GIS, udførsel af forespørgslen i LER og efterbehandling af de hjemtagne oplysninger. Det anslås, at det tager 6 – 8 timer for en rutineret tekniker at udfærdige, hjemtage og efterbehandle LER forespørgsler på en ejendom, hvor der udtages 40 prøver. Ved en timeløn på 495 kr. koster LER således 75 – 100 kr. pr. prøve.

### 13.2 Prøvetagning og analyse

Det vurderes, at tidsforbruget til prøvetagning inkl. kørsel og prøvehåndtering udgør ca. 2,5 time pr. prøvetagning. Med en timepris på 495 kr. svarer det til en omkostning på 1.250 kr. pr. prøvetagning. Analyseomkostningerne er pt. 65 kr. pr. prøve.

### 13.3 Samlede omkostninger

De samlede omkostninger til udtagning og analyse af en jordanalyse for indhold af nitratkvælstof er opgjort i tabel 4. En prøve koster ca. 1.400 kr. Hvis prøven i gennemsnit dækker 5 ha, vil prisen være under 300 kr. pr. ha. En ejendom på 300 ha kan således prøvetages for 90.000 kr. Monitoring af nitratindholdet på ejendommene kan evt. gennemføres som en stikprøvekontrol med en frekvens på f.eks. hvert 3. år. Ved udtagning hvert tredje år vil omkostningen i gennemsnit være 100 kr. pr. ha pr. år. Der forventes at priserne (omkostningerne) der er gældende i dag, vil blive lavere hvis denne metode bliver populær hos landmænd og markedet derved bliver stort for denne type analyser.

### 13.4 Markskader

Omkostningerne ved en eventuel markskade (afgrøder og jord) afholdes principielt af prøvetageren, men omkostningerne til kompensation for eventuelle markskader i forbindelse med prøvetagningen indgår på den ene eller anden måde i omkostningerne ved emissionsbaseret regulering på grundlag af nitratmålinger i jorden.

Det er vigtigt, at de hidtidige erfaringer viser, at markskader ved prøveudtagning er en undtagelse. I forbindelse med prøvetagning på en ejendom i efteråret 2013 var der problemer med fastkørsler under prøvetagningen med deraf følgende afgrødeskade. De direkte omkostninger til afgrødeskader var begrænsede og var i 2013 ca. 2.000 kr. Den største omkostning var tidsforbruget til opgørelsen af markskaden, som beløb sig til ca. 7000 kr. I alt har markskaderne således kostet ca. 9.000 kr.

Skal jordmålinger anvendes til arealregulering i praksis, skal der etableres en fremgangsmåde, som kan fastslå eventuelle markskaders omfang på et ensartet grundlag.

**Tabel 13.1.** Udgifter pr. prøve incl. analyse og pr. ha, hvis der udtages én prøve pr. ha. Opgørelsen er baseret på de faktiske omkostninger i projektet ved prøvetagningen i 2014.

Udgiftspost	Pris (kr)
Udtagning af prøve	1.250
Gravetilladelse	100
Laboratorieanalyse	65
I alt pr. prøve	1.415
I alt pr. ha (ved 5 ha)	283

### 13.5 Styringsmuligheder og potentiale

Erfaringen fra prøvetagninger på flere ejendomme i 2014 er, at jordens nitratindhold om efteråret påvirkes af dyrkningspraksis, herunder især forfrugt, afgrøde og efterårsplantedække. Men erfaringerne viser også, at der selv inden for samme mark er store forskelle i nitratindholdet i jorden, og det kan derfor være vanskeligt for landmand og rådgiver at planlægge dyrkningen, så landmanden kan være sikker på at overholde en fastsat grænseværdi. Landmanden vil derfor påtage sig en risiko for sanktioner, der også kan have indflydelse på det økonomiske potentiale ved at blive reguleret efter nitratmålinger af jorden.

Det økonomiske potentiale afhænger i høj grad af hvorledes grænseværdien for udvaskning fra rodzonen bliver i det enkelte delopland. Høje krav til reduktion kan føre til, at metoden kan udpege områder /marker med stort potentiale for udvaskning – og således medfører en målretning af virkemidlerne mod marker hvor virkemidler kan have stor effekt på tabet.

## Bilag 1. Måling af nitrat i jord som reguleringsværktøj i Baden-Württemberg, Tyskland

Baseret på SchALVO Nitratbericht. Ergebnisse der beprobung 2013, Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg. Baden-Württemberg.

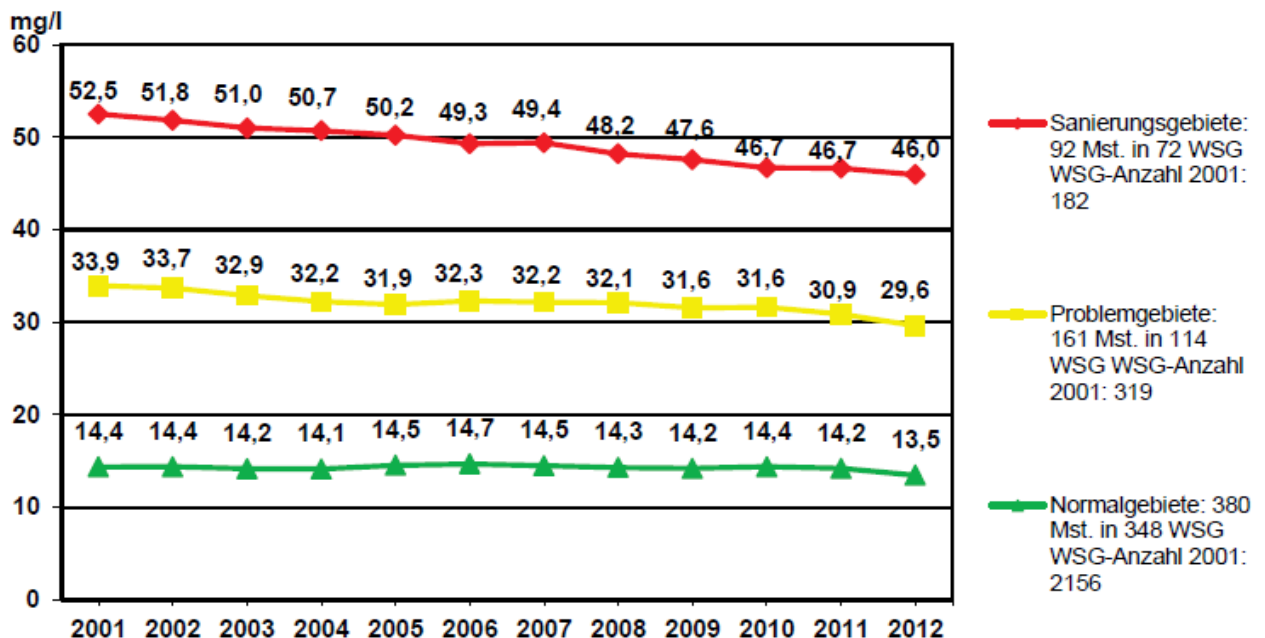
Nitratmålinger i efteråret til kontrol af risikoen for næringsstofudvaskning har været anvendt i Baden-Württemberg (BW) siden 1988. I dag sker kontrollen ifølge en forordning "Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung Baden-Württembergs (SchALVO)" som har til formål at overvåge grund-, kilde- og overfladevand for bl.a. nitrat og plantebeskyttelsesmidler i "Wasserschutzgebieten (WSG)". Kontrollen indgår også i implementeringen af Vandrammedirektivet. Baden-Württemberg er den eneste delstat med en central overvågning af vandmiljøet.

Den overordnede tanke bag nitratmålingerne om efteråret er, at målingerne bruges til at kontrollere, om landmanden har overholdt de tiltag, som han mod kompensation har forpligtiget sig til at overholde. Selve programmet inkl. kompensationer til landbruget finansieres af en vandafgift ("wasser-cent", tidl. "wasser-pfennig").

Resultaterne af målingerne offentliggøres hvert år og senest i rapporten "[SchALVO Nitratbericht. Ergebnisse der Beprobung 2013](#)". I rapporterne beskrives resultaterne af årets målinger samt udviklingen i grundvandets nitratindhold siden iværksættelsen af måleprogrammet i 1988. Måleprogrammet blev reorganiseret i 2001.

På hjemmesiden [Wasserschutz SchALVO](#) offentliggøres materiale om gennemførelse af kontrolmålingerne af Nitrat i Baden-Württemberg.

I **Figur 1** er vist udviklingen i nitratkoncentrationen i grundvandet fra 2001 til 2012.



**Figur 1.** Udviklingen i nitratkoncentrationen i grundvandet fra 2001 til 2012 (kilde: SchALVO Nitratbericht. Ergebnisse der Beprobung 2013).

### Arealer i kontrolprogrammet

Programmet og kontrollen er primært rettet mod at beskytte drikkevand. Programmet er kun aktuelt i de områder i delstaten, som er udpeget som drikkevandsområder ("Wasserschutzgebieten" - WSG). WSG omfatter 2362 områder og berører 1250 vandværker. WSG udgør 9135 km<sup>2</sup> eller 26 pct. af arealet i Baden-Württemberg. 40 pct. af arealet i WSG er landbrug.

Indenfor de udpegede områder skelnes mellem tre typer af områder baseret på nitratkoncentrationen i grundvandet.

1. Normalområder (N) (mindre end 35 mg nitrat pr. l i grundvand). Ingen specielle regler (GAP)
2. Problemområder (P) (over 35 mg nitrat pr. l i grundvand eller 25 mg pr. l og en stigende tendens.
3. Saneringsområder (S) (over 50 mg nitrat pr. l eller over 40 mg med stigende tendens.

Af et samlet areal på 364.000 ha (landbrugsarealet i WSG) udgør normalområdet 68 pct., problemområdet 27 pct. og saneringsområdet 5 pct. (data fra 2011). Fra 2001 til 2011 er andelen af saneringsområder faldet fra 10 til 5 pct., mens andelen af problem områder er faldet fra 28 til 27 pct. I saneringsområderne er den gennemsnitlige nitratkoncentration i grundvandet faldet fra 52,1 til 46,5 mg/l. I problemområderne er de tilsvarende tal 34,0 og 31,8 mg/l. I normalområderne er i nitratkoncentrationen uændret 14,5 mg/l.

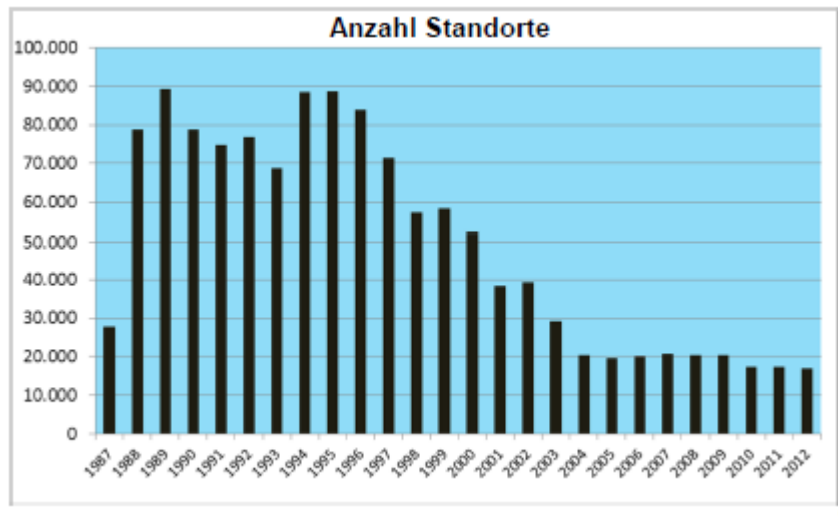
De vigtigste restriktioner med hensyn til at reducere nitratudvaskningen i områderne er krav om tilførselstidspunkter, delt gødsning, gødningstyper, sædskifte inkl. efterafgrøder, restriktioner i jordbearbejdning. Tiltagene er forskellige for de tre områder og varierer med jordtype mv. I problemområderne er der f.eks. krav om af kvælstofbehovet fastsættes på grund af Nitrat forår på mindst 30 pct. af markerne, mens det i saneringsområderne er krævet, at Nitrat- forår bruges i alle marker ved hver tilførsel af gødning. Brug af gødningstyper (slow-release, gødninger med nitrifikationshæmmere) indgår også i regelsættet.

Alle WSG-områder er delt op i zoner:

- Zone 1: Vandindvinding. Dyrkning: Kun græs, ingen afgræsning
- Zone 2: Afgrænses af en "50-dags line af flow". Dyrkning: Restriktioner på anvendelse af husdyrgødning, indhegning mv.
- Zone 3: GAP, ingen omlægning af permanent græs mv.
- 

### Antal nitrat-målinger og monitoringsprogram

I 90'erne blev der udtaget prøver på mere end 80.000 marker. Udviklingen i antallet af målinger er vist på Figur 2. I dag er prøvetagningen hovedsageligt rettet mod problemområder og saneringsområder. I normalområdet tages kun prøver for at monitorere indholdet over årene. Prøvetagningen er derfor koncentreret i problem- og saneringsområder.



**Figur 2.** Årlig kontrol af nitratindholdet på landbrugsarealer i Wasserschutzgebiete 1987-2012.

I 2013 blev der gennemført målinger på i alt 17.235 landbrugsarealer i WSG. Heraf blev der målt 11.036 marker (21.343 ha) i problemområderne (P) og 3.415 marker (6.275 ha) i saneringsområderne (S). I normalområderne blev målt på 3.023 marker (6.698 ha). Prøvetagningshyppigheden ligger på 2,5 pct. i normalområderne, 22 pct. i problemområderne og 33 pct. i saneringsområderne.

### Grænseværdier

Grænseværdier er opdelt efter jordtyper og udvaskningsklasser ses i table 1

**Table 1.** Overvågnings- og toleranceværdier for mængden af nitratkvælstof på forskellige jordtyper og i forskellige udvaskningsklasser i Baden-Württemberg.

Antal prøvedybder	1		2		3					
	A <sup>1)</sup>	B <sup>2)</sup>	A <sup>1)</sup>	B <sup>2)</sup>	Mo <sup>3)</sup>	A <sup>1)</sup>	B <sup>2)</sup>	Mo <sup>3)</sup>		
Udvaskningsklasse	A <sup>1)</sup>	B <sup>2)</sup>	A <sup>1)</sup>	B <sup>2)</sup>	Mo <sup>3)</sup>	A <sup>1)</sup>	B <sup>2)</sup>	Mo <sup>3)</sup>		
Jordlag (cm)	0-30	0-30	0-60	0-60	0-60	0-90	0-30	30-90	0-30	30-90
Overvågningsværdi (kg NO <sub>3</sub> -N pr. ha)	20	30	30	45	90	45	45	45	90	90
Toleranceværdi (kg NO <sub>3</sub> -N pr. ha)	30	45	45	70	140	70	70	70	140	140

<sup>1)</sup> Sandjorde, <sup>2)</sup> Lerjorde, <sup>3)</sup> Humusjord

Overvågningsværdien er altså 45 kg nitrat-kvælstof pr. ha på sandjord i jordlaget 0-90 cm, og 45 kg i jordlagene 0-30 og 30-90 cm på lerjord. De tilsvarende toleranceværdier er 70 kg nitrat-N pr. ha.

### Sanktioner

Hvis det målte nitratindhold overskrider toleranceværdien, gentages prøvetagningen. Hvis den anden måling også overskrider toleranceværdien udløser det sanktioner. Der er ikke sanktioner i form af bøder og lignende. Sanktionen består i, at der ikke udbetales støtte til de obligatoriske tiltag, som landmanden skal gennemføre for at reducere nitratudvaskningen. Landmanden kan tilmelde sig til to forskellige støtteordnin-



ger. Én standardstøtte på 165 Euro (godt 1200 kr. pr. ha) eller en individuel støtte beregnet ud fra de aktuelle tiltag. Tilskudssatserne er vist i tabellen nedenfor.

Hvis grænseværdierne overskrides sker der ikke udbetaling af støtte.

Dertil kommer krav om

- mark-og gødningsplaner
- gødsning efter Nitrat metoden
- opstilling af markbalance
- rådgivning

Ovennævnte skal gennemføres i en tre-årig periode, opbevares i fem år og på forlangende indsendes til miljømyndighederne.

Sanktionerne er beskrevet i detaljer i: SchALVO Nitratbericht. Ergebnisse der Beprobung 2011. LTZ (Landwirtschaftliches Technologiezentrum) Augustenberg, side 7.

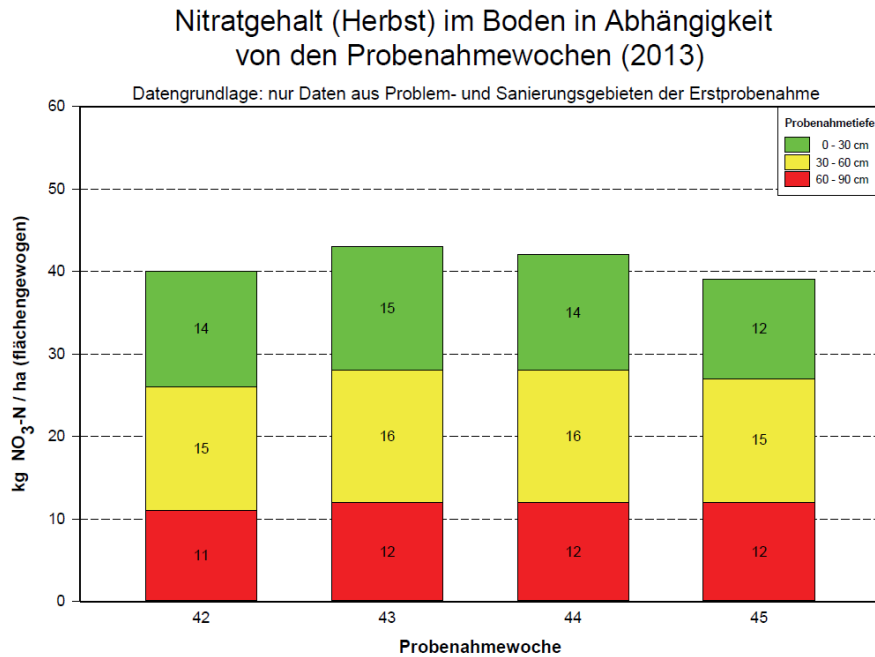
### **Prøvetagning og analyse**

Prøvestederne fastlægges efter en fastlagt procedure, som sammen med fremgangsmåden ved gennemførelse af prøvetagningen er beskrevet i i [SchALVO – Herbstkontrollaktion. Anleitung zur Standortfestlegung und Bodenprobenahme](#). Hvilke marker, der skal udtages det enkelte år bestemmes i august måned og landmændene får herefter besked. Prøvetagningen foretages af personale, der forinden har gennemgået et [kursus](#) i gennemførelse af prøvetagningen, og udstyret er monteret på en ATV eller andet køretøj på larvefødder.

Analyserne gennemføres af udvalgte laboratorier. Forud for analysen tørres prøverne ved 105 gr., formales og analyseres for indhold af nitrat. Analysekvaliteten kontrolleres løbende af LTZ (Landwirtschaftliches Technologiezentrum) Augustenberg.

### **Prøvetagningstidspunkt**

Prøvetagningen gennemføres i perioden 15. oktober – 15. november. I særlige tilfælde kan prøvetagningsperioden undtagelsesvis udvides til den 15. december. Det vurderes, hvordan prøvetagningstidspunktet påvirker det gennemsnitlige nitratindhold. Figur 3 viser, hvordan det gennemsnitlige nitratindhold påvirkes af prøvetagningstidspunktet i 2013. Det fremgår, at det målte gennemsnitlige nitratindhold kun var lidt påvirket af prøvetagningstidspunktet. Årsagen er formentlig, at gennemsnittet dækker over marker, hvor indholdet stiger henholdsvis falder.



**Figur 3.** Det gennemsnitlige nitratindhold ved prøvetagning på forskellige tidspunkter i 2013.

### Prøvedybde

Prøverne udtages i 1-3 jordlag afhængig af jordbundsforhold og hvert jordlag er 30 cm dvs. 0-30, 30-60 og 60-90 cm. Antallet af stik er afhængigt af markstørrelsen – se herunder:

- Markstørrelse op til 1 ha: Mindst 8 stik pr. prøve
- Markstørrelse 1-3 ha: 15 stik pr. prøve
- Markstørrelse > 3 ha: 15 stik pr. prøve eller 15 stik på en repræsentativ delmark på 3 ha

Uanset markens areal skal stikkene placeres repræsentativt på marken.

### Andre faktorer, der har betydning for jordens nitratindhold

I forbindelse med kampagnen vurderes, om der er ydre forhold, der påvirker jordens nitratindhold ekstraordært. Det drejer sig bl. a. om nedbørs- og temperaturforhold i forår, sommer og det tidlige efterår samt høstudbyttet.

## Bilag 2. Måling af nitrat i jord som reguleringsværktøj i Flandern, Belgien

### Baggrund

Brug af Nitrat-metoden til overvågning/kontrol af landbruget begyndte år 2000. Kontrollen er et led i Flanderns implementering af Nitratdirektivet. Nitratdirektivet medførte, at der allerede fra 1991 blev indført visse regler, der skulle regulere tilførslen af gødning. Baggrunden for at indføre nitrat-baseret kontrol var at kontrollere, at landmændene reelt lever op til kravene i Nitratdirektivet og ikke alene basere sig på administrativ kontrol ud fra landmandens registreringer på papir. Samtidig indeholder nitrat også et pædagogisk instrument, fordi det afslører for landmanden, at hans gødskningspraksis ikke er optimal, selvom han selv tror det.

Hele Flandern er udpeget som nitratfølsomt område og dermed underlagt Nitratdirektivet. Der findes en række detaljerede regler, der skal regulere gødningstilførslen. Der er bl.a. maksimalnormer for tilførsel af kvælstof og fosfor, krav til efterafgrøder og også regler for omlægning af græs. Der sker ingen central indberetning til ministeriet. Der lægges vægt på, at reglerne og registreringer skal være en hjælp til landmand til at forbedre gødskningspraksis. Kontrol sker stikprøvevis ved fysisk kontrol på landbrugene. Programmet anvender mange ressourcer til at kontrollere overførsel af gødning mellem landbrug – herunder bruges GPS-logning som dokumentation. Dette skal ses i relation til meget høje husdyrtryk i Flandern.

### Arealer i kontrolprogrammet

Hele Flandern er underlagt Nitratdirektivet og kontrol med nitrat foretages derfor over hele Flandern. Der er dog udpeget et såkaldt fokusområde, som omfatter 40-50 pct. af arealet, men justeres årligt. I fokusområdet er grænseværdien på 50 mg/l overskredet i grundvand eller i overfladevand. Grænseværdien på 50 opfattes således, at blot én måling i løbet af året er over 50, er den overskredet. I fokusområdet er der strengere krav og øget kontrol.

Fokusområdet udpeges efter monitoring af nitrat- og fosforindholdet i overfladevand og grundvand. Der monitoreres i 800 små oplande (MAP), som er landbrugsdomineret. Desuden monitoreres i 200 punkter, der omfatter større vandløb/floder.

### Antal nitrat-målinger og monitoringsprogram

Der måles mest intensivt i fokusområderne, men resten af Flandern måles også, men mindre intensivt. I alt måles ca 17.000 marker som led i overvågningen. De 10.000 målinger er til almindelig kontrol. Af disse prøver vælges 2.000 punkter tilfældigt over hele Flandern, mens resten – de 8.000 – vælges ud fra et risikobaseret princip bl.a. for at få en tilstrækkelig geografisk dækning i fokusområderne. 7.000 af de 17.000 prøver udtages på marker, hvor grænseværdien blev overskredet det foregående år. Udtagning og analyse sker her for landmandens regning.

Udover de 17.000 prøver udtages 10.000 prøver på landbrug, der er tilsluttet frivillige ordninger mod kompensation for f.eks. at reducere tilførslen af husdyrgødning til 140 kg N/ha. I disse ordninger betaler landmanden selv for prøvetagning og analyser. Dertil kommer frivillige ordninger mod betaling for mindre gødningstilførsel. Kompensationen er betinget af, at de givne grænseværdier overholdes.

I alt svarer antallet af prøver til en dækning af 5 pct. af landbrugsarealet i Flandern. Der er en vis usikkerhed om, hvorvidt EU kræver en udtagning på mindst 5 pct. af arealet.

### Grænseværdier

Den generelle grænseværdi er 90 kg nitrat pr. ha. I frivillige ordninger skal den være 4 kg N under. Grænseværdierne varierer efter jordtype, afgrøder mv. – men er mellem 70-90 kg nitrat-kvælstof pr. ha. Variationen er mere af psykologisk værdi, for at signalere en faglighed og retfærdighed i systemet.

Baggrunden for de 90 kg nitrat-N som grænseværdi er dels en aftale med landbrugsorganisationerne og begrundet i EU's krav om maks. 50 mg nitrat pr. liter. Sidstnævnte er ud fra en forudsætning om, hvor meget udvaskningen er ved et givet nitrat-indhold i jorden i efteråret og en given afstrømning. F. eks. regnes der med en udvaskning på 50 pct. af nitrat-mængden efterår på lerjord. Den udvaskede mængde korrigeres med en faktor 2,4, der antages at være retentionen mellem rodzone og recipient. Det blev fremført, at for drikkevand burde korrektionsfaktoren kun være 2,0.

De 90 kg stammer fra, at 50 pct. udvaskes gennem vinteren på lerjord.

Grænseværdierne er forskellige fra område til område (klima) og fra afgrøde til afgrøde.

### Sanktioner

Der sker ikke sanktioner i form af bøder ved overskridelse. Overskridelser er heller ikke omfattet af kryds-overensstemmelse. Sanktioner er krav om en bedre styring af gødningstilførslerne. En oversigt over dette ses i følgende skema i **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Oversigt over sanktioner.

Grænseværdi, kg nitrat-N pr. ha	Sanktion
<b>Over 90 - 115</b>	Tvinges til at følge op. Landmanden kan ikke bruge undtagelsesreglerne for Nitratdirektivet. Han skal have udtaget nitrat på marken om foråret som grundlag for beregning af gødningsbehov og have hjælp til gødningsplanlægning for marken. Der skal tages nitrat prøve på den aktuelle mark det følgende efterår. Alt sker for landmandens regning. Det koster ca. 115 Euro for de 2 nitrat-prøver (prøvetagning og analyse).
<b>115-140</b>	Samme sanktioner som i den lavere klasse. Dertil kommer, at der for hele ejendommen skal foreligge en gødningsplan. Registreringer mv. er obligatoriske. Kontrolleres ved stikprøvekontrol. Papirer skal ikke indberettes. Der udtages desuden en kontrolprøve på én anden tilfældig mark på ejendommen.
<b>140-180</b>	Samme sanktioner som i den lavere klasse. Dertil kommer, at nitrat skal udtages på alle grønsagsmarker om foråret. Tvungen gødningsplanlægning for alle grønsagsafgrøder.  Obligatorisk audit fra gødningsbanken (Mest), hvor hele gødningsplanlægningen gennemgås. Maks. tilførsel af 140 kg N pr. ha i husdyrgødning i den mark, hvor nitrat overskrides
<b>Over 180</b>	Samme sanktioner som i den lavere klasse. Men der må kun bruges en meget begrænset N-mængde på marken

Der har tidligere været bødestraf. Men det er frafaldet for år tilbage, fordi det næppe vil holde i retten. Den nuværende sanktionspolitik er afstemt efter sikkerheden på prøverne (usikkerhed på prøvetagning, tidspunkt, analyse mm.).

### **Den praktiske gennemførelse af nitratmålingerne**

Prøverne udtages mellem d. 1. oktober og den 15. november. Prøveudtagning og analyse foretages af laboratorier, der byder ind på opgaven. Laboratorierne skal være certificeret til opgaven. Ni ud af de 11 godkendte laboratorier er pt. involveret i opgaven. Der foreligger en meget præcis vejledning for udtagning og håndtering af prøver.

Ministeriet giver laboratorierne besked om, hvilke marker der skal udtages. Det sker i form af GIS kort mv. samt alle baggrundsoplysninger om marken. Før prøveudtagning skal laboratoriet varsle landmanden om tiden for prøveudtagning, og landmanden har ret til at være med ved prøveudtagningen.

Et prøveareal kan kun være 2 ha. Større marker vil derfor få flere værdier. Grænseværdien er pr. mark og ikke pr. prøve. Gennemsnitsmarken i Flandern er 1,5 ha mark.

Minimumdiameter på boret skal til prøver i 0 – 30 cm være minimum 2 cm. Til de underliggende lag min. 1,3 cm. En prøve består af en fællesprøve af 15 delstik udtaget i et kryds over marken. I grønsager og i afgræsningsmarker anvendes 25 delstik. Selve prøvetagningen logges med GPS, så bevægelsen på marken er kortlagt som dokumentation.

Mange af prøverne tages i hånden. Blandt andet fordi der ikke kan køres i marken på grund af, at der er afgrøde på marken, eller den for våd. En prøvetager udtager i gennemsnit 10-12 prøver pr. dag. Prøvedybden er altid 90 cm, der optages i 3 lag a 30 cm, der analyseres særskilt.

Der tages ikke hensyn til ledninger mv., da det ikke anses ikke for at være et problem. Dræn lokaliseres efter landmandens oplysninger.

Laboratoriet er ansvarligt for skader på afgrøder og mark. Det har ikke hidtil givet problemer af nævneværdigt omfang.

Myndighederne er meget opmærksomme på, at landmanden er imod prøveudtagning og ordningen. Prisen pr. prøve er for ministeriet 44 Euro pr. mark omfattende udtagning + analyse. Landmandsprisen er 60 Euro.

Et antal marker kontrolleres med ekstra prøveudtagning af et andet laboratorium for at kontrollere prøvetagere.

### **Prøvehåndtering og analyser**

Der analyseres kun for nitratindholdet. Prøverne køles i marken til en temperatur på 5 grader. Hvis prøverne ikke ekstraheres indenfor 72 timer skal de dybfrysnes. Efter dybfrysning sker optøning i køleskab natten over. Der måles på våde prøver, der efter deres opfattelse giver de sikreste resultater. Det fremhæves, at tørring kan forrykke analyseværdierne.

Der foreligger en meget nøje protokol for analysemetoden, som skal følges. Dette kontrolleres meget nøje, og der foretages ringtest.

### **Sikkerhed på Nitratprøverne**

Det er vigtigt i forhold til fastsættelse af grænseværdier og sanktionspolitikken af kende sikkerheden på Nitrat-prøverne. Sikkerheden på prøverne diskuteres pt. meget i Flandern.

De gennemsnitlige Nitrat-værdier varierer med årene. Der kan være en forskel på op til 20 kg Nitrat mellem årene forårsaget af klimatiske forhold. Grænseværdien korrigeres ikke systematisk herfor, men ved afvigende værdier har ministeriet en praksis, hvor de vurderes, om årets vejrforhold kan være årsag. Det er erfaringen, at det gennemsnitlige Nitrat-indhold er nogenlunde konstant gennem udtagningsperioden på 6 uger. Men det dækker over, at for nogle afgrøder kan Nitrat-indholdet være stigende, mens det falder for

andre afgrøder. Der bruges ikke referencemålinger til at "normalisere" Nitrat målinger. Et sådan system, hvor grænseværdierne for de enkelte afgrøder justeres gennem sæsonen og fra år til år, anvendes i Vallo-nien.

### Landmændenes holdning

Landmændene er grundlæggende imod kontrolsystemet. Landmanden tager det personligt, når han konfronteres med, at han har overskredet grænseværdierne. Landmanden betvivler ofte prøveresultatet og påpeger alle usikkerhederne. Landmanden modtager prøveresultatet senest 2 uger efter prøveudtagning og kan forlange en ny prøveudtagning indenfor 2 uger efter første prøvetagning.

Opfølgningen og diskussionen med rådgivere og med ministeriet giver ham dog normalt en større forståelse for, hvad der kan være årsagen til overskridelsen.

### Resultater af nitrat fra kontrollen

Det oplyses, at 20-25 pct. af prøverne overskrider grænseværdien på 90 kg nitrat pr. ha.

Et sammendrag af de vigtigste resultater fra kontrollen er vist i **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Resultater af Nitrat-kontrol for årene 2004-2011.

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Kg nitrat kvælstof pr. ha fra 1. oktober til 15. november 0-90 cm's dybde								
<b>Gns.</b>	106	98	107	71	75	90	66	90
<b>Median</b>	78	78	83	53	59	68	51	63
<b>Vedv. græs</b>	101	90	84	56	57	92	52	60
<b>Græs, omdrift</b>	80	71	69	48	48	70	49	54
<b>Majs</b>	147	120	107	93	82	91	82	115
<b>Sukkerroer</b>	60	79	70	51	49	60	51	55
<b>Vinterhvede</b>	123	111	108	82	81	96	68	55
<b>Kartofler</b>		91	178	97	114	156	106	138
<b>Blomkål</b>				130	116	186	104	169

### Afslutning

Det er vurderingen, at dele af de nuværende regler kan fjernes på sigt, når niveauet på nitrat prøverne er ved at være på plads. Så længe niveauet ikke bare skal holdes, men reduceres er det vurderingen, at der er behov for både regler og kontrolmålinger. Det er vigtigt, at der er enighed om systemet og at grundlaget for grænseværdier (jordtype, afgrøde, tid, år) samt sikkerheden på målinger og analyse er helt i orden.

### Bilag 3. Vejledning i prøvetagning, opbevaring og forsendelse

#### Udstyr

##### *Manuel prøvetagning*

- N-min bor (model EJH, 22 mm i diameter med 100 cm rille) til automatisk eller manuel prøvetagning til 1 m's dybde.
- Hammer (kunststof eller mukkert + plasticknop på boret)

##### *Maskinel prøvetagning*

Prøvetagningsudstyret kan f. eks. være en Wintex MCL3 monteret på en John Deere Gator TH 6x4 som vist på billedet nedenfor.



Til emballering, opbevaring og forsendelse af prøver medbringes:

- Plasticposer (150x300x0,07 mm).
- Labels og følgesedler
- Kølekasser med frosne fryseelementer

Til lokalisering af prøvetagninglokalitet samt til logning af koordinater for prøvetagning medbringes det nødvendige gps-udstyr.

#### **Gennemførelse af prøvetagning**

Prøven udtages til 100 cm dybde uanset jordtype (JB 1-10). Metoden anvendes ikke på JB 11.

Jorden trædes fast, inden jordboret bankes ned til den ønskede dybde. Hvis boret under nedbankning støder på en sten, tages boret op, renses og bankes ned et nyt sted.

Før prøven skræbes ud i en spand, afskræbes overskydende jord, således at hvert enkelt jordprøvestik kun udfylder borets halvcirkelformede hulhed; derved bliver hver enkelt prøvestik af samme størrelse.

Delprøverne (stikkene) udtages på en eller flere linier, som placeres, så de løber gennem mest muligt af marken. De 16 stik placeres med størst mulig afstand på prøvetagningslinien.

En N-min prøve består af mindst 16 stik. Prøven må ikke neddeles, inden den sendes til laboratoriet.

N-min prøverne emballeres på normal vis, dvs. i to plastikposer med strekkodelabels på den inderste pose. Poserne lukkes forsvarligt.

**Dokumentation af prøvetagningssted**

Ved udtagning af de enkelte subsamples logges koordinaten. Der logges altså mindst 16 koordinatsæt pr. prøve. Der tages et foto af prøvestedet oder udarbejdes en kort beskrivelse af den aktuelle bevoksning på marken.

**Opbevaring og transport**

N-min prøver skal nedkøles straks efter udtagning, og holdes nedkølede til analyse. Nedkøling skal ske i en isoleret kasse med frosne køleelementer.

Hvis prøverne sendes og analyseres samme dag som prøvetagningen eller dagen efter, skal de ikke nedfryses, men opbevares på køl (maks. 5 gr. C). Prøverne sendes i kølekasser.

Hvis prøverne ikke sendes og analyseres senest dagen efter prøvetagningen, skal de dybfryses og være gennemfrosne ved afsendelsen. De frosne prøver skal afsendes i kølekasser med frosne køleelementer, så de holdes frosne under transporten.

Kølekasserne må kun indeholde N-min prøver.

Der vedlægges en følgeseddel, der angiver, hvilke prøver der findes i kassen.

Det er vigtigt, at prøverne sendes, så de er fremme på laboratoriet dagen efter, de er afhentet.

Prøverne skal straks ved ankomsten til laboratoriet behandles som beskrevet i metodeblad for N-min analysen i bilag 6\_Analyseforskrift.



## Bilag 4. Eurofins AgroTesting Danmark A/S Laboratorie metode beskrivelse

### AMMONIUM- OG NITRATKVÆLSTOF I JORDPRØVER (N-MIN)

#### Anvendelsesområde

Metoden anvendes til bestemmelse af jords indhold af ombytteligt ammoniumioner og nitrat. Metoden er primær beregnet til bestemmelse af jordens indhold af mineralisk kvælstof som grundlag for bestemmelse af behovet for kvælstofgødsning (N-min-metoden).

#### Måleområde

Anvendelse af N-min-metoden har som forudsætning, at bestemmelse af ammonium- og nitrat N kan gennemføres med detektionsgrænse på 0,2 mg/kg TS eller lavere. Måleområdet for analysen er således:  $\geq 0,2$  mg/kg TS. Ved koncentrationer udenfor kalibreringsområdet fortyndes prøven i nødvendigt omfang.

#### Princip

Ammonium og nitrat frigøres ved ekstraktion med kaliumchlorid opløsning. Koncentrationen i ekstraktet bestemmes efterfølgende ved spektrofotometrisk metode (Flow Injection Analyser eller lignende). Metoden indebærer bestemmelse af prøvens vandindhold, idet resultatet skal opgives pr. kg TS. Metoden herfor er beskrevet separat til sidst i dette metodeblad.

#### Prøveudtagning og emballage

Prøver udtages in situ med egnet prøvetagningsudstyr (håndbor, borerig eller lignende).

Den mikrobielle kvælstofomsætning i jord finder sted ved temperaturer ned til omkring frysepunktet, og accelereres i øvrigt, når jorden bringes ud af naturligt lejring, som det sker ved prøveudtagningen. Prøverne skal derfor tages i arbejde umiddelbart efter modtagelsen på laboratoriet. Kan dette ikke ske skal prøverne opbevares ved 0°C i højst 2 døgn, før analysen finder sted.

Hvis det ikke er muligt at analysere prøven indenfor de 2 døgn, fryses prøven ved  $-10^{\circ}\text{C}$  eller lavere. Prøven opbevares på frys, indtil laboratorieanalysen kan igangsættes.

Der er ikke særlige krav til emballage. Papkartoner har vist sig velegnede til opgaven.

#### Prøvens forbehandling

Ved frosne prøver kan der vælges én af to alternativer til homogenisering og optøning.

Hele den frosne prøve optøes over 12 timer i køleskab. Den efterfølgende ekstraktion igangsættes umiddelbart efter optøning er tilendebragt. Senest 3 timer efter hele prøven er optøet homogeniseres hele prøven og der udtages straks delprøve til ekstraktion.

Hele den frosne prøve knuses grundigt med hammer eller lignende. Det nedknuste materiale homogeniseres inden optøning og indvejes i frossen tilstand.

Det er vigtigt, at ovennævnte tidsfrister overholdes nøje og at prøven på intet tidspunkt tørres, idet begge dele kan påvirke indholdet af ammonium- og nitrater signifikant.

Hvis prøven analyseres straks efter udtagning (uden frysning), homogeniseres hele prøven grundigt før delprøve udtages.

Efter homogenisering udtages 45 g prøve, som overføres til rysteemballage (120 ml rør). Der tilsættes 90 ml. 1M KCl (Kaliumchlorid opløsning, 1 M: 372,5 g KCl opløst i 5 liter vand).

Prøven rystes herefter i 1 time i rotationsryster ved 33 rev/min ved stuetemperatur. Til rystningen anvendes plastemballage. Efter rystningen centrifugeres ekstraktet ved 1500 rpm i 15 minutter. Supernatanten filtreres gennem 0,45  $\mu\text{m}$  filter forud for analyse.

### Analyse

Analyse for ammonium og nitrat foretages ved spektrofotometrisk analyse. Ammonium reagerer i basisk opløsning med indikatoropløsning. Intensitet af det dannede farvekompleks bestemmes spektrofotometrisk.. Koncentrationen omregnes til  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Analyseemballage: engangsplastrør.

Nitrat reduceres til nitrit ved reaktion med cadmium. Koncentrationen bestemmes ved farverekation og spektrofotometrisk analyse.

Der anvendes kalibreringsstandarder, som dækker det relevante måleområde for metoden.

Referencer: MAFF, ADAS RB 427 (Third Edition), The Analysis of Agricultural Materials, Method 53 Ammonium-, Nitrate- and Nitrite-Nitrogen, Potassium Chloride Extractable, in Moist Soil.

### Beregning

Resultaterne opgives som mg  $\text{NH}_4\text{-N}$ , respektive  $\text{NO}_3\text{-N}$  pr. kg tør jord.

Resultater opgives med 1 decimals nøjagtighed.

Bestemmelse af tørstof

### Ekstraktion

10-15 g jord afvejes i et bægerglas til vandbestemmelse. Tørring foretages i 2 timer ved  $130\text{ }^\circ\text{C}$ .

Resultatet anvendes til omregning af analyseresultater for ammonium og nitrat til mg/kg TS.