



NOTAT VEDRØRENDE TIDLIG SÅNING

ET MODELSTUDIE



Kasper J. Jensen, Per Abrahamsen og Merete Styczen

Udarbejdet for Miljøstyrelsen

Januar / 2015

Titel

Notat vedrørende tidlig Såning: Et modelstudie

Forfatter

Kasper J. Jensen (PhD Stud.), Per Abrahamsen (Datalog) og Merete Styczen (Professor)
Institut for Plante- og Miljøvidenskab
Københavns Universitet
Thorvaldsensvej 40
1871 Frederiksberg C
Tlf. 3533 3560
PLEN@plen.ku.dk
www.plen.ku.dk

Opdragsgiver

Miljøstyrelsen, Miljøministeriet

Forsidefotos

Lene Sparsø Thygesen

Publicering

Notatet er publiceret på www.plen.ku.dk , hvor den frit kan downloades

Bedes Citeret

K.J. Jensen, P. Abrahamsen og M. Styczen (2015) Notat vedrørende tidlig såning: Et modelstudie. Notat udarbejdet for Miljøstyrelsen, udgivet af Institut for Plante- og Miljøvidenskab, Københavns Universitet. 30 s.

Gengivelse er tilladt med tydelig kildeangivelse

Skriftlig tilladelse kræves, hvis man vil bruge instituttets navn og/eller dele af denne rapport i sammenhæng med salg og reklame.

OPSUMMERING

På vegne af Miljøstyrelsen har Københavns Universitet foretaget en række beregninger af udvaskningseffekt for kvælstof af tidlig såning af vinterhvede med den agro-økologiske model Daisy, samt sammenholdt dette med tilsvarende arbejde (forsøg- og modelberegninger) foretaget af andre grupper.

Vores generelle konklusion er at tidlig såning begrænser kvælstofudvaskningen på kort og mellemlangt sigt. Den samlede effekt afhænger blandt andet af næringsstofniveauet i jorden, og de beregnede effekter på den gennemsnitlige udvaskning varierer fra få kg til ca. 12 kg i de gennemregnede scenarier.

I første del af modelarbejdet er effekten af tidlig såning af vinterhvede på N-udvaskning sammenlignet for kombinationer af to jorde (en drænet jord fra Taastrup og en udrænet jord fra Foulum), to klimaregimer (Taastrup og Foulum), ti års vejr (fra Taastrup, der for Foulum er skaleret til nedbørsniveau for tilhørende klimaregime), en afgrøde (vinterhvede), og to gødningsniveauer (handelsgødning efter norm samt husdyrsgødning efter norm), og to såtidspunkter (3/9 og 18/9).

Generelt ser vi beskeden udvaskning i alle simuleringer, et niveau omkring 6 kg N/ha/år udvasket i to meters dybde, som bliver reduceret til 2 kg N/ha/år. Den største udvaskning ses på Foulum- opsætningen med organisk gødning, hvor en gennemsnitlig udvaskning på 10 kg N/ha/år reduceres til 4 kg N/ha/år. Klima-variationen er betydelig, med 21 kg N/ha/år som det højeste, og mindre end 1 kg N/ha/år som det laveste udvaskning, i samme simulering. Som en generel tendens slår forskellen i såtidspunkt kun i mindre grad igennem i en forøgelse af høstet kvælstof. I stedet bliver det ekstra kvælstof bundet i jordens organiske puljer. I alle simuleringer optræder kvælstofstress, hvilket indikerer at ingen af gødningsstrategierne er økonomisk ideelle.

Vi ser to forklaringer på det generelt lave udvaskningsniveau. 1) alle vores simuleringer er kørt på gode jorde, under forhold hvor kun vejr og kvælstof begrænser produktionen. 2) Vinterhvede er generelt effektiv til at optage kvælstof.

I en simulering hvor vinterraps blev tilføjet til scenariet med den højeste udvaskning, blev forskellen i udvaskning i en meters dybde efter rapsen beregnet til 12 kg N/ha/år, hvilket ligger tættere på forsøgsresultaterne. Forfrugten har således en væsentlig betydning for resultaterne på kort sigt og i lav dybde. Den samlede udvaskning over hele sædskiftet i 2 meters dybde var dog på samme lave niveau som for den ensidige vinterhvede.

Dernæst blev der gennemført en række simuleringer på en hypotetisk JB4-jord, hvor vinterhvedens rodudvikling er mindre, hvilket resulterede i lidt større effekt på efterårsoptaget kvælstof og udvaskning, ca. 8 kg N/ha. I forhold til markforsøg med tidlig såning ser det ud til at den anvendte parameterisering i Daisy *underestimerer* hvedens evne til at optage kvælstof i efteråret. I de aktuelle simuleringer gør det ikke den store forskel, da niveauet af plantetilgængeligt kvælstof er lavt. For at komme tættere på en potentiel effekt af tidlig såning øgedes mineraliseringen og vinterhvedens evne til at optage kvælstof i efteråret i nogle udvalgte scenarier. Herved opnåedes en effekt på efterårsoptagelsen på ca. 10 kg N/ha på JB4-jorden, næsten svarende til niveauet på 10-12 kg N/ha fundet i forsøg på Askov forsøgsstation. Det højere næringsstofniveau førte derudover til et lidt større kvælstofindhold i høstet kerne og halm. Den gennemsnitlige udvaskningsforskel mellem tidligt og normaltsået hvede steg i disse scenarier til 10-12 kg N/ha, mens tilsvarende ændringer i et næringsfattigt Taastrup-scenarie ikke ændrede de oprindelige resultater væsentligt.

De beregnede scenarier støtter konklusionen af Thomsen og Hansen (2015) om en gennemsnitlig forskel i N-optagelse om efteråret på 7 kg N/ha. I næringsrige scenarier er desuden opnået en forskel i høstet N på ca. 5 kg N/ha. Vi har ikke i beregningerne opnået en forskel i høstet N på 20-30 kg som ifg. samme forskere er fundet i Askov, men jorderne her er også mere lerede, og nedbøren væsentligt større.

Det er muligt at differentiere scenarieforholdene yderligere, eventuelt med flere jordtyper og en større spredning i nedbørsforholdene, med realistiske sædskifter, og evt. med en påført udbyttebegrænsning, sådan at der opnås mere kvælstof i jorden om efteråret. Vores forventning er at optagelsen i efteråret sandsynligvis ikke vil stige meget over de maksimale værdier opnået her, men der kan måske være en større forskel på mængden af høstet N, end hvad vi har set i de aktuelle simuleringer.

Indholdsfortegnelse

OPSUMMERING	3
BAGGRUND.....	5
FORMÅL.....	5
VALG AF FREMSPIRINGSMODEL PÅ BASIS AF RELEVANTE FORSØG.....	5
MODELOPSÆTNING	9
Vejr.....	9
Jorde.....	9
Simuleringsperiode og initialisering.....	10
Afgrødeparameterisering	10
Såtidspunkter	10
Halm	11
Gødsugning.....	11
Yderligere modelopsætninger	11
Logning af information	12
RESULTATER.....	12
Planteparametre	12
Udvaskning	13
Ændringer i organiske puljer.....	17
Sædskiftet Vinterraps-vinterhvede	18
Beregninger for en standardiseret JB4-jord.....	19
Indførelse af en "ekstrem" SOM"-puljefordeling og øget N-optagelse i efteråret.....	22
DISKUSSION	26
KONKLUSION	28
Erkendtlighed.....	29
REFERENCER	30

BAGGRUND

Dette notat er udarbejdet på baggrund af en henvendelse fra Miljøstyrelsen vedrørende effekten af tidlig såning af vinterhvede på udvaskning. Der foreligger på nuværende tidspunkt forskellige forsøg, der påviser, at tidligt sået vinterhvede har en større optagelse af kvælstof i efteråret end normalsået hvede, hvilket også fører til en reduktion i $N_{\min}$, men der påvises ikke en større fjernelse af kvælstof ved høst samlet set (Hansen et al., 2008; Rasmussen og Thorup-Kristensen, 2014; Melander et al., 2013). Der findes kun ét markforsøg til belysning af effekten af tidlig såning på udvaskning (Melander et al., 2013 og Melander et al, pers.com). Her findes en ikke-signifikant forskel i udvaskningen i en meters dybde på 14 kg/ha [henholdsvis 30 og 16 kg N for normal og tidlig såning] over vinterperioden (23/10 12 til 31/3 13) og en signifikant forskel i udvaskning på 47 kg/ha [henholdsvis 92 og 45 kg N for normal og tidlig såning] i samme periode i andet forsøgsår. Der er, i det første forsøgsår, et lille ikke-signifikant merudbytte i tørstof og optaget N i høstet kerne, mens der i andet år er et større, men stadig ikke signifikant fald i begge høstparametre. Det faktum, at der ikke fjernes mere kvælstof i høstet kerne i det tidligt såede end i det normalsåede led, gør det vanskeligt at fortolke forskellene i udvaskning. Der har derfor været behov for en modelanalyse, der undersøger effekten over flere år og under flere forskellige forhold.

FORMÅL

Formålet med undersøgelsen er at belyse en realistisk variationsbredde i effekten af tidlig såning af hvede på udvaskning, når der tages hensyn til forskelle i jordtyper/dræning, vejr, gødningstype- og niveau og såtidspunkt.

Analysen er foretaget med Daisymodellen (Hansen et al., 2012), der beregner plantevækst og udvaskning som funktion af ovenstående parametre. Modellen forholder sig ikke til eventuelle forskelle i hvedens modtagelighed for sygdomme som funktion af plantetidspunkt eller til begrænsninger i andre næringsstoffer end kvælstof.

VALG AF FREMSPIRINGSMODEL PÅ BASIS AF RELEVANTE FORSØG

Valget af vinterhvedemodel og fremspiringsmodel tager udgangspunkt i de to ovennævnte meget relevante markforsøg (Rasmussen og Thorup-Kristensen, 2014 og Melander et al, 2013), der er anlagt med det formål at belyse forskellige effekter af tidlig såning af vinterhvede. Det er forsøgt at vælge den model, der bedst beskriver de givne data. Udvalgte forsøgsdata er samlet i Tabel 1.

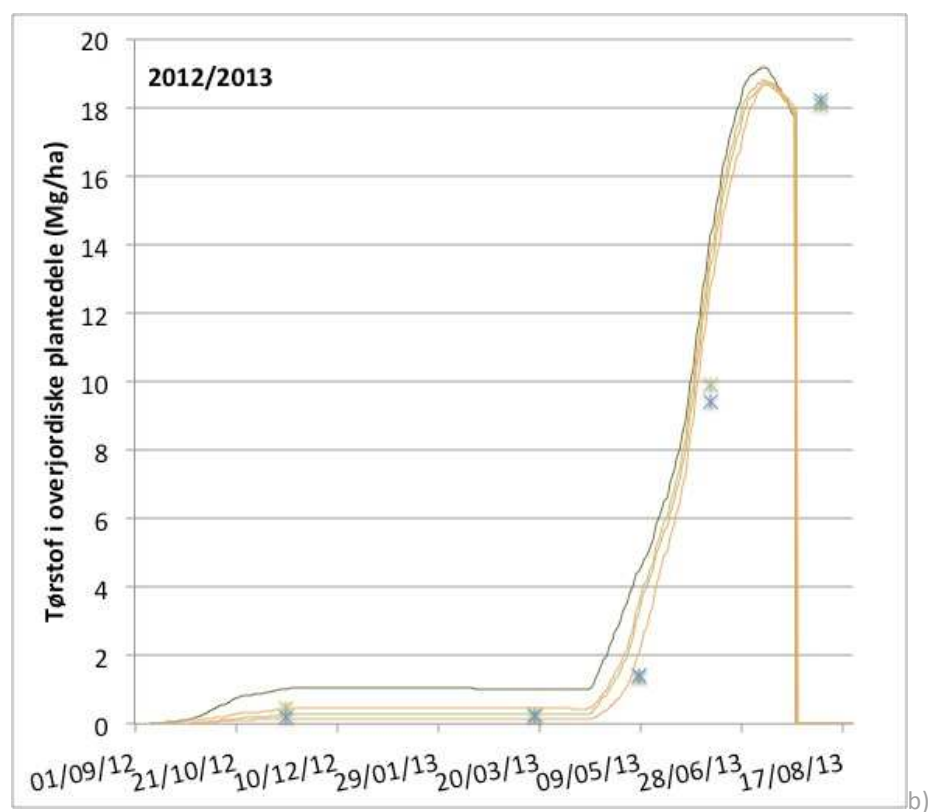
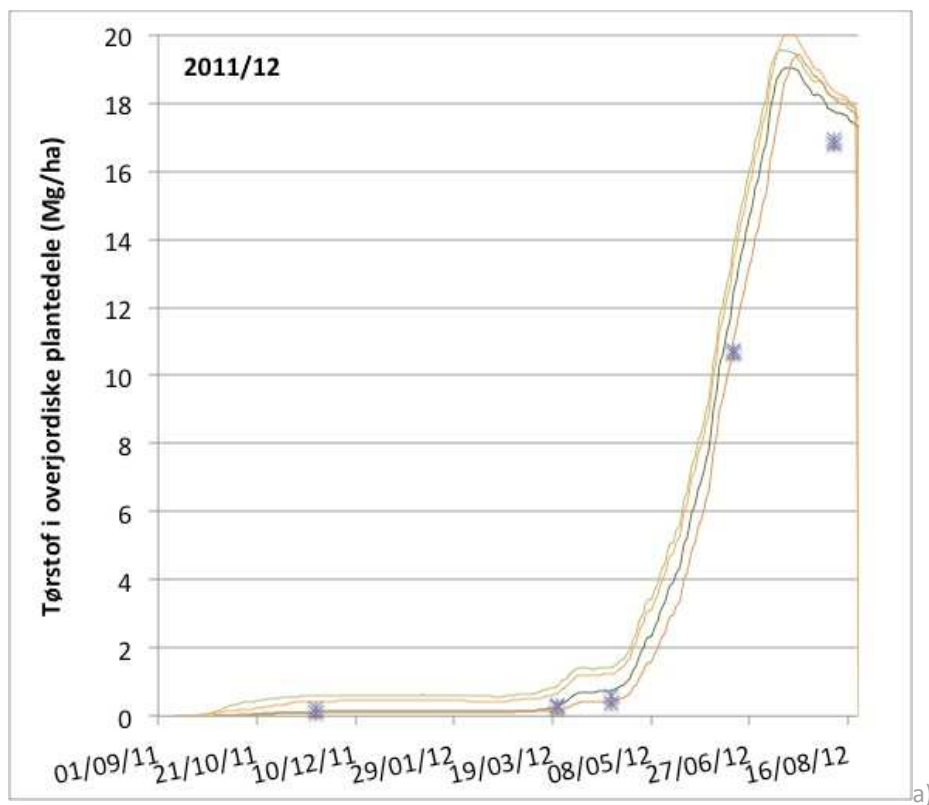
TABEL 1. UDVALGTE DATA FRA FORSØG MED TIDLIG SÅNING AF VINTERHVEDE I FOULUM (MELANDER ET AL., 2013 OG PERS.COM) OG FRA TÅSTRUP (RASMUSSEN OG THORUP-KRISTENSEN, 2014). T: TIDLIG SÅNING, N: NORMALT SÅTIDSPUNKT.

	N-optagelse i efteråret kg/ha		N i kerne kg/ha		N-min, okt-nov, 0-1 m. kg/ha	
	T	N	T	N	T	N
Foulum, 2012-13	17	7	127	126		
Foulum, 2013-14	15	6	101	108	48	67
Tåstrup 2011-12	11	5	116	107	15	33
Tåstrup, 2012-13	24	11	154	160	43	64

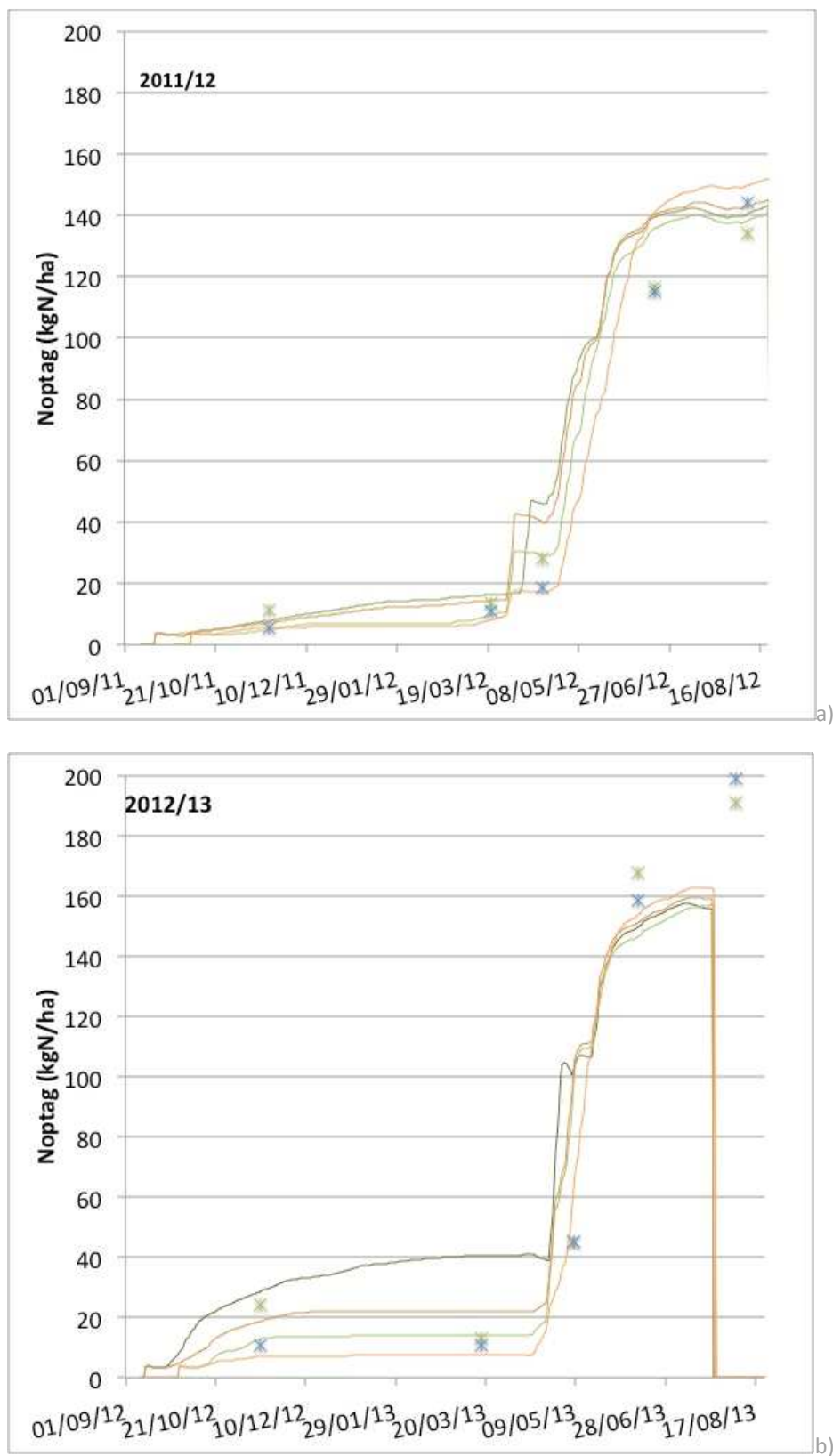
Der er foretaget simuleringer med forskellige eksisterende parameteriseringer af vinterhvede samt med to forskellige fremspiringsmoduler, hvoraf det ene er nyt og skaber mulighed for at inddrage de såtidspunktsafhængige forskelle i udsædsmængder, og den deraf følgende forskel i biomasse-opbygning. Modelsimuleringerne er primært sammenlignet med forsøgsdata fra Tåstrup, stillet til rådighed af I. S. Rasmussen og K. Thorup-Kristensen (Rasmussen og Thorup-Kristensen, 2014). Disse data er udarbejdet i forbindelse med et PhD-projekt omhandlende rodudvikling i vinterhvede i vækstsæsonerne 2011/12 og 2012/13. Data fra forsøget er detaljeret og velbeskrevet for de relevante parametre, der anvendes i modellen.

Til disse indledende simuleringer er anvendt en vejrfil med måledata fra vejrstationen i Tåstrup fra 1962 frem til 1/11 2008 og fra 29/3 2012 til august 2014. I den mellemliggende periode er anvendt vejrdato fra et projekt i Tokkerup ved Faxe, da der ikke foreligger kvalitetssikrede data fra Tåstrup i denne periode.

Daisy's almindelige vinterhvedemodul med standard-fremspiringsmodulet viste sig at simulere kvælstofoptagelsen i efteråret bedst, men overvurderede tørstofproduktionen. Dette er illustreret i [Figur 1](#) og [Figur 2](#). Samme model med et såsædsbaseret modul gav en bedre simulering af tørstofproduktionen i efteråret, men havde tendens til at undervurdere kvælstofoptagelsen, især af normalsået vinterhvede. I alle tilfælde opnåedes stort set samme høstudbytter, hvilket også svarer til observationerne. Vi har valgt at benytte det såsædsbaserede modul kalibreret sådan, at forskellen i N-optagelse mellem tidlig og normal såning er godt repræsenteret. Der er anvendt en udsædsmængde på henholdsvis 115 og 157 kg udsæd/ha for datoerne 3/9 og 18/9, hvilket er nogenlunde i tråd med hvad der er anvendt af Rasmussen og Thorup-Kristensen (hhv. 130 og 170 kg udsæd pr år det første forsøgsår, og 110 og 183 kg udsæd pr år i 2. forsøgsår).



FIGUR 1. MÅLTE OG SIMULEREDE VÆRDIER FOR TØRSTOF FOR FORSØG I 2011-12 (A) OG 2012-13 (B), MED STANDARD-VINTERHVEDE OG ALMINDELIGT OG SÅSÆDSBASERET FREMSPIRINGSMODUL. MÅLEDATA FOR TIDLIG SÅNING: X, FOR NORMAL SÅNING X. ____TIDLIGT SÅET VINTERHVEDE, ____NORMALSÅET -VINTERHVEDE, ____TIDLIGT SÅET VINTERHVEDE MED SÅSÆDSMODUL, ____NORMALSÅET VINTERHVEDE MED SÅSÆDSMODUL.



FIGUR 2. MÅLTE OG SIMULEREDE VÆRDIER FOR N-OPTAGELSE FOR FORSØG I 2011-12 (A) OG 2012-13 (B), MED STANDARD-VINTERHVEDE OG ALMINDELIGT OG SÅSÆDSBASERET FREMSPIRINGSMODUL. MÅLEDATA FOR TIDLIG SÅNING: X, FOR NORMAL SÅNING X. — TIDLIGT SÅET VINTERHVEDE, — NORMALSÅET -VINTERHVEDE, — TIDLIGT SÅET VINTERHVEDE MED SÅSÆDSMODUL, — NORMALSÅET VINTERHVEDE MED SÅSÆDSMODUL.

MODELOPSÆTNING

Af dette afsnit fremgår hvilke valg, der er foretaget, med hensyn til parameterisering i scenarie-beregningerne. Alle basissimuleringer foregår med kontinuert vinterhvede. De to lokaliteter, som forsøgsdataene stammer fra (Tåstrup og Foulum), er videreført i scenarierne, med to nedbørsregimer, to gødningstyper og to såtidspunkter.

VEJR

Scenarieanalyserne anvender en vejrfil fra Tåstrup i perioden 1/1 1980 til 1/10 1999 til simuleringerne af Tåstrup. Til simulering af Foulum-lokaliteten anvendes samme vejrfil med justering af nedbøren med gennemsnitlige månedlige lokalitets-forskelle for dekadene 2001-2010 (efter Wang, 2013). Korrektionsværdierne ses i Tabel 2.

TABEL 2. NEDBØRSGRIDNUMRE, MÅNEDSREFERENCEVÆRDIER (2001-2010) SAMT MÅNEDLIGE KORREKTIONSFAKTORER ANVENDT FOR FOULUM (WANG, 2013).

Grid nr.	10565	10219	Månedlig korrektionsfaktor
	Tåstrup	Foulum	for Foulum
Jan	46.9	65.4	1.39
Feb	39.9	52	1.30
Marts	34	45.4	1.34
April	24.4	38.8	1.59
Maj	55.8	45.8	0.82
Juni	68.9	62.9	0.91
Juli	79.8	78.3	0.98
August	90.1	82.2	0.91
September	44.9	59.5	1.33
Oktober	65.9	80.2	1.22
November	62.1	73.3	1.18
December	50.9	53.3	1.05
År	663.6	737	1.11

Nedbørsdata er måledata fra vejrstationen i Tåstrup foretaget i terrænniveau og er derfor ukorrigerede.

JORDE

Jordparametrene, herunder hydrauliske egenskaber for Tåstrupjorden, baserer sig på tidligere forsøg udført på KU/SCIENCE's forsøgsgård "Højbakkegård" i Tåstrup. Opsætningen og parameteriseringen er blandt andet anvendt i projekterne "Flerdimensional modellering af vandstrømning og stoftransport i de øverste 1-2m af jorden i systemer med markdræn" (Miljøstyrelsen, 2012) og "Jordbearbejdningens indflydelse på pesticidudvaskning til markdræn", som er et igangværende projekt sponsoreret af Miljøstyrelsens pesticidforskningsprogram. Der er tale om en JB6-jord med dræn.

PARAMETERISERINGEN AF FOULUM-JORDEN STAMMER FRA PROJEKTET "FERTORGANIC" (HEIDMANN, 2008). DENNE JORD ER IKKE DRÆNET MED DRÆNRØR. DET FREMGÅR AF

Tabel 3, at teksturerne i begge tilfælde falder inden for en JB6.

TABEL 3. TEKSTUR OG ORGANISK STOF I DE VALGTE SCENARIOJORDE.

Lokalitet/horisont	Dybde, cm	Partikelstørrelses- fordeling	ler %	silt %	Finsand %	sand %	OM %	Volumenvægt g/cm ³
Tåstrup								
Ap	0-25	USDA3	10,7	22,2		67,1	2,4	1,45
Bt	25-33	USDA3	14,8	21,4		63,8	1,6	1,78
Bt	33-120	USDA3	22,2	19,5		58,3	1,6	1,66
C	120-250	USDA3	20,7	23,5		55,8	1	1,69
			ler	silt	Finsand	Grov- sand		
Foulum								
Ap	0-30	ISSS4	11,5	11	42	33,2	2,3	1,45
Bt	30-90	ISSS4	14,9	10,1	43,5	31	0,5	1,45
C	90-250	ISSS4	16,4	10,6	41,9	31	0,2	1,55

SIMULERINGSPERIODE OG INITIALISERING

Der simuleres en periode på 20 år, med klimadata fra perioden 1/9 1980 til 1/10 1999. De første 10 år indgår ikke i resultaterne. Denne periode fungerer som en opvarmningsperiode, der skal minimere korttidseffekter af forholdene ved modelsimuleringens start og sikre, at den fulde effekt af de påtrykte behandlinger kommer til udtryk i simuleringen (se Styczen et al., 2004). Simuleringsresultaterne er altid påvirket af størrelsen af de organiske puljer ved modellens initialisering. For at minimere denne effekt, forberegnes mængden af organisk materiale, der føres tilbage til jorden, og denne størrelse anvendes i initialiseringen. Derved opnås, at de fleste af jordens puljer starter i ligevægt (Styczen et al., 2004). Alle simuleringer her er initialiseret med værdier for tilbageførsel af organisk stof svarende til et mineralsk gødet sædskifte. I virkelighedens verden opnår disse puljer aldrig en endelig ligevægt.

AFGRØDEPARAMETERISERING

Som nævnt ovenfor, anvendes Daisy's almindelige vinterhvedemodel med et specielt fremspiringsmodul.

SÅTIDSPUNKTER

Såtidspunkterne for tidlig og normal såning er valgt til henholdsvis 3.9 og 18.9, der er middelværdierne for nedenstående såtidspunktsforsøg. Datoen for tidlig såning er valgt på basis af information fra forsøg:

- 31.8-3.9 (Melander et al., 2013),
- 25/8 (Thorup-Kristensen et al., 2009),
- 9/9 og 3/9 (Rasmussen og Thorup-Kristensen, 2014).

Datoen for normal såning er valgt på basis af forsøg og LOOP-data:

- 13-18.9 (Melander et al., 2013),

- 23/9 (LOOP-observationer, Thomsen et al., 2014),
- 10/9 (Thorup-Kristensen et al., 2009) og
- 28/9 og 20/9 (Rasmussen og Thorup-Kristensen, 2014).

HALM

Halmen er høstet i alle scenarier, da størstedelen af det danske halmareal høstes (Danmarks Statistik, 2014). Dette derfor er mest repræsentativt.

GØDSKNING

Der gødskes med 155 kg N/ha svarende til gældende gødningsnormer (NaturErhvervsstyrelsen, 2013) for vinterhvede på JB 5-6.

Der er anvendt delt gødsning med første gødsning medio marts (svarende til 1/3 af mængden) og anden gødsning ultimo april, jævnfør ”Dyrkningsvejledning for hvede” (Videnscentret for landbrug, 2014a).

Scenarierne modtager enten kun mineralsk gødning (ammoniumnitrat, 50 % ammonium) eller en kombination af en stor mængde kvæggylle suppleret med mineralsk gødning. Kvæggylle er valgt, da denne type har det højeste organiske kvælstofindhold og dermed adskiller sig mest fra mineralsk gødning. Der tilføres 100 kg N/ha i gylle. Med en kvælstofudnyttelsesgrad på 70 % (NaturErhvervsstyrelsen, 2013) betyder det, at der tilføres ca. 143 kg total-N i gylle og 55 kg N som handelsgødning i dette scenarie. Udbringningstidspunktet for gyllen er sat til medio marts, jævnfør dyrkningsvejledning for hvede (Videnscentret for landbrug, 2014a).

YDERLIGERE MODELOPSÆTNINGER

For at udvide variationsbredden i simuleringerne er nedestående yderligere modelopsætninger foretaget.

RAPS I SÆDSKIFTET

For at belyse effekten af en anden forfrugt end hvede, er der gennemregnet enkelte simuleringer med et vinterhvede-vinterraps-sædskifte. Rapsen sås den 17/8, svarende til middelværdien i dyrkningsvejledningen (Videnscentret for landbrug, 2014b). Der tildeles 191 kg N/ha, svarende til normen (NaturErhvervsstyrelsen, 2013), til rapsen. Som i hvede-scenariet med organisk gødning tildeles 143 kg total-N i kvæggylle og resten som mineralsk gødning. Gødningen er tildelt med 20 kg N ved såning, kvæggylle primo marts og resten af gødningen primo april, jævnfør Videnscentret for landbrug (2014b).

INTRODUKTION AF EN JB4-JORD

Den anvendte parameterisering af Foulum-jorden adskiller sig mindre fra Tåstrup-jorden end forventet. Der er derfor gennemregnet et eksempel med en JB4-jord, opsat på basis af parametre beskrevet i Styczen et al. (2004), oprindeligt udledt på basis af data fra jordprofil databasen fra DCA (Tidligere DJF). Der er anvendt JB4-horisonter i tre dybder, med tekstur som vist i Tabel 4. Der er ca. 63 % sandsynlighed for, at A og B-horisonterne begge tilhører JB4-klassen, mens der er 30 % sandsynlighed for, at både A, B og C-horisonten falder i samme klasse. Norm-tildelingen for en JB4-jord er 142 kg N/ha. Den maksimale roddybde er sat til 85 cm.

TABEL 4. TEKSTUR OG ORGANISK STOF I DEN STANDARDISEREDE JB4.

Lokalitet/horizont	Dybde, cm	Partikelstørrelses- fordeling	ler %	silt %	Finsand %	Grovsand %	OM %	Volumenvægt g/cm ³
JB4								
Ap	0-30	USDA	7,9	21,5	36,4	31,6	2,7	1,41

Bt	30-90	USDA	7,1	19,4	39,7	33,0	0,84	1,51
C	90-250	USDA	7,5	11,5	25,8	54,9	0,21	1,63

ÆNDRING AF MINERALISERING

Dernæst har vi forsøgt at øge mineraliseringen for scenariet med organisk gødning for en JB4-jord med Foulum-klima og for det mineralgødgede led med Tåstrup-jord og klima, for at repræsentere scenarierne med henholdsvis størst og mindst udvaskning. Det er gjort ved at indstille de organiske puljer anderledes. En større del er flyttet til den lettest-mineraliserbare pulje (SOM_fractions 0,3 0,7). Formålet er at øge den tilgængelige kvælstofmængde i jorden.

ØGET OPTAGELSESKAPACITET I HVEDEN I EFTERÅRET

Endvidere er der justeret på det potentielle kvælstofindhold i stængeldene i første del af vækstperioden, sådan at det svarer til forholdene i bladene. Dette er gjort for de samme to scenarier som ovenfor. Formålet er, at opnå større forskel i optagelsen i efteråret mellem den tidligt såede og den normaltsåede vinterhvede og dermed komme lidt tættere på de observerede kvælstofoptagelser i efteråret.

Til slut er de to sidste ændringer kombineret.

LOGNING AF INFORMATION

Følgende resultater udtrækkes årligt i alle scenarier for hver forekomst af vinterhvede.

- 1) Planteoptag per 23/11.
- 2) Kvælstofudvaskning i perioden 23/10 til 31/3.
- 3) Kvælstofudvaskning over hele året.
- 4) Tørstofudbytte i kerner.
- 5) Kvælstofudbytte i kerner.

Udvaskningen udtrækkes dels i 1 meters dybde, svarende til udvaskningsdybden i Melander et al. (2013) samt i 2 m's dybde. Der tages desuden hensyn til udvaskningen i dræn. Udvaskningen i 2 m's dybde er interessant, fordi rødderne fra en vinterhvede går dybere end 1 m. Dette er beskrevet i modellen (Daisy) og er fundet i flere studier, bl.a. (Thorup-Kristensen et al., 2009 og Rasmussen og Thorup-Kristensen, 2014). Der er også fundet afgrødepåvirkning af jordens $N_{\min}$ -indhold i større dybder end 1 meter.

Derudover udtrækkes en balance over den organiske og den uorganiske pulje en gang om året. Resultaterne omregnes til gennemsnitsværdier for hver måleparameter i den 10-årige periode.

RESULTATER

PLANTEPARAMETRE

Tabel 5 viser en oversigt over simulerede udbytter af tørstof og N i kerne og i den samlede høst (halm og kerne). Forsøgsleddene er beskrevet ved et F (Foulum) og T (Tåstrup) med hensyn til jord og klima. M står for mineralsk gødning og O for scenariet med kvæggylle (organisk). Såtidspunktet er angivet med N for normal og T for tidligt sået. Samme notation er anvendt i alle tabeller. For at sammenligne med normale høstudbytter kan høstet kerne-tørstof divideres med 0,86 (1- 0,14), svarende til et vandindhold på 14 %. I så fald svarer de gennemsnitligt genererede tørstofudbytter på ca. 7,0 t tørstof/ha i de mineralgødgede led til ca. 8,3 t høstet kerne med 14 % vand/ha og de ca. 7,9 t tørstof/ha genereret i de organisk gødgede led til 9,2 t/ha høstet kerne. Det er højere end landsgennemsnittet ifg.

Danmarks Statistik, hvilket er rimeligt, da simuleringen foregår på en god jord, uden andre begrænsende faktorer end N og klima. NaturErhvervsstyrelsen angiver normudbytter for JB6 til 8,0 (8,8) t/ha, hvor det første er for 2. års hvede, og værdien i parentes er med anden forfrugt. Alle forsøgsled lider til en vis grad af kvælstofstress.

Det er værd at bemærke, at tidlig såning i simuleringerne giver en lille tendens til en større mængde N totalt i høsten men en lidt mindre mængde høstet N i kerne. Den tidlige såning synes at føre til en lidt anden fordeling af N i planten i simuleringerne.

Tabel 6 indeholder grunddata fra simuleringerne vedrørende N optaget i efteråret, samt forskellen mellem leddene med tidlig og normal såning med hensyn til efterårsoptaget og høstet N. Desuden er roddybden opnået om efteråret angivet, den er væsentligt større i de tidligt såede led end i de normaltsåede led. Forskellen i N-optagelsen i efteråret er nogenlunde som i forsøget af Rasmussen og Thorup-Kristensen (2014) i 2012, men mindre end hvad der er målt i 2013 og mindre end værdierne fundet af Melander et al., (2013). Den er størst i de forsøgsled, der modtager husdyrgødning. Forskellen i høstet N mellem forsøgsleddene er lille og svarer dermed til, hvad der er målt i forskellige forsøg. Det modellerede kvælstofindhold i planten i efteråret er i underkanten af, hvad der er målt af Rasmussen og Thorup-Kristensen (2014) (4,3 og 4,9 % N i 2011-12, og 5,1 og 5,3 % i 2012-13 i tidlig og normaltsået hvede). Når N-fjernelsen holdes op mod tildelingen af N, er det klart, at dyrkningssystemet med ensidig vinterhvede er i kvælstofunderskud, og at modelopsætningen af vinterhveden sandsynligvis ikke udnytter det fulde N-optagelsespotentiale. Dette ses også af de lave Nmin-værdier i scenarierne (Tabel 7), der kan sammenlignes med målte værdier vist i Tabel 1.

UDVASKNING

Det er fundet en systematisk forskel på den samlede afstrømning på ca. 20 mm mellem tidlig og normal såning, der skyldes en højere fordampning i de tidligt såede led. En mindre perkolation vil i sig selv mindske udvaskningen.

Tidlig såning giver i alle tilfælde en mindre udvaskning end normalsåning (Tabel 7 og Tabel 8). Både udvaskningen og effekten af tidlig såning på udvaskning er lidt større i de forsøgsled, der har modtaget husdyrgødning, og i Foulum er udvaskningen i 1 m's dybde lidt større end den er i 2 m's dybde. I alle tilfælde er gennemsnitstallene mindre, end hvad der er målt i Melander et al. (2013). De maksimale og minimale beregnede udvaskninger i 2 m's dybde i de forskellige scenarier er vist i Tabel 8. Opgjort for et enkelt år er den største simulerede udvaskning ved normal såning er 21 kg N/ha i Foulum. De størst og mindste forskelle på udvaskning (opgjort som udvaskning i 2 's dybde + tab via dræn) mellem tidligt og normaltsået hvede i hvert enkelt scenarie er vist i Tabel 9.

TABEL 5. GENNEMSITLIGT HØSTET TØRSTOF OG KVÆLSTOF I KERNE OG I ALT, SAMT GENNEMSITLIGT VAND- OG KVÆLSTOFSTRESS FOR ALLE BEREGNINGSLED.

Jord	Klima	Gødning	Såtid	Høstet, i alt		Høstet, kerne		Stress	
				Tørstof,	N	Tørstof,	N	WStress	NStress
				T/ha	kg/ha	T/ha	kg/ha	dage	dage
F	F	M	N	14,9	160	7,3	125	3	7
F	F	M	T	15,6	162	7,3	124	3	10
F	F	O	N	15,5	176	7,8	140	3	3
F	F	O	T	16,5	179	8,0	140	3	5
F	T	M	N	15,0	164	7,4	129	3	6
F	T	M	T	15,7	164	7,4	127	4	8

F	T	O	N	15,6	182	7,9	145	3	3	
F	T	O	T	16,4	182	8,1	143	4	4	
T	F	M	N	14,7	155	7,1	121	0	10	
T	F	M	T	15,5	158	7,1	121	0	13	
T	F	O	N	15,3	168	7,6	133	0	7	
T	F	O	T	16,3	172	7,8	134	0	9	
T	T	M	N	14,9	159	7,2	125	0	9	
T	T	M	T	15,6	160	7,2	124	0	12	
T	T	O	N	15,5	173	7,8	137	0	6	
T	T	O	T	16,4	175	8,0	137	0	8	
Gns.										
				N	15.2	167	7.5	132	1	6
				T	16.0	169	7.6	131	2	9

F: Foulum-jord og klima, T: Tåstrup-jord og klima, M: mineralsk gødning, O: Organisk gødning (kvæggylle). N: Normalt såtidspunkt, T: tidligt såtidspunkt.

TABEL 6. TØRSTOF OG N-OPTAG I PLANTE PR 23.11 OG HØSTET N (KERNE + HALM), SAMT FORSKEL MELLEM OPTAG I TIDLIGT OG NORMALSÅEDE SCENARIER, GENNEMSNITSTAL FOR 10 ÅRS SIMULERING. DESUDEN ER ANGIVET RODDYBDEN OPNÅET I SCENARIERNE PR 23.11.

Afgrøde, 23.11								Effekt af tidl. såning	
Jord	Klima	Gød- ning	Såtid	DM T/ha	Roddybde cm	N i overj.plante kg N/ha	N i DM %	overj.N, 23.11 kg N/ha	høstet N kg N/ha
F	F	M	N	0,14	72	6,7	4,8%		
F	F	M	T	0,31	110	12,2	3,9%	5,4	1,8
F	F	O	N	0,14	72	6,7	4,8%		
F	F	O	T	0,31	110	14,0	4,5%	7,3	2,4
F	T	M	N	0,14	72	6,7	4,8%		
F	T	M	T	0,31	110	13,4	4,4%	6,6	0,5
F	T	O	N	0,14	72	6,7	4,8%		
F	T	O	T	0,31	110	14,6	4,8%	7,9	0,8
T	F	M	N	0,14	71	6,5	4,7%		
T	F	M	T	0,32	109	10,8	3,4%	4,2	3,2
T	F	O	N	0,14	71	6,5	4,7%		
T	F	O	T	0,32	109	12,0	3,7%	5,5	4,1
T	T	M	N	0,14	71	6,5	4,6%		

T	T	M	T	0,32	109	11,8	3,7%	5,3	1,9
T	T	O	N	0,14	71	6,5	4,7%		
T	T	O	T	0,32	110	13,2	4,1%	6,7	2,8
Gns.				N	0.14	6.6	4.8%		
				T	0.31	12.7	4.1%		

F: Foulum-jord og klima, T: Tåstrup-jord og klima, M: mineralsk gødning, O: Organisk gødning (kvæggylle). N: Normalt såtidspunkt, T: tidligt såtidspunkt.

TABEL 7. GENNEMSNITLIG UDVASKNING I 1 M'S DYBDE, FORSKEL I UDVASKNING MELLEM TIDLIGT OG NORMALTSÅEDE LED, SAMT NMIN.

Jord	Klima	Gødning	Såtid	1 m	1/9-89 til 1/9-99		Effekt af tidl. såning	23/10 1989-99
				Udvaskning kg N/ha/år	til dræn kg N/ha/år	N-tab i alt kg N/ha	kg N/ha	N-min i 0-1m kg N/ha/år
F	F	M	N	9		9		11
F	F	M	T	3		3	-6	6
F	F	O	N	13		13		17
F	F	O	T	5		5	-8	9
F	T	M	N	8		8		13
F	T	M	T	3		3	-5	7
F	T	O	N	12		12		19
F	T	O	T	6		6	-6	12
T	F	M	N	3	<0,5	4		10
T	F	M	T	2	<0,5	2	-2	7
T	F	O	N	4	<0,5	4		12
T	F	O	T	2	<0,5	2	-2	8
T	T	M	N	2	<0,5	2		11
T	T	M	T	1	<0,5	1	-1	8
T	T	O	N	3	<0,5	3		14
T	T	O	T	1	<0,5	1	-2	10
Gns.				N	6	7		
				T	3	3	-4	

F: Foulum-jord og klima, T: Tåstrup-jord og klima, M: mineralsk gødning, O: Organisk gødning (kvæggylle). N: Normalt såtidspunkt, T: tidligt såtidspunkt.

TABEL 8. GENNEMSITLIG UDVASKNING I 2 M'S DYBDE, FORSKEL I UDVASKNING MELLEM TIDLIGT OG NORMALTSÅEDE LED SAMT ÅRLIGE EKSTREMVÆRDIER.

Jord	Klima	Gødning	Såtid	2 m 1/9-89 til 1/9-99				Ekstremværdier, Udvaskning	
				Udvaskning	til dræn	N-tab i alt	forskel	Max	Min
				kg N/ha/år	kg N/ha/år	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha/år	kg N/ha/år
F	F	M	N	7		7		16	1
F	F	M	T	2		2	-5	8	0
F	F	O	N	10		10		21	1
F	F	O	T	4		4	-7	13	0
F	T	M	N	5		5		12	1
F	T	M	T	1		1	-4	7	0
F	T	O	N	8		8		19	1
F	T	O	T	3		3	-5	14	0
T	F	M	N	3	2	5		6	0
T	F	M	T	1	1	2	-3	3	0
T	F	O	N	4	2	6		7	0
T	F	O	T	1	1	2	-4	4	0
T	T	M	N	2	1	3		5	0
T	T	M	T	1	<0,5	1	-2	3	0
T	T	O	N	3	1	4		6	0
T	T	O	T	1	<0,5	2	-2	4	0
Gns.				5		6			
				2		2	-4		

F: Foulum-jord og klima, T: Tåstrup-jord og klima, M: mineralsk gødning, O: Organisk gødning (kvæggylle). N: Normalt såtidspunkt, T: tidligt såtidspunkt.

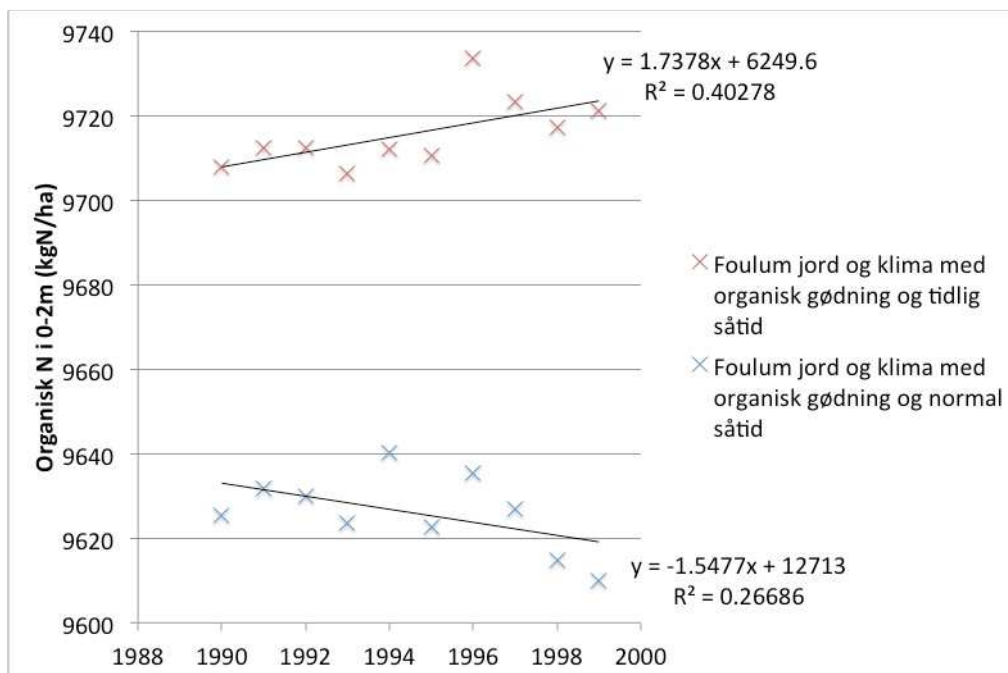
TABEL 9. EKSTREMVÆRDIER FOR FORSKEL I UDVASKNING (I 2 M'S DYBDE SAMT DRÆNBIDRAG, HVIS RELEVANT) MELLEM TIDLIGT OG NORMALT-SÅEDE LED

				Ekstremværdier, Effekt af tidlig såning på udvaskning	
				Max	Min
Jord	Klima	Gødning	Såtid	kg N/ha/år	kg N/ha/år
F	F	M	N	-10	-1
F	F	M	T		
F	F	O	N	-14	-1
F	F	O	T		
F	T	M	N	-8	-1
F	T	M	T		
F	T	O	N	-11	-1
F	T	O	T		
T	F	M	N	-7	0
T	F	M	T		
T	F	O	N	-8	0
T	F	O	T		
T	T	M	N	-4	0
T	T	M	T		
T	T	O	N	-6	0
T	T	O	T		

F: Foulum-jord og klima, T: Tåstrup-jord og klima, M: mineralsk gødning, O: Organisk gødning (kvæggylle). N: Normalt såtidspunkt, T: tidligt såtidspunkt.

ÆNDRINGER I ORGANISKE PULJER

Hvis optagelsen af N om efteråret skal resultere i en ændring af udvaskningen på længere sigt, så skal kvælstoffet genfindes i høstet N eller i en jordpulje i den øverste meter. Det ses af Figur 3, at der er en tydelig forskel i udviklingen af den organiske pulje i scenarierne med tidlig og normal såning. Ved simuleringens begyndelse var den organiske pulje ens i de to simuleringer. Over opvarmningsperioden og beregningsperioden har puljestørrelserne ændret sig i modsat retning, sådan at der samlet over 20 år er en forskel på ca. 100 kg N, eller ca. 5 kg i gennemsnit. Denne størrelsesorden fandtes i alle forsøgsled. I sidste del af perioden er forskellen i indlejring ca. 3,2 kg/ha, mens den ved simuleringens start må have været større. En væsentlig del af den ekstra indlejrede kvælstof i de tidligt såede led ender altså i den organiske pulje i jorden.



FIGUR 3. UDVIKlingen I ORGANISKE PULJER FOR TIDLIG OG NORMALSÅET VINTERHVEDE MED FOULUM-JORD OG KLIMA, SAMT ORGANISK GØDNING.

SÆDSKIFTET VINTERRAPS-VINTERHVEDE

Simuleringsperioden er gennemregnet med 2 opsætninger med vinterraps-vinterhvede, forskudt sådan, at hver af afgrøderne vil forefindes i hvert enkelt simuleringsår. For at opnå den maksimale effekt er det valgt at anvende scenariet med Foulum-jord og klima, samt organisk gødning.

TABEL 10. N I OVERJORDISK PLANTEMATERIALE I EFTERÅRET, HØSTET N OG UDVASKNING 1 OG 2 M'S DYBDE FOR SÆDSKIFTET VINTERRAPS-VINTERHVEDE.

		2 m			1 m			
		Udvaskning	Max	Min	Udvaskning	NStress	Overj.N,23.11	Høstet N
		kg N/ha/år	kg N/ha/år	kg N/ha/år	kg N/ha/år	dage	kg N/ha	kg N/ha
N	Raps	5	16	1	1			147
T	Raps	2	12	<0,5	1			148
N	Hvede	15	48	1	24	3	7	183
T	Hvede	8	29	<0,5	12	4	14	187
Forskel*		-7(-5)			-12(-6)		7	4

N: Normalt såtidspunkt, T: tidligt såtidspunkt.

*Første tal er forskellen i udvaskning kun målt over årene med hvede. Tallet i parentes er den gennemsnitlige årlige forskel i sædskiftet.

Sammenlignes Tabel 10 med Tabel 6, ses det, at forskellen i efterårsoptaget N og i udvaskninger i 2 m's dybde er stort set uændret. Det ændrede sædskifte med mere tilgængeligt N efter rapsen resulterer dog i noget større Nmin-værdier pr 23.10 (hhv 27 og 15 kg N/ha til 1 m's dybde) end i den tidligere simulering og en forskel i udvaskning på 12 kg

mellem tidligt og normalsået hvede, beregnet i "hvedeåret" i 1 m's dybde. Udbyttet er større end i den kontinuerlige hvede. Forskellen i N i høstet kerne mellem de to såtidspunkter er 1 kg N/ha mens der ses en forskel på 4 kg N/ha i kerne+halm. Den maksimalt observerede udvaskning ved normalsåning er steget fra 21 kg (Tabel 8) til 48 kg (Tabel 10).

BEREGNINGER FOR EN STANDARDISERET JB4-JORD

Tørstof- og N-udbytte samt vand- og N-stress er vist i Tabel 11. Beregningerne viser en større grad af vandstress end i den tidligere anvendte Foulum-jord, og udbyttet er, som forventet, lidt mindre end for JB6-jorden under samme forhold (Tabel 5). N i kerne ligger på niveau med forsøgene fra Foulum, refereret i Tabel 1, mens tørstofudbyttet omregnet til tørstof med 14 % vand (7,4-8,3) er lidt større end opgivet for en uvandet JB4-jord af NaturErhvervsstyrelsen (6,2 (6,8)).

TABEL 11. GENNEMSITLIGT HØSTET TØRSTOF OG KVÆLSTOF I KERNE OG I ALT, SAMT GENNEMSITLIGT VAND- OG KVÆLSTOFSTRESS FOR EN HYPOTETISK JB4-JORD

Jord	Klima	Gødning	Såtid	Høstet, i alt		Høstet, kerne		Stress	
				Tørstof, T/ha	N kg/ha	Tørstof, T/ha	N kg/ha	WStress dage	NStress dage
JB4	F	M	N	13,9	149	6,4	115	7	7
JB4	F	M	T	14,6	153	6,4	115	8	9
JB4	F	O	N	14,5	165	7,0	129	7	3
JB4	F	O	T	15,3	169	7,1	130	8	5
JB4	T	M	N	14,0	153	6,5	118	8	5
JB4	T	M	T	14,6	156	6,5	118	9	7
JB4	T	O	N	14,5	170	7,0	133	8	2
JB4	T	O	T	15,3	172	7,1	132	9	3
Gns.				14,2	159	6,7	124		
				14,9	163	6,8	124		

F: Foulum klima, T: Tåstrup-klima, M: mineralisk gødning, O: Organisk gødning (kvæggylle). N: Normalt såtidspunkt, T: tidligt såtidspunkt.

Af Tabel 12 ses, at roddybderne i den tidligt såede vinterhvede er kortere end på JB6-jordene. Tørstofproduktionen i efteråret er imidlertid ikke ændret, og N-optagelsen er en lille smule større, hvilket kan hænge sammen med jordens indhold af organisk stof. Forskellen i optagelse om efteråret og i høstet N er lidt større end i de tidligere beregninger, henholdsvis ca. 8 og 3-4 kg N/ha mod tidligere knap 7 og 1-2 kg N/ha (Tabel 6).

DE BEREGNEDE VÆRDIER FOR N_{MIN} I EFTERÅRET ER LIDT STØRRE END FOR JB6-JORDEN, OG UDVASKNINGEN, SAMT FORSKELLEN I UDVASKNING MELLEM DET NORMALT SÅEDE OG TIDLIGT SÅEDE SCENARIO I EN 1 M'S DYBDE ER OGSÅ LIDT STØRRE (KNAP 1 KG N/HA, SE TABEL 13). FORSKELLEN I PERKOLATION MELLEM DE TIDLIGT SÅEDE OG DE NORMALT SÅEDE LED ER CA 14 MM. DE MAKSIMALT OBSERVEREDE UDVASKNINGER (

Tabel 14) er væsentligt større end i de tidligere beregninger (fra maksimalt 21 kg til maksimalt 53 kg N/ha), og den maksimalt observerede effekt på udvaskningen i et scenario i et enkelt år er steget fra 14 til 19 kg N/ha.

TABEL 12. TØRSTOF OG N-OPTAG I PLANTE PR 23.11 OG HØSTET N (KERNE + HALM), SAMT FORSKEL MELLEM OPTAG I TIDLIGT OG NORMALT SÅEDE JB4-SCENARIER, GENNEMSITLIGT FOR 10 ÅRS SIMULERING. DESUDEN ER ANGIVET RODDYBEN OPNÅET I SCENARIERNE PR 23.11.

				Afgrøde, 23.11				Effekt af tidlig såning	
Jord	Klima	Gød- ning	Såtid	DM T/ha	Roddybde cm	N i overj.plante kg N/ha	N i DM %	overj.N, 23.11 kg N/ha	høstet N kg N/ha
JB4	F	M	N	0,14	71	6,7	4,8%		
JB4	F	M	T	0,31	84	14,9	4,8%	8,1	4,2
JB4	F	O	N	0,14	71	6,7	4,8%		
JB4	F	O	T	0,31	84	15,2	4,8%	8,4	4,4
JB4	T	M	N	0,14	70	6,7	4,8%		
JB4	T	M	T	0,31	84	14,8	4,8%	8,0	2,7
JB4	T	O	N	0,14	70	6,7	4,8%		
JB4	T	O	T	0,31	84	15,0	4,8%	8,2	2,9

F: Foulum klima, T: Tåstrup-klima, M: mineralsk gødning, O: Organisk gødning (kvæggylle).N: Normalt såtidspunkt, T: tidligt såtidspunkt.

TABEL 13. GENNEMSITLIG UDVASKNING I 1 M'S DYBDE, FORSKEL I UDVASKNING MELLEM TIDLIGT OG NORMALT SÅEDE LED, SAMT NMIN FOR DE STANDARDISEREDE JB4-SCENARIER.

				1 m Udvaskning kg N/ha/år	1/9-89 til 1/9-99 Effekt af tidl. såning kg N/ha	23/10 1989-99 N-min i 0-1m kg N/ha/år
Jord	Klima	Gødning	Såtid			
JB4	F	M	N	18		19
JB4	F	M	T	10	-7	12
JB4	F	O	N	24		27
JB4	F	O	T	16	-9	18
JB4	T	M	N	15		24
JB4	T	M	T	10	-6	16
JB4	T	O	N	22		33
JB4	T	O	T	15	-7	24
Gns.				20		
				13	-7	

F: Foulum klima, T: Tåstrup-klima, M: mineralsk gødning, O: Organisk gødning (kvæggylle).N: Normalt såtidspunkt, T: tidligt såtidspunkt.

Alt i alt ses altså lidt større forskel mellem tidligt og normaltsået vinterhvede i efterårsoptaget N, høstet N og udvasket N samt en mere variabel udvaskning på JB4-jorden.

TABEL 14. GENNEMSITLIG UDVASKNING I 2 M'S DYBDE, FORSKEL I UDVASKNING MELLEM TIDLIGT OG NORMALTSÅEDE LED OG ÅRLIGE EKSTREMVÆRDIER FOR DE STANDARDISEREDE JB4-SCENARIER.

Jord	Klima	Gødning	Såtid	2 m	1/9-89 til 1/9-99	Udvaskning		Ekstremværdier, Effekt af tidlig såning på udvaskning	
				Udvaskning	Effekt af tidl. såning	Max	Min	Max	Min
				kg N/ha/år	kg N/ha	kg N/ha/år	kg N/ha/år	kg N/ha/år	kg N/ha/år
JB4	F	M	N	18		35	3		
JB4	F	M	T	11	-8	32	1	-17	-1
JB4	F	O	N	25		49	3		
JB4	F	O	T	16	-9	46	2	-19	-1
JB4	T	M	N	15		39	2		
JB4	T	M	T	9	-6	36	1	-11	-1
JB4	T	O	N	21		53	3		
JB4	T	O	T	14	-7	51	1	-15	-1
Gns.			N	20					
			T	12	-7				

F: Foulum klima, T: Tåstrup-klima, M: mineralsk gødning, O: Organisk gødning (kvæggylle).N: Normalt såtidspunkt, T: tidligt såtidspunkt.

INDFØRELSE AF EN "EKSTREM" SOM"-PULJEFORDELING OG ØGET N-OPTAGELSE I EFTERÅRET.

I alle JB4-scenarierne med ændret parameterisering er der høstet mere tørstof, men især mere N end i de tidligere beregninger (Tabel 15). Det større optagelsespotential fører til en stigning i total høstet N på 1-2 kg/ha, mens den større mineralisering fører til 18-19 kg mere høstet N (jvf. Tabel 11). I det stærkt kvælstofbegrænsede Tåstrupscenarie høstes kun 1-2 kg N/ha i kerne mere, mens der sker en stigning på ca 6 kg/ha i totalt høstet N, når optagelsespotentialet stiger (jvf. Tabel 5). NStress-niveauet falder, når mere kvælstof bliver tilgængeligt via den øgede mineralisering.

TABEL 15. GENNEMSNITLIGT HØSTET TØRSTOF OG KVÆLSTOF I KERNE OG I ALT, SAMT GENNEMSNITLIGT VAND- OG KVÆLSTOFSTRESS FOR DEN STANDARDISEREDE JB4-JORD MED FOULUM-KLIMA OG ORGANISK GØDNING OG FOR SCENARIET MED TÅSTRUP-JORD OG KLIMA SAMT MINERALGØDNING, PÅTRYKT HENHOLDSVIS EN STØRRE OPTAGELSESKAPACITET I EFTERÅRET, EN ÆNDRET SOM-PULJEFORDELING OG EN KOMBINATION AF DE TO.

Jord	Klima	Gødning	Såtid	N%	Høstet, i alt		Høstet, kerne		Stress	
					Tørstof,	N	Tørstof,	N	WStress	NStress
					T/ha	kg/ha	T/ha	kg/ha	dage	dage
JB4	F	O	N	H	14,5	166	7,0	129	7	3
JB4	F	O	T	H	15,4	171	7,1	131	8	4
JB4*	F	O	N		14,7	183	7,2	145	7	1
JB4*	F	O	T		15,7	188	7,5	146	8	1
JB4*	F	O	N	H	14,7	184	7,2	145	7	1
JB4*	F	O	T	H	15,8	190	7,5	146	8	1
T	T	M	N	H	14,9	160	7,3	126	1	9
T	T	M	T	H	15,7	162	7,3	125	1	12
T*	T	M	N		15,2	165	7,5	131	1	7
T*	T	M	T		16,0	168	7,6	130	1	10
T*	T	M	N	H	15,2	166	7,5	131	1	7
T*	T	M	T	H	16,0	168	7,6	130	1	10

F: Foulum klima, T: Tåstrup-jord og klima, M: mineralsk gødning, O: Organisk gødning (kvæggylle). N: Normalt såtidspunkt, T: tidligt såtidspunkt. JB4*, T*: JB4-jord og Tåstrup-jord med ændret fordeling (0,3; 0,7) mellem den langsomt og den hurtigt omsættelige SOM-pulje. H: forhøjet N-optagelsespotential i efteråret.

Tørstofproduktionen om efteråret er uændret, mens N-optagelsen er større i de led, hvor den tilladte kvælstofoptagelse er øget om efteråret (Tabel 16). Den højeste koncentration opnået i Rasmussen og Thorup-Kristensen (2014) er 5,3 % N i tørstof i Tåstrup, hvorfor de 5,4 % opnået her og 5,6 % opnået i JB4-scenariet må anses for at være højt. For JB4-scenariet stiger forskellen i efterårs-optaget N i bladmassen om efteråret med 1,3-1,4 kg N/ha til ca. 10 kg N/ha, hvilket svarer til forsøgsresultaterne vist i Tabel 1. Forskellen i høstet N mellem den tidligt og den normaltsåede vinterhvede er ca. 5 kg N/ha. For det N-stressede Tåstrup-scenarie er ændringerne i forhold til de tidligere scenarier minimale (< 1 kg), og der opnås højst forskelle på normalt- og tidligt såede scenarier på ca 6 kg N/ha i efterårsoptagelsen og ca 2 kg N/ha i høstet N.

TABEL 16. TØRSTOF OG N-OPTAG I PLANTE PR 23.11 OG HØSTET N (KERNE + HALM), SAMT FORSKEL MELLEM OPTAG I TIDLIGT OG NORMALSÅEDE SCENARIER, GENNEMSNITSTAL FOR 10 ÅRS SIMULERING FOR SCENARIERNE MED ÆNDRET SOM-SAMMENSÆTNING OG ØGET N-OPTAG OM EFTERÅRET. DESUDEN ER ANGIVET RODDYBDEN OG N-OPTAG OM EFTERÅRET PR 23.11.

					Afgørde, 23.11				Effekter af tidl. såning	
Jord	Klima	Gødning	Såtid	N%	DM T/ha	Roddybde cm	N i overj.plante kg N/ha	N i DM %	overj.N, 23.11 kg N/ha	høstet N kg N/ha
JB4	F	O	N	H	0,14	71	7,8	5,6%		
JB4	F	O	T	H	0,31	84	17,6	5,6%	9,7	5,4
JB4*	F	O	N		0,14	71	6,7	4,8%		
JB4*	F	O	T		0,31	84	15,2	4,8%	8,4	4,5
JB4*	F	O	N	H	0,14	71	7,9	5,6%		
JB4*	F	O	T	H	0,31	84	17,6	5,6%	9,8	5,3
T	T	M	N	H	0,14	71	7,5	5,4%		
T	T	M	T	H	0,32	109	12,2	4,1%	4,7	2,2
T*	T	M	N		0,14	71	6,5	4,7%		
T*	T	M	T		0,32	109	12,6	4,0%	6,1	2,2
T*	T	M	N	H	0,14	71	7,5	5,4%		
T*	T	M	T	H	0,32	109	13,3	4,4%	5,8	1,9

F: Foulum klima, T: Tåstrup-jord og klima, M: mineralsk gødning, O: Organisk gødning (kvæggylle). N: Normalt såtidspunkt, T: tidligt såtidspunkt. JB4*, T*: JB4-jord og Tåstrup-jord med ændret fordeling (0,3; 0,7) mellem den langsomt og den hurtigt omsættelige SOM-pulje. H: forhøjet N-optagelsespotentiale i efteråret.

Nmin-indholdet falder i scenarierne, hvor kun optagelsen er ændret, og stiger med øget mineralisering (Tabel 17). Igen er effekten i Tåstrup-scenariet meget begrænset. For JB4-jordene falder udvaskningen i 1 m's dybde en smule, når N-optagelsen i efteråret stiger (jf. Tabel 13), og den stiger, når mineraliseringen øges. Forskellen mellem det tidligt såede og det normalt-såede led når op på 11-12 kg udvasket N/ha. I leddet med både større N-tilgængelighed og større N-optagelse er forskellen i perkolation steget til 35 mm. Dette vil i sig selv medvirke til en større forskel i udvaskningen målt hen over vinteren.

Den maksimale udvaskning i et enkelt år er steget til 73 kg N/ha i de kraftigt mineraliserende led, og den maksimale effekt af tidlig såning sammenlignet med normal såning i et enkelt år er 28 kg for JB4-jorden. For det manipulerede Tåstrup-scenarie, der udgør den anden yderlighed, er den maksimale forskel på kun 6 kg/ha.

TABEL 17. UDVASKNING I 1 M'S DYBDE, FORSKEL I UDVASKNING MELLEM TIDLIGT OG NORMALTSÅEDE LED, SAMT NMIN FOR SCENARIERNE MED ÆNDRET SOM-SAMMENSÆTNING OG ØGET N-OPTAG OM EFTERÅRET.

					1 m		1/9-89 til 1/9-99		23/10 1989-99	
					Udvaskning		Effekt af tidl. såning		N-min i 0-1m	
Jord	Klima	Gødning	Såtid	N%	kg N/ha/år		kg N/ha		kg N/ha/år	
JB4	F	O	N	H	23				25	
JB4	F	O	T	H	14		-9,5		17	
JB4*	F	O	N		41				45	
JB4*	F	O	T		31		-9,9		37	
JB4*	F	O	N	H	40				44	
JB4*	F	O	T	H	29		-10,9		35	
					Gv.	Dr.	Gv.	Dr.		
T	T	M	N	H	2	0			10	
T	T	M	T	H	1	0	-1,2	0	7	
T*	T	M	N		3	0			13	
T*	T	M	T		1	0	-1,4	0	9	
T*	T	M	N	H	2	0			12	
T*	T	M	T	H	1	0	-1,4	0	8	

F: Foulum klima, T: Tåstrup-jord og klima, M: mineralsk gødning, O: Organisk gødning (kvæggylle). N: Normalt såtidspunkt, T: tidligt såtidspunkt. JB4*, T*: JB4-jord og Tåstrup-jord med ændret fordeling (0,3; 0,7) mellem den langsomt og den hurtigt omsættelige SOM-pulje. H: forhøjet N-optagelsespotentialt i efteråret. Gv: grundvand, Dr: drænvand.

TABEL 18. UDVASKNING I 2 M'S DYBDE, FORSKEL I UDVASKNING MELLEM TIDLIGT OG NORMALTSÅEDE LED FOR SCENARIERNE MED ÆNDRET SOM-SAMMENSETNING OG ØGET N-OPTAG OM EFTERÅRET. DESUDEN ER ANGIVET EKSTREMVÆRDIER FOR UDVASKNING OG FORSKEL I UDVASKNINGEN.

Jord	Klima	Gødning	Såtid	N%	2 m 1/9-89 - 1/9-99		Udvaskning (gv)		Ekstremværdier, Effekt af tidl. Såning på udvaskning	
					Udvaskning	forskel	Max	Min	Max	Min
					kg N/ha/år	kg N/ha	kg N/ha/år	kg N/ha/år	kg N/ha/år	kg N/ha/år
JB4	F	O	N	H	24		48	3		
JB4	F	O	T	H	14	-9.9	45	2	21	1
JB4*	F	O	N		42		73	5		
JB4*	F	O	T		32	-10.6	73	4	26	0
JB4*	F	O	N	H	41		73	5		
JB4*	F	O	T	H	29	-12.3	72	3	28	1
					Gv.	Dr.	Gv.	Dr.		
T	T	M	N	H	2	1	5	0		
T	T	M	T	H	1	<0,5	-1.5	-0.6	5	0
T*	T	M	N		3	1	7	0		
T*	T	M	T		1	<0,5	-1.8	-0.7	5	0
T*	T	M	N	H	3	1	6	0		
T*	T	M	T	H	1	<0,5	-1.8	-0.7	6	0

F: Foulum klima, T: Tåstrup-jord og klima, M: mineralsk gødning, O: Organisk gødning (kvæggylle). N: Normalt såtidspunkt, T: tidligt såtidspunkt. JB4*, T*: JB4-jord og Tåstrup-jord med ændret fordeling (0,3; 0,7) mellem den langsomt og den hurtigt omsættelige SOM-pulje. H: forhøjet N-optagelsespotentiale i efteråret. Gv: grundvand, Dr: drænvand.

DISKUSSION

Beregningerne er behæftet med en række usikkerheder. Det initiale valg af jordtyper dækker ikke over hele det mulige spænd i Danmark. Mere sandede jorde med en mere begrænset roddybde kan forventes at have højere udvaskning, hvorfor scenarier med en standardiseret JB4 blev opstillet. Mængden af vand, der løber til dræn, svarer til et gennemsnit for jordtypen (JB6), men der kan være store forskelle fra sted til sted. Spændet i nedbør dækker heller ikke hele det mulige spænd i Danmark. Vi forventer dog, at det klimamæssige spænd dækker størstedelen af variationen inden for det område, hvor vinterhvede er mest almindelig.

I den anvendte klimaserie er der to år med meget ringe nedbør, hvilket slår igennem på beregningerne som to år med meget lille udvaskning. Hvis man antager, at disse 2 år er meget atypiske, skal udvaskningsværdierne stige med ca. 20 %. Tørre år findes dog med en vis hyppighed.

Det er tydeligt, at det anvendte sædskifte med kontinuert vinterhvede på JB6-jordene er undergødsket, og de udførte beregninger med skiftevis vinterraps og vinterhvede blev forsøgt for at opnå en større mængde kvælstof i jorden om efteråret. Dette har også givet anledning til en større udvaskning, men forskellen i efterårsoptaget N mellem den tidligt og den normaltsåede afgrøde er stadig i samme størrelsesorden i de beregnede scenarier.

Det ville have været hensigtsmæssigt at gennemregne flere eksempler på sædskifter, der efterlader mere kvælstof i jorden til vinterhveden om efteråret, for det er tvivlsomt om det fulde optagelses-potentiale er udnyttet. Raps-sædskiftet blev valgt, fordi det efterlader en del kvælstof i jorden. En anden mulighed kunne være vårbyg, men vi vurderede, at man i praksis vil placere en efterafgrøde mellem vinterhvede og vårbyg, og at det ville have samme type effekt som tidlig såning.

Faldet i udvaskning skyldes i disse simuleringer primært en lidt mindre perkolation om efteråret på grund af en større fordampning, en større tilbageføring af kvælstof med plantemateriale til den organiske pulje i jorden for den kontinuerte vinterhvede og et lidt større høstudbytte for sædskiftet med vinterraps. Effekten på udvaskning ligger altså på nogenlunde samme niveau som forskellen i optag om efteråret + en eventuel forskel i høstet N, og denne værdi synes derfor at sætte en øvre grænse.

De opstillede scenarier med en hypotetisk JB4-jord viser generelt større effekter af tidlig såning, og effekterne øges, når mineraliseringen i jorden øges sammen med plantens potentiale for efterårsoptagelse. I det mest ekstreme scenarie ses en gennemsnitlig udvaskningseffekt på ca. 12 kg samt et betydeligt spænd i udvaskningen (5-73 kg i den normaltsåede og 3-72 kg N/ha i den tidligt såede vinterhvede) og i effekterne (0-28 kg N/ha) fra år til år. De fleste forsøgsresultater fra Melander et al. (2013 og pers.com.) falder inden for niveauerne i hhv. JB4-scenarierne og disse ekstreme scenarier.

Effekten af tidlig såning øges med større N-tilgængelighed (

Tabel 19). I scenarierne med kvælstofunderskud ser det ud som om, at udvaskningsforskellen stort set er lig efterårsoptaget eller lidt mindre end det. I de mere næringsrige scenarier synes effekten at kunne være lidt større end efterårsoptaget. Den større tilgængelighed synes at give mulighed for, at de større planter også i foråret kan hente en smule ekstra kvælstof i jorden.

Der er ikke gennemregnet et JB6-scenarie med høj næringsstof-tilgængelighed og øget kvælstofoptagelses-potentiale i efteråret. I de tilsvarende scenarier på JB4-jorden svarer planternes tørstofproduktion i efteråret og det tilsvarende N-indhold til, hvad der er fundet i forsøg af Rasmussen og Thorup-Kristensen (2014) i Tåstrup, og der er derfor ikke umiddelbart belæg for at forvente en væsentligt større optagelse i efterårsperioden på en JB6. En større N-tilgængelighed senere i sæsonen kan muligvis resultere i en større forskel i høstet N på JB6-jorden.

TABEL 19. OPSUMMERING AF FORSKELLEN I UDVASKNING OG EFTERÅRSOPTAGELSEN AF N, SAMT FORSKELLEN I HØSTET N I KERNE OG SAMLET HØST FOR ALLE SCENARIER.

			Forskelle mellem tidligt- og normaltsåede scenarier			
Jord	Klima	Gødning	Udv. 2 m's dybde	efterårsoptag	N i høstet kerne	N i samlet høst
			Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha
F	F	M	-5	5,4	-1	1,8
F	F	O	-7	7,3	0	2,4
F	T	M	-4	6,6	-2	0,5
F	T	O	-5	7,9	-2	0,8
T	F	M	-3	4,2	0	3,2
T	F	O	-4	5,5	1	4,1
T	T	M	-2	5,3	-1	1,9
T	T	O	-4	6,7	0	2,8
Vinterhvede/rap			Udv. 1 m			
F	F	O	-12	7,3	1	4,4
Hypotetisk JB4			Udv. 2 m			
JB4	F	M	-8	8,1	1	4,2
JB4	F	O	-9	8,4	1	4,4
JB4	T	M	-6	8,0	-1	2,7
JB4	T	O	-7	8,2	0	2,9
Ændret SOM og øget optagelse						
JB4	F	O-opt	-9,9	9,7	2	5,4
JB4*	F	O	-10,6	8,4	1	4,5
JB4*	F	O-opt	-12,3	9,8	2	5,3
T	T	M-opt	-2	4,7	-1	2,2
T*	T	M	-3	6,1	-1	2,2
T*	T	M-opt	-3	5,8	-1	1,9

EN SAMMENSTILLING AF RESULTATER VEDRØRENDE TIDLIG SÅNING BLEV PRÆSENTERET PÅ PLANTEKONGRESSEN 2015 (THOMSEN OG HANSEN, 2015). HER KONKLUDERES DET, AT MER-OPTAGET I VINTER-PERIODEN UD FRA FORSØG KAN SÆTTES TIL CA. 7 KG N/HA, HVILKET ER I GOD OVERENSSTEMMELSE MED SIMULERINGSRESULTATERNE VIST I

Tabel 19. Den forventede udvaskningsforskel var estimeret til 0-47 kg N/ha, mens den største forskel fundet i beregningerne er 28 kg N/ha. På Askov forsøgsstation (meget leret jord) er meroptaget i vinterperioden fundet til 10-12 kg N/ha, hvilket svarer til det maksimalt opnåelige i disse beregninger under forudsætning af tilstrækkeligt med kvælstof i jorden og et let øget N-optagelsespotentiale i vinterhveden. I Askov er også fundet en samlet stigning i høstet N på 20-30 kg N/ha. Dette er mere end vi har fundet i scenarie-beregningerne, men ingen af beregningerne

repræsenterer en velgødet lerjord med en noget højere årsnedbør (ca. 1000 mm i gns/år ifølge DMI's vejrkort (<http://www.dmi.dk/vejr/arkiver/vejrarkiv/>)).

Et igangværende, men endnu ikke publiceret modelleringsstudie under udførelse af Martin Preuss Nielsen og Sander Bruun, behandler også tidlig såning. De har venligst tilladt os at sammenligne ovenstående resultater med deres. Modelleringerne er foretaget for kontinuert vinterhvede på en JB6-jord med Tåstrupklima, og en gødningstildeling, der stort set svarer til scenariet ovenfor med organisk gødning. Såtidspunkterne er 1. og 22. september, svarende til 3 uger, og gødningen er tildelt ad en gang (15.4). Der er anvendt et andet fremspiringsmodul og en let modificeret parameterisering af vinterhveden, hvor udbyttetiveauet passer med landsforsøgene fra 2005 til 2013 ved tildeling af 200 kg N, hvilket vil sige, at plantens optagelse er lidt mindre effektiv end i disse beregninger. Simuleringerne er foregået over 100 år. Da den anvendte vinterhvedemodel er mindre effektiv end den model, der er anvendt her, er mængden af høstet N også lavere, ca. 142-151 kg N/år (hvoraf kun ca. 10 kg N er i halm). Resultatet er en større forskel i udvaskningen, på ca. 16 kg N i gennemsnit, for et indhold af organisk C på 1,5 % (svarende til 2,6 % organisk stof). Udvasningsforskellen falder til ca. 13 kg ved 1 % organisk C og stiger til ca. 19 kg/ha/år for 3 % organisk C i jordens A-horisont. Der er i gennemsnit høstet godt 7 kg N/ha mere i den tidligt såede hvede. Til gengæld er denitrifikationen i tidlig såning i gennemsnit 2,8 kg mindre end i den normaltsåede hvede, fordi der er mindre nitrat i jorden tilgængeligt for denitrifikation. En del af forskellen mellem forsøgsleddene findes i en større organisk pulje i de tidligt såede simuleringer, præcis som det er fundet her. Dette fører også til en noget forøget mineralisering over den 100-årige simuleringsperiode. Der er altså også her tale om, at en større del af kvælstoffet holdes inden for rodzonen i organisk bundet form.

KONKLUSION

Tidligt sået vinterhvede har en udvasningsbegrænsende effekt. Længere rødder, større transpiration og større optagelse af kvælstof om efteråret efterlader mindre nitrat i jorden om efteråret, der kan udvaskes. Effekten på den generelle kvælstofbalance skyldes primært, at plantematerialet, der føres tilbage til jorden efter høst synes at indeholde lidt mere kvælstof i den tidligt såede hvede, og i simuleringer med større tilgængelighed af kvælstof i jorden sås også en lidt større mængde høstet kvælstof.

Forskellen i kvælstofoptaget i efteråret var i de indledende simuleringer lidt lavere, end hvad der er set i forsøgene refereret i **Tabel 1** (4-8 i forhold til 6-13 kg), hvilket skyldes, at scenarierne er underforsynede med kvælstof. Effekten på udvaskningen (maksimalt 8 kg N/ha) er derfor sandsynligvis undervurderet her. I vinterraps-vinterhvede-scenariet ses det, at den større mængde tilbageværende N efter raps øger udvasningsforskellen beregnet under hveden til 12 kg i 1 m's dybde. Der er imidlertid betydelig klimatisk variation, med en maksimal udvaskning på 21 kg N i scenarierne med kontinuert vinterhvede og på 48 kg N/ha i vinterraps-vinterhvede-sædskiftet.

I de opfølgende simuleringer med en standardiseret JB4-jord, større mineralisering i jorden og et lidt større potentiale i vinterhveden til at indleje kvælstof om efteråret, blev der opnået gennemsnitlige (over 10 år) forskelle i efterårsoptagelse på ca. 10 kg N/ha mellem den tidligt- og den normaltsåede vinterhvede. Denne værdi forventes at ligge tæt på den potentielle værdi, og svarer nogenlunde til de 10-12 kg, der er fundet på Askov forsøgsstation (Thomsen og Hansen, 2015).

Samlet set ligger effekten på efterårsoptagelsen i scenarierne meget tæt på de 7 kg, som (Thomsen og Hansen, 2015) angiver som gennemsnit af en række forsøg.

I de gennemførte beregninger svarer den gennemsnitlige effekt på udvaskningen nogenlunde til indbygningen af kvælstof i den organiske pulje, der igen nogenlunde svarer til optaget i efteråret. I vinterraps-vinterhvede-sædskiftet og nogle af de mere næringsrige sædskifter er der derudover en forskel i høstet N.

De foretagne beregninger har klarlagt en række betydende faktorer for størrelsen af den observerede effekt af tidlig såning, nemlig næringsstofniveauet, jordtypen/roddybden og forskellen i perkolation. Vi mener, at ændringen i optagelsespotentialet i vinterhveden om efteråret gav en bedre beskrivelse af optagelsen under mere næringsrige forhold. En mere fyldestgørende kvantificering af effekten af tidlig såning under forskellige næringsstofforhold vil kræve en detaljeret evaluering af parameteriseringen af vinterhveden i Daisy på basis af forsøg.

Det er muligt at differentiere scenarieforholdene yderligere, eventuelt med flere jordtyper og en større spredning i nedbørsforholdene, men specielt med realistiske sædskifter, og evt. med en påført udbyttebegrænsning, sådan at der opnås mere kvælstof i jorden om efteråret. Vores forventning er at optagelsen i efteråret sandsynligvis ikke vil stige meget over de maksimale værdier opnået her, men der kan måske være en større forskel på mængden af høstet N, end hvad vi har set i de aktuelle simuleringer.

ERKENDTLIGHED

Vi vil gerne takke Irene Skovby Rasmussen, Kristian Thorup Kristensen, Sander Bruun og Martin Preuss Nielsen for at give os adgang til upubliceret materiale, der har kunnet benyttes til sammenligning med egne beregninger.

REFERENCER

- Danmarks Statistik. (2014). HALM1: Halmudbytte og halmanvendelse efter område, afgrøde, enhed og anvendelse. <http://statistikbanken.dk/halm1> (4/12-2014). DK.
- Hansen, E. M., Thomsen, I. K., Pedersen, A. R., & Hansen, P. K. (2008). Vælg dyrkningsmetoder, som gavner kvælstofforsyningen. I: Sammen drag af Indlæg. *Plantekongres 2008, Århus Universitet.*, s. 25-27.
- Hansen, S., Abrahamsen, P., Petersen, C. T., & Styczen, M. (2012). Daisy: Model use, calibration, and validation. *Trans. ASABE* 55(4), s. 1315-1333.
- Heidmann, T., Tofteng, C., Abrahamsen, P., Plauborg, F., Hansen, S., Battilani, A., Coutinho, J., Doležal, F., Mazurczyk, W., Ruiz, J.D.R., Takáč, J., Vacek, J. (2008). Calibration procedure for a potato crop growth model using information from across Europe. *Ecological Modelling*, 211 (1-2), s. 209-223.
- Melander, B., Møller Hansen, E., & Munkholm, L. J. (2013). Fastliggende forsøg med reduceret jordbearbejdning. I V. f. landbrug, *Oversigt over landsforsøgene 2013* (s. 217-220).
- Miljøstyrelsen. (2012). Flerdimensional modellering af vandstrømning og stoftransport i de øverste 1-2m af jorden i systemer med markdræn. *Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen nr. 138*.
- NaturErhvervsstyrelsen. (2013). *VEJLEDNING OM GØDSKNINGS- OG HARMONIREGLER, Planperioden 1. august 2013 til 31. juli 2014, Revideret udgave 10. september 2013*. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri NaturErhvervsstyrelsen.
- Rasmussen I S og Thorup-Kristensen K, (2014) Does earlier sowing of winter wheat improve root growth and N uptake? Submitted.
- Styczen, M., Hansen, S., Jensen, L. S., Svendsen, H., Abrahamsen, P., Børgesen, C. D., et al. (2004). *Standardopstillinger til Daisy-modellen. Vejledning og baggrund. Version 1.1*. Hørsholm: DHI Institut for Vand og Miljø.
- Thomsen, I., Vinther, F., Hansen, E., Jørgensen, L., & Kudsk, P. (2014). *Notat vedrørende baggrundsdata til brug for den fremtidige arealregulering - besvarelse af spørgsmål A1-10 (om tidlig såning af vintersæd)*. Institut for agroøkologi / AU.
- Thomsen, I.K. og Hansen, E. (2015). Betydningen af tidlig såning på kvælstofdynamikken i vinterhvede. Præsentation på Plantekongressen, 2015, tilgængelig på: https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Plantekongres/Filer/pl_plk_2015_show_19_1_Ingrid_K_Thomsen.pdf
- Thorup-Kristensen, K., Salmeron, M., & Loges, R. (2009). Winter wheat roots grow twice as deep as spring wheat roots, is this important for N uptake and N leaching losses? *Plant Soil*(322), s. 101-114.
- Videnscentret for landbrug. (2014a). Dyrkningsvejledning vinterhvede. www.dlbr.dk (4/12-2014). Århus.
- Videnscentret for landbrug. (2014b). Dyrkningsvejledning for vinterraps. www.dlbr.dk. Århus.
- Wang, P. R. (2013). Klimagrid referenceværdier 2001-2010. *Teknisk rapport 13-09*.