

august, og kvælstofindhold, proteinindhold og udbytter fremgår af tabel 40.

I led med handelsgødning er optimum og maksimum kvælstofmængde for kerneudbytte henholdsvis 94 og 145 kg kvælstof pr. ha, og kerneudbyttet stiger ikke signifikant ved over 100 kg kvælstof pr. ha. Kvælstofindholdet stiger i både halm og kerne, når gødningsmængden øges, og kvælstofudbyttet i både halm og kerne er dermed også stigende. Balancepunktet for tilførsel og fraførsel af kvælstof er 88 kg pr. ha for kerne og 150 kg pr. ha for halm og kerne. Der er også målt udbytte i efterafgrøden, men udbyttet er generelt meget lavt, især i forsøgsled med højt gødningsniveau, hvor den kraftige værbbyg formodentligt har hæmmet efterafgrøden.

Kvælstofudnyttelsen af afgasset gylle er generelt høj med værdital på mellem 89 og 93. Da der kun er tale om et enkeltforsøg, kan der ikke generaliseres med hensyn til niveauet for kvælstofudnyttelsen for den afgassede gylle. Til gengæld tyder resultaterne på, at der ikke er væsentlig forskel i kvælstofudnyttelsen mellem de tre typer af afgasset gylle til trods for forskellene i biomas-sammensætning til biogasanlægget, gyllens opholdstid og tørstofindhold og biomassens varierende andel af halm og dybstrøelse.

## Kvælstofudvaskning efter tilførsel af stigende mængder kvælstof

> KRISTOFFER PIIL, SEGES

### Måling af kvælstofudvaskning ved stigende mængder kvælstof

Der er i 2017 gennemført fem forsøg hvor der er målt udvaskning med sugeceller ved forskellige kvælstofni-

veauer. To af forsøgene er fastliggende og blev også gennemført i 2015 og 2016. Desuden er der gennemført et enkelt forsøg i 2016 med stigende mængder kvælstof til majs på sandjord. Kvælstofudvaskningen opgøres fra 1. april i høståret til 31. marts i det efterfølgende år. Derfor kan årlige udvaskninger kun opgøres for høståret 2016. I tabel 41 ses en oversigt over de forsøg med udvaskningsmålinger, der er udført i 2016 og 2017.

På alle forsøgsarealerne er der installeret to keramiske sugeceller pr. forsøgsparell i 1 meters dybde. Sugecellerne anvendes til at udtage prøver af jordvandet, der analyseres for nitrat. Jordvandskoncentrationerne omsættes til nitratudvaskning ved at gange de målte nitratkoncentrationer med vandafstrømningen, som beregnes ud fra nedbør, jordtype og afgrøde på arealet. Udvas-kningen opgøres traditionelt som den mængde kvælstof, der forlader 1 meters dybde, men for at undersøge, om kvælstofudvaskningen er væsentlig mindre, hvis den opgøres som kvælstofmængden, der forlader 2 meters dybde, er der i tre af forsøgene installeret sugeceller i 2 m dybde i udvalgte led. Se tabel 41.

### Udvaskning ved stigende mængder kvælstof til majs i et enkelt år

Udvaskningen fra majs på sandjord er bestemt ved stigende mængder kvælstof. Alle led er tildelt 30 kg kvælstof pr. ha som placeret NP 19-8 ved såning. Stigende mængder kvælstof er tildelt som handelsgødning NS 27-4, således at den samlede kvælstoftilførsel variere fra 30 til 280 kg kvælstof pr. ha. Der er desuden inkluderet to led hvor en gødningstildeling på 100 kg kvælstof pr. ha deles, således at der ud over startgødning tildeles 50 kg kvælstof pr. ha ved såning og yderligere 50 kg kvælstof pr. ha henholdsvis den 9. juni (led 7) og den 23. juni (led 8). Se tabel 42 for forsøgsplan.

**TABEL 41.** Opgørelse over forsøg med sugeceller i 2017. Det er angivet om forsøget er fastliggende, og i hvilke dybder sugecellerne er placeret

Kvælstof-udvaskning	Sted	Jord-type	Antal led	Sugeceller i 1 m	Sugeceller i 2 m	Fast-liggende	Design	Start år
070271517 <sup>1)</sup>	Holstebro	JB 1	7	x		Ja	Stigende mængder kvælstof	2015
070281517 <sup>1)</sup>	Guldborg	JB 7	7	x		Ja	Stigende mængder kvælstof	2015
070251616 <sup>1)</sup>	Løgumkloster	JB 3	8	x		Nej	Stigende mængder kvælstof	2016
070141717 <sup>1)</sup>	Ringsted	JB 6	6	x	x	Ja	Stigende mængder kvælstof	2017
070961717 <sup>1)</sup>	Odder	JB 6	12	x	x	Ja	Stigende mængder kvælstof samt husdyrgødning	2017
070101717 <sup>1)</sup>	Holeby	JB 6	16	x	x	Ja	Korn/rapsædskifter ved to kvælstofniveauer	2017

<sup>1)</sup> Forsøgsserienummer

**TABEL 42.** Udbytter og merudbytter, kvælstofbalancer og udvaskning for forsøg med stigende mængder kvælstof til majs

Majs	Kvælstof-tildeling, kg N pr. ha	Udbytte og merudbytte		Råprotein, pct. af tørstof	Udbytte af råprotein, hkg pr. ha	Kvælstof-bortførsel, kg N pr. ha	Kvælstof-balance, kg N pr. ha	Udvaskning, kg N pr. ha
		Tørstof, hkg pr. ha	NEL <sub>20</sub>					
<i>2016 1. forsøg</i>								
1.	30	<b>137,6</b>	<b>106,2</b>	5,1	7,0	112	-82	59
2.	80	28,6	29,8	5,9	9,8	157	-77	68
3.	130	25,9	20,3	5,9	9,7	154	-24	88
4.	180	41,5	34,8	6,6	11,8	189	-9	86
5.	230	42,2	33,1	7,0	12,6	201	29	118
6.	280	49,4	43,1	7,5	14,0	224	56	151
7.	130	30,4	30,1	6,6	11,1	177	-47	80
8.	130	41,1	40,8	6,7	11,9	191	-61	67
LSD		10,5						

Forfrugten på arealet har været majs til helsæd og jordtypen i pløjelaget er JB 3. Der har i årene forud været tildelt husdyrgødning på arealet, men der er ikke tildelt husdyrgødning i forsøgsåret. Der er ikke sået efterafgrøder i majs.

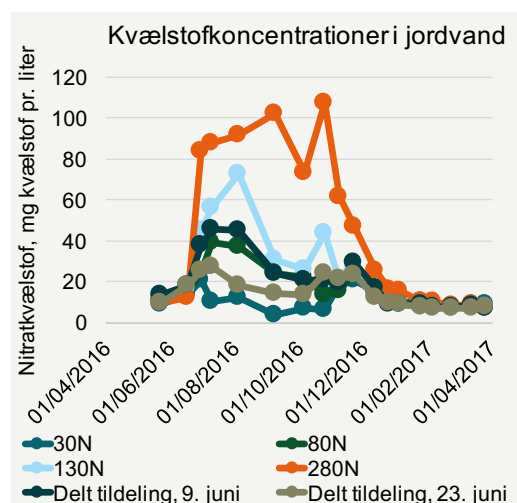
#### Udbytte og afgrødekvalitet

Der er i forsøgsserien gennemført tre forsøg, men kun målt udvaskning i et af forsøgene (løbenummer 001). Høstudbytter og dyrkningsmæssige effekter af stigende kvælstoftilførsel er beskrevet i Oversigt over Landsforsøgene 2016, s. 372. I det forsøg, hvor der er målt udvaskning, viser udbyttet stort udslag for tildeling af 50 kg kvælstof pr. ha ud over startgødning og signifikante merudbytter i tørstof for kvælstoftildeling op til 180 kg kvælstof pr. ha. Der er stigende proteinprocent ved stigende kvælstoftildeling op til den maksimale kvælstoftildeling på 280 kg kvælstof pr. ha. Resultaterne for enkeltforsøget er i overensstemmelse med resultaterne for den samlede forsøgsserie. Kvælstofbalancen, opgjort som tildelt kvælstof fratrukket kvælstof bortført med høstet afgrøde, er negativ under kvælstoftildelinger på 230 kg kvælstof pr. ha. Der er en tendens til at deling af 130 kg kvælstof giver højere udbytter og proteinprocent og dermed højere kvælstofbortførsel og mere negative kvælstofbalancer. Se tabel 42.

#### Kvælstofkoncentrationer i jordvandet

De målte kvælstofkoncentrationer i jordvandet er påvirket af både gødningsniveau og af gødskningsstrategi. Der er ikke forskel på kvælstofkoncentrationerne i de forskellige led fra såning og frem til målingen den 17. juni, og kvælstofkoncentrationerne i jordvandet i 1 meters dybde er i denne periode i niveauet 10-15 mg nitrat-kvælstof pr. liter. Se figur 22. Efter den 29. juni og frem til høst er der markant forskel på kvælstofkon-

centrationerne imellem de forskellige led. Kvælstofkoncentrationerne i leddet der kun er gødet med startgødning ligger i niveauet 5-20 mg nitrat-N pr. liter, mens kvælstofkoncentrationerne i jordvandet i leddet gødet med 280 kg kvælstof pr. ha ligger mellem 84 og 102 mg nitrat-kvælstof pr. liter i samme periode. I led, der er gødet med 130 kg kvælstof pr. ha, er kvælstofkoncentrationerne i jordvandet lavere i de led, hvor gødsningen deles, end i det led hvor hele gødningsmængden tildeles ved såning. Deling med sidste tildeling ultimo juni giver i lavere kvælstofkoncentrationer i jordvandet end deling primo juni. I alle led falder kvælstofkoncentrationerne i løbet af vækstsæsonen, hvilket formentlig skyldes afgrødens kvælstofoptag. Afrdrøningen efter høst starter tidligt i november og kvælstofkoncentrationerne falder efterhånden som kvælstoffet i jorden udvaskes. I løbet af januar er kvælstofkoncentrationerne i jordvandet på



**FIGUR 22.** Kvælstofkoncentrationer i jordvand i måleåret. Kun udvalgte led.

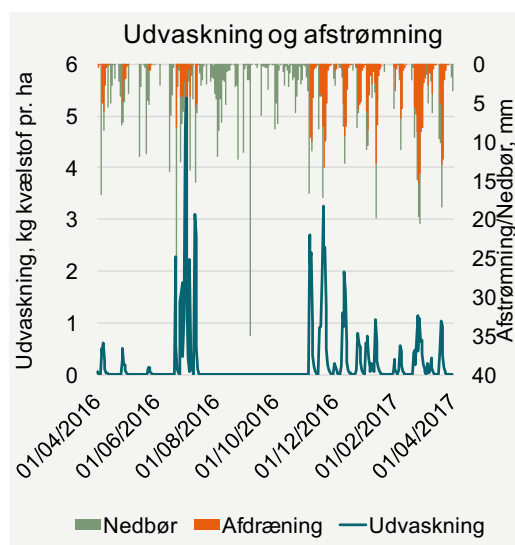
samme niveau i alle led, 8 til 10 mg nitrat-kvælstof pr. liter. Se figur 22.

### Udvaskning

Udvaskningen er beregnet ved at gange de målte kvælstofkoncentrationer i jordvandet med den beregnede vandafstrømning på arealet. Vandafstrømningen er beregnet med modellen EVACROP ud fra jordtypen og nedbøren som opgjort i DMI's 10 km grid. EVACROP har ikke nogen vandbalance model for majs, hvorfor vandbalancen er beregnet for roer, der ligesom majs sås sent og er relativt længe om at starte deres vækst. Udvaskningen opgøres i perioden fra den 1. april til den 31. marts. Nedbøren på arealet har været 970 mm, hvilket er lidt mindre end klimanormalen på 1054 mm for området. Der har ikke været vandingsbehov i forsøgsåret.

Udvaskningen sker primært i to perioder, nemlig juni til juli og november til april. Mellem en tredjedel og en fjerdedel af den årlige udvaskning sker i juni og juli. Se figur 23. Det skyldes formentlig, at der i juni 2016 faldt 40 mm nedbør mere end normalt for måneden i forsøgsområdet. Den resterende del af udvaskningen sker i perioden fra november til ultimo marts. Se figur 23.

Udvaskningen stiger med stigende kvælstoftildeling. Når der kun tildeles 30 kg kvælstof pr. ha som startgødning er udvaskningen målt til 59 kg nitrat-kvælstof pr. ha,



**FIGUR 23.** Tidlig fordeling af nedbør, afstrømning og udvaskning over måleåret ved en kvælstoftildeling på 180 kg kvælstof pr. ha.



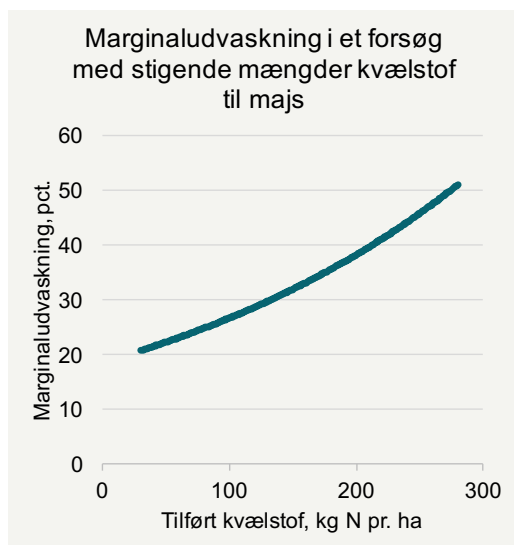
**FIGUR 24.** Kvælstofudvaskning ved stigende mængder kvælstoftilførsel. Deling af 130 kg kvælstof pr. ha med sidste tildeling primo juni og primo juli har givet reduceret udvaskning i forhold til tildeling af 130 kg kvælstof pr. ha ved såning.

mens udvaskningen ved en tildeling på 280 kg kvælstof pr. ha er målt til 151 kg kvælstof pr. ha. Udvaskningen ved en kvælstoftildeling på 150 kg kvælstof pr. ha, hvilket stort set svarer til normen i planperioden 2017 til 2018, vil være ca. 85 til 90 kg nitrat-kvælstof pr. ha. Se figur 24.

### Marginaludvaskning

Marginaludvaskningen er defineret, som andelen af det sidst tildelte kg kvælstof, der udvaskes. Denne parameter er væsentlig, fordi den i mange sammenhænge anvendes til at beregne udvaskningseffekten af øget eller reduceret kvælstoftilførsel. Marginaludvaskningen i dette forsøg varierer imellem 21 procent ved en tildeling på 30 kg kvælstof pr. ha til 50 procent ved en tildeling på 280 kg kvælstof pr. ha. Kvælstofnormen for arealet er i planperioden 2017 til 2018 ca. 150 kg kvælstof pr. ha, og ved denne kvælstoftildeling er marginaludvaskningen 32 procent. Se figur 25.

I gennemsnit af alle jordtyper, afgrøder, og nedbørsregimer antages det, at marginaludvaskningen er ca. 20 procent ved normal gødskningspraksis. Når marginaludvaskningen i dette forsøg er højere skyldes det formentlig, at majs normalt har en relativt høj marginaludvaskning, at der ikke er efterafgrøder efter høst, og at forsøget er beliggende på sandjord i et nedbørsrigt område.



**FIGUR 25.** Marginaludvaskning ved stigende mængder kvælstof. Marginaludvaskningen er defineret som andelen af det sidst tildelte kg kvælstof der udvaskes.

Forsøgsserien er afsluttet.

### Fastliggende forsøg med måling af udvaskning ved stigende mængder kvælstof

Der er siden 2015 gennemført to fastliggende forsøg, hvor der måles udvaskning med sugeceller ved stigende mængder kvælstof – et på vandet JB 1 i Vestjylland og et på JB 7 på Lolland. Efter høst af hovedafgrøden i efter-

året 2015 er der på begge forsøgsarealer installeret keramiske sugeceller til udtagning af prøver af jordvandet til nitratanalyse i 1 meters dybde.

Der er udtaget prøver af jordvandet med 14 dage til en måneds mellemrum fra 1. november 2015 på JB 1 og fra 1. december 2015 på JB 7. I perioder, hvor der ikke sker afstrømning fra jorden, tages der ikke prøver af jordvandet. Arealernes forhistorie, dyrkningshistorik og efterårsbevoksning fremgår af tabel 43.

### Udbytte og kornkvalitet

I 2016 er der i forsøget på JB 1 signifikante merudbytter for kvælstoftildeling op til 150 kg kvælstof pr. ha. I 2015 var der signifikante merudbytter for kvælstoftildelinger op til 200 kg kvælstof pr. ha. I forsøget på JB 7 er der kun et lille og ikke signifikant udslag for kvælstoftildeling på 50 kg kvælstof pr. ha til fabriksroer, mens udslaget for tildeling af 100 til 150 kg kvælstof pr. ha er større. Der er signifikant merudbytte i både rodmasse og sukkerudbytte for tildeling af 150 kg kvælstof pr. ha i forhold til 100 kg kvælstof pr. ha, men der er ikke signifikante merudbytter for at øge kvælstoftildelingen ud over dette niveau. I 2015 har der i begge forsøg været signifikante merudbytter for tildeling af kvælstof op til 200 kg kvælstof pr. ha til vinterhvede. Høstudbytterne er af pladshensyn ikke vist, men se enkeltforsøgene 07-027-1516-001 og 07-028-1516-001. Kvælstofbalancen for begge forsøgsår fremgår af tabel 44.

**TABEL 43.** Forhistorie og dyrkningspraksis på forsøgsarealerne

	Jordtype	Gødningshistorie	Afgrøde til høst 2015	Efterårsbevoksning 2015	Såtidspunkt/pløjetidspunkt - efterårsbevoksning 2015	Afgrøde til høst 2016	Efterårsbevoksning 2016	Såtidspunkt/pløjetidspunkt - efterårsbevoksning 2016
Vestjylland	JB 1	Husdyrgødning	Vinterhvede	Vinterhvede	14. oktober 2015	Vinterhvede	Vintertriticale	20. september 2016
Lolland	JB 7	Kun handelsgødning	Vinterhvede	Bar jord, efterårspløjet	6. november 2015	Fabriksroer	Bar jord	17. november 2016

**TABEL 44.** Kvælstofbalancer for fastliggende forsøg, hvor udvaskningen måles med sugeceller. Balancerne er opgjort som tilført kvælstofmængde fratrukket kvælstofbortførsel i kerne

Kvælstofudvaskning	2015		2016	
	070271515 JB1 Vinterhvede	070281515 JB7 Vinterhvede	070271516 JB1 Vinterhvede	070281516 JB7 Fabriksroer
	Kvælstofbalance, kg kvælstof pr. ha			
1. Kvælstoftildeling 0 kg kvælstof pr. ha	-24,2	-66,4	-28,1	-
2. Kvælstoftildeling 50 kg kvælstof pr. ha	10,5	-49,3	2,7	-
3. Kvælstoftildeling 100 kg kvælstof pr. ha	32,9	-18,5	29,1	-
4. Kvælstoftildeling 150 kg kvælstof pr. ha	62,6	-12,2	52,3	-
5. Kvælstoftildeling 200 kg kvælstof pr. ha	83,9	7,8	91,3	-
6. Kvælstoftildeling 250 kg kvælstof pr. ha	118,9	42,2	136	-
7. Kvælstoftildeling 300 kg kvælstof pr. ha	150,3	79,3	182,3	-

### Kvælstofkoncentrationer i jordvandet

Kvælstofkoncentrationerne i jordvandet for led gødet med 0, 200 og 300 kg kvælstof pr. ha i perioden fra vinteren 2015 til foråret 2016 er vist i figur 26. Kvælstofkoncentrationerne i jordvandet varierer både med kvælstoftildelingen og med tidspunktet på året. På JB 1 er koncentrationerne påvirket af gødskningsniveauet i fra midt på sommeren og frem til februar/marts, således at kvælstofkoncentrationerne er højest i de led, der er tildelt mest kvælstof. Forskellene i kvælstofkoncentrationer toppe i november måned, hvor vinterafstrømningen begynder. Kvælstofkoncentrationerne er i niveauet 3 til 6 mg nitratkvælstof pr. liter i vækstsæsonen i alle led. Kvælstofkoncentrationerne i vinteren er lidt forskellige i de to år, men er omkring den 1. november i niveauet 13 til 23 mg nitratkvælstof pr. liter i 2015 til 7,5 til 16 mg nitratkvælstof pr. liter i 2016. I løbet af den tidlige vinter falder nitratkoncentrationerne til under 5 mg nitratkvælstof pr. liter i alle led i begge år, hvilket formentlig skyldes, at alt mobilt kvælstof i jorden udvaskes i løbet af de første to måneder på den lette sandjord.

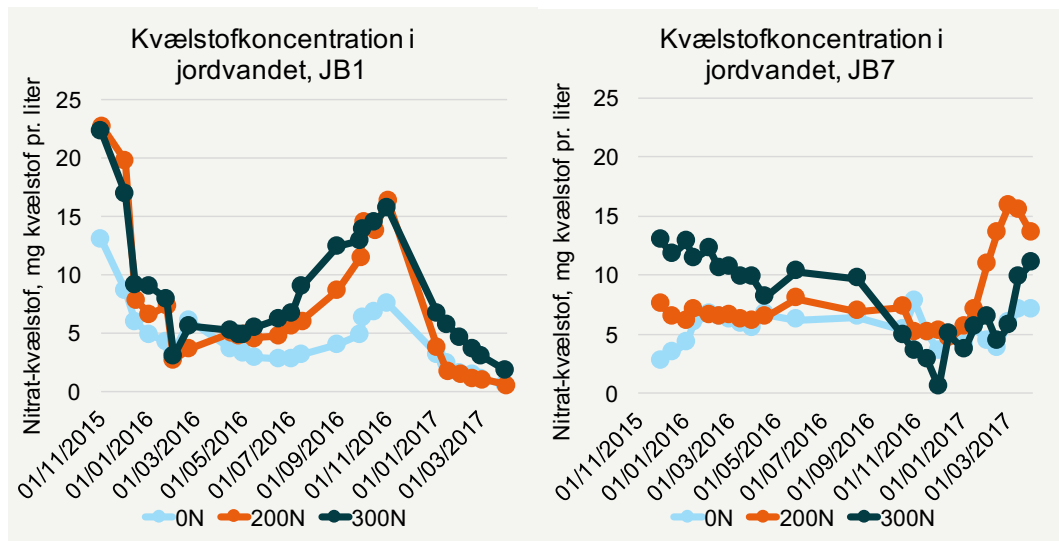
I forsøget på JB 7 er kvælstofkoncentrationerne i jordvandet lavere end på JB 1. Koncentrationerne varierer fra 4 til 10 mg nitratkvælstof pr. liter i vækstsæsonen med en tendens til at større kvælstoftildeling giver højere kvælstofkoncentration i jordvandet. Forskellene i kvælstofkoncentrationer mellem led er større i vinteren 2015

end i vinteren 2016. Dog er kvælstofkoncentrationen ved tildeling af 200 kg kvælstof pr. ha væsentligt højere end i alle andre led. At der kun er begrænset forskel mellem kvælstofkoncentrationerne i jordvandet i de forskellige led kan skyldes, at der i 2016 er dyrket fabriksroer på arealet. Fabriksroer har en lang vækstsæson der sikre kvælstofoptag langt ind i efteråret, hvilket kan bidrage til lave kvælstofkoncentrationer i jordvandet.

Kvælstofkoncentrationerne i jordvandet i kan i 2015 være påvirket af, at gucecellerne er nedsat i forsøget efter høst af hovedafgrøden, fordi der ved nedsætning graves i forsøgsparcellerne. Dette kan medføre øget mineralisering og dermed øgede kvælstofkoncentrationer. Hvis dette er tilfældet vil den beregnede udvaskning også øges. Forsøget er fastliggende og da opgravningen kun sker i anlægsåret, vil denne effekt forsvinde i de efterfølgende forsøgsår, hvor arealet pløjes inden anlæg af næste års forsøg.

### Udvaskning

Jordvandskoncentrationerne omsættes til nitratudvaskning ved at gange de målte nitratkoncentrationer med afstrømningen. Metoden er nærmere beskrevet i det ovenstående afsnit. På arealet med JB 1 er der vandet med 20 mm 12. juni 2015 og 30 mm 16. juni 2016. Der er taget højde for vandingen i beregningen af vandafstrømningen.



FIGUR 26. Nitratkoncentrationer i jordvandet i forsøgsled med kvælstoftildelinger på 0, 200 og 300 kg N pr. ha ved hver prøvetagning i forsøget på JB 1 og forsøget på JB 7.



**FIGUR 27.** Udvaskning ved kvælstoftildelinger fra 0 til 300 kg kvælstof pr. ha i to forsøg. Årstal angiver høstår. Udvaskningen er opgjort fra 1. april i høståret til 31. marts i det efterfølgende år.

I 2015 er der målt kvælstofkoncentrationerne i jordvand før 1. november på JB 1 og 1. december på JB 7. Som nævnt beregnes udvaskningen altid i perioden 1. april til 31. marts. En beregning af den årlige udvaskning for høståret 2015 kan derfor kun ske ved at anvende den først målte kvælstofkoncentration som koncentration i hele den umålte periode. Det introducerer fejl i beregningen af udvaskningen. Udvaskningen for begge arealer i høstår 2015 er beregnet på denne måde i "Oversigt over Landsforsøgene 2016" s. 249. På JB 7 er der kun begrænset afstrømning, inden 1. december, og kun cirka 16 procent af afstrømningen sker før første koncentrationsmåling. Kun 9 til 18 procent af den beregnede udvaskning sker i perioder uden koncentrationsmålinger. Fejlen i den beregnede udvaskning på JB 7 er derfor relativt lille. I forsøget på JB 1 sker cirka 20 procent af afstrømningen og cirka en 30 procent af udvaskningen før første koncentrationsmåling. Da koncentrationsmålinger i 2016 viser, at kvælstofkoncentrationen på begge arealer topper i november og december, og især på sandjordarealet er væsentligt lavere i sommerperioden, er udvaskningen overestimeret, når denne metode anvendes. Det gælder særligt på sandjordsarealet. Se også "Oversigt over Landsforsøgene 2016" s. 249. I 2016 er der målt kvælstofkoncentrationer i alle perioder med afstrømning. På grund af usikkerheden i bestemmelsen

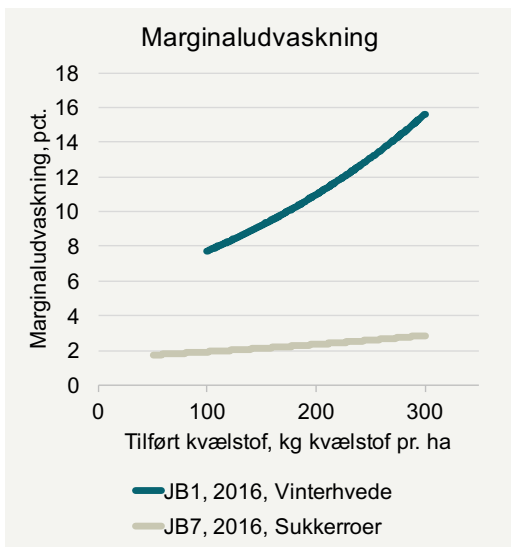
af udvaskningen for høstår 2015 er udvaskningen kun vist for 2016 i figur 27.

I 2016 stiger udvaskningen på arealet med JB1 fra cirka 20 kg kvælstof pr. ha ved en kvælstoftilførsel på 0 kg kvælstof pr. ha til en udvaskning på cirka 40 kg kvælstof pr. ha ved en kvælstoftildeling på 300 kg kvælstof pr. ha. Se figur 27. Hvis afgrøden gødes efter normen for planperioden 2017 til 2018 vil udvaskningen være cirka 30 kg kvælstof pr. ha. I forsøget på JB 7 er udvaskningen stabil mellem 6 og 11 kg kvælstof pr. ha ved en kvælstoftildeling mellem 0 og 300 kg kvælstof pr. ha. Dog er udvaskningen ved en kvælstoftildeling på 200 kg kvælstof pr. ha ca. 20 kg kvælstof pr. ha. Se figur 27. Den lave udvaskning på JB 7 arealet skyldes formentlig, at afgrøden her har været sukkerroer, der har en lang vækstsæson, og som derfor fastholder kvælstofkoncentrationerne på et lavt niveau i alle led langt ind efteråret. Samtidig er afstrømningen i 2016 lavere end normalt, fordi vinteren 2016 er mere tør end normalt.

De beregnede udvaskninger for høståret 2015 er, som beskrevet ovenfor, formentlig overestimeret, særligt på arealet med JB 1. Udvaskningerne er derfor alene sammenlignet mellem de to år for den del af året, hvor der er koncentrationsmålinger i 2015. Det vil sige 1. november til 31. marts på JB 1 og 1. december til 31. marts på JB 7. Udvaskningen i måleperioden på JB1 er i 2016 30 til 50 procent lavere end i 2015. Det skyldes til dels, at vinteren 2016 har været mere tør end normalt, og afstrømningen i perioden i høstår 2016 er da også 25 procent lavere end afstrømningen i høstår 2015. På arealet med JB7 har udvaskningen i måleperioden været væsentligt lavere end i høstår 2015 i led med høj gødningstilførsel. Det skyldes at udvaskningen ikke stiger ret meget med stigende kvælstoftilførsel i 2016, fordi der i 2016 er dyrket fabriksroer på arealet. Udvaskningen i 2016 er i gennemsnit 76 procent af udvaskningen i 2015 i led med kvælstoftilførsler på 0 til 100 kg kvælstof pr. ha, og 55 procent af udvaskningen i 2015 i led med kvælstoftilførsler på 200 til 300 kg kvælstof pr. ha. Afstrømningen i perioden er i 2016 kun 66 procent af afstrømningen i 2015, hvilket også bidrager til en lavere udvaskning i 2016 i forhold til 2015.

#### *Marginaludvaskning*

Marginaludvaskningen er defineret som andelen af det sidst tildelte kg kvælstof, der udvaskes. Denne parameter er væsentlig, fordi den i mange sammenhænge an-



**FIGUR 28.** Marginaludvaskning ved kvælstoftildelinger fra 50 til 300 kg kvælstof pr. ha i to forsøg. Årstal angiver høstår.

vendes til at beregne udvaskningseffekten af øget eller reduceret kvælstoftilførsel. Fordi marginaludvaskningen kun er relevant ved justering af kvælstoftilførslen omkring planternes behov, er det her valgt ikke at inkludere udvaskningen i de ugødede led ved beregningen af marginaludvaskningen. Marginaludvaskningen stiger i forsøget på JB1 fra ca. 8 procent ved en kvælstoftilførsel på 100 kg kvælstof pr. ha til ca. 20 pct. ved en kvælstoftilførsel på 300 kg kvælstof pr. ha. Se figur 28. I forsøget på JB 7 med fabriksroer er marginaludvaskningen 2 til 3 procent ved alle niveauer af kvælstoftilførsel. Se figur 28. Det viser, at fabriksroer er i stand til at kompensere for et stort spænd i kvælstoftilførsel, uden at udvaskningen øges. Der er ikke beregnet en marginaludvaskning for forsøgene i 2015, fordi der ikke er målinger af kvælstofkoncentrationerne i jordvandet i vækstsæsonen.

Forsøgene fortsætter.

### Forsøg med måling af udvaskning i både 1 og 2 meters dybde

I tre forsøgsserier måles der udvaskning i både 1 og 2 meters dybde i udvalgte led. Se tabel 45. Alle disse forsøg er startet i høståret 2017, og derfor kan der ved redaktionens slutning ikke beregnes en årlig udvaskning for disse forsøg. I tabel 45 fremgår dog en række koncentrationsmålinger fra henholdsvis 1 og 2 meters dybde fra forsøgsserierne 07-014-1717 og 07-096-1717. Der

**TABEL 45.** Kvælstofkoncentrationer i 1 og 2 meters dybde opgjort på gentagelsesniveau. Kvælstoftilførsel i alle led 300 kg kvælstof pr. ha. Standardafvigelsen er beregnet ud fra gentagne målinger i samme parcel i efteråret 2017

Sted	Gentagelse	Kvælstofkoncentration i 1 m dybde, mg nitratkvælstof pr. liter	Kvælstofkoncentration i 2 m dybde, mg nitratkvælstof pr. liter	Reduktion i kvælstofkoncentration, pct.	Standardafvigelse af procentuel kvælstofreduktion
<i>2017. 1 forsøg, vinterhvede</i>					
Odder	1	26	14	44	9
Odder	2	13	0	99	0
Odder	3	15	1	93	2
Odder	4	-	1	-	-
Odder	Gennemsnit	18	5	73	26
<i>2017. 1 forsøg, vinterbyg</i>					
Ringsted	1	17	11	34	21
Ringsted	2	14	11	25	1
Ringsted	3	22	8	62	3
Ringsted	4	17	11	35	16
Ringsted	Gennemsnit	18	10	40	19

foreligger ved redaktionens slutning ikke data fra forsøgsserien 07-010-1717. Alle forsøgene ligger på flade arealer, hvor der ikke er umiddelbar risiko for at reduceret trykvand fra andre arealer infiltrerer jorden i 2 m dybde. Målingerne viser at kvælstofkoncentrationen i 2 meters dybde på begge forsøglokaliteter er væsentligt lavere end i 1 meters dybde. På forsøgsarealer i Ringsted er kvælstofkoncentrationen gennemsnitligt 40 procent lavere i 2 meters dybde end i 1 meters dybde. På lokaliteten i Odder er kvælstofkoncentrationen i første gentagelse 50 procent lavere i 2 end i 1 meters dybde, og i gentagelse to og tre er kvælstofkoncentrationen i jordvandet i 2 meters dybde næsten nul. Forsøget i Odder er beliggende på en gammel søbund, hvor der teoretisk bør være stor kvælstofreduktion i underbunden. Begge lokaliteter er drænet i ca. 1 meters dybde, og drænene må antages at være den primære afstrømningsvej for overskudsnedbør. Kvælstofkoncentrationen i 2 meters dybde er derfor mindre relevant for kvælstoftabet til vandløb og havmiljøet, men undersøgelserne er vigtige for at afdække risikoen for nitratforurening af grundvandet på lerjordsarealer.

Forsøgene fortsætter.

### Kvælstoftab fra vinterhvede gennem dræn

Tre års resultater fra et fastliggende storparcellforsøg med stigende mængder kvælstof til vinterhvede viser,

at kvælstofkoncentrationen i drænvand først stiger betydeligt, når der tildeles mere end 250 kg kvælstof pr. ha., hvilket svarer til 20 procent mere end kvælstofnormen i planperioden 2017 til 2018. Kvælstofudvaskningen i vinterperioden er bestemt til 3 til 6 kg kvælstof pr. ha ud fra de målte kvælstofkoncentrationer og afstrømningen i perioden 1. oktober til 1. april. Der har været signifikante merudbytter i vinterhvede for tildeling af kvælstof op til henholdsvis 230 kg kvælstof pr. ha i 2014 og 166 kg kvælstof pr. ha i 2015. Udbytter og merudbytter for kvælstof er lave i 2016, om end der er signifikante merudbytter for kvælstof op til 239 kg kvælstof pr. ha.

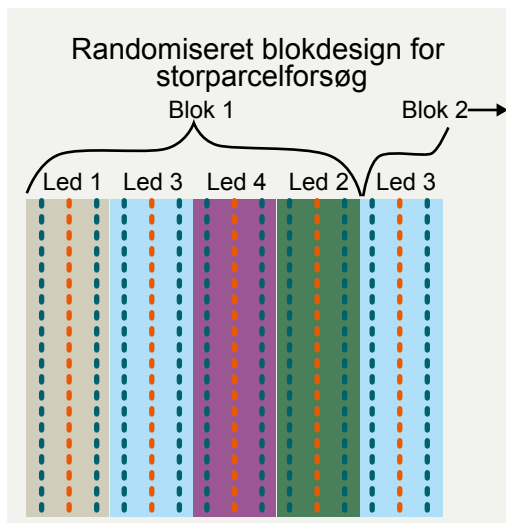
For at undersøge, hvordan kvælstoftildelingen påvirker kvælstofudvaskningen fra vinterhvede, blev der i 2013 anlagt et fastliggende forsøg med stigende mængder kvælstof til vinterhvede på et systemdrænet areal. Forsøget er anlagt i en mark med 57 parallelle dræn med udløb i en åben grøft, hvorfor hvert dræn kan prøvetages individuelt. Kvælstoftilførslen er fastsat som en fraktion af normerne i planperioden 2014 til 2015, dvs. normerne ved gødsning cirka 20 procent under planternes behov. Kvælstoftilførslen varierer en smule mellem de enkelte år, fordi normen har ændret sig gennem forsøgsårene, men de anvendte kvælstofmængder svarer til:

- > Forsøgsled 1: halv 2014/2015 norm, cirka 80 kg kvælstof pr. ha.
- > Forsøgsled 2: 2014/2015 norm, cirka 160 kg kvælstof pr. ha.
- > Forsøgsled 3: halvdanden gange 2014/2015 norm, cirka 240 kg kvælstof pr. ha.
- > Forsøgsled 4: to gange 2014/2015 norm, cirka 320 kg kvælstof pr. ha.

De præcise kvælstoftilførsler i de enkelte år fremgår af tabel 46.

Marken er inddelt i fem blokke med fire storparceller i de fire blokke og tre storparceller i den femte blok. Hver storparcel dækker tre dræn. Se figur 29. Forsøgsparcellerne er fastliggende, således at parcellerne tilføres samme kvælstofmængde år efter år.

I vinterhalvåret udtages drænvandsprøver fem gange i det midterste dræn i hver storparcel, det vil sige i 19



**FIGUR 29.** Randomiseret blokdesign for storparcellforsøg. Hver parcel dækker tre dræn. Drænvandsprøverne udtages i midterste dræn. De stiplede linjer repræsenterer drænenes placering.

dræn. Prøverne analyseres for indhold af total- og nitratkvælstof. Drænafastanden i marken er 16 meter, og afstanden mellem de dræn, der tages prøve i, er således cirka 45 meter. Jordtypen på arealet er JB 6 i pløjelaget og JB 5 til 7 i underjorden. Arealet er et lavbundsareal på hævet havbund, og på lignende arealer har Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi tidligere vist, at der sker en betydelig denitrifikation i rodzonen, inden vandet løber i drænene.

#### *Udbytter og kornkvalitet*

Høstudbyttet og kvælstofresponsen er i 2016 væsentligt mindre end i de foregående år. Der er dog signifikante merudbytter for kvælstoftildeling op til 239 kg kvælstof pr. ha, men udbyttet er ved dette kvælstofniveau kun 56 hkg pr. ha, hvor udbyttet i 2014 og 2015 har været henholdsvis 89 og 102 hkg pr. ha ved samme kvælstofniveau. Det lave udbyttensniveau i alle led har resulteret i en højere proteinprocent, men trods det er kvælstofudbyttet i gennemsnit af forsøgsleddene ca. 25 procent lavere end i de foregående år. I 2015 og 2016 har der været signifikante merudbytter for tildeling af kvælstof op til henholdsvis 166 kg kvælstof pr. ha og 230 kg kvælstof pr. ha i 2014. Markoverskuddet, opgjort som kg kvælstof tilført i gødning minus kg kvælstof i kerne, stiger lineært med stigende kvælstoftilførsel i alle høstår, men er højere i 2016 end i 2014 og 2015. Se tabel 46.



**TABEL 46.** Udbytter, markoverskud, N-min og kvælstofkoncentrationer i drænvandet ved stigende mængder kvælstof. (N29)

Vinterhvede	Kar. for lejesæd ved høst <sup>1)</sup>	Markoverskud, kg N pr. ha	N-min 0-100 cm forår, kg N pr. ha <sup>2)</sup>	N-min 0-100 cm, efterår, kg N pr. ha	Drænv.-konc., mg total N pr. liter <sup>3)</sup>	Ændring i drænvandskoncentration ift. normet, pct.	Pct. total-N i drænvand som nitrat	Pct. råprotein i kernetørstof	Udb., kg N i kerne pr. ha	Udb. og merudb., hkg kerne pr. ha	Nettomerudb., hkg pr. ha	Protein korr. netto-merudb., hkg pr. ha <sup>4)</sup>
<i>2016. 1 forsøg</i>												
1. 79 N	0	11	57	-	7,6	89	84	9,6	68	<b>47,5</b>	-	-
2. 158 N	0	73	46	95	8,5	<b>100</b>	79	11,5	85	2,2	-2,6	6,0
3. 237 N	0	133	55	107	9,7	115	82	12,6	104	8,2	-1,4	9,7
4. 316 N	0	201	78	168	14,7	174	89	13,0	115	11,9	-2,5	9,9
LSD										7,4		
<i>2015. 1 forsøg</i>												
1. 83 N	0	-11	35	46	2,7	88	27	7,5	94	<b>83,7</b>	-	-
2. 166 N	4	35	55	47	3,1	<b>100</b>	32	8,5	131	14,8	9,7	13,9
3. 249 N	6	93	59	65	3,7	117	49	10,5	156	18,2	8,1	17,0
4. 332 N	9	154	78	105	6,3	200	70	11,7	178	17,1	1,9	15,8
LSD										19		5,5
<i>2014. 1 forsøg</i>												
1. 77 N	0	2	-	-	3,3	91	53	7,1	75	<b>70,7</b>	-	-
2. 153 N	0	47	-	-	3,6	<b>100</b>	43	8,5	106	13,2	8,6	6,0
3. 230 N	0	91	-	-	4,1	112	53	10,5	139	17,9	8,6	9,7
4. 306 N	1	143	-	-	6,9	190	63	11,7	163	23,0	9,0	9,9
LSD										-		5,4

<sup>1)</sup> Skala 0-10, 0 = ingen lejesæd, 10 = helt i leje.

<sup>2)</sup> N-min er kun udtaget på parcellniveau i foråret 2015, hvorfor der kun kan beregnes LSD værdi for denne udtagning.

<sup>3)</sup> LSD for afstrømningssæsonen 2015/16 kan ved redaktionens afslutning ikke beregnes, da der kun er foretaget to prøvetagninger i hvert led.

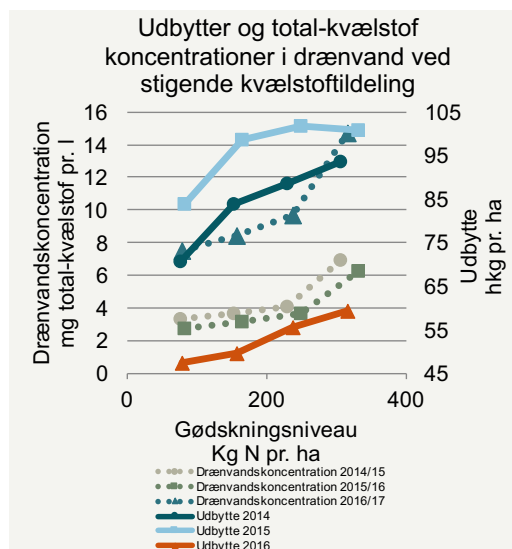
<sup>4)</sup> Protein-korrektionen er foretaget med en pris på protein på 3,50 kr. pr. procentenhed protein pr. hkg.

### Kvælstofkoncentrationer i drænvandet

Kvælstofkoncentrationerne i forsøgsled der tilføres ca. 240 kg kvælstof pr. ha har i gennemsnit været 3,7 og 4,1 mg totalkvælstof pr. liter i henholdsvis 2015 og 2014. Dette er relativt lave værdier set i forhold til landsgenomsnittet af kvælstofkoncentrationerne i drænvand, der i årene 2011-2015 er 7,4 mg totalkvælstof. Se Oversigt over Landsforsøgene 2015, s. 244. De lave kvælstofkoncentrationer i drænvandet i disse år skyldes formentlig denitrifikation i rodzonen på det hævdede havbundsareal. Kvælstofkoncentrationerne er i 2016 væsentligt højere end i de foregående år og er i led 3, der tildeles 240 kg N pr. ha, ca. 9,7 mg N pr. liter. Se figur 30 og tabel 46. De højere kvælstofkoncentrationer i 2016 skyldes formentlig, både at der på grund af de lavere kvælstofudbytter er efterladt mere kvælstof i jorden i 2016 end i de foregående år, og at afstrømningen fra arealet har været mindre i vinteren 2016/2017 end i to tidligere måleår. Der er i 2015 og 2016 målt N-min i jorden i efteråret efter høst, og der er i efteråret 2016 ca. 60 til 100 procent mere kvælstof i jorden efter høst end i 2015. Se tabel 46.

Vandafstrømningen fra arealet er modelleret med modellen EVACROP ud fra afgrøde, dyrkningsdata, jordtype,

og nedbør på arealet. Afstrømningen i vinterperioden, regnet fra 1. oktober til 1. april, er efter høstår 2016 138 mm, mens den efter høst år 2014 og 2015 har været henholdsvis 328 mm og 293 mm. En lavere vinternedbør på



**FIGUR 30.** Totalkvælstofkoncentration i drænvand og udbytter ved stigende kvælstofdeling.

arealet kan bidrage til en højere kvælstofkoncentration i drænvandet, både fordi det kvælstof der afstrømmer fra arealet er opløst i en mindre vandmængde, og fordi en tørrere vinter giver dårligere forhold for denitrifikation på arealet. I 2016 er andelen af kvælstof, der afstrømmer som nitratkvælstof 79 til 89 procent afhængig af led mens den i 2015 og 2014 har været 32 til 62 procent. Det indikerer at forholdene for denitrifikation i jorden har været dårligere i 2016 end i de foregående år, idet denitrifikationen kun fjerner nitratkvælstof.

Totalkvælstofkoncentrationen i drænvandet stiger med stigende kvælstoftilførsel i alle afstrømningssæsoner. I 2016 er stigningen i kvælstofkoncentrationen 2,1 mg totalkvælstof pr. liter, når kvælstoftildelingen øges fra halv norm, cirka 80 kg kvælstof pr. ha, til halvanden gange norm, cirka 240 kg kvælstof pr. ha, mens den i 2014 og 2015 har været 0,8 til 0,9 mg totalkvælstof pr. liter. Ved gødsning med ca. 320 kg kvælstof pr. ha, sker der i 2016 en stigning i drænvandskoncentrationen på 6,2 mg totalkvælstof pr. liter i forhold til gødsning med 160 kg N pr. ha, mens stigningen i 2014 og 2015 og var henholdsvis 3,3 til 3,2 mg total kvælstof pr. liter

Kvælstofkoncentrationen i forsøget kan med rimelighed antages at repræsentere det relative kvælstoftab fra marken gennem dræn, fordi der ved punktmålinger af afstrømningen fra drænene ikke er fundet signifikante forskelle mellem forsøgsleddene.

#### *Udvaskning og marginaludvaskning*

Ud fra de målte kvælstofkoncentrationer i drænvandet og den beregnede vandafstrømning fra arealet kan kvælstofudvaskningen i vinterhalvåret beregnes. Beregningen repræsenterer kun den udvaskning, der sker i vinterperioden og gennem dræn. Det er dog overvejende sandsynligt, at udvaskningen i vinterperioden stort set repræsenterer den samlede årlige udvaskning fra arealet. Det skyldes, at dræn formentlig er den dominerende afstrømningsvej for kvælstof fra arealet, både fordi det meste vand på denne arealtype afstrømmer via dræn, og fordi reduktionspotentialet i underjorden formentlig er så stort, at kvælstof der afstrømmer til grundvandet fjernes næsten fuldstændigt. Samtidig løber drænene på arealet sjældent om sommeren, og det viser at der ikke er en betydelig udvaskning fra arealet uden for måleperioden. Området hvor forsøget er beliggende er fladt, og det er ikke sandsynligt at drænvandet i væsentligt omfang opblandes med reduceret grund-

vand fra andre arealer. De beregnede udvaskninger må derfor antages at repræsentere den samlede udvaskning fra arealet.

Udvaskningen fra arealet er beregnet til ca. 3 til 6 kg kvælstof pr. ha ved en kvælstoftildeling på 80 kg kvælstof pr. ha afhængig af året. Udvaskningen stiger kun lidt ved kvælstoftildeling op til 230 kg kvælstof pr. ha, hvor kvælstofudvaskningen er 5 til 8 kg kvælstof pr. ha, afhængig af året. Marginaludvaskningen, dvs. den mængde kvælstof der udvaskes af det sidst tildelte kg kvælstof, er på 1 til 2 procent ved gødningstildelinger mellem 80 og 230 kg kvælstof pr. ha, hvilket er meget lavt. Forsøgene viser at både kvælstofudvaskning og marginaludvaskning på denne type areal er på et meget lavt niveau, inden for det normale område for kvælstoftildeling til vinterhvede. I gennemsnit af de tre år har den økonomiske optimale kvælstoftildeling på arealet været ca. 300 kg kvælstof pr. ha, og hvis kvælstoftildelingen hæves til 320 kg kvælstof pr. ha, stiger udvaskningen til ca. 11 til 17 kg kvælstof pr. ha, og marginaludvaskningen mellem 230 og 320 kg kvælstof pr. ha er tilsvarende 4 til 17 procent afhængig af året. Udvaskningen bliver altså betydeligt højere ved kvælstoftildelinger over 230 kg kvælstof pr. ha, men udvaskningsniveauet er dog stadig lavt i forhold til andre arealer, selv ved de meget høje kvælstoftildelinger.

#### *Jordens indhold af mineralisk kvælstof*

Jordens N-min indhold i 1 meters dybde er målt i foråret 2014, 2015 og 2016, og i efteråret 2015 og 2016. N-min stiger i efteråret 2015 med kvælstoftildelingen, når der tildeles mere kvælstof end normen, og stigningen er betydelig i forsøgsled 4, hvor der er gødet med 320 kg kvælstof pr. ha. Se tabel 46. Det er i overensstemmelse de højere drænvandskoncentrationer målt i dette forsøgsled. I 2016 er der i efteråret efterladt mere kvælstof i jorden end i 2015, hvilket afspejler sig i de højere kvælstofkoncentrationer i drænvandet i 2016. I foråret 2014 var den gennemsnitlige N-min i marken 66 kg kvælstof pr. ha, mens den i foråret 2015 og 2016 stiger med stigende kvælstoftildeling til forfrugten. Se tabel 46. I overensstemmelse hermed blev det i 2015 observeret, at hveden var mere grøn og veludviklet i parceller med mertildeling af kvælstof i 2014. Resultaterne indikerer, at mertildeling af kvælstof har forbedret jordens gødningstilstand det efterfølgende år, men også at der på langt sigt kan være en merudvaskning, der kan henføres til eftervirkningen af mertildelt kvælstof. Det er ikke



FOTO: KRISTIAN ARNOLD BANG DAVIDSEN, LANDBONORD

Dronefoto af forsøget fra 20. maj 2014. Storparcellerne bliver mere mørkegrønne med stigende kvælstofdeling.

muligt at vurdere størrelsen af denne eftervirkning og effekten på drænvandet i dette forsøg, fordi forskellene udviskes af forskellene mellem år, særligt i det sidste forsøgsår hvor udbytterne er unormalt lave og vinteren tør.

Forsøgsserien er afsluttet.

## Jordbundsanalyser

> RASMUS MOHR MORTENSEN, SEGES

### Antal jordbundsanalyser

Antallet af kemiske jordbundsanalyser fra 1. august 2016 til 31. juli 2017 fremgår af tabel 47. Tabellen omfatter analyser udført af OK Laboratorium for Jordbrug, det tyske laboratorium Agrolab samt Eurofins Agro Testing Denmark A/S. Jordprøverne er i langt de fleste tilfælde udtaget i regi af de lokale DLBR rådgivningsvirksomheder. Der indgår 10-15.000 flere standardanalyser end i sæsonen 2015 – 2016. Antallet af standardanalyser er faldet ca. 9 procent i Nordjylland og Sjælland, mens antallet af prøver i Vestjylland og på Bornholm er øget med henholdsvis 39 og 85 procent.

TABEL 47. Antal jordbundsanalyser fra 1. august 2016 til 31. juli 2017

Landsdel	Rt	Pt	Kt	Mgt	Cut	Total-N
Bornholm	1.918	1.918	1.918	1.919	17	0
Sjælland	13.333	13.296	13.301	13.326	1.278	102
Fyn	10.283	10.282	10.282	10.282	89	164
Østjylland	27.662	27.644	27.644	27.758	2.786	168
Nordjylland	28.224	28.222	28.224	28.523	1.877	178
Vestjylland	47.330	43.587	43.657	43.591	5.836	3.371
Hele landet	128.750	124.949	125.026	125.399	11.883	3.983

### Fordeling af analysetallene

Næringsstofanalyserne stammer overvejende fra systematiske jordbundsanalyser af hele ejendomme og anses for at være nogenlunde repræsentative for landbrugsjorden. Den procentvise fordeling af jordbundsanalyser i de enkelte landsdele, vist i tabel 48, kan derfor give et indtryk af næringsstofforholdet.

#### Reaktionstallet, Rt

For de fleste jorde er der et relativt stort interval, hvor reaktionstallet kan betragtes som optimalt. Når reaktionstallet er over 5,5 til 6,0, er det ikke reaktionstallets størrelse, der er interessant, men udviklingen. Et acceptabelt reaktionstal kan normalt opretholdes ved en kalktilførsel på 1,5 til 2,0 ton jordbrugskalk pr. ha hvert tredje eller fjerde år.

#### Fosfortallet, Pt

Fosfortallet er et udtryk for den lettilgængelige fosforulje i jorden. Fosfortallet anses for lavt ved værdier under 2. Fosfortal mellem 2 og 4 anses for normale.

10 procent af analyserne for hele landet viser fosfortal under 2. 49 procent af fosfortallene er mellem 2 og 4, og 40 procent af analyserne har værdier over 4.

#### Kaliumtallet, Kt

Kaliumtallets størrelse varierer mellem landsdelene. Niveauforskellen skyldes først og fremmest jordtypeforskelle. På jorder med JB under 4 anses kaliumtal mellem 5 og 8 for at være middel, mens kaliumtal mellem 7 og 10 anses for at være middel på jorder fra JB 4 og op. Her skiller Vestjylland med hovedsageligt grovsandede jorder sig klart ud, idet 65 procent af prøverne viser analysetal under 8. Det tilsvarende tal i Østjylland, hvor jordtypen er mere leret, er 33 procent.