



Årsager til faldende proteinindhold i kerne fra ca. 1990 til 2015

Modelanalyse og resultater



Forord

Dette arbejde er finansieret af promilleafgiftsfonden. Arbejdet er udført af Merete Styczen og Per Abrahamsen, PLEN, KU, under vejledning af en følgegruppe bestående af Kristian Thorup Kristensen, PLEN, KU, Hans Østergård og Leif Knudsen, SEGES samt Gitte Blicher Mathiesen, DCE, Århus. Vi takker for gode råd og godt samarbejde undervejs.

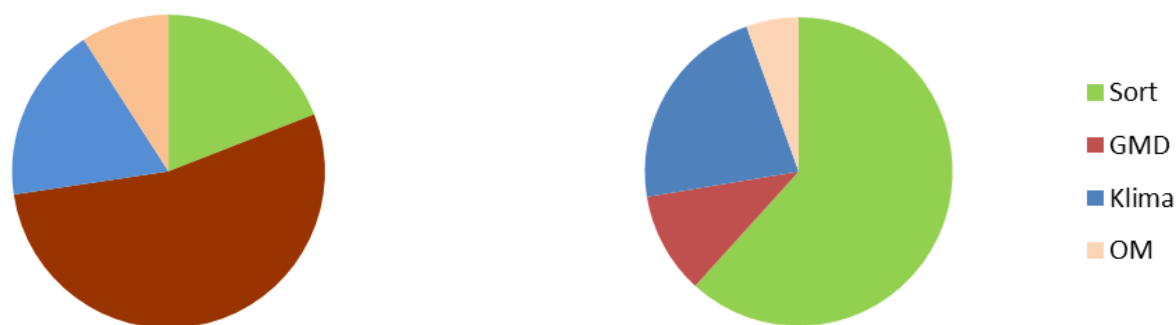
Også tak til Carl Thalbitzer, NaturErhvervsstyrelsen, som stillede sit personlige arkiv over ”Vejledning om gødsknings-og harmoniregler” fra 1994 og frem til rådighed for projektet og til Christina Kok, NaturErhvervsstyrelsen, som formidlede kontakten.

Resumé

Hovedresultater

Det faldende proteinindhold i kerner af vårbyg og vinterhvede i perioden fra 1990 til 2015, der er dokumenteret gennem analyser af prøver udtaget fra et udvalg af danske landbrug (Poulsen og Sloth, 2016 – Videnscenter for Svineproduktion), afspejler en kombination af en stigende tørstofproduktion med en mindre mængde plantetilgængeligt kvælstof. Den stigende tørstofproduktion er primært et resultat af planteforædling, og den mindre mængde plantetilgængeligt kvælstof er primært et resultat af faldende tilførsel via gødning. For vårbyggen er planteforædlingen den dominerende faktor, for vinterhveden er det gødningsniveauet, inklusiv en ændring i deposition på ca. 6 kg N/ha samt management (Figur i). I begge tilfælde er ændringer i klimaet den tredjevigtigste faktor. Hvis man ønsker at øge proteinindholdet i kernerne, uden at det går ud over tørstofudbyttet, er det nødvendigt at øge mængden af plantetilgængeligt kvælstof. Dette kan ske ved at øge mængden af gødning, eller ved at tilføje kvælstoffikserende afgrøder i sædskiftet. Andre tiltag forventes at have mindre effekt, da de nuværende afgrøder allerede er gode til at udnytte det kvælstof, der er tilgængeligt for dem, specielt når man ser på et sædskifte i sin helhed.

Konklusionen bygger på resultater fra hundredvis af markforsøg (Landsforsøgene), tusindvis af modelsimuleringer (Daisy) med forskellige kombinationer af jord, vejr, og management, samt et studie af relevant litteratur.



a) Vinterhvede, JB7

b) Vårbyg, JB7, mineralsk gødet

Figur i. Eksempler på beregningsresultater for henholdsvis vinterhvede (både mineralisk og organisk gødet) og vårbyg (mineralisk gødet) på JB7. Cirkeldiagrammet viser, hvorledes det samlede beregnede fald i kvælstofprocent i kerne fra 1990-2015 er fordelt på en effekt, der skyldes nye sorter (Sort), ændrede gødningsnormer, inklusiv ændret management, ca. 6 kg mindre deposition og en neglignel effekt af sædskifteplacering for hveden (GMD), en lidt højere temperatur, kombineret med ca. 10 % mere nedbør (Klima) og lidt mindre mineralisering på grund af faldende humusindhold (OM).

Projektet generelt

En stor del af reguleringen af landbruget og noget rådgivning baserer sig på modelanalyser. De tilhørende økonomiberegninger baserer sig på, at modelberegningernes forudsigelser af udbytter, proteinindhold og udvaskning er korrekte. De sidste 10-15 år har vi set et faldende proteinindhold i korn, der ikke i tilstrækkelig grad er taget i betragtning i disse analyser. Projektets overordnede formål er at forbedre forståelsen og beskrivelsen af disse sammenhænge i Daisy-modellen med henblik på bedre rådgivning og omkostningseffektive virkemiddelanalyser.

Mere detaljeret er projektets formål 1) at undersøge om det faldende proteinindhold, der er observeret i dansk korn, kan forklares på basis af den eksisterende forståelse af de underliggende processer som beskrevet i jord-plante-atmosfære-modellen "Daisy" og 2) at -hvis det ikke er tilfældet- undersøge modellens forudsætninger, procesbeskrivelser og parameterisering med henblik på at opnå en mere korrekt beskrivelse, der kan anvendes i vurderingen af virkemidler. Projektet bygger på eksisterende data om gødningsnormer, faktisk gødningsanvendelse og kvælstofdeposition, SEGES' gødningsforsøg (vinterhvede og vårbyg), data fra Danmarks statistik (udbytter, arealanvendelse) og kvadratnetsdata, samt information om trends i sortsudvikling. I arbejdet sammenlignes perioden 1990 (1987-1994) med "nu", defineret som vækstsæsonen 2014-15 (2010-15).

De vigtigste trends i perioden kan beskrives som en mindre stigning i arealet med vinterhvede (ca. 18 til ca. 25 %), men en markant stigning i forekomsten af "vinterhvede efter vinterhvede" (fra 25 til 60 %). Ca. 25 % af markerne med vinterhvede efter vinterhvede modtog husdyrgødning i 1986-90, mens det var 55-70 % mellem 2000 og 2008. Depositionen er faldet med ca. 6 kg N/ha i gennemsnit, og gødningsmængderne er nedsat markant, især på de mere sandede jorde, men der er samtidigt sket en mindskelse af tab ved udbringning. Parallelt er der sket en tilpasning af vinterhvedesorterne. Den potentielle produktion er næsten uændret i perioden, men produktionen under begrænset næringsstoffildeling er øget. For vårbyg er der både sket en stigning i den potentielle produktion og i produktionen under begrænset næringsstoffildeling.

For at kunne kalibrere gamle og nye sorter blev SEGES gødningsforsøgsdata analyseret. For vinterhvede blev forsøg, hvor der høstes mere end 65 kg N i det ugødede led (og forsøg uden N-målinger) sorteret fra, sådan at de sammenlignede forsøg havde nogenlunde samme niveau af

mineralisering. De bedste 20 % af disse i perioderne 1987-1994 og 2010-15 har været basis for kalibrering af Gl. og Ny vinterhvedesort, da de må forventes primært at være begrænsede af vand og kvælstof. For vårbyg gennemførtes først samme procedure, men de bedste 20 % af forsøgene havde stærk bias mod roer som forfrugt og en stor del af forsøgsarealerne havde tidligere modtaget husdyrgødning. Derfor blev hele datasættet med mindre end 65 kg N høstet i det ugødede led brugt som måltal for kalibreringerne.

Scenarieberegningerne er foretaget på et sædskifte af typen ”vårbyg – vinterhvede – vinterraps – vinterhvede – vinterhvede” for at se effekten af en forfrugt med kortere rødder og en forfrugt, der efterlader mere kvælstof. Gødningsscenarier (mineralsk og organisk gødning) er opstillet baseret på kvadratnetsdata svarende til ”1990”, inklusiv den tilsvarende deposition og forventede ammoniakfordamning, og svarende til ”2014” på basis af normerne for NaturErhvervsstyrelsen for 2014-5. Beregningerne blev foretaget på jorder parameteriseret som JB4 med fri dræning og drænedede JB6- og JB7-jorde opstillet efter Daisy-ståbien (Styczen, 2005), men med indlagt ”pløjesål” lige under pløjedybde. Det 5-årige sædskifte er gennemregnet 100 gange med en syntetisk nedbørsserie, der er udviklet til at beskrive det nuværende klima i det østlige Danmark. Dataserien er beskrevet i Rasmussen et al. (2017) og har de statistiske sammenhænge, der findes i vores nuværende klima. Det tillader os at simulere lange tidsserier og dermed vurdere usikkerheden relateret til vejrforhold bedre, end hvis vi f.eks. repeterede vejret for de sidste 10-15 år. Det vil sige, at der for hver simulering er 300 år med vinterhvede og 100 år med vårbyg. Basisscenarie-opstillingen består således af 3 jordtyper * 2 gødningsniveauer * 2 gødningstyper * [Gl. og Ny sort for hver af de to afgrøder].

I løbet af kalibreringsfasen er modellens denitrifikationsbeskrivelse modificeret. Den tidligere parameterisering var baseret på målinger, men med lidt anderledes beskrivelse af jordprofilerne (uden pløjesål). Med de nuværende beskrivelser af jorden blev denitrifikationen urealistisk høj.

Kalibreringen af Gl. vinterhvedesort er baseret på den tidligere vinterhvedeparameterisering i Daisy, som er meget gennemprøvet. Dog er rodlængden og rodvæksthastigheden tilpasset nyere forskningsresultater. Det samme gælder kvælstofkoncentrationerne i strået. Desuden er udviklingshastigheden i den reproduktive periode sænket. I modellen indgår tre organ-specifikke kvælstofkoncentrationer, der er styrende for kvælstofindholdet i kernen og andre organer, nemlig C_{nonf} ,

under hvilken organet ikke kan fungere, C_{crit} , som er den koncentration, der er tilstrækkelig for at opnå maksimal produktion og C_{pot} , som er den maksimale koncentration, der styrer planternes optagelse. Vi havde forventet at kunne aflæse disse koncentrationer direkte af forsøgsresultaternes fordeling i de to undersøgte perioder, men det viste sig, at de ikke var direkte oversættelige. Tab af tørstof (respiration og bladtab) kan resultere i en forøgelse af koncentrationen af kvælstof i plantematerialet til værdier, der er større end, der styrer kvælstofoptagelsen (C_{pot}). For C_{nonf} gælder det, at afgrøden i praksis ikke vil nå ned på det angivne niveau, da tørstofproduktionen vil blive begrænset af kvælstofstress. Det betyder at C_{pot} skal være lavere end de højeste målte værdier, og C_{nonf} skal være lavere end de laveste målte værdier. I Ny vinterhvedesort er høstindekset øget, svarende til forsøgsresultater. Det havde en betydelig effekt på mængden af høstet N, og det var ikke muligt at beskrive forskellene mellem de gamle og nye forsøg rimeligt, uden at denne parameter blev ændret. Da SEGES' gødningsforsøg kun indeholder data om udbytte og N-indhold i kerne ved høst, kan vi ikke være sikre på, at Ny sort også har en tilfredsstillende biomasseproduktion gennem hele væksten. Høstindekset blev kalibreret på plads ved at ændre på allokeringen af assimilant til forskellige organer, men det kunne også være opnået ved f.eks. at øge bladtabet undervejs.

Vårbygmodellen var i udgangspunktet dårligere end vinterhvedemodellen og både Gl. og Ny vårbygsort er kalibreret. Den Ny vårbygsort blev kalibreret med RVI-data fra et 7-årigt forsøg på Højbakkegård som primær kilde og justeret efter SEGES tal. Gl. vårbygsort tog udgangspunkt i den Ny vårbygsort, og blev justeret efter SEGES og andre kilder. Der er ændret på rod/skud-udviklingen i den tidlige fase, udviklingshastigheden i vegetativ og reproduktiv fase, beskrivelsen af fotosyntesekapaciteten og bladdødsraten. Udbytte og høstindeks er tilpasset. Kvælstofkoncentrationen i blade og stængler stammer fra tidligere danske parameteriseringer.

Der var generelt en tendens til, at kvælstofoptagelsen ved høj kvælstoftilgængelighed var for stor, og forskellige måder at begrænse denne for store optagelse blev undersøgt. En reduktion af C_{pot} forbedrede resultaterne, men derudover udviklede vi en ny model for kvælstofoptagelse gennem rødderne. I begge modeller ligger der en fysisk begrænsning på kvælstofoptagelsen og jordens evne til at transportere kvælstof fra jordmatricen til rodoverfladen. Denne transport er højest, når koncentrationen ved rodoverfladen er 0. I den nye model er der yderligere lagt en plantefysiologisk begrænsning ind i røddernes evne til at optage kvælstof gennem overfladen. Denne optagelse er mest effektiv, når koncentrationen ved rodoverfladen er lav. Den nye model vil finde den

koncentration, hvor transporten til rodooverfladen og optaget gennem rodooverfladen er ens. De implementerede ligninger er dokumenterede i rapporten og publiceret på Daisy's hjemmeside samt i DaisyNews. Vi har begrænsede erfaringer med denne nye model, og den påvirker klart vårbyg-simuleringerne mere end vinterhvedesimuleringerne.

De nye sortparameteriseringer af vinterhvede og vårbyg reproducerede udbytter, den totale N-optagelse i kerne og kvælstofprocenten i kerne, samt en stor del af den spredning, der også ses i forsøgsdataene.

Ud over basisscenerierne har vi regnet på sensitivitet af de ændrede rodparametre og valget af afdræningsforhold. Vi har også undersøgt effekten af at tilpasse vejret til "Foulum-forhold" ved at skalere den månedlige nedbør og effekten af en stigning i temperatur på 0,5 °C og i nedbør på 10%, som kan udledes af en af DMI's længere tidserier for perioden 1990-2015. Sidst har vi undersøgt effekten af en reduktion i organisk indhold i JB7-jorde på 20 % og på JB6-jorde på 10 %, med en "langsom" omdannelse af den resterende mængde organisk stof.

Ifølge Videnscenter for Svinebrug er råproteinprocenten i kerne faldet med 2-2,5 %, beregnet ved 15 % vand, i perioden fra 1990-2015. Intervallet svarer til 2,4-2,9 % råprotein i tørstof. På basis af scenarieberegningerne for JB4, JB6 og 7 og ændringerne i vinterhvedes dyrkningsforhold er beregnet hvor stor en del af ovenstående fald i råproteinprocenten, der kan forklares ved hjælp af sortsændringen, ændring i gødning og management, ændring i klimaforhold og ændringen i baggrundsmineralisering. De samlede forskelle på JB4, JB6 og 7 summerer op til fald på hhv. 0,40, 0,34 og 0,33 % N i tørstof eller 2,5, 2,1 og 2,1 % råprotein i tørstof (omregningsfaktor 6,25) fra Gl. sort ved 1990-forhold til Ny sort under 2014-forhold. Heraf udgør sorteffekten 14-19 %, forskellen i gødning og management 53-70 %, forskellen i klima ca. 14-18 % og forskellen i baggrundsmineralisering på JB7 ca. 9 %. Det står ikke klart i hvilket omfang vinterhveden er skubbet mod mere sandede jorde, men der er også en mindre negativ effekt på proteinindholdet af at skifte jordtype fra JB6 til JB4 (0,036 % N eller 0,2 % råprotein), og simuleringerne med "Foulumvej" gav yderligere en negativ korrektion (0,07 % N eller 0,4 % råprotein), fordi den større nedbør i løbet af vinteren førte til en større udvaskning og denitrifikation. Alt i alt synes størstedelen af det observerede fald i N % i kerne for vinterhvede at kunne eftervises i beregningerne for vinterhvede.

Ændringen i baggrundsmineraliseringen kan dog være undervurderet i de simple sædskifter, der er sammenlignet.

Beregningerne for vårbyg indeholder kun én forfrugt, og jordtyperne dækker ikke det spænd af forhold, som vårbyg dyrkes på. Vi kan derfor ikke lave en samlet vægtning af forskelle. Analyseres alene forskellene fra Gl. sort med 1990-gødning og management til Ny sort med 2014-forhold (mineralsk mod mineralsk og organisk mod organisk), er faldet i råproteinprocent i tørstof 1,9-2,1 på JB4, 1,9-2,6 på JB6 og 1,7-2,4 på JB7, inklusiv korrektion for mindre basismineralisering. Hertil kan lægges en korrektion for varmere vejr på 0,5 %, hvorefter det endelige beregnede interval for faldet i råprotein er 2,2 til 3,1 %. Det observerede fald kan altså godt forklares ved hjælp af de simulerede forskelle. For byggen udgør sortsændingen fra 39-62 % af faldet, størst på JB7 og mindst på JB4. Gødnings- og management-ændringen udgør kun 11 % af ændringen på de mineralsk gødede JB7-jorde og fra 23-42 % af ændringen i de andre kombinationer. Klimaeffekten udgør 21-22 % af effekten i de mineralsk gødede scenarier og 16-19 % i de organisk gødede scenarier. Faldet i baggrundsmineraliseringen kan forklare 4 % af ændringen på JB7-jorden.

Til slut gennemførtes en række scenarieberegninger med henblik på at undersøge om simple managementændringer ville kunne øge N-procenten i kerne. Anvendelse af (ugødede) ærter i stedet for vårbyg gav en positiv effekt på den efterfølgende vinterhvede i de fleste kombinationer, dog ikke nødvendigvis på JB7, der har den højeste N-norm for vårbyg. Forfrugtsværdien for ært vil dog fjerne en del af denne positive effekt. Indførsel af en kraftigere (ikke N-fikserende efterafgrøde) havde i nogen tilfælde en lille positiv effekt på N-optagelsen i den efterfølgende vårbyg, men det slog ikke igennem i hveden i sædskiftet. Tidlig såning af vinterhvede gav anledning til højere udbytter og N-optagelse, men ved det ret lave gødningsniveau i 2014 blev slutresultatet et ret markant fald i kvælstofprocenten i kerne. Samtidigt faldt udvaskningen over de 5 år med 30-40 kg N (6-8 kg N/år over sædskiftet). Anvendelse af ren ammoniumgødning førte også til lidt større udbytter og i de fleste scenarier også lidt højere N-optagelse. Koncentrationen af N i kerne var positiv i en og negativ i to af forekomsterne af hvede i sædskiftet samt for vårbyggen, og spredningen i resultaterne inden for de enkelte scenarier steg. Et scenarie med kvæggylle i stedet for svinegylle gav heller ikke et positivt resultat. Her skal det dog bemærkes, at beregningerne er lavet, sådan at der ikke foregår en langtidsopbygning af de organiske puljer i jorden, hvilket kunne ændre billedet på længere sigt. Det sidste ses klart i et scenarie, hvor humusindholdet er øget, svarende til

den nedre grænse for de 5 % mest humusrige jorde for den pågældende jordtype. Det gav anledning til højere udbytter og betydeligt højere N-optagelse, samt stigning i N-procenterne på 0,2-0,3 (1,3-1,9 % råprotein). Det fremgår altså, at ved disse meget stramme normer, er det kun en øget kvælstoftilførsel i form af gødning, kvælstoffiksering eller forøget mineralisering, der kan øge N-koncentrationen i kerne.

Der blev også gennemregnet et scenarie med 40 kg N af N-kvoten til vinterhvede tildelt 15. maj. Erfaringsmæssigt kan man øge N-procenten i kerne med sen tildeling, men dette var ikke tilfældet i simuleringen. Det forventes at være en artefakt af de begrænsninger, der er sat på plantens N-optagelse i "Ny sort". Den langsommere optagelse betyder, at den sene tildeling ikke kommer planten til gode i simuleringen. Med "Ny sort" –parameteriseringen er modellen altså ikke i stand til troværdigt at simulere sen N-gødsning. Der er to muligheder for at forbedre dette i fremtiden. Der bør arbejdes med mere detaljeret kalibrering af N-optagelsen over tid på basis af detaljerede målinger af N-indhold i plantens forskellige dele (hvilket ikke findes i landsforsøgsdataene). Desuden er der et behov for at undersøge, om beskrivelsen af plantens kvælstofbehov fra kernesætning og fremad kan forbedres. I øjeblikket reguleres N-optagelsen primært via rodprocesserne samt plantens generelle vækst, og det er sandsynligvis ikke detaljeret nok.

For de øvrige virkemidler mener vi imidlertid, at beregningerne er retvisende, og at projektet er lykkedes med at eftervise de observerede ændringer i proteinindhold samt udpege de områder i parameterisering og beskrivelser, som modellører skal være opmærksomme på i anvendelsen af Daisy-modellen i miljøvurderinger i fremtiden.

Indholdsfortegnelse

1	INTRODUKTION	1
1.1	Baggrund og Formål	1
1.2	Daisy-modellen	2
1.3	Benyttede omregninger	2
2	HVAD VED VI OM 1990 OG "NU"?	3
2.1	Strukturudvikling i landbruget	3
2.2	Arealanvendelse og udbytter	4
2.3	Sædskifter	6
2.3.1	Vinterraps	8
2.4	Gødningsnormer	9
2.5	Kvælstofdeposition	11
2.6	Sortsinformation	12
2.7	Udvikling i jordens organiske stof	14
2.8	Udvikling i klimaforhold i perioden	16
3	SEGES' GØDNINGSFORSØG	19
3.1	Vinterhvede	19
3.1.1	Sortsvurderinger	19
3.1.2	Tørstofproduktions-potentiale i vinterhvede	19
3.1.3	Opsplitning af datasæt	20
3.1.4	Udbytter og kvælstofindhold i udvalgt datasæt	23
3.1.5	Datasættene fra perioderne 1987-94 og 2010-15	26
3.1.6	Måltal for hvede	27
3.2	Vårbyg	32
3.2.1	Sortsvurderinger	32
3.2.2	Tørstofproduktion i vårbyg	32
3.2.3	Opsplitning af data	33

3.2.4	Måltal for vårbyg.....	37
4	SCENARIEBESKRIVELSER	39
4.1	Nedbør.....	39
4.2	Jord.....	39
4.3	Sædskifte, Gødning og Management	40
5	MODELÆNDRINGER, KALIBRERINGER OG ENDELIG SORTSBESKRIVELSE ..	42
5.1	Ny rodmodel	42
5.2	Denitrifikation	43
5.3	Vinterhvede.....	43
5.3.1	Initiel vækst	44
5.3.2	Udviklingshastighed	44
5.3.3	Rodvækst	44
5.3.4	Plantehøjde	45
5.3.5	Udbytte og høstindeks	45
5.3.6	Kvælstofoptag i rødderne	46
5.3.7	Kvælstofkoncentration i blade og stængler.....	46
5.3.8	Kvælstofkoncentration i kerne.....	47
5.4	Vårbyg.....	47
5.4.1	Initiel vækst	48
5.4.2	Udviklingshastighed	48
5.4.3	Bladarealudvikling.....	48
5.4.4	Udbytte og høstindeks	49
5.4.5	Rodvækst og kvælstofoptag i rødder	49
5.4.6	Kvælstofkoncentration i blade og stængler.....	49
5.4.7	Kvælstofkoncentration i kerne.....	49
6	ANALYSE AF RESULTATER.....	51
6.1	Vinterhvede 1990 og 2014/15 (i forhold til måltal)	51
6.2	Sammenligninger af sortseffekter 1990-2015.....	58
6.3	Sammenligning af gødningseffekter	60

6.4	Tidlig og rumlig fordeling af N-optagelsen.....	63
6.5	Effekt af sædskifte og jordtype	63
6.6	Vårbyg 1990 og 2015 (i forhold til måltal)	66
6.7	Sammenligninger af sortseffekter 1990-2015.....	67
6.8	Sammenligning af gødningseffekter	73
6.9	Effekt af organisk stof.....	75
6.10	Balance	75
6.11	Usikkerheder og sensitivitet.....	79
6.11.1	Sortsbeskrivelserne kan inkludere andre ændringer.....	79
6.11.2	Planternes udvikling over tid	79
6.11.3	Ændrede rodparametre	79
6.11.4	Valget af nedre randbetingelse	83
6.11.5	Scenarier med tilpasset vejr	83
6.11.6	Mindre og langsommere organisk stof.....	94
6.11.7	Andre usikkerheder	94
6.12	Samlet effekt af de undersøgte faktorer	96
7	YDERLIGERE SCENARIER	103
7.1	Ærter i stedet for vårbyg	103
7.2	En kraftigere efterafgrøde.....	104
7.3	Tredelt N-tildeling.....	104
7.4	Tidlig såning af vinterhvede	105
7.5	Ren ammoniumgødning.....	106
7.6	Kvæggylle i stedet for Svinegylle	106
7.7	Vinterhvede på jorde med meget organisk materiale	108
8	KONKLUSION.....	112

9 REFERENCER	114
APPENDIKS 1	117
APPENDIKS 2	121
APPENDIKS 3	125

1 Introduktion

1.1 Baggrund og Formål

En stor del af reguleringen af landbruget og noget rådgivning baserer sig på modelanalyser. De tilhørende økonomiberegninger baserer sig på, at modelberegningernes forudsigelser af udbytter, proteinindhold og udvaskning er korrekte. De sidste 10-15 år har vi set et faldende proteinindhold i korn, der ikke i tilstrækkelig grad er taget i betragtning i disse analyser. Projektets overordnede formål er at forbedre forståelsen og beskrivelsen af disse sammenhænge i Daisy-modellen (Hansen et al., 1990; Abrahamsen og Hansen, 2000) med henblik på bedre rådgivning og omkostnings-effektive virkemiddelanalyser.

Mere detaljeret er projektets formål 1) at undersøge om det faldende proteinindhold, der er observeret i dansk korn, kan forklares på basis af den eksisterende forståelse af de underliggende processer, som de er beskrevet i jord-plante-atmosfære-modellen "Daisy" og 2) at -hvis det ikke er tilfældet- undersøge modellens forudsætninger, procesbeskrivelser og parameterisering med henblik på at opnå en mere korrekt beskrivelse, der kan anvendes i vurderingen af virkemidler. Arbejdshypotesen er, at den observerede udvikling skyldes en blanding af faktorer, nemlig gødningsnormerne, faldende mineralisering, måske med en lidt anden tidlig fordeling af optagelsen, sædskifteplacering, temperaturforhold og efterafgrøder, men også ændring i sorter med hensyn til tørstofudbytte og kvælstofoptagelseeffektivitet. Hovedvægten i projektet er lagt på vinterhvede, men vårbyg er også inddraget i analysen.

Projektet bygger på eksisterende data. Således anvendes gødningsnorm-beskrivelser og litteratur-information om faktisk gødningsanvendelse, data fra SEGES' gødningsforsøg (vinterhvede og vårbyg), data fra Danmarks statistik (udbytter, arealanvendelse), overvågningsrapporter (kvælstofdeposition) og litteratur vedrørende udvikling i jordens organiske indhold af organisk stof (kvadratnetsdata), samt om trends i sortsudvikling. Vi har forsøgt at få så god dækning af data som muligt i perioden 1990 til "nu", defineret som vækstsæsonen 2014-15.

1.2 Daisy-modellen

Daisy-modellen er en mekanistisk model, der via et stort antal procesbeskrivelser, vejrdata og beskrivelse af management beregner udvikling i plantevæksten time for time som funktion af indstråling, temperatur, vandforhold og kvælstoftilgængelighed. Daisy beregner en fuld vandbalance (nedbør, fordampning, transpiration, afstrømning til grundvand og dræn og vandindholdet i jorden) og kvælstofbalance (tildelinger af N gennem gødning, deposition eller fixering, nitrifikation og denitrifikation, tab til grundvand og dræn, planteoptagelse, mineralisering/immobilisering af kvælstof i organisk stof i jorden og mineralsk og organisk kvælstof i jorden). I planten fordeles optaget kvælstof til plantens forskellige dele. Plantemateriale og tilhørende kvælstof, der ikke høstes, indgår i den organiske omsætning i jorden sammen med eventuel tildelt organisk materiale via forskellige organiske puljer. Modellen er dokumenteret i Hansen et al. (1990) og Abrahamsen og Hansen (2000), og er mere overordnet beskrevet i Hansen et al. (2012). På modellens hjemmeside (<http://daisy.ku.dk/about-daisy/>) er der adgang til publikationslister og udvalgt dokumentation, samt Daisy-Stå-bi'en (Styczen et al., 2005) og andet modelrelevant materiale.

1.3 Benyttede omregninger

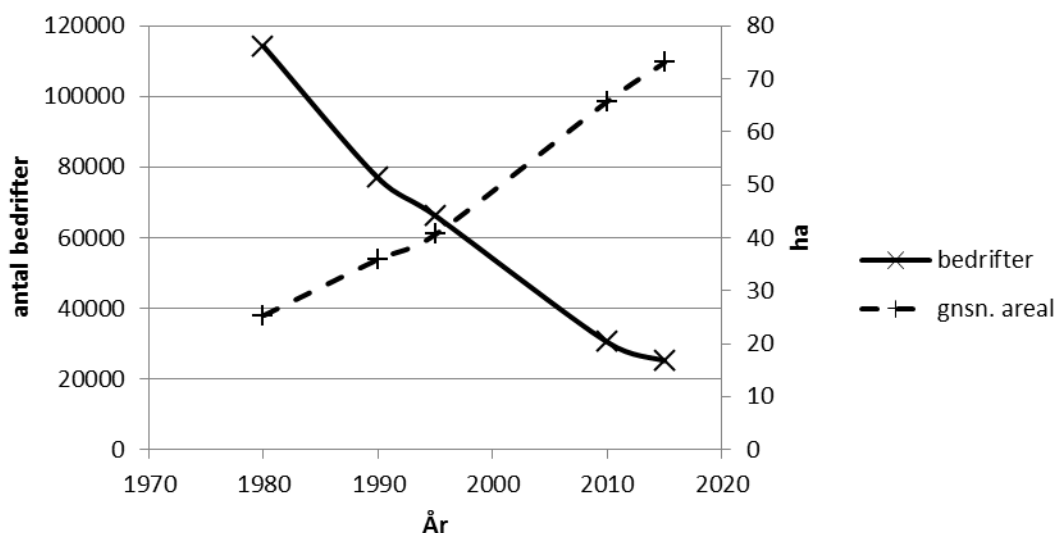
Udbyttet i alle markforsøg er omregnet til tørstof under antagelse af et vandindhold på 15 %. Alle kvælstofprocenter (N %) er angivet som procent af tørstof. I rapporten er konsekvent anvendt en omregningsfaktor på 6,25 mellem N % i kernetørstof og råprotein i tørstof, i både hvede og byg, som det er standard på EU-plan, når korn anvendes til foder.

I hvedeafregning til brødkorn og ved anvendelse af NIT-(Near infrared transmission) udstyr bruges i stedet en omregning fra N til råprotein med faktoren 5,7. Skal tallene i rapporten sammenlignes med dette, skal N-procenten i stedet ganges med 5,7 for at finde indholdet af råprotein i tørstof og ganges med 0,85 for at finde råproteinprocenten i høstet vare inklusiv 15 % vand.

2 Hvad ved vi om 1990 og ”nu”?

2.1 Strukturudvikling i landbruget

Den betydelige strukturudvikling, der er foregået i dansk landbrug siden 2. verdenskrig, har også sat sit præg på perioden 1990 til 2014/5. Som vist i Figur 1 er antallet af bedrifter nu ca. en tredjedel af antallet i 1990, og bedriftsstørrelsen er fordoblet. Det samlede landbrugsareal er faldet med ca. 5 % i perioden (Figur 4).

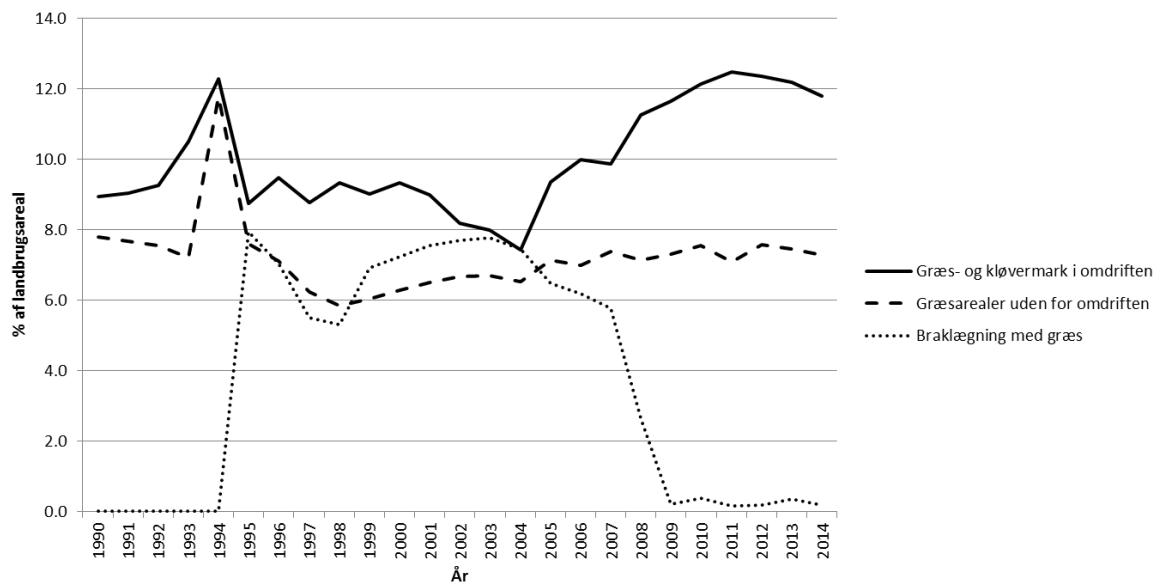


Figur 1. Udvikling i antal bedrifter og gennemsnitligt areal pr bedrift fra 1980 til 2015. Tal fra Kyed (2000) og Danmarks Statistik (2010 og-15).

Samtidigt er der sket en betydelig specialisering. Kærgård og Dalgaard (2014) angiver, at 68 % af bedrifterne havde både kvæg og svin i 1970. Dette tal var faldet til 18 % i 1990 og er i 2015 kun godt 1 % (Danmarks statistik). Bedrifter med kvæg (uden svin) udgjorde kun 5 % i 1970, men 28 % i 1990 og det samme i 2015. Bedrifter med svin (uden kvæg) udgjorde 16 % i 1970, 19 % i 1990 og knap 10 % i 2015.

Udviklingen er altså gået fra små, blandede brug til større, specialiserede planteavlsbrug eller dyrehold. Det har betydning for valg af sædskifte på de enkelte brugstyper, og ikke mindst på forekomsten af græs, der jo især knytter sig til kvægbrug. Hvor græs tidligere var repræsenteret på de fleste brug, findes det nu fortrinsvis på kvægbrugene. En væsentlig del af denne omlægning er sket inden 1990, men udviklingen er fortsat i perioden 1990-2015.

Forekomsten af forskellige former for græs på landbrugsarealet er vist i Figur 2. Andelen af græs i 1990 og 2015 synes at være nogenlunde den samme, men den geografiske fordeling er sandsynligvis ændret som følge af specialiseringen. Fra 1995-2007 var græsarealet øget på grund af et braklækningskrav.

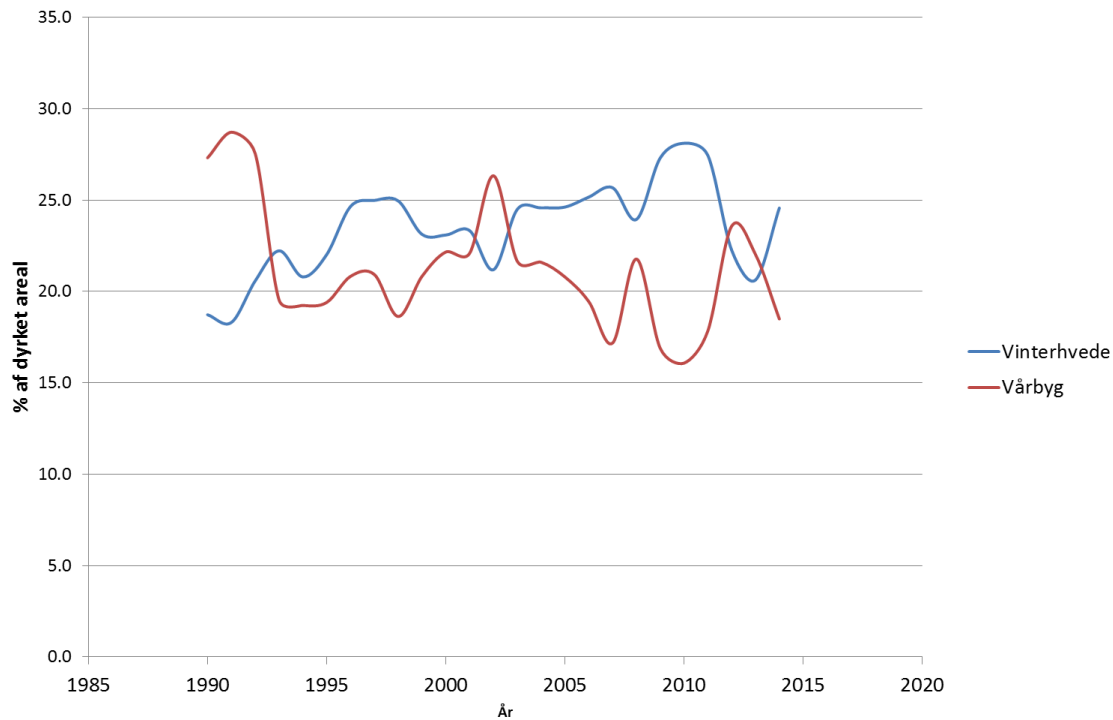


Figur 2. Andelen af græs på dyrkningsarealet i perioden 1990-2014 (tal fra Danmarks Statistik).

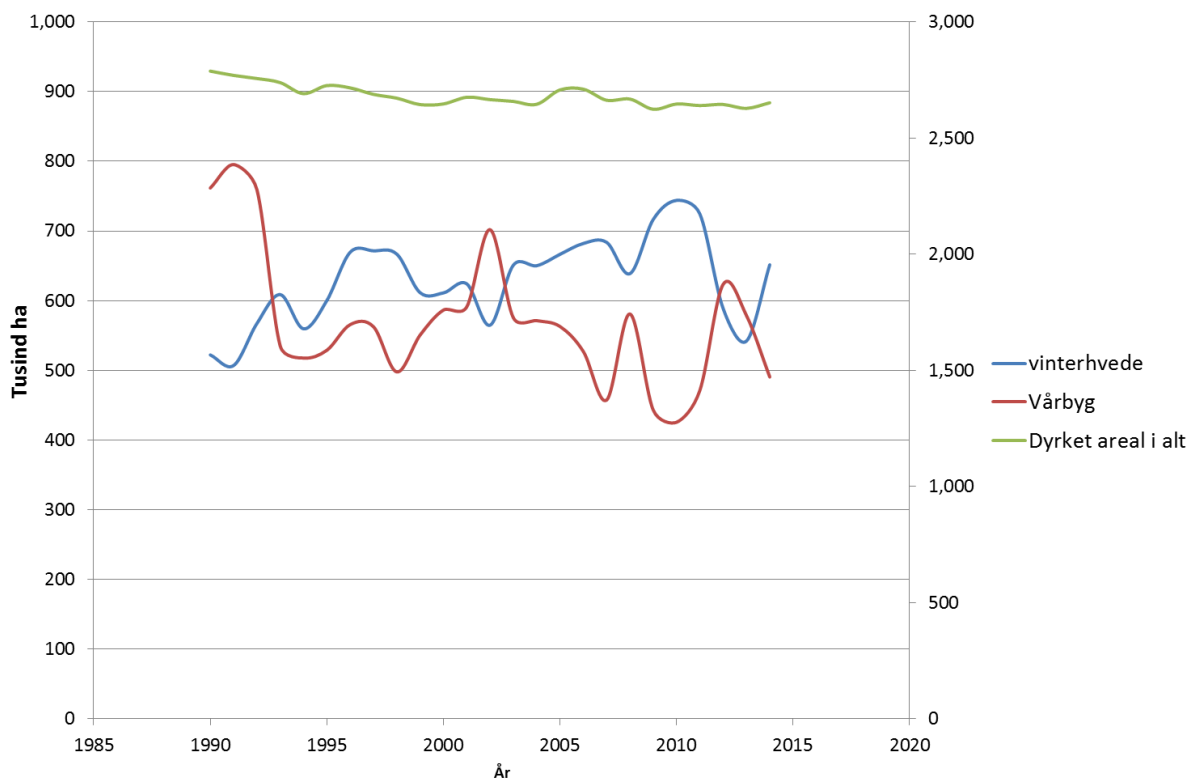
2.2 Arealanvendelse og udbytter

Data fra Danmarks Statistik viser et svagt stigende vinterhvedeareal på landsplan fra 1990 til 2010, hvorefter niveauet er nogenlunde konstant (Figur 3 og Figur 4). Vårbyg og vinterhvede synes til dels at komplementere hinanden. Inden den viste periode er der dog sket en markant udvikling i vinterhvedearealet, idet der i midten af 80'erne kun blev dyrket vinterhvede på omkring 12-13 % af dyrkningsarealet (Danmarks Statistik).

Vinterhvede blev i starten kun dyrket i Østdanmark på de mere lerholdige jorde, men dyrkes nu også i det vestlige Danmark på mere sandede jorde. I perioden 2006-15 var arealet med vinterhvede ca. 30 % på Sjælland, mellem 30 og 40 % på Fyn, mellem 30 og 35 % i Østjylland, mellem 20 og 25 % i Midtjylland, og mellem 10 og 15 % i Vestjylland. I Nordjylland er arealet faldet fra 25-30 % til 20-25 % i perioden og i Sydjylland fra ca. 20 til 15 %.



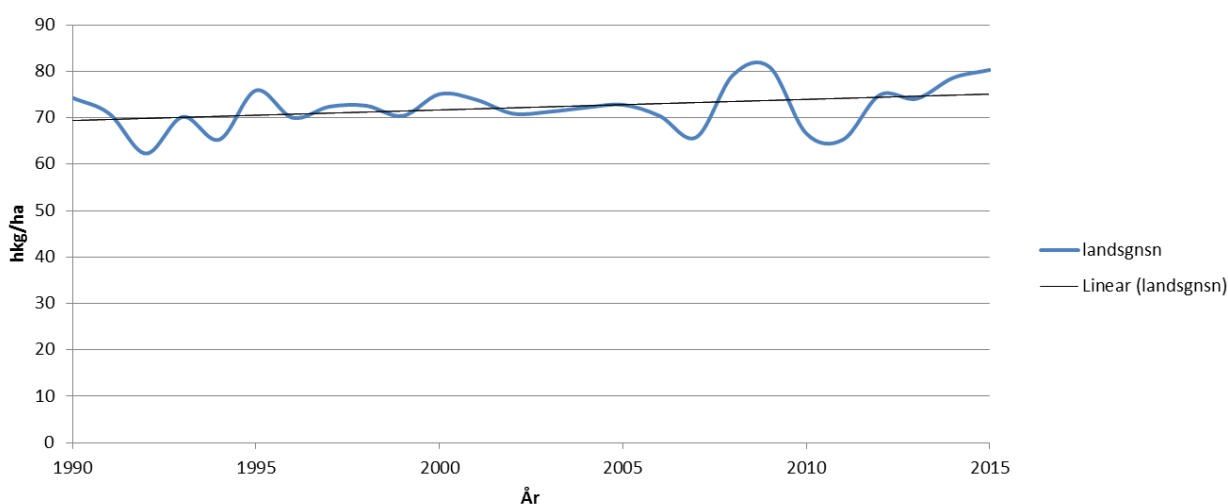
Figur 3. Procent af landbrugsareal dyrket med vinterhvede og vårbyg. Kilde: Danmarks Statistik.



Figur 4. Totalt dyrket areal samt vinterhvede- og vårbygarealet udtrykt i "1000 ha" i perioden 1990-2014. Det dyrkede areal skal aflæses på y-aksen til højre, mens kornarealerne skal aflæses på y-aksen til venstre. Kilde: Danmarks Statistik.

Mens hyppigheden af vinterhvede synes at være steget i begyndelsen af perioden og være nogenlunde konstant herefter, faldt hyppigheden af vårbyg i begyndelsen af perioden, hvorefter den har været nogenlunde konstant. De største procentvise forekomster af vårbyg er i Vestjylland, Midtjylland og på Sjælland, hvor det dækker omkring 25 % af arealet, mens det i resten af Danmark generelt ligger mellem 15 og 20 %.

De gennemsnitlige udbytter af vinterhvede (Danmarks Statistik) har været svagt stigende i perioden, med en (ikke signifikant) gennemsnitlig tilvækst på 0,17 hkg pr år (Figur 5).

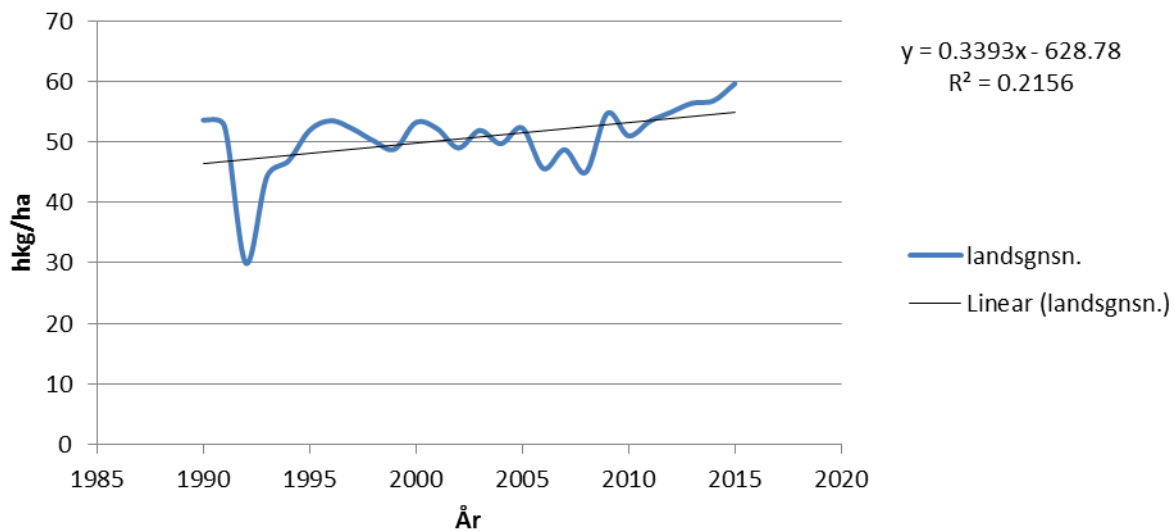


Figur 5. Gennemsnitligt udbytte i vinterhvede på landsplan fra 1990 til 2015. Danmarks Statistik.

Gennemsnitsudbytterne for vårbyg har været ret konstante i perioden (Figur 6). Den indsatte regression er meget påvirket af dårligt udbytte i 1992, og der synes basalt set ikke at være en trend i udbytterne før fra ca. 2010 og frem.

2.3 Sædskifter

Som vist i Figur 3, steg vinterhvedearealet i begyndelsen af perioden (1990-1996) med 6-7 procentpoint, men har derefter ligget ret konstant på ca. 25 % af det dyrkede areal. Størstedelen af vinterhveden findes på JB4, JB6 og JB7-jorde. På trods af at arealet har været stabilt i det meste af perioden, så er frekvensen af vinterhvedemarker i succession steget. Petersen et al. (2010) fandt på basis af kvadratnetsdata, at frekvensen af hvede efter hvede steg fra omkring 25 % i 1990 til omkring 60 % i 2008 (udtrykt som procent af alle forudgående afgrøder). En stor del af denne



Figur 6. Gennemsnitligt udbytte på landsplan i vårbyg fra 1990 til 2015. Danmarks Statistik.

stigning lå først i perioden, hvor vinterhvedearealet også steg, men stigningen er fortsat. Samtidigt har stramningerne i gødningslovgivning ført til, at flere hvedemarker modtager husdyrgødning. Samme forfattere fandt, at 10-35 % af markerne med vinterhvede efter vinterhvede modtog husdyrgødning i 1986-1990, mens det var 55-70 % mellem 2000 og 2008.

Sieling og Christen (2015) undersøgte effekter af vinterhvedes placering i sædskiftet og fandt i gennemsnit 10 % mindre udbytte, når vinterhvede placeres efter vinterhvede, sammenlignet med vinterhvede efter raps eller ærter, men med meget stor variation fra år til år. Andre forsøg i Sverige (Andersson, 1990) viste ikke så stor forskel. Siegling og Christen fandt, at udbytteforskellen var korreleret med vandbalancen i deres forsøg [i nærheden af Kiel, Schleswig-Holstein, med ca. 750 mm nedbør] fra maj-juli, sådan at jo mere positiv vandbalancen var, jo mindre var udbytteeffekten af forfrugten.

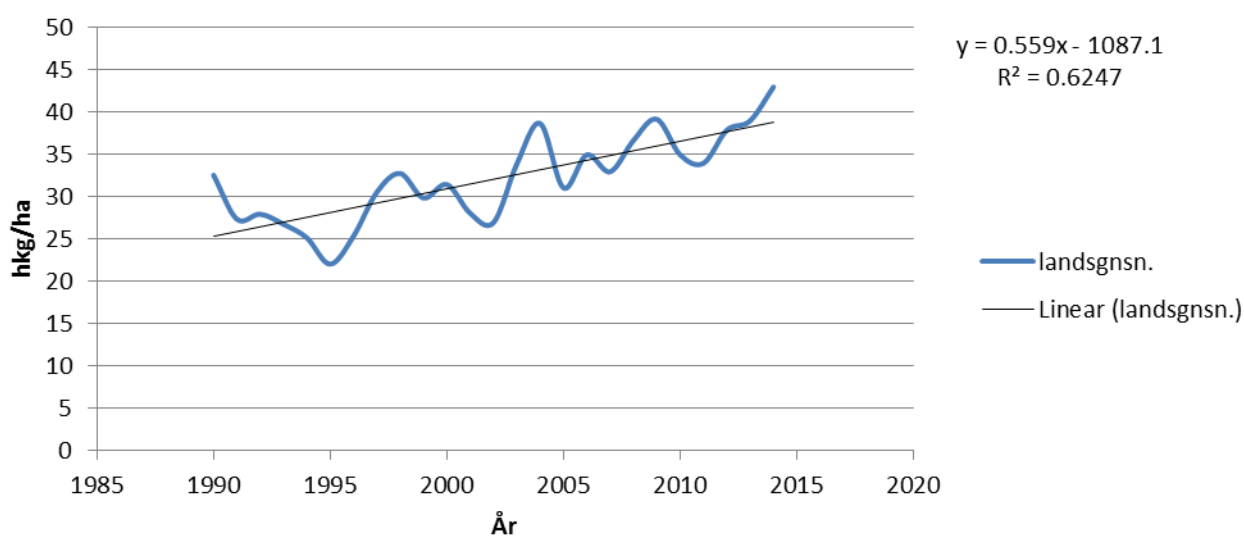
På baggrund af arealfordelinger og et ønske om i scenarierne at repræsentere både vårbyg og vinterhvede samt vinterhvede efter vinterhvede, vinterhvede efter en afgrøde med kortere rødder (vårbyg) og efter en afgrøde, der efterlader mere kvælstof, valgte vi at tage udgangspunkt i et sædskifte af typen:

Vårbyg – vinterhvede - vinterraps – vinterhvede - vinterhvede

Vægtningen af de forskellige kombinationer er foregået som efterbehandling. Af afgrøder i omdrift overgås vinterraps arealmæssigt kun af vinterhvede, vårbyg og græs- og kløvermarker.

2.3.1 Vinterraps

Tilstedeværelsen af vinterraps i sædskiftet gjorde det nødvendigt også at se på udviklingen i denne afgrøde over tid. Figur 7 viser, at der er en markant udvikling i udbytte over tid. Gennemsnitsudbytte viser ikke udbyttepotentialet. Sortsforsøg i 2015 gav i gennemsnit udbytter på 5,4 t/ha, og i andre forsøg er høstet op til 6,9 t/ha (Dresbøll et al., 2016). Der er en del spild ved høst, der måske er blevet mindre over tid.



Figur 7. Gennemsnitligt udbytte på landsplan i vinterraps fra 1990 til 2015. Danmarks Statistik. Hældningen på regressionsligningen er signifikant på 0,1%-niveauet.

Størstedelen af udbyttetigningen forventes at skulle tillægges et øget høstindeks, som sandsynligvis skyldes en blanding af mindre spild og større allokering af biomasse til kerner. Der er ikke tilgængelig information om ændring af proteinindhold i rapsfrø over tid, men med en forventning om, at olieindholdet måske er steget 3-4 % i perioden, må der forventes et lille fald. Alt andet lige, må den ret markante stigning i høstudbyttet, og dermed også høst af kvælstof, kunne påvirke eftervirkningen af raps negativt. Vinterrapsarealet har i perioden varieret op og ned mellem godt 7 og knap 3 procent på landsplan.

2.4 Gødningsnormer

Udviklingen i gødningsudbringning er vurderet på baggrund af gødningsnormer fra 1994-95 og frem, kvælstoftildelinger vurderet for Karup og Langvad-oplandene i 1988 (Storm et al., 1990), og beregninger af kvælstoftildelingen til vinterhvede på kvadratnetsmarkerne i perioden 1991-2000 og 2003-6 (Petersen og Knudsen, 2010). Vejledning om gødsknings-og harmoniregler fra 1994 og frem er stillet til rådighed af Carl Thalbitzer, NaturErhvervsstyrelsen, eller hentet fra NaturErhvervsstyrelsens hjemmeside.

De grundlæggende normværdier for 1994-95 for vinterhvede lå, afhængigt af forfrugt, i intervallet 140-180 kg N/ha. De 180 kg N/ha var for vinterhvede efter korn, mens vinterhvede efter raps lå på 155 kg N/ha. Normerne justeredes desuden efter geografisk område og jordtype, med højeste normer i Vestjylland og mindst på Lolland-Falster. Husdyrgødning indregnedes med 15-45 % førsteårs-virkning og 10 %'s andenårsvirkning, hvilket var en stigning på 10 % fra året før. Brødhvede modtog 30 kg ekstra. I perioden op til 2000 strammedes normerne især på sandjorde, og der indregnedes større forfrugtsværdier. Brødhvedetillægget var 18 kg N/ha på grovsandede jorde, 31 kg N/ha på lerjordene og 25 kg N/ha på resten af jorderne. Husdyrgødning indregnedes med 20-55 % første år og 10 % andet år.

Opgørelsen på kvadratnetsmarkerne, hvor vinterhvede primært befandt sig på JB4, 6 og 7-jorde, viste imidlertid en gennemsnitlig tilførsel af handelsgødning på handelsgødede marker på 182 kg N/ha i perioden 1991-2000, selv om <10 % var brødhvede. For de husdyrgødede vinterhvede-marker var gennemsnittet for N i husdyrgødning 158 kg N/ha + 102 kg N/ha i handelsgødning i perioden 1992-2000. Ifølge samme publikation var den tilførte handelsgødningsmængde til husdyrgødede marker endnu større i starten af perioden, nemlig med en 50 %-fraktil på ca. 150 kg N/ha i 1990, mens denne værdi svarer til 25 %-fraktilen i 1986 og 1987.

For perioden 2003-6 fandt Petersen og Knudsen (2010) en mediantildeling på 166 kg N/ha på handelsgødede vinterhvedemarker. Normerne for de jordtyper, der dominerer deres datasæt, lå mellem 153 og 179 kg N/ha uden brødhvedetillæg, så det stemmer godt overens med de aktuelle tildelinger. På daværende tidspunkt skulle husdyrgødning indregnes med 45-75 % første år, hvilket afspejler sig i mineralgødningsmængderne til husdyrgødede arealer. Medianværdier for gødnings-

tildeling på marker med husdyrgødning var i perioden 2001-6 faldet til 125 kg N/ha i husdyrgødning og 80 kg N i mineralsk gødning.

Mens husdyrgødningsudnyttelseskravene var uændrede i resten af perioden, blev normerne successivt strammet med 2014-15 som året med de laveste normer. Tildelingerne til en JB4, JB6 og JB7 var henholdsvis 138, 156 og 167 kg N/ha uden indregnet forfrugtsværdi, mens brødhvedenormerne lå 80-90 kg N/ha højere.

I simuleringerne er der taget udgangspunkt i forholdene omkring 1990, som de er dokumenteret i kvadratnetsdataene og i normerne for 2014-15, der repræsenterer de mindste normværdier i perioden. De valgte gødningsmængder til scenarierne er vist i Tabel 1. Især i sidste periode ligger der en usikkerhed i, at landmændene kan omfordele kvælstof mellem afgrøder inden for den samlede norm.

I Appendiks 1 er gødningsnormer fra 1994-95 og 2014-15 sammenlignet med og uden korrektion for udbytt niveau. For vinterhvede fremgår det, at tages der ikke hensyn til denne korrektion, så er normen på sandjord reduceret betydeligt. Med korrektionen indregnet er den absolutte ændring i N-tildeling mindre. Reduktionen i tildeling på JB 1-3, 4 og 6 er på nogenlunde samme niveau, mens reduktionen på JB 7 er mindre. Udviklingen i gødningsnormer for vårbyg er mindre dramatisk. Der er et markant fald i normerne for sandjord, men mindre ændringer på JB6 og en øget norm på JB7. Da vinterraps indgår i det valgte sædskifte, er gødningsnormerne for raps også analyseret. I absolutte tal er normerne i 2014-15 væsentligt lavere på sandjord end på lerjord, men når der korrigeres for udbytt niveau, er reduktionen størst på lerjord, nemlig 34-38 kg N/ha.

Tildelingen af husdyrgødning er siden midt-90'erne foregået som forårstildeling af gylle i vinterhvede. Petersen et al. (2010) estimerede et udbyttetab på 1,2 hkg/ha siden 1990 som følge af kørsel med gylletanke i foråret. Dette kan der ikke tages højde for i modelberegningerne. Der er dog indregnet større ammoniakfordamning fra organisk gødning i 1990 end i 2014 (se kap 4.3).

Tabel 1. Gødningsmængder udvalgt til at repræsentere situationen i 1990 og i 2014-15. Værdierne for 1990 er udvalgt på basis af (Petersen og Knudsen, 2010), mens værdierne for 2014-15 svarer til normværdierne for året. ff-værdi af efterafgrøde før vårbyg i 2014/15 er sat til 17 kg.

	Vårbyg	Vinterhv	ViRaps	ff-værdi	Vinterhv	Vinterhv	Gnsn. for Vinterhv
1990	Mineralsk gødning, kg N/ha						
JB4							
Sj-Fyn-NØJ	125	190	200		165	190	182
JB6+7							
Sj-Fyn-NØJ	115	187	200		172	187	182
	Med Husdyrgødning, kg N/ha og mineralgødning						
I svinegylle	158	158	158		158	158	
I handelsgdn.							
JB4 min.	38,1	150	113,1		150	150	
JB6+7	28.1	150	113.1		150	150	
2014/15	Mineralsk gødning, kg N/ha						
JB4	93	138	175	9	129	138	135
JB6	99	156	181	9	147	156	153
JB7	112	167	183	9	158	167	164
	Med Husdyrgødning, kg N/ha og mineralgødning						
I svinegylle							
JB4	124	125	125		125	125	
JB6	132	120	124		124	125	
JB7	123	127	124		125	126	
I handelsgdn.							
JB4	0	44	81		35.25	44	
JB6	0	66	88		54	62.25	
JB7	20	72	90		64	72.25	

2.5 Kvælstofdeposition

Ændringen i deposition er estimeret på basis af landovervågningsrapporterne. Depositionen i 1990 er sat til ca. 21 kg N/ha, mens depositionen på landsplan i 2014 var 15 kg N/ha i gennemsnit.

Fordelingen af depositionen på komponenter er for 1990-værdierne foretaget efter forskrifterne i Styczen et al. (2005), mens tør- og våddeposition er opgivet separat i de nyere rapporter. Værdierne anvendt i modelleringen er angivet i Tabel 2.

Tabel 2. Opsplitning af deposition. Grunddata for total deposition, samt målt våd- og tørdeposition stammer fra Ellermann et al. (2015).

	Total deposition, kg N/ha	Estimeret våddeposition Kg N/ha	Estimeret Tørdeposition Kg N/ha	Heraf amm. (60 %) Kg N/ha	Heraf NOx (40 %) Kg N/ha
1990	21	12,6	8,4	5,04	3,36
	Nedbør, mm	575			
	Amm, mg/l	1,01			
	Nitrat, mg/l	1,01			
		Målt våddeposition	Målt tørdeposition		
2014	15	8,3	6,7	4,02	2,68
	Nedbør, mm	818,2			
	Amm, mg/l	0,51			
	Nitrat, mg/l	0,51			

2.6 Sortsinformation

Den generelle udvikling i vinterhvede over tid er beskrevet af Haastrup et al. (2010). Han finder, at de vigtigste forædlingselementer i vinterhveden er:

1. Indførsel af dværggener i 1987/88, hvor man gik fra høje til meget lave sorter,
2. Større fokus på sorter med større rodmasse i 1990'erne som følge af ønske om bedre næringsstof- og vandhusholdning. Dette førte til mere vegetativ biomasse og højere sorter, der også syntes at være mere Septoria-resistente. Sorten Ritmo, der dominerede markedet sidst i 90'erne, havde en større grad af buskning.
3. Efter fremkomst af nye fungicider i 1998 var der mulighed for at udnytte en lidt længere kornfyldningsperiode.

Sorterne er udviklet under de begrænsninger, som lovgivningen har sat på gødningstilførslen. Alligevel synes der at være en stigning i udbytte pr. år på grund af forædling i perioden 1990-2008, estimeret ud fra sortsforsøg. Stigningen estimeres til ca. 51 kg årligt i gennemsnit over 30 år (0,5 %) (Tybirk, 2012). I forhold til sorten Ritmo fra 1993 er stigningen dog mindre (24 kg eller 0,23 % i sidste del af perioden). Udnyttelsen af de nye sorter synes at være steget, idet kun 50 % af den vinterhvedeudsæd, der blev solgt i 2002 var fra sorter, der havde bedst resultater i sortsafprøvningen året før, mens det var steget til mere end 90 % i 2006. Desuden er andelen af topsorter fra danske

forædlere (der giver mindst forholdstal 100 i forhold til målesorten) steget over perioden, men mest markant fra 2005 og frem. De nye sorter er udviklet til at præstere med begrænset kvælstofildeling.

Væрге (2015) fandt lidt andre tal for stigningen i udbyttene end Thybirk (2012): Hun estimerede en udbyttestigning på ca. 20 hkg/ha i målesortsblandingen fra 1984-2014 eller ca. 0,65 hkg/ha/år, eller 0,56 hkg/ha/år fra 1990 og frem. Ifølge Væрге (2015) har der siden 2000 ikke været en signifikant udbyttestigning i målesortsblandingen, hvilket indikerer en stagnation i udbytterne. For udvalgte sorter er udbyttene på hhv. JB5-8 og JB2+4 undersøgt i perioden 1999-2012. Hun fandt, at udbyttet er 8-10 % højere på de mere lerede jorde i gennemsnit over de 13 år.

Tybirk (2012) sammenlignede også proteinindholdet i sorter optaget på sortlisten i 1980 (2), 1993-4 (3) og 2004-6 (2) i forsøg i 2009-10 (samt nogle af sorterne i 2011). I 2009 var proteinindholdet 10,6-10,8 % i sorter fra 1980, 10,1 (Ritmo), 10,3 og 10,6 % i sorter fra 1993-4 og 9,7-9,9 % i sorter fra 2004-6, hvilket indikerer et fald på ca. en procent fra 1980 til ca. 2010, hvor de nyeste sorter stadig er i brug. Denne forskel kan tillægges sorterne alene og svarer til ca. 1,2 % mindre protein i tørstof. Faldet virker nogenlunde jævnt fordelt over perioden, når alle sorterne fra 1993-4 medregnes, men Ritmo, der blev en populær sort, lå lavere end de andre. For sorterne Ritmo og Ambition sås et fald i råproteinindhold fra 1995 til 2011 på 0,7 % (8,82 % i tørstof), som ifølge Thybirk (2012) skyldes den ændrede gødningstildeling. Thybirk konkluderede, at de nye sorter producerer mere tørstof og optager mere kvælstof, men at dette ikke fuldt ud kompenserer for det lavere gødningsniveau.

Væрге (2015) analyserede proteinindholdet i målesortsblandingen i sortsforsøgene fra 1995 til 2014 og fandt et fald fra ca. 10,8 % råprotein i tørstof i 1995-7 til 9,6 % protein i 2012-14, i alt 1,2 % protein. Faldet afspejler både en ændring i sorter og i forsøgsforhold over perioden.

Omsætningsfaktoren mellem kvælstofprocent og råprotein er ikke angivet i publikationen.

Observationerne fra sortsforsøgene er forsøgt efterprøvet via data fra SEGES' gødningsforsøg, se kap. 3. Med hensyn til udvikling i plantefysiologi som sådant er der færre data til rådighed.

Rodudvikling i vinterhvede er undersøgt i forskellige PhD-studier (Irene Skovby Rasmussen og Nanna K. Ytting), men ikke med fokus på forskelle mellem gamle og nye sorter som sådant.

Rasmussen et al. (2015) fandt en dybere rodudvikling inden vinter for tidligt sået vinterhvede, og

der fandtes indikationer af sortsforskelle i rodudvikling. Hereford (dansk sort fra 2006), udviste tendens til dybere rodudvikling og flere rødder end andre af de testede sorter. Roddybden var ikke påvirket af kvælstofniveau, men roddensiteten var (den steg op til et N-niveau på 150 kg N/ha), og påvirkningen var størst under 0,5 m's dybde. Ytting et al. (2014) og Ytting (2015) fandt en sammenhæng mellem roddensiteten i underjorden og skudstørrelse. Hun fandt også, at lave kvælstofniveauer i underjorden (< 3 mg N/kg jord) kan være en begrænsende faktor for rodvækst og effektiv vandudnyttelse i de dybe jordlag, idet roddensiteten var reduceret med 42 % ved lavt N-niveau. Ytting målte forskelle i væksthastighed for rødder fra 1,38 mm °C⁻¹ dag⁻¹ til 2,07 mm °C⁻¹ dag⁻¹, med højest hastigheder for dansk-udviklede sorter. Hun fandt desuden, at mens indholdet af kvælstof i skuddene var afhængige af forsøgsforholdene, syntes kvælstofprocenten i skud at være sortsafhængig.

Ingen af publikationerne forholder sig specifikt til udviklingen i høstindeks i danske sorter i perioden, men sorten Hereford har i Rasmussen et al. (2015) et HI på ca 55, hvilket er noget større end for de sorter, Daisy's vinterhvedemodel oprindeligt blev kalibreret til i 1990.

2.7 Udvikling i jordens organiske stof

Udviklingen i organisk stof på i landbrugsjord fra 1986 til 2009 er undersøgt af Taghizadeh-Toosi et al. (2014). Der er opgjort ændringer for perioderne 1986-1997 og 1997-2009. I første periode blev der målt en tilvækst i det organiske indhold i 0-50 cm's dybde på grovsandede (JB1), finsandede (JB2) og lerblandede sandjorde (JB3 og 4), mens de mere lerede jorde (JB6 og 7) viste et fald i organisk indhold. I anden del af perioden udviste alle jordtyper et fald, der dog var ubetydeligt for finsandede jorde. Ændringerne i 25-50 cm's dybde var større end i 0-25 cm's dybde, hvor de ikke var signifikante. Det gennemsnitlige tab af kulstof (C) i 0-50 cm's dybde fra JB7-jordene var 0,86 t C/ha/år og 0,32 t C/ha/år for JB 5/6, set over hele perioden. Med et C/N-forhold på 10-12, svarer dette til en årlig frigivelse af kvælstof på 72-86 i en JB7 og 27-32 kg N i en JB6. De sandede jordes indhold af C steg med nogenlunde det samme, som JB6-jordenes indhold faldt.

I begyndelsen af perioden er C-indholdet i JB7-jorden sat til ca. 110 t/ha, og regnes med de i artiklen opgivne volumenvægte, fås en C % på 1,42. Faldet i organisk stof over perioden svarer til knap 20 t eller ca. 18 %. Det betyder, at jordens kulstofindhold er faldet til ca. 1,16 % i 2009. Dette burde have en effekt på baggrundsmineraliseringen. For JB6-jorden er C-indholdet vurderet til ca.

90 t/ha i begyndelsen af perioden, og faldet over 23 år er ca. 8 %. Det vil sige, at jordens kulstofindhold er reduceret fra ca. 1,1 % til ca. 1,0 % i perioden.

Taghizadeh-Toosi et al. (2014) fandt også ændringer mellem 50 og 100 cm's dybde. Disse var positive for de sandede jorde og negative for lerjordene. På JB7-jordene var det gennemsnitlige fald på 0,38 t C/ha/år og omkring 0,1 t C/ha/år på JB6, mens stigningen på de sandede jorde var i størrelsesordenen 0,2 t C/ha/år. Et fald på 0,38 t C/ha/år vil, med sammen C/N-forhold som ovenfor, svare til frigivelse af 32-38 kg N/ha/år.

Ændringerne i jordens kulstof-pulje kan ikke umiddelbart omsættes til ændringer i tilgængeligt N på markerne, men da der på de fleste jordtyper er sket et fald i puljens størrelse i sidste undersøgelsesperiode, tyder det på, at mængden af kulstof, der tilføres, er blevet mindre, og dermed kan puljens størrelse ikke vedligeholdes. En mindre tilførsel og en mindre pulje vil på sigt også føre til mindre mineralisering, der er til rådighed for planterne.

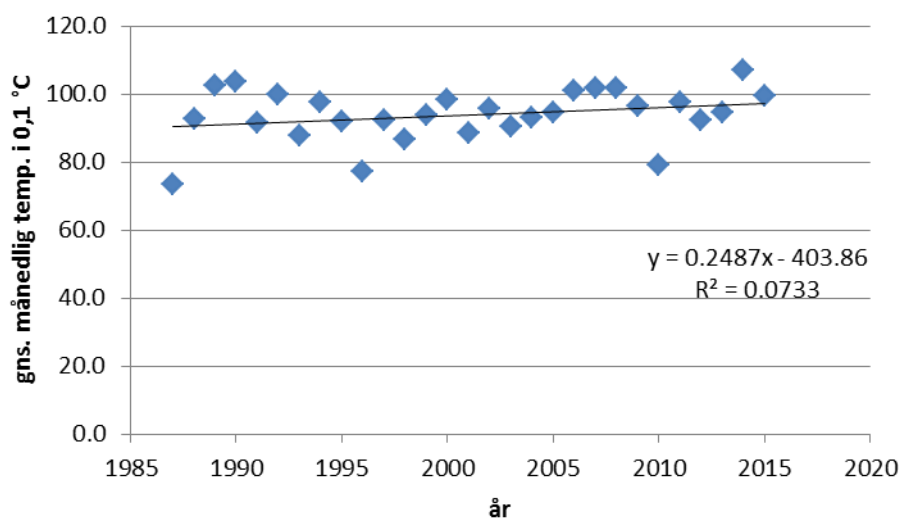
I alle dybder var der en signifikant sammenhæng mellem organisk C-indhold og jordtype. Græs og efterafgrøder, nedmuldning af halm og anvendelse af kogødning havde alle en positiv signifikant indflydelse på det organiske indhold i de øverste 25 cm af jorden. For 25-50 cm's dybde fandtes der kun signifikant effekt af jordtype og græs, og under 50 cm's dybde var kun jordtypen signifikant. Ændringer i landbrugsstrukturen, der over tid har ført til koncentration af kvægbrug og græs på de mere sandede jorde, træder tydeligt igennem i datasættet, og det forventes, at tallene kan give en indikation af ændringerne i baggrundsmineralisering.

Knudsen (2015) beregnede på basis af gødningsforsøgene for vinterhvede, hvor stor en kvælstoffrigørelse fra jorden, optagelsen af kvælstof i de ugødede parceller svarede til i perioden 1990-2014. Det er gjort ved at beregne marginaloptagelsen ved niveauerne 0, 50 og 100 kg N/ha, og dividere dette tal op i optagelsen af N i den ugødede parcel. Resultatet viste et fald i kvælstoffrigørelse på 1,37 kg N/år (signifikant på 1 %-niveau). Der er dog ikke taget hensyn til faldende kvælstofdeposition i beregningen. N_{\min} -indholdet er faldet med 0,62 kg N/ha/år, dvs. ca. halvdelen af den totale ændring i kvælstoffrigørelsen. Ændringen i N_{\min} -niveau er også dokumenteret for kvadratnetpunkterne (Østergaard, 2012). For Sjælland og Lolland-Falster er der tale om cirka en halveringen af N_{\min} -niveau fra 1990-92 til 2009-11.

Ændringen i N-frigørelse fra jorden er ikke kun afhængig af baggrundsmineraliseringen. Den vil være afhængig af størrelsen og kvaliteten af den organiske pulje i jorden, hvorfra kvælstof frigives, og denne vil påvirkes af gødningsniveau og sædskiftet. Forekomsten af græs og bælplanter i sædskiftet vil, for eksempel, være af betydning. Tilførsel af kvælstoffattigt materiale som halm kan også påvirke kvælstoffrigivelsen. Marginaloptagelsen kan, ud over kvælstofniveauet i jorden, også være afhængig af ændret høstindeks som følge af forædling.

2.8 Udvikling i klimaforhold i perioden

Det har været foreslået, at vejret kunne have indflydelse på faldet i proteinindhold i kerne. Der er derfor gennemført en analyse på basis af data fra 1987 til 2015 (Cappelen, 2016) af gennemsnits-temperatur og nedbør. Analysen viser en svag, ikke signifikant stigning i den gennemsnitlige månedlige temperatur på ca. 0,55 °C over 22 år (mellem de undersøgte perioders ”midtpunkter”).

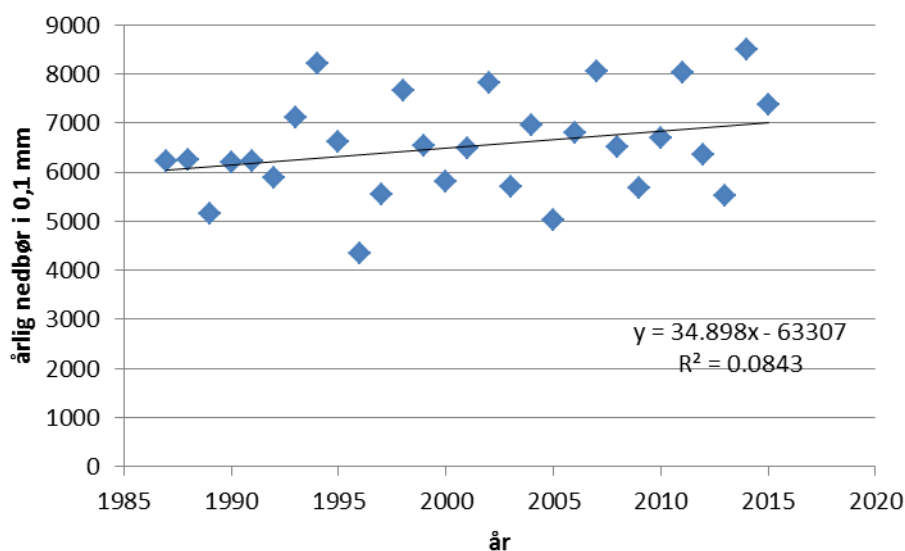


Figur 8. Gennemsnitlig månedstemperatur fra 1991 til 2015 på basis af data fra Cappelen (2016) og Cappelen (2005) for København (Station 6186). Stigningen er ikke signifikant.

Stigningen er dog meget ujævt fordelt over året. I januar og februar har temperaturen været svagt faldende, i marts og april svagt stigende, og i maj-juni er der stort set ingen udvikling. Fra juli til november har temperaturen været stigende. Kun i november måned er stigningen signifikant (1%-niveau). Temperaturforholdene synes derfor primært at kunne være relevante for vinterhvedens udvikling i efteråret, men der kan også være en effekt af en lidt varmere marts-april.

Tabel 3. Gennemsnitlig månedstemperatur i perioden 1987-94 og 2010-15 (NB: grunddata i °C*10). Desuden er forskellen på de to datasæt beregnet, og ændringen over 22 år (forskul mellem seriernes "midtpunkter") er beregnet på grundlag af regressioner på datasættet fra 1987-2015. Data fra Cappelen (2016) og Cappelen (2005) for København (Station 6186).

	Gnsn. 1987-94 °C*10	Gnsn. 2010-15 °C*10	Forskel, °C	Forskel, °C, baseret på regression
Jan	25	11	-1,5	-0,3
Feb	23	10	-1,3	-1,0
Mar	40	43	0,3	0,7
Apr	79	86	0,7	1,0
Maj	131	125	-0,6	0,0
Juni	159	156	-0,3	0,0
Juli	182	189	0,7	1,1
Aug	171	178	0,7	0,7
Sep	136	143	0,7	1,0
Okt	93	104	1,1	0,7
Nov	51	67	1,6	2,1
Dec	35	31	-0,5	0,6
Gennemsnit	94	95	0,1	0,5



Figur 9. Årsnedbør fra 1991 til 2015 på basis af data fra Cappelen, (2016) og Cappelen (2005) for København (Station 6186). Stigningen er ikke signifikant.

Der er også en svag, ikke signifikant stigning i nedbøren på 77 mm/år over de 22 år fra mellem ”midtpunkterne” i de to dataserier, men det er vanskeligt at se klare trends. Januar har været vådere, mens februar, marts og april har været mere tørre og maj vådere i sidste periode. Nedbøren i juni er uændret og regressionen i juli måned er stærkt påvirket af nedbøren i juli 2011. Uden denne ene observation, var nedbøren faldet. Det passer med forventningen om et generelt mere tørt regime men med større enkelthændelser. Nedbøren synes at vise et mere systematisk (men stadig ikke signifikant) positivt trend i august, mens der er et fald i september (signifikans mellem 5 og 10 %). Der er små, ikke signifikante stigninger i oktober-december. Det overordnede billede er derfor, at oktober til december i gennemsnit er blevet en smule varmere og vådere. Det synes altså at være to perioder, der kan være interessante, nemlig den vegetative fase inden vernalisering, og en lidt varmere og mere tør marts-april.

Tabel 4. Gennemsnitlig akkumuleret månedlig nedbør i perioden 1987-94 og 2010-15 (NB: grunddata i mm*10). Desuden er forskellen på de to datasæt beregnet på grundlag af standardkorrektioner, og ændringen over 22 år (forskel mellem seriernes ”midtpunkter”) er beregnet på grundlag af regressioner på datasættet fra 1987-2015. Data fra Cappelen (2016) og Cappelen (2005) for København (Station 6186).

	Gnsn. 1987-94 mm*10	Gnsn. 2010-15 mm*10	Korre- tion	Korr. Gnsn. 1987-94	Korr. Gnsn. 2010-15	Forskel, mm	forhold	Forskel, mm, baseret på regression
Jan	527	613	1,41	743	864	12	1,16	13
Feb	355	319	1,42	504	453	-5	0,90	-3
Mar	400	289	1,35	540	390	-15	0,72	-6
Apr	331	267	1,24	410	331	-8	0,81	-8
Maj	262	481	1,13	296	543	25	1,83	16
Juni	581	582	1,11	645	645	0	1,00	-1
Juli	620	767	1,1	682	844	16	1,24	15*
Aug	662	1063	1,1	728	1169	44	1,61	41
Sep	929	601	1,11	1031	667	-36	0,65	-34
Okt	523	682	1,14	596	777	18	1,30	15
Nov	633	698	1,23	779	858	8	1,10	11
Dec	580	720	1,37	794	987	19	1,24	18
År	6404	7080		7750	8528	78	1,10	77

*regressionen er afhængig af et enkelt punkt (2011). Uden dette ville resultatet være -11 mm.

3 SEGES' Gødningsforsøg

SEGES' gødningsforsøg (SEGES, 1987-2016) for vinterhvede og vårbyg fra perioden 1987- 2015, i alt henholdsvis 975 og 586 forsøg, har dannet grundlag for de følgende analyser. Det skal bemærkes, at der ikke er detaljeret information om jordforhold og nedbør knyttet til forsøgene, men dog for de fleste observationer information om JB-nummer, og om underjorden er leret eller sandet. Desuden er forbrug og anvendelse af husdyrgødning i de seneste 5 år beskrevet for de fleste forsøg. Imidlertid er data fra begyndelsen af perioden dårligere dokumenteret end for de senere år.

3.1 Vinterhvede

3.1.1 Sortsvurderinger

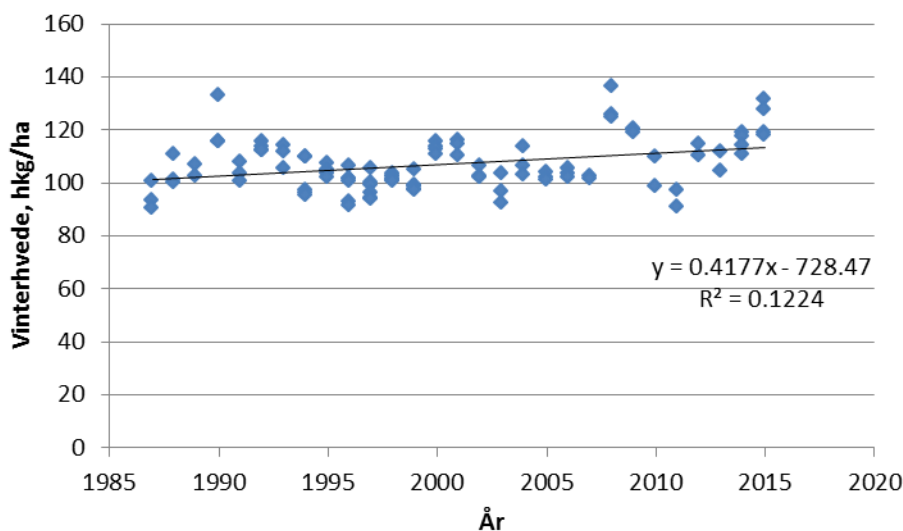
Vi forsøgte først at arbejde med sorter ud fra beskrivelser af sortsforsøg (Værges et al., 2015; Haastrup et al., 2010, Tybirk, 2012) og gødningsforsøg (SEGES), hvor sorterne er angivet. Da der er en ret stor udskiftning i sortsvalget over tid, og da der er variation i vejr, forsøgssteder og andre forsøgsomstændigheder, var dette imidlertid ikke særligt anvendeligt. Vi var derfor nødt til i stedet at se på udviklingen i vinterhvede generelt over tid, dvs. uden at parameterisere enkelte sorter.

3.1.2 Tørstofproduktions-potentiale i vinterhvede

Til vurdering af det maksimale udbyttepotentiale udvalgte i hvert enkelt år de forsøg, der repræsenterede de bedste 10 % med hensyn til det maksimalt opnåede udbytte, uanset gødningsniveau. Disse er vist i Figur 10. Vi antog, at udbytterne i disse forsøg primært er begrænset af vand og fotosyntese. Der er en signifikant stigning i udbytterne på ca. 0,42 hkg/ha/år, hvilket er ca. 2,4 gange mere end hvad der er set i landsstatistikken, men stort set det samme niveau, som Tybirk (2012) fandt ved sammenligning af sorter udviklet i 1980, 1993-4 og 2004-6 (51 kg/år over 30 år, 24 kg/ha fra Ritmo og frem) og lidt mindre end Værges (2015) estimat for 1990 og frem (56 kg/ha/år).

Det skal bemærkes, at udbytterne i Landsforsøgene generelt er højere end hvad der ses i landsstatistikken (nuværende niveau ca. 70 til 90 hkg/ha i gennemsnit for landsdele og regioner, Figur 5). Det skyldes ifg. Petersen et al. (2010), at forsøgslokaliteterne er forskubbet mod de mere lerholdige jorder, og derfor ikke svarer til de gennemsnitlige forhold på landsplan, og at de maksimalt opnåede udbytter i forsøgene kan være gødet over normen.

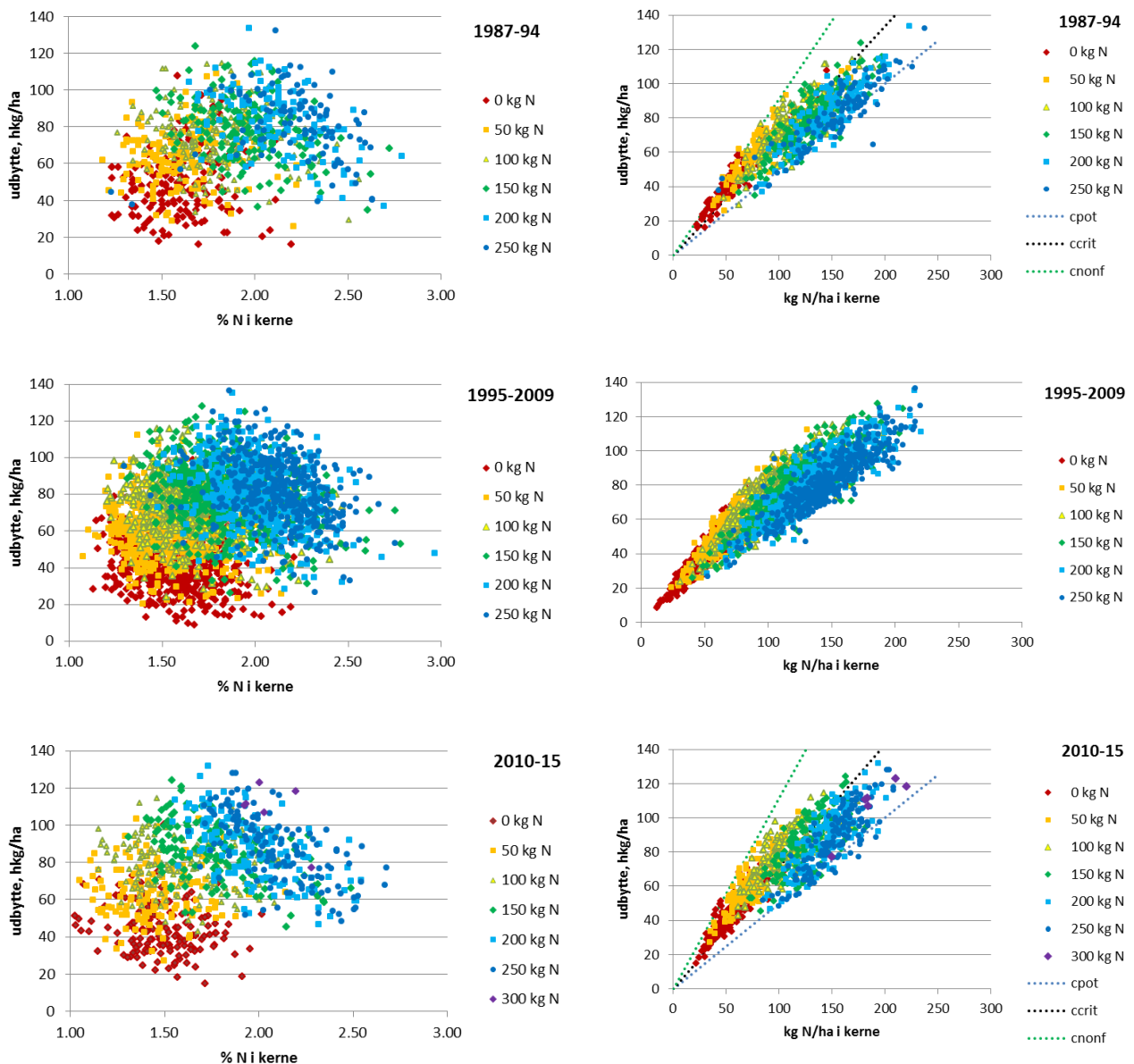
Figur 11 viser resultater fra alle gødningsforsøg med kvælstofanalyser. Forsøgene er delt op i 3 perioder, og udbyttet er plottet dels mod høstet N i kerne og dels mod % N i kerne. Det fremgår af punktsværmene, at der synes at være en nedre grænse for koncentrationen i kerne, der er flyttet mod 1 % i den analyserede periode. Det er den mest markante ændring i perioden. Desuden er der lidt flere tilfælde af udbytter over 120 hkg/ha i de nyeste data end i data fra 1987-94.



Figur 10. De højeste 10 % udbytter i gødningsforsøgene for de enkelte år. Hældningen og skæring med y-aksen er signifikante på 0,1%-niveau (n=101).

3.1.3 Opsplitning af datasæt

Dernæst var der behov for at identificere de forsøg, der bedst svarer til de forhold, vi kan undersøge i modelberegninger, og som vi derfor kunne anvende til at kalibrere fiktive modelsorter på. Det oprindelige datasæt blev først rensset for gødningsforsøg, der manglede kvælstofanalyser (tilbage: 899 forsøg). Ved gennemgang af datasættet fremgik det, at der syntes at være en sammenhæng mellem høstet N i ugødede parceller og det maksimalt opnåede udbytte. Desuden var der en tendens til, at mængden af kvælstof høstet i de ugødede parceller var større i de første år af den undersøgte periode (Figur 12). De forhold, som de maksimale udbytter er opnået under i begyndelsen af perioden, er derfor ikke de samme som senere i perioden. For at opnå større sammenlignelighed mellem forsøgene, udvalgte et sæt (D1, 602 forsøg), hvor kvælstofoptagelsen i det ugødede plot var mindre end 65 kg N/ha. Figur 13 viser, at lidt færre af gødningsforsøgene i første del af perioden faldt i denne gruppe, mens det fra ca. 1994 og frem udgør ca. 70 % af det originale

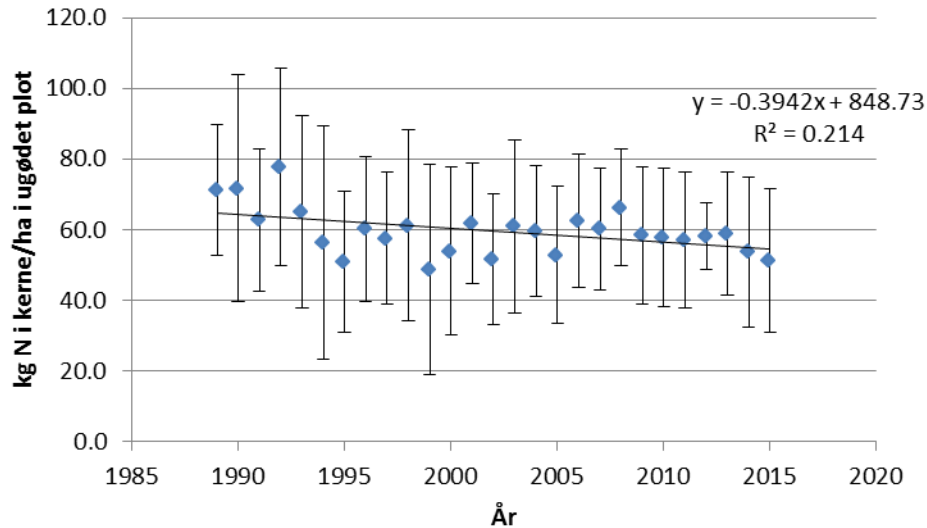


Figur 11. Alle datasæt for vinterhvedeforsøgene med målt N-indhold i kerne (899 forsøgsserier) plottet på to måder for perioderne 1987-94, 1995-2009 og 2010-15. I venstre kolonne fremgår det, at minimumskoncentrationerne rykker mod 1 % i nyere sorter. Til højre er forsøgt indsat linjer, der definerer den nedre grænse for N-koncentrationer (C_{nonf}), en kritisk koncentration (C_{crit}), over hvilken, tørstofudbyttet ikke stiger og en maksimal koncentration, der driver N-optagelse (C_{pot}). Værdierne kunne imidlertid ikke bruges direkte i modelleringen.

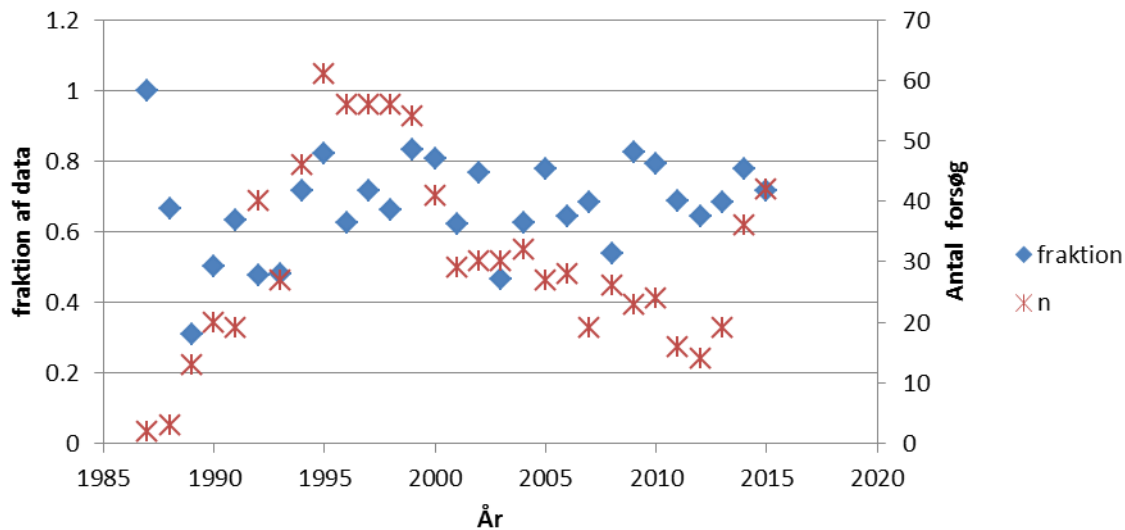
datasæt. Værdien ”65 kg N/ha” er et kompromis mellem at få et ensartet datasæt og at få ”nok” data. Figuren viser også, at der er ganske få forsøg med kvælstofanalyser de første år.

Da vi var interesserede i at se på de forsøg, der primært er begrænset af kvælstof og vand, blev de bedste 20 % af forsøgene tilhørende datasæt D1 udvalgt for hvert enkelt år, bortset fra de første år,

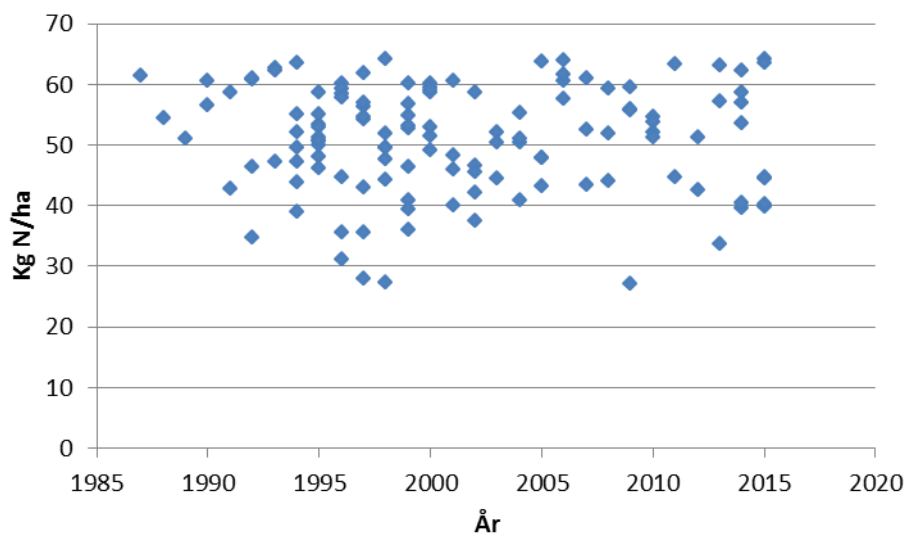
hvor det bedste af de tilgængelige datasæt er medtaget. Dette datasæt kaldes i det følgende D2 (126 forsøg). Fordelingen af høstet N i de ugødede parceller i D2 er vist i Figur 14.



Figur 12. Gennemsnitlig "Høstet N i kerne (vinterhvede)" i det ugødede plot (for hvert år i serien) for alle forsøg med kvælstofanalyser (899). De lodrette streger angiver standardafvigelsen. En regressionsanalyse på alle observationer (ikke på gennemsnittene, som vist i figuren), giver en hældning på $-0,31 \text{ kg N/ha/år}$ (signifikant på 1%-niveau).



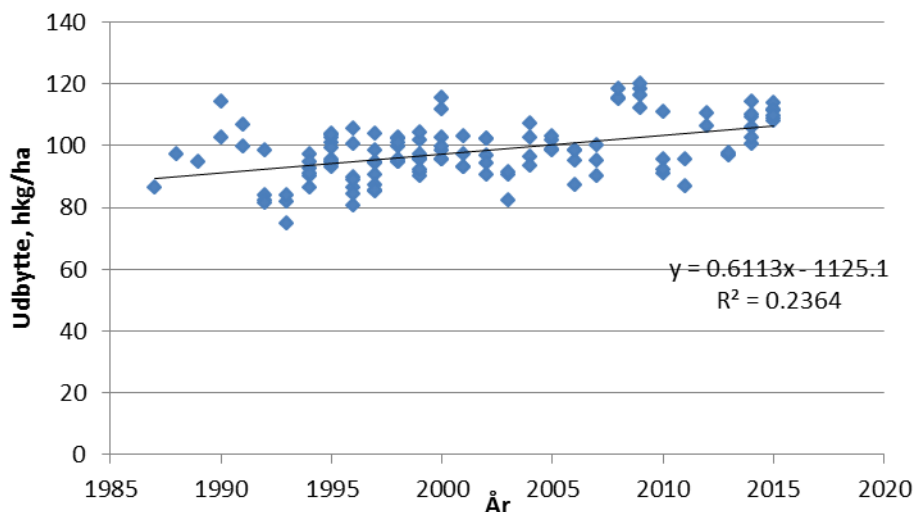
Figur 13. Antal forsøg i vinterhvede med kvælstofanalyser for de enkelte år (n, i alt 899 forsøg) samt den fraktion af forsøgene, hvor høstet N i det ugødede plot er mindre end 65 kg N .



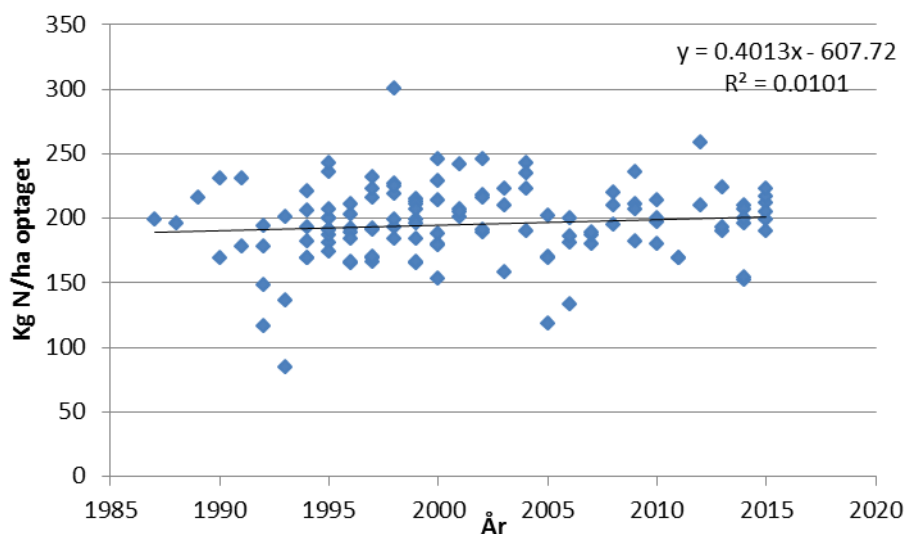
Figur 14. Fordeling af "Høstet N i kerne" (vinterhvede) i den ugødede parcel for udvalgte datasæt, D2. I dette datasæt (126 forsøg) er der ingen signifikant trend over perioden.

3.1.4 Udbytter og kvælstofindhold i udvalgt datasæt

Beregnes det optimale N-gødningsniveau og udbytter ved denne N-tilførsel for datasæt D2 på basis af en kornpris på 128 kr/hkg og en kvælstofpris på 8,21, fås de resultater, der ses i Figur 15 og Figur 16. I så fald er der sket en stigning i optimalt udbytte på 15 hkg/ha over de 25 år, koblet til en ikke-signifikant stigning i optimalt N-gødningsniveau på 10 kg N/ha.



Figur 15. Optimalt udbytte beregnet for forsøgene indeholdt i datasæt D2 (de 20 % forsøg i hvert enkelt år med højest udbytte og N-optagelse i N0-leddet på < 65 kg N/ha, i alt 126 forsøg), baseret på en kornpris på 128 kr pr. hkg og en kvælstofpris på 8,21 kr pr. kg N. Hældningen er signifikant på 0,1 %-niveau.

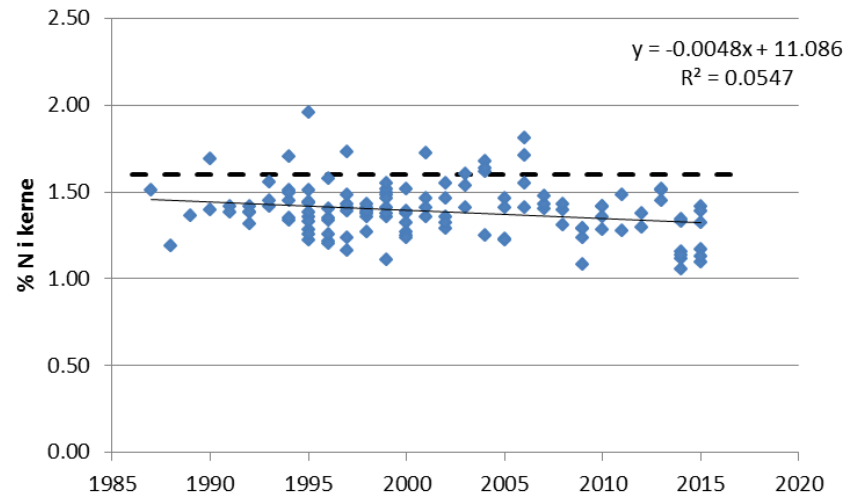


Figur 16. N-optagelse ved optimalt udbytte (Figur 15), beregnet for datasæt D2 (de 20 % forsøg i hvert enkelt år med højest udbytte og N-optagelse i N0-leddet på < 65 kg N/ha, i alt 126 forsøg).

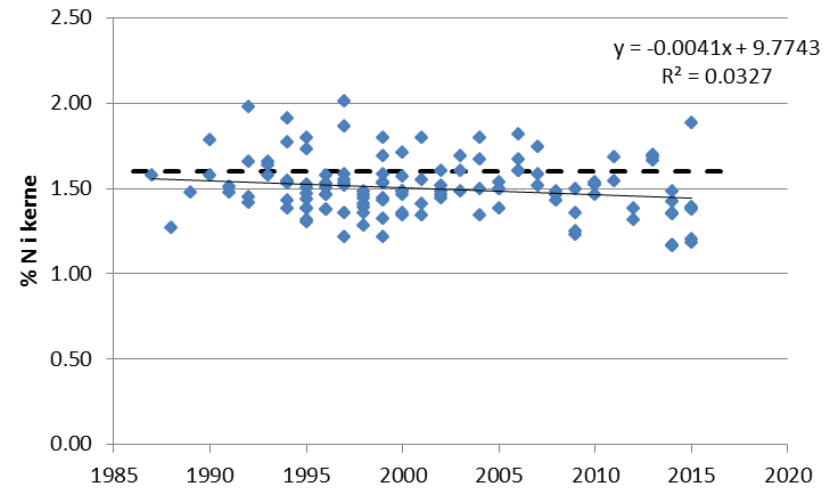
Med stigende udbytte og en næsten uændret optimal N-dosis, vil N-indholdet i høstet kerne falde. Denne sammenhæng er plottet for fire gødningsniveauer, og den er tydeligst ved ”50 kg N/ha” (Figur 17, Tabel 5). Effekten formindskes ved stigende N-mængder og er helt marginal ved 200 og 250 kg N/ha. Variationen i datasættet er stor, og effekterne er kun signifikante ved 50 og 100 kg tildelt gødning/ha, men resultaterne er helt parallelle til, hvad Tybirk (2012) fandt på basis af sortsforsøgene. Konklusionen må være, at de nyere sorter skal parameteriseres til at producere en smule mere tørstof ved samme N-optagelse under N-begrænsede forhold. Ved de høje kvælstofniveauer er der ikke nogen signifikant udvikling i proteinindholdet over de sidste 25 år.

Tabel 5. Resultat af regressionsanalyse (udført med R) af udviklingen af procent N i kerne for vinterhvede ved fire kvælstofniveauer. Signifikansniveauet er angivet med stjerner; punktum angiver, at signifikansniveauet er mellem 5 og 10%.

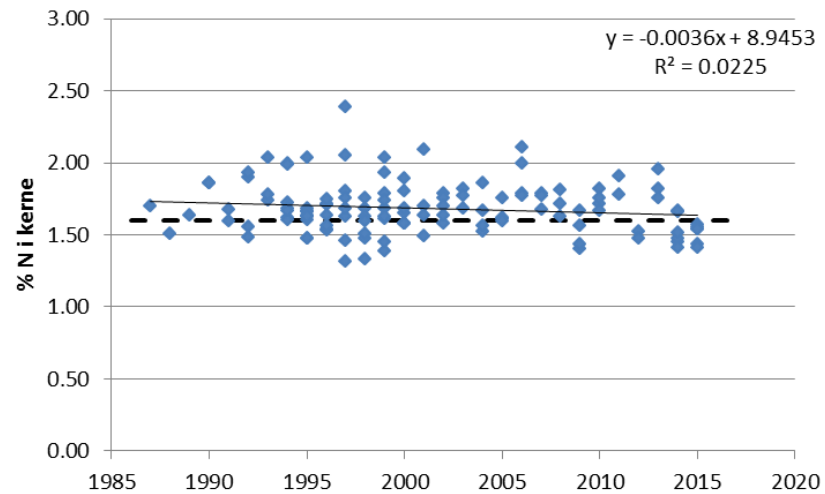
	intercept	signifikans	hældning	Signifikans
50 kg N/ha	11,088	**	-0,0048	**
100 kg N/ha	9,775	*	-0,0041	*
150 kg N/ha	8,937	*	-0,0036	.
200 kg N/ha	3,574		-0,0009	



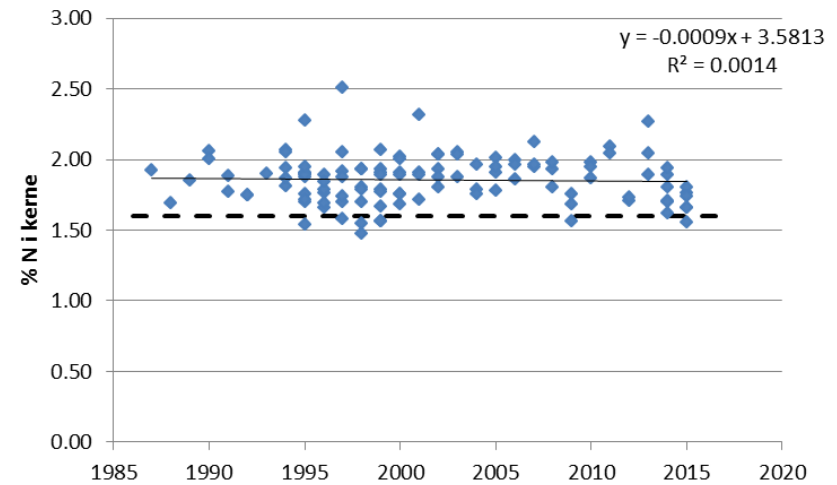
a) 50 kg N/ha



b) 100 kg N/ha



c) 150 kg N/ha



d) 200 kg N/ha

Figur 17. N-indhold i kerne i % af tørstof ved 50, 100, 150 og 200 kg N/ha i vinterhvede, datasæt D2 (126 forsøg). Udviklingen i procent N i kerne ved 50 kg N er signifikant på 1 %, niveau, mens signifikansen falder til 5 % ved 100 kg N. Ved 150 kg N er udviklingen ikke signifikant (10 %) Regressioner er beregnet i Excel. Den stiplede linje viser N-procenten, der svarer til 10 % råprotein i tørstof eller 8,5 % råprotein i kerne inkl. 15 % vand.

3.1.5 Datasættene fra perioderne 1987-94 og 2010-15

Tabel 6 viser, hvorledes D2-datasættet fra første og sidste del af perioden fordeler sig på landsdele med hensyn til forfrugt og jordtyper, den tilgængelige viden om N_{\min} samt tidligere tildelinger af organisk stof. Der er ikke nogen systematisk forskel på udbytterne mellem landsdelene. Imidlertid

Tabel 6. De udvalgte datasæt i D2 for perioderne 1987-1994 og 2010-15, med postnummer (rød: Jylland, gul: Fyn, grøn: Sjælland), forfrugt, JB-nummer, N_{\min} -information og information om organisk gødning. [+x] betyder, at marken har modtaget organisk gødning x år før markforsøget.

ID-nr.	Årstal	postnr	forfrugt	JB	N_{\min} , kg/ha	Organisk gødning
17	1987	5450	markært	?		?
45	1988	4400	vårraps	?		?
61	1989	7700	markært	JB4		+1
90	1990	4140	vårraps	JB6	33	Nej
93	1990	5592	vårbyg	?		+2+3+4
112	1991	4242	vinterhvede	JB7	39	Nej
122	1991	6091	vårbyg	?		?
139	1992	6630	markært	JB3		?
144	1992	7755	markært	JB4		?
148	1992	6100	vinterhvede	JB7		?
177	1992	4683	markært	?		?
182	1993	8900	markært	JB5	35	Nej
194	1993	9300	Fabr.kartofler	JB4	49	+1+2+3+4+5
195	1993	7160	markært	JB3	15	Nej
207	1994	8300	markært	JB7		Nej
217	1994	5450	vinterhvede	JB6	25	+1
223	1994	9574	Vinterhvede	JB7	40	+1+2+4+5
229	1994	5853	Kartofler	JB5	28	+3+4+5
231	1994	4640	Vårhvede	JB7	26	+1+2+3+4
233	1994	4760	Vinterhvede	JB7	28	+1+2+3
251	1994	9000	Vinterhvede	JB7		Nej
830	2010	7560	vårhvede	JB10	36,9	Nej
831	2010	7620	Vinterhvede	JB 5	-	Nej
840	2010	6400	Vinterhvede	JB 6	25,9	*1+2+3+4+5
846	2010	4800	Vårbyg	JB 5	43,8	+1+2+3+4
852	2011	7560	Vinterraps	JB 5	36,7	Nej
861	2011	7080	Vinterhvede	JB 6	22,7	-
871	2012	4800	Vårbyg	JB 7	30,2	+3+4
875	2012	4930	Vårbyg	JB 6	22,7	Nej
882	2013	7560	Vinterraps	JB 7	27	+1+2+3+4+5?
883	2013	7620	Vårhvede	JB 5	17	Nej
888	2013	4640	Vinterhvede	JB 6	35	Nej
911	2014	9460	Vinterraps	JB 6	8,6	Nej
913	2014	9320	Vinterraps	JB 4	8,6	+1
921	2014	9750	Vinterhvede	JB 4	88,6	+1+2+3+4+5?
926	2014	4800	Vårbyg	JB 6	43,2	Nej
927	2014	4930	Vårbyg	JB 7	37,8	Nej
928	2014	4100	Vinterhvede	JB 6	30,2	Nej
944	2015	0	Vinterraps	JB 6	19,4	Nej
954	2015	9690	Vinterhvede	JB 2	19,4	Nej
965	2015	4930	Vårbyg	JB 7	28,1	Nej
966	2015	4800	Vårbyg	JB 7	36,7	+3
968	2015	8462	Alm. Rajg.frø	JB 6	40	Nej
975	2015	4895	Markært	JB 7	28,1	Nej

indeholder serien 2010-15 kun 2 forsøg på JB4-jord, og de er fra Jylland. Gødningsforsøg på JB6 og JB7 er fordelt mellem landsdelene. Forfrugterne er blandede, og mens ingen af forsøgene har fået husdyrgødning i forsøgsåret, så har 4 ud af 23 fået husdyrgødning i 4 eller 5 af de foregående 5 år. Et forsøg har fået husdyrgødning 3 og 4 år før forsøget, og 2 har fået husdyrgødning en gang i de foregående 5 år. Resten har ikke modtaget husdyrgødning de seneste 5 år.

I 1987-94-serien er informationen lidt mere begrænset. Godt 1/3 af forsøgene har markært som forfrugt. Som før forefindes JB4 kun på jyske lokaliteter, mens forsøg på JB6 og 7-jorde er udført på Sjælland, Fyn og i Jylland. Der mangler information om anvendelsen af husdyrgødning i en række af forsøgene, men af de 14 forsøg, der er oplysninger på, har 3 modtaget husdyrgødning i 4 eller 5 år af de seneste 5 år, 3 har modtaget husdyrgødning i 3 af de seneste 5 år og 2 har modtaget husdyrgødning året før forsøget. Som ovenfor, er der ikke nogen systematisk forskel i udbytter som funktion af landsdel.

3.1.6 Måltal for hvede

For yderligere at belyse forskellene, er alle forsøg i datasættet D2 i perioden 1987-1994 og 2010-15 fittet med 2. gradsligninger, og udbyttene ved kvælstofnormerne fra 2014-15 for JB4, 6 og 7 er beregnet. Desuden er udbytterne ved ældre normer undersøgt, i det omfang gødningsforsøgsleddene tillader det. Den tilsvarende N-optagelse er fundet ved lineær interpolation. De detaljerede resultater fremgår af Appendix 2, og de opsummerede resultaterne er vist i Tabel 7 og Tabel 8. Det skal bemærkes, at måltallene ved forskellige gødningsniveauer er lavet på tværs af jordtyper og geografisk placering. De repræsenterer altså en blanding af jordtyper og vejr. Det fremgår, at udbyttet er ca. 10 hkg/ha større i de nye forsøg, at N-optagelsen er 5-8 kg N/ha større og at N-procenten er 0,08 - 0,1 enhed mindre ved normtildelingerne i 2014-15. Disse tal er anvendt til udvikling af afgrødeparameteriseringer for ”gamle” og ”nye” sorter.

Som kvalitetscheck af, at der har været en gradvis ændring af sorterne, er der også foretaget en tilsvarende beregning af forskellen mellem data fra 1995-2000 og 2010-5. Disse tal er også vist i tabellen.

Tabel 7. Forskel på forsøg i datasættet D2 fra perioden 2010-15 (n=23) og henholdsvis 1987-94 (n=21) og 1995-2000 (n=48) mht. gennemsnitligt udbytte, høstet N og % N i kerne ved udvalgte gødningsniveauer. For hvert forsøg er kurver tilpasset udbytter og høstet N, og værdier af de to parametre er aflæst ved de angivne N-niveauer. Gennemsnit er derefter beregnet for hver periode, og perioderne er sammenlignet. Analysen er foretaget på tværs af jordtyper, år og geografiske regioner.

	Mineralsk tilførsel, kg N/ha								
	129	138	147	156	158	167	172	187	190
Forskel 2010-15 mod 1987-1994:									
Udbytte, hkg/ha	9,6	9,9	10,2	10,4	10,5	10,7	10,8	11,1	11,1
Høstet N, kg N/ha	5,3	6,1	6,9	7,7	7,9	8,7	9,1	11,0	11,4
% N i kerne	-0,10	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,08	-0,07	-0,05	-0,05
Forskel 2010-15 med 1995-2000									
Udbytte, hkg/ha	7,2	7,4	7,5	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Høstet N, kg N/ha	6,1	6,3	6,5	7,4	7,7	9,3	8,6	10,6	11,0
% N i kerne	-0,04	-0,04	-0,04	-0,03	-0,03	-0,01	-0,01	0,01	0,02

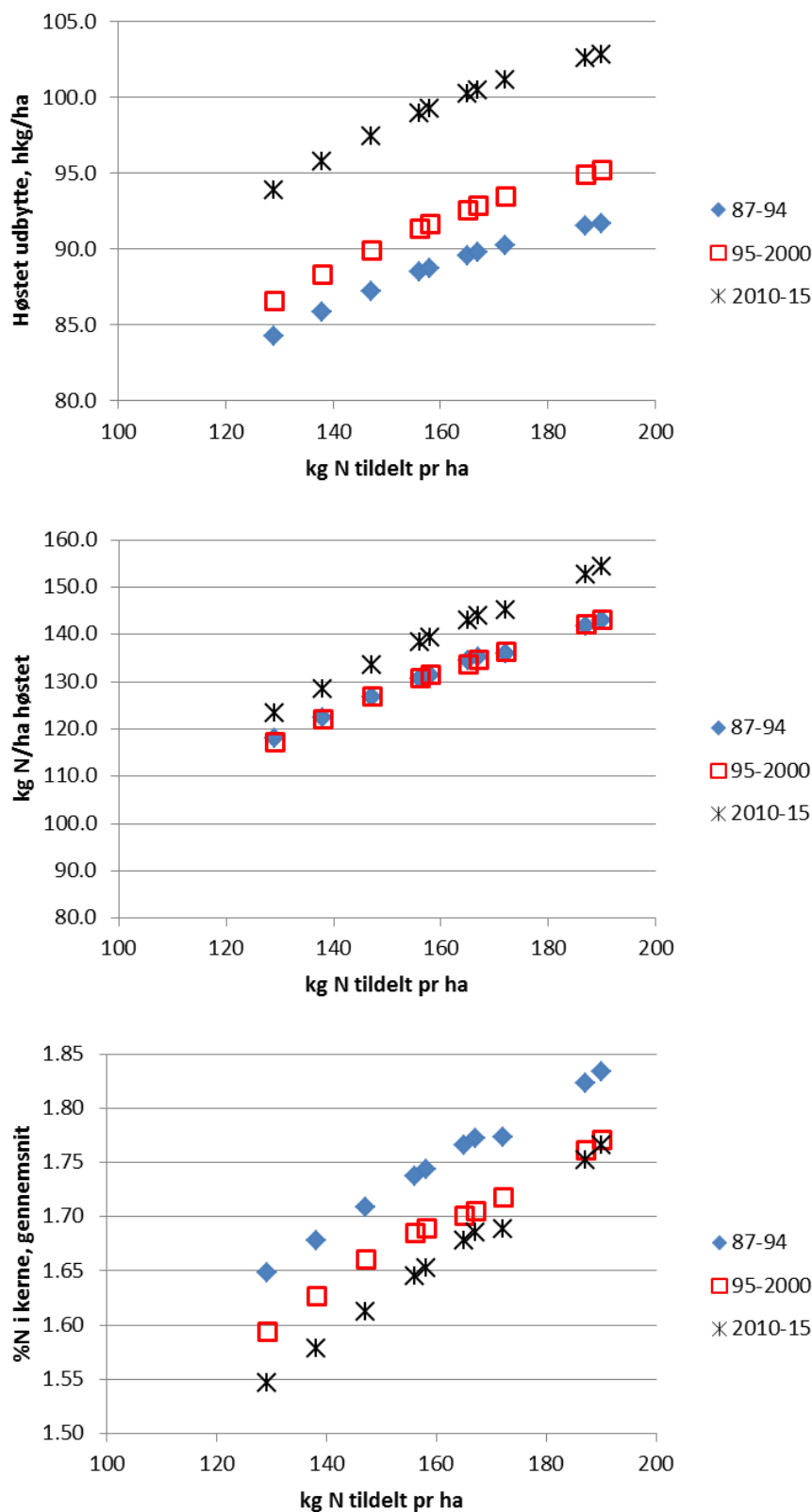
Til sammenligning fandt Tybirk (2012) en forskel på ca. 1,2 % protein i tørstof eller ca. 0,2 % N i kerne over 30 år, som kunne tillægges sortsforskelle. Knap halvdelen af faldet (eller mindre, hvis beregnet på baggrund af ”Ritmo”) lå mellem 1993 og 2006. Tallene her er i samme størrelsesorden.

I Tabel 8 er de samme størrelser beregnet for alle forsøg med < 65 kg N i det ugødede led (D1). Det ses, at udbytteforskellen er nogenlunde konsistent, mens forskellen i N-optag er mindre og det procentvise fald i N i kernen er derfor større. Analyseres perioden fra 1995-2000 mod 2010-15 er udbyttefremgangen stadig markant, mens forskellen i N % er betydeligt mindre, især ved høje N-niveauer. Tallene er også illustreret i Figur 18. Når hele datasættet analyseres, kan andre begrænsninger end vejr og kvælstof også påvirke udbyttene og forskellene.

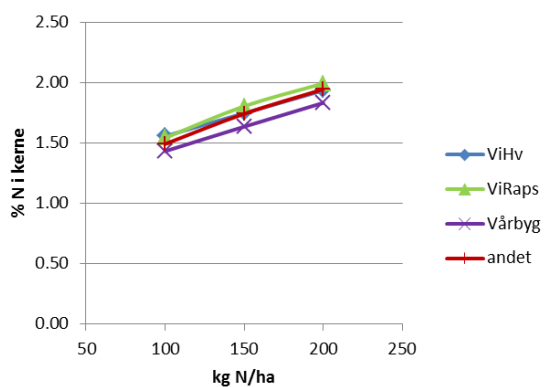
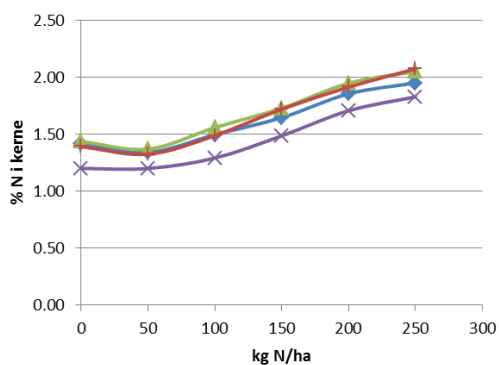
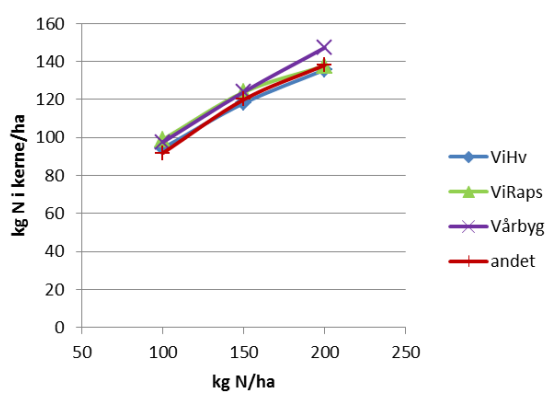
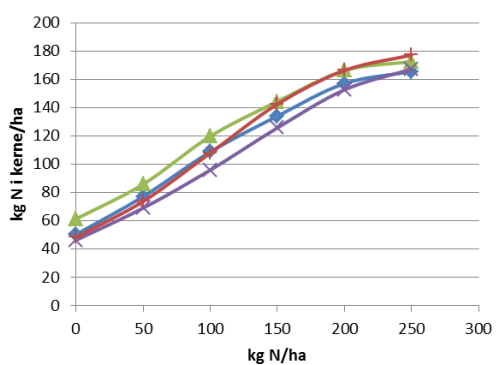
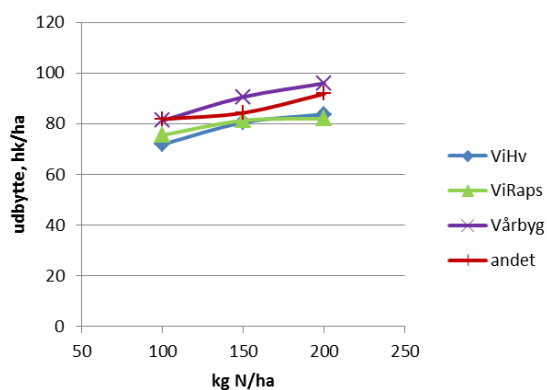
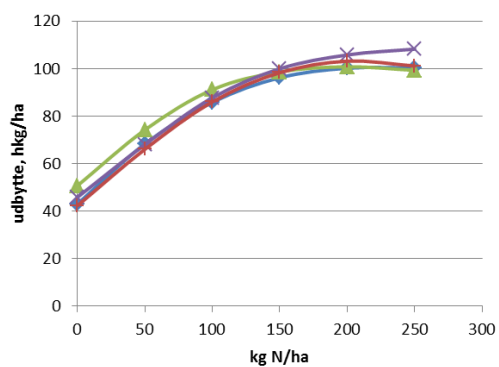
I Figur 19 er både datasæt D2 (20 % af datasæt med < 65 kg N i kerne i det ugødede led) og datasæt D1 (100 % af samme datasæt) sorteret efter forfrugt. Udbytter i vinterhvede efter vinterhvede er en smule mindre end for de andre forfrugter i begge datasæt, men ikke ved alle gødningsniveauer. Kvælstofoptagelsen er størst efter vinterraps og mindst efter vårbyg i D2-datasættet, mens det er størst efter vårbyg i D1-datasættet, og her er forskellen mellem de forskellige forfrugter ret begrænset. Der er lidt mere systematik i effekten af forfrugt på % N i kerne, idet koncentrationen er lidt højere efter vinterraps og mindre efter vårbyg i begge datasæt. Det skal dog bemærkes, at nogle sædskiftekompositioner måske findes på bestemte jordtyper eller lokaliteter, hvorfor de viste forskelle kan skyldes en blanding af forfrugt og andre forhold.

Tabel 8. Forskel på de fulde datasæt for vinterhvede (D1) fra perioden 2010-15 (n=110) og henholdsvis 1987-94 (n=94) og 1995-2000 (n=240) mht. gennemsnitligt udbytte, høstet N og % N i kerne ved udvalgte gødningsniveauer, svarende til et udvalg af de anvendte gødningsniveauer. Gennemsnit er beregnet for hver periode på basis af forsøgsresultater, og perioderne er sammenlignet. Analysen er foretaget på tværs af jordtyper, år og geografiske regioner.

	Mineralsk tilførsel, kg N/ha		
	100 kg N	150 kg N	200 kg N
Forskel 2010-15 mod 1987-1994			
Udbytte, hkg/ha	8,3	10,9	10,0
Høstet N, kg N/ha	-0,5	5,0	5,0
% N i kerne	-0,21	-0,19	-0,18
Forskel 2010-15 med 1995-2000			
Udbytte, hkg/ha	7,9	9,7	10,0
Høstet N, kg N/ha	5,0	10,2	13,9
% N i kerne	-0,09	-0,07	-0,03



Figur 18. Gennemsnitsværdier for udbytte, kg N høstet og % N i kerne i vinterhvede som funktion af tildelt kvælstof for tre forskellige perioder (Datasæt D2). For hvert forsøg er kurver tilpasset udbytter og høstet N, og værdier af de to parametre er aflæst ved de angivne N-niveauer. Gennemsnit er derefter beregnet for hver periode, og perioderne er sammenlignet. Analysen er foretaget på tværs af jordtyper, år og geografiske regioner.



Figur 19. Udbytter, N i høstet kerne og N % i vinterhvede som funktion af forfrugt. Til venstre: Kurver baseret på datasæt D2 for 2010-15, til højre kurver baseret på datasæt D1 for 2010-15. For begge grupper er vist kurver for forsøg med vinterhvede, vinterraps og vårbyg og ”andet” som forfrugt.

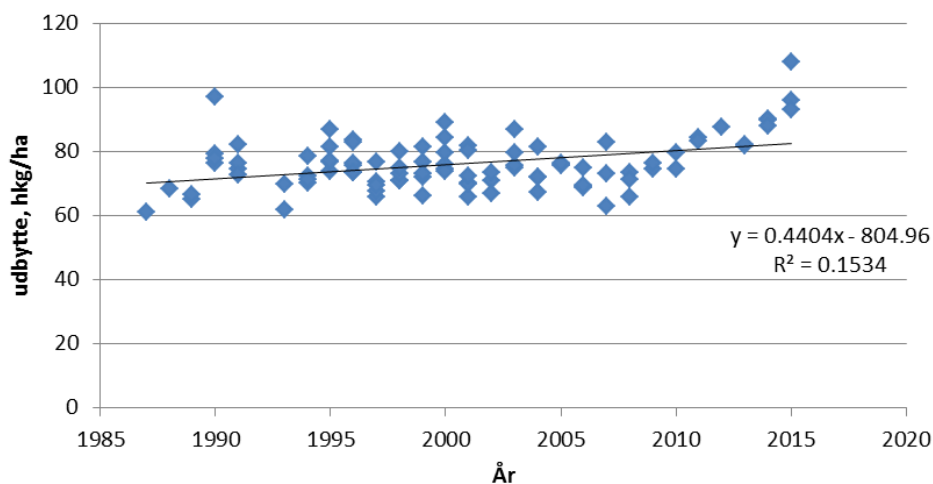
3.2 Vårbyg

3.2.1 Sortsvurderinger

Efter erfaringerne fra vinterhveden blev en parameterisering af enkeltsorter af vårbyg ikke forsøgt. I stedet blev den generelle udvikling forsøgt analyseret.

3.2.2 Tørstofproduktion i vårbyg

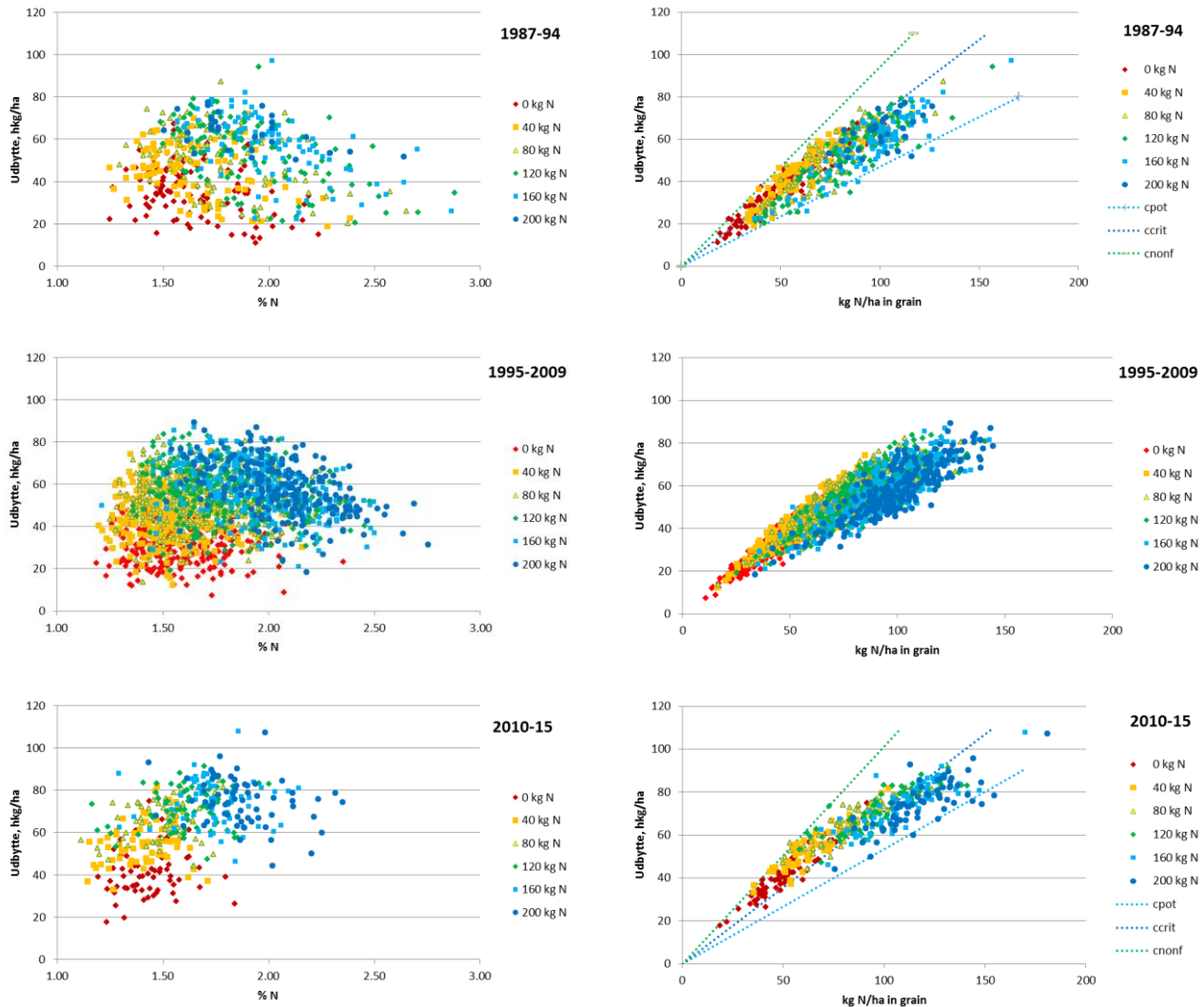
Som for vinterhveden er de maksimale udbytter analyseret for at undersøge, om der er en ændring i de potentielle udbytter. Analysen er foretaget både på de bedste 10 og 20 % af udbytterne (Figur 20). Data fra 1992 er fjernet fra serien, da udbytterne dette år var meget små (se kap. 2.1, Figur 6).



Figur 20. De 20 % bedste udbytter opnået i gødningsforsøg i vårbyg i hvert enkelt år fra 1987-2015. Året 1992 er udeladt på grund af meget lave udbytter. Der indgår 95 forsøg i analysen.

Den estimerede stigning i udbytterne er næsten ens for de to datasæt (0,46 og 0,44 hkg/år) og for 20%-datasættet signifikant på 0,1%-niveau, men resultatet er meget afhængigt af data fra de sidste to forsøgsår. Fjernes 2015 fra prøven, falder hældningen til 0,27 hkg/ha og signifikansen til 5 %-niveau.

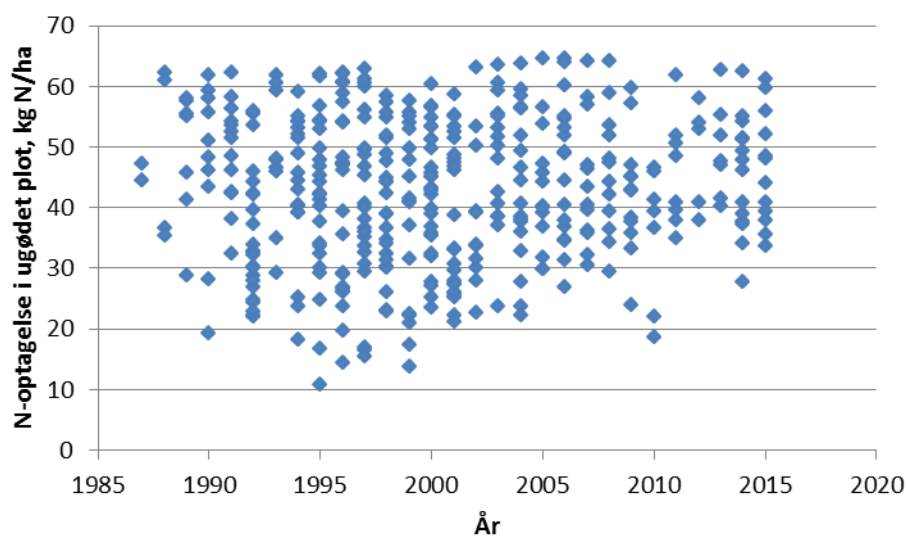
Som for vinterhveden er hele datasættet plottet i Figur 21 som udbytte mod N-optagelse og mod N %. Helt parallelt med hveden ses, at de laveste koncentrationer er flyttet systematisk mod 1 % N i kerne i perioden. Det ses også af plottene, at der er langt flere tilfælde med udbytter over 80 hkg/ha i den nyeste dataserie.



Figur 21. Alle datasæt for vårbyg med målt N-indhold i kerne plottet på to måder for perioderne 1987-94, 1995-2009 og 2010-15. De nyere data viser lidt flere høje udbytter, men mest markant er, at de lave koncentrationer systematisk bevæger sig til venstre på kurven (mod 1%). Til højre er indsat linjer, der definerer den nedre grænse for N-concentrationer (C_{nonf}), en kritisk koncentration (C_{crit}), over hvilken, tørstofudbyttet ikke stiger og en maksimal koncentration, der driver N-optagelse (C_{pot}). Værdierne kunne imidlertid ikke bruges direkte i modelleringen.

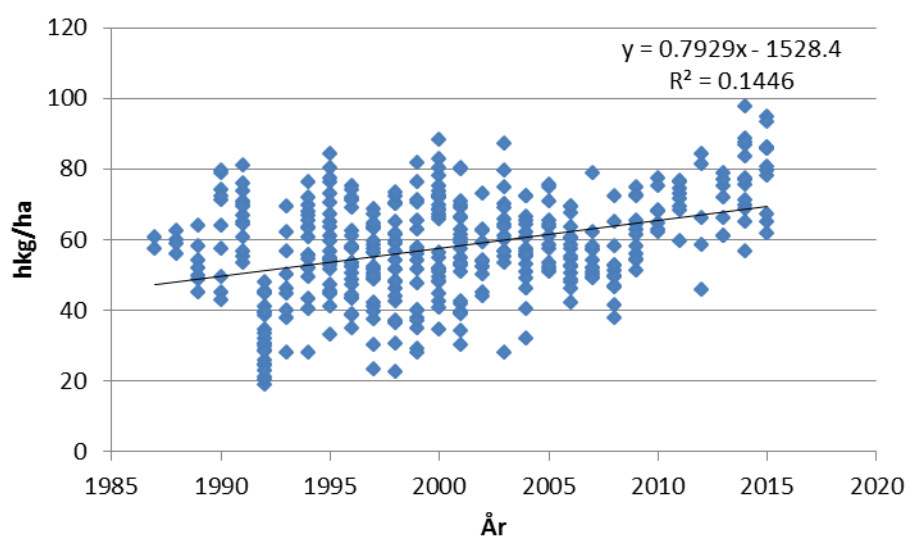
3.2.3 Opsplitning af data

Datasættet med vårbygforsøg rensedes først for forsøg, der manglede N-analyser, og hvor den optimale N-tildeling var 0 (491 forsøg tilbage). Der var langt mindre systematik i fordelingen af kvælstofoptag i de ugødede plot over tid end for hveden, men for at se effekten af tildelt kvælstof udvalgte igen en delmængde, hvor optagelsen i det ugødede plot var under 65 kg N/ha (Datasæt V1, 419 forsøg). N-optagelsen i de ugødede parceller i dette datasæt er vist i Figur 22.

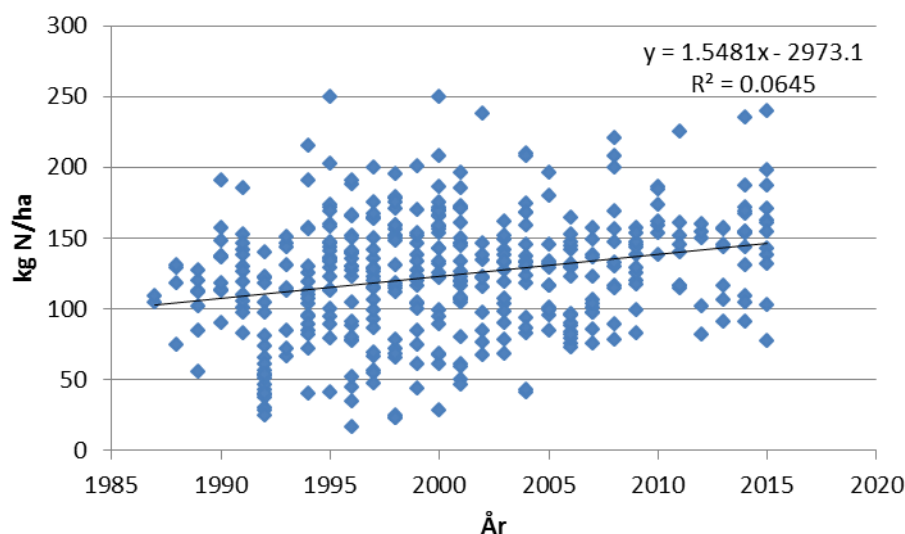


Figur 22. N-optagelse i de ugødede parceller i de gødningsforsøg for vårbyg, der er i datasættet V1. Hver signatur svarer til et gødningsforsøg (n=419).

Datasættets optimerede udbytter er vist i Figur 23 og de tilhørende N-optagelser i Figur 24. Der er stor variation i datasættet, men der synes især at være en stigning i tørstofudbytte i sidste del af perioden. En regression på datasættet viste en stigning på ca. 20 hkg udbytte/ha over 25 år, eller ca. 0,81 kg/ha/år (signifikant på 0,1%-niveau). En regression på den optimale N-mængde viste en stigning på 39 kg N/ha eller 1,56 kg N/ha/år (signifikant på 0,1 %-niveau) over samme periode. Der er altså sket en noget kraftigere stigning i kvælstofbehovet i vårbyg end i vinterhvede.



Figur 23. Udbytteoptimum beregnet under hensyntagen til en kornpris på 135 kr/hkg og en kvælstofpris på 8,21 kr pr kg N for datasæt V1 (n=419). Hældningen på 0,79 hkg/ha er signifikant på 0,1 %-niveau.

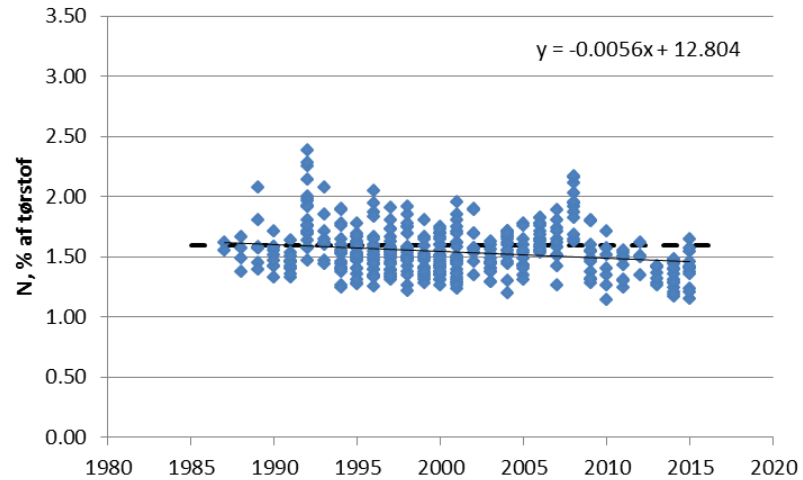


Figur 24: Kvælstofindhold i høstet kerne svarende til beregnet udbytteoptimum for datasæt V1 (n=419). Hældningen på 1,55 kg N/ha er signifikant på 0,1%-niveau.

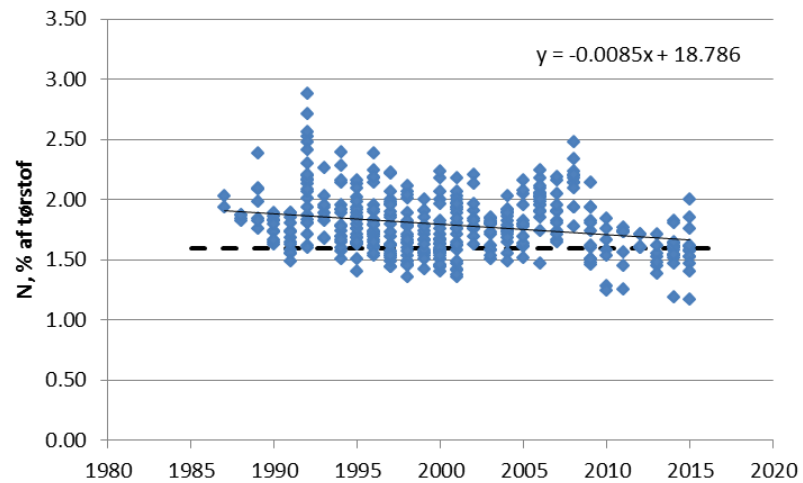
I vårbyg er der også en sammenhæng mellem N-procent i kerne og sortsudviklingen. Figur 25 viser N-procenten ved 40, 80, 120 og 160 kg N/ha som funktion af år i det udvalgte datasæt. Beregnede hældninger og skæringer med y-aksen for de fire analyser er vist i Tabel 9. På alle gødningsniveauerne er hældning og skæring signifikante på 0,1 %-niveau, og den numeriske værdi af hældningen stiger med gødningsniveau op til 120 kg N/ha. Det er forskelligt fra vinterhveden, hvor den numeriske værdi af hældningen faldt med stigende gødningsniveau. Desuden blev sammenhængen mindre signifikant med stigende gødningsniveau for vinterhveden, hvilket ikke er tilfældet for vårbyg.

Tabel 9. Resultat af regressionsanalyse af udviklingen af det procentvise N-indhold i kerne ved fire kvælstofniveauer, beregnet med R.

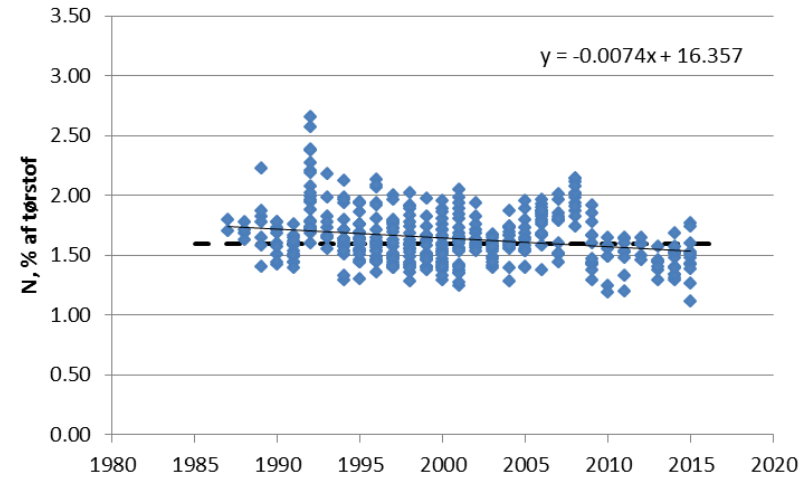
	intercept	signifikans	hældning	Signifikans
40 kg N/ha	12,799	***	-0,0056	***
80 kg N/ha	16,392	***	-0,0074	***
120 kg N/ha	18,805	***	-0,0085	***
160 kg N/ha	18,005	***	-0,0080	***



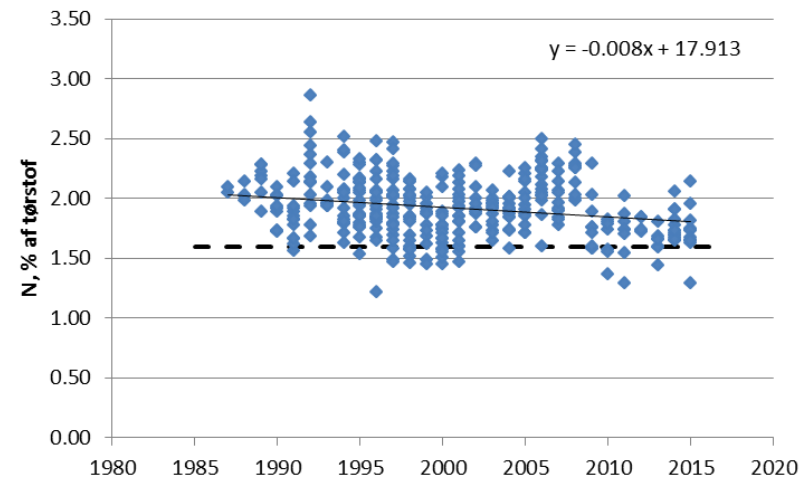
a) 40 kg N/ha



c) 120 kg N/ha



b) 80 kg N/ha



d) 160 kg N/ha

Figur 25. N-indhold i kerne i % af tørstof ved 40, 80, 120 og 160 kg N i vårbyg, datasæt V1 (419 forsøg). Udviklingen i procent N i kerne er signifikant på 0,1 %-niveau for alle gødningstildelinger. De indsatte regressioner er genereret i Excel. Den stiplede linje viser N-procenten, der svarer til 10 % råprotein i tørstof eller 8,5 % råprotein i kerne inkl. 15 % vand.

3.2.4 Måltal for vårbyg

Som for vinterhveden blev der gennemført en sammenligning af udbytter, N-optagelse og % N i kerne ved norm-relevante gødningsniveauer på basis af kurver tilpasset de enkelte gødningsforsøg. Resultaterne er vist i Tabel 11, både for hele V1-datasættet og for forsøg med højest udbytteoptimum (ca 20 % af prøven udvalgt for hvert år, V2). Som det fremgår af Tabel 10, er antallet af forsøg i V2 imidlertid lille, og forfrugten er meget domineret af roer. I perioden fra 2010-15 havde halvdelen af forsøgene modtaget husdyrgødning inden for de sidste 5 år, og i et tilfælde var N_{\min} -tallet meget højt. Data fra JB6-jorde på Sjælland blev sammenlignet med data på JB6-jorde fra Jylland, og der var systematiske forskelle. Spredningen på resultaterne fra Jylland var væsentligt større, idet både de største og de laveste udbytter var opnået her. Vi har derfor i den endelige analyse valgt at sammenligne simuleringerne med udbyttene i V1 i stedet for V2, som ikke ligner de mineralisk gødede sædskifter, vi sammenligner med. Måltallene er genereret på tværs af jordtyper, år og lokaliteter, og skal derfor kun ses som retningsgivende for udbytter på en specifik jordtype.

Tabel 10. De udvalgte datasæt i V2 for perioderne 1987-1994 og 2010-15, med postnummer (rød: Jylland, gul: Fyn, grøn: Sjælland), forfrugt, JB-nummer, N_{\min} -information og information om organisk gødning. [+x] betyder, at marken har modtaget organisk gødning x år før markforsøget.

ID-nr.	Årstal	postnr	forfrugt	JB	N_{\min} , kg/ha	Organisk gødning
21	1987	4720	Fabriksroer			
53	1988	4490	Vårbyg			
79	1989	8900	Vårbyg			Nej
108	1990	6000	Vinterbyg			Nej
109	1990	4173	Foderbederoer			Nej
114	1991	4800	Foderbederoer			2+3+
116	1991	4951	Foderbederoer			
124	1991	5450	Fabriksroer			Nej
162	1993	5450	Vårbyg	6	60	
170	1993	6622	Fabrikskartofler	1	19	Nej
178	1994	4891	Foderbederoer	6	36	-Nej
184	1994	5871	Foderbederoer	5	27	1+2+4+
187	1994	7755	Græs u.10% kl.	4	63	Nej
188	1994	4241	Fabriksroer	7	32	Nej
526	2010	4800	Fabriksroer	5	33.9	2+3+5+
534	2011	4930	Sukkerroer	6	64.8	Nej
536	2011	4800	Sukkerroer	7	45	2+3+
547	2012	4930	sukkerroer	7	24.8	Nej
551	2013	6400	Vårbyg	7	30	1+2+3+4+5+
562	2014	4800	sukkerroer	6	40	2+5+
563	2014	4930	sukkerroer	6	48	Nej
567	2014	4640	ViHv	7	49	Nej
577	2015	8462	ViHv	6	167.4	1+2+3+4+5+
580	2015	7560	Vårbyg	6	62.8	+4+5

Som det fremgår af Tabel 11, er udbytteerne 11-12 hkg/ha højere i V2 end i V1, og udbytteerne er steget med 6 til 13 hkg /ha fra 1987-94 til 2010-15, dog mest i det fulde datasæt. Det skal bemærkes, at forsøgsdata fra 1992 er udeladt fra begge dataserier i sammenligningen, fordi udbytteerne var meget lave. Kvælstofoptagelsen er ca. 3-6 kg/ha større i de nye forsøg i forhold til de gamle forsøg for begge datasæt. Kvælstofprocenten er faldet med 0,2-0,24 % når hele datasættet analyseres, men kun med 0,1 til 0,14 for V2-datasættet. Udviklingen i vårbyggen synes altså at være parallel til udviklingen i vinterhvede, men med effekter også ved høje gødningsniveauer.

Tabel 11. Estimeret udbytte og N-optagelse som funktion af kvælstoftilførsel, beregnet på basis af polynomier tilpasset gødningsforsøg. Kvælstofmængderne er valgt ud fra normværdier for 2014-15 for JB4, JB6 og JB7 med efterafgrøde indregnet, hhv. 93, 99 og 112kg N/ha, og uden korrektion, hhv. 110, 116 og 129 kg N/ha, samt gamle normer for JB4, 6 og 7, der var hhv. 125, 115 og 115 kg N.

	Kg N/ha tilført					
	93	99	110	115	125	129
Alle data (V1)						
Udbytte, hkg/ha						
Gnsn. 1987-91,93,94	55,4	56,1	57,0	57,4	57,9	58,0
Gnsn. 2010-15	65,5	66,6	68,4	69,2	70,5	70,9
Forskel	10,1	10,5	11,4	11,8	12,6	12,9
N-optagelse, kg/ha						
Gnsn. 1987-91,93,94	79,9	81,8	85,3	86,9	89,7	90,7
Gnsn. 2010-15	84,1	86,3	90,4	92,3	95,7	96,9
Forskel	4,2	4,5	5,1	5,4	6,0	6,2
% N i kerne						
Gnsn. 1987-91,93,94	1,71	1,73	1,78	1,80	1,83	1,85
Gnsn. 2010-15	1,51	1,52	1,55	1,57	1,60	1,61
Forskel	-0,20	-0,21	-0,23	-0,23	-0,24	-0,24
20 % af V1-prøverne udvalgt efter højeste udbytteoptimum (V2)						
Udbytte, hkg/ha						
Gnsn. 1987-91,93,94	66,2	67,0	68,3	68,7	69,5	69,7
Gnsn. 2010-15	72,2	73,5	75,7	76,7	78,4	79,0
forskel	6,0	6,5	7,5	7,9	8,9	9,3
N-optagelse, kg/ha						
Gnsn. 1987-91,93,94	89,6	92,0	96,5	98,5	101,9	103,1
Gnsn. 2010-15	92,9	95,5	100,3	102,5	106,3	107,5
forskel	3,3	3,5	3,8	4,0	4,4	4,5
% N i kerne						
Gnsn. 1987-91,93,94	1,60	1,62	1,67	1,69	1,73	1,75
Gnsn. 2010-15	1,51	1,52	1,56	1,57	1,60	1,60
forskel	-0,09	-0,09	-0,11	-0,12	-0,14	-0,14

4 Scenariebeskrivelser

4.1 Nedbør

Til scenarierne er anvendt syntetiske nedbørsserier, der er udviklet til at beskrive det nuværende klima i det østlige Danmark. Dataserien er beskrevet i Rasmussen et al. (2017) og har de statistiske sammenhænge, der findes i vores nuværende klima. Det tillader os at simulere lange tidsserier og dermed vurdere usikkerheden relateret til vejrforhold bedre, end hvis vi f.eks. repeterede vejret for de sidste 10-15 år. Der er simuleret 500 år i hvert scenarie.

De anvendte måltal for JB6 og JB7-simuleringerne af vinterhvede forventes ikke at være væsentligt påvirket af, at der anvendes et østdansk klimascenarie (da niveauet for udbytter er det samme i forsøgene uanset landsdel), mens måltallene for JB4 kan være fejlbehæftede, idet JB4 er repræsenteret dårligt i datasæt D2 og fordi man kan forvente en lidt anderledes fordeling af vandstress på disse jorde i Vestdanmark end i Østdanmark på grund af en lidt anderledes nedbørsfordeling. Valget af nedbørsscenario er mere kritisk for simuleringerne af vårbyg. Der er betydeligt vandstress i simuleringerne på JB4, og det kunne have været anderledes med nedbør fra andre lokaliteter.

I forbindelse med sensitivitets- og usikkerhedsvurderinger er nedbørsscenalet udvidet med en tilpasning til "Foulum"-vejr (ved Viborg) og med højere temperatur og nedbør på basis af resultaterne fra kap. 2.8. Dette er nærmere beskrevet i 6.11.5.

4.2 Jord

De anvendte jordtyper er en JB4, en JB6 og en JB7, hvilket er de jordtyper, størstedelen af vinterhveden vokser på. Jorderne er sat op med horisont-beskrivelser fra Ståbi'en (Styczen et al., 2005), hvor alle horisonter tilhører samme jordtype. Det er naturligvis en forsimpning. Den nedre rand for JB4-jorden er fri afdræning, mens JB6 og 7-jorden er dræned jorde. Fraktionen af drænvand er kalibreret efter de retningsgivende tal i Ståbi'en. Der er indlagt pløjesål lige under pløjedybde, hvor ledningsevnen er 10 % værdien for den underliggende jord. Alle jorde har standard-makroporebeskrivelser inkluderet.

Udgangspunktet for mængden af organisk stof i jorden har været det, der er opgivet i Stå-bi'en for de pågældende jordtyper. Den organiske pulje er som udgangspunkt indstillet til at være i ligevægt med mængden af recirkuleret organisk materiale.

Der er gennemført ekstra scenarieberegninger, hvor a) nedre rand (afdræningsforholdene) er ændret og b) mængden af organisk stof er reduceret som beskrevet i kap. 2.7, og mest muligt nedbrydes langsomt. Disse scenarier er nærmere beskrevet i kapitel 6.11.4 og 6.11.6.

4.3 Sædskifte, Gødning og Management

Som nævnt tidligere, er der taget udgangspunkt i et sædskifte af typen:

Vårbyg – vinterhvede- vinterraps – vinterhvede - vinterhvede

Vårbyggen er efterfulgt af rajgræs, der dog ikke undersås, og som kun bidrager med lidt organisk materiale. Daisys ”standard”- Rajgræs-parameterisering blev anvendt, dog med en ny procesbeskrivelse for kvælstofoptag gennem rødder, se kap. 5.1.

De anvendte gødningstildelinger fremgår af Tabel 1. Forfrugtsværdier er primært indregnet i 2014-15, men der er også skelet lidt til forfrugtsværdi i fordelingen i 1990. Ammoniaktabet er 15 % ved husdyrgødningsudbringning i 1990 og 0 % i 2015.

Vårbyg sås mellem 1/3 og 1/4, afhængigt af jordens temperatur og fugtighed. Jorden regnes for klar til behandling, når temperaturen 10 cm under overfladen er over 0 °C, og vandpotentialet er under -50 cm i samme dybde. Vårbyggen høstes ved modenhed, dog senest 20/8. Der efterlades 10 cm stub, samt 30 % blade og stilk. Der gødes og pløjes før såning. I 1990-scenariet bliver alt gødning tildelt før såning, i 2014-scenariet bliver 50 kg N/ha tildelt før såning, resten en måned senere.

Vinterhvede sås den 10/9 og høstes ved modenhed, dog senest 1/9. Der pløjes 2/9. Gødning tildeles mellem 1/3 og 1/4, afhængigt af jordens temperatur og fugtighed, med samme kriterier som ved vårbyg. I 1990-scenariet tildeles alt gødning på en gang, i 2014-scenariet bliver en del af gødningen givet 30 dage efter første tildeling.

Vinterrapsen sås 20/8 og høstes ved modenhed, dog senest 9/8. Der pløjes og gødes før såning. I 1990-scenariet tildeles al gødning før såning, i 2014 tildeles 25 kg N/ha før såning og resten mellem 1/2 og 1/4, afhængigt af jordens temperatur og fugtighed med samme kriterier som ved vårbyg.

Græs bliver sået 2/9 efter en pløjning, og pløjet ned 1/11 om efteråret før vårbyg.

Der arbejdes med et mineralsk gødet scenarie og et organisk gødet scenarie, og måltallene fra de tidligere kapitler sammenlignes primært med det mineralske scenarie. Da nogle af gødningsforsøgene har modtaget organisk gødning i de tidligere år, kan de repræsentere lidt rigere baggrundsmineralisering, end tilfældet er i de mineralske simuleringer.

Ud over basis-scenarierne og ovennævnte sensitivitetsanalyser, er der gennemført simuleringer hvor vinterhvedens rodvæksthastighed er nedsat til 80 %, eller hvor rodedybden er reduceret. Disse scenarier er nærmere beskrevet i kapitel 6.11.

5 Modelændringer, kalibreringer og endelig sortsbeskrivelse

Der er udført et betydeligt kalibreringsarbejde vedrørende både vinterhvede og vårbyg. Der gøres ikke rede for trinene i kalibreringen, men kun endepunkterne og de ændringer, der er foretaget. Undervejs er modellen forbedret med en ny beskrivelse af kvælstofoptagelsen i rødderne. Ideelt set bør afgrødeparameterisering baseres på detaljerede måledata og mange afgrødeklip over sæsonen for at bestemme vækst og fordeling mellem plantens forskellige organer, som skal parameteriseres i Daisy. I dette projekt er parameteriseringen sammenstykket fra forskellige kilder.

Vinterrapsen i sædskiftet er ikke modificeret. Det skyldes, at vi ikke umiddelbart havde data til at skelne mellem en gammel og en ny parameterisering. Det betyder, at eftervirkningen efter vinterraps ikke er korrekt beskrevet – den er sandsynligvis for lille i de gamle forsøg og måske mere korrekt i de nyere forsøg, hvor udbytterne nogenlunde svarer til landsgennemsnittet fra Danmarks statistik.

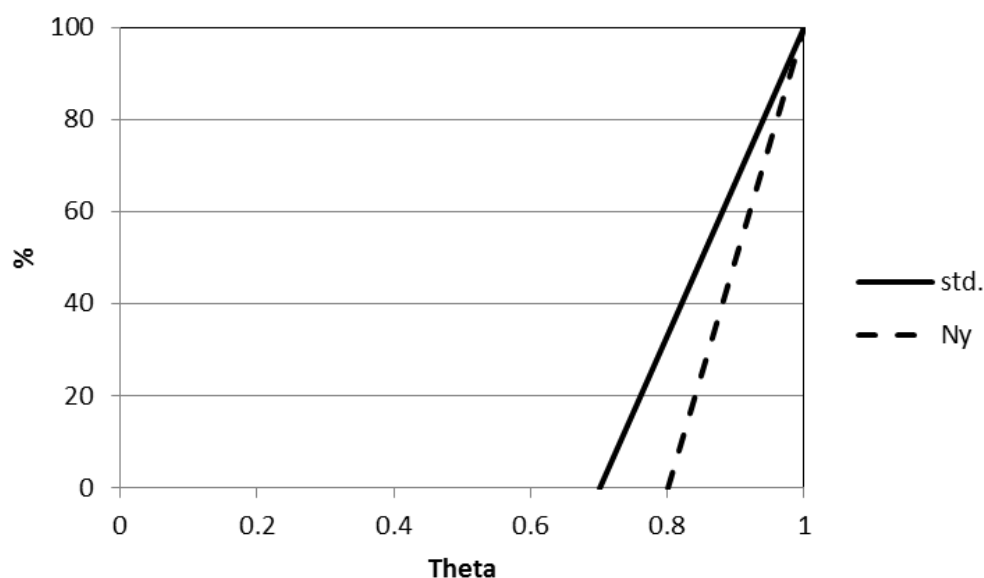
Desuden er denitrifikationen modificeret i forhold til standardopsætningen.

5.1 Ny rodmodel

I den tidligere version af Daisy er koncentrationen af nitrat ved roden givet som en konstant, og der arbejdes normalt med en koncentration på 0. Det betyder, at transporten ind mod roden, drevet af koncentrationsforskellen, er maksimal. Dette har der i forskellige sammenhænge været stillet spørgsmål ved, ikke mindst fordi det er veldokumenteret, at der er to systemer i roden, der transporterer nitrat ind i roden, og de dominerer i hvert deres koncentrationsregime. Ved lave koncentrationer er ”højaffinitetssystemet” dominerende, mens det ved høje koncentrationer er ”lavaffinitetssystemet”. Lavaffinitetssystemet sænker ikke koncentrationen inde ved roden så meget, som højaffinitetssystemet er i stand til. I den nuværende beskrivelse tilpasses koncentrationen ved roden til plantens behov på et givent tidspunkt. De implementerede ligninger er dokumenteret i Appendiks 3. Vi har begrænsede erfaringer med denne nye model, og den påvirker klart vårbyg-simuleringerne mere end vinterhvede. Vinterhveden har en længere vækstsæson, hvilket sandsynligvis i modellen gør det muligt at kompensere for kortvarige begrænsninger.

5.2 Denitrifikation

Der blev foretaget simuleringer med både Daisy's oprindelige og den nuværende standard-beskrivelse af denitrifikationsprocessen. Resultaterne blev sammenlignet med resultater fra SimDen (Vinther og Hansen, 2004), og det blev konkluderet, at den oprindelige beskrivelse giver for lidt denitrifikation, mens den nye giver for meget. Det sidste er overraskende, da den oprindeligt blev parameteriseret parallelt med udviklingen af SimDen, men det skyldes sandsynligvis, at opsætningerne indeholder en pløjesål, der gør, at A-horisonten bliver mere våd, end hvad der var forudsat i de oprindelige opsætninger. Denitrifikationsbeskrivelsen er derfor ændret, så den begynder ved 80 % vandindhold i stedet for ved 70 % vandindhold for alle jordtyper (Figur 26).



Figur 26. Relativ denitrifikationsrate (%) som funktion af relativt vandindhold (Theta).

5.3 Vinterhvede

For vinterhveden er den originale (default-) parameterisering udgangspunktet for både "Gl." og "Ny" vinterhvedesort, men specielt for den gamle. Denne parameterisering (Hansen et al., 1991) har været brugt i en række projekter og har vist sig at være meget robust. SEGES' gødningsforsøg (SEGES, 1987-2016) med information om gødningsniveauer og udbytter af tørstof og N i kerne er målet for kalibreringen. Mens vi har erfaring for, at den tidlige udvikling af "Gl. sort" er velbeskrevet, er "Ny vinterhvedesort" kun kalibreret med hensyn til høstindeks og udbytter (tørstof

og N), men uden data for den tidlige udvikling. Nedenfor er først beskrevet generelle ændringer og dernæst tilpasninger for ”Gl.” og ”Ny” vinterhvedesort.

5.3.1 Initial vækst

Plantevækstens start er beskrevet med et fremspiringsmodul, der tager hensyn til udsædsmængden og også blev anvendt i ”tidlig sånings-projektet” udført for Miljøstyrelsen (Jensen et al., 2014). I det oprindelige vækstmodul anvendes en tvangsfunktion for bladareal (LAI) ved fremspiring, indtil planten har tilstrækkeligt med biomasse til at kunne opretholde dette bladareal. Det nyere fremspiringsmodul beskriver væksten af de første blade som funktion af reserver i frøene. Det er simple, mere robust og tillader modellen at tage hensyn til anvendelse af forskellige mængder udsæd. Den anvendte parameterisering er vist nedenfor.

```
(Seed release
  (initial_weight 160 [kg/ha])
  (DM_fraction 87 [%])
  (C_fraction 45 [%])
  (N_fraction 2 [%])
  (rate 0.4 [d^-1]))
```

5.3.2 Udviklingshastighed

Vinterhvedens udviklingshastighed blev sammenlignet med data fra sortsforsøg vedrørende skridning og modenhed. Udviklingstrinnet DS =1 svarede til skridning for den originale vinterhvede (og er herefter defineret som sådant), så udviklingsraten i den vegetative periode blev bibeholdt, men afgrøden modnedes for hurtigt, hvorfor udviklingsraten i den reproduktive periode blev sænket. Vi opnåede dog ikke den fulde observerede spredning i modenhedsdato. Den længere reproduktive periode førte til en markant udbyttetigning, som blev kompenseret ved at nedsætte fotosynteseeffektiviteten.

```
(Devel original
  (DSRate2 0.020 [DS/d])
  (DS1_name "Heading"))
```

5.3.3 Rodvækst

Rodvæksthastighed og den maksimale roddebyde for vinterhvede blev justeret på basis af målinger fra Rasmussen et al. (2015). Den potentielle effektive roddebyde for vinterhvede er øget markant, fra 120 cm til 175 cm, og rodvæksthastigheden er sænket fra 2,5 til 1 mm/dg C/d. Temperaturen for rodvækst blev justeret nedad til 0 grader.

```
(Root (PenPar1 1.0 [mm/dg C/d])
      (PenPar2 0.0 [dg C])
      (MaxPen 175 [cm]))
```

Det skal dog bemærkes, at på JB4-jorden er væksten af vinterhvede i simuleringen begrænset af jordprofilets egenskaber, så rodtybden her bliver maksimalt 1,5 m.

5.3.4 Plante højde

Højden af vinterhveden blev reduceret til 80 cm for både gamle og nye sorter af vinterhvede på basis af data fra sortsforsøgene publiceret i "Oversigt over Landsforsøgene" (SEGES, 1987-2015) for de relevante tidsperioder.

```
(Canopy (HvsDS (0 [DS] 1 [cm]) (1 [DS] 80 [cm]) (2 [DS] 80 [cm])))
```

5.3.5 Udbytte og høstindeks

Fotosyntesen blev kalibreret ned, specielt i gamle blade, for at opnå udbytter på niveau med resultaterne fra landsforsøgene. Faldende effektivitet i bladenes fotosyntese i sidste del af vækstperioden er dokumenteret af Loreto et al. (1994) og Kong et al. (2010). Nedenstående parameterisering svarer til "Gl. vinterhvedesort". Der er ikke ændret i høstindeks (HI) for 1990-sorten, idet Daisy-modellens oprindelige vinterhvede blev parameteriseret omkring 1990, og derfor sandsynligvis nogenlunde afspejler de relevante sorter.

```
(LeafPhot (Fm 3.4 [g CO2/m^2/h]))
      (DSEff (0.0 [DS] 100 [%]) (1.0 [DS] 100 [%])
            (1.5 [DS] 100 [%]) (2.0 [DS] 75 [%]))
```

For "Ny vinterhvedesort" var målet at opnå et højere høstet udbytte, men også et højere HI. I begyndelsen af kalibreringsarbejdet arbejdede vi med uændret HI, men det viste sig umuligt at øge mængden af høstet kvælstof i kernen i Ny sort ved 2015-gødningsniveau uden at ændre HI. HI blev derefter kalibreret i forhold til Rasmussen et al.(2015) (ca. 55), hvilket gav den ønskede effekt. Ændringen af HI krævede ændringer i allokeringen af kulstof i planten og en reduktion af fotosynteseeffektiviteten.

```
(LeafPhot original (Fm 3.00 [g CO2/m^2/h]))
      (Partit (Stem (0.00 0.30) (0.40 0.30) (0.55 0.30)
              (0.62 0.50) (0.77 0.80) (0.95 0.90)
              (1.20 0.00) (1.38 0.00) (2.00 0.00)))
```

Et højere høstindeks kunne sandsynligvis også være opnået med samme Fm-værdi som i ”Gl.sort” og større bladdød senere i sæsonen, men for at opnå en korrekt tidlig beskrivelse for ”Ny sort” er der behov for data, der beskriver væksten over tid.¹

5.3.6 Kvælstofoptag i rødderne

Den originale vinterhvede var generelt set for effektiv til at optage tilført kvælstof i forhold til resultaterne fra landsforsøgene, og efterlod for lidt kvælstof til udvaskning i forhold til data fra Novana (Jensen et al, 2016). Vi udviklede derfor en ny beskrivelse af rodoptaget (se kapitel 5.1 og Appendix 1). Der er anvendt den samme parameterisering for begge afgrøder.

```
(Root (NO3_uptake variable_sink (F_relative 10 [%]))
      (MxNO3Up      2.00E-0008))
```

Den maksimale optagelsesrate er noget lavere end den maksimale rate bestemt for rødder i vandkultur ($2,5 \cdot 10^{-7}$ g/cm/h). At værdierne i praksis afviger fra laboratoriedata kan skyldes, at kontakten mellem rødder og jord i praksis er dårligere end i forsøgene, som er udført uden jord, med rødderne i næringsvæske. Robinson et al. (1991) fandt at mellem 11 og 3,5 % af den totale rodlængde var involveret i kvælstofoptag. Optagelsesraten er ikke justeret over sæsonen.

Der er imidlertid en fare for, at i alle fald en del af begrænsningen i N-optag sidst i sæsonen i højere grad er bestemt af plantens behov end af røddernes optagelsesevne. Det vil kræve en forbedring af den plantefysiologiske del af modellen at kunne beskrive dette bedre.

5.3.7 Kvælstofkoncentration i blade og stængler

Kvælstofkoncentrationen i blade og stængler er baseret på målinger fra Rasmussen et al. (2015).

```
(CrpN (PtStemCnc (0.50 0.0200) (1.12 0.0125) (1.28 0.0093) ;Same or original
        (1.53 0.0090)) ;New
      (CrStemCnc (0.50 0.0064) (1.12 0.0049) ;Same as original.
        (1.28 0.0045)))) ;New
```

¹ Der arbejdes på at forbedre den tidlige beskrivelse i et igangværende samarbejde mellem AU og KU under Future Cropping-projektet.

5.3.8 Kvælstofkoncentration i kerne

Parametrene, der beskriver kvælstofkoncentrationen i kerne, er baseret på landsforsøgsdataene. Udgangspunktet for kalibreringen var at anvende værdier svarende til de linjer, der er indsat i Figur 11 som illustration af potentiel (C_{pot}), kritisk (C_{crit}) og ”ikke-funktionel” (C_{nonf}) kvælstofkoncentration i kernen. C_{nonf} forventedes at være den værdi, som koncentrationen aldrig kommer under, C_{crit} , den koncentration, der er tilstrækkelig til at opnå maksimal produktion, og C_{pot} , den maksimalt opnåelige koncentration. Simuleringerne viste imidlertid, at slutkoncentrationerne kan stige i modningsfasen til mere end C_{pot} , fordi tørstof tabes via respiration. De værdier, der umiddelbart kan aflæses af graferne, er derfor ikke umiddelbart oversættelige til disse tre værdier. Desuden blev det klart, at C_{nonf} skulle sættes meget lavt, hvis de observerede koncentrationer ved lavt N-indhold skulle opnås. En reduktion af C_{pot} begrænsede N-optaget efter blomstring og førte til mere realistiske simulerede værdier for N i kerne ved høje gødningstilførsler. C_{crit} er dog bibeholdt som aflæst fra figurene. I den oprindelige parameterisering er de tre værdier henholdsvis 0,03, 0,015 og 0,014 g N/g tørstof. De ændrede parametre er vist nedenfor.

”Gl. vinterhvedesort”

(C _{rp} N (PtSOrgCnc (2.0 [DS] 0.020 [g N/g DM]))
(CrSOrgCnc (2.0 [DS] 0.015 [g N/g DM]))
(NfSOrgCnc (2.0 [DS] 0.006 [g N/g DM]))

”Ny vinterhvedesort”

(C _{rp} N (PtSOrgCnc (2.0 [DS] 0.020 [g N/g DM]))
(CrSOrgCnc (2.0 [DS] 0.014 [g N/g DM]))
(NfSOrgCnc (2.0 [DS] 0.004 [g N/g DM]))

Det fremgår, at C_{crit} og C_{nonf} er lavere for den moderne sort end for den gamle sort. En lavere værdi for C_{nonf} fører også til et lavere niveau af kvælstofstress.

5.4 Vårbyg

Daisys vårbygmodel har været brugt i projekter næsten lige så ofte som vinterhvedemodellen, men erfaringsmæssigt har parametrene ofte skulle tilpasses. Dette skyldes sandsynligvis, at den kortere vækstsæson og mere begrænsede rodzone af vårbyg gør den mere sensitiv til ændringer i klima, jord og sort, sammenlignet med vinterhveden. Så ud over den originale parameterisering har vi brugt elementer fra andre parameteriseringer, nemlig den tjekkiske Tolar-sort (Pohanková et al., 2015), en parameterisering baseret på et eksperiment i Foulum (van der Keur et al, 2001) og en ældre dansk parameterisering baseret på gennemsnitsudbytter, udviklet i forbindelse med Daisy-ståbi-arbejdet.

Vi havde endvidere adgang til RVI- data fra de sidste 7 års vårbyg målt i et igangværende projekt vedrørende jordpakning (Petersen et al, 2016) på Højbakkegård, Tåstrup. Disse er anvendt sammen med lokal information om jord, management og vejr til at kalibrere bladudviklingen for ”ny vårbyg-sort”. For vårbyg har ”Ny vårbygssort” været udgangspunktet, og på basis af kalibreringerne forventer vi, at udviklingen over tid er korrekt. ”Gl. vårbygssort” er herefter kalibreret, så høstindeks og udbytter passer til 1990-niveau, men uden data for den tidlige udvikling.

5.4.1 Initiel vækst

Den initielle vækst af vårbyg blev beskrevet med samme fremspiringsmodul som for vinterhveden, dog med en udsædsmængde på 140 kg. Den simulerede vækst var lidt for langsom i forhold til observationerne, så rod/skud-udviklingen blev justeret som for Tolar-parameteriseringen, så tidlig assimilationsproduktion fordeles ligeligt mellem rødder og skud. Oprindeligt blev 65 % af det tidlige assimilant fordelt til rødderne.

```
(Root (0.00 0.5) (0.5 0.45) (0.7 0.15) (0.95 0.05) (2.00 0.00))
```

5.4.2 Udviklingshastighed

Vårbygudviklingen over tid blev baseret på data fra jordpakkingsforsøget i Tåstrup, og udviklingsraterne for den vegetative og reproduktive periode er justeret efter disse data.

```
(DSRate1 0.028)
(DSRate2 0.024)
```

5.4.3 Bladarealudvikling

Data fra jordpakkingsforsøget i Tåstrup blev sammenlignet med de forskellige tilgængelige vårbyg-parameteriseringer, og den bedste overensstemmelse blev opnået ved ”Foulum”-parameteriseringen (van der Keur et al. 2001), hvor akset (og flagbladet) tillægges en fotosynese kapacitet. Desuden er raten, hvormed bladene dør, også taget fra denne parameterisering.

```
(Canopy (SpSOrgAI 0.005)
         (SOrgAIMod (0.0 1.0) (1.7 1.0) (2.0 0.0))
         (SOrgPhotEff 0.50))
(Prod (LfDR (0.00 0.00) (1.00 0.00) (1.20 0.02) (1.30 0.08) (2.00 0.10)))
```

Dernæst blev allokeringen af stof til forskellige dele af skuddet kalibreret efter RVI-data fra jordpakkingsforsøget (Petersen et al., 2016).


```
(Leaf (0.00 1.00) (0.25 0.45) (0.31 0.23) (0.60 0.23) (0.72 0.23)
      (0.83 0.23) (0.95 0.45) (1.21 0.00) (2.00 0.00))
(Stem (0.00 0.00) (0.25 0.55) (0.31 0.77) (0.60 0.77) (0.72 0.77)
      (0.83 0.77) (0.95 0.55) (1.21 0.00) (2.00 0.00))
```

5.4.4 Udbytte og høstindeks

Vi kalibrerede udbyttet for vårbyg på basis af landsforsøgene og tilpassede høstindeks, men med den kalibrerede version fra jordpakningseksperimentet som udgangspunkt. For ”Gl. vårbygssort” justeredes fotosynteseeffektiviteten for at øge stængelproduktion og sænke kerneproduktionen. Information om høstindeks i byg stammer fra Hay (1995), Peltonen-Sainio et al. (2008) og Unkovich et al. (2010).

```
(LeafPhot original
  (DSEff (0.0 [DS] 100 [%]) (1.0 [DS] 120 [%])
        (1.5 [DS] 100 [%]) (2.0 [DS] 10 [%])))
```

5.4.5 Rodvækst og kvælstofoptag i rødder.

De eksisterende parametre for rodvækst var i god overensstemmelse med, hvad vi kunne finde af nye data. Kvælstofoptaget gennem rødder blev modificeret som for vinterhvede.

5.4.6 Kvælstofkoncentration i blade og stængler

Kvælstofkoncentrationen i blade og stængler er taget fra parameteriseringen ”Foulum”, udviklet af van der Keur et al. (2001) og parameteriseringen ”Dansk”, der blev udviklet på basis af gennemsnitsudbytter i forbindelse med Daisy Ståbi-arbejdet (Styczen et al., 2005). Dette gav resultater, der var i bedre overensstemmelse med Landsforsøgsdataene end de oprindelige værdier.

```
(CrpN (PtLeafCnc (0.00 0.060) (0.80 0.040) (2.00 0.020) )
      (CrLeafCnc (0.00 0.030) (0.80 0.030) (2.00 0.015) )
      (NfLeafCnc (0.00 0.004) (0.80 0.004) (2.00 0.004) )
      (PtStemCnc (0.50 0.060) (1.00 0.020) (2.00 0.010) )
      (CrStemCnc (0.50 0.010) (1.00 0.010) (2.00 0.005) )
      (NfStemCnc (0.50 0.004) (1.00 0.004) (2.00 0.004) )
```

5.4.7 Kvælstofkoncentration i kerne

Parameteriseringen er udviklet på samme måde som for vinterhvede. De endelige parameteriseringer for de to sorter er vist nedenfor:

”Gl. vårbygsort”

```
(CrpN (PtSOrgCnc (2.0 [DS] 0.019 [g N/g DM]))  
(CrSOrgCnc (2.0 [DS] 0.014 [g N/g DM]))  
(NfSOrgCnc (2.0 [DS] 0.004 [g N/g DM]))
```

”Ny vårbygsort”

```
(CrpN (PtSOrgCnc (2.0 [DS] 0.019 [g N/g DM]))  
(CrSOrgCnc (2.0 [DS] 0.014 [g N/g DM]))  
(NfSOrgCnc (2.0 [DS] 0.001 [g N/g DM]))
```

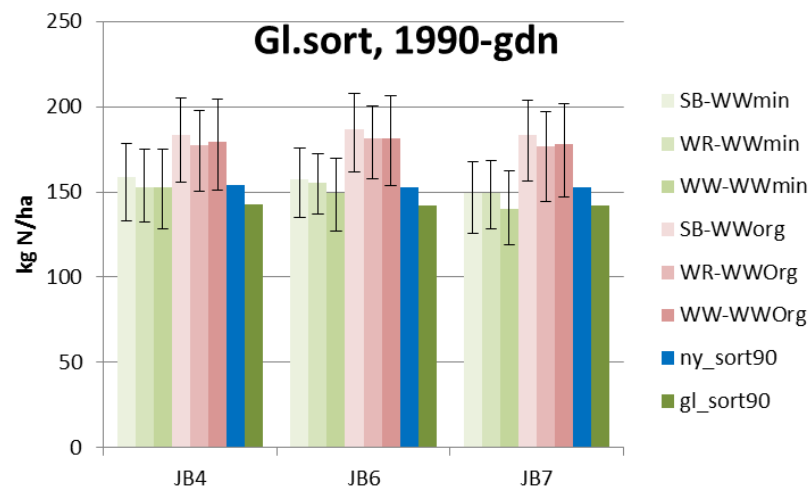
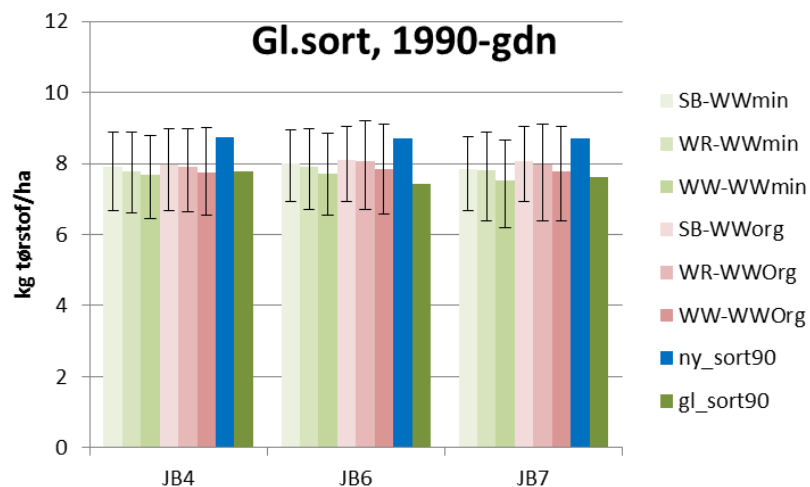
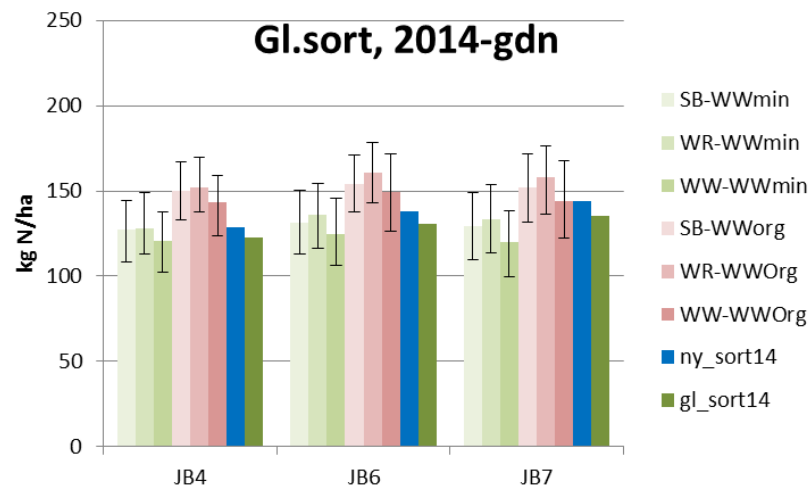
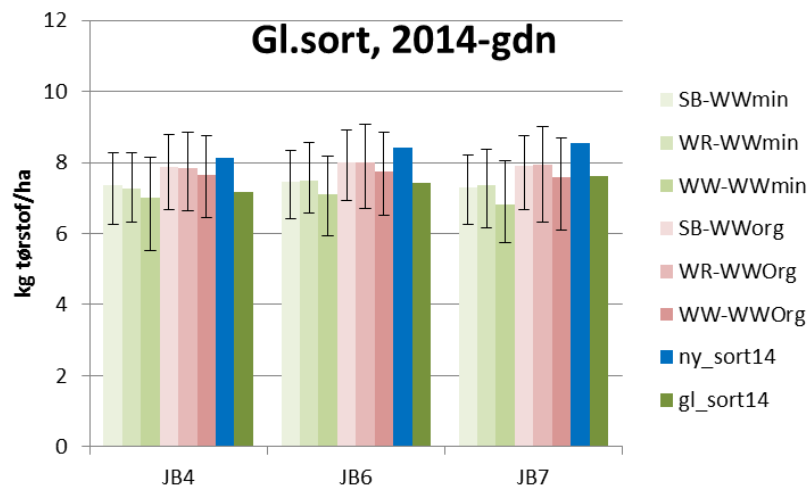
6 Analyse af resultater

6.1 Vinterhvede 1990 og 2014/15 (i forhold til måltal)

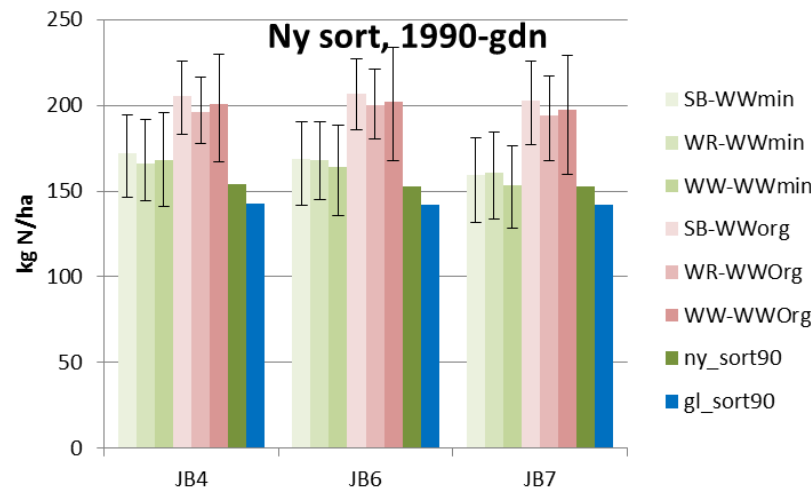
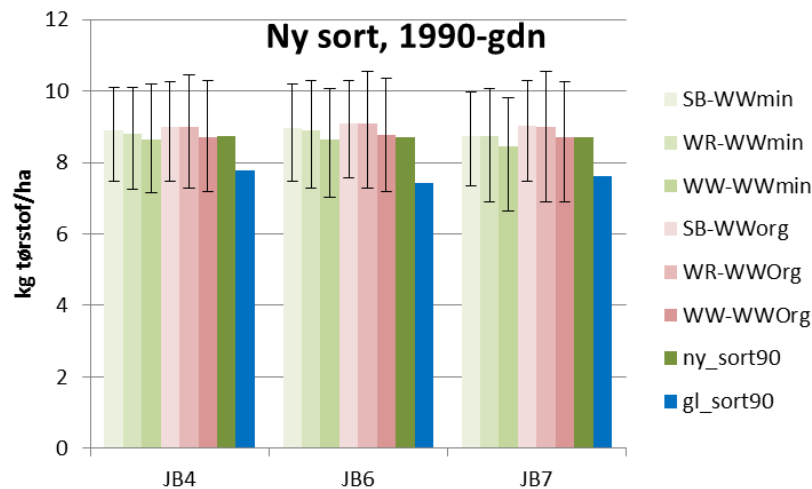
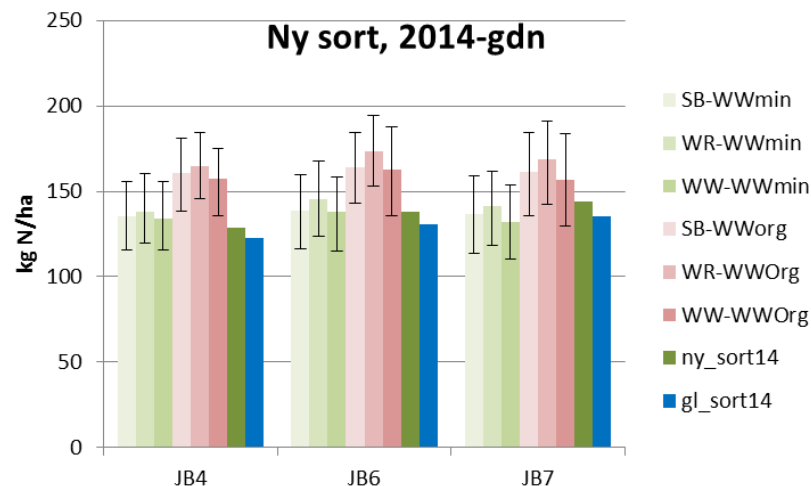
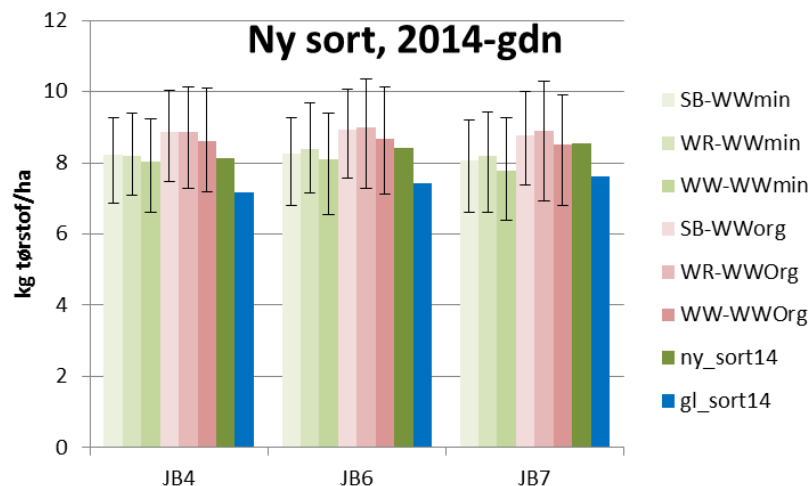
De gennemsnitlige simuleringresultater for de to sorter er vist i Figur 27 og Figur 28. Bemærk, at måltallene for JB4 er usikre². Simuleringerne afspejler imidlertid måltallene for tørstof fint, både for Gl. og Ny sort. Høstet kvælstof ved 2014-gødning simuleres også rimeligt for begge sorter, mens optagelsen af kvælstof ved højt N-niveau er lidt for høj, især for den nye sort. Det skal dog bemærkes, at når den nye sort simuleres under 1990-forhold, så får alle afgrøder i sædskiftet mere gødning, og der vil derfor være en større eftervirkning end i et etårs-forsøg. Figur 29 viser hvordan gennemsnitsværdierne af simuleringerne ligger i forhold til alle gødningsforsøgene. Resultaterne falder inden for fordelingerne, med udbytter i den bedre del af punktmængden, hvilket er forventet, da vi kun beskriver begrænsninger i forhold til vand og kvælstof. I figurerne er også vist minimums- og maksimumsværdier i de simulerede serier, og de viser, at spændet er betydeligt, men afspejler den spredning, der også ses i forsøgene. Figur 30 viser resultatet af en simulering, hvor vinterhveden efter raps kun modtager 50 kg N (og vårbyg i samme simulering modtager 40 kg N). Det er altså et ret næringsfattigt sædskifte. Resultaterne falder fint inden for de tilsvarende forsøgsdata.

Mens mængden af høstet N passer med forsøgsdata og høstindekset for Gl. sort svarer til den oprindelige kalibrering, så svarer høstindekset for 2014-sorten til forsøgsdata for en moderne sort. Der har ikke været data vedrørende N-optagelsen i løbet af sæsonen i SEGES' forsøg, og den tidlige fordeling af optagelsen er derfor ikke dokumenteret for den nye sort. Den nye sort optager mindre kvælstof i den vegetative fase end Gl. sort (5-11 kg i de mineralsk gødede scenarier), og det kan meget vel være et artefakt af kalibreringen. I den reproduktive fase svinger forskellen i optagelse mellem Ny og Gl. sort fra -3-+3 kg i de samme scenarier, så forskellen er minimal. Ved det organiske gødningsniveau fra 2014 opfører sorterne sig stort set som ved de mineralske gødningsniveauer. Ved det organiske gødningsniveau fra 1990 tager den nye sort systematisk noget mindre N op i den vegetative fase og fra 1 til 6 kg mere i den reproduktive fase. Ændringerne er i høj grad betinget af ændringerne i høstindeks.

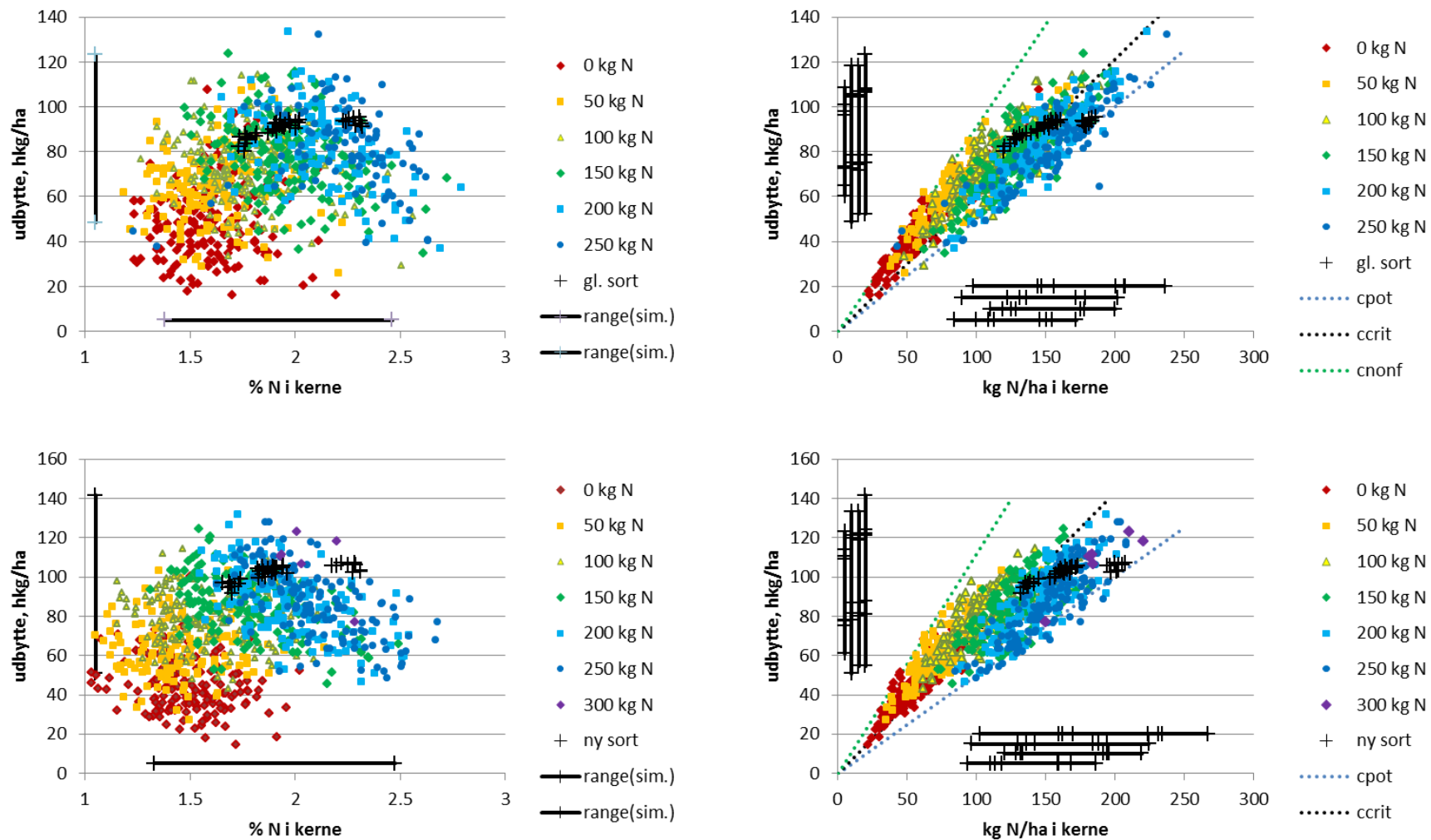
² Måltal ikke er jordtype- og lokalitetsspecifikke, men lavet som gennemsnit over forsøgsdata.



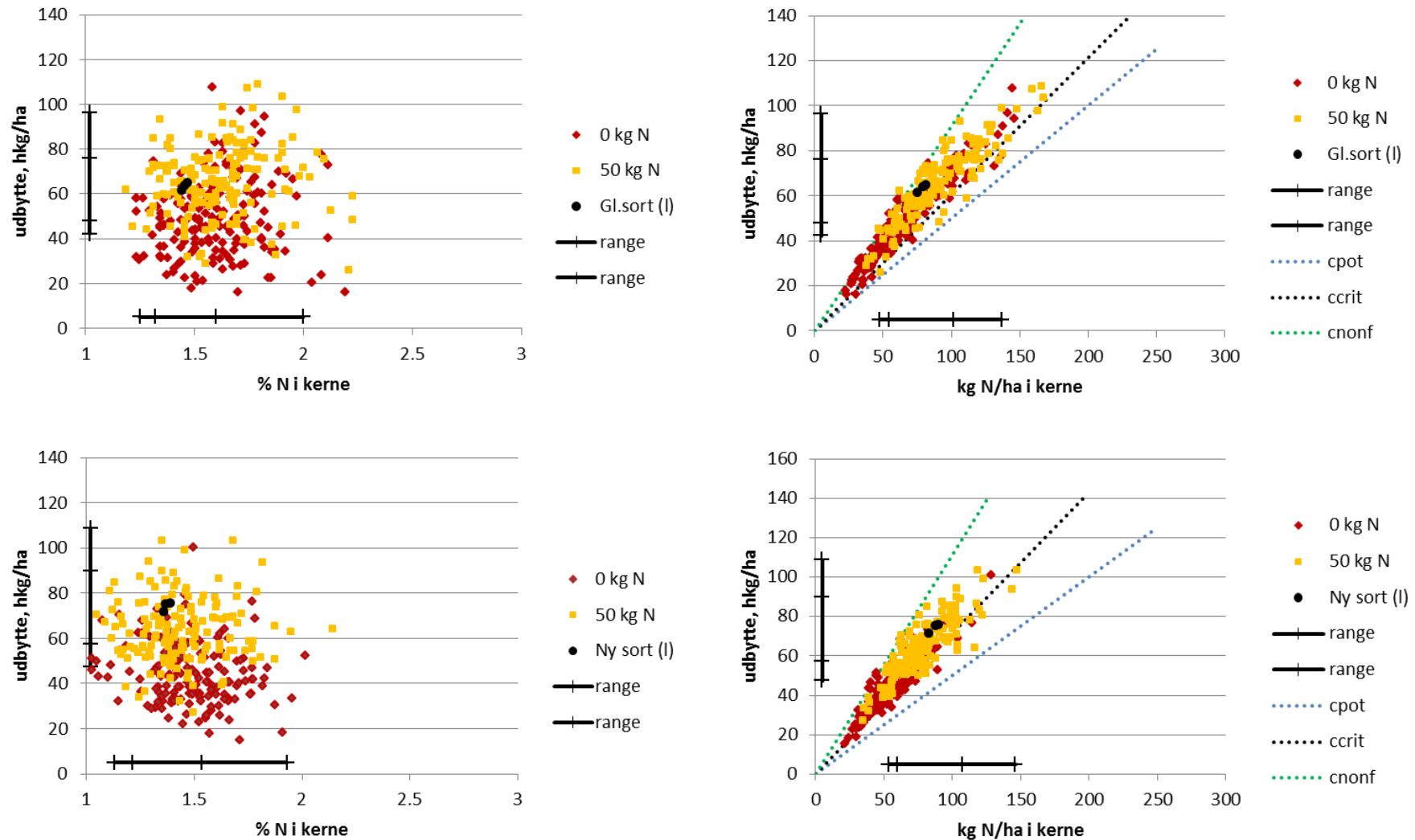
Figur 27. Aggregerede resultater for vinterhvedesimuleringer med Gl. sort. Øverst: Tørstofudbytterne og kg N i høstet kerne ved 2014-gødningsniveau. Nederst: Tørstofudbytter og kg N i høstet kerne ved 1990-gødningsniveau. De lysegrønne søjler viser resultaterne for vinterhvede efter vårbyg (SB), vinterraps (WR) og vinterhvede (WW) gødet med mineralisk gødning, mens de rødlige søjler viser tilsvarende resultater for simuleringer med organisk gødning. Den mørkegrønne søjle er måltal for Gl. sort, som resultaterne skal sammenlignes med. Den blå søjle er måltal for Ny sort. 10- og 90 %-fraktiler er angivet for de beregnede værdier.



Figur 28. Aggregerede resultater for vinterhvedesimuleringer med Ny sort. Øverst: Tørstofudbytterne og kg N i høstet kerne ved 2014-gødningsniveau. Nederst: Tørstofudbytterne og kg N i høstet kerne ved 1990-gødningsniveau. De lysegrønne søjler viser resultaterne for vinterhvede efter vårbyg (SB), vinterraps (WR) og vinterhvede (WW) gødet med mineralsk gødning, mens de rødlige søjler viser tilsvarende resultater for simuleringer med organisk gødning. Den mørkegrønne søjle er måltal for Ny sort, som resultaterne skal sammenlignes med. Den blå søjle er måltal for Gl. sort. 10- og 90 %-fraktiler er angivet for de beregnede værdier.



Figur 29. Gennemsnitlige simuleringresultater for Gl. sort (øverst) og Ny sort (nederst), plottet på de tilsvarende fordelinger fra gødningsforsøgene (3 jordtyper*2 gødn. niveauer*2 gødn.typer*3 sædskifteplaceringer). Det fremgår, at udbytter og høstet N falder inden for de forventede fordelinger. De sorte linjer langs akserne på figurerne til venstre viser de minimale og maksimale koncentrationer og udbytter simuleret. Spændet dækker de fleste forsøg fra 100 kg N og op. På figurerne til højre er angivet 4 linjer langs hver akse. Udefra og ind er det spændene i simuleringresultater ved mineralisk 2014-gødning, organisk 2014-gødning, mineralisk 1990-gødning og organisk 1990-gødning. De krydsende streger på fordelingerne indikerer 10 og 90 %-fraktiler. NB: de indlagte linjer for C_{pot} , C_{crit} og C_{nonf} svarer ikke til værdierne i modellen.



Figur 30. Gennemsnitlige simuleringresultater for GI- og Ny vinterhvedesort ved tildeling af 50 kg N (efter vinterraps). Resultatet er plottet på gamle og nye forsøgsdata med 0 og 50 kg N/ha. Linjerne langs akserne indikerer 0, 10, 90 og 100 %-fraktilværdierne for simuleringerne. NB: de indlagte linjer for C_{pot} , C_{crit} og C_{nonf} svarer ikke til værdierne i modellen.

Tabel 12. Sammenligning af modelberegnet udbytte, høstet N og N % i kerne i Gl. og Ny sort af vinterhvede samt forskel mellem de to for forskellige kombinationer af forfrugt, gødningsmængde og gødningstype.

forfrugt	gdn.niveau	jordtype	Ny sort			Gl. sort			forskel			
			Udbytte hkg/ha	N kg N/ha	N %	Udbytte hkg/ha	N kg N/ha	N %	Udbytte hkg/ha	N kg N/ha	N %	
Vårbyg	2014	JB4	96,7	135,6	1,65	86,5	127,3	1,74	10,2	8,3	-0,08	
		mineralsk	JB6	97,1	139,0	1,69	87,8	131,4	1,76	9,3	7,5	-0,08
			JB7	94,9	136,8	1,70	86,0	129,3	1,77	8,9	7,5	-0,07
	1990	JB4	104,7	171,9	1,94	92,9	158,7	2,02	11,8	13,2	-0,08	
		mineralsk	JB6	105,3	168,7	1,89	94,2	157,2	1,97	11,1	11,6	-0,08
			JB7	102,9	159,4	1,83	92,4	149,1	1,90	10,5	10,4	-0,07
vinterraps	2014	JB4	96,3	137,7	1,69	85,4	128,2	1,77	10,9	9,5	-0,08	
		mineralsk	JB6	98,6	145,2	1,74	88,3	136,0	1,82	10,3	9,2	-0,08
			JB7	96,5	141,5	1,73	86,7	133,4	1,81	9,7	8,2	-0,08
	1990	JB4	103,5	165,8	1,90	91,4	152,5	1,97	12,1	13,3	-0,07	
		mineralsk	JB6	104,5	167,8	1,90	93,0	155,3	1,98	11,5	12,5	-0,07
			JB7	102,9	160,4	1,85	91,7	149,3	1,93	11,2	11,2	-0,08
vinterhvede	2014	JB4	94,6	134,2	1,68	82,3	120,5	1,73	12,3	13,7	-0,05	
		mineralsk	JB6	95,1	137,7	1,71	83,5	124,6	1,76	11,7	13,1	-0,05
			JB7	91,7	132,2	1,70	80,2	119,7	1,76	11,5	12,5	-0,06
	1990	JB4	101,5	167,9	1,96	90,2	152,4	2,00	11,3	15,5	-0,04	
		mineralsk	JB6	101,7	163,7	1,91	90,8	149,4	1,95	10,9	14,3	-0,04
			JB7	99,3	153,1	1,83	88,3	139,8	1,87	11,0	13,3	-0,05

Tabel 12, fortsat.

forfrugt	gdn.niveau	jordtype	Ny sort			Gl. sort			forskel			
			Udbytte hkg/ha	N kg N/ha	N %	Udbytte hkg/ha	N kg N/ha	N %	Udbytte hkg/ha	N kg N/ha	N %	
Vårbyg	2014	JB4	104,4	160,8	1,82	92,7	149,9	1,91	11,7	10,9	-0,09	
		organisk	JB6	105,2	163,9	1,84	94,2	153,9	1,93	11,0	10,0	-0,09
		JB7	103,3	161,4	1,85	92,8	151,7	1,93	10,5	9,8	-0,08	
	1990	JB4	105,9	205,1	2,29	93,6	183,4	2,31	12,2	21,6	-0,02	
		organisk	JB6	106,9	207,0	2,28	95,3	186,4	2,30	11,6	20,6	-0,02
		JB7	106,3	202,9	2,25	94,9	183,4	2,28	11,5	19,4	-0,03	
vinterraps	2014	JB4	104,3	164,4	1,87	92,1	151,9	1,95	12,2	12,5	-0,08	
		organisk	JB6	105,8	173,1	1,94	94,1	160,7	2,02	11,7	12,4	-0,08
		JB7	104,7	168,8	1,91	93,3	157,8	2,00	11,4	11,0	-0,09	
	1990	JB4	105,8	196,3	2,20	93,2	177,1	2,24	12,7	19,2	-0,05	
		organisk	JB6	106,8	200,1	2,22	94,7	181,1	2,26	12,1	19,1	-0,04
		JB7	105,8	194,4	2,18	93,9	176,9	2,23	12,0	17,5	-0,05	
vinterhvede	2014	JB4	101,4	157,4	1,85	89,9	143,5	1,89	11,5	13,9	-0,05	
		organisk	JB6	102,1	162,8	1,89	91,1	149,4	1,94	11,0	13,5	-0,05
		JB7	100,0	156,9	1,86	89,1	144,2	1,91	10,9	12,7	-0,06	
	1990	JB4	102,5	200,8	2,31	91,1	179,5	2,32	11,3	21,4	-0,01	
		organisk	JB6	103,3	202,2	2,31	92,4	181,6	2,32	10,9	20,7	-0,01
		JB7	102,4	197,1	2,27	91,7	177,7	2,29	10,8	19,3	-0,02	

6.2 Sammenligninger af sortseffekter 1990-2015

I Tabel 12 er simuleret udbytte, høstet N i kerne samt N % for Gl. og Ny sort sammenlignet. Tallene kan sammenlignes med forskellen på måltallene, vist i Tabel 7. Forskellen på tørstofudbytte på 10-11 hkg/ha er afspejlet fint i simuleringerne. Den gennemsnitlige forskel på mængden af høstet kvælstof i mineralsk gødede scenarier er 8,3-15,5 kg N/ha på JB4, 7,5-14,3 kg N/ha på JB6 og 7,5-13,3 kg N/ha på JB7. Forskel i måltallene var 5,3 til 11,4 kg N/ha.

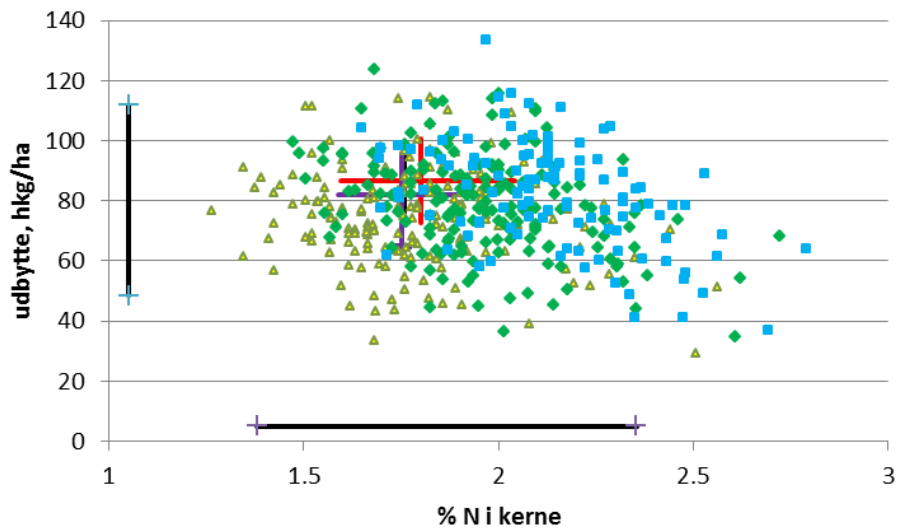
Man kan argumentere for, at forskellen i kvælstofmåltallene skal være lidt mindre end forskellen mellem simuleringerne. Selv om vi har forsøgt at rense de gamle tal for eftervirkning, så indgik et forsøg i 1987-94 med gødning på 2014-niveau i et generelt rigere sædskifte end det, der repræsenteres her i scenariet ved 2014-niveau, hvor alle marker i sædskiftet gødes til 2014-niveau. Simuleringerne dækker derfor over både en "etårseffekt" og en effekt af det generelle niveau i sædskiftet.

Ser vi mere detaljeret på tallene fra det mineralske 2014-gødningsniveau, så ligger måltallene på 5,3-8,7 kg N/ha, mens den gennemsnitlige forskel i høstet N mellem Gl. og Ny sort er 7,5-8,3 efter vårbyg, 8,2 -9,5 efter raps og 12,5-13,3 efter vinterhvede, som også er det kvælstofmæssigt mest pressede scenarie. For det mineralske 1990-gødningsniveau lå forskellen i måltallene på 9,1-11,4 kg N/ha, mens de gennemsnitlige forskelle efter vårbyg, raps og vinterhvede var 10,4-13,2; 11,2-13,3 og 13,3-15,3. Der er altså en systematisk større forskel i N-optagelsen mellem de to sorter i beregningerne på 2-3 kg N/ha mere end måltallene umiddelbart viste, når de udsættes for ens forhold i scenarierne.

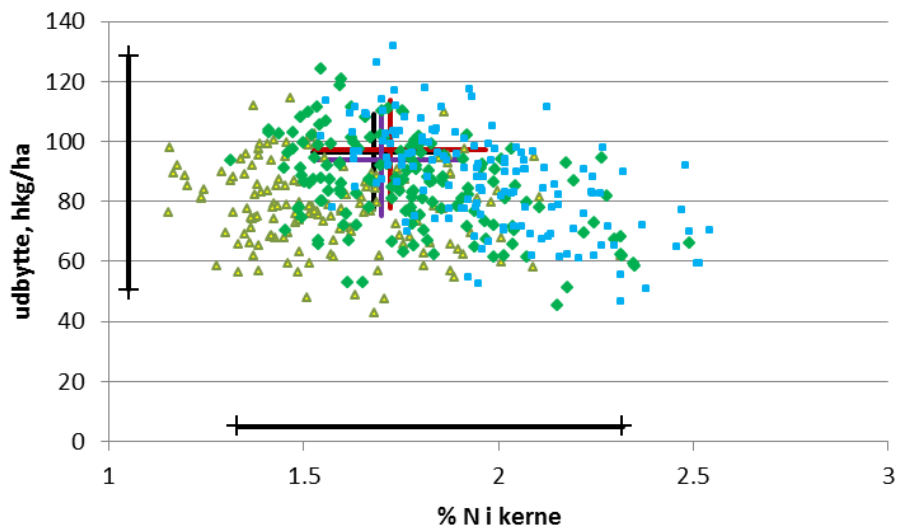
Forskellen i N % mellem gamle og nye forsøg var 0,1-0,05. Undtages 1990-organisk-scenarierne er forskellen i de beregnede gennemsnitstal -0,09-(-0,04) % N, hvilket ligger tæt på måltallene. Ved et udbytte på 100 hkg/ha svarer 0,01 % N til mindre end 1 kg N i høstet kerne, og vi anser derfor overensstemmelsen for at være god. For det organisk-gødede 1990-scenarie er forskellen i N % mindre. Dette gødningsniveau er ikke afspejlet i Tabel 7; det vil ligge væsentligt over, og tallene i Tabel 7 indikerer da også, at forskellen i N % falder med højere gødningsniveau.

Figur 31 viser 10-90 %-fraktilerne for udbytter og N % i de mineralsk gødede scenarier for Gl. og Ny sort oven på forsøgsresultater for 100, 150 og 200 kg N/ha for Gl. og Ny sort. Minimums- og

maksimumsværdierne i simuleringerne er angivet langs med akserne. Det ses, at udbytterne er højere, at N %-fordelingerne er rykket mod lidt lavere værdier, og at minimumsværdien for N-procenten er faldet lidt. Den grønne signatur i figuren svarer til udbytter og N-procenter opnået i forsøg ved 150 kg N/ha, som ligger tættest på 2014-gødningsniveauet.



a) Gl. sort



b) Ny sort

Figur 31. Simuleringsresultater for scenarier med mineralsk gødning på 2014-niveau. Øverst: Gl. sort plottet på data fra 1987-94, Nederst: Ny sort plottet på data fra 2010-15.. Krydserne viser 10-90 %-fraktilerne for simuleringer med vårbyg som forfrugt (sort), vinterraps som forfrugt (rød) og vinterhvede (lilla). De øvrige signaturer svarer til Figur 28 (gul: 100 kg N, grøn: 150 kg N og blå: 200 kg N). Linjerne langs akserne angiver min-max-værdier for de samme simuleringer.

Faldet i N % som følge af sortsændringen estimeres altså til at ligge mellem ca. 0,09 % ved 150 kg og 0,05 % ved 190 kg N, svarende til 0,6-0,4 % råprotein. Tybirk (2012) estimerede faldet i råprotein fra sorter frigivet fra 1980 til 2006 til ca. 1,2 % råprotein i tørstof og ca. halvdelen af dette fra 1993 og frem, svarende til 0,09 % N. Anvendes sorten ”Ritmo” som udgangspunkt for begyndelsen af 90’erne er faldet lidt mindre (0,04-0,08). Der er altså god overensstemmelse.

6.3 Sammenligning af gødningseffekter

I Tabel 13 og Tabel 14 er de beregnede N-procenter simuleret med Gl. og Ny sort for 1990- og 2014-gødningsniveau vist, og forskellen er beregnet. Desuden er simuleringsresultaterne sammenlignet med forsøgsdataene (ikke vist). Resultaterne for det simulerede 90-gødningsniveau falder inden for forsøgsresultaterne i de gamle forsøg svarende til 150 og 200 kg N/ha, mens resultaterne ligger lidt mere yderligt i de nye forsøg. Her skal det bemærkes, at i scenarierne modtager alle fem afgrøder i sædskiftet gødning svarende til 1990- eller 2014- niveau, så simuleringsresultaterne for ”Ny sort” ved 1990-gødningsniveau vil sandsynligvis have en højere eftervirkning fra tidligere år end de tilsvarende nutidige forsøg. Det fremgår, at for den nye sort er gødningsniveauet for de mineralsk gødede scenarier skyld i et fald på 0,12-0,29 % N i gennemsnit. Faldet er lidt mindre for den gamle sort (i størrelsesordenen 0,01 procentpoint). Alle minimums- og maximumskoncentrationer opnået i simuleringerne er faldet ved 2014-gødningsniveau. De største fald i minimumsværdier findes for JB4 og for vinterhvede efter vinterhvede, mens maximumskoncentrationerne er faldet mest for vinterhvede efter vårbyg. Gennemsnitsværdierne svarer til fald i råprotein i tørstof på 0,75-1,81 %.

Billedet er nogenlunde det samme for de organisk gødede scenarier. Fordelingerne for udbytte og N % i kerne ligger pænt inden for forsøgsdata fra 1987-94 ved både 1990 og 2014-gødningsniveau, mens de ved det meget høje ”organiske” gødningsniveau fra 1990, som ikke er realistisk i dag, næsten falder helt uden for forsøgene fra 2010-15. Også simuleringerne af organisk gødning på 2014-niveau ligger højt i forhold til forsøgsdata, men igen skal det bemærkes at alle led i sædskiftet modtager organisk gødning. For de organisk gødede simuleringer er det gennemsnitlige fald i N % større end for mineralsk gødning. For den nye sort er faldet 0,41-0,47 i N % for vinterhvede efter korn og 0,26-0,32 efter raps, og for den gamle sort er niveauet 0,03-0,07 enheder mindre. Faldet i 10 %’s-fraktilværdi er af samme størrelsesorden som for gennemsnittet. Faldet i maksimumsværdier er i størrelsesordenen 0,01-0,11 % N.

Tabel 13. N % i vinterhvedesimuleringer (gnsn. og fraktilværdier) med Gl. sort ved 1990- og 2014-gødningsniveau som funktion af jordtype og gødnings-niveau og -type, og forskel på gennemsnits- samt 10- og 90 %-fraktilværdier.

Gl. sort	Gødnings-			Gnsn.	N%					N% forskel		
	forfrugt	jord	type niveau		0	10	50	90	100	Δgnsn	Δ10	Δ90
vårbyg	JB4	min	1990	2,02	1,66	1,78	2,02	2,27	2,35			
		min	2014	1,74	1,49	1,61	1,74	1,86	2,19	-0,28	-0,17	-0,17
	JB6	min	1990	1,97	1,64	1,77	1,96	2,20	2,35			
		min	2014	1,76	1,55	1,63	1,76	1,91	2,16	-0,21	-0,09	-0,13
	JB7	min	1990	1,90	1,62	1,73	1,90	2,11	2,31			
		min	2014	1,77	1,57	1,65	1,76	1,93	2,13	-0,13	-0,05	-0,08
Vinterraps	JB4	min	1990	1,97	1,62	1,76	1,95	2,27	2,35			
		min	2014	1,77	1,51	1,60	1,74	1,97	2,35	-0,20	-0,11	-0,17
	JB6	min	1990	1,98	1,57	1,75	1,95	2,25	2,35			
		min	2014	1,82	1,55	1,64	1,79	2,04	2,35	-0,16	-0,02	-0,11
	JB7	min	1990	1,93	1,58	1,71	1,89	2,17	2,35			
		min	2014	1,81	1,60	1,67	1,78	1,99	2,30	-0,11	0,02	-0,05
Vinterhvede	JB4	min	1990	2,00	1,69	1,75	1,99	2,23	2,35			
		min	2014	1,73	1,38	1,59	1,71	1,85	2,29	-0,27	-0,31	-0,17
	JB6	min	1990	1,95	1,62	1,74	1,93	2,18	2,35			
		min	2014	1,76	1,42	1,64	1,74	1,90	2,25	-0,19	-0,20	-0,10
	JB7	min	1990	1,87	1,54	1,71	1,83	2,09	2,30			
		min	2014	1,76	1,48	1,64	1,74	1,89	2,11	-0,11	-0,06	-0,06
vårbyg	JB4	org	1990	2,31	2,00	2,18	2,35	2,35	2,44			
		org	2014	1,91	1,57	1,72	1,91	2,11	2,35	-0,40	-0,43	-0,46
	JB6	org	1990	2,30	1,99	2,18	2,35	2,35	2,36			
		org	2014	1,93	1,60	1,74	1,92	2,15	2,35	-0,37	-0,39	-0,44
	JB7	org	1990	2,28	1,94	2,12	2,35	2,35	2,36			
		org	2014	1,93	1,63	1,72	1,92	2,14	2,34	-0,35	-0,31	-0,40
Vinterraps	JB4	org	1990	2,24	1,86	2,03	2,28	2,35	2,39			
		org	2014	1,95	1,54	1,74	1,92	2,23	2,35	-0,29	-0,32	-0,30
	JB6	org	1990	2,26	1,80	2,03	2,33	2,35	2,36			
		org	2014	2,02	1,59	1,77	2,01	2,28	2,35	-0,23	-0,21	-0,26
	JB7	org	1990	2,23	1,77	1,95	2,30	2,35	2,36			
		org	2014	2,00	1,62	1,78	2,00	2,24	2,35	-0,23	-0,14	-0,17
Vinterhvede	JB4	org	1990	2,32	2,06	2,23	2,35	2,35	2,46			
		org	2014	1,89	1,56	1,69	1,86	2,10	2,35	-0,43	-0,50	-0,54
	JB6	org	1990	2,32	2,06	2,23	2,35	2,35	2,37			
		org	2014	1,94	1,60	1,73	1,91	2,19	2,35	-0,38	-0,46	-0,50
	JB7	org	1990	2,29	1,94	2,13	2,35	2,35	2,37			
		org	2014	1,91	1,56	1,74	1,88	2,14	2,32	-0,37	-0,38	-0,39

Tabel 14. N % i vinterhvedesimuleringer (gnsn. og fraktilværdier) med Ny sort ved 1990- og 2014-gødningsniveau som funktion af jordtype og gødnings-niveau og -type, og forskel på gennemsnits- samt 10- og 90 %-fraktilværdier.

Ny sort				Gnsn.	N%					N% forskel		
forfrugt	jord	Gødnings- type	niveau		0	10	50	90	100	Δ gnsn	Δ 10	Δ 90
vårbyg	JB4	min	1990	1,94	1,58	1,69	1,94	2,21	2,35	-0,29	-0,18	-0,17
		min	2014	1,65	1,40	1,52	1,65	1,78	2,13			
	JB6	min	1990	1,89	1,57	1,69	1,88	2,14	2,34	-0,21	-0,10	-0,13
		min	2014	1,69	1,48	1,56	1,67	1,84	2,08			
	JB7	min	1990	1,83	1,54	1,66	1,80	2,06	2,26	-0,13	-0,03	-0,06
		min	2014	1,70	1,51	1,60	1,67	1,86	2,04			
Vinterraps	JB4	min	1990	1,90	1,51	1,66	1,85	2,22	2,36	-0,21	-0,10	-0,13
		min	2014	1,69	1,41	1,53	1,66	1,90	2,31			
	JB6	min	1990	1,90	1,49	1,66	1,85	2,22	2,36	-0,16	-0,02	-0,09
		min	2014	1,74	1,47	1,57	1,71	1,96	2,30			
	JB7	min	1990	1,85	1,50	1,65	1,81	2,10	2,34	-0,12	0,02	-0,05
		min	2014	1,73	1,52	1,60	1,71	1,88	2,21			
Vinterhvede	JB4	min	1990	1,96	1,63	1,69	1,94	2,22	2,35	-0,28	-0,30	-0,15
		min	2014	1,68	1,33	1,54	1,65	1,85	2,32			
	JB6	min	1990	1,91	1,57	1,67	1,89	2,18	2,35	-0,20	-0,18	-0,09
		min	2014	1,71	1,38	1,58	1,69	1,90	2,25			
	JB7	min	1990	1,83	1,48	1,65	1,79	2,09	2,28	-0,13	-0,06	-0,06
		min	2014	1,70	1,42	1,58	1,68	1,85	2,09			
vårbyg	JB4	org	1990	2,29	1,92	2,11	2,35	2,36	2,42	-0,46	-0,46	-0,48
		org	2014	1,82	1,46	1,63	1,79	2,05	2,31			
	JB6	org	1990	2,28	1,91	2,11	2,35	2,36	2,37	-0,44	-0,41	-0,46
		org	2014	1,84	1,51	1,65	1,83	2,09	2,28			
	JB7	org	1990	2,25	1,85	2,04	2,33	2,35	2,37	-0,41	-0,27	-0,39
		org	2014	1,85	1,58	1,65	1,83	2,08	2,26			
Vinterraps	JB4	org	1990	2,20	1,72	1,95	2,21	2,36	2,37	-0,32	-0,28	-0,31
		org	2014	1,87	1,44	1,64	1,82	2,18	2,36			
	JB6	org	1990	2,22	1,70	1,92	2,27	2,36	2,37	-0,28	-0,20	-0,24
		org	2014	1,94	1,50	1,68	1,91	2,22	2,36			
	JB7	org	1990	2,18	1,67	1,85	2,22	2,36	2,37	-0,26	-0,13	-0,18
		org	2014	1,91	1,54	1,67	1,91	2,16	2,35			
Vinterhvede	JB4	org	1990	2,31	1,99	2,16	2,35	2,36	2,47	-0,47	-0,49	-0,53
		org	2014	1,85	1,50	1,63	1,82	2,07	2,35			
	JB6	org	1990	2,31	2,02	2,18	2,35	2,36	2,38	-0,42	-0,49	-0,52
		org	2014	1,89	1,53	1,66	1,87	2,16	2,35			
	JB7	org	1990	2,27	1,89	2,07	2,35	2,36	2,37	-0,41	-0,41	-0,40
		org	2014	1,86	1,49	1,67	1,81	2,11	2,28			

6.4 Tidslig og rumlig fordeling af N-optagelsen.

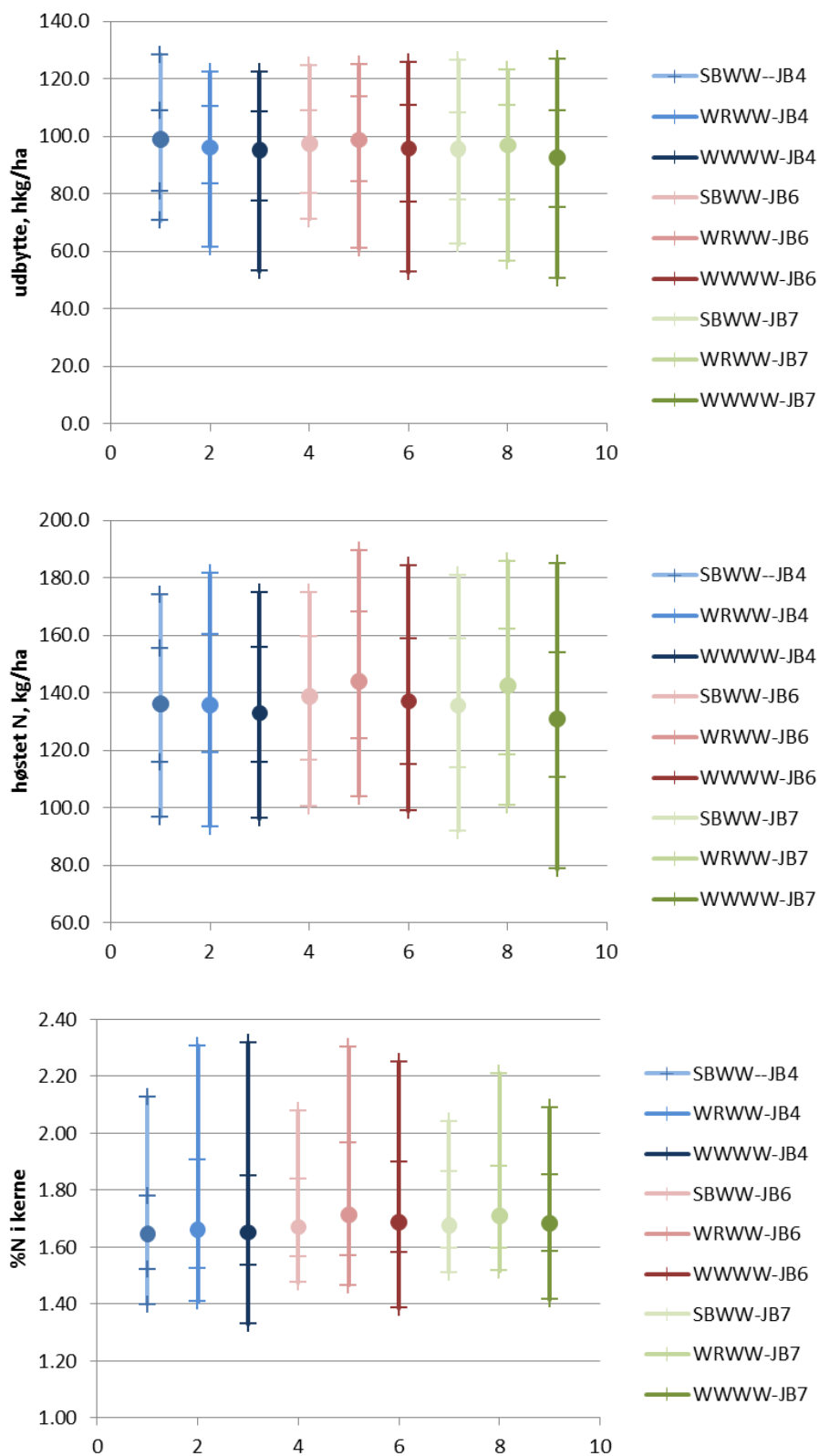
En hypotese var, at det faldende proteinindhold i kerne skyldes, at der er mindre tilgængeligt N i jordens dybere lag til optagelse i den reproduktive fase ved de lave kvælstofniveauer i 2014. Der er klart en mindre optagelse i de 2014-gødede simuleringer end i de 1990-gødede uanset sort. I den vegetative fase er N-optagelsen ved mineralsk gødning i den gamle sort 14-18 kg/ha lavere, lidt varierende med jordtype og forfrugt, mens den i den nye sort er 13-17 kg/ha lavere. I den reproduktive fase er optagelsen 11-31 kg N/ha lavere i den gamle sort og 12-31/ha kg lavere i den ny sort. De største fald ses i optagelsen fra de øverste 50 cm, men i den reproduktive fase ses en forskel i optagelse ned til 150 cm.

Sammenlignes optagelsen i de organisk gødede simuleringer ved de to gødningsniveauer er forskellene endnu større. Faldet i optagelse i den vegetative fase er på 17 til 26 kg N/ha i simuleringer med Gl. sort og 13-23 kg N/ha i Ny sort. I den reproduktive fase er faldene på 18 til 41 kg N/ha i Gl. sort og 21-48 kg N/ha i Ny sort. Det stemmer overens med, at den nye sort har et højere udbytte og høstindeks og dermed også et større potentiale til at optage N senere i sæsonen, hvis det er tilgængeligt.

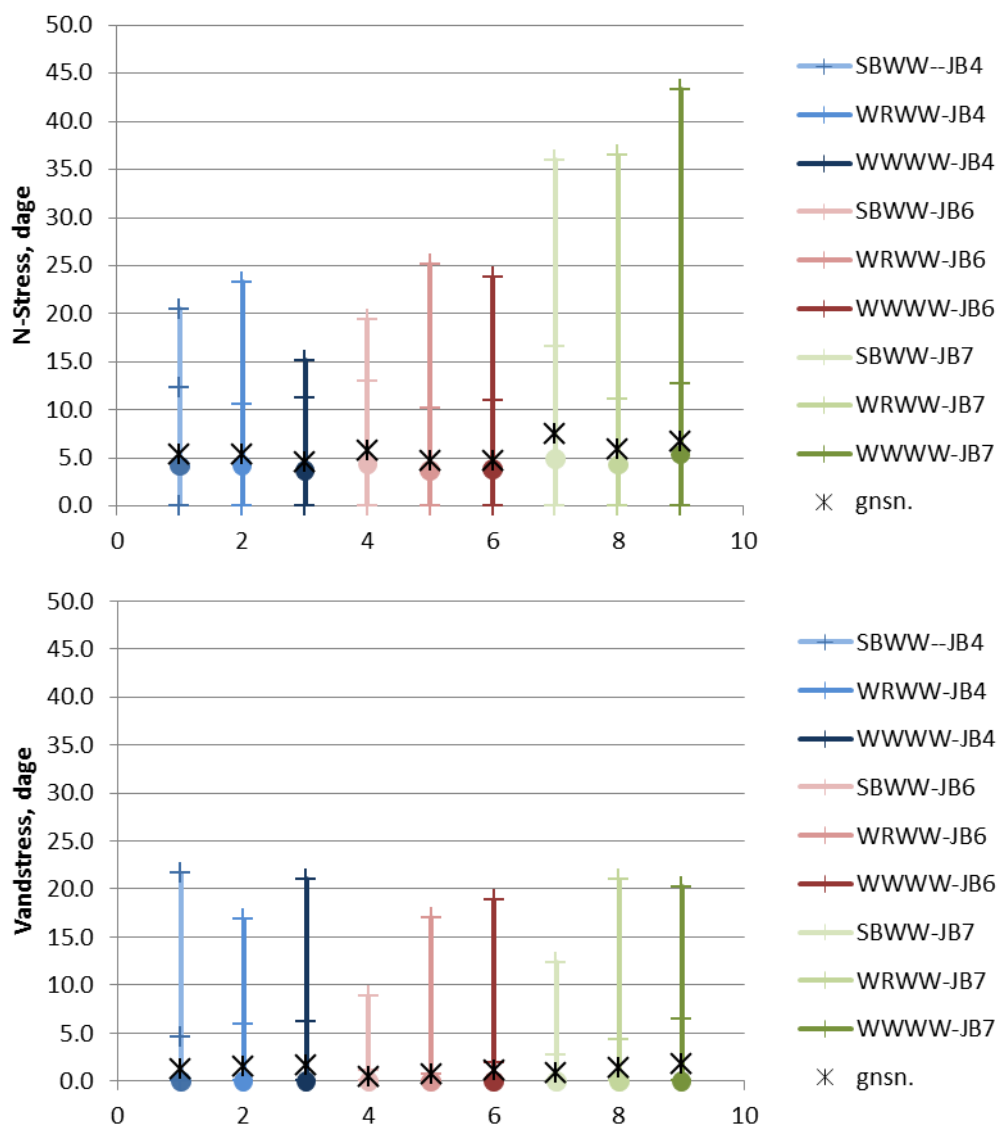
Udtrykkes fordelingen af N-optagelsen fra forskellige lag i jorden som procent af totaloptagelsen, stiger de øverste 50 cm's betydning, når gødningsmængden begrænses, som i 2014-gødningsscenariet. I alle kombinationer optages mere end halvdelen af kvælstofmængden i den reproduktive fase.

6.5 Effekt af sædskifte og jordtype

I beregningerne indgår vinterhvede efter vårbyg, efter vinterraps og efter vinterhvede. Resultater for udbytte, høstet N og N % i "Ny sort" er vist i Figur 32 som 0, 10, 50, 90 og 100-procentsfraktiler. Bemærk, at der er små forskelle på de gennemsnitsværdier, der er vist i de øvrige tabeller og 50 %-fraktilen. Det ses, at 50 %-fraktil udbytte af vinterhvede efter vinterhvede er lidt mindre end for de andre sædskifter, og at både 0 og 10%-fraktilerne er lavest her. Det stemmer overens med de tidligere viste forsøgsdata. Udbytte er kun lidt påvirket af jordtypen i simuleringerne. Umiddelbart ville det forventes, at JB4-jordene producerede lidt mindre end JB6 og 7, men det er ikke tilfældet i simuleringerne.



Figur 32. 0 (+), 10 (-), 50 (●), 90 (-) og 100 (+) %-fraktiler for beregnede udbytter, høstet N og N % i kerne for Ny sort, der modtager mineralisk gødning svarende til 2014-niveau. Blå fordelinger er hhv. vinterhvede efter vårbyg, vinterraps og vinterhvede på JB4, røde og grønne fordelinger er tilsvarende for JB6 og JB7.



Figur 33. 0 (+), 10 (-), 50 (●), 90 (-) og 100 (+) procentsfraktiler, samt gennemsnit (x) for beregnet N- og vandstress for Ny sort, der modtager mineralsk gødning svarende til 2014-niveau. Blå fordelinger er hhv. vinterhvede efter vårbyg, vinterraps og vinterhvede på JB4, røde og grønne fordelinger er tilsvarende for JB6 og JB7.

Vinterhvede efter vinterhvede har også den laveste 50%-fraktil med hensyn til høstet N, mens vinterhvede efter vinterraps har den højeste 50%-fraktil. Optagelsen af N på JB7 kan være påvirket af en høj denitrifikation i våde år. Det medvirker til at give den store spredning i optagelsen.

For % N i kerne ligger 50 %-fraktilen en lille smule lavere på JB4 end på JB6 og JB7. Variationen i opnåede koncentrationer er imidlertid størst for JB4 og mindst for JB7. 50 %-fraktilen for N % i kerne i vinterhvede efter vinterraps er lidt større end for vinterhvede efter vinterhvede, der igen er lidt større eller lig med N % i vinterhvede efter vårbyg. Det er samme tendens, som vist i forsøgs-

dataene i Figur 19. De mindste koncentrationer, der opnås i simuleringerne med mineralsk gødning for en jordtype, er imidlertid altid i vinterhvede efter vinterhvede (de mørkeste linjer i hver farve).

Der er kvælstofstress i mange af scenariekørslerne med mineralsk 2014-gødning, som det fremgår af Figur 33. I gennemsnit har den mineralsk gødede vinterhvede N-stress 5-8 dage. Det fremgår også, at simuleringerne på JB7 er særligt udsatte for kvælstofstress, hvilket skyldes et højere denitrifikationstab. Omvendt er der stort set ikke vandstress i de fleste af simuleringerne.

Vandstress fremkommer oftest på JB4-jordene, hvor 90 %-fraktilen ligger omkring 5-6 dage.

6.6 Vårbyg 1990 og 2015 (i forhold til måltal)

De nyparameteriserede vårbygsorter er vist i Figur 34 og Figur 35. Da vårbyg kun forekommer en gang i det beregnede sædskifte, er der kun et sæt resultater pr. beregningsscenarie. Det var vanskeligt at etablere et troværdigt sæt måltal, da et stort antal af de højestydende forsøg havde modtaget organisk gødning tidligere, og f.eks. JB4-jordene var dårligt repræsenteret og kun fra Jylland, hvor nedbøren er anderledes end i beregningsscenarierne. Måltallene er beregnet som det gennemsnitlige respons på en vis mængde gødning uanset jordtype for henholdsvis Gl. vårbygsort og Ny vårbygsort. Desuden er måltallet for de bedste 20 % af forsøgene (hvoraf en stor del viste sig at have modtaget organisk gødning tidligere) beregnet i forhold til hhv. den gamle eller nye sort også vist i figurerne. De røde søjler viser simuleringsresultatet for den respektive sort med mineralgødning (fyldt søjle) og organisk gødning (skraveret) på 2014-niveau. De mørklilla søjler viser simuleringsresultater for sorten med mineralgødning (fyldt søjle) og organisk gødning (skraveret) på 1990-niveau.

For både Gl. vårbygsort og Ny vårbygsort ligger udbyttet rimeligt i forhold til de gennemsnitlige udbytter ved både 2014 og 1990-niveau. Som nævnt er måltallene ikke retvisende i forhold til JB4-simuleringerne, da der ikke var forsøg på denne jordtype med nedbør, der ligner scenarienedbøren, og vårbyggen har væsentligt mere vandstress i simuleringerne på denne jordtype. N-optagelsen i beregningerne ligger også på niveau med optagelsen i forsøgene. Dog er optagelsen af N i scenariet med organisk gødning på 1990-niveau noget højere, og det kan ikke sammenlignes med måltallene, som ikke afspejler så høje gødningsniveauer. Vårbyggen er gødet i 2014 under hensyntagen til forfrugt.

Af Figur 36 ses, at spredningen i simuleringen er meget stor, primært som følge af vejret i de enkelte år. De simulerede udbytter på JB4 er systematisk lavere end på de andre jorde. Som for hveden er spændet i forsøgsresultater lige så stort som i simuleringerne.

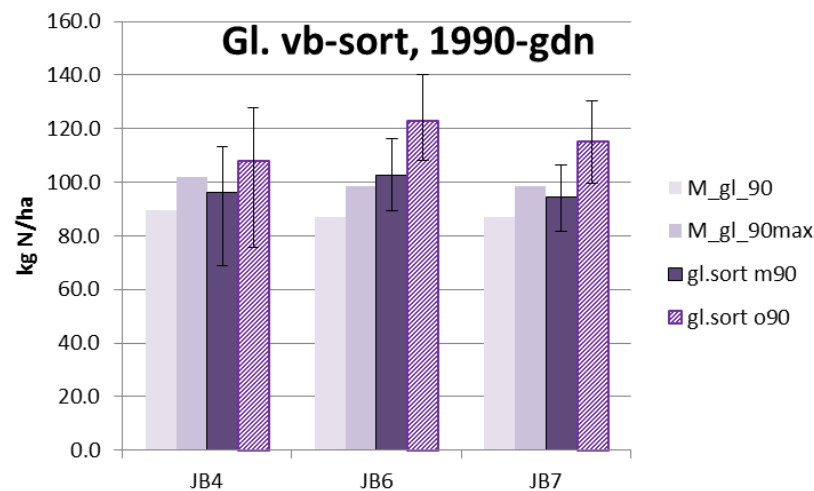
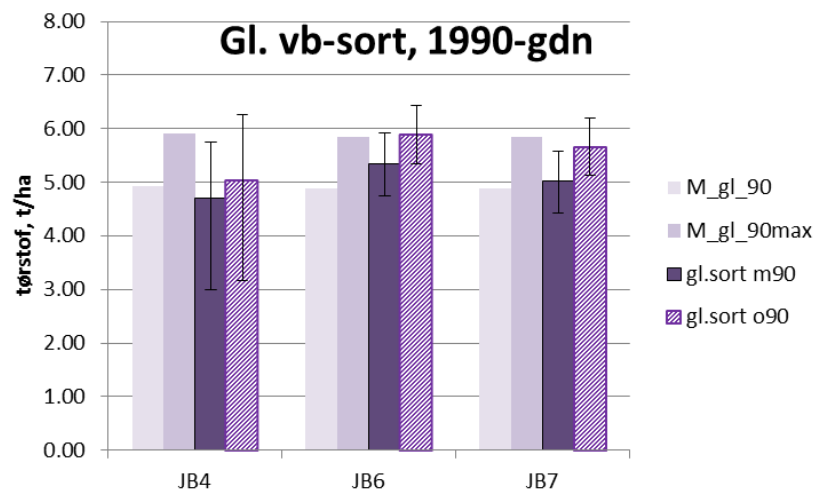
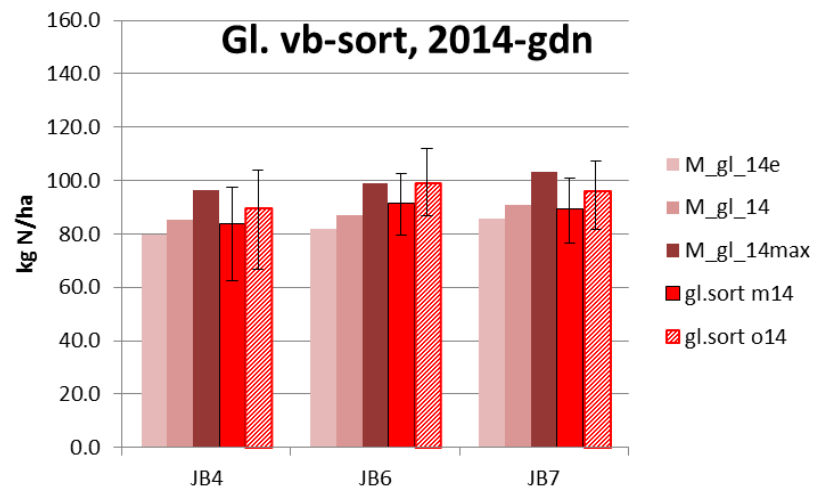
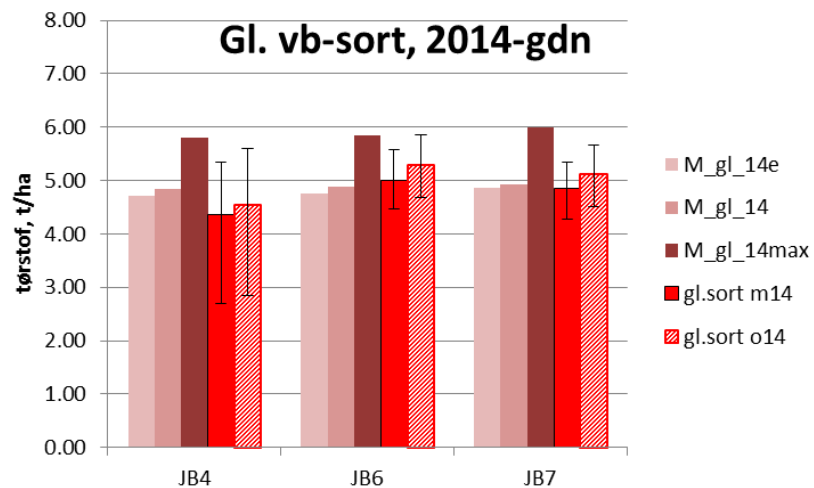
Figur 37 viser resultatet af en simulering, hvor vårbyggen kun modtager 40 kg N (og vinterhveden efter raps kun modtager 50 kg N). Det er altså et ret næringsfattigt sædskifte. Resultaterne falder fint inden for de tilsvarende forsøgsdata.

Den nye parameterisering af vårbyggen har, præcis som for hveden, resulteret i et mindre kvælstofoptag i den vegetative fase. Ved mineralsk og organisk 2014-gødning er optagelsen 2-4 kg N/ha mindre, mens den ved 1990-gødning er 10-14 kg N/ha mindre ved mineralsk og 13-18 kg N/ha mindre ved organisk gødning. Dette er sandsynligvis en artefakt af kalibreringen, men det kræver gode detaljerede datasæt med data fra hele vækstsæsonen at beskrive plantens udvikling, og så detaljerede data er ikke til stede i SEGES gødningsforsøg. I den reproduktive fase er forskellene små, fra -1 til +1 kg N/ha.

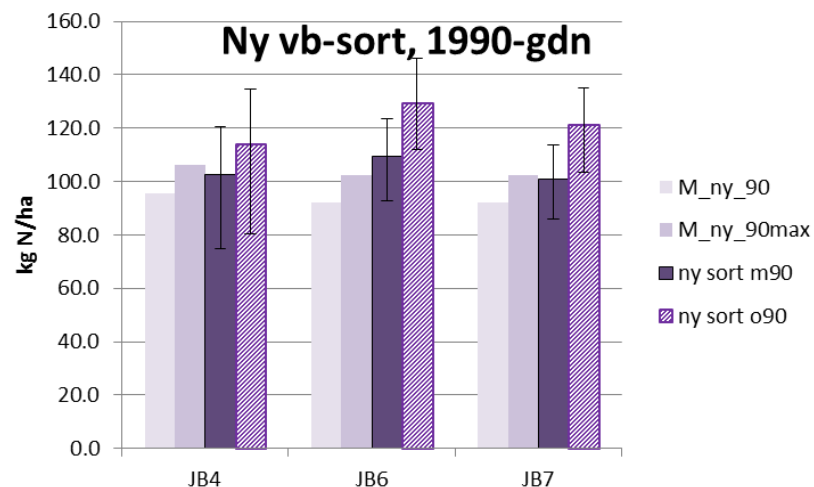
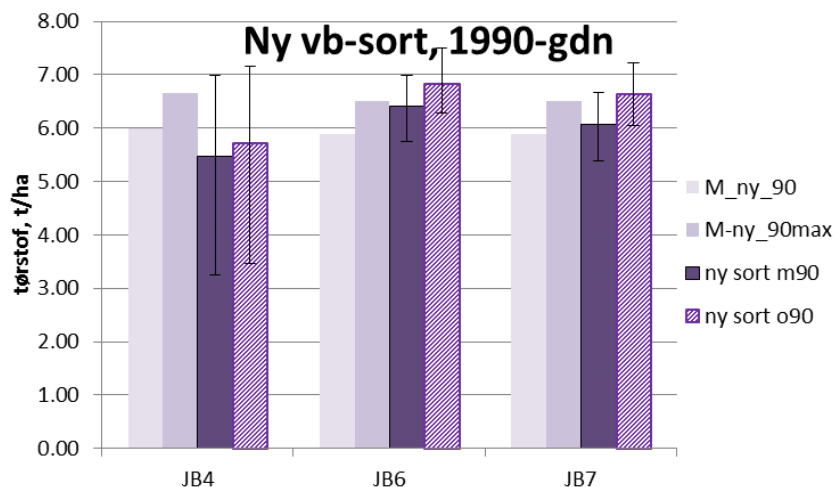
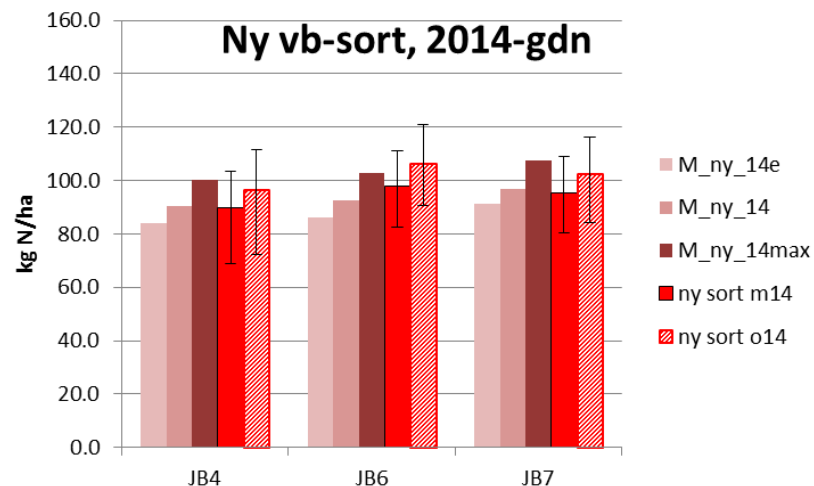
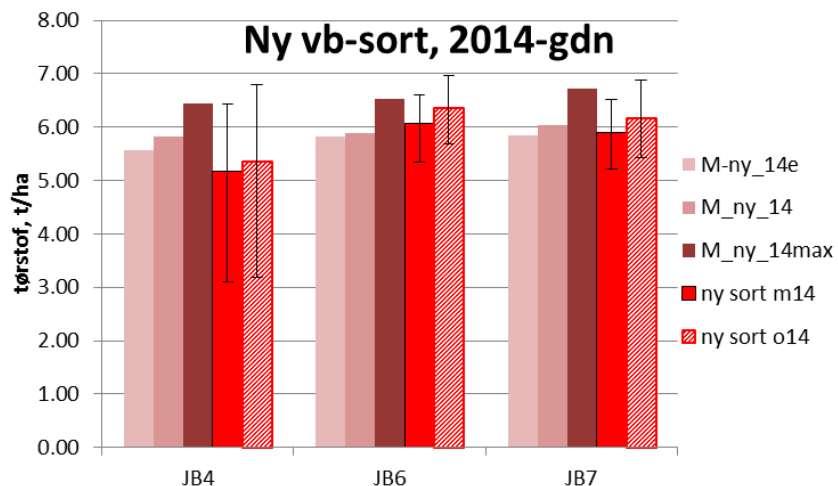
6.7 Sammenligninger af sortseffekter 1990-2015

I Tabel 15 er simuleret udbytte, høstet N i kerne samt N % for Gl. og Ny vårbygssort sammenlignet. Tallene kan sammenlignes med forskellen på måltallene, vist i Tabel 11. Forskellen på udbytterne var 10,1-12,9 hkg/ha som gennemsnit for V1-datasættet og 6,0-9,3 hkg/ha for de bedste 20 %. De simulerede forskelle er 9,6-12,6 hkg/ha for de mineralsk gødede samt organisk 2014-scenarie, hvilket passer med V1-resultaterne. Forskellen er lidt lavere for det organiske 1990-scenarie (8,0-11,4 hkg/ha).

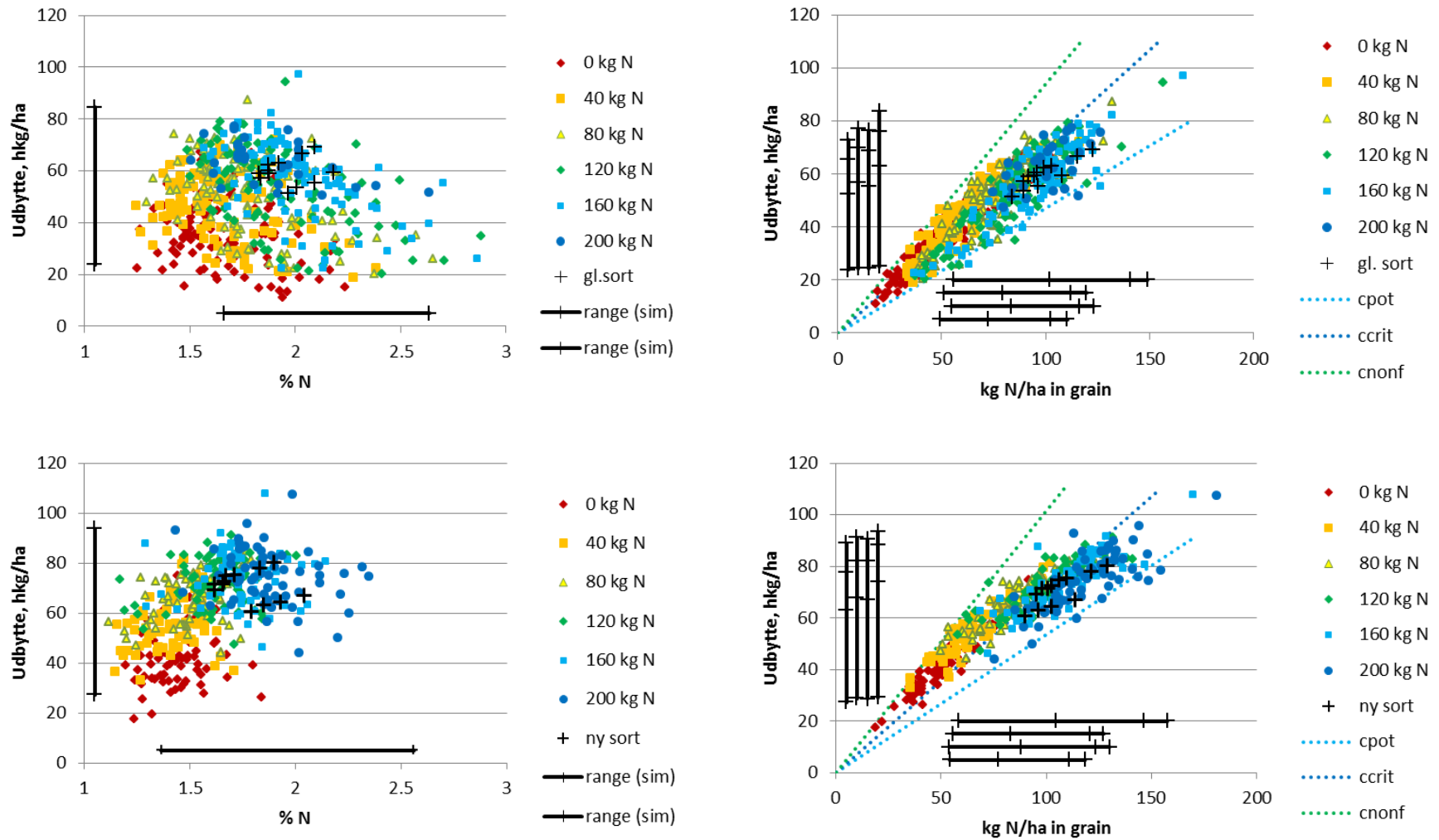
For kvælstofoptagelsen var forskellen som gennemsnit for V1-datasættet 4,2-6,2 kg N/ha og 3,3-4,5 for de bedste 20 % (V2). Forskellen på Gl. og Ny vårbygssort er i simuleringerne 5,8 til 7,1 kg N/ha, hvilket er ca. 1 kg N for meget og noget påvirkeligt af parameteriseringen af den foregående vinterhvede. Måltallene for kvælstofprocent i høstet kerne var -0,20- (-0,24) % N i V1-datasættet og kun -0,9 – (-0,14) % N i de bedste 20 %. I de simulerede data ligger forskellene fra -0,16 – (-0,22) % N i begge de mineralsk gødede og det organiske 2014-scenarie. For det organiske gødede 1990-scenarie er spændet 0,14-0,20 % N, og derfor noget større end hvad der blev fundet for vinterhveden.



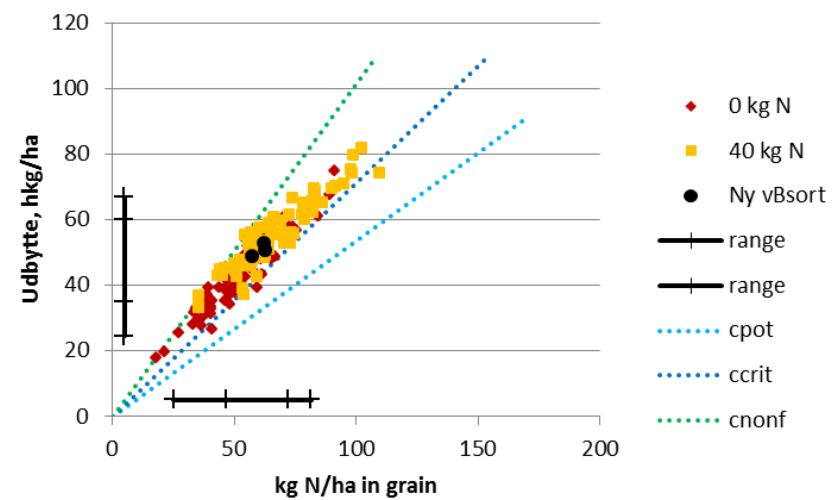
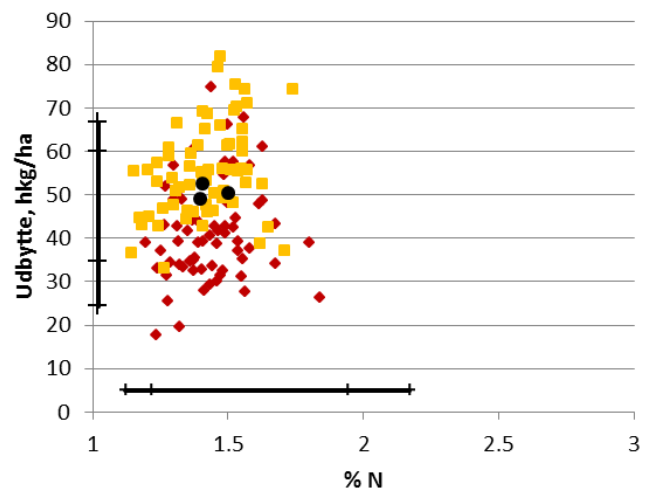
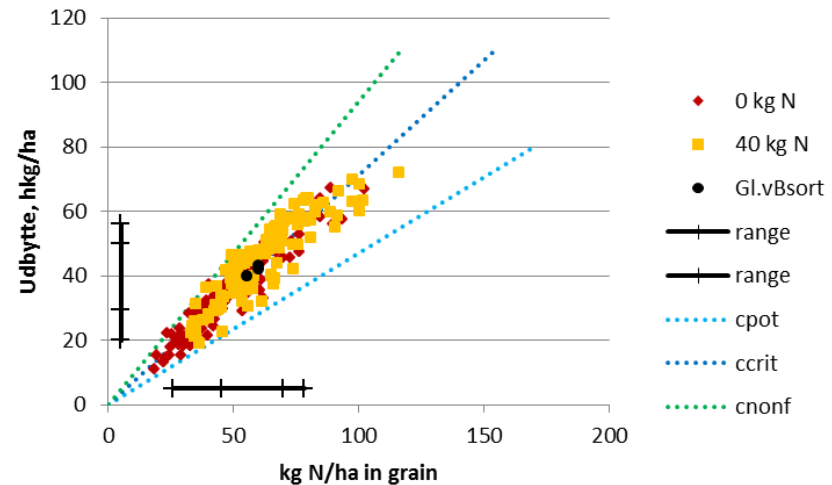
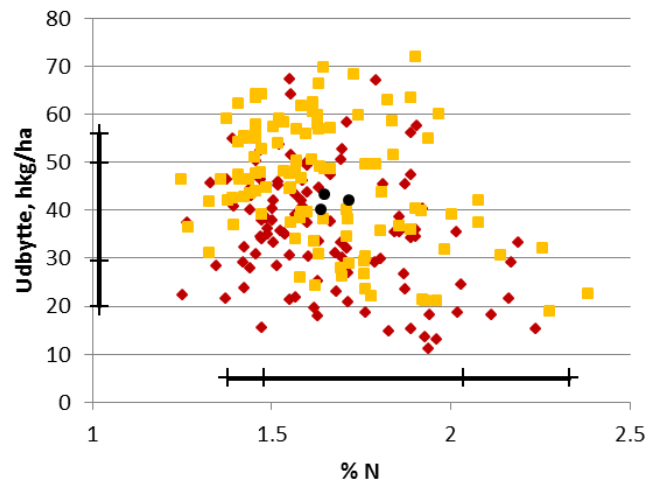
Figur 34. Aggregerede resultater for vårbyggsimuleringer med 1990-sorten "Gl. vårbyggsort. Øverst: Tørstofudbyttet og kg N i høstet kerne ved 2014-gødningsniveau. Nederst: Tørstofudbyttet og kg N i høstet kerne ved 1990-gødningsniveau. Måltal baseret på alle data fra 1987-1994 (-1992) er givet for 2014-norm korrigeret for efterafgrøde (M_gl_14e) og 2014-norm (M_gl_14) samt for 1990-gødningsniveau (M_gl_90). Desuden er vist måltal beregnet ud fra datasæt V2 for 2014-norm (M_gl_14max) og 1990-norm (M_gl_90max). Simuleringsresultater for mineralsk (m) og organisk (o) gødning på hhv. 2014- og 1990-niveau er vist i figuren med angivelse af 10- og 90 %-fraktil. Måltal kun baseret på gødningsmængde og er ikke jordtypespecifikke.



Figur 35. Aggregerede resultater for vårbyggsimuleringer med 2014-sorten "Ny, vårbyggsort. Øverst: Tørstofudbytte og kg N i høstet kerne ved 2014-gødningsniveau. Nederst: Tørstofudbytte og kg N i høstet kerne ved 1990-gødningsniveau. Måltal baseret på alle data fra 2010-15 er givet for 2014-norm korrigeret for efterafgrøde (M_ny_14e) og 2014-norm (M_ny_14) samt for 1990-gødningsniveau (M_ny_90). Desuden er vist måltal beregnet ud fra datasæt V2 for 2014-norm (M_ny_14max) og 1990-norm (M_ny_90max). Simuleringsresultater for mineralsk (m) og organisk (o) gødning på hhv. 2014- og 1990-niveau er vist i figuren med angivelse af 10- og 90 %-fraktil. Måltal kun baseret på gødningsmængde og er ikke jordtypespecifikke.



Figur 36. Gennemsnitlige simuleringresultater for GL vårsort (øverst) og Ny vårsort (nederst), plottet på de tilsvarende fordelinger fra gødningsforsøgene. Det fremgår, at udbytter og høstet N falder inden for de forventede fordelinger. De sorte linjer langs akserne på figurene til venstre viser de minimale og maksimale koncentrationer og udbytter simuleret. Spændet dækker de fleste forsøg fra 80 kg N og op. På figurene til højre er angivet 4 linjer langs hver akse. Udefra og ind er det spændene for 2014-gødning, mineralisk, 1990-gødning mineralisk, 2014-gødning, organisk, og 1990-gødning, organisk. De krydsende streger på fordelingerne indikerer 10- og 90 %-fraktiler. NB: de indlagte linjer for C_{pot} , C_{crit} og C_{nonf} svarer ikke til værdierne i modellen.



Figur 37. Simulering af Gl. og Ny Vårbygsort med tildeling af 40 kg N. Resultatet er plottet på henholdsvis gamle og nye forsøgsdata med 0 og 40 kg N. Linjerne langs akserne indikerer 0, 10, 90 og 100 %-fraktilværdierne for simuleringerne. NB: de indlagte linjer for C_{pot} , C_{crit} og C_{nonf} svarer ikke til værdierne i modellen.

Tabel 15. Sammenligning af modelberegnet udbytte, høstet N og N% i kerne i Gl. og Ny vårbyg-sort samt forskel mellem de to for forskellige kombinationer af forfrugt, gødningsmængde og gødningstype.

forfrugt	gdn.niveau	jordtype	Ny sort			Gl. sort			forskelse				
			Udbytte hkg/ha	N kg N/ha	N %	Udbytte hkg/ha	N kg N/ha	N %	Udbytte hkg/ha	N kg N/ha	N %		
Vinterhvede	2014	JB4	60,8	89,7	1,79	51,2	83,8	1,97	9,6	5,9	-0,18		
		mineralsk	JB6	71,4	97,9	1,61	58,9	91,6	1,83	12,5	6,3	-0,22	
			JB7	69,3	95,3	1,62	57,1	89,3	1,84	12,3	6,0	-0,22	
	1990	JB4	64,4	102,6	1,93	55,2	96,4	2,09	9,2	6,2	-0,17		
		mineralsk	JB6	75,4	109,6	1,71	63,0	102,8	1,92	12,5	6,8	-0,21	
			JB7	71,5	100,8	1,66	59,1	94,3	1,88	12,4	6,5	-0,22	
	Vinterhvede	2014	JB4	63,1	96,3	1,85	53,5	89,6	2,01	9,6	6,7	-0,16	
			organisk	JB6	74,8	106,2	1,67	62,2	99,1	1,87	12,6	7,1	-0,20
				JB7	72,6	102,6	1,66	60,2	95,7	1,87	12,4	6,8	-0,21
1990		JB4	67,2	113,7	2,04	59,1	107,9	2,18	8,0	5,8	-0,14		
		organisk	JB6	80,2	129,2	1,90	69,1	122,9	2,09	11,1	6,3	-0,19	
			JB7	77,9	121,2	1,83	66,6	115,1	2,03	11,4	6,1	-0,20	

De kalibrerede sorter afspejler altså nogenlunde de forskelle, der er fundet i forsøgene. Det totale spænd fra 0,14-0,22 % N svarer til 0,87-1,38 % råprotein i tørstof.

6.8 Sammenligning af gødningseffekter

Gødningsnormen for vårbyg på JB4 er faldet fra 125 kg N/ha på en JB4 i 1990 til 93 kg efter en efterafgrøde i 2014. De tilsvarende fald er fra 115 til 99 kg N/ha på en JB6 og fra 115 og 112 kg N/ha på en JB7-jord. Desuden indeholder simuleringerne ændringer i deposition og mineralisering. I Tabel 16 og Tabel 17 er ændringerne i N % som følge af ændrede tilførsler samlet for henholdsvis Gl. og Ny vårbygssort. For alle simuleringer er der desuden i gennemsnit et (lille) fald i udbytte. Ved mineralsk gødning ses det største fald i N % i kerne på JB4-jorden. Afhængigt af jordtype ses et fald på 0,04-0,13 % N ved mineralsk gødning for Gl. vårbygssort og 0,04 (JB7)-0,14 (JB4) for Ny vårbygssort. De tilsvarende tal for organisk gødning er 0,16-0,22 % N for Gl. vårbygssort og 0,17-0,23 % N for Ny vårbygssort. For mineralsk gødning alene svarer spændet altså til 0,25-0,88 % råprotein i tørstof og for organisk gødning til 1,06-1,43 % råprotein i tørstof. For vårbyg synes sortsudviklingen altså relativt at have spillet en lige så stor rolle som ændringen i gødningsnorm.

For vårbyg har vi imidlertid ikke så veldokumenteret gødningsanvendelse i 1990 som for vinterhvede. Hvis den faktiske gødningspraksis var at anvende større kvælstofmængder end i scenarierne, kan gødningseffekten være undervurderet.

Tabel 16. N % i vårbygssimuleringer (gnsn, og fraktilværdier) med GI. vårbygssort ved 1990- og 2014-gødningsniveau som funktion af jordtype og gødnings-niveau og -type, samt forskel på gennemsnits- samt 10- og 90 %-fraktilværdier.

GI sort				Gnsn.	N%					N%		
forfrugt	jord	Gødnings- type	niveau		fraktiler					forskul		
					0	10	50	90	100	Δ gnsn	Δ 10	Δ 90
vinterhvede	JB4	min	1990	2,09	1,83	1,88	2,02	2,41	2,56			
		min	2014	1,97	1,68	1,77	1,90	2,34	2,45	-0,13	-0,16	-0,11
	JB6	min	1990	1,92	1,77	1,82	1,92	2,03	2,14			
		min	2014	1,83	1,70	1,75	1,82	1,93	2,01	-0,09	-0,07	-0,07
	JB7	min	1990	1,88	1,68	1,78	1,88	1,98	2,12			
		min	2014	1,84	1,66	1,75	1,84	1,94	2,01	-0,04	-0,02	-0,04
vinterhvede	JB4	org	1990	2,18	1,89	1,95	2,15	2,46	2,64			
		org	2014	2,01	1,77	1,82	1,94	2,37	2,47	-0,17	-0,12	-0,13
	JB6	org	1990	2,09	1,88	1,91	2,09	2,25	2,34			
		org	2014	1,87	1,75	1,78	1,86	1,97	2,10	-0,22	-0,13	-0,13
	JB7	org	1990	2,03	1,83	1,88	2,03	2,18	2,29			
		org	2014	1,87	1,72	1,77	1,88	1,97	2,09	-0,16	-0,11	-0,10

Tabel 17. N % i vårbygssimuleringer (gnsn, og fraktilværdier) med Ny vårbygssort ved 1990- og 2014-gødningsniveau som funktion af jordtype og gødnings-niveau og -type, samt forskel på gennemsnits- samt 10- og 90 %-fraktilværdier.

Ny sort				Gnsn	N%					N%		
forfrugt	jord	Gødnings- type	niveau		fraktiler					forskul		
					0	10	50	90	100	Δ gnsn	Δ 10	Δ 90
vinterhvede	JB4	min	1990	1,93	1,54	1,66	1,85	2,29	2,49			
		min	2014	1,79	1,43	1,53	1,71	2,25	2,40	-0,14	-0,11	-0,13
	JB6	min	1990	1,71	1,47	1,59	1,71	1,85	1,99			
		min	2014	1,61	1,39	1,51	1,61	1,72	1,87	-0,10	-0,08	-0,08
	JB7	min	1990	1,66	1,39	1,54	1,66	1,79	1,92			
		min	2014	1,62	1,36	1,50	1,62	1,74	1,85	-0,04	-0,03	-0,04
vinterhvede	JB4	org	1990	2,04	1,62	1,73	1,99	2,36	2,56			
		org	2014	1,85	1,48	1,62	1,76	2,26	2,43	-0,19	-0,13	-0,11
	JB6	org	1990	1,90	1,59	1,68	1,89	2,08	2,25			
		org	2014	1,67	1,44	1,55	1,67	1,78	1,95	-0,23	-0,15	-0,13
	JB7	org	1990	1,83	1,55	1,65	1,81	2,04	2,27			
		org	2014	1,66	1,42	1,55	1,66	1,79	1,93	-0,17	-0,13	-0,10

6.9 Effekt af organisk stof

Nettomineraliseringen over det 5-årige sædskifte er vist i Tabel 18. Forskellen i nettomineralisering mellem gødningsniveauer er vist yderst til højre i tabellen. Det fremgår, at mineraliseringen er faldet på grund af ændring i gødningsniveau, og mest for de organisk gødede sædskifter. Det ses også af tabellen, at sortsbeskrivelsen også påvirker mineralisering. De nye sorter er parameteriseret med mindre strå, hvilket også fører til mindre mineralisering. Tallene indeholder også mineralisering af afgrødernes rødder og stubbe, og en del af kvælstoffet kan være cirkuleret inden for sædskiftet. Derfor svarer tallene heller ikke direkte til faldet i kvælstof i organisk stof over årene.

Tabel 18. Nettomineralisering over 5 års sædskifte, beregnet for to gødningsniveauer, to gødnings sammensætninger og simuleringer med gamle og nye sorter.

Nettomineralisering Kg N/ha/5 år	Soil type	Mineralsk gdn.		Organisk gdn.		Forskel, gødn.niv	
		1990	2014	1990	2014	min.	org
gl sort	JB4	445	399	708	594	-46	-114
	JB6	424	389	693	585	-35	-108
	JB7	374	352	646	544	-22	-101
ny sort	JB4	431	393	682	581	-38	-100
	JB6	410	381	665	569	-28	-96
	JB7	363	345	620	530	-18	-90
forskel	JB4	-14	-6	-26	-13		
sort	JB6	-14	-7	-27	-16		
	JB7	-11	-7	-25	-14		

Ovenstående forskelle skal divideres med 5 for at få en årlig værdi (knap 4 til 23 kg N/ha). Tallene er lavere end det fald på 1,37 kg N/ha/år, som Knudsen (2015) fandt, svarende til ca. 30 kg N/ha over 22 år, som er afstanden mellem de to sammenlignede perioder. Herfra bør dog trækkes 6 kg N/ha i depositionsforskel. Beregningerne indeholder ikke effekter af et mindre areal med græs/kløvergræs eller et skifte fra kvæggylle med et højere organisk indhold til svinegylle.

6.10 Balance

Tabel 19 og Tabel 20 viser de overordnede poster i N-balancen. Det fremgår, at balancen kun er positiv for scenariet med organisk gødning i 1990. For de øvrige scenarier er balancen negativ, mindst for det organiske scenarie med 2014-gødning og mest for det mineralske 2014-scenarie. Balancen er mere negativ for den nye sort end for den gamle sort, fordi høstindekset og udbyttepotentialer er større. Sortseffekten svarer over sædskiftet til ca. 5 kg N/ha/år. Den ret

markante forskel i tilførsel mellem 1990 og 2014-scenariet genfindes i den samlede høstede mængde over de 5 år og i udvaskningen, mens der i de organisk gødde scenarier også er forskel i denitrifikationen. Modellen er desuden sat op sådan, at tabet af ammoniak til luften er større i 1990-scenariet end i 2014 på grund af ændret udbringningsteknik. Det ses i kolonnen med overfladetab.

Tabel 21 viser de vigtigste poster i det organiske regnskab. Forskellen mellem planteoptag og høst er organisk materiale, der indgår i mineraliseringen, og det er den organiske gødning også. Der er ikke lavet en fuldstændig balance, men sidste kolonne giver et indtryk af størrelsesordenen på baggrundsmineraliseringen.

Tabel 19. Beregning af samlet tilførsel af N til den overordnede N-balance for scenarieberegningerne med gamle og nye sorter over 5 års sædskifte. Der er vist tilført gødning i mineralsk og organisk form og deposition.

sort.	Gødn. Scen.	Gødn. type	JB.nr.	min. gødn. kg N/ha	Org. gødn. kg N/ha	Deposition kg N/ha	Tilført i alt kg N/ha
gl.sort	1990	Min	JB4	870		116	986
gl.sort	1990	Min	JB6	871		116	987
gl.sort	1990	Min	JB7	871		116	987
ny sort	1990	Min	JB4	870		116	986
ny sort	1990	Min	JB6	871		116	987
ny sort	1990	Min	JB7	871		116	987
gl.sort	2014	Min	JB4	673		68	741
gl.sort	2014	Min	JB6	739		68	807
gl.sort	2014	Min	JB7	787		68	855
ny sort	2014	Min	JB4	673		68	741
ny sort	2014	Min	JB6	739		68	807
ny sort	2014	Min	JB7	787		68	855
gl.sort	1990	Org	JB4	1154	237	116	1507
gl.sort	1990	Org	JB6	1144	237	116	1497
gl.sort	1990	Org	JB7	1144	237	116	1497
ny sort	1990	Org	JB4	1154	237	116	1507
ny sort	1990	Org	JB6	1144	237	116	1497
ny sort	1990	Org	JB7	1144	237	116	1497
gl.sort	2014	Org	JB4	641	187	68	896
gl.sort	2014	Org	JB6	708	188	68	963
gl.sort	2014	Org	JB7	756	188	68	1011
ny sort	2014	Org	JB4	641	187	68	896
ny sort	2014	Org	JB6	708	188	68	963
ny sort	2014	Org	JB7	756	188	68	1011

Tabel 20. Overordnet N-balance for scenarieberegningerne over 5 års sædskifte. Tabellen indeholder tilførsel beregnet ovenfor, høst af korn, blade og strå, udvaskning til grundvand og dræn, denitrifikation samt tab fra overfladen for simuleringer med gamle og nye sorter.

sort.	Gødn. Scen.	Gødn. type	JB.nr.	Tilført		Udvaskn.-	Udvaskn.	Denitri-	Overfla-	Fjernet	Balance	Balance
				i alt	Høst i alt	grundvand	dræn	fikation	detab	i alt	Balance	/år
				kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha
gl.sort	1990	Min	JB4	986	804	192		24	1	1021	-35	-7
gl.sort	1990	Min	JB6	987	794	83	51	91	1	1020	-33	-7
gl.sort	1990	Min	JB7	987	741	49	66	144	1	1000	-13	-3
ny sort	1990	Min	JB4	986	815	208		22	0	1046	-60	-12
ny sort	1990	Min	JB6	987	803	93	59	87	0	1043	-56	-11
ny sort	1990	Min	JB7	987	752	56	77	138	0	1023	-35	-7
gl.sort	2014	Min	JB4	741	665	100		23	0	788	-47	-9
gl.sort	2014	Min	JB6	807	681	51	33	86	0	851	-44	-9
gl.sort	2014	Min	JB7	855	657	37	50	136	0	880	-25	-5
ny sort	2014	Min	JB4	741	678	112		22	0	812	-71	-14
ny sort	2014	Min	JB6	807	692	59	38	83	0	873	-66	-13
ny sort	2014	Min	JB7	855	668	42	58	132	0	900	-45	-9
gl.sort	1990	Org	JB4	1507	931	447		24	83	1486	21	4
gl.sort	1990	Org	JB6	1497	952	212	123	97	83	1468	29	6
gl.sort	1990	Org	JB7	1497	922	122	155	160	83	1443	54	11
ny sort	1990	Org	JB4	1507	946	460		23	83	1512	-5	-1
ny sort	1990	Org	JB6	1497	965	221	133	92	83	1494	4	1
ny sort	1990	Org	JB7	1497	933	130	169	152	83	1468	30	6
gl.sort	2014	Org	JB4	896	763	127		23	0	913	-17	-3
gl.sort	2014	Org	JB6	963	782	65	42	89	0	978	-15	-3
gl.sort	2014	Org	JB7	1011	756	44	61	145	0	1005	6	1
ny sort	2014	Org	JB4	896	774	140		22	0	936	-40	-8
ny sort	2014	Org	JB6	963	791	73	48	86	0	999	-36	-7
ny sort	2014	Org	JB7	1011	765	50	69	141	0	1025	-14	-3

Tabel 21. Sammenligning af vigtige poster i det organiske regnskab for scenarieberegningerne over 5 år. Forskellen er et udtryk for baggrundsmineraliseringen.

sort.	Gødn. Scen.	Gødn. type	JB.nr.	Planteoptag kg N/ha	Høst i alt kg N/ha	Rest kg N/ha	Net-mineralisering kg N/ha	Org. gødn kg N/ha	Forskel kg N/ha	Forskel/år kg N/ha
gl.sort	1990	Min	JB4	1199	804	395	445	0	51	10
gl.sort	1990	Min	JB6	1168	794	375	424	0	49	10
gl.sort	1990	Min	JB7	1086	741	346	374	0	28	6
ny sort	1990	Min	JB4	1170	815	355	431	0	76	15
ny sort	1990	Min	JB6	1141	803	337	410	0	72	14
ny sort	1990	Min	JB7	1064	752	312	363	0	51	10
gl.sort	2014	Min	JB4	1003	665	338	399	0	61	12
gl.sort	2014	Min	JB6	1011	681	330	389	0	59	12
gl.sort	2014	Min	JB7	969	657	313	352	0	39	8
ny sort	2014	Min	JB4	987	678	309	393	0	84	17
ny sort	2014	Min	JB6	994	692	301	381	0	80	16
ny sort	2014	Min	JB7	954	668	286	345	0	60	12
gl.sort	1990	Org	JB4	1398	931	467	708	237	4	1
gl.sort	1990	Org	JB6	1411	952	459	693	237	-4	-1
gl.sort	1990	Org	JB7	1360	922	438	646	237	-30	-6
ny sort	1990	Org	JB4	1361	946	415	682	237	30	6
ny sort	1990	Org	JB6	1372	965	407	665	237	22	4
ny sort	1990	Org	JB7	1321	933	388	620	237	-5	-1
gl.sort	2014	Org	JB4	1133	763	370	594	187	37	7
gl.sort	2014	Org	JB6	1144	782	362	585	188	36	7
gl.sort	2014	Org	JB7	1099	756	343	544	188	14	3
ny sort	2014	Org	JB4	1109	774	335	581	187	60	12
ny sort	2014	Org	JB6	1117	791	325	569	188	56	11
ny sort	2014	Org	JB7	1074	765	309	530	188	34	7

6.11 Usikkerheder og sensitivitet

6.11.1 Sortsbeskrivelserne kan inkludere andre ændringer

Ved kalibrering af Gl. og Ny sort af vinterhvede og vårbyg gik vi ud fra, at forsøgsresultaterne primært afspejler sortseffekterne. Hvis, for eksempel, forsøgene i 2010-15 indeholder en samlet effekt af sortsændringer og jordpakning, så kan den ikke skilles ud fra sortseffekten i beregningerne.

6.11.2 Planternes udvikling over tid

Normalt ville man anvende meget detaljerede datasæt til kalibrering af væksten og fordeling af assimilant over tid i planterne. De anvendte data indeholder kun data om høstet kerne og kvælstofindhold, og viden om jord og vejr for de enkelte forsøg er begrænset. Gl. sort bygger i høj grad på den originale vinterhvedekalibrering, som er vel testet, mens Ny hvedesort bør testes på detaljerede og uafhængige datasæt. For begge sorter er kvælstofoptagelsen kalibreret, hvilket kan have forskubbet kvælstofoptagelsens fordeling over tid. Ved kalibreringen af høstindekset for den nye sort er mere assimilant fordelt til kernen, og for at få udbyttet til at passe, er der samtidigt reduceret lidt på fotosynteseeffektiviteten. Det er mere sandsynligt, at fotosynteseeffektiviteten er uændret og at der sker et større bladtab undervejs, men disse balancer kræver som sagt detaljeret information om bladarealindeks og biomassefordeling mellem de forskellige komponenter over tid.

For byggen foregik den første kalibrering af den Ny vårbygssort på forsøgsdatasæt, der enten indeholdt bladarealdata eller biomasse, med de stemte ikke så godt overens (lille bladareal, stor biomasse) og det ville være hensigtsmæssigt at validere de nye sortsbeskrivelser mod detaljerede datasæt.

6.11.3 Ændrede rodparametre

Ifølge Ytting et al. (2014) er der indikationer af, at rodvæksthastigheden i vinterhvede er større i nyere danske sorter end i udenlandske. Vi har derfor testet betydningen af at reducere rodvæksthastigheden til 80 % på parameteriseringen Gl. sort. Vi har også foretaget en beregning, hvor roddybden er reduceret fra 150 cm til 120 cm på JB4 og fra 175 cm til 140 cm på JB6 og 7.

Ændring i rodvæksthastighed (Tabel 22) fører i de fleste tilfælde til et lidt mindre udbytte i gennemsnit og en mindre 10 %-fraktil, specielt på JB4-jorden. Mængden af optaget kvælstof er som

Tabel 22. Forskel mellem basissimuleringen for GI. sort og simulering med 80 % rodvæksthastighed for vinterhvede. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Ff	gdn.	Jord- niveau	Jord- type	N1R80			N1R80			N1R80				
				udbytte	F10	F90	N	F10	F90	N	F10	F90		
				hkg/ha	kg N/ha			%						
VB	2014	JB4	JB4	-0,7	-2,1	-0,7	-1,0	-0,6	-2,5	0,00	0,00	0,02		
				Min.	JB6	0,2	1,0	-0,6	0,0	1,6	-1,5	0,00	0,00	-0,01
					JB7	0,5	-0,3	0,6	0,8	1,3	-0,4	0,00	-0,01	-0,02
	1990	JB4	JB4	-1,2	-2,9	-0,6	-2,4	-0,4	-3,2	0,00	0,01	-0,02		
			Min.	JB6	-0,3	-0,1	-0,1	-1,1	-1,2	-1,3	-0,01	0,01	-0,02	
				JB7	-0,1	0,0	0,3	0,1	1,6	-1,0	0,01	0,00	0,01	
ViR	2014	JB4	JB4	-1,2	-2,1	-1,6	-1,9	-4,5	-4,0	0,00	-0,01	-0,01		
				Min.	JB6	-0,2	-1,1	-1,4	-0,8	1,6	-1,9	0,00	0,00	-0,01
					JB7	0,0	0,3	-0,5	0,1	-0,7	-1,9	0,00	0,00	0,04
	1990	JB4	JB4	-1,4	-3,4	-1,6	-2,9	-2,9	-3,9	-0,01	0,00	-0,03		
			Min.	JB6	-0,4	-1,0	-0,6	-2,0	-1,6	-2,7	-0,02	-0,02	-0,03	
				JB7	-0,5	-0,1	-0,7	-1,4	1,1	-2,3	-0,01	0,00	0,02	
ViHv	2014	JB4	JB4	-0,2	2,7	-1,2	-0,1	1,8	-2,2	0,01	-0,01	0,01		
				Min.	JB6	0,3	-1,3	-0,2	0,6	1,8	-2,2	0,00	0,00	0,01
					JB7	0,9	-1,6	0,6	1,9	2,0	4,7	0,01	0,00	0,02
	1990	JB4	JB4	-0,9	-2,7	-0,1	-1,6	-0,6	-1,3	0,00	0,01	-0,01		
			Min.	JB6	-0,4	-0,7	-0,8	-1,0	0,3	-2,4	0,00	0,01	-0,01	
				JB7	-0,1	0,7	-1,1	0,5	1,7	-0,8	0,01	0,02	0,01	
VB	2014	JB4	JB4	-1,0	-3,0	-0,7	-1,4	-1,2	-4,0	0,01	-0,02	0,02		
				Org.	JB6	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,8	-2,1	0,00	-0,01	-0,01
					JB7	0,1	0,5	0,7	1,2	3,2	-1,0	0,02	0,02	0,01
	1990	JB4	JB4	-1,2	-2,9	-0,5	-2,3	-5,2	-0,9	0,00	0,01	0,00		
			Org.	JB6	-0,4	-0,1	-0,1	-1,2	0,8	-2,1	0,00	0,01	0,00	
				JB7	-0,5	-0,1	-0,1	-0,9	1,4	-0,5	0,00	0,03	0,00	
ViR	2014	JB4	JB4	-1,4	-3,3	-0,2	-2,8	-5,7	-3,3	0,00	-0,02	-0,01		
				Org.	JB6	-0,3	-0,1	-0,1	-1,5	-1,1	-3,2	-0,01	-0,02	0,01
					JB7	-0,4	0,6	-0,2	-0,4	0,8	-1,5	0,01	0,00	0,03
	1990	JB4	JB4	-1,7	-3,5	-0,1	-2,2	-1,7	-3,1	0,01	0,04	0,00		
			Org.	JB6	-0,5	-1,1	-0,7	-1,4	-1,8	-2,9	-0,01	-0,01	0,00	
				JB7	-0,7	-0,1	-0,6	-1,0	2,2	-2,9	0,00	0,03	0,00	
ViHv	2014	JB4	JB4	-0,7	-2,0	-0,8	-0,7	0,0	-3,6	0,01	-0,01	0,01		
				Org.	JB6	-0,3	0,3	0,2	-0,1	2,1	-3,9	0,01	0,01	0,01
					JB7	0,0	1,3	0,7	1,5	2,8	0,7	0,02	0,00	0,04
	1990	JB4	JB4	-1,0	-3,8	-0,5	-2,1	-4,7	-1,4	0,00	-0,02	0,00		
			Org.	JB6	-0,5	-0,1	-1,3	-1,2	-0,2	-2,6	0,00	-0,03	0,00	
				JB7	-0,6	-0,8	-0,7	-1,0	0,4	-0,6	0,00	-0,01	0,00	

Tabel 23. Forskel mellem basissimuleringen for GI. sort og simulering med reduceret rodlængde for vinterhvede. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Ff	gdn.	Jord-niveau	Jord-type	udbytte	N1RL			N1RL			N1RL		
					F10	F90	N	F10	F90	N%	F10	F90	
				hkg/ha	kg N/ha						%		
VB	2014	JB4		-2,9	-6,5	-2,1	-3,8	-6,1	-4,2	0,01	0,00	0,04	
	Min.	JB6		-0,3	0,0	-0,1	-1,2	-1,0	-1,1	-0,01	-0,01	-0,01	
		JB7		-0,3	-0,3	-0,2	-1,0	-1,0	-1,4	-0,01	-0,01	-0,01	
		1990	JB4		-3,2	-6,2	-1,8	-5,4	-5,0	-5,1	0,01	0,00	0,01
	Min.	JB6		-0,2	-0,1	-0,1	-1,4	-0,1	-2,0	-0,01	-0,01	-0,02	
		JB7		-0,3	0,0	-0,1	-1,1	-0,4	-0,6	-0,01	-0,01	-0,01	
ViR		2014	JB4		-2,5	-6,9	-1,7	-3,9	-7,1	-3,6	0,00	0,01	-0,01
	Min.	JB6		-0,2	-0,1	-0,3	-1,1	-1,1	-1,2	-0,01	-0,01	-0,01	
		JB7		-0,3	0,0	-0,4	-1,1	-1,3	-1,1	-0,01	-0,01	-0,02	
		1990	JB4		-2,6	-3,6	-2,0	-4,7	-5,0	-4,2	0,00	0,00	-0,02
	Min.	JB6		-0,2	-0,1	-0,3	-1,4	-1,4	-1,3	-0,01	-0,02	-0,02	
		JB7		-0,3	-0,4	-0,1	-1,2	-1,4	-1,1	-0,01	0,00	-0,01	
ViHv		2014	JB4		-2,4	-0,9	-2,5	-2,8	-2,8	-1,8	0,01	0,00	0,04
	Min.	JB6		-0,4	-3,5	-0,4	-1,2	-1,7	-1,3	-0,01	-0,01	-0,01	
		JB7		-0,4	-3,7	-0,2	-1,0	-2,3	4,5	-0,01	0,00	-0,02	
		1990	JB4		-2,7	-6,2	-1,4	-4,4	-4,4	-1,7	0,01	0,03	0,07
	Min.	JB6		-0,4	-0,1	-0,7	-1,4	-0,8	-1,0	-0,01	-0,01	-0,02	
		JB7		-0,5	0,0	-0,3	-1,2	-1,2	0,1	-0,01	0,00	0,01	
VB		2014	JB4		-3,0	-5,7	-1,2	-4,4	-7,5	-6,4	0,01	-0,01	0,04
	Org.	JB6		-0,2	0,0	-0,2	-1,2	-1,2	-1,8	-0,01	0,00	-0,02	
		JB7		-0,2	0,0	0,1	-1,0	-1,0	-1,1	-0,01	-0,01	-0,01	
		1990	JB4		-3,1	-5,8	-1,6	-6,3	-9,5	-2,3	0,00	-0,01	0,01
	Org.	JB6		-0,1	0,0	-0,1	-0,9	-2,0	-2,0	-0,01	-0,01	0,00	
		JB7		-0,2	0,0	-0,1	-1,0	-0,1	-1,4	-0,01	0,00	0,00	
ViR		2014	JB4		-2,6	-3,7	-1,5	-4,6	-7,8	-3,7	0,00	-0,01	-0,03
	Org.	JB6		-0,1	-0,1	-0,5	-1,2	-1,4	-1,7	-0,01	-0,01	-0,02	
		JB7		-0,2	0,0	-0,2	-1,1	-1,2	-1,5	-0,01	-0,01	-0,01	
		1990	JB4		-2,8	-3,7	-0,2	-4,8	-2,8	-4,3	0,01	0,03	0,00
	Org.	JB6		-0,1	-0,1	-0,3	-0,9	-0,1	-1,9	-0,01	-0,01	0,00	
		JB7		-0,2	0,0	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2	-0,01	-0,01	0,00	
ViHv		2014	JB4		-2,6	-5,8	-2,5	-3,7	-3,2	-1,4	0,01	-0,01	0,03
	Org.	JB6		-0,3	-0,2	-0,1	-1,3	-1,3	-1,5	-0,01	0,00	-0,01	
		JB7		-0,4	0,0	-0,1	-1,1	-2,5	-1,7	-0,01	-0,01	-0,01	
		1990	JB4		-2,7	-7,3	-2,3	-5,3	-11,4	-4,2	0,00	-0,02	0,00
	Org.	JB6		-0,3	0,0	-0,8	-0,9	-0,7	-1,8	0,00	-0,03	0,00	
		JB7		-0,4	0,6	-0,6	-1,2	-0,1	-0,5	0,00	-0,02	0,00	

Tabel 24. Forskel mellem basissimuleringen for Ny sort og simulering med reduceret rodlængde for vinterhvede. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Ff	gdn. niveau	Jord- type	N2RL			N2RL			N2RL		
			udbytte	F10 hkg/ha	F90	N	F10 kg N/ha	F90	N%	F10 %	F90
VB	2014	JB4	-2,5	-3,1	-2,2	-3,5	-5,9	-4,6	0,00	0,03	0,01
	Min.	JB6	-0,3	0,0	-0,4	-1,3	-1,1	-1,8	-0,01	-0,01	-0,01
		JB7	-0,2	-0,3	-0,1	-1,1	-1,3	-1,6	-0,01	-0,01	-0,01
		1990	JB4	-2,6	-3,0	-2,4	-5,0	-9,7	-4,7	-0,01	0,00
	Min.	JB6	-0,2	0,0	-0,3	-1,7	-2,3	-1,9	-0,02	-0,01	-0,02
		JB7	-0,2	-0,3	-0,5	-1,3	-0,9	-1,4	-0,01	-0,01	0,00
ViR		2014	JB4	-2,2	-5,0	-1,1	-3,6	-2,8	-4,0	-0,01	0,00
	Min.	JB6	-0,2	-0,1	-0,6	-1,3	-0,8	-2,0	-0,01	-0,01	-0,01
		JB7	-0,2	-0,4	-0,2	-1,2	-1,6	-1,4	-0,01	-0,01	0,00
		1990	JB4	-2,2	-1,2	-2,1	-4,5	-6,5	-5,9	-0,01	0,02
	Min.	JB6	-0,1	0,0	-0,5	-1,5	-1,5	-2,0	-0,01	-0,01	-0,03
		JB7	-0,2	-0,1	-0,2	-1,4	-1,1	-2,2	-0,01	-0,01	-0,01
ViHv		2014	JB4	-2,2	-5,0	-1,8	-3,1	-3,2	-3,6	0,00	0,00
	Min.	JB6	-0,3	-0,2	-0,1	-1,3	-0,9	-1,4	-0,01	-0,01	-0,02
		JB7	-0,4	-0,2	-0,1	-1,2	-0,9	-1,5	-0,01	-0,01	-0,02
		1990	JB4	-2,1	-4,8	-2,6	-4,6	-3,8	-4,2	-0,01	-0,01
	Min.	JB6	-0,3	-0,3	-1,0	-1,8	-1,7	-1,9	-0,02	-0,01	-0,04
		JB7	-0,4	0,0	-0,3	-1,4	-1,4	-2,4	-0,01	-0,01	-0,05
VB		2014	JB4	-2,4	-3,2	-1,9	-3,9	-3,9	-5,6	0,00	0,00
	Org.	JB6	-0,2	0,0	-0,3	-1,4	-1,0	-1,9	-0,01	-0,01	-0,01
		JB7	-0,2	-0,1	-0,2	-1,2	-1,0	-1,6	-0,01	-0,01	-0,02
		1990	JB4	-2,5	-2,0	-2,1	-5,5	-4,7	-3,9	0,00	-0,02
	Org.	JB6	-0,1	0,0	-0,1	-1,2	-1,4	-1,7	-0,01	-0,02	0,00
		JB7	-0,1	0,0	-0,1	-1,1	0,0	-1,7	-0,01	-0,02	0,00
ViR		2014	JB4	-2,1	-0,7	-2,0	-4,2	-4,0	-4,1	-0,01	0,00
	Org.	JB6	-0,1	0,0	-0,1	-1,4	-2,1	-1,0	-0,01	-0,01	-0,02
		JB7	-0,1	0,0	-0,5	-1,3	-2,0	-1,1	-0,01	-0,01	-0,02
		1990	JB4	-2,3	-1,6	-1,3	-4,4	-6,4	-4,6	0,00	0,03
	Org.	JB6	-0,1	0,0	0,0	-1,3	-0,2	-2,9	-0,01	-0,02	0,00
		JB7	-0,1	-0,1	-0,6	-1,3	-0,1	-1,7	-0,01	-0,02	0,00
ViHv		2014	JB4	-2,1	-5,1	-2,7	-3,7	-3,6	0,3	-0,01	-0,01
	Org.	JB6	-0,2	0,2	-0,3	-1,6	-2,6	-2,0	-0,01	-0,01	-0,02
		JB7	-0,3	-0,5	-0,3	-1,3	-0,5	-1,2	-0,01	-0,01	-0,02
		1990	JB4	-2,1	-2,8	-1,3	-4,4	-4,7	-2,0	0,00	-0,04
	Org.	JB6	-0,2	0,0	-0,4	-1,1	-1,9	-2,2	-0,01	-0,02	0,00
		JB7	-0,3	0,0	-0,6	-1,1	-0,2	-1,2	-0,01	-0,01	0,00

regel også reduceret, men hvor 10 %-fraktilværdien er blevet mindre på JB4-jordene, er den i en række tilfælde steget på JB6-jordene. 90 %-fraktilen er oftest faldet. For vinterhvede efter vinterhvede kan der være en positiv effekt af, at den foregående afgrøde har taget mindre kvælstof op. Den gennemsnitlige kvælstofprocent er næsten uændret.

Tabel 23 og Tabel 24 viser ændringen i resultater, når vinterhvedens rodlængde begrænses fra 150 til 120 cm på JB4 og fra 175 til 140 cm på JB6 og 7 for henholdsvis Gl. og Ny vinterhvedesort. Responserne er sammenlignelige. For begge sorter sker der generelt et udbyttetab på JB4-jorden, og især 10 %-fraktilen på JB4 er påvirket negativt. N-optagelsen er generelt mindre på alle jordtyper. Den gennemsnitlige kvælstofprocent er dog ikke væsentligt påvirket. For Ny sort er N-procenten lidt mere negativt påvirket end i Gl. sort. Mønstret passer med, at Ny sort er i stand til at producere tørstof ved en lavere N-koncentration end Gl. sort.

6.11.4 Valget af nedre randbetingelse

For at undersøge om vores valg af nedre rand på de forskellige jordtyper har påvirket simuleringerne væsentligt, har vi overført den nedre rand fra JB6 (dræn) til JB4 og JB7, mens JB6 har fået den nedre rand fra JB7. Det betyder, at der vil være mere vand til rådighed på JB4, samt at afdræningen er blevet lidt bedre på JB7 og lidt dårligere på JB6. Resultaterne findes i Tabel 25 og Tabel 26 for hhv. Gl. og Ny sort af vinterhvede og i Tabel 27 og Tabel 28 for Gl. og Ny sort af vårbyg.

Den bedre vandforsyning på JB4 slår igennem på bedre udbytter og større N-optag i vinterhveden, men ellers er ændringerne små, og der er næsten ingen effekt på kvælstofprocenten i kerne. For vårbyg er der på JB4 et bedre udbytte og en bedre kvælstofoptagelse, men samlet set et fald i kvælstofprocenten, der er størst for Ny sort.

6.11.5 Scenarier med tilpasset vejr

For at give et indtryk af indflydelsen af vejret tilpassede vi nedbøren til "Foulum" ved at anvende månedlige skaleringsfaktorer (Jensen et al., 2014):

```
(defweather D1990WEST D1990 "Control_daily_daisy.dwf"  
(PrecipScale 1.39 1.30 1.34 1.59 0.82 0.91 0.98 0.91 1.33 1.22 1.18 1.05))
```

På årsbasis er nedbøren større, men i perioden maj-august er nedbøren mindre end i basisscenariet, som det ses af ovenstående skaleringsfaktorer.

Tabel 25. Forskel mellem basissimuleringen for Gl. sort og simulering af vinterhvede med ændret nedre randbetingelse. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Ff	gdn.	Jord-niveau	Jord-type	N1Drain			N1Drain			N1Drain		
				udbytte	F10	F90	N	F10	F90	N	F10	F90
				hkg/ha	kg N/ha			%				
VB	2014	JB4	1,6	1,9	0,6	2,1	4,2	1,5	0,00	0,00	0,00	
	Min.	JB6	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,3	0,00	0,00	0,00	
		JB7	0,2	-1,6	0,4	0,3	-0,2	0,3	0,00	-0,01	-0,02	
		1990	JB4	1,9	3,3	1,1	3,7	9,2	1,1	0,01	0,03	-0,01
	Min.	JB6	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	-1,2	0,00	0,00	-0,01	
		JB7	0,1	0,0	0,4	0,2	-0,4	-0,2	0,00	-0,01	-0,02	
ViR		2014	JB4	2,2	3,8	1,5	3,6	1,9	2,5	0,00	0,01	-0,02
	Min.	JB6	0,1	0,4	-0,1	0,2	0,8	0,2	0,00	0,00	-0,01	
		JB7	0,0	-0,1	0,1	-0,1	-0,3	0,6	0,00	0,00	0,00	
		1990	JB4	2,0	2,0	1,3	4,1	5,3	-0,5	0,01	-0,02	0,01
	Min.	JB6	0,1	0,6	0,0	0,2	-0,8	0,6	0,00	0,01	-0,02	
		JB7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,1	0,00	0,00	0,02	
ViHv		2014	JB4	1,5	6,3	0,1	2,1	4,3	-0,9	0,00	0,00	0,00
	Min.	JB6	-0,2	0,0	-0,3	-0,4	-0,2	0,4	0,00	0,00	0,00	
		JB7	0,4	0,3	-0,1	0,6	1,0	0,2	0,00	0,00	0,00	
		1990	JB4	1,6	1,1	2,4	3,4	3,0	4,7	0,01	0,02	0,01
	Min.	JB6	0,0	0,0	0,1	-0,3	-0,4	0,3	0,00	0,00	-0,01	
		JB7	0,2	0,9	0,3	0,5	-0,3	-0,3	0,00	0,00	0,03	
VB		2014	JB4	1,7	3,2	1,3	2,5	5,5	-0,7	0,00	0,02	0,01
	Org.	JB6	0,0	0,2	-0,2	-0,2	-0,5	-0,3	0,00	-0,01	-0,01	
		JB7	0,2	0,1	0,8	0,4	1,2	0,0	0,00	0,00	-0,01	
		1990	JB4	1,6	3,2	0,8	4,2	7,0	3,0	0,01	0,05	0,00
	Org.	JB6	0,0	0,2	0,0	0,1	-0,6	0,3	0,00	0,00	0,00	
		JB7	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,7	0,00	0,00	0,00	
ViR		2014	JB4	1,8	1,6	1,7	3,7	3,8	2,0	0,01	-0,01	-0,01
	Org.	JB6	0,0	0,8	0,1	-0,1	-1,5	-0,4	0,00	0,00	0,00	
		JB7	0,0	0,7	0,0	0,0	0,3	0,3	0,00	0,00	0,00	
		1990	JB4	1,8	1,8	2,6	5,1	8,9	3,0	0,02	0,03	0,00
	Org.	JB6	0,0	0,3	0,0	0,4	0,7	-0,9	0,00	0,00	0,00	
		JB7	0,0	0,0	0,0	-0,2	1,7	0,0	0,00	-0,01	0,00	
ViHv		2014	JB4	1,6	1,5	1,3	2,9	3,7	4,9	0,00	0,02	0,01
	Org.	JB6	0,0	-0,1	0,0	-0,3	0,8	0,0	0,00	0,00	-0,02	
		JB7	0,3	0,9	1,1	0,7	-1,2	0,3	0,00	-0,01	0,00	
		1990	JB4	1,4	0,0	1,2	3,4	2,3	4,1	0,01	0,03	0,00
	Org.	JB6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	-0,01	0,00	
		JB7	0,1	1,7	-0,4	0,3	3,4	1,1	0,00	0,00	0,00	

Tabel 26. Forskel mellem basissimuleringen for Ny sort og simulering af vinterhvede med ændret nedre randbetingelse. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Ff	gdn. niveau	Jord- type	N2Drain			N2Drain			N2Drain		
			udbytte	F10 hkg/ha	F90	N	F10 kg N/ha	F90	N%	F10 %	F90
VB	2014	JB4	0,9	1,5	-0,1	1,3	2,4	-0,6	0,00	0,01	0,00
	Min.	JB6	-0,1	0,0	-0,2	-0,3	-0,1	-0,6	0,00	0,00	-0,01
		JB7	0,5	-0,1	0,6	0,8	-0,8	-0,3	0,00	-0,01	0,00
		1990	JB4	1,3	1,5	1,2	2,8	4,2	0,8	0,01	0,02
	Min.	JB6	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-1,5	-0,4	0,00	0,00	-0,01
		JB7	0,2	0,2	0,3	0,6	0,5	0,6	0,00	0,00	0,01
ViR		2014	JB4	1,8	2,0	0,1	3,1	2,6	2,6	0,01	-0,01
	Min.	JB6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	-0,1	0,00	0,00	-0,01
		JB7	0,1	0,2	0,1	0,1	-0,6	0,5	0,00	0,00	0,02
		1990	JB4	1,6	1,1	2,4	3,8	4,8	0,5	0,01	0,00
	Min.	JB6	0,2	0,2	-0,1	0,3	-0,9	-0,1	0,00	0,00	-0,02
		JB7	-0,1	0,2	0,3	0,0	1,0	0,3	0,00	0,00	0,02
ViHv		2014	JB4	1,3	1,7	1,1	2,0	1,1	-1,5	0,00	0,00
	Min.	JB6	-0,2	-1,0	0,0	-0,4	-0,3	0,5	0,00	0,00	-0,01
		JB7	0,4	1,1	0,4	0,6	0,7	0,3	0,00	0,00	0,00
		1990	JB4	1,2	0,4	0,3	3,0	1,4	-0,3	0,01	0,02
	Min.	JB6	0,0	-0,1	0,0	-0,3	0,1	-0,2	0,00	0,00	0,02
		JB7	0,2	2,6	0,5	0,6	-0,2	0,2	0,00	0,00	0,02
VB		2014	JB4	1,1	1,5	0,5	1,4	4,6	-0,9	0,00	0,00
	Org.	JB6	-0,1	0,1	-0,9	-0,4	-0,5	-0,7	0,00	0,00	-0,02
		JB7	0,3	0,7	0,0	0,7	-0,3	1,4	0,00	0,00	0,01
		1990	JB4	1,0	1,6	0,5	3,7	1,3	3,7	0,02	0,06
	Org.	JB6	0,0	0,1	0,0	0,0	1,0	0,0	0,00	0,01	0,00
		JB7	0,1	0,0	0,0	0,4	0,0	0,1	0,00	0,00	0,00
ViR		2014	JB4	1,4	1,0	2,1	3,2	4,3	1,8	0,01	-0,01
	Org.	JB6	0,0	0,0	0,1	-0,3	-0,5	-0,1	0,00	-0,01	-0,01
		JB7	0,0	-0,1	-0,1	0,2	2,6	0,8	0,00	-0,01	0,01
		1990	JB4	1,3	0,4	2,0	5,0	4,9	5,5	0,03	-0,01
	Org.	JB6	0,0	0,2	0,0	0,3	2,2	0,0	0,00	0,01	0,00
		JB7	0,0	-0,3	0,1	0,0	-1,0	0,0	0,00	-0,01	0,00
ViHv		2014	JB4	1,2	0,0	0,9	2,6	-1,4	4,9	0,01	0,01
	Org.	JB6	0,0	0,2	-0,5	-0,4	0,6	-0,4	0,00	0,00	0,00
		JB7	0,3	-0,7	0,0	0,8	0,8	-0,4	0,00	0,00	0,02
		1990	JB4	1,1	0,0	1,0	2,9	2,2	6,1	0,01	0,03
	Org.	JB6	0,0	-0,5	-0,3	-0,1	-0,4	0,5	0,00	0,00	0,00
		JB7	0,1	0,8	0,0	0,4	2,7	0,0	0,00	0,00	0,00

Tabel 27. Forskel mellem basissimuleringen for Gl. vårbygsort og simulering af vårbyg med ændret nedre randbetingelse. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Ff	gdn. niveau	Jord- type	N1Drain			N1Drain			N1Drain			
			udbytte	F10 hkg/ha	F90	N	F10 kg N/ha	F90	N%	F10 %	F90	
ViHv	2014	JB4	4,2	9,6	1,8	3,8	10,6	1,5	-0,08	-0,02	-0,22	
		Min	JB6	0,0	0,0	-1,3	-0,1	0,1	-0,6	0,00	0,00	-0,01
		JB7	0,0	0,1	-0,1	0,2	1,1	0,7	0,01	0,00	0,02	
	1990	JB4	5,0	11,0	1,4	5,2	14,8	1,3	-0,09	-0,03	-0,14	
		min	JB6	0,0	0,1	0,0	-0,3	0,0	0,3	-0,01	-0,01	-0,01
		JB7	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,9	0,7	0,01	0,00	0,02	
ViHv	2014	JB4	4,7	10,6	1,7	4,5	11,7	2,4	-0,09	-0,02	-0,21	
		org	JB6	0,1	-0,3	0,0	-0,2	0,2	0,1	-0,01	0,00	-0,01
		JB7	-0,1	0,1	0,1	0,2	0,6	1,0	0,01	0,01	0,01	
	1990	JB4	5,8	12,4	1,0	7,1	21,1	3,8	-0,08	-0,04	-0,11	
		Org	JB6	0,2	0,6	0,1	0,1	-0,1	0,4	-0,01	0,00	0,00
		JB7	-0,2	0,0	0,0	0,1	0,6	1,2	0,01	0,00	0,03	

Tabel 28. Forskel mellem basissimuleringen for Ny vårbygsort og simulering af vårbyg med ændret nedre randbetingelse. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Ff	gdn. niveau	Jord- type	N2Drain			N2Drain			N2Drain			
			udbytte	F10 hkg/ha	F90	N	F10 kg N/ha	F90	N	F10 %	F90	
ViHv	2014	JB4	5,8	13,4	0,7	4,0	10,0	1,7	-0,11	-0,02	-0,27	
		Min	JB6	0,1	0,0	1,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,01	-0,01	0,00
		JB7	-0,2	-0,4	-0,2	0,1	-0,7	-1,3	0,01	0,00	0,02	
	1990	JB4	6,8	12,5	0,8	5,9	16,7	1,6	-0,11	-0,03	-0,09	
		min	JB6	0,2	0,2	0,4	-0,2	0,4	1,0	-0,01	0,00	-0,01
		JB7	-0,3	-0,4	-0,4	0,1	0,2	-0,1	0,01	0,00	0,02	
ViHv	2014	JB4	6,5	13,0	0,6	5,0	12,4	2,5	-0,11	-0,05	-0,22	
		org	JB6	0,2	-0,7	0,6	-0,1	-0,2	0,9	-0,01	0,00	-0,01
		JB7	-0,3	0,2	-0,8	0,1	1,8	-0,5	0,01	0,00	0,02	
	1990	JB4	7,5	12,3	3,6	7,9	21,7	2,6	-0,10	-0,03	-0,11	
		Org	JB6	0,4	0,1	0,0	0,1	0,7	-0,1	-0,01	0,00	0,01
		JB7	-0,4	-1,9	0,0	0,0	-0,7	0,1	0,01	0,00	0,02	

Tabel 29 og Tabel 30 viser, at det ændrede vejr resulterer i mindre udbytter og mindre N-optag for vinterhveden, samt noget lavere N-procenter (i gennemsnit -0,02-(-0,10) for Gl. sort og yderligere -0,01 for Ny sort). Resultaterne for Gl. og Ny sort af vårbyg ses i Tabel 31 og Tabel 32. For vårbyggen er effekten på både udbytter og kvælstofoptagelse ligeledes negativ og kvælstofprocenten falder. Igen er faldet lidt større for den Ny vårbygssort end for Gl. vårbygssort. En nærmere analyse af årsagerne viste, at de mere tørre sommermåneder ikke gav anledning til væsentligt øget vandstress, men at kvælstofstress-niveauet var øget på grund af en noget større udvaskning og denitrifikation i løbet af vinteren.

I gennemgangen af vejrforhold i kapitel 2.8 sås, at der på årsbasis er sket en svag stigning i temperatur og nedbør over perioden. Der var stor variation i forholdene i de enkelte måneder. Vi valgte at øge temperaturen i med 0,5 °C og nedbøren med 10 % over hele året.

Resultaterne af det varmere og vådere klima kan ses i Tabel 33 og Tabel 34 for Gl. og Ny sort af vinterhvede. For vinterhveden er der i dette tilfælde både positive og negative effekter på udbytterne, men generelt negative effekter på kvælstofoptagelsen. Kvælstofprocenten faldt i gennemsnit med 0,02-0,07 enheder for Gl. sort og 0,03-0,09 enheder for Ny sort.

Tabel 35 og Tabel 36 viser tilsvarende resultater for vårbyg under vådere og varmere forhold. Resultaterne er helt parallelle til vinterhveden, og ændringerne i N % er på 0,05-0,1 i Ny vårbygssort og ca. 0,02 enheder mindre i Gl. vårbygssort.

Der kan altså både være en effekt af regionale forskelle i nedbøren og af de små ændringer i klimaet, der er observeret mellem perioderne 1987-1994 og 2010-15. Klimaændringerne svarer til en ændring i råprotein i tørstof på 0,18-0,56 procentpoint for vinterhvede og 0,31-0,63 procentpoint for vårbyg.

Tabel 29. Forskel mellem basissimuleringen for GL. sort og simulering af vinterhvede med vejr tilpasset Foulum. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Ff	gdn. niveau	Jord- type	N1west			N1west			N1west		
			udbytte	F10 hkg/ha	F90	N	F10 kg N/ha	F90	N%	F10 %	F90
VB	2014	JB4	-2,8	-2,8	-3,6	-7,6	-6,8	-9,7	-0,05	-0,04	-0,07
	Min.	JB6	-3,6	-3,9	-2,6	-8,5	-9,4	-9,8	-0,04	-0,030	-0,08
		JB7	-5,1	-5,5	-2,7	-9,7	-7,8	-6,6	-0,03	-0,01	-0,09
		1990	JB4	-0,4	0,1	-0,7	-7,2	-3,2	-8,8	-0,08	-0,04
	Min.	JB6	-1,2	-1,3	-1,8	-6,9	-4,4	-8,3	-0,06	-0,04	-0,12
		JB7	-2,7	-2,2	-3,1	-8,1	-7,0	-7,8	-0,05	-0,03	-0,06
ViR		2014	JB4	-3,0	-3,6	-4,8	-9,1	-8,7	-13,3	-0,07	-0,03
	Min.	JB6	-3,9	-5,6	-5,0	-10,1	-9,4	-10,3	-0,06	-0,03	-0,16
		JB7	-5,4	-5,6	-3,1	-10,9	-11,6	-8,8	-0,04	-0,02	-0,07
		1990	JB4	-0,6	-0,7	-1,4	-7,7	-6,2	-11,5	-0,09	-0,06
	Min.	JB6	-1,2	-1,1	-1,5	-8,4	-9,1	-6,9	-0,08	-0,04	-0,14
		JB7	-3,1	-0,5	-3,4	-9,4	-12,1	-5,8	-0,06	-0,07	-0,05
ViHv		2014	JB4	-1,8	3,2	-4,0	-6,3	-1,5	-8,4	-0,05	-0,04
	Min.	JB6	-3,6	-3,8	-2,1	-7,8	-8,2	-9,7	-0,04	-0,01	-0,06
		JB7	-4,7	-7,6	-1,6	-8,3	-11,2	-3,7	-0,02	-0,01	-0,06
		1990	JB4	0,3	-0,1	0,0	-4,6	-0,9	-9,8	-0,07	0,00
	Min.	JB6	-1,1	-1,2	-1,6	-6,7	-3,7	-7,9	-0,07	-0,03	-0,11
		JB7	-3,1	-5,7	-1,8	-8,0	-7,9	-9,7	-0,05	-0,02	-0,09
VB		2014	JB4	-0,7	0,1	-1,4	-7,0	-5,0	-9,6	-0,08	-0,06
	Org.	JB6	-1,4	0,2	-2,4	-8,0	-8,3	-7,6	-0,07	-0,06	-0,11
		JB7	-2,9	-1,9	-2,0	-9,3	-9,6	-9,5	-0,06	-0,01	-0,09
		1990	JB4	0,2	0,9	0,1	-3,4	0,3	-5,0	-0,05	-0,08
	Org.	JB6	-0,3	0,3	-0,8	-4,8	-3,5	-8,5	-0,05	-0,08	0,00
		JB7	-1,6	-3,0	-3,1	-7,9	-5,3	-7,6	-0,06	-0,10	0,00
ViR		2014	JB4	-0,8	0,1	-1,9	-8,8	-8,6	-10,7	-0,10	-0,07
	Org.	JB6	-1,1	-1,4	-1,7	-9,7	-9,2	-9,1	-0,10	-0,07	-0,14
		JB7	-2,9	-1,0	-2,4	-10,7	-15,2	-8,9	-0,08	-0,04	-0,07
		1990	JB4	0,3	1,0	0,1	-4,7	1,2	-7,0	-0,06	-0,05
	Org.	JB6	-0,4	-0,9	-0,6	-6,5	-4,0	-7,1	-0,07	-0,10	0,00
		JB7	-2,5	-1,0	-1,3	-10,8	-4,0	-12,4	-0,08	-0,07	0,00
ViHv		2014	JB4	-0,6	-0,5	-2,5	-7,2	-5,2	-5,4	-0,09	-0,05
	Org.	JB6	-1,7	-1,8	-2,6	-8,9	-8,1	-11,0	-0,08	-0,04	-0,14
		JB7	-4,1	-6,3	-2,2	-10,7	-15,8	-10,3	-0,06	-0,02	-0,10
		1990	JB4	0,6	0,0	-0,7	-1,6	-0,7	-2,0	-0,03	-0,08
	Org.	JB6	-0,3	-0,8	-1,2	-3,4	-2,0	-4,9	-0,03	-0,10	0,00
		JB7	-1,9	-7,8	-1,1	-7,0	-12,7	-4,3	-0,04	-0,09	0,00

Tabel 30. Forskel mellem basissimuleringen for Ny sort og simulering af vinterhvede med vejr tilpasset Foulum. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Ff	gdn. niveau	Jord- type	N2west			N2west			N2west		
			udbytte	F10 hkg/ha	F90	N	F10 kg N/ha	F90	N%	F10 %	F90
VB	2014	JB4	-2,8	-1,2	-3,3	-7,7	-7,3	-11,3	-0,05	-0,04	-0,06
	Min.	JB6	-4,0	-3,4	-2,2	-9,1	-8,5	-10,2	-0,04	-0,02	-0,09
		JB7	-6,3	-5,4	-3,8	-11,2	-10,8	-8,0	-0,03	-0,02	-0,11
		1990	JB4	-0,7	0,8	-1,0	-8,5	-6,9	-9,6	-0,08	-0,03
	Min.	JB6	-1,7	-0,4	-2,5	-8,6	-4,9	-9,4	-0,07	-0,04	-0,11
		JB7	-3,5	-4,9	-4,7	-9,6	-8,3	-6,7	-0,05	-0,03	-0,08
ViR		2014	JB4	-3,1	-3,9	-3,7	-9,2	-8,0	-12,9	-0,06	-0,04
	Min.	JB6	-4,5	-5,8	-5,2	-11,2	-11,3	-14,8	-0,06	-0,04	-0,16
		JB7	-6,6	-6,9	-4,3	-12,2	-13,9	-7,5	-0,04	-0,03	-0,06
		1990	JB4	-0,8	0,9	-1,3	-9,0	-10,1	-12,5	-0,09	-0,05
	Min.	JB6	-1,5	0,3	-3,6	-9,8	-7,8	-9,9	-0,09	-0,05	-0,18
		JB7	-3,9	-2,2	-4,7	-11,2	-11,3	-10,3	-0,06	-0,07	-0,06
ViHv		2014	JB4	-1,7	-2,0	-1,6	-7,0	-4,5	-10,9	-0,06	-0,04
	Min.	JB6	-3,8	-1,9	-2,9	-9,0	-5,7	-7,1	-0,05	-0,03	-0,12
		JB7	-5,2	-7,0	-1,9	-9,6	-10,0	-5,7	-0,03	-0,02	-0,08
		1990	JB4	0,4	0,4	-1,4	-6,2	-3,7	-13,3	-0,08	0,00
	Min.	JB6	-1,1	-1,2	-1,3	-8,3	-2,1	-12,1	-0,08	-0,03	-0,14
		JB7	-3,6	-7,2	-2,4	-9,8	-14,0	-7,2	-0,06	-0,03	-0,13
VB		2014	JB4	-1,0	0,2	-1,9	-8,2	-4,8	-10,3	-0,08	-0,05
	Org.	JB6	-2,1	-1,1	-2,2	-9,7	-12,9	-9,9	-0,08	-0,04	-0,15
		JB7	-4,4	-4,8	-4,4	-11,9	-14,2	-11,2	-0,06	-0,02	-0,11
		1990	JB4	0,2	0,5	-0,1	-5,9	-0,7	-7,3	-0,07	-0,11
	Org.	JB6	-0,5	0,1	-0,5	-7,4	-1,5	-10,3	-0,07	-0,10	0,00
		JB7	-2,2	-2,0	-2,1	-11,2	-11,0	-11,6	-0,08	-0,10	0,00
ViR		2014	JB4	-1,1	1,5	-2,4	-10,3	-8,7	-13,2	-0,10	-0,07
	Org.	JB6	-1,5	0,1	-2,8	-11,9	-12,7	-13,9	-0,11	-0,07	-0,17
		JB7	-4,1	-2,9	-5,0	-13,1	-9,0	-12,1	-0,08	-0,03	-0,09
		1990	JB4	0,2	1,1	0,0	-7,0	0,6	-9,5	-0,08	-0,10
	Org.	JB6	-0,5	1,7	0,0	-9,3	-2,5	-10,7	-0,09	-0,11	-0,01
		JB7	-3,1	-1,7	-1,8	-13,7	-11,3	-16,1	-0,09	-0,08	0,00
ViHv		2014	JB4	-0,4	-0,6	-4,1	-8,1	-6,8	-6,6	-0,09	-0,05
	Org.	JB6	-1,7	-2,1	-3,5	-10,3	-5,2	-11,4	-0,09	-0,03	-0,17
		JB7	-4,4	-9,0	-3,2	-12,2	-16,1	-11,3	-0,07	-0,02	-0,12
		1990	JB4	0,6	0,3	0,0	-2,9	-1,4	-1,5	-0,04	-0,06
	Org.	JB6	-0,4	-2,5	-0,9	-5,2	-4,4	-6,0	-0,05	-0,12	0,00
		JB7	-2,5	-8,7	-0,7	-9,8	-18,1	-8,2	-0,06	-0,08	-0,01

Tabel 31. Forskel mellem basissimuleringen for Gl. vårbygsort og simulering af vårbyg med vejr tilpasset Foulum. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Ff	gdn. niveau	Jord- type	udbytte	N1west			N1west			N1west		
				F10 hkg/ha	F90	N	F10 kg N/ha	F90	N	F10 %	F90	
ViHv	2014	JB4	-2,6	-0,7	-2,1	-5,0	-2,7	-6,0	-0,02	-0,04	-0,01	
	Min	JB6	-2,7	-2,3	-3,8	-5,8	-3,7	-7,1	-0,03	-0,03	-0,05	
		JB7	-3,2	-2,6	-1,9	-6,4	-5,7	-5,8	-0,04	-0,02	-0,03	
1990	JB4	-2,7	-1,1	-2,8	-6,3	-1,7	-6,8	-0,03	-0,05	-0,01		
	min	JB6	-2,9	-2,1	-4,2	-7,5	-3,9	-9,5	-0,06	-0,03	-0,08	
		JB7	-3,5	-3,5	-2,4	-7,9	-7,9	-8,3	-0,05	-0,04	-0,07	
ViHv	2014	JB4	-2,6	-2,1	-2,1	-4,9	-4,1	-5,1	-0,01	-0,02	-0,03	
	org	JB6	-3,0	-1,7	-3,7	-6,7	-4,0	-9,1	-0,04	-0,02	-0,07	
		JB7	-3,5	-3,1	-2,8	-7,2	-6,6	-5,9	-0,04	-0,03	-0,05	
1990	JB4	-2,8	-2,2	-2,9	-7,3	-2,7	-7,5	-0,05	-0,03	-0,04		
	Org	JB6	-2,7	-2,5	-2,0	-10,6	-9,2	-12,0	-0,10	-0,04	-0,14	
		JB7	-4,0	-4,9	-2,4	-11,4	-10,9	-12,3	-0,09	-0,05	-0,13	

Tabel 32. Forskel mellem basissimuleringen for Ny vårbygsort og simulering af vårbyg med vejr tilpasset Foulum. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Ff	gdn. niveau	Jord- type	udbytte	N2west			N2west			N2west		
				F10 hkg/ha	F90	N	F10 kg N/ha	F90	N	F10 %	F90	
ViHv	2014	JB4	-3,1	0,1	-3,3	-5,9	-2,1	-6,5	-0,03	-0,04	-0,02	
	Min	JB6	-3,4	-1,9	-2,8	-7,3	-3,8	-7,4	-0,05	-0,03	-0,06	
		JB7	-4,0	-5,3	-2,9	-7,9	-9,5	-6,8	-0,05	-0,04	-0,06	
1990	JB4	-3,0	0,3	-4,2	-6,9	-0,8	-8,3	-0,04	-0,08	-0,03		
	min	JB6	-3,1	-2,7	-3,1	-8,5	-2,0	-10,6	-0,07	-0,04	-0,10	
		JB7	-4,3	-4,6	-3,2	-9,5	-10,6	-7,9	-0,06	-0,08	-0,07	
ViHv	2014	JB4	-2,9	-0,4	-3,6	-5,6	-0,8	-6,0	-0,02	-0,05	-0,02	
	org	JB6	-3,2	-2,5	-2,6	-7,6	-5,1	-9,6	-0,05	-0,03	-0,09	
		JB7	-4,1	-4,0	-3,9	-8,4	-7,1	-6,8	-0,05	-0,06	-0,06	
1990	JB4	-2,5	-0,4	-2,1	-7,3	-2,3	-7,2	-0,05	-0,02	-0,03		
	Org	JB6	-2,3	-2,4	-3,7	-11,0	-8,0	-11,8	-0,11	-0,04	-0,16	
		JB7	-3,7	-5,1	-1,9	-11,9	-12,6	-8,5	-0,10	-0,07	-0,14	

Tabel 33. Forskel mellem basissimuleringen for GI. sort og simulering af vinterhvede med vejr med 0,5 °C højere temperatur og 10 % mere nedbør. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Ff	gdn. niveau	Jord- type	N1warm			N1warm			N1warm			
			udbytte	F10 hkg/ha	F90	N	F10 kg N/ha	F90	N%	F10 %	F90	
VB	2014	JB4	0,4	1,8	-0,6	-2,6	-0,9	-4,3	-0,04	-0,04	-0,06	
		Org.	JB6	-1,0	-0,9	0,6	-4,3	-4,5	-2,9	-0,04	-0,03	-0,06
		JB7	-2,2	-2,8	-1,0	-5,6	-7,4	-4,3	-0,03	-0,03	-0,05	
	1990	JB4	1,4	2,5	-0,6	-2,2	2,1	-5,0	-0,06	-0,02	-0,11	
		Org.	JB6	0,2	-0,3	-2,1	-3,4	-2,0	-4,8	-0,05	-0,04	-0,08
		JB7	-0,5	0,9	-1,1	-4,5	-3,2	-4,7	-0,05	-0,04	-0,03	
ViR	2014	JB4	1,0	3,1	-0,3	-2,2	-2,8	-4,5	-0,05	-0,03	-0,08	
		Org.	JB6	-0,4	-0,3	-1,7	-4,0	-3,6	-2,3	-0,05	-0,03	-0,11
		JB7	-1,0	0,1	-0,7	-4,4	-7,6	-3,1	-0,04	-0,02	-0,10	
	1990	JB4	1,9	3,2	-0,3	-1,5	0,3	-4,8	-0,06	-0,05	-0,09	
		Org.	JB6	0,7	3,7	-0,6	-3,6	-4,2	-2,5	-0,06	-0,05	-0,11
		JB7	0,3	5,2	-0,3	-3,7	-3,7	-3,6	-0,06	-0,02	-0,10	
ViHv	2014	JB4	0,5	0,9	-0,5	-2,0	-0,4	-4,4	-0,04	-0,03	-0,03	
		Org.	JB6	-1,5	-2,9	-0,3	-4,8	-5,5	-2,2	-0,04	-0,03	-0,06
		JB7	-2,9	-6,9	-1,2	-6,2	-9,9	-3,1	-0,03	-0,01	-0,03	
	1990	JB4	1,3	-1,7	2,8	-0,9	1,6	-2,0	-0,04	-0,01	-0,06	
		Org.	JB6	0,2	-0,4	-0,6	-4,0	-2,6	-2,7	-0,06	-0,06	-0,09
		JB7	-1,0	0,6	-1,8	-5,2	-5,8	-5,2	-0,05	-0,04	-0,08	
VB	2014	JB4	1,4	2,4	-1,2	-2,0	0,2	-4,8	-0,06	-0,03	-0,07	
		Org.	JB6	0,1	0,0	-2,2	-4,0	-3,9	-3,4	-0,06	-0,03	-0,07
		JB7	-0,9	0,3	-0,6	-5,5	-6,9	-6,0	-0,05	-0,02	-0,06	
	1990	JB4	1,6	2,4	-1,4	0,6	4,7	-3,4	-0,03	-0,05	0,00	
		Org.	JB6	0,8	0,4	-2,1	-1,5	-0,6	-4,1	-0,04	-0,06	0,00
		JB7	0,6	0,3	-2,3	-3,1	4,1	-4,7	-0,05	-0,08	0,00	
ViR	2014	JB4	1,8	3,1	0,2	-2,0	-1,5	-4,2	-0,06	-0,06	-0,11	
		Org.	JB6	0,8	3,8	-0,6	-3,9	-3,2	-4,0	-0,07	-0,04	-0,09
		JB7	0,3	6,4	-0,1	-4,1	-3,5	-0,6	-0,06	-0,03	-0,10	
	1990	JB4	2,1	4,6	1,7	-0,1	8,2	-2,9	-0,05	-0,04	0,00	
		Org.	JB6	0,8	3,8	-0,7	-2,7	2,7	-5,9	-0,05	-0,06	0,00
		JB7	-0,1	3,8	-0,7	-5,7	4,4	-8,3	-0,07	-0,02	0,00	
ViHv	2014	JB4	1,0	-1,0	-0,3	-2,1	-1,4	-0,2	-0,05	-0,04	-0,08	
		Org.	JB6	-0,1	-1,2	-1,4	-5,0	-2,0	-4,1	-0,06	-0,05	-0,08
		JB7	-1,6	-0,5	-0,7	-6,9	-8,6	-4,4	-0,06	-0,06	-0,08	
	1990	JB4	1,4	-2,8	2,6	0,8	-1,7	-0,5	-0,02	-0,08	0,00	
		Org.	JB6	0,9	0,1	2,2	-0,7	-3,8	-2,8	-0,03	-0,12	0,00
		JB7	0,7	-0,5	0,7	-2,4	1,0	-2,8	-0,05	-0,08	0,00	

Tabel 34. Forskel mellem basissimuleringen for Ny sort og simulering af vinterhvede med vejr med 0,5 °C højere temperatur og 10 % mere nedbør. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Ff	gdn. niveau	Jord- type	N2warm			N2warm			N2warm		
			udbytte	F10 hkg/ha	F90	N	F10 kg N/ha	F90	N%	F10 %	F90
VB	2014	JB4	0,6	1,6	0,5	-2,7	-1,9	-5,9	-0,04	-0,05	-0,05
	Min.	JB6	-0,8	-0,6	0,3	-4,4	-3,3	-3,8	-0,04	-0,04	-0,08
		JB7	-2,5	-3,9	-0,9	-6,4	-7,9	-5,7	-0,04	-0,04	-0,08
		1990	JB4	1,7	2,5	-0,2	-3,2	-1,9	-5,4	-0,07	-0,03
	Min.	JB6	0,6	2,6	-1,5	-4,3	-0,4	-4,7	-0,06	-0,04	-0,09
		JB7	-0,4	-0,5	-2,0	-5,3	-3,9	-5,7	-0,06	-0,03	-0,05
ViR		2014	JB4	1,3	2,9	-0,1	-2,4	-0,5	-4,7	-0,05	-0,03
	Min.	JB6	-0,4	-0,4	-1,8	-4,6	-5,4	-6,3	-0,05	-0,03	-0,12
		JB7	-1,4	0,5	-1,5	-5,3	-6,2	-4,8	-0,04	-0,03	-0,08
		1990	JB4	2,0	5,6	0,9	-2,2	-1,6	-4,1	-0,06	-0,03
	Min.	JB6	1,0	5,6	-2,0	-4,1	-4,9	-5,8	-0,07	-0,04	-0,11
		JB7	0,4	5,6	-0,4	-4,6	-1,9	-5,0	-0,07	-0,04	-0,08
ViHv		2014	JB4	0,9	1,9	1,3	-2,2	-2,6	-3,8	-0,04	-0,04
	Min.	JB6	-0,8	-2,0	-0,1	-5,1	-3,8	-1,7	-0,05	-0,05	-0,10
		JB7	-2,5	-5,5	-1,1	-6,7	-11,5	-2,2	-0,04	-0,04	-0,06
		1990	JB4	1,8	-1,3	-1,2	-1,8	1,1	-3,1	-0,06	-0,02
	Min.	JB6	0,8	0,4	0,3	-4,7	-1,3	-2,6	-0,07	-0,06	-0,10
		JB7	-0,6	1,8	-1,8	-6,4	-6,2	-6,4	-0,07	-0,06	-0,10
VB		2014	JB4	1,7	2,5	-0,9	-2,8	3,4	-5,0	-0,06	-0,03
	Org.	JB6	0,4	1,0	-1,0	-4,8	-5,0	-5,7	-0,06	-0,04	-0,09
		JB7	-1,3	0,0	-1,6	-7,0	-7,4	-5,1	-0,06	-0,03	-0,06
		1990	JB4	2,1	2,6	-0,2	-0,4	4,4	-3,0	-0,05	-0,08
	Org.	JB6	1,5	1,6	-0,7	-2,2	5,6	-4,1	-0,05	-0,08	0,00
		JB7	1,2	2,9	-1,3	-4,5	2,5	-7,2	-0,07	-0,09	0,00
ViR		2014	JB4	1,9	5,5	0,4	-2,8	0,3	-6,4	-0,07	-0,05
	Org.	JB6	1,1	5,4	-0,3	-5,0	-6,1	-6,1	-0,08	-0,04	-0,11
		JB7	0,3	5,5	-1,4	-5,3	-3,6	-3,5	-0,07	-0,03	-0,11
		1990	JB4	2,2	5,6	0,4	-1,4	5,5	-4,1	-0,06	-0,08
	Org.	JB6	1,2	5,6	-0,4	-4,3	5,4	-4,2	-0,07	-0,04	-0,01
		JB7	0,2	7,0	-1,8	-7,4	-1,9	-9,6	-0,09	-0,03	-0,01
ViHv		2014	JB4	1,6	-1,7	-0,8	-2,4	-1,8	-0,5	-0,06	-0,06
	Org.	JB6	0,6	-0,6	-1,1	-5,7	-4,8	-5,7	-0,08	-0,05	-0,11
		JB7	-1,0	-1,7	-1,0	-7,8	-8,5	-7,3	-0,08	-0,06	-0,10
		1990	JB4	2,0	-1,7	3,4	0,9	-2,3	-0,3	-0,03	-0,08
	Org.	JB6	1,6	-1,3	2,9	-1,0	-1,9	-6,1	-0,04	-0,14	0,00
		JB7	1,4	0,3	2,9	-3,1	2,8	-4,9	-0,06	-0,12	0,00

Tabel 35. Forskel mellem basissimuleringen for Gl. vårbygsort og simulering af vårbyg med vejr med 0,5 °C højere temperatur og 10 % mere nedbør. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Ff	gdn. niveau	Jord-type	N1warm			N1warm			N1warm			
			udbytte	F10	F90	N	F10	F90	N	F10	F90	
			hkg/ha	hkg/ha	hkg/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	%	%	%	
ViHv	2014	JB4	2,2	4,8	0,2	1,0	7,3	-2,6	-0,07	-0,05	-0,10	
		Min	JB6	-1,1	-1,0	-1,4	-3,5	-2,6	-3,5	-0,03	-0,04	-0,04
		JB7	-1,5	-0,8	-0,1	-4,1	-3,3	-2,1	-0,04	-0,03	-0,04	
	1990	JB4	2,7	5,4	0,3	1,3	8,3	-1,6	-0,08	-0,04	-0,09	
		min	JB6	-1,2	-1,2	-0,4	-4,4	-3,2	-4,0	-0,05	-0,04	-0,07
		JB7	-1,7	-1,5	-1,6	-5,0	-3,9	-4,5	-0,05	-0,04	-0,06	
ViHv	2014	JB4	2,6	5,0	0,6	1,6	7,0	-1,3	-0,07	-0,05	-0,11	
		org	JB6	-1,0	-1,3	-0,4	-3,5	-5,0	-3,2	-0,04	-0,03	-0,05
		JB7	-1,6	-0,9	-1,8	-4,4	-3,1	-2,7	-0,04	-0,03	-0,06	
	1990	JB4	3,1	5,9	0,3	1,7	9,4	0,1	-0,09	-0,05	-0,11	
		Org	JB6	-0,8	-1,3	-0,4	-6,0	-5,7	-4,8	-0,08	-0,04	-0,10
		JB7	-1,8	-2,1	-0,7	-7,3	-6,4	-8,4	-0,08	-0,05	-0,11	

Tabel 36. Forskel mellem basissimuleringen for Ny vårbygsort og simulering af vårbyg med vejr med 0,5 °C højere temperatur og 10 % mere nedbør. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Ff	gdn. niveau	Jord-type	N2warm			N2warm			N2warm			
			udbytte	F10	F90	N	F10	F90	N	F10	F90	
			hkg/ha	hkg/ha	hkg/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	%	%	%	
ViHv	2014	JB4	2,8	7,3	-0,6	0,0	6,0	-1,9	-0,09	-0,06	-0,12	
		Min	JB6	-1,5	-1,6	1,5	-5,2	-3,8	-3,9	-0,05	-0,05	-0,06
		JB7	-2,0	-1,9	-0,7	-5,7	-7,2	-4,7	-0,06	-0,05	-0,07	
	1990	JB4	3,6	7,0	-1,0	1,0	9,7	-1,0	-0,09	-0,06	-0,04	
		min	JB6	-1,1	-1,8	0,7	-5,5	-3,9	-3,9	-0,06	-0,05	-0,09
		JB7	-2,1	-2,1	-1,9	-6,5	-8,6	-4,1	-0,07	-0,06	-0,10	
ViHv	2014	JB4	3,4	7,1	-0,7	1,0	8,2	-1,3	-0,09	-0,06	-0,12	
		org	JB6	-1,1	-2,2	0,5	-4,8	-5,5	-4,4	-0,05	-0,06	-0,06
		JB7	-1,9	-1,7	-2,2	-5,9	-3,0	-3,8	-0,06	-0,06	-0,08	
	1990	JB4	4,4	7,0	1,4	1,8	10,7	-0,4	-0,10	-0,03	-0,08	
		Org	JB6	-0,2	-1,3	-1,4	-6,7	-8,0	-6,1	-0,10	-0,05	-0,10
		JB7	-1,3	-2,4	0,1	-8,1	-6,8	-5,8	-0,10	-0,06	-0,13	

6.11.6 Mindre og langsommere organisk stof

I dette scenarie er forholdet mellem organisk stof i jorden med langsom og hurtig omdannelse sat til 0,7:0,3 i A-horisonten, hvilket repræsenterer ”mest muligt i langsom pulje”. Desuden er humusprocenten i JB6 reduceret med 10 % og i JB7 med 20 %, svarende til, hvad der er fundet i kvadratsundersøgelserne. Som vist tidligere, er baggrundsmineraliseringen ikke et stort bidrag i beregningen. Alligevel er der små påvirkninger af udbytte og N-optag på JB4 og JB6, og lidt større effekter på JB7-jordene. Kvælstofprocenten i kerne er stort set kun påvirket på JB7-jordene, med i gennemsnit -0,02-(-0,04) procentpoint i vinterhveden (Tabel 37) og -0,02 procentpoint i vårbyg (Tabel 38).

6.11.7 Andre usikkerheder

Det valgte sædskifte afspejler ikke alle de ændringer, der er foregået i afgrødevalg og mulige forfrugter til hvede. Der er anvendt svinegylle i alle simuleringer, og mens mængden af kvælstof udbragt i husdyrgødning har været næsten konstant, så kan sammensætningen være påvirket af, at kvægandelen er faldet.

Tabel 37. Forskel mellem basissimuleringen for Ny sort og simulering af vinterhvede med lavere organisk indhold og mest muligt organisk stof i den langsomme fraktion. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Ff	gdn. niveau	Jord- type	udbytte	N2slow		N2slow			N2slow		
				F10 hkg/ha	F90	N	F10 kg N/ha	F90	N%	F10 %	F90
VB	2014	JB4	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	0,0	0,00	0,00	0,00
	Min.	JB6	-0,2	0,0	-0,1	-0,5	-0,3	-0,6	0,00	0,00	-0,01
		JB7	-2,2	-3,2	-2,0	-5,0	-4,5	-5,8	-0,02	-0,01	-0,05
	1990	JB4	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	0,00	0,00	0,00
	Min.	JB6	-0,1	0,0	0,0	-0,4	-0,4	-0,5	0,00	0,00	0,00
		JB7	-0,9	-1,7	-1,5	-4,3	-2,5	-4,9	-0,03	-0,02	-0,04
ViR	2014	JB4	-0,1	0,0	0,0	-0,2	-0,2	-0,3	0,00	0,00	0,00
	Min.	JB6	-0,1	0,0	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3	0,00	0,00	0,00
		JB7	-1,4	-1,4	-1,6	-3,6	-3,0	-3,0	-0,02	-0,02	-0,03
	1990	JB4	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,2	0,00	0,00	0,00
	Min.	JB6	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,2	-0,5	0,00	0,00	-0,01
		JB7	-0,6	0,0	-1,1	-3,3	-2,1	-3,6	-0,03	-0,01	-0,05
ViHv	2014	JB4	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,2	0,00	0,00	0,00
	Min.	JB6	-0,1	-0,5	0,0	-0,5	-0,7	-0,4	0,00	0,00	-0,01
		JB7	-1,7	-0,7	-1,6	-4,1	-4,6	-4,6	-0,02	-0,02	-0,04
	1990	JB4	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	0,00	0,00	0,00
	Min.	JB6	0,0	-0,2	0,0	-0,4	-0,3	-0,4	0,00	0,00	-0,01
		JB7	-0,9	-0,1	-0,5	-3,8	-2,6	-6,0	-0,03	-0,01	-0,04
VB	2014	JB4	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	0,00	0,00	0,00
	Org.	JB6	-0,1	0,0	-0,2	-0,5	-0,5	-0,6	0,00	0,00	0,00
		JB7	-1,0	-2,0	-1,2	-4,8	-6,4	-5,4	-0,04	-0,02	-0,05
	1990	JB4	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,2	-0,1	0,00	0,00	0,00
	Org.	JB6	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,5	0,0	0,00	0,01	0,00
		JB7	0,0	0,0	0,0	-2,0	-1,0	-3,0	-0,02	-0,03	0,00
ViR	2014	JB4	0,0	-0,1	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	0,00	0,00	0,00
	Org.	JB6	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,4	-0,5	0,00	0,00	0,00
		JB7	-0,4	0,0	-1,2	-3,2	-0,6	-3,6	-0,03	-0,01	-0,04
	1990	JB4	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,4	0,0	0,00	0,00	0,00
	Org.	JB6	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,2	0,0	0,00	-0,01	0,00
		JB7	-0,2	0,0	-0,5	-2,7	0,0	-4,9	-0,02	-0,02	0,00
ViHv	2014	JB4	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	0,00	0,00	0,00
	Org.	JB6	0,0	0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,6	0,00	0,00	0,00
		JB7	-0,7	-1,7	-1,2	-4,0	-2,3	-4,9	-0,04	-0,02	-0,05
	1990	JB4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
	Org.	JB6	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,3	0,00	0,00	0,00
		JB7	0,0	0,0	0,0	-1,5	-0,1	-2,1	-0,02	-0,03	0,00

Tabel 38. Forskel mellem basissimuleringen for Ny vårbygsort og simulering af vårbyg med lavere organisk indhold og mest muligt organisk stof i den langsomme fraktion. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Ff	gdn. niveau	Jord-type	udbytte	N2slow			N2slow			N2slow		
				F10 hkg/ha	F90	N	F10 kg N/ha	F90	N	F10 %	F90	
ViHv	2014	JB4	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	0,00	0,00	0,00	
	Min	JB6	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,3	-0,5	0,00	0,00	0,00	
		JB7	-0,9	-0,6	-0,8	-2,5	-2,2	-4,2	-0,02	-0,02	-0,03	
1990	JB4	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,00	0,00	0,00		
	min	JB6	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,2	0,00	0,00	0,00	
		JB7	-0,8	-1,1	-1,2	-2,4	-1,5	-1,9	-0,02	-0,02	-0,03	
ViHv	2014	JB4	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	0,00	0,00	0,00	
	org	JB6	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,3	-0,3	0,00	0,00	-0,01	
		JB7	-0,8	-1,0	-1,2	-2,4	-1,4	-2,8	-0,02	-0,02	-0,03	
1990	JB4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,00	0,00	0,00		
	Org	JB6	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,1	0,00	0,00	0,00	
		JB7	-0,4	-0,3	-0,2	-1,8	-1,8	-1,4	-0,02	-0,01	-0,03	

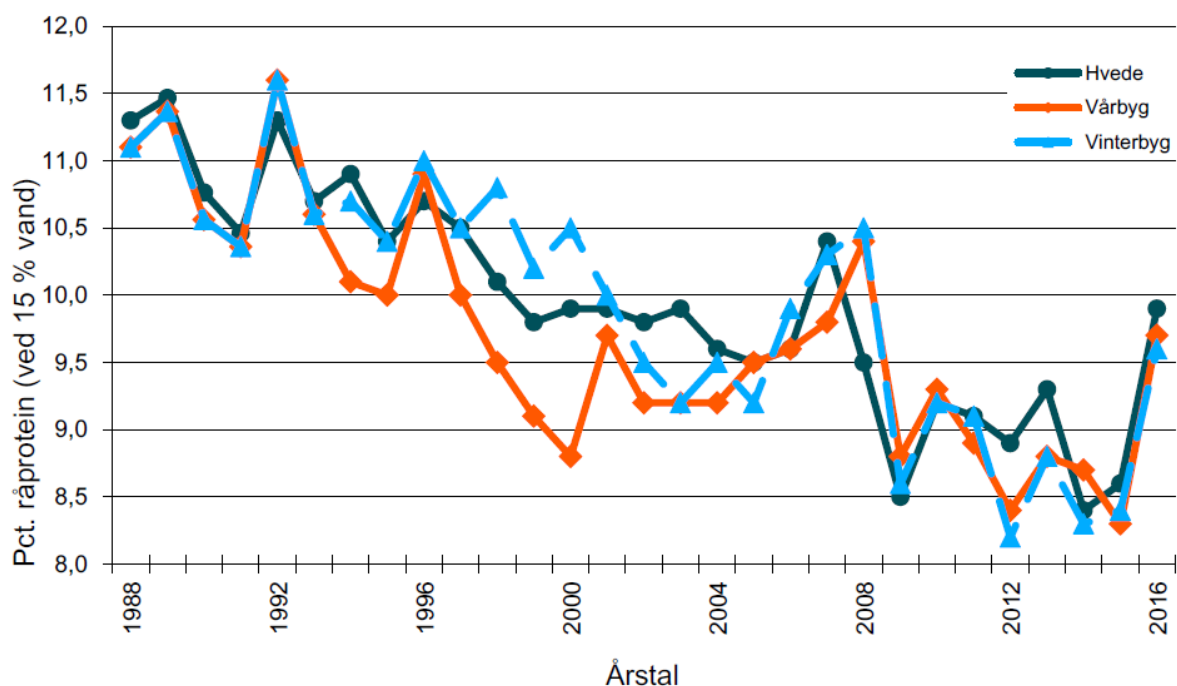
6.12 Samlet effekt af de undersøgte faktorer

Det har ikke været muligt inden for projektets rammer at kvantificere alle de ændringer, der er sket med dyrkningen af vinterhvede siden 1990. Alligevel har vi forsøgt at vægte effekten af de enkelte ændringer over tid for at estimere, hvor stor en del af det observerede fald i proteinindhold (Figur 38), der kan forklares gennem ovenstående beregninger.

Vinterhvedearealet svinger fra år til år, men udgjorde ca. 18 % af det dyrkede areal i begyndelsen og ca. 25 % af det dyrkede areal i slutningen af perioden. Det svarer til ca. 522.000 ha i 1990 eller 550.000 ha i gnsn. fra 1990-1994, og ca. 650.000 ha i gennemsnit i perioden 2010-15. Ifølge Petersen et al. (2010) er udviklingen gået fra de mere lerede jorde (JB6) til mere sandede jorde (JB4). Vinterhveden findes mest i kornrige sædskifter, og frekvensen af vinterhvede efter vinterhvede er gået fra 20-30 % i begyndelsen af perioden til ca. 70 % i 2005 (ingen data herefter). Andelen af vinterhvede efter vinterhvede, der modtager husdyrgødning, er øget fra 20-30 % i første del af perioden til ca. 60 % i 2006. Den samlede mængde husdyrgødning i Danmark er imidlertid ikke ændret væsentligt. I følgende beregning er forudsætningerne, at der tildeltes husdyrgødning på 25 % af hvedearealet omkring 1990 og at den samme mængde/areal tildeles i 2010-15, men i så fald kun til vinterhvede efter vinterhvede. Det svarer til ca. 45 % af arealet med vinterhvede efter

vinterhvede. Alternativt skulle beregningerne have været foretaget med mindre organisk gødning i de organisk gødede 2014-scenarier.

I Tabel 39 er forsøgt opstillet en beregning over ændringer, der er sket på JB4, JB6 og JB7-jorderne, under forudsætning af, at ændringerne i sædskifteplacering mv. er jævnt fordelt over jordtyperne. Når ændringerne vægtes sammen, fremgår det, at de største bidrag fremkommer som følge af ændring af gødningsniveau alene, men der er også bidrag fra ændring af både forfrugt og gødningsmængde. En nærmere analyse af de individuelle bidrag fra sort, gødningsniveau og forfrugt viste, at bidraget fra forfrugtsændringen var ubetydeligt, da effekten af mere vinterhvede efter vinterhvede blev opvejet af, at en større del af denne vinterhvede modtager organisk gødning.



Figur 38. Udvikling i proteinindhold i kerne estimeret af Videnscenter for Svineproduktion. Fra Poulsen og Sloth (2016). Gødningsnormerne er øget inden sidste høst i diagrammet.

På JB4 summer resultaterne op til en ændring i N % på -0,34, og medregnes en korrektion for varmere og vådere vej, stiger værdien til -0,40 eller -2,5 % i råprotein (N % *6,25)³ i tørstof.

Vejrkorrektionen er meget simpelt beregnet og derfor også noget usikker. For JB6 er de tilsvarende tal henholdsvis en ændring i N % på -0,28 inden korrektion for varmere og vådere vejr, og med korrektionen stiger værdien til -0,34 eller -2,1 % råprotein i tørstof. På JB7 summer tallene på samme måde op til en ændring i N % på -0,24. Medregnes en korrektion for mindre organisk stof i JB7-jorden og en korrektion for ændret temperatur og nedbør, nås en samlet ændring på JB7 på -0,33 eller et fald i råprotein i tørstof på 2,1 %.

Dette tal skal sammenlignes med det observerede fald på godt 2 % råprotein (ved 15 % vand) for vinterhvede i Figur 38, som kan omregnes til 2,4 % råprotein i tørstof.

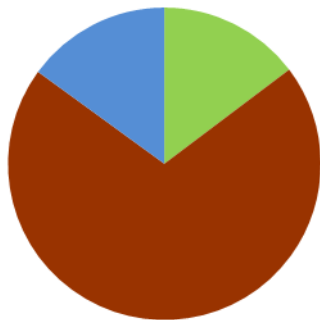
Det beregnede fald i proteinindhold er en lille smule mindre end det observerede. Ovennævnte tal indeholder ikke en effekt af, at vinterhveden med et stigende areal er skubbet ud på mere sandede jorde. Nederst i Tabel 39 er vist forskellen mellem en JB4 og JB6/7 i beregningerne, samt den gennemsnitlige forskel mellem basis-scenarievejret og det beregnede Foulum-vejr. Hvor stor en del af denne forskel, der bør regnes med, er ikke klart, men der vil være et mindre bidrag til faldet i protein fra en ændret regional udbredelse. Vejrkorrektionerne ovenfor og for Foulum-vejr er heller ikke nødvendigvis additive, da der i førstnævnte er vådere (og varmere) forhold hele året, og i Foulum-vejret er der mindre nedbør om sommeren. Som nævnt tidligere, er bidraget fra mineralisering sandsynligvis undervurderet, da de simple sædskifter, der er anvendt, ikke indeholder alle effekter af strukturudviklingen.

Figur 39 viser det relative bidrag fra ændringen af sortsbeskrivelse, af beskrivelsen af gødning, management og deposition tilsammen, af klimaændringen og af mineralisering på JB4, JB6 og JB7. Sortseffekten forklarer 14-19 %, forskellen i gødning, deposition og management 53-70 %, forskellen i vejr ca. 15-18 % og forskellen i baggrundsm mineralisering på JB7 ca. 9 % af det samlede beregnede fald.

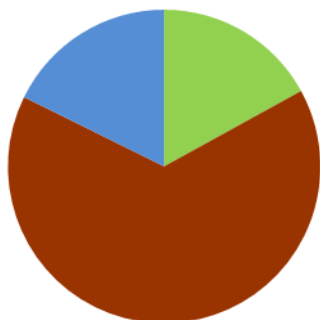
³ Omsættes kvælstofprocenten til protein med den faktor, der anvendes for brødkorn i Danmark (5,7), er resultatet 1,9 % råprotein i tørstof for både JB 6 og 7

Tabel 39. Bidrag til fald i N % i kerne (vinterhvede) på JB4, JB6 og JB7 fra skift mellem forskellige forfrugter og gødningstype, ændring i organisk stof og klima, samt forskel mellem JB6/7 og JB4. vB: vårbyg, ViR: vinterraps, ViHv: vinterhvede, min: mineralsk gødning og org: organisk gødning. Ved omregning til råprotein i tørstof er anvendt faktor 6,25.

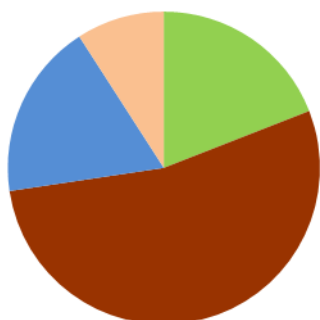
	FF	Gdn		FF	Gdn	N %- forskell	Areal- fraktion	Vægtet bidrag	Ændr. i råprotein %
JB4									
Fra	vB/ViR	min	til	vB/ViR	min	-0,324	0,3000	-0,097	
Fra	vB/ViR	min	til	ViHv	min	-0,317	0,1975	-0,063	
Fra	vB/ViR	min	til	ViHv	Org	-0,152	0,0650	-0,010	
Fra	vB/ViR	Org	til	ViHv	Org	-0,432	0,1875	-0,081	
Fra	ViHv	min	til	ViHv	min	-0,321	0,1875	-0,060	
Fra	ViHv	Org	til	ViHv	Org	-0,476	0,0625	-0,030	
								-0,34	-2,1
korrektion for vejr i alt								-0,06	
								-0,40	-2,5
JB6									
Fra	vB/ViR	min	til	vB/ViR	min	-0,260	0,3000	-0,078	
Fra	vB/ViR	min	til	ViHv	min	-0,261	0,1975	-0,052	
Fra	vB/ViR	min	til	ViHv	Org	-0,081	0,065	-0,005	
Fra	vB/ViR	Org	til	ViHv	Org	-0,390	0,1875	-0,073	
Fra	ViHv	min	til	ViHv	min	-0,237	0,1875	-0,044	
Fra	ViHv	Org	til	ViHv	Org	-0,424	0,0625	-0,027	
								-0,28	-1,7
korrektion for vejr i alt								-0,06	
								-0,34	-2,1
JB7									
Fra	vB/ViR	min	til	vB/ViR	min	-0,200	0,3000	-0,060	
Fra	vB/ViR	min	til	ViHv	min	-0,213	0,1975	-0,042	
Fra	vB/ViR	min	til	ViHv	Org	-0,057	0,065	-0,004	
Fra	vB/ViR	Org	til	ViHv	Org	-0,396	0,1875	-0,074	
Fra	ViHv	min	til	ViHv	min	-0,171	0,1875	-0,032	
Fra	ViHv	Org	til	ViHv	Org	-0,430	0,0625	-0,027	
								-0,24	-1,5
korrektion for org. Stof								-0,03	
korrektion for vejr i alt								-0,06	
								-0,33	-2,1
JB4									
gnsn. Forskel til JB6 og 7								-0,036	-0,2
korrektion for Foulum-vejr								-0,07	-0,4



JB4



JB6



JB7

Figur 39. Samlet bidrag til ændring i N % i kerne i vinterhvede, vægtet efter areal. Cirkeldiagrammerne viser, hvorledes det samlede beregnede fald i kvælstofprocent i kerne er fordelt på en effekt, der skyldes nye sorter (sort), ændrede gødningsnormer, inklusiv ændret management, ca. 6 kg mindre deposition og en negligibel effekt af sædskifte-placering (GMD), en lidt højere temperatur, kombineret med ca. 10 % mere nedbør (Klima) og lidt mindre mineralisering på grund af faldende humusindhold (OM) på hhv. JB4, JB6 og JB7.

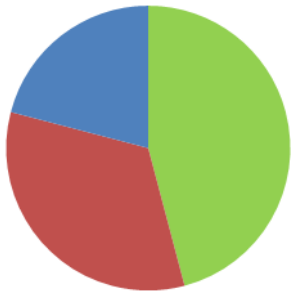
Det beregnede datasæt for vårbyg indeholder kun én forfrugt, og vårbyg forefindes på flere jordtyper, end der er beregnet for her. Tallene kan derfor ikke bruges til en generel vægtning af, hvordan forholdene har ændret sig. Tabel 40 viser ændringen i proteinindhold fra Gl. vårbygssort ved 1990-gødning (mineralsk og organisk) til Ny vårbygssort under 2014-gødning. Desuden er de gennemsnitlige ændringer fundet som følge af Foulum-vejr, varmere klima og korrektion for

organisk stof vist i tabellen. Størrelsesordenen på ændringen af råprotein i tørstof, inklusiv effekten af organisk stof og varmere vejr, er -2,2-(-3,1) %. Det skal igen sammenlignes med målingerne i Figur 38, der viser et fald i % råprotein (ved 15 % vand), der måske har været lidt større for vårbyg end for vinterhvede (2-2,5 % i perioden 2011-15), svarende til 2,35-2,9 % råprotein i tørstof. Det beregnede fald svarer altså, på trods af forsimplingerne, fint til det observerede niveau.

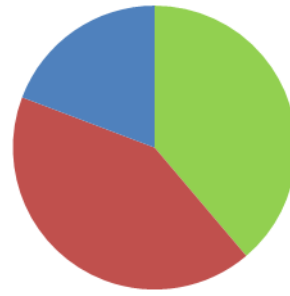
Figur 40 viser den relative fordeling af effekterne af sortsændringer, af gødning, management og deposition, af klima og af ændret mineralisering for vårbyg. Det fremgår, at sortsændringerne spiller en relativt større rolle for faldet i proteinindhold i vårbyg end i vinterhveden.

Tabel 40. Bidrag til fald i N % i kerne (vårbyg) på JB4, JB6 og JB7 fra ændring af sort, ændrede gødningsnormer, fald i organisk stof og varmere og vådere vejr i scenarierne. Forkortelser som ovenfor. Ved omregning til råprotein i tørstof er anvendt faktor 6,25.

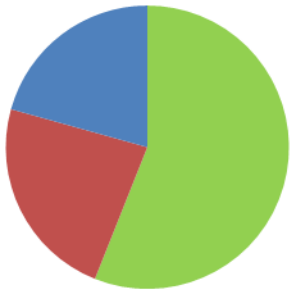
		FF		Gdn		N %- forskell	Ændr. i Råprotein %	
		Fra	til	Fra	til			
JB4								
	Fra	ViHv	min	til	ViHv	min	-0,30	-1,9
	Fra	ViHv	Org	til	ViHv	Org	-0,34	-2,1
JB6								
	Fra	ViHv	min	til	ViHv	min	-0,31	-1,9
	Fra	ViHv	Org	til	ViHv	Org	-0,42	-2,6
JB7								
	Fra	ViHv	min	til	ViHv	min	-0,26	-1,6
	Fra	ViHv	Org	til	ViHv	Org	-0,37	-2,3
korrektion for org. Stof							-0,02	-0,1
Generelle korrektioner								
korrektion for Foulum-vejr							-0,06	-0,4
Korrektion for varmere vejr							-0,08	-0,5



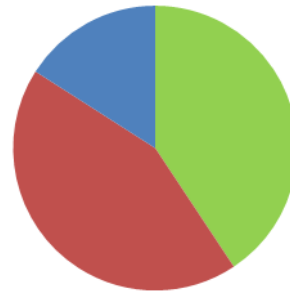
JB4, mineralsk gødet



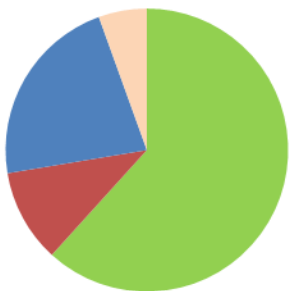
JB4, organisk gødet



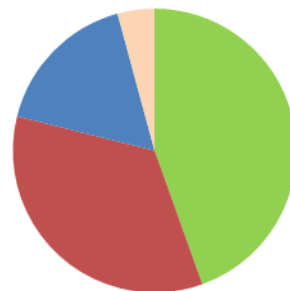
JB6, mineralsk gødet



JB6, organisk gødet



JB7, mineralsk gødet



JB7, organisk gødet.



Figur 40. Bidrag fra ændring i N % i kerne i vårbyg. Cirkeldiagrammerne viser, hvorledes det samlede beregnede fald i kvælstofprocent i kerne er fordelt på en effekt, der skyldes nye sorter (sort), ændrede gødningsnormer, inklusiv ændret management og ca. 6 kg mindre deposition (GMD), en lidt højere temperatur, kombineret med ca. 10 % mere nedbør (Klima) og lidt mindre mineralisering på grund af faldende humusindhold (OM) på JB4, 6 og 7 med mineralsk og organisk gødning.

7 Yderligere scenarier

For yderligere at undersøge om koncentrationen i kerne kan påvirkes gennem andre management-typer end øget gødning, blev der, i samråd med styregruppen, defineret følgende ekstra scenarier:

1. Ærter i stedet for vårbyg, som forventes at efterlade mere kvælstof til den følgende afgrøde,
2. En kraftigere efterafgrøde. I simuleringerne er brugt en vinterraps for at efterligne olieræddike. Vi har ikke en velparameteriseret kvælstoffikserende efterafgrøde, som også kunne have været en interessant mulighed.
3. 40 kg N af gødningskvoten skubbet til midt i maj måned for vinterhveden.
4. Tidlig såning af vinterhvede.
5. Ammoniumgødning i stedet for nitratgødning,
6. Kvæggylle i stedet for svinegyلة, men med samme mængde total-N,
7. Vinterhvede i de mest humusrige JB4, 6 og 7-jorde. Indholdet af humus er valgt til at svare til den nedre grænse for de 5 % jorde med højest indhold inden for hver jordtype (på basis af Ståbi-jordene (Styczen et al. 2005)).

7.1 Ærter i stedet for vårbyg

I simuleringen er ærten ugødet, men der er ikke taget hensyn til den ekstra forfrugtsværdi på 9 kg for ært. Ærterne efterlader mere kvælstof i jorden end vårbyggen, hvilket giver anledning til lidt større tørstofudbytte og lidt større kvælstofoptagelse i næsten alle kombinationer. Kvælstofoptagelsen er i gennemsnit øget for næsten alle vinterhvedeforekomster i sædskiftet, men mest for vinterhveden efter ært. Kun på den organisk gødede JB7-jord er kvælstofoptagelsen mindre efter den ugødede ært end efter den vårbyggen. Vårbyg på JB7 modtog den højeste gødningsmængde. Det er også primært i vinterhveden efter ærten, at koncentrationen i kerne er steget, specielt på JB4-jorden. Medregnes forfrugtsværdien, ville de positive effekter sandsynligvis kun genfindes på JB4- og måske JB6 jorden, der kun modtager mineralsk gødning. Resultaterne er vist i Tabel 41.

Tabel 41. Forskel mellem basissimuleringen for Ny sort af vinterhvede ved 2014-gødningsniveau og simulering med ært i stedet for vårbyg i sædskiftet. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

scenarie			ært			ært			ært		
FF	Gdn	Jord	udbytte	F10	F90	N	F10	F90	N%	F10	F90
	niveau	type	hkg/ha	kg N/ha							
VB	2014	JB4	0,2	0,2	0,2	7,5	7,0	7,3	0,05	0,03	0,08
	min	JB6	0,2	0,2	0,2	5,0	7,0	5,7	0,03	0,02	0,02
		JB7	0,1	-0,1	0,2	0,9	-0,4	1,9	0,00	0,00	-0,03
ViR	2014	JB4	0,0	0,0	0,0	0,8	0,3	0,7	0,01	0,01	0,01
	min	JB6	0,0	0,0	0,1	0,8	0,9	1,2	0,01	0,00	0,01
		JB7	0,0	0,0	0,0	0,5	-0,5	0,4	0,00	0,00	0,02
WW	2014	JB4	0,0	0,0	0,0	0,7	0,6	0,6	0,00	0,00	0,01
	min	JB6	0,0	0,0	0,0	0,7	1,1	0,9	0,00	0,00	0,01
		JB7	0,0	0,0	0,0	0,4	0,5	0,6	0,00	0,00	0,00
VB	2014	JB4	0,0	0,0	0,0	2,8	4,6	-0,2	0,03	0,01	0,04
	org	JB6	0,0	-0,1	0,1	1,1	0,6	-0,4	0,01	0,01	-0,02
		JB7	0,0	0,1	0,0	-2,0	-2,2	-3,0	-0,02	-0,01	-0,06
ViR	2014	JB4	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,1	0,1	0,00	0,00	0,00
	org	JB6	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	1,1	0,00	0,00	0,00
		JB7	0,0	0,0	0,0	0,2	-0,5	0,7	0,00	0,00	0,00
WW	2014	JB4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,00	0,00	0,01
	org	JB6	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3	0,00	0,00	0,00
		JB7	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,2	0,00	0,00	0,00

7.2 En kraftigere efterafgrøde

I stedet for græs er indsat en vinterraps for at efterligne olieræddike. Der er ingen forskel på de simulerede udbytter eller N % i kerne i kornsorterne. Der er i nogle tilfælde en lille positiv effekt på N-optagelsen i den efterfølgende vårbyg, men ikke nok til at påvirke N-procenten i kerne.

7.3 Tredelt N-tildeling

I simuleringen er tildelt 40 kg mineralsk N/ha til vinterhvede den 15. maj. Tildelingen i marts blev bibeholdt, men tildelingen i april blev reduceret tilsvarende. Simuleringen resulterede i nedsat udbytte og N-optagelse og uændret eller svagt reduceret N %. Dette resultat stemmer ikke overens med observationer og forventes at være en artefakt af de begrænsninger, der er sat på plantens N-optagelse. Den langsommere optagelse betyder, at den sene tildeling ikke kommer planten til gode i simuleringen. Med "Ny sort" –parameteriseringen er modellen altså ikke i stand til troværdigt at simulere sen N-gødskning.

7.4 Tidlig såning af vinterhvede

Tidlig såning af vinterhvede gav anledning til lidt højere udbytte og for vinterhvede efter vårbyg og vinterraps også en højere N-optagelse. For vinterhvede efter vinterhvede er N-optagelsen lidt lavere i de mineralsk gødede simuleringer, sandsynligvis fordi den foregående afgrøde har været mere effektiv. Der er en ret markant lavere N % i vinterhvede som følge af den tidligere såning. På samme måde er vårbyggen N-optag og N % negativt påvirket, se Tabel 42. Omvendt begrænser tidlig såning udvaskningen. Over de 5 års sædskifte mindskes den samlede udvaskning til grundvand og dræn med 30-40 kg N/ha eller 6-8 kg N/ha i gennemsnit over sædskiftet, se Tabel 49.

Tabel 42. Forskel mellem basissimuleringen for Ny sort af vinterhvede og vårbyg ved 2014-gødningsniveau og simulering af tidligt sået vinterhvede. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Scenarie			Tidl.såning			Tidl.såning			Tidl.såning		
FF	Gdn niveau	Jord type	udbytte	F10	F90	N	F10	F90	N	F10	F90
			hkg/ha			kg N/ha			%		
Vinterhvede											
VB	2014	JB4	0,7	0,5	0,8	2,7	1,0	-0,5	-0,09	-0,07	-0,11
	Min.	JB6	0,7	0,9	0,8	3,3	2,2	1,5	-0,10	-0,08	-0,15
		JB7	0,7	0,8	0,8	3,5	1,5	3,8	-0,09	-0,08	-0,17
ViR	2014	JB4	0,8	0,8	0,7	6,2	2,4	8,1	-0,09	-0,07	-0,17
	Min.	JB6	0,9	0,9	0,9	8,0	5,0	7,1	-0,09	-0,06	-0,15
		JB7	0,9	1,0	0,9	8,5	8,3	12,7	-0,08	-0,08	-0,10
WW	2014	JB4	0,4	0,7	0,4	-2,5	-2,3	-7,2	-0,12	-0,09	-0,17
	Min.	JB6	0,4	0,8	0,3	-1,7	1,4	-3,1	-0,11	-0,09	-0,18
		JB7	0,4	0,3	0,2	-1,3	-3,5	-1,9	-0,09	-0,08	-0,14
VB	2014	JB4	1,0	1,1	0,8	6,3	8,3	2,4	-0,12	-0,09	-0,16
	Org.	JB6	1,1	1,1	0,9	6,5	6,6	5,7	-0,13	-0,10	-0,20
		JB7	1,0	1,0	1,0	7,0	7,8	6,1	-0,12	-0,09	-0,19
ViR	2014	JB4	1,0	1,3	0,9	9,5	8,7	12,4	-0,10	-0,08	-0,16
	Org.	JB6	1,2	1,5	1,0	13,2	15,0	13,4	-0,10	-0,09	-0,12
		JB7	1,1	1,6	0,9	13,9	16,3	15,7	-0,08	-0,06	-0,11
WW	2014	JB4	0,8	0,9	0,4	0,0	3,6	-0,4	-0,17	-0,12	-0,18
	Org.	JB6	0,9	1,2	0,6	1,8	9,7	-1,5	-0,17	-0,10	-0,24
		JB7	0,8	1,1	0,6	1,6	4,5	-0,3	-0,15	-0,11	-0,20
Vårbyg											
WW	2014	JB4	0,0	0,0	0,0	-0,5	-1,1	-1,1	0,00	0,01	0,00
	Min.	JB6	-0,1	0,0	0,0	-2,3	-1,0	-3,5	-0,02	-0,01	-0,02
		JB7	-0,1	-0,1	0,0	-2,1	-1,6	-3,6	-0,01	-0,01	-0,02
WW	2014	JB4	0,0	0,0	0,0	-0,9	-0,6	-0,2	-0,01	0,00	-0,01
	Org.	JB6	-0,1	-0,1	-0,1	-3,3	-2,7	-5,4	-0,02	-0,01	-0,03
		JB7	-0,1	0,0	-0,2	-3,2	-1,1	-3,2	-0,02	-0,03	-0,03

7.5 Ren ammoniumgødning

I basisscenarierne anvendtes en gødning med 50,8 % ammonium. I disse kørsler anvendtes ren ammoniumgødning. Der ses en effekt på udbyttet og i de fleste tilfælde også en større N-optagelse. Kvælstofprocenten er kun lidt påvirket, og det kan være positivt og negativt, men overvejende en smule negativt. Udbyttet synes altså at være relativt mere positivt påvirket end N-optagelsen, se Tabel 43. Den lidt større N-optagelse fører til en lidt mindre udvaskning, se Tabel 49.

Tabel 43. Forskel mellem basissimuleringen for Ny sort af vinterhvede og vårbyg ved 2014-gødningsniveau, blandet mineralsk gødning, og kun anvendelse af ammoniumgødning. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

FF	Gdn niveau	Jord type	Ammoniumgdn. udbytte hkg/ha			Ammoniumgdn. N kg N/ha			Ammoniumgdn. N% %		
			F10	F90		N	F10	F90	N%	F10	F90
Vinterhvede											
VB	2014	JB4	0,2	0,2	0,2	2,2	1,1	0,8	-0,01	-0,02	0,03
	Min.	JB6	0,1	0,1	0,3	1,1	-0,9	1,2	-0,01	-0,04	0,01
		JB7	0,0	-0,2	0,2	-1,8	-6,6	3,8	-0,02	-0,04	-0,01
ViR	2014	JB4	0,3	0,1	0,3	5,3	6,3	2,8	0,01	-0,02	0,06
	Min.	JB6	0,3	0,1	0,3	6,8	7,5	7,6	0,02	-0,01	0,02
		JB7	0,3	0,1	0,4	5,9	2,1	10,5	0,01	-0,01	0,05
WW	2014	JB4	0,1	0,0	0,1	0,7	1,4	-2,0	-0,02	-0,03	-0,03
	Min.	JB6	0,1	-0,1	0,2	0,5	-4,3	4,2	-0,01	-0,02	-0,02
		JB7	0,0	-0,2	0,1	-1,0	-9,0	5,0	-0,02	-0,02	0,00
Vårbyg											
WW	2014	JB4	0,1	0,0	0,1	0,1	0,7	1,1	-0,02	-0,01	-0,01
	Min.	JB6	0,1	0,0	0,2	0,2	1,3	0,6	-0,02	-0,02	0,00
		JB7	0,1	0,0	0,2	1,2	-3,5	0,9	-0,01	-0,02	0,00

7.6 Kvæggylle i stedet for Svinegylle

Simuleringerne med kvæggylle i stedet for svinegylle har en anden fordeling mellem tildelt mineralsk og organisk kvælstof (se Tabel 44). Kvæggyllen giver ikke anledning til væsentlige ændringer i udbyttet, men kvælstofoptagelsen er mindre som følge af dårligere tilgængelighed af kvælstof i gyllen. Derfor er N-procenten også påvirket negativt, se Tabel 45. Beregningerne er foretaget med samme totale N-tildeling, og der er derfor ikke taget hensyn til, at udnyttelsesprocenten er 70 % for kvæggylle og 75 % for svinegylle, der ellers ville svare til 6 kg mere N i handelsgødning. Den lidt højere tildeling vil kompensere for den modellerede nedgang i N-optagelse og N % i nogle af simuleringerne, men ikke i alle.

Tabel 44. Fordelingen af mineralsk og organisk N tilført over hele sædskiftet (5 år) i basisscenariet, det mineralske scenarie med ammoniumgødning og i scenariet med kvæggylle.

Scenarie	Gødn. type	Jord-type	min.N kg N/ha	Org.N kg N/ha	Deposition kg N/ha	Tilførsel kg N/ha
basisscenarie	Min	JB4	673		68	741
	Min	JB6	739		68	807
	Min	JB7	787		68	855
	Org	JB4	641	187	68	896
	Org	JB6	708	188	68	963
	Org	JB7	756	188	68	1011
Ammonium	Min	JB4	673		68	741
	Min	JB6	739		68	807
	Min	JB7	787		68	855
Kvæggylle	Org	JB4	579	250	68	896
	Org	JB6	645	250	68	963
	Org	JB7	693	250	68	1011

Tabel 45. Forskel mellem basissimuleringen for Ny sort af vinterhvede og vårbyg ved 2014-gødningsniveau med svinegylle og samme opsætning med kvæggylle. I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Scenarie	FF	Gdn niveau	Jord type	kvæggylle			kvæggylle			kvæggylle		
				udbytte	F10	F90	N	F10	F90	N%	F10	F90
				hkg/ha			kg N/ha		%			
Vinterhvede												
VB	2014	JB4	0,0	0,0	-0,1	-3,9	-1,4	-4,5	-0,04	-0,03	-0,06	
		Org.	JB6	-0,1	-0,1	-0,2	-4,3	-4,7	-2,5	-0,04	-0,02	-0,06
		JB7	-0,2	-0,3	-0,2	-6,5	-10,5	-5,3	-0,04	-0,03	-0,07	
ViR	2014	JB4	0,0	0,0	0,0	-1,6	-0,6	-1,4	-0,01	-0,01	-0,02	
		Org.	JB6	0,0	0,0	0,0	-1,6	-2,6	-1,2	-0,02	-0,02	-0,04
		JB7	0,0	0,0	-0,1	-2,0	-2,0	-0,7	-0,02	0,00	-0,03	
WW	2014	JB4	0,0	0,0	-0,2	-2,6	-2,3	-1,6	-0,02	-0,02	-0,03	
		Org.	JB6	0,0	-0,1	-0,1	-3,0	-4,0	-1,3	-0,03	-0,01	-0,02
		JB7	-0,1	-0,1	-0,1	-4,1	-5,0	-1,4	-0,03	-0,01	-0,05	
Vårbyg												
WW	2014	JB4	-0,1	0,0	-0,2	-4,4	-1,6	-4,8	-0,04	-0,05	-0,01	
		Org.	JB6	-0,2	-0,3	-0,3	-5,7	-6,3	-6,6	-0,04	-0,03	-0,04
		JB7	-0,1	-0,2	-0,2	-4,5	-3,1	-3,4	-0,03	-0,04	-0,04	

I de givne opsætninger annulleres effekten af SOM-puljeopbygning over lang tid, og effekten af længere tids opbygning af de organiske puljer indgår derfor ikke i simuleringen. Nettomineraliseringen samt påvirkningen af de organiske puljer og overordnede balancer ses i Tabel 47, Tabel 49 og Tabel 50.

7.7 Vinterhvede på jorde med meget organisk materiale

På basis af middelværdi og spredning for humusindhold i A-horisonten for jorder med forskellige JB-numre beskrevet i Stå-bi'en (Styczen et al., 2005) er beregnet hvor meget humus, der svarer til den nedre grænse for de humusrigeste 5 % for hver jordtype. I grundscenarierne anvendtes medianværdierne. Det højere indhold af organisk stof giver anledning til en højere mineralisering (se Tabel 47) og dermed højere udbytte, markant højere N-optagelse og betydeligt højere proteinindhold, især for de mineralsk gødgede, men også for de organisk gødgede kombinationer. Effekten er større for vinterhvede end for vårbyg. Scenariet fører imidlertid også til noget højere udvaskning (>2 * basisscenarierne, se Tabel 49.) I Tabel 50 er beregnet et bidrag, der kommer fra baggrundsmineraliseringen i dette scenarie, og det er omkring 60 kg N/ha højere pr år end i basisscenariet.

Tabel 46. Beregning af et humusindhold for hver jordtype, der afgrænser indholdet af organisk stof i de humusrigeste 5 %.

	Humusindhold, %		
	JB4	JB6	JB7
Medianværdi	3,0	2,7	2,8
Gennemsnit	2,6	2,5	2,4
Std.afvigelse	1,66	1,59	1,58
Gnsn.+1.645*std.afv.	5,8	5,3	5,4

Tabel 47. Nettomineraliseringen over 5 år i basisscenariet (nye sorter, 2014-gødning), simuleringerne med ammonium (mineralsk) og kvæggylle (organisk), samt med scenarierne med højt humusindhold.

Nettomineralisering kg N/ha/5 år	Jord- type	Mineralsk gdn.	Organisk gdn.
		2014	2014
basisscenarie	JB4	393	581
	JB6	381	569
	JB7	345	530
Amm/kvæggylle	JB4	393	616
	JB6	381	603
	JB7	344	564
højt humusindhold	JB4	759	949
	JB6	724	914
	JB7	681	870

Tabel 48. Forskel mellem basissimuleringen for Ny sort af vinterhvede og vårbyg ved 2014-gødningsniveau og samme opsætning med højt humusindhold (se Tabel 46). I tabellen er vist forskelle på gennemsnitsudbytte, N i kerne og N % samt på 10- og 90 %-fraktilværdier.

Scenarie			humus			humus			humus		
FF	Gdn	Jord	udbytte	F10	F90	N	F10	F90	N%	F10	F90
	niveau	type		hkg/ha			kg N/ha			%	
Vinterhvede											
VB	2014	JB4	0,6	0,6	0,8	33,8	24,1	40,3	0,27	0,15	0,42
	min	JB6	0,7	0,7	0,8	33,6	25,9	39,1	0,26	0,14	0,39
		JB7	0,7	0,7	0,7	32,5	26,1	39,0	0,23	0,08	0,34
ViR	2014	JB4	0,6	0,2	0,7	31,0	24,6	36,8	0,25	0,16	0,37
	min	JB6	0,5	0,1	0,5	27,5	22,8	30,6	0,22	0,11	0,30
		JB7	0,6	0,3	0,8	25,9	21,4	31,0	0,19	0,09	0,34
WW	2014	JB4	0,5	0,5	0,8	30,9	19,9	38,2	0,26	0,15	0,38
	min	JB6	0,5	0,4	0,7	29,5	21,2	40,0	0,24	0,11	0,39
		JB7	0,7	0,3	0,6	28,1	18,2	38,2	0,20	0,10	0,34
VB	2014	JB4	0,1	0,0	0,2	29,2	23,1	33,0	0,30	0,22	0,30
	org	JB6	0,1	0,0	0,2	29,3	22,8	35,2	0,30	0,22	0,26
		JB7	0,2	0,1	0,3	29,0	23,2	34,0	0,27	0,18	0,27
ViR	2014	JB4	0,1	0,0	0,2	26,0	16,3	34,8	0,26	0,23	0,18
	org	JB6	0,1	0,0	0,1	22,1	14,8	29,0	0,23	0,20	0,14
		JB7	0,1	0,0	0,2	22,1	12,7	28,4	0,22	0,16	0,19
WW	2014	JB4	0,1	0,0	0,2	27,1	18,8	39,6	0,29	0,22	0,28
	org	JB6	0,1	0,1	0,2	25,4	22,4	31,8	0,27	0,21	0,19
		JB7	0,2	0,1	0,4	25,2	19,5	33,1	0,25	0,16	0,24
Vårbyg											
WW	2014	JB4	0,3	0,1	0,5	12,7	5,7	17,2	0,14	0,13	0,04
	min	JB6	0,4	0,5	0,5	17,0	15,3	19,2	0,15	0,12	0,19
		JB7	0,4	0,5	0,5	14,9	11,3	15,8	0,13	0,11	0,15
WW	2014	JB4	0,2	0,1	0,3	10,4	5,2	14,5	0,12	0,08	0,05
	org	JB6	0,3	0,4	0,3	15,5	14,6	16,5	0,15	0,10	0,19
		JB7	0,3	0,5	0,3	14,3	14,0	15,8	0,13	0,09	0,18

Tabel 49. Overordnet N-balance over 5 år for basisscenerierne, scenarier med ammoniumgødning, kvæggylle og højt humusindhold. Tabellen indeholder den samlede tilførsel af N, høst af kort, blade og strå, udvaskning til grundvand og dræn, denitrifikation samt tab fra overfladen.

Scenarie	Gødn. type	Jord-type	Tilførsel		Udvaskn. grundvand kg N/ha	Udvaskn. dræn kg N/ha	Denitri.-fikation kg N/ha	Overfla-detab kg N/ha	Fraførsel		
			I alt kg N/ha	Høst i alt kg N/ha					I alt kg N/ha	Balance kg N/ha	Balance/år kg N/ha
basisscenarie	Min	JB4	741	678	112		22	0	812	-71	-14
	Min	JB6	807	692	59	38	83	0	873	-66	-13
	Min	JB7	855	668	42	58	132	0	900	-45	-9
	Org	JB4	896	774	140		22	0	936	-40	-8
	Org	JB6	963	791	73	48	86	0	999	-36	-7
	Org	JB7	1011	765	50	69	141	0	1025	-14	-3
tidlig såning	Min	JB4	741	684	77	0	22	0	783	-42	-8
	Min	JB6	807	698	39	24	84	0	845	-38	-8
	Min	JB7	855	675	29	39	132	0	875	-20	-4
	Org	JB4	896	787	93	0	23	0	903	-7	-1
	Org	JB6	963	805	47	29	87	0	968	-5	-1
	Org	JB7	1011	778	33	45	140	0	997	15	3
Ammoniumgdn.	Min	JB4	741	683	102	0	22	0	807	-66	-13
	Min	JB6	807	697	54	35	82	0	869	-62	-12
	Min	JB7	855	668	41	57	131	0	897	-42	-8
kvæggylle	Org	JB4	896	757	135	0	23	0	915	-19	-4
	Org	JB6	963	772	70	46	89	0	977	-14	-3
	Org	JB7	1011	742	47	67	146	0	1003	9	2
højt humusindhold	Min	JB4	741	814	279	0	29	0	1121	-380	-76
	Min	JB6	807	829	137	85	109	0	1161	-354	-71
	Min	JB7	855	799	90	120	174	0	1183	-328	-66
	Org	JB4	896	895	326	0	29	0	1250	-354	-71
	Org	JB6	963	914	162	102	111	0	1289	-326	-65
	Org	JB7	1011	887	103	140	180	0	1311	-299	-60

Tabel 50. De vigtige poster i det organiske regnskab over 5 års sædskifte for basis-scenarierne og henholdsvis scenarierne med ammonium, kvæggylle og højt humusindhold.

Scenarie	Gødn. type	Jord-type	Planteoptag kg N/ha	Høst i alt kg N/ha	Rest kg N/ha	Net-mineralisering kg N/ha	org.gødn kg N/ha	Forskel kg N/ha	Forskel/år kg N/ha
Basisscenarie	Min	JB4	987	678	309	393	0	84	17
	Min	JB6	994	692	301	381	0	80	16
	Min	JB7	954	668	286	345	0	60	12
	Org	JB4	1109	774	335	581	187	60	12
	Org	JB6	1117	791	325	569	188	56	11
	Org	JB7	1074	765	309	530	188	34	7
Ammonium	Min	JB4	992	683	309	393	0	84	17
	Min	JB6	997	697	300	381	0	81	16
	Min	JB7	950	668	283	344	0	61	12
Kvæggylle	Org	JB4	1084	757	327	616	250	39	8
	Org	JB6	1089	772	317	603	250	36	7
	Org	JB7	1042	742	301	564	250	13	3
højt humusindhold	Min	JB4	1172	814	358	759	0	401	80
	Min	JB6	1179	829	350	724	0	374	75
	Min	JB7	1132	799	333	681	0	348	70
	Org	JB4	1277	895	382	949	187	380	76
	Org	JB6	1288	914	374	914	188	353	71
	Org	JB7	1245	887	357	870	188	325	65

8 Konklusion

Formålet med undersøgelsen var 1) at undersøge om det faldende proteinindhold, der er observeret i dansk korn, kan forklares på basis af den eksisterende forståelse af de underliggende processer som beskrevet i jord-plante-atmosfære-modellen "Daisy" og 2) at -hvis det ikke er tilfældet- undersøge modellens forudsætninger, procesbeskrivelser og parameterisering med henblik på at opnå en mere korrekt beskrivelse, der kan anvendes i vurderingen af virkemidler.

Det var muligt at simulere SEGES' forsøgsresultater for vinterhvede og til dels for vårbyg i perioden 1987-1994 og 2010-15. Vi kunne genskabe et fald i råproteinindhold i vinterhveden på 2,5 % råprotein i tørstof på JB4-jorde, og på 2,1 % i tørstof på JB6 og 7-jorde som følge af ændringer i sortsvalg, gødningsniveau, vejr og humusindhold i jorden. I sammenligningen indregnedes også en ændring i sædskifteplacering. En flytning af hvededyrkningen til mere sandede jorder eller områder med større vintervedbør førte til yderligere fald i proteinindhold. Resultatet forklarer derfor størstedelen af det observerede fald på godt 2 % råprotein (inkl. 15 % vand), svarende til 2,4 % i tørstof. Sortseffekten forklarede 14-19 %, forskellen i gødning, deposition og management 53-70 %, forskellen i klima ca. 15-18 % og forskellen i baggrundsmineralisering på JB7 ca. 9 % af det samlede beregnede fald i proteinindholdet i vinterhvede.

Forholdene i vårbyg er dårligere belyst i studiet, men sammenligningerne viser, at effekten af ændret sortsvalg, gødning, inklusiv management og deposition, ændret klima og humusindhold giver anledning til fald i råprotein-indhold i tørstof på 2,2-3,1 %. Det stemmer godt overens med det observerede fald på 2-2,5 % råprotein (inkl. 15 % vand), svarende til 2,35-2,9 % i tørstof. Sortseffekten er mere betydende for vårbyggen end for vinterhveden og udgør fra 39-62 % af den samlede effekt.

Det var altså muligt at kvalificere de observerede fald i proteinindhold ud fra modellen, og formålet med projektet er derfor opfyldt. For at opnå dette, blev der kalibreret parameteriseringer af vårbyg og vinterhvede, der kunne beskrive forsøgsdata i perioderne 1987-94 og 2010-15 og udviklet en ny procesbeskrivelse for planternes optagelse af kvælstof gennem rødderne. Studiet har endvidere peget på en række forhold, som modellører skal være opmærksomme på ved virkemiddelstudier. En

væsentlig erfaring er, at modelplanterne ikke bare kan ”skaleres” over tid, men at specielt høstindekset skal tilpasses nye sorter. De nye parameteriseringer indeholder opdateret viden om rodtybde og rodvæksthastighed og indhold af kvælstof i strå. Men derudover ligger der en ny erkendelse i fortolkningen af kvælstofkoncentrationerne i kerne (C_{nonf} , C_{crit} og C_{pot}). Gennemgangen af landsforsøgsdataene gjorde det endvidere klart, at parameteriseringerne af vinterhvede og vårbyg ikke skal ”moderniseres” på helt samme måde, idet de observerede koncentrationsfald primært forefindes ved begrænsede gødningsmængder i hveden, mens det også ses ved høje gødningsmængder i vårbyggen. Desuden synes den potentielle produktion at være øget væsentligt mere i byggen end i hveden.

Med udgangspunkt i ”Ny sort” af byg og hvede og 2014-gødningsniveauet blev der regnet på forskellige virkemidler med henblik på at undersøge i hvilken grad de kan øge kvælstofindholdet i kernen. De fleste af de gennemregnede virkemidler (ært, anden efterafgrøde, ammoniumgødning, kvæggylle, tidlig såning) var ikke effektive. Indførelse af ærter i stedet for vårbyg kan have en positiv effekt, men da ærten indregnes med en forfrugtsværdi, ophæves den positive effekt. Tidlig såning førte i beregningerne med 2014-gødning til et decideret fald i proteinindhold, men dog samtidigt et fald i udvaskningen. Der blev også gennemregnet et scenarie med tredelt gødning, men her stemte simuleringresultaterne ikke overens med forsøgsresultater. Ved kalibreringen af ”Ny sort” er der ikke taget hensyn til fordelingen af kvælstofoptagelsen over tid, og vi har observeret i andet igangværende arbejde, at N-optagelsen i alle tilfælde i foråret er blevet for langsom. Ved sen tildeling af kvælstof kan modelplanten åbenbart ikke nå at optage tilstrækkeligt med kvælstof. Det vil kræve adgang til mere detaljerede informationer om biomasseudvikling og kvælstofoptagelse over tid, end der er tilgængelige i landsforsøgene, at kalibrere ”Ny sort’s” kvælstofoptagelse helt på plads. Den lidt for langsomme optagelse er et symptom på, at kvælstofoptagelsen i disse simuleringer i for høj grad er reguleret gennem røddernes evne til at optage kvælstof. Der ligger en modelmæssig fremtidig udfordring i at forbedre beskrivelsen af plantens kvælstofbehov fra kernesætning og fremad i modellen.

Til slut beregnedes et scenarie, hvor sædskiftet dyrkes på meget humusrige jorder, og her var en klar positiv effekt på udbyttet, kvælstofoptagelse og kvælstofprocent i kerne. Udvasningen var imidlertid også betydeligt større end i basisscenariet. Konklusionen på de gennemregnede scenarier bliver derfor, at kvælstofprocenten kun kan hæves ved tilførsel af større mængder N, enten gennem gødning eller fiksering.

9 Referencer

- Abrahamsen, P. og Hansen, S. (2000). "Daisy: An Open Soil-Crop-Atmosphere Model." In: Environmental Modelling & Software 15.3, pp. 313–330.
- Anderson T. (1990). Forfrukter till varraps och varrybs [Preceding crops for spring rape and spring turnip rape]. Vaxtodling. 22:45.
- Cappelen, J. (2016). World Weather Records 1991-2015, - Denmark, The Faroe Islands and Greenland. DMI Report 16-18. Danish Meteorological Institute. Url: <http://www.dmi.dk/laer-om/generelt/dmi-publikationer/>. – og tilhørende datasæt.
- Cappelen, J., Laursen, E.V., Jørgensen, P.V. og Kern-Hansen, C. (2015). DMI monthly Climate Data Collection 1768-2004, Denmark, The Faroe Islands and Greenland. DMI Technical report 05-05. Danish Meteorological Institute. Url: <http://www.dmi.dk/laer-om/generelt/dmi-publikationer/>. – og tilhørende datasæt.
- Jensen, P.N., Boutrup, S., Fredshavn, J.R., Nielsen, V.V., Svendsen, L.M., Blicher-Mathiesen, G., Thodsen, H., Johansson, L.S., Hansen, J.W., Nygaard, B., Søgaard, B., Holm, T.E., Ellermann, T., Thorling, L. og Holm, A.G. 2016. Vandmiljø og Natur 2015. NOVANA. Tilstand og udvikling - faglig sammenfatning. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 56 s. - Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 211. <http://dce2.au.dk/pub/SR211.pdf>.
- Dresbøll, D.B., Rasmussen, I.S., Thorup-Kristensen, K. (2016). The significance of litter loss and root growth on nitrogen efficiency in normal and semi-dwarf winter oilseed rape genotypes.
- Ellermann, T., Bossi, R., Christensen, J., Løfstrøm, P., Monies, C., Grundahl, L. & Geels, C. (2015). Atmosfærisk deposition 2014. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 88 s. – Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 163. <http://dce2.au.dk/pub/SR163.pdf>
- Haastrup, M., Gregersen, P. og Jørgensen, R.J. (2010). Breeding and Genetics. . In: Petersen, J., Haastrup, M., Knudsen, L. & Olesen, J.E. (Eds.): Causes of yield stagnation in winter wheat in Denmark. DJF Report Plant Science No. 147, November 2010. Aarhus University.53-59.
- Hansen, S., Jensen, H. E., Nielsen, N. E. og Svendsen, H. (1990). DAISY — Soil Plant Atmosphere System Model. Tech. rep. A10. Miljøstyrelsen.
- Hansen, S., Jensen, H. E., Nielsen, N. E., & Svendsen, H. (1991). Simulation of nitrogen dynamics and biomass production in winter wheat using the Danish simulation model DAISY. Fertilizer research.
- Hansen, S., Abrahamsen, P., Petersen, C. T. og Styczen, M. (2012). "Daisy: Model Use, Calibration and Validation." In: Transactions of the ASABE 55 (4), pp. 1315–1333.
- Hay, R. (1995). Harvest indeks: a review of its use in plant breeding and crop physiology. Annals of Applied Biology, 126(1), 197-216.

- Jensen, K. J., Abrahamsen, P., & Styczen, M. (2014). Notat vedrørende tidlig såning. København: Københavns Universitet. <http://plen.ku.dk/raadgivning/TidligSaaning.pdf> (tilgået 1.6.2017).
- Jakobsen HL, Olsen CC. (1992). Sygdomsudvikling i forsøg med forskelligt antal år mellem raps [Progress in diseases in trials with different intervals between oil-seed rape in crop rotations]. In: 9th Danish plant protection conference. Pests and diseases. Tidsskrift for Planteavl's Specialserie Beretning no. S2179: 27–37. Copenhagen: Landbrugsministeriet Statens planteavlsforsøg.
- Kong, L., Wang, F., Feng, B., Li, S., Si, J. and Zhang, B. (2010). The structural and photosynthetic characteristics of the exposed peduncle of wheat (*Triticum aestivum* L.): an important photosynthate source for grain-filling. *BMC Plant Biology* 2010, 10:141. <http://www.biomedcentral.com/1471-2229/10/141>.
- Knudsen, L. (2015). Kvælstoffrigørelse fra jord og kvælstofoptagelse i vinterhvede over 25 år. *Planteavlsorientering* no. 241.
- Kyed, K. (2000). *Dansk jordbrug som erhverv – i det 20. århundrede*. Frederiksberg.
- Kærgård, N. og Dalgaard, T. (2014). *Dansk landbrugs strukturudvikling siden 2. verdenskrig*. *Landbohistorisk Tidsskrift* 2014:1-2.
- Loreto, F., Di Marco, G., Tricoli, D. and Sharkey, T.D. (1994). Measurements of mesophyll conductance, photosynthetic electron transport and alternative electron sinks of field grown wheat leaves. *Photosynthesis Research* 41: 397-403.
- Peltonen-Sainio, P., Muurinen, S., Rajala, A., & Jauhiainen, L. (2008). Variation in harvest index of modern spring barley, oat and wheat cultivars adapted to northern growing conditions. *Journal of Agricultural Science*, 146, 35-47.
- Petersen, C., Hansen, S., & Abrahamsen, P. (2016). Afgrøderespons på jordpakning. I *Oversigt over landsforsøgene 2016* (s. 262 - 264). Aarhus: SEGES P/S.
- Petersen, J., Knudsen, L., Haastrup, M., og Olesen, J. (2010). Causes of winter wheat yield changes since 1990. In: Petersen, J., Haastrup, M., Knudsen, L. & Olesen, J.E. (Eds.): *Causes of yield stagnation in winter wheat in Denmark*. DJF Report Plant Science No. 147, November 2010. Aarhus University. 11-24.
- Petersen, J. og Knudsen, L. (2010). Changes in fertilization practice and impact on yield of winter wheat. In: Petersen, J., Haastrup, M., Knudsen, L. & Olesen, J.E. (Eds.): *Causes of yield stagnation in winter wheat in Denmark*. DJF Report Plant Science No. 147, November 2010. Aarhus University. 61- 78.
- Poulsen, J og Sloth, N.M. (2016). Næringsindhold i korn fra høsten 2016. Notat nr. 1626. Videnscenter for Svineproduktion. [http://v\(sp.lf.dk/~media/Files/PDF%20-%20Publikationer/Notater%202016/Notat_1626.pdf](http://v(sp.lf.dk/~media/Files/PDF%20-%20Publikationer/Notater%202016/Notat_1626.pdf), tilgået 10.3 2017)
- Pohanková, E., Hlavinka, P., Takáč, J., Žalud, Z., & Trnka, M. (2015). Calibration and Validation of the Crop Growth Model DAISY for Spring Barley in the Czech Republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 1177-1186.
- Rasmussen, I.S., Dresbøll, D.B. og Thorup-Christensen, K. (2015). Winter wheat cultivars and nitrogen (N) fertilization – Effects on root growth, N uptake efficiency and N use efficiency. *European Journal of Agronomy* 68: 38-49.

- Rasmussen, S.B., Blenkinsop, S., Burton, A., Abrahamsen, P., Holm, P.E. og Hansen, S. (2017). Climate change impacts on agro-climatic indices derived from downscaled weather generator scenarios for Denmark. Submitted.
- Robinson, D., Linehan, D.J. and Caul, S. (1991). What limits nitrate uptake from soil? *Plant, Cell and Environment* 14: 77-85.
- SEGES (1987-2016). Oversigt over landsforsøg . Aarhus.
- Sieling, K. and Christen, O. (2015). Crop rotation effects on yields of oilseed rape, wheat and barley and residual effects on the subsequent wheat. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61 (11): 1531-1549.
- Storm, B., Styczen, M., og Clausen, T. (1990). Regional model for nærings salttransport og –omsætning. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, Nr. B15. 120 sider.
- Styczen, M., Hansen, S, Jensen, L. S., Svendsen, H., Abrahamsen, P., Børgesen, C. D., Thirup, C. & Østergaard, H. S. (2005). Standardopstillinger til Daisy-modellen. Vejledning og baggrund. Version 1.1, Marts 2005. DHI Institut for Vand og Miljø. 60 pp.
- Taghizadeh-Toosi, A., Olesen, J.E., Kristensen, K., Elsgaard, L., Østergaard, H.S., Lægdsmand, M., Greve, M.H. og Christensen, B.T. (2014). Changes in carbon stocks of Danish agricultural mineral soils between 1986 and 2009. *European Journal of Soil Science*, 65, 730-740.
- Tybirk, E. (2012). Hvilke hvedesorter udnytter kvælstoffet bedst? Indlæg på Plantekongressen, 2012. https://www.landbrugsinfo.dk/.../Sider/pl_plk_2012_resume_J5-1_Erik_Tybirk.pdf?
- Unkovich, M., Baldock, J., & Forbes, M. (2010). Variability in Harvest Index of Grain Crops and Potential Significance for Carbon Accounting: Examples from Australian Agriculture. *Advances in Agronomy*, 105, 173-219.
- van der Keur, P., Hansen, S., Schelde, K., & Thomsen, A. (2001). Modification of DAISY SVAT model for potential use of remotely sensed data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 215-231.
- Vinther, F.P. & Hansen, S. (2004) SimDen - en simpel model til kvantificering af N₂O-emission og denitrifikation. DJF-rapport nr. 104.
- Væрге, A.B. (2015). Udvikling af vinterhvedesorter over 30 år i Danmark (1984-2014). http://library.au.dk/fileadmin/www.bibliotek.au.dk/fagsider/jordbrug/Specialer/Udvikling_af_vinterhvedesorter_.pdf.
- Ytting, N.K., Andersen, S.B og Thorup-Kristensen, K (2014). Using tube rhizotrons to measure variation in depth penetration rate among modern North-European winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Euphytica* (2014) 199: 233-245.
- Ytting, N.K. (2015). Genetic variation in deep root growth of North-European winter wheat. PhD Tesis. Faculty of Science, University of Copenhagen. 116 sider.
- Østergaard, H.S. (2012). Ændring i N-min om efteråret fra 1990 til 2010. *Planteavlsoverretning* - 134.

Appendiks 1

Sammenligning af gødningsnormer i 1994-5 og 2014-5.

I de efterfølgende tabeller er angivet gødningsnormer fra 1994-5 og 2014-15 med tilsvarende udbyttener. De gamle normer er derefter korregeret, så de svarer til udbyttenerne i 2014-15. Til slut er det beregnet, hvor meget normerne fra 2014-15 afviger fra normerne i 1994-5 i kg N/ha og i procent. Tages der ikke hensyn til denne korrektion, så er normen på sandjord reduceret betydeligt. Med korrektionen indregnet er den absolutte ændring i N-tildeling mindre. For vinterhvede (Tabel A1-1) er reduktionen i tildeling på JB 1-3, 4 og 6 på nogenlunde samme niveau, mens reduktionen på JB 7 er mindre.

Udviklingen i gødningsnormer for vårbyg er mindre dramatisk (Tabel A1-2). Normerne fra 1994-95 anbefalede gødningsmængder mellem 80 og 125 kg N/ha, afhængigt af forfrugt. Som for vinterhvede blev normen justeret op med 15 kg på JB1 og 3, mens den blev justeret med +/- 5 kg på JB2 og 4 og med -5 - -15 kg N/ha på JB5-9, afhængigt af geografisk område. Disse tal er sammenlignet med normerne fra 2014-5. Der er et markant fald i normerne for sandjord, men mindre ændringer på JB6 og en øget norm på JB7.

Da vinterraps indgår i det valgte sædskifte, er gødningsnormerne for raps også udtrykt og vist i Tabel A1-3. I absolutte tal er normerne i 2014-5 væsentligt lavere på sandjord end på lerjord, men når der korrigeres for udbyttener, er reduktionen størst på lerjord, nemlig 34-38 kg N/ha.

Tabel A1-1. Gødningsnormer i 1994-5 og 2014-5 for vinterhvede med forfrugt korn eller anden afgrøde. De rå normtal er opgivet, men tallene er også korrigeret for nuværende udbytte-forventning og er sammenlignet.

	Vinterhvede	Jordtyper				Kommentar
		JB1-3	JB4	JB6	JB7	
1994-5	N-norm, kg/ha	195	175-185	165-175	165-175	Forfrugt, korn
		170	150-160	140-150	140-150	Forfrugt, raps
1994-5	udb.norm, hkg/ha	75	75	75	75	Udbyttekorr. 1.3 kg N/hkg
2014-15	udb.norm, hkg/ha	49	63	81	86	forfrugt korn
	udb.norm, hkg/ha	54	69	89	95	anden forfrugt
1994-5	Korr. N-norm kg/ha	161	159-169	173-183	179-189	forfrugt korn
		143	142-152	158-168	166-176	anden forfrugt
2014-15	N-norm	133	138	156	167	
Forskel	u. korr., kg N/ha	-62	-37-(-47)	-9-(-19)	2-(-8)	forfrugt korn
	m. korr., kg N/ha	-28	-21- (-31)	-17-(-27)	-12-(-22)	forfrugt korn
		-10	--4-(-14)	-2-(-12)	-9-(+1)	anden forfrugt
	i %	-17	-13-(-19)	-10-(-15)	-7-(-12)	forfrugt korn
-7		-3-(-9)	-1-(-7)	-5-(+1)	anden forfrugt	

Tabel A1-2. Gødningsnormer i 1994-5 og 2014-5 for vårbyg med forfrugt korn eller anden afgrøde. De rå normal er opgivet, men tallene er også korrigeret for nuværende udbytte-forventning og er sammenlignet.

	VB	Jordtyper				Kommentar
		JB1-3	JB4	JB6	JB7	
1994-5	N-norm, kg/ha	140	120-130	110-120	110-120	forfrugt korn
		125	105-115	95-105	95-105	I sædskifte
1994-5	udb.norm, hkg/ha	50	50	50	50	Udbyttekorr. 1.0 kg N/hkg
2014-15	udb.norm, hkg/ha	40	47	59	63	forfrugt korn
	udb.norm, hkg/ha	44	52	65	69	anden forfrugt
1994-5	Korr. N-norm kg/ha	130	117-127	119-129	123-133	(forfrugt korn)
		119	107-117	110-120	114-124	anden forfrugt
2014-15	N-norm	114	110	116	129	
Forskel	u. korr., kg N/ha	-26	-10-(-20)	6-(-4)	19-9	(forfrugt korn)
	m. korr., kg N/ha	-16	-7- (-17)	-3-(-13)	-4-(+6)	(forfrugt korn)
	hkg/ha	-5	-7-(+3)	-4-(+6)	+5-(+15)	anden forfrugt
	i %	-12	-6-(-13)	-3-(-10)	+5-(-3)	(forfrugt korn)
		-4	-6-(+3)	-3-(+5)	+4-(+13)	anden forfrugt

Tabel A1-3. Gødningsnormer i 1994-5 og 2014-5 for vinterraps. . De rå normal er opgivet, men tallene er også korrigeret for nuværende udbytte-forventning og er sammenlignet.

	ViR	Jordtyper				Kommentar
		JB1-3	JB4	JB6	JB7	
1994-5	N-norm, kg/ha	200	200	200	200	
1994-5	udb.norm, hkg/ha	35	35	35	35	Udbyttekorr. 3.0 kg N/hkg
2014-15	udb.norm, hkg/ha	27	35	40	42	
1994-5	Korr. N-norm, kg/ha	176	200	215	221	
2014-15	N-norm	165	175	181	183	
Forskel	u. korr., kg N/ha	-35	-25	-19	-17	
	m. korr., kg N/ha	-11	-25	-34	-38	
	i %	-6	-13	-16	-17	

Appendiks 2

Udbytter af vinterhvede beregnet ved normgødskning for JB4, JB6 og JB7 med og uden forfrugtsværdi fratrukket (9 kg/ha), og tilsvarende N-optagelse.

Tabel A2-1. Udbytter beregnet ved normgødsning for JB4, JB6 og JB7 med og uden forfrugtsværdi fratrukket (9 kg/ha), og tilsvarende N-optagelse. Data from 1987-1994. De afmærkede kombinationer svarer til forholdene i aktuelle forsøg (f.eks. et forsøg på en JB4 med en forfrugt svarende til 9 kg i normberegningen). Datasæt D2.

JB4—f.	JB4	jb6-f	jb6	JB7-f	JB7	gl_JB6-f	gl.JB6	gl.JB4	JB4—f.	JB4	jb6-f	jb6	JB7-f	JB7	gl_JB6-f	gl.JB6	gl.JB4
Min. tilførsel, kg N/ha									Min. tilførsel, kg N/ha								
129	138	147	156	158	167	172	187	190	129	138	147	156	158	167	172	187	190
Udbytter hkg/ha									Ekvivalent mængde høstet N, kg N/ha								
78.7	80.0	81.2	82.3	82.6	83.6	84.1	85.4	85.6	110.5	113.9	117.3	120.9	121.8	125.5	127.6	133.9	135.2
82.7	84.4	86.1	87.7	88.1	89.6	90.4	92.6	93.0	99.6	104.8	110.1	114.7	115.6	119.9	122.2	129.2	130.6
82.6	84.4	86.1	87.7	88.0	89.4	90.2	92.1	92.4	108.7	111.8	115.0	119.8	121.1	126.8	129.9	139.5	141.4
83.6	85.9	88.0	90.1	90.5	92.4	93.4	96.2	96.7	129.1	134.4	139.6	145.5	146.8	152.9	156.3	166.4	168.4
108.8	110.6	112.1	113.3	113.5	114.3	114.6	114.9	114.8	159.5	167.6	175.7	180.3	181.0	183.8	185.4	190.2	191.2
93.5	95.0	96.4	97.5	97.8	98.7	99.1	100.0	100.1	122.2	125.7	129.2	132.3	133.0	135.9	137.5	142.3	143.3
89.4	91.9	94.2	96.3	96.7	98.6	99.6	102.2	102.7	122.2	128.4	134.5	140.1	141.2	146.5	149.4	158.1	159.8
81.3	82.7	84.0	85.0	85.2	86.1	86.5	87.4	87.5	123.8	129.1	134.3	139.6	140.8	146.1			
83.1	83.6	84.0	84.2	84.2	84.2	84.2	83.7	83.6	135.9	135.3	134.6	133.0	132.5	130.4	129.2	125.7	125.0
73.4	75.0	76.5	77.7	78.0	79.1	79.7	81.0	81.2	92.2	95.7	99.1	102.7	103.5	107.0	109.0	114.9	116.1
91.4	93.4	95.2	97.0	97.4	99.1	100.0	102.5	103.0	113.9	116.9	120.0	123.0	123.7	126.7			
76.1	76.4	76.6	76.7	76.7	76.7	76.6	76.3	76.2	107.0	109.5	112.0	113.4	113.7	114.6	115.2	116.8	117.1
81.0	81.7	82.2	82.5	82.5	82.5	82.4	81.6	81.4	117.6	120.5	123.3	126.2	126.9	129.7			
74.7	76.3	77.7	79.0	79.3	80.5	81.1	82.7	82.9	118.5	125.6	132.7	139.8	141.4	148.5			
86.4	87.9	89.3	90.5	90.8	91.7	92.2	93.2	93.3	119.1	123.8	128.5	134.5	135.9	142.5	146.2	157.1	159.3
78.6	80.2	81.7	83.0	83.3	84.4	84.9	86.3	86.5	103.1	107.8	112.5	115.8	116.4	119.0	120.4	124.7	125.5
83.4	85.0	86.3	87.4	87.6	88.4	88.7	89.2	89.2	135.4	138.0	140.7	141.8	141.9	142.2	142.4	142.9	143.0
80.7	82.5	84.1	85.6	85.9	87.2	87.8	89.3	89.6	115.6	121.2	126.7	131.3	132.2	136.1	138.4	145.0	146.4
86.3	87.7	88.9	89.8	90.0	90.7	91.0	91.6	91.6	117.8	122.1	126.4	130.7	131.6	135.9			
91.3	93.3	95.1	96.7	97.1	98.5	99.2	101.1	101.4	116.8	122.4	128.0	133.6	134.9	140.5			
82.0	83.9	85.6	87.3	87.6	89.1	89.8	91.8	92.2	110.9	115.2	119.4	123.8	124.8	129.2	131.7	139.2	140.6
Gennemsnit og Standardafvigelse																	
84.2	85.8	87.2	88.5	88.7	89.8	90.3	91.5	91.7	118.1	122.4	126.7	130.6	131.5	135.2	136.0	141.7	142.9
7.8	8.0	8.2	8.4	8.4	8.6	8.7	9.1	9.1	14.3	14.8	15.5	15.8	15.8	16.2	18.8	20.0	20.3
N-indhold, %									1.65	1.68	1.71	1.74	1.75	1.77	1.77	1.82	1.83
Protein indhold, %									10.3	10.5	10.7	10.9	10.9	11.1	11.1	11.1	11.4

Tabel A2-2. Udbytter beregnet ved normgødskning for JB4, JB6 og JB7 med og uden forfrugtsværdi fratrukket (9 kg/ha), og tilsvarende N-optagelse. Data from 2010-5. De highlightede kombinationer svarer til forholdene i aktuelle forsøg (f.eks. et forsøg på en JB4 med en forfrugt svarende til 9 kg i normberegningen). Datasæt D2.

JB4—f.	JB4	jb6-f	jb6	JB7-f	JB7	gl_JB6-f	gl.JB6	gl.JB4	JB4—f.	JB4	jb6-f	jb6	JB7-f	JB7	gl_JB6-f	gl.JB6	gl.JB4
Min. tilførsel, kg N/ha									Min. tilførsel, kg N/ha								
129	138	147	156	158	167	172	187	190	129	138	147	156	158	167	172	187	190
Udbytter hkg/ha									Ekvivalent mængde høstet N, kg N/ha								
84.1	85.7	87.0	88.3	88.5	89.5	90.0	91.2	91.4	121.6	127.8	134.1	138.8	139.6	143.5	145.6	152.0	153.3
85.1	86.9	88.6	90.1	90.4	91.7	92.4	94.0	94.3	119.0	125.6	132.2	136.1	136.6	139.2	140.6	144.8	145.6
98.0	100.1	102.1	103.9	104.3	105.8	106.6	108.7	109.1	151.2	156.7	162.3	167.8	169.0	174.6			
85.6	87.1	88.4	89.6	89.8	90.7	91.2	92.2	92.3	112.7	117.4	122.1	127.2	128.4	133.6	136.5	145.2	147.0
93.9	95.2	96.3	97.2	97.4	98.1	98.4	99.0	99.0	142.0	146.6	151.2	155.0	155.8	159.3	161.2	167.0	168.1
82.3	83.8	85.0	86.1	86.3	87.1	87.4	88.0	88.0	114.7	119.7	124.6	129.9	131.1	136.4	139.4	148.3	150.1
94.6	96.8	98.7	100.5	100.8	102.3	103.1	105.0	105.3	117.4	123.8	130.1	134.2	134.9	137.8	139.5	144.5	145.5
91.0	93.5	95.7	97.8	98.2	100.1	101.1	103.6	104.1	111.0	115.6	120.3	125.4	126.7	132.1	135.2	144.3	146.1
89.4	91.1	92.6	93.9	94.2	95.3	95.8	97.1	97.3	131.5	135.1	138.7	143.5	144.7	150.2	153.2	162.3	164.1
88.0	90.3	92.4	94.1	94.5	95.9	96.6	98.2	98.4	135.9	143.7	151.4	158.1	159.5	165.7	169.2	179.5	181.6
85.0	86.8	88.5	90.1	90.4	91.8	92.5	94.5	94.8	123.7	126.6	129.5	133.3	134.2	138.5	140.8	147.8	149.2
103.7	104.9	105.8	106.4	106.5	106.7	106.7	106.3	106.1	128.7	138.8	148.8	153.8	154.3	156.7	158.0	161.9	162.7
98.1	99.4	100.4	101.1	101.3	101.7	101.8	101.6	101.5	131.0	136.6	142.2	146.2	146.9	150.2	151.9	157.3	158.3
90.2	92.4	94.4	96.2	96.6	98.1	98.9	100.8	101.1	111.1	111.8	112.4	117.5	119.2	126.5	130.6	142.9	145.4
100.8	102.6	104.2	105.7	106.0	107.2	107.8	109.3	109.5	121.0	124.4	127.8	132.6	133.8	139.3	142.4	151.6	153.5
97.8	100.0	101.9	103.7	104.1	105.6	106.4	108.3	108.7	108.9	115.3	121.7	127.0	128.1	132.9	135.6	143.6	145.2
103.8	105.4	106.8	108.2	108.4	109.6	110.2	111.8	112.1	127.0	133.1	139.3	144.2	145.1	149.4	151.8	159.0	160.4
95.5	97.5	99.4	101.1	101.5	103.1	103.9	106.0	106.4	136.8	135.0	133.2	136.1	137.2	142.5	145.4	154.1	155.8
93.7	96.3	98.6	100.6	101.0	102.7	103.5	105.5	105.9	117.2	122.2	127.3	133.3	134.8	141.3	144.9	155.7	157.9
96.8	99.1	101.2	103.1	103.5	105.2	106.0	108.2	108.6	110.5	116.8	123.2	128.7	129.9	135.0	137.9	146.5	148.2
99.1	101.3	103.3	105.2	105.6	107.2	108.1	110.4	110.8	110.7	116.5	122.4	127.4	128.4	133.1	135.7	143.5	145.0
101.3	103.3	105.1	106.7	107.1	108.4	109.0	110.6	110.8	129.1	134.3	139.6	144.1	145.1	149.3	151.7	158.8	160.2
100.1	102.0	103.7	105.2	105.5	106.7	107.2	108.6	108.8	125.2	130.9	136.5	140.3	140.9	143.8	145.4	150.1	151.0
Average and Standard deviation																	
93.8	95.7	97.4	98.9	99.2	100.5	101.1	102.6	102.8	123.4	128.4	133.5	138.3	139.3	143.9	145.1	152.8	154.3
6.59	6.61	6.65	6.70	6.71	6.79	6.84	7.04	7.09	11.26	11.41	12.02	12.03	11.95	11.66	9.58	9.31	9.32
N-indhold, %									1.55	1.58	1.62	1.65	1.66	1.69	1.70	1.77	1.78
Protein indhold, %									9.7	9.9	10.1	10.3	10.4	10.6	11.0	11.1	

Appendiks 3

Uptake of nitrogen by roots

This note reports a further development of the nitrogen uptake model implemented in Daisy (Hansen et al. 1991; Hansen and Abrahamsen 2009). The new development pertains to root uptake kinetics. The simulation of the crop nitrogen demand is unchanged.

Amino acid, ammonium and nitrate can be taken up by plants by active processes (e.g. Miller and Cramer, 2004). In agricultural systems, the relative importance of these nitrogen sources is largely determined by the agricultural practice, e.g. fertilization. In Daisy it is assumed that nitrate is the dominant source. Ammonium is treated like nitrate, though with the modification that the sorption of ammonium is taken into account. The uptake of amino acids is neglected. Furthermore it is assumed that the nitrate uptake is governed by transport to the root surface (mass flow and diffusion) in combination with uptake kinetics at the root surface as described by Michaelis-Menten kinetics. The uptake kinetics of nitrate is governed by a dual-affinity system (Tsay et al. 2007) viz. a high affinity system with a low uptake capacity and a low affinity system with high uptake capacity.

The transport of a solute (ammonium or nitrate) from the bulk soil to the root surfaces is based on a number of assumptions similar to those adopted for water flow (Hansen and Abrahamsen, 2009): 1) each root may exploit an average effective volume of soil which is assumed to be a cylinder around the root; 2) the radius of this cylinder is assumed to correspond to the average half distance between the roots; 3) the solute is transferred to the root surface by both mass flow and diffusion 4) the concentration - distance profile around a root develops in time in a stepwise manner and at each time-step it approximates to a steady state profile (Baldwin *et al.* 1973). Based on these assumptions the solute-flux towards the root surface is estimated:

$$I = \begin{cases} 4\pi D(C - C_r) \left[\frac{\beta^2 \ln \beta^2}{\beta^2 - 1} - 1 \right]^{-1} & \alpha = 0 \\ 4\pi D \frac{(\beta^2 - 1)C - \ln(\beta^2)C_r}{(\beta^2 - 1) - \ln(\beta^2)} & \alpha = 2 \\ 2\pi D\alpha \frac{(\beta^2 - 1)(1 - \alpha/2)C - (\beta^{2-\alpha} - 1)C_r}{(\beta^2 - 1)(1 - \alpha/2) - (\beta^{2-\alpha} - 1)} & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{S_r}{2\pi LD} \quad (2)$$

$$\beta = (r_r^2 \pi L)^{-1/2} \quad (3)$$

where I is the solute uptake per unit length of the root, D is the diffusion coefficient in the soil, C is the bulk concentration in soil solution and C_r is the concentration at root surface, S_r is the water uptake expressed as a volumetric sink term, r_r is the root radius, and L is the root density.

The model is static (assuming steady-state conditions); however applied to a transient system the model works as series of steady-states, i.e. in a quasi-steady-state manner, hence soil nitrogen content changes in time and, therefore also concentrations change in time. As a result also soil nitrogen content is important when applying the model to a transient system, although only in an indirect way.

In the soil, diffusion is influenced by the water content of the soil both in terms of the diffusion cross-section and the tortuous pathway followed by the solute through pores. The bulk soil diffusion coefficient is calculated as:

$$D = \theta D_l f_l \quad (4)$$

where θ is the volumetric soil water content, D_l is the diffusion coefficient in free solution, and f_l is a so-called tortuosity factor, which can be estimated in several ways. In Daisy, the default tortuosity factor is a step-wise linear model:

$$f_l = \begin{cases} f_l^0 & \theta \leq \theta_0 \\ f_l^0 + a(\theta - \theta_0) & \theta > \theta_0 \end{cases} \quad (5)$$

where f_l^0 , θ_0 and a are constants. A value of f_l^0 equal to 10^{-6} is selected arbitrarily, while a and θ_0 are parameters characterizing the soil (default values: $a=2$, θ_0 = soil water content at the permanent wilting point. The diffusion coefficient of nitrate in free solution is around $0.072 \text{ cm}^2 \text{ h}^{-1}$.

The parameter α reflects the relation between the effectiveness of mass transfer to diffusion; $\alpha = 0$ corresponds to an instance where the mass transfer contribution is zero and diffusion is the only mechanism contributing to transfer; α typically assumes a value in the interval 0 to 0.1. β is characterizing the geometry of the system; large values of β corresponds to sparse root systems and low values correspond to the high root density.

Eq. (1) shows that a linear relation exists between root uptake I and the C_r i.e.:

$$I = a_z + b_z C_r \quad (6)$$

$$a_z = \begin{cases} 4\pi D \left[\frac{\beta^2 \ln \beta^2}{\beta^2 - 1} - 1 \right]^{-1} C & \alpha = 0 \\ 4\pi D \frac{(\beta^2 - 1)}{(\beta^2 - 1) - \ln(\beta^2)} C & \alpha = 2 \\ 2\pi D \frac{\alpha(\beta^2 - 1)(1 - \alpha/2)}{(\beta^2 - 1)(1 - \alpha/2) - (\beta^{2-\alpha} - 1)} C & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

and

$$b_z = \begin{cases} -4\pi D \left[\frac{\beta^2 \ln \beta^2}{\beta^2 - 1} - 1 \right]^{-1} & \alpha = 0 \\ -4\pi D \frac{\ln(\beta^2)}{(\beta^2 - 1) - \ln(\beta^2)} & \alpha = 2 \\ -2\pi D \frac{\alpha(\beta^{2-\alpha} - 1)}{(\beta^2 - 1)(1 - \alpha/2) - (\beta^{2-\alpha} - 1)} & \text{else} \end{cases} \quad (8)$$

The dual-affinity uptake kinetics can be described as:

$$I = \frac{F_1 C_r}{K_1 + C_r} + \frac{F_2 C_r}{K_2 + C_r} \quad (9)$$

where F and K refer to the max uptake rate and the half-saturation constant, respectively, and the subscripts 1 and 2 refer to the high affinity system and low affinity system, respectively. Equating (6) and (9) yields:

$$a_z + b_z C_r = \frac{F_1 C_r}{K_1 + C_r} + \frac{F_2 C_r}{K_2 + C_r} \quad (10)$$

Characterizing nitrate uptake Tsay et al. (2007) suggests 50 μM (0.7 mg NO_3^- -N/L) and 5 mM (70 mg NO_3^- -N/L) for the half-saturation constant for the high and for the low affinity system, respectively. The max uptake rates are more uncertain. Based on preliminary calibrations of max uptake rates we suggest a value of 25 ng/cm/h and 250 ng/cm/h for the high and for the low affinity system, respectively. Equation (10) can be solved for C_r and I can subsequently be calculated using eq. (6) or eq. (9).

References

- Baldwin, J.P., P.H. Nye and P.B. Tinker (1973): Uptake of solutes by multiple root system from soil. III. A model for calculating the solute uptake by a randomly dispersed root system developing in a finite volume of soil. *Plant and Soil* 38, 621-635.
- Hansen, S., H.E. Jensen, N.E. Nielsen and H. Svendsen (1991a). Simulation of nitrogen dynamics and biomass production in winter wheat using the Danish simulation model DAISY. *Fert. Res.* 27: 245-259.
- Hansen, S., and Abrahamsen, P. (2009) Modeling Water and Nitrogen Uptake Using a Single-Root Concept: Exemplified by the Use in the Daisy Model. In: Ma, L., Ahuja, L.R, and Bruulsema, T.W. (Eds.) *Quantifying and Understanding Plant Nitrogen Uptake for System Modeling*. CRC Press, Boca Raton, 169-195.
- Miller, A.J., and Cramer, M.D. (2004) Root nitrogen acquisition and assimilation. *Plant and Soil.* 274: 1-36.
- Tsay, Y-F., Chiu, C-C., Tsai, C-B., Ho, C-H., and Hsu, P-K. (2007) Nitrate transporters and peptide transporters. *FEBS letters* 581: 2290-2300.