

Sensorbaseret tilførsel af kvælstof på fremtidens husdyrbrug



Foto: Rita Hørfarter

DLBR[®]
DANSK
LANDBRUGSRÅDGIVNING

LN
LANDBONORD

YARA

FORFATTERE

Chefkonsulent Leif Knudsen, Planteproduktion, Videncentret for Landbrug

Specialkonsulent Rita Hørfarter, Planteproduktion, Videncentret for Landbrug

Stud. Agro. Kristian Arnold Bang Davidsen, KU LIFE

Chefkonsulent Jens Elbæk Andersen, PlanteRådgivning, LandboNord

FORORD

Videncentret for Landbrug har i samarbejde med LandboNord og Yara Danmark A/S gennemført et projekt med ”Sensorbaseret tilførsel af kvælstof på fremtidens husdyrbrug”. Projektet er gjort muligt på grund af støtte fra innovationsloven under FødevarerErhverv.

Projektet er gennemført i perioden 1. marts 2008 til 1. juli 2011. Formålet med projektet har været at undersøge, om gødskningspraksis og fordeling af kvælstof kan forbedres ved at anvende en omfordeling af kvælstof mellem marker og inden for marken ved hjælp af en Yara N-Sensor – et udstyr der allerede er kommercielt tilgængeligt. Hypotesen var, at Yara N-Sensor, gennem fordeling af kvælstof ud fra måling af den aktuelle biomasse under kørslen, kan tage hensyn til variationer i den tildelte gylles indhold af kvælstof, samt forskelle i tildelte gyllemængder, som det erfaringsvist er svært at tage hensyn til ved gylleanalyser og løbende justeringer af gødningsplaner.

Projektet afsluttes med udgivelsen af denne rapport, hvor resultaterne, der er frembragt i projektet, er gengivet. Samtidig afsluttes rapporten med en anbefaling af en fremtidig strategi for anvendelse af Yara N-Sensor på større husdyrbrug, og med anbefaling af en konkret algoritme, der kan anvendes i systemet til omfordeling af kvælstof.

Videncentret vil gerne takke samarbejdspartnerne for et konstruktivt samarbejde i dette projekt. Vi vil specielt takke forsøgspersonalet ved LandboNord for et meget samvittighedsfuldt arbejde i marken, der har frembragt interessante resultater. Og vi vil ikke mindst takke gårdejer Kristian Kjær, Vrejlev Østergaard, hvor alle forsøg og undersøgelser er gennemført. Uden et godt samarbejde med Kristian Kjær havde projektet ikke været muligt. Endeligt vil vi også takke Kongskilde A/S for at stille en gødningsspreader til rådighed.

Videncentret for Landbrug, d. 29. september 2011

Leif Knudsen

KONKLUSION/SAMMENDRAG

Videncentret for Landbrug har i samarbejde med LandboNord og Yara Danmark A/S gennemført et projekt med "Sensorbaseret tilførsel af kvælstof på fremtidens husdyrbrug". Projektet er gjort muligt på grund af støtte fra innovationsloven under FødevarerErhverv. Projektet er gennemført i perioden 1. marts 2008 til 1. juli 2011. Formålet med projektet har været at undersøge, om gødskningspraksis og fordeling af kvælstof kan forbedres ved at anvende en omfordeling af kvælstof mellem marker og inden for marken ved hjælp af en Yara N-Sensor – et udstyr der allerede er kommercielt tilgængeligt. Hypotesen var, at Yara N-Sensor, gennem fordeling af kvælstof ud fra måling af den aktuelle biomasse under kørslen, kan tage hensyn til variationer i den tildelte gylles indhold af kvælstof, samt forskelle i tildelte gyllemængder, som det erfaringsvis er svært at tage hensyn til ved gylleanalyser og løbende justeringer af gødningsplaner.

Beskrivelse af ejendommen:

Vrejlev Møllegård, ejet af Kristian Kjær & Co, er anvendt som demolandbrug i Yara N-sensor projektet. Den samlede bedrift er beliggende ved Vrå i Nordjylland, hvor de forskellige ejendomme ligger forholdsvist samlet. Den samlede bedrift består af en svineproduktion, der drives af to selskaber og en planteproduktion, der drives af fire selskaber. Den samlede bedrift er et familieforetagende. I praksis bliver bedrifterne drevet som en samlet enhed. Der er ansat to driftsledere, fem medarbejdere og en elev i stalden. I marken er der en driftsleder, en markmand og en elev, som også er i stalden. I 2010 bestod bedriften af en planteproduktion på 913 ha agerjord og en svineproduktion på 1.600 søer, ca. 42.000 smågrise og ca. 35.000 slagtesvin, i alt 1.567 DE, svarende til 1,72 DE pr. ha. Harmoniproblemet løses ved afsætning af fiber til et biogasanlæg.

Til de enkelte produktionsejendomme er der tilknyttet 8 gylletanke. To gylletanke er ikke direkte tilknyttet en egentlig svineproduktion, men indeholder rejektvand (dvs. den flydende fraktion fra gylleseparationsanlægget). Yderligere er der tilknyttet et antal forsøringsanlæg til svineproduktionen, hvoraf det første blev installeret i 2001 på Vester Harken. Planteproduktionen på den samlede bedrift er baseret på selvforsyning af foder og er derfor optimeret i forhold til svineproduktionen. Dette betyder, at sædskiftet er domineret af vintersæd, hvor andelen er oppe på ca. 90 procent med hovedsageligt vinterhvede.

Potentialet i forbedring af eksisterende gødskningspraksis

En af hypoteserne i projektet var, at der ved den eksisterende gødskningspraksis på store husdyrbrug er en potentiel mulighed for forbedring, fordi der ikke tages hensyn til variationen i gyllens indhold af næringsstoffer og markernes individuelle næringsstofbehov. Årsagen er, at bedriftsstrukturen er kompleks, at der overføres gylle mellem beholdere, og at det derfor ikke er muligt at beregne næringsstofkoncentrationen i præcis den gylle, der bringes ud i en konkret mark.

I projektet er der udtaget gylleanalyser af al gylle lige før udbringning i marken. Mængden af tildelt gylle er registreret. Det samme gælder tilførslen af handelsgødning.

Ud fra disse registreringer er der udarbejdet en sammenligning mellem faktisk tilførsel af næringsstoffer og den planlagte tilførsel. Resultatet af denne sammenligning er, at der er store afvigelser mellem den faktiske og planlagte tilførsel af næringsstoffer. Det skyldes, at gyllens indhold af næringsstoffer afviger meget fra det forventede indhold, at forskellige typer af gylle har forskellig

udnyttelsesprocent, og at den tilførte mængde af gylle i mange tilfælde afviger fra den planlagte. Med hensyn til udnyttelsesprocent tages der ikke hensyn til, om der udbringes almindelig svinegylle (forventet første års udnyttelse på 65 pct.), væskefraktion efter separering af gylle (forventet udnyttelsesprocent på 85 pct.) eller forsuret gylle (forventet udnyttelsesprocent på 85).

Ud fra afvigelsen mellem den planlagte tilførsel af kvælstof og den faktiske tilførsel er der i 2008 og 2009 gennemført en teoretisk beregning af det økonomiske tab som følge af en ikke optimal gødsning. Denne beregning viser, at der er et tab på 142.000 kr. i 2008 og 62.000 kr. i 2009. Resultaterne viser, at der er en potentiel økonomisk gevinst på ca. 100 kr. pr. ha ved at gødske mere optimalt end den eksisterende gødsningspraksis. Der kan således afholdes omkostninger til gylleanalyser og til en bedre løbende styring, og samtidig forbedre det økonomiske resultat. Beløbsstørrelsen skal ses som den potentielle mulighed for at forbedre resultatet, men hele beløbet kan næppe realiseres.

Anvendt teknik og metodikker til dataopgørelse

Alle marker, der indgår i projektet, er kortlagt med elektrisk ledningsevne målt med Veris EC. Veris EC måler ledningsevnen i to dybder, men kun målingen i 0-30 cm indgår i projektet. Biomassen er målt med Yara N-Sensor 2-4 gange i vækstsæsonen. Yara N-Sensor er leveret og monteret af Yara Danmark A/S. I løbet af projektperioden er der markedsført en nyere Yara N-Sensor med et opdateret software, der giver lidt andre biomasseværdier. Alle målinger i projektet er dog foretaget med den "gamle model". Al handelsgødning i projektet er udspremt af personale fra LandboNord. Udspreningen er sket med en 24 meter pneumatisk gødningsspreder, der er stillet til rådighed af Kongskilde A/S. Høst er foretaget af landmanden med en John Deere mejetærsker med udbyttmåler og GPS. Af rådatasættet er udtrukket en datafil med udbytter på de loggede koordinater.

Alle postionsbestemte data er samlet med GIS-programmet MapInfo. Dataene interpoleres, hvilket muliggør, at der på punktniveau kan fås sammenhørende værdier af elektrisk ledningsevne, biomasse målt på forskellige tidspunkter og høstudbytte. Data er læst fra MapInfo over i Excel, hvor databehandlingen er foretaget med statistikpakken XSTAT.

Variation i kvælstofbehov mellem marker og inden for marker

Kvælstofbehovet er kortlagt ved i hver mark at indlægge to striber i hele agerlængden, hvor der tildeles hhv. 50 og 200 kg kvælstof pr. ha i handelsgødning. Striberne er maks. 12 meter brede og ligger ved siden af hinanden. Ud fra 263 landsforsøg med stigende mængder kvælstof er estimeret parametrene i en funktion, hvor kvælstofbehovet kan beregnes ud fra forskellen i udbytte ved tildeling af 200 kg og 50 kg kvælstof pr. ha. Denne funktion er brugt til at beregne kvælstofbehovet i markerne i 2008 og 2009. Resultatet af sribeforsøgene viser, at kvælstofbehovet i 2008 var 192 kg kvælstof pr. ha, mens det var 198 i 2009. Spredningen mellem markernes behov var hhv. 12 og 15 kg kvælstof pr. ha i 2008 og 2009. I 2008 blev der opnået et merudbytte på 27,6 hkg pr. ha og i 2009 30,5 hkg pr. ha ved at øge kvælstoftildelingen fra 50 til 200 kg kvælstof pr. ha. Variationen i kvælstofbehovet mellem markerne er således mindre end forventet.

Ud fra samme forsøgsdesign er variationen i behovet inden for markerne beregnet ved at sammenligne udbytterne i 50 og 200 N striben parvis. Variationen i kvælstofbehovet inden for marken er beregnet til en standardafvigelse på 35 kg kvælstof pr. ha. Variationen i kvælstofbehov

inden for marken er således større end variationen mellem marker. Det skal dog noteres, at variationen inden for marken kan være overvurderet på grund af usikkerhed ved udbyttmålingen samt, at forskellen mellem udbytter i 50 og 200 N striben kan skyldes andet end forskelle i kvælstoftildelingen.

En beregning af den potentielle økonomiske gevinst ved at graduere kvælstoftilførslen inden for en mark efter variationen i behovet viser, at der er en potentiel gevinst på ca. 130 kr. pr. ha ved at graduere, hvorimod graduering mellem marker kun giver en gevinst på 20 kr. pr. ha. Det vil i praksis være umuligt at realisere hele denne gevinst, fordi hele variationen i kvælstofbehov ikke kan forudsiges.

Virkning af gødsugning efter Yara N-Sensor på udvaskningen af kvælstof

I projektet er gennemført forsøg og undersøgelser i 2009 og 2010, der primært er rettet mod at undersøge effekten af en gradueret kvælstoftilførsel på udvaskningen. Som mål for udvaskningspotentialet er anvendt N-min-indhold målt om efteråret. Normalt vil man forvente, at udvaskningsrisikoen og dermed N-min-indholdet - er størst i områder i marken, hvor kvælstofoverskuddet, dvs. forskellen mellem tilført og fraført kvælstof, er størst. En sådan sammenhæng kan ikke vises i de undersøgelser, der er foretaget. Undersøgelserne viser derimod, at der er en stor variation i marken i den mængde kvælstof, der frigives fra jorden. Årsagen til variationen i kvælstoffrigørelse fra jorden skal formentlig findes i en stor jordbearbejdningserosion, der flytter organisk stof fra højere områder til lavere områder i marken. Målinger med Yara N-Sensor har vist sig at være en sikker metode til at bestemme variationen i kvælstoffrigørelsen fra jorden. Selvom udbyttet også er stigende ved stigende kvælstoffrigørelse fra jorden, vil udvaskningen være størst fra disse områder, selvom kvælstofoverskuddet i disse områder er mindst. Ved at flytte kvælstof fra disse områder til områder i marken, hvor kvælstoffrigørelsen er mindre, vil den samlede udvaskning falde. De målte N-min-indhold i projektet kan dog ikke dokumentere dette. Forskellene er for små til at kunne påvises i et relativt simpelt eksperimentelt design.

Ud fra en teoretisk beregning med empiriske kvælstofudvaskningsmodeller, der beskriver udvaskningen som funktion af afvigelsen i den tilførte kvælstofmængde fra behovet, anslås effekten på udvaskningen at være 1-2 kg kvælstof pr. ha ved en tilførsel af kvælstof efter Yara N-Sensor. I Sverige er der på Sveriges Landbrugs Universitet gennemført tilsvarende beregninger, der viser en reduktion i kvælstofudvaskningen på 1-3 kg kvælstof pr. ha.

I marker med en relativ stor andel med grovsand, hvor udbyttepotentialet under uvandede forhold er lavt, kan anvendelsen af den udviklede Yara N-Sensor algoritme, med samtidig anvendelse af et underliggende korrektionskort, der sikrer, at området med grovsand ikke tildeles for meget gødning, resultere i større reduktioner i udvaskningen.

Udviklede algoritmer

I projektet er der anvendt en algoritme til fordeling af kvælstof, der er udviklet i et tidligere projekt, gennemført af Danmarks JordbrugsForskning (nu Aarhus Universitet) og Videncentret for Landbrug. Omfordeling af kvælstof i hvert andet sprøjtespor i marken har ikke resulteret i merudbytte i 2008 og 2009. På baggrund af de gennemførte forsøg og undersøgelser, er der udviklet et forslag til ny algoritme, der i højere grad er målrettet mod, at Yara N-Sensor på husdyrbrug skal kunne omfordele en kvælstofmængde i handelsgødning på 30-40 kg kvælstof pr. ha midt i maj og på den måde

afbalancere forskelle i tilført effektivt kvælstof i husdyrgødning, samtidig med, at der korrigeres for kvælstoffrigørelse fra jorden. Selve fordelingen efter denne algoritme er ikke testet i praksis i projektet, bl.a. fordi afprøvningen i 2011 ikke kunne gennemføres planmæssigt på grund af udvintring.

Algoritmen kan let indbygges i den nye model af Yara N-Sensor systemet, og det forventes at ske inden foråret. Algoritmen bør efterprøves ved forsøg i praksis.

Et problem ved anvendelse af Yara N-Sensor har hidtil været, at systemet skulle kalibreres ved at gennemkøre flere sprøjtespor i hver mark for at sikre, at der ikke tildeles mere kvælstof end den resterende kvælstofkvote. En ny facilitet i Yara N-Sensoren muliggør, at kalibreringen kan ske automatisk under kørslen, og at systemet kan håndtere udspredding af en given kvælstofmængde i gennemsnit. Det vurderes, at den nyudviklede algoritme er meget velegnet til at fungere med kalibrering efter dette princip. Det betyder, at systemet vil være særdeles enkelt at anvende.

Merudbyttet for anvendelse af Yara N-Sensor vil ud fra en teoretisk betragtning i gennemsnit næppe overstige 0,5-1,0 hkg pr. ha. Et sådant merudbytte vil kun vanskeligt kunne påvises statistisk sikkert i markforsøg.

Samlet konklusion

Projektet har vist, at der er et stort økonomisk potentiale ved at forbedre gødskningspraksis på store husdyrbrug. En forbedring kan opnås med målrettet gødskning efter Yara N-Sensor. På ejendomme med stor variation i kvælstofindholdet mellem gylletanke bør dette suppleres med udtagning af husdyrgødningsanalyser om foråret, og udarbejdelse af en simpel tabel, der viser hvilken dosering af gylle, der skal anvendes til vinterhveden for hver gylletank. Forbedringen af udbytte eller en reduktion i udvaskningen har ikke kunnet påvises eksperimentelt i forsøgene. Potentialet for at øge udbyttet og reducere udvaskningen vurderes at være for lille til, at det er muligt at påvise i storskalaforøg. Men potentialet er stort nok til at give en betydelig merindtjening på store brug, og til at reducere kvælstofudvaskningen af en betydelig størrelse. Men resultaterne har givet anledning til udvikling af en forbedret tildelingsalgoritme, der vurderes at kunne øge udbyttet 0,5-1,0 hkg pr. ha i forhold til ensartet gødskning. Desuden forventes den at kunne reducere udvaskningen af kvælstof med 1-2 kg kvælstof pr. ha. Denne algoritme forventes taget i anvendelse i foråret 2012. Samtidig har projektet som en afledt effekt afdækket nye muligheder for at anvende Yara N-Sensor til bekæmpelse af pletvis forekommende rodukrudd.

Indholdsfortegnelse

Forfattere	2
Forord	3
Konklusion/Sammendrag	5
Beskrivelse af ejendommen:	5
Potentialet i forbedring af eksisterende gødskningspraksis	5
Anvendt teknik og metodikker til dataopgørelse	6
Variation i kvælstofbehov mellem marker og inden for marker	6
Virkning af gødskning efter Yara N-Sensor på udvaskningen af kvælstof	7
Udviklede algoritmer	7
Samlet konklusion	8
1.0 Indledning.....	13
2.0 beskrivelse af ejendom.....	15
3.0 eksisterende gødningspraksis	19
3.1 Gødningsplanlægning.....	19
Dybstrøelse.....	19
Gylle.....	20
Væskefraktion (rejektvand)	20
Variationer i indhold af kvælstof i gylle i øvrigt.....	20
Principper for gødningsplanlægning	21
Eksempel	21
3.2 Gødningsplaner for vinterhvedemarker som indgår i projektet	23
3.3 kvælstofindhold I husdyrgødning: Forskel mellem forventede koncentrationer og analyser ...	24
Eksempel	24
3.4 Optimal tilførsel af husdyr- og handelsgødning ved "god landmandspraksis"	25
Økonomisk konsekvens af manglende gylleanalyse og uens tildeling	26
4.0 Klimatiske forhold i 2008-2010	29
Høstår 2008.....	29
Høstår 2009.....	30
Høstår 2010.....	30
5.0 Beskrivelse af anvendte teknikker	31
5.1 Yara N-sensor.....	31
5.2 VMSP EC – måling af jordens elektriske ledningsevne	32
6. Forsøgsopbygning og design	35

6.1 Databehandling i GIS.....	36
Datavalidering	37
Interpolation	38
Point inspection.....	38
7. Stribeforsøg med 50 og 200 N striber.....	41
7.1 Forsøgenes gennemførelse	41
7.2 Beregning af kvælstofbehov ud fra resultater	41
7.3 Variation i kvælstofbehov mellem marker.....	42
7.4 Analyse af variation af kvælstofbehov inden for marken – Ved 'parvis sammenligning'.....	45
7.4.1. Forklaring af kvælstofbehov ud fra "parvis sammenligning"	48
7.5 Analyse af variation af kvælstofbehov inden for marken - ud fra modellering af udbytter	50
7.5.1. Modellering af resultater fra 2008	51
7.5.2. Modellering af resultater fra 2009	52
7.5.3. Undersøgelse af 50N og 200N i striber høstet med parcelhøster (2009)	53
7.9 Konklusion af stribeforsøg.....	55
8. Yara n-sensor forsøg.....	59
8.1 Gødskningens gennemførelse	59
8.2 Beregning af tildeling af kvælstofmængde efter Yara N-Sensor	60
8.3 Udbytteresultater af Yara N-sensor forsøg.....	63
8.4 Diskussion af anvendt algoritme	64
9. Miljøforsøg	67
9.1 Forsøg 2009	67
9.1.1. Kvælstofoverskud.....	69
9.2 Miljøforsøg 2010	70
9.2.1. N-min	72
9.3 Konklusion af gennemførte miljøforsøg.....	72
10. Udvikling af algoritme	75
10.1 Overordnet strategi for anvendelse af Yara N-Sensor på husdyrbrug	75
10.2 Principielle betragtninger over algoritmer på husdyrbrug	77
10.2.1. Hældning på tildelingskurve.....	77
10.2.2. Bestemmelse af størrelsen af hældningen på tildelingsfunktionen.....	77
10.2.3. Begrænsning ved lave udbytter	79
10.2.4. Korrektion mellem marker og/eller inden for marker	81
10.3 Forslag til færdig algoritme.....	81

10.3.1. Teknisk algoritmebeskrivelse.....	81
10.3.2. Test af algoritme på data fra 2008.....	82
10.4 Kalibrering.....	84
10.5 Konklusion.....	84
11. Litteratur.....	86
12. Bilag.....	87

1.0 INDLEDNING

Videncentret for Landbrug har i perioden 2008 til 2011 i et samarbejde mellem LandboNord og Yara Danmark gennemført et projekt støttet af Fødevarerhverv af innovationsmidler, hvor formålet har været at optimere kvælstofanvendelsen og minimere miljøeffekten på større husdyrbrug.

Gødskning efter Yara N-Sensor har været til rådighed de seneste seks til syv år, men tidligere afprøvninger ved Videncentret for Landbrug har kun vist beskedne merudbytter for at gødskes efter sensoren. Til forskel fra disse afprøvninger, hvor kun omfordeling inden for én mark blev undersøgt, er i projektet her afprøvet omfordeling mellem flere vinterhvedemarker.

På store husdyrbrug med flere produktionssteder, adskillige husdyrgødningslagre og mange marker er det svært at praktisere "Godt landmandskab", hvor man nøjagtigt har styr på markens kvælstofbehov, og hvor mængden af supplerende handelsgødning afpasses efter den nøjagtige tildeling af kvælstof i husdyrgødning. Det er vanskeligt at få udtaget det nødvendige antal gylleanalyser og få justeret gødningsplanen løbende herefter. Desuden er der en stor variation inden for de enkelte marker, fordi de ofte er sammenlagt af flere marker med forskellig dyrkningshistorie.

Derfor har formålet med dette projekt været at undersøge, om en sensor kan analysere afgrøden for behovet af supplerende kvælstof i handelsgødning, når al husdyrgødning er tildelt.

Projektet er gennemført i tre år på et svinebrug i Vendsyssel. I 2010 bestod bedriften af en planteproduktion på 913 ha agerjord og en svineproduktion på 1.600 søer, ca. 42.000 smågrise og ca. 35.000 slagtesvin, i alt 1.567 DE, svarende til 1,72 DE pr. ha.

Projektet blev påbegyndt i 2008, og følgende aktiviteter er gennemført i projektet:

- Kortlægning af jordens ledningsevne (dvs. tekstur eller bonitet).
- Registrering af alle tilførsler af kvælstof i handelsgødning og husdyrgødning. Sidstnævnte bestemt ud fra kemiske analyser.
- Måling af biomasse med Yara N-Sensor på alle vinterhvedemarker på to til tre tidspunkter.
- Gødskning efter henholdsvis Yara N-Sensor i hvert andet kørespor og ensartet gødskning i resten af køresporerne på cirka 300 ha vinterhvede pr. år.
- Bestemmelse af kvælstofbehov i vinterhvede på markniveau ud fra striber med tilførsel af 50 kg kvælstof og striber med 200 kg kvælstof pr. ha.
- Registrering af udbytte med elektronisk udbyttmåler.
- Miljø – parcellforsøg.

På baggrund af resultaterne fra forsøg og undersøgelser, er der udviklet en ny algoritme til omfordeling af kvælstof, der specifikt er rettet mod omfordeling af sidste kvælstofmængde på husdyrbrug.

2.0 BESKRIVELSE AF EJENDOM

Vrejlev Møllegård, ejet af Kristian Kjær & Co, er anvendt som demolandbrug i Yara N-sensor projektet. Den samlede bedrift er beliggende ved Vrå i Nordjylland, hvor de forskellige ejendomme ligger forholdsvist samlet. Bedriften benytter landboforeningen LandboNord i Brønderslev som konsulentvirksomhed. Den samlede bedrift består af en svineproduktion, der drives af to selskaber (Kristian Kjær og Vrejlev Landbrug ApS), og en planteproduktion, der drives af fire selskaber (Kristian Kjær, Grethe Kjær, Anders Kjær og Vrejlev Landbrug ApS). Den samlede bedrift er et familieforetagende, hvor Grethe Kjær er Kristian Kjærs kone og Anders Kjær er deres søn. I praksis bliver bedrifterne drevet som en samlet enhed. Der er ansat to driftsledere, fem medarbejdere og en elev i stalden. I marken er der en driftsleder, en markmand og en elev, som også er i stalden. I 2010 bestod bedriften af en planteproduktion på 913 ha agerjord og en svineproduktion på 1.600 søer, ca. 42.000 smågrise og ca. 35.000 slagtesvin, i alt 1.567 DE, svarende til 1,72 DE pr. ha. Harmoniproblemet løses ved at afsætte fiberfraktionen fra gylleseparering til et biogasanlæg.

Tabel 2.1. Svineproduktion fordelt på de to selskaber i årene 2008, 2009 og 2010

Bedrift	2008			2009			2010			DE
	Søer	7-30 kg	30-100 kg	Søer	7-30 kg	30-100 kg	Søer	7-30 kg	30-100 kg	
Kristian Kjær	683	16.916	8.781	1.600	11.000	10.912	1.600	11.000	10.192	712
Vrejlev Landbrug ApS			9.760		24.750	17.205		31.500	25.100	855
I alt	683	16.916	18.541	1.600	35.750	28.117	1.600	42.500	35.292	1.567

Svineproduktionen foregår på fem ejendomme, som består af Vrejlev Møllegård, Søndergård, Krogholm, Vester Harken og Børglum. De to første ejendomme hører under Kristian Kjær, mens de sidste tre hører under Vrejlev Landbrug ApS (se tabel 2.1). På Vrejlev Møllegård foregår soproduktionen. På Søndergård er der en kombineret små- og slagtegriseproduktion. På Krogholm er der hovedsageligt smågriseproduktion og desuden et slagtesvinehold. Vester Harken og Børglum har udelukkende slagtesvin. Til svineproduktionen er der investeret i et gylleseparationsanlæg, som er placeret i tilknytning til soproduktionen på Vrejlev Møllegård.

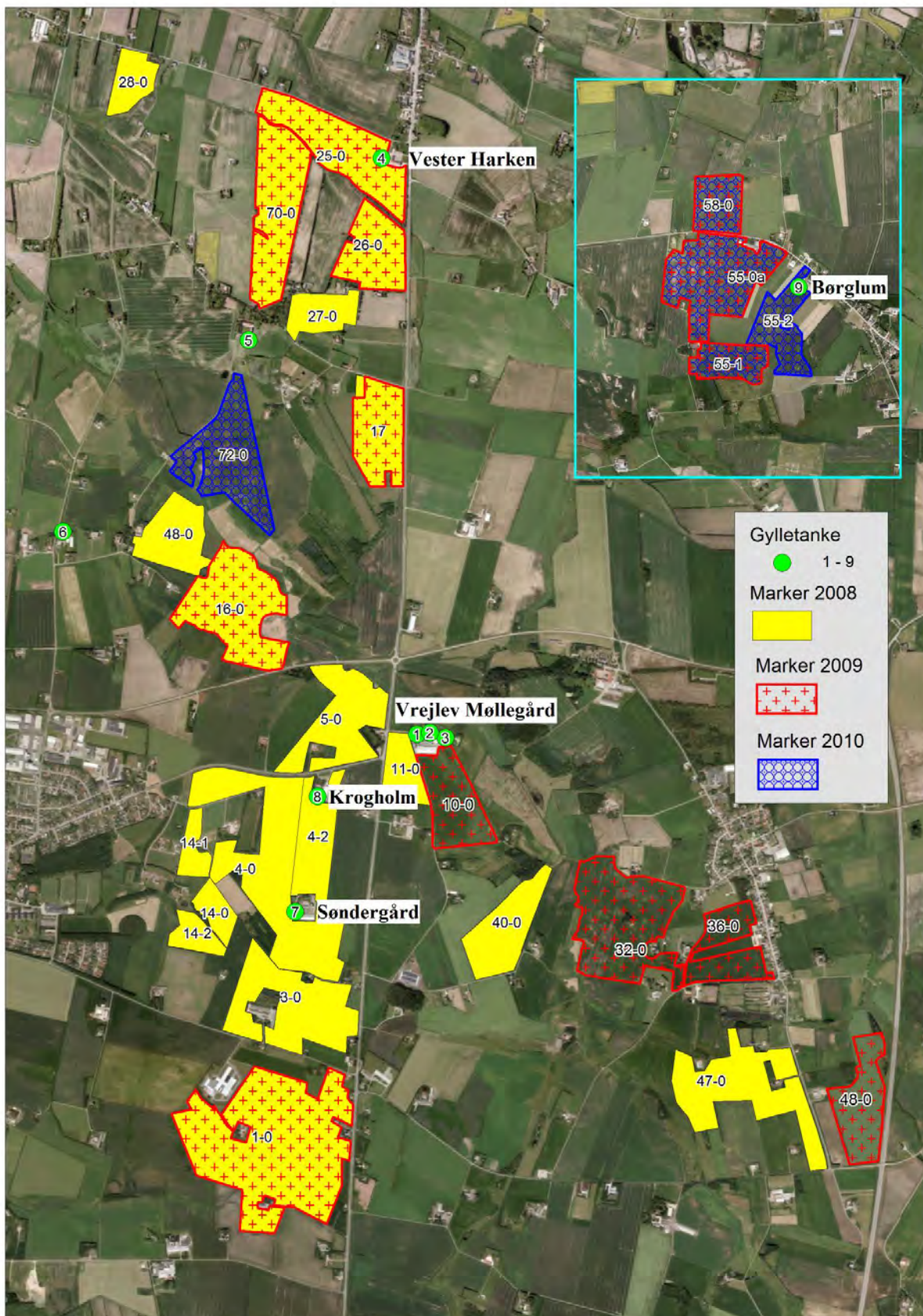
Til de enkelte produktionsejendomme er der tilknyttet diverse gylletanke, hvilket kan ses på figur 2.3 Gylletank 5 og 6 er ikke direkte tilknyttet en egentlig svineproduktion, men indeholder rejeaktvand (dvs. den flydende fraktion) fra gylleseparationsanlægget. Der er desuden tilknyttet et antal forsyningsanlæg til svineproduktionen, hvoraf det første blev installeret i 2001 på Vester Harken. Planteproduktionen på den samlede bedrift er baseret på selvforsyning af foder og er derfor optimeret i forhold til svineproduktionen. Dette betyder, at sædskiftet er domineret af vintersæd, hvor andelen er oppe på ca. 90 procent (tabel 2.2).

Table 2.2. Afgrødefordeling i årene 2008, 2009 og 2010

Vrejlev Møllegård			
Afgrøde	2008	2009	2010¹⁾
Vinterbyg	60,0 ha	99,9 ha	92,6 ha
Vinterhvede	473,0 ha	498,1 ha	624,2 ha
Vinterraps	88,3 ha	99,6 ha	101,0 ha
Vinterrug, hybrid	- ha	- ha	21,5 ha
Vintertriticale	31,7 ha	34,0 ha	- ha
Vårbyg	20,6 ha	2,9 ha	15,9 ha
Vårhvede	- ha	3,9 ha	2,2 ha
Havre	24,0 ha	27,3 ha	35,4 ha
Brak	7,9 ha	7,9 ha	8,7 ha
Andet	31,5 ha	11,6 ha	11,4 ha
I alt	737,0 ha	785,2 ha	912,9 ha
Vintersæd andelen	89 pct	93 pct	92 pct

¹⁾Store dele af arealer med vintersæd udvintres helt eller delvist, så arealet er mindre end angivet

Dette vintersædsbaserede sædskifte består hovedsagligt af to delsædskifter. På de mere robuste arealer dyrkes der vinterhvede efter vinterhvede alle årene. På de mindre robuste arealer består sædskiftet af vinterbyg efterfulgt af vinterraps og derefter vinterhvede i tre til fire år. Derudover produceres der havre som vårsæd, der er et godt supplement til foderproduktionen (tabel 2.2). Som vekselafrøder anvendes frøgræs og vinterraps. Planteproduktionen drives traditionelt, og der praktiseres ikke decideret pløjefri dyrkning. Jordtyperne er hovedsageligt JB 2-4, og der findes desuden en mindre andel JB 6.



Figur 2.3. Kort over de anvendte marker i årene 2008, 2009 og 2010 samt placering af gylletankene ved de enkelte produktionssteder.

3.0 EKSISTERENDE GØDNINGSPRAKSIS

Potentialet i at anvende Yara N-Sensor i forhold til den eksisterende gødskningspraksis på ejendommen afhænger af det økonomiske potentiale i at forbedre denne praksis. En vigtig del af projektet har været at analysere den eksisterende praksis for at finde potentialet for forbedringer.

Ved vurdering af den eksisterende gødskningspraksis tages udgangspunkt i følgende:

- De udarbejdede gødningsplaner
- De faktisk tilførte gødningsmængder i forhold til planen og i forhold til det optimale.
- Den optimale fordeling af kvælstof mellem marker.

3.1 Gødningsplanlægning

I gødningsplanlægningen tages hensyn til fem forskellige næringsstoffer: kvælstof, fosfor, kalium, magnesium og svovl, hvor kvælstof er det dominerende næringsstof. I tabel 3.1 er vist en oversigt over næringsstofbehov og tilførsel af næringsstoffer i handels- og husdyrgødning. For fosfor, kalium og magnesium er som behov angivet en beregnet bortførsel, som på længere sigt vil svare til behovet. For svovl er behovet angivet som 10 pct. af kvælstofbehovet for kornafgrøde og 20 pct. af kvælstofbehovet for raps. I tabellen er der ikke regnet med nogen udnyttelse af svovl i husdyrgødning og anvendelsen af svovl i forsuret gylle er heller ikke indregnet. Derfor er behovet for svovl efter tilførsel af husdyrgødning overvurderet.

Tabel 3.1. Oversigt over tilførselsbehov for kvælstof, fosfor, kalium, magnesium og svovl på Vrejlev Møllegård i 2010 samt faktiske tilførsler i husdyrgødning og handelsgødning ifølge gødningsplanen

2010	Kg næringsstoffer				
	Kvælstof	Fosfor	Kalium	Magnesium	Svovl
Tilførselsbehov	126.036	19.555	67.299	7.465	16.404
Produktion husdyrgødning	109.947	22.788	67.574	8.828	
Udnyttet i husdyrgødning	81.131	22.788	67.574	8.828	
Tilførsel - behov, efter husdyrgødning	-44.905	3.233	275	1.363	-16.404
Handelsgødning	38.249				5.752
Tilførsel - behov	-6.656	3.233	275	1.363	-10.652

I tabel 3.1 ses det, at husdyrgødning er den helt dominerende gødningskilde, og det er derfor vigtigt at få den mest effektive udnyttelse af den. Således tager gødningsplanlægningen sit udgangspunkt i husdyrproduktionen, hvorfra markbruget aftager forskellige former for husdyrgødning. På Vrejlev Møllegård er der hovedsageligt tre former for husdyrgødning: dybstrøelse, gylle og væskefraktion (rejekt vand), som er den flydende fraktion fra separationsanlægget tilknyttet svineproduktionen på selve Vrejlev Møllegård. Derudover er der fire andre produktionsfaciliteter, som beskrevet i afsnit 2 og i tabel 3.2. Fra Søndergård via Krogholm til Vrejlev Møllegård ligger der en rørledning, som bruges til at pumpe gylle fra disse produktionssteder til separationsanlægget. Herved opnås en bedre udnyttelse af lagerkapaciteten. Den faste fraktion fra separationsanlægget (fiberdelen) transporteres til et biogasanlæg og indgår dermed ikke i gødningsplanlægningen for markbruget.

Dybstrøelse

Dybstrøelsen har fagligt set en 1. års udnyttelsesprocent på 25 pct. og en akkumuleret eftervirkning på 20 pct. I gødningsplanlægningen er der anvendt en udnyttelsesprocent på 45 pct., hvilket vil være

rigtigt, hvis dybstrøelsen bliver anvendt på de samme marker hvert år. Dette er ikke tilfældet i den givne situation.

Gylle

Fagligt set har gylle en forventet første års udnyttelse ved udbringning med slæbeslanger i vintersæd på 65 pct. Dertil kommer en akkumuleret eftervirkning på 10 pct. Eftervirkningen ses normalt i gødningsplanen som et reduceret kvælstofbehov. Forsuring af gylle ved staldanlæg medfører både et højere indhold af kvælstof (10-15 pct.) og en bedre udnyttelsesgrad (85 pct.). Normalt skal man ikke påføre en højere udnyttelse i gødningsregnskabet, men kommunerne kan i forbindelse med husdyrgodkendelse kræve en højere udnyttelsesgrad. På Vrejlev Møllegård er installationen af forsuringsanlæggene ikke et led i husdyrgodkendelsen, og derfor er der ikke krav om højere udnyttelse af den forsurede gylle.

Det fremgår af de udarbejdede gødningsplaner, at udnyttelsen af gylle generelt er sat til 75 pct., dog er der i visse tilfælde og særligt i 2010 anvendt en lavere eller højere udnyttelsesprocent. I praksis vil udnyttelsesprocenten variere efter udbringningstidspunkt og forholdene omkring udbringning. Dette kan der ikke tages hensyn til i gødningsplan-lægningen.

Væskefraktion (rejektvand)

Væskefraktionen er den flydende fraktion af gylle og har derfor en anden sammensætning og andre egenskaber end gylle. Det totale kvælstofindhold er lavere, og andelen af ammoniumkvælstof er betydeligt højere end i ikke separeret gylle. Fosforindholdet er også lavere, da det meste fosfor er bundet i den faste del. For kalium er der ikke nogen forskel. Disse forskelle medfører for kvælstofs vedkommende, at udnyttelsesprocenten i det første år, i forhold til ikke separeret gylle, fagligt set er forøget til 85 pct. for vintersæd på grund af det lave tørstofindhold og høje ammoniumandel, dog er der ingen akkumuleret eftervirkning.

I gødningsplanlægningen er der anvendt en udnyttelsesprocent på 75.

Tablet 3.2. Oversigt over gylletankene på Vrejlev Møllegård i forhold til deres placering og tilknytning til husdyrproduktionen

Tank nr.	Placering	Bedrift	Indhold			Produktion			Besætning			Antal DE					
			2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010			
1	Vrejlev Møllegård	Kristian Kjær	-	-	-	-	-	-	683	Søer	1.600	Søer	1.600	Søer	127	373	374
2	Vrejlev Møllegård	Kristian Kjær	Gylle	Rejektvand	-	Separatoren ¹⁾	-	-	9.333	S.grise	-	-	-	-	55	-	-
3	Vrejlev Møllegård	Kristian Kjær	-	Rejektvand	-	Separatoren	-	-	1.707	Sl.svin	4.900	Sl.svin	4.900	Sl.svin	53	150	135
4	Vester Harken	Vrejlev Landbrug	Gylle	-	-	12 mdr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	Kristian Kjær	-	Rejektvand	-	Separatoren	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	Kristian Kjær	-	Rejektvand	-	Separatoren	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Søndergård ²⁾	Kristian Kjær	Gylle	-	-	5 mdr	-	-	7.583	S.grise	11.000	S.grise	11.000	S.grise	45	68	57
									8.781	Sl.svin	10.192	Sl.svin	10.192	Sl.svin	266	301	281
8	Krogholm ²⁾	Vrejlev Landbrug	Gylle	-	-	12 mdr	7 mdr	-	3.440	Sl.svin	7.110	Sl.svin	9.600	Sl.svin	106	211	265
									4.613	Sl.svin	4.670	Sl.svin	9.600	Sl.svin	142	138	264

¹⁾Separatoren ligger på Vrejlev Møllegård

²⁾Der ligger en rørledning fra Søndergård via Krogholm til Vrejlev Møllegård, hvor gyllen kan pumpes til separatoren

Variationer i indhold af kvælstof i gylle i øvrigt

Yderligere er der forventning om, at indholdet af kvælstof pr. ton husdyrgødning svinger fra type til type og mellem produktionsform. For gylles vedkommende svinger indholdet fra 5,5 til 3,3 kg total-N pr. tons, hvor andelen af ammonium-N svinger fra 70 pct. til 80 pct. Derved kan det være svært at fastsætte den forventede udnyttelsesprocent uden foregående analyse af indholdet i gylle og særligt i væskefraktionen, da det i dette tilfælde stammer fra flere forskellige produktionssteder.

Principper for gødningsplanlægning

Der er samlet set store forskelle i de tildelte kvælstofmængder inden for de forskellige afgrøder (se tabel 3.3). Denne variation kan umiddelbart ikke forklares, selvom der tages hensyn til jordbonitet og dyrkningshistorie.

Tablet 3.3. Oversigt over de planlagte kvælstofmængder og variationen for de forskellige afgrøder i 2008. Middelværdien inden for de anvendte gødningstyper i de forskellige afgrøder er kun beregnet ud fra de marker, som er blevet tildelt den pågældende gødningstype.

Afgrøde	Forfrugt	Statistik	Antal Marker	Areal, ha	Handelsgødning		Dybstrøelse			Gylle			Gødningvand			Total Udnyttet N			
					Kg N pr. ha	Kg N pr. afgrøde	Tons pr. ha	Udnyttet N - kg pr. ha	Udnyttet N - kg pr. afgrøde	Tons pr. ha	Udnyttet N - kg pr. ha	Udnyttet N - kg pr. afgrøde	Tons pr. ha	Udnyttet N - kg pr. ha	Udnyttet N - kg pr. afgrøde	Kg pr. ha	Udnyttet N - kg pr. afgrøde		
Havre	Blandet	Middel	3	24,02	21	504	-	-	-	112	2.679	-	-	-	-	-	133		
		Maksimum			21					35							128	149	3.183
		Minimum			21					20							80	101	
Vinterbyg	Korn	Middel	6	60,00	116	6.953	-	-	-	97	3.227	18	66	886	-	-	184		
		Maksimum			225					25							101	291	11.067
		Minimum			71					21							84	92	
Vinterhvede	Korn	Middel	33	392,36	75	29.428	6	20	1.545	64	16.937	20	74	12.078	-	-	153		
		Maksimum			120		6	20	116	199		59.988							
		Minimum			53		6	20	5	17		60							
Vinterhvede	Rajgræs	Middel	2	21,75	53	1.153	-	-	-	98	2.137	-	-	-	-	-	151		
		Maksimum			48					24,7							74	112	
		Minimum			33					20							74	40	
Vinterhvede	Raps	Middel	5	56,08	53	2.701	-	-	-	74	3.571	-	-	-	-	-	127		
		Maksimum			53					20							74	40	6.272
		Minimum			33					20							74	40	
Vinterraps	Korn	Middel	11	88,25	96	8.439	-	-	-	90	7.945	20	74	3.899	-	-	230		
		Maksimum			144					45							173	293	20.283
		Minimum			66					10							8	173	
Vintertriticale	Korn	Middel	4	31,70	87	2.749	-	-	-	74	-	20	74	1.588	-	-	137		
		Maksimum			107					20							74	181	4.336
		Minimum			67					20							74	67	
Vårbyg	Korn	Middel	8	20,63	27	548	-	-	-	103	1.328	20	74	257	-	-	103		
		Maksimum			48					35							128	149	2.133
		Minimum			21					20							74	27	

I gødningsplanen for 2008 er der tilsyneladende anvendt 75 pct. udnyttelse af gylle. Dvs. der ikke skelnes mellem første års og flere års effekter. Hvis alle marker får gylle hvert år, vil det også være fagligt korrekt. Ved væskefraktion er der tilsyneladende også anvendt 75 pct. udnyttelse, hvilket ikke vil være "helt" fagligt korrekt.

Der tages umiddelbart ikke hensyn til det foregående års anvendelse af husdyrgødning og type. Det kan give et forkert billede af den udnyttede mængde kvælstof, hvilket er belyst ved nedenstående eksempel.

Eksempel

En mark fik tildelt væskefraktion i 2008 og 2010, mens den fik gylle i 2009. Den har i alle årene fået 140 kg kvælstof totalt pr. ha, og der har også været vinterhvede i alle årene.

I 2008 var den udnyttede kvælstofmængde i husdyrgødningen 119 kg pr. ha (uden eftervirkning fra 2007). I 2009 vil der være udnyttet 91 kg N pr. ha, da der ikke er nogen eftervirkning. I 2010 vil der være udnyttet 133 kg N pr. ha, da eftervirkningen for 2009 er medregnet. Ud fra praksis i gødningsplanerne vil der være udnyttet 105 kg N pr. ha i alle årene.

I 2008 (se tabel 3.3) varierer den totale kvælstoftilførsel mellem vinterhvedemarkerne med korn som forfrugt fra 131 til 153 kg pr. ha (der er set bort fra marken med en tilførsel på kun 60 kg kvælstof pr. ha). Den totale kvælstoftilførsel til vinterhvede efter vinterraps er 112 kg pr. ha. Der er således taget hensyn til forfrugtsforskellen, dog er der også her en variation, som heller ikke kan forklares.

Table 3.4. Oversigt over de planlagte kvælstofmængder og variationen for de forskellige afgrøder i 2009. Middelværdien inden for de anvendte gødningstyper i de forskellige afgrøder er kun beregnet ud fra de marker, som er blevet tildelt den pågældende gødningstype.

Afgrøde	Forfrugt	Statisk	Antal marker	Areal, ha	Handelsgødning		Dybstrøelse			Gylle i alt			Gødningsvand			Total Udnyttet N			
					Kg N pr. ha	Kg N pr. afgrøde	Tons pr. ha	Udnyttet N - kg pr. ha	Udnyttet N - kg pr. afgrøde	Tons pr. ha	Udnyttet N - kg pr. ha	Udnyttet N - kg pr. afgrøde	Tons pr. ha	Udnyttet N - kg pr. ha	Udnyttet N - kg pr. afgrøde	Kg pr. ha	Kg pr. afgrøde		
Havre	Korn	Middel	2	27,34	17	232	-	-	-	87	2.368	-	-	-	-	95	2.600		
		Maksimum			17					25								87	103
		Minimum			17					25								86	87
Vinterbyg	Korn	Middel	5	99,93	82	8.189	5	16	1.318	69	345	22	72	6.835	167	16.686			
		Maksimum			108					20							69	182	
		Minimum			47					20							69	135	
Vinterhvede	Korn	Middel	30	410,33	76	31.237	-	-	-	109	24.098	22	72	8.347	154	63.682			
		Maksimum			126					25							100	217	
		Minimum			44					20							76	117	
Vinterhvede	Raps	Middel	5	87,75	48	4.243	-	-	-	76	2.476	22	72	3.964	122	10.684			
		Maksimum			54					22							76	130	
		Minimum			45					22							76	117	
Vinterraps	Korn	Middel	9	99,59	96	9.542	-	-	-	95	9.457	20	49	1.417	205	20.417			
		Maksimum			134					40							139	242	
		Minimum			53					20							70	151	
Vintertriticale	Korn	Middel	3	34,00	53	1.786	-	-	-	119	954	-	-	-	81	2.740			
		Maksimum			77					30							119	196	
		Minimum			45					30							119	45	
Vårbyg	Korn	Middel	2	2,87						124	356				124	356			
Vårhvede	Korn	Middel	1	3,85	117	450				20,0	80	306				197	757		

I 2009 (se tabel 3.4) er der også generelt anvendt en udnyttelsesprocent på 75 i både gylle og væskefraktion, dog er der i vårbyg regnet med en 80 pct. udnyttelse, og i efterårsudbringning til vinterrapsen er der regnet med 50 pct. udnyttelse, hvilket er fagligt korrekt. Variationen i den totale tilførsel af udnyttet kvælstof i vinterhvede efter korn er udpræget større, da den varierer fra 117 til 217 kg N pr. ha (se tabel 3.4). I vinterhvede efter vinterraps er variationen væsentligt mindre: fra 117 til 130 kg N pr. ha.

Table 3.5. Oversigt over de planlagte kvælstofmængder og variationen for de forskellige afgrøder i 2010. Middelværdien, inden for de anvendte gødningstyper i de forskellige afgrøder, er kun beregnet ud fra de marker, som er blevet tildelt den pågældende gødningstype.

Afgrøde	Forfrugt	Statisk	Antal marker	Areal, ha	Handelsgødning		Dybstrøelse			Gylle			Gødningsvand			Total Udnyttet N		
					Kg N pr. ha	Kg N pr. mark	Tons pr. ha	Udnyttet N - kg pr. ha	Udnyttet N - kg pr. mark	Tons pr. ha	Udnyttet N - kg pr. ha	Udnyttet N - kg pr. mark	Tons pr. ha	Udnyttet N - kg pr. ha	Udnyttet N - kg pr. mark	Kg pr. ha	Kg pr. mark	
Havre	Blandet	Middel	4	35,40						99	2.524	20	62	615	89	3.138		
		Maksimum					25	106	62	106								
		Minimum					25	96	62	62								
Vinterbyg	Korn	Middel	7	92,60	51	4.721	5	14	17	98	1.404	25	72	4.586	116	10.727		
		Maksimum			53					27							98	139
		Minimum			40					27							98	111
Vinterhvede	Korn	Middel	34	497,98	48	23.925	5	14	1.818	95	35.366	25	72	9.091	141	70.200		
		Maksimum			53					27							100	153
		Minimum			40					20							80	131
Vinterhvede	Raps	Middel	11	126,19	31	3.889	5	14	923	100	6.199	25	72	4.034	143	15.045		
		Maksimum			53					26							103	143
		Minimum			24					25							98	99
Vinterraps	Korn	Middel	6	101,03	33	3.326	-	-	-	57	5.730	35	114	6.014	149	15.070		
		Maksimum			53					40							149	176
		Minimum			27					15							53	143
Vinterrug, hybrid	Korn	Middel	1	21,50	53	1.140					25,0	77	1.651	130	2.791			
Vårbyg	Korn	Middel	2	15,87	53	806	-	-	-	106	71	20	77	878	111	1.755		
		Maksimum			53					25							106	111
		Minimum			53					25							53	106
Vårhvede	Korn	Middel	1	2,20	24	53				25,0	98	215		122	267			

Der er i 2010 (se tabel 3.5) også generelt anvendt en udnyttelsesprocent på 75 i både gylle og væskefraktion, dog er der i visse tilfælde for væskefraktion anvendt en udnyttelsesprocent på 80, men det har ikke været konsekvent for en bestemt afgrøde. I 2010 er variationen i den totale tilførsel af udnyttet kvælstof til vinterhvede efter korn fra 131 til 153 kg N pr. ha, hvilket er noget mindre end i 2009.

3.2 Gødningsplaner for vinterhvedemarker som indgår i projektet

I tabel 3.6 og 3.7 er vist gødningsplaner for hhv. 2008 og 2009 for de vinterhvedemarker, der indgår i projektet.

Tabel 3.6. Oversigt over vinterhvedemarker som indgår i projektet i 2008. Nogle marker er samlet til en mark i projektet i forhold til gødningsplanerne

Bedrift	Mark nr.	Ha	Forfrugt	JB nr	PD	N Behov	Handelsgødning		Husdyrgødning				Total Udnyttet N	N Tilførsel-behov
					Kg N pr. ha	Kg N pr. ha	Type	Kg N pr. ha	Type / tank	Tons pr. ha	N-tot pr. tons	Udnyttet N - kg pr. ha	Kg pr. ha	Kg pr. ha
Kristian Kjær	05-0	4,80	Havre	2	159	173	27N 4S	67					67	-106
Kristian Kjær	05-1	1,40	Havre	2	159	173	27N 4S	67	Vækkefrak.	20,0	4,9	74	141	-33
Vrejlev Landbrug Aps	05-0	7,50	Vinterraps	2	132	149	27N 4S	40					40	-109
Kristian Kjær	11-0	7,30	Vinterhvede	2	159	177	27N 4S	80	Vækkefrak.	20,0	4,9	74	154	-24
Vrejlev Landbrug Aps	16-0	26,90	Vinterraps	2	132	151	27N 4S	54	Gylle	20,0	4,9	74	128	-24
Anders Kjær	17-0	15,00	Vinterhvede	4	159	181	27N 4S	60	Gylle	29,0	5,3	116	176	-6
Vrejlev Landbrug Aps	18-0	13,00	Vinterraps	2	132	159	27N 4S	54	Gylle	20,0	4,9	74	128	-32
Anders Kjær	25-0	22,90	Vinterhvede	4	159	181	27N 4S	60	Gylle	25,0	5,3	100	160	-21
Anders Kjær	26-0	13,45	Rajgræs	4	149	171	27N 4S	53	Gylle	24,7	5,3	98	151	-20
Anders Kjær	27-0	8,30	Rajgræs	4	149	171	27N 4S	53	Gylle	24,7	5,3	98	151	-20
Anders Kjær	28-0	6,10	Vinterhvede	4	159	202	27N 4S	67	Gylle	24,7	5,3	98	165	-37
Vrejlev Landbrug Aps	40-0	14,40	Havre	2	159	194	27N 4S	68	Gylle	20,0	4,9	74	141	-53
Vrejlev Landbrug Aps	47-0	13,40	Vinterhvede	2	159	193	27N 4S	61	Gylle	20,0	4,9	74	134	-59
Vrejlev Landbrug Aps	47-3	13,60	Vinterhvede	2	159	193	27N 4S	61	Gylle	20,0	4,8	72	133	-60
Kristian Kjær	70-0	10,95	Vinterhvede	4	159	192	27N 4S	80	Vækkefrak.	18,0	4,9	66	146	-46
Kristian Kjær	70-1	12,45	Vinterhvede	4	159	192	27N 4S	80					80	-112
<i>Gennemsnit pr. ha</i>					<i>151</i>	<i>177</i>		<i>61</i>				<i>73</i>	<i>135</i>	<i>-42</i>

Tabel 3.7. Oversigt over vinterhvedemarker som indgår i projektet i 2009. Nogle marker er splittet op i flere marker i projektet i forhold til gødningsplanerne

Bedrift	Mark nr.	Ha	Forfrugt	JB nr	PD	N Behov	Handelsgødning		Husdyrgødning				Total Udnyttet N	N Tilførsel-behov
					Kg N pr. ha	Kg N pr. ha	Type	Kg N pr. ha	Type / tank	Tons pr. ha	N-tot pr. tons	Udnyttet N - kg pr. ha	Kg pr. ha	Kg pr. ha
Kristian Kjær	01-0	60,50	Vinterhvede	4	155	155	27N	81	Vækkefrak.	20	4,4	65	146	-9
Kristian Kjær	10-0	15,20	Vinterhvede	2	155	155	27N	45	Vækkefrak.	22	4,4	72	117	-38
Vrejlev Landbrug Aps	16-0	26,90	Vinterhvede	2	155	155	27N	74	Gylle	22	4,6	76	150	-5
Anders Kjær	17-0	15,12	Vinterhvede	4	155	165	27N 4S	73	Gylle	20	5,3	80	153	-13
Anders Kjær	25-0	22,90	Vinterhvede	4	155	166	27N 4S	44	Gylle	20	5,3	80	124	-43
Anders Kjær	26-0	13,45	Vinterhvede	4	155	165	27N 4S	124	Gylle	20	5,3	80	204	39
Kristian Kjær	32-0	55,06	Vinterraps	4	128	135	27N	45	Vækkefrak.	22	4,4	72	117	-18
Vrejlev Landbrug Aps	48-0	16,30	Havre	2	155	155	27N	68	Gylle	25	4,6	86	154	-1
Vrejlev Landbrug Aps	55-0	70,83	Vinterhvede	6	172	160	27N	81	Gylle	25	4,6	86	167	7
Vrejlev Landbrug Aps	58-0	32,96	Vinterhvede	6	172	160	27N	74	Gylle	25	4,6	86	161	1
Kristian Kjær	70-0	23,40	Vinterhvede	4	155	155	27N	45	Vækkefrak.	22	4,4	72	117	-38
<i>Gennemsnit pr. ha</i>					<i>156</i>	<i>155</i>		<i>68</i>				<i>77</i>	<i>146</i>	<i>-9</i>

I praksis afviger den aktuelle tilførsel af næringsstoffer. Det skyldes dels, at gødningsplanen ikke følges konsekvent (der udbringes en anden mængde og type af gødning), og dels at det reelle indhold af næringsstoffer i gyllen ikke passer med det, som er forudsat i planen. Ved alle udbringninger af husdyrgødning til marker, der indgår i projektet, er der for hver tank i hvert af årene 2008-2010 udtaget gylleprøve til laboratorieanalyse. Samtidig er den udbragte mængde registreret. Det giver mulighed for at sammenligne den faktisk udbragte mængde med den planlagte mængde.

3.3 kvælstofindhold I husdyrgødning: Forskel mellem forventede koncentrationer og analyser

Tabel 3.8 og 3.9 viser, for hhv. 2008 og 2009, oversigter over både forventet og analyseret kvælstofindhold i gylle fra de gylletanke, der indgår i projektet.

Tabel 3.8. Oversigt over indholdet af kvælstof i de forskellige gylletanke ud fra analysen og den forventede ifølge DLBR Mark i 2008

2008		Analyse		DBLR Mark		Forskel	
Tank	Kommentar	Total N kg/ton	NH3-N kg/t	Total N kg/ton	NH3-N kg/t	Total N kg/ton	NH3-N kg/t
2	Gylle Vr. Mølleg.	3,68	2,77	4,4	3,3	-0,7	-0,5
3	Gødning vand	2,81	2,43	4,9	-	-2,1	-
4	Gylle Vester Harken	6,86	4,48	5,1	3,8	1,8	0,7
7	Gylle Søndergård	5,60	4,34	4,9	3,7	0,7	0,6
8	Gylle Krogholm	4,88	3,55	4,8	3,6	0,1	-0,1
8 (5-1)	Gylle Krogholm	4,74	3,64	4,8	3,6	-0,1	0,0
8 (17-0)	Gylle Krogholm	5,08	3,74	4,8	3,6	0,3	0,1

I 2008 er den største afvigelse i væskefraktionen, hvor det reelle indhold af det totale kvælstof er 2,1 kg pr. tons mindre end det forventede. For gylletanken ved Vester Harken er det reelle indhold 1,8 kg total-N pr. tons højere end det forventede. Resten ligger inden for en afvigelse på under 1,0 kg total-N pr. tons.

Tabel 3.9. Oversigt over indholdet af kvælstof i de forskellige gylletanke ud fra analysen og den forventede ifølge DLBR Mark i 2009

2009		Analyse		DBLR Mark		Forskel	
Tank	Kommentar	Total N kg/ton	NH3-N kg/t	Total N kg/ton	NH3-N kg/t	Total N kg/ton	NH3-N kg/t
2	Gødning vand	3,36	2,75	4,4	-	-1,0	-
3	Gødning vand	4,01	3,09	4,4	-	-0,4	-
4	Gylle Vester Harken	5,64	4,32	5,0	3,7	0,6	0,6
5	Gødning vand	3,96	2,94	4,4	-	-0,4	-
6	Gødning vand	3,68	2,36	4,4	-	-0,7	-
7 (2008)	Gylle Søndergård	5,60	4,34	4,8	3,6	0,8	0,7
9	Gylle Børglum tidlig	4,83	3,11	4,6	3,4	0,2	-0,3
9	Gylle Børglum sen	6,43	4,47	4,6	3,4	1,8	1,1
8 (mangler)	Gylle Krogholm	4,69	3,42	4,6	3,4	0,1	0,0

For 2009 er den største afvigelse for gylletanken i Børglum ved den sene tildeling, hvor det reelle indhold af det totale kvælstof er 1,8 kg pr. tons højere end det forventede. Resten ligger inden for en afvigelse på under 1 kg total-N pr. tons. Nedenstående eksempel belyser vigtigheden af at kende kvælstofindholdet præcist:

Eksempel

Ved en afvigelse på 1,0 kg total-N pr. tons ved udbringning af 25 tons gylle pr. ha med 75 pct. effekt vil det medføre en afvigelse på ca. 19 kg udnyttet N pr. ha. Det vil være ca. 38 kg N ved en afvigelse på 2,0 kg total-N pr. tons.

3.4 Optimal tilførsel af husdyr- og handelsgødning ved ”god landmandspraksis”

De tidligere afsnit belyste vigtigheden af at holde styr på de forskellige husdyrgødningstyper og deres indhold af kvælstof for at få den mest optimale fordeling af kvælstof. På baggrund af dette er udregnet den optimale fordeling af kvælstof på vinterhvedemarkerne, som indgår i Yara-projektet (se tabel 3.10). Udregningen er baseret på tre faktorer:

- Kvælstofbehovet for de enkelte marker baseret på DLBR-Mark
- Plantedirektoratets norm for vinterhvedemarkerne inklusiv kvælstofprognosen
- Den tildelte husdyrgødning.

Der er ikke taget højde for en mulig anderledes differentiering mellem de enkelte afgrøders kvælstoftildeling mellem markerne.

Tabel 3.10. Oversigt over den optimale tilførsel af kvælstof i husdyr- og handelsgødning i årene 2008 og 2009

Næringsstofoversigt for kvælstof	2008		2009	
	Kg N i alt	Kg N pr. ha	Kg N i alt	Kg N pr. ha
Areal, ha	191,45	-	352,62	-
PD Normen	28.943	151	54.934	156
Tilførselsbehov	33.920	177	54.611	155
Unyttet i husdyrgødning (PD) ¹⁾	14.875	78	29.868	85
Handelsgødning ²⁾	14.068	73	25.066	71
Unyttet i husdyrgødning (fagligt) ³⁾	13.004	68	29.525	84
Eftervirkning ⁴⁾	1.927	10	3.334	9
Tilførsel - behov, efter husdyrgødning ⁵⁾	-20.916	-109	-25.087	-71
Tilførsel - behov, efter handelsgødning	-6.848	-36	-21	0

¹⁾PDs krav er 75 pct. udnyttelse af total N, da eftervirkning er indregnet

²⁾Handelsgødning = PD Normen - Udnyttet i husdyrgødning (PD)

³⁾Svinegylle 65 pct. og væskefraktion 85 pct. udnyttelse af total N i vintersæd

⁴⁾Svinegylle 10 pct. og væskefraktion 0 pct. eftervirkning

⁵⁾Beregnet ud fra den faglige udnyttelse

I tabel 3.10 vises, at der er stor forskel mellem tilførselsbehovet for kvælstof i de enkelte år. I 2008 var tilførselsbehovet for kvælstof 177 kg pr. ha. Plantedirektoratets norm var 151 kg N pr. ha, hvilket er ca. 15 pct. lavere end behovet. I 2009 var tilførselsbehovet for kvælstof 155 kg pr. ha, hvilket var 1 kg lavere end Plantedirektoratets norm. Udnyttelsen af husdyrgødning for kvælstof er udregnet ud fra Plantedirektoratets krav og den faglige udnyttelse af husdyrgødning. Det skal dog nævnes, at der ikke er noget fagligt forkert ved Plantedirektoratets krav. Det er blot en forenkling, hvor der er indbygget to forudsætninger:

- 1) at der tildeles husdyrgødning hvert år på alle markerne og
- 2) at det er den samme husdyrgødningstype.

Dette er også tilfældet i de fleste situationer. Handelsgødningsmængden til rådighed er udregnet efter Plantedirektoratets krav om udnyttelse af husdyrgødning, men er fordelt ud fra den faglige udnyttelse, hvor eftervirkning i gyllen er fraregnet. Handelsgødningen er fordelt således, at den

totale tildelte mængde kvælstof for de enkelte marker afviger lige meget procentvis fra deres tilførselsbehov. Fordeling på de enkelte marker kan ses i tabel 3.11.

Tabel 3.11. Oversigt over den optimale tilførsel af kvælstof i husdyr- og handelsgødning på markniveau i årene 2008 og 2009

Mark nr.	Forfrugt	Areal, ha	PD Nornen	Tilførselsbehov	Unyttet i husdyrgødning (PD)	Handelsgødning	Unyttet i husdyrgødning (fagligt)	Eftervirkning ¹⁾	Tilførsel - behov, efter husdyrgødning	Tilførsel - behov, efter handelsgødning
2008										
5-0	Havre	6,20	159	173	71	76	62	9	-111	-35
5-0	Vinterraps	7,50	132	149	71	57	62	9	-87	-30
11-0	Vinterhvede	7,30	159	177	55	93	48	7	-129	-36
16-0	Vinterraps	26,90	132	151	76	54	66	10	-85	-30
17-0	Vinterhvede	15,00	159	181	62	91	54	8	-127	-37
48-0	Vinterraps	13,00	132	159	42	90	37	6	-122	-32
25-0	Vinterhvede	22,90	159	181	103	55	89	14	-92	-37
26-0	Rajgræs	13,45	149	171	103	47	89	14	-82	-35
27-0	Rajgræs	8,30	149	171	51	79	57	-	-114	-35
28-0	Vinterhvede	6,10	159	202	103	72	89	14	-113	-41
40-0	Havre	14,40	159	194	55	107	48	7	-146	-39
47-0 (47-3)	Vinterhvede	27	159	193	73	91	63	10	-130	-39
70-0 (70-1)	Vinterhvede	23,40	159	192	103	64	89	14	-103	-39
2009										
1-0	Vinterhvede	60,50	155	155	88	79	76	12	-79	0
10-0	Vinterhvede	15,20	155	155	88	79	76	12	-79	0
16-0	Vinterhvede	26,90	155	155	63	84	71	-	-84	0
17-0	Vinterhvede	15,12	155	165	75	80	85	-	-80	0
25-0	Vinterhvede	22,90	155	166	106	74	92	14	-74	0
26-0	Vinterhvede	13,45	155	165	88	89	76	12	-89	0
32-0	Vinterraps	37,47	128	135	63	64	71	-	-64	0
36-0	Vinterraps	17,59	128	135	105	44	91	14	-44	0
48-0	Havre	16,30	155	155	88	79	76	12	-79	0
55-0 55-1	Vinterhvede	70,83	172	160	91	81	78	12	-82	0
58-0 (64-0)	Vinterhvede	32,96	172	160	153	27	133	20	-82	0
70-0	Vinterhvede	23,40	155	155	74	71	84	-	-71	0

¹⁾Ingen eftervirkning, hvor der er anvendt væskefraktion

Økonomisk konsekvens af manglende gylleanalyse og uens tildeling

Den økonomiske konsekvens af, at den tilførte kvælstofmængde afviger fra den optimale fordeling af kvælstof er beregnet. Beregningen er foretaget ved at sammenholde værdierne i tabel 3.11 (optimal fordeling) med den faktisk tilførte kvælstofmængde beregnet ud fra tilførsel af handelsgødning, den tilførte mængde af gylle multipliceret med udnyttelsesprocenten for den givne gylletype. Afvigelsen mellem den tilførte og den optimale kvælstofmængde er en sum af, at mængden af den tilførte gyllemængde, analysen af den aktuelt tilførte gylle og udnyttelsesprocenten afviger fra den planlagte og/eller den optimale mængde. I tabel 3.12 er vist, hvor stor en del af arealet af vinterhvede, der falder inden for en given afvigelse.

Det økonomiske tab ved afvigelsen er beregnet med en udbyttefunktion, der generelt beskriver sammenhængen mellem udbytte og kvælstoftilførsel i vinterhvede (Knudsen, L, 2010).

Resultatet af denne beregning er vist i tabel 3.12, hvor tabet pr. ha er opskaleret til at gælde hele ejendommen. Det ses, at der i 2008 er beregnet et samlet tab på godt 140.000 kr., mens tabet i 2009 er beregnet til godt 60.000 kr. Det viser, at der er et betydeligt potentiale i at forbedre den eksisterende gødskningspraksis. Vil man gennemføre en mere detaljeret gødningsplanlægning, hvor der tages hensyn til de aktuelle analyser, større differentiering af udnyttelsesprocent mv., vil det medføre omkostninger til både tidsforbrug og kemiske analyser. Dette skønnes realistisk set at kunne gøres for en omkostning på under 20.000 kr. pr. år.

Table 3.12. Overview of deviation of the utilized nitrogen amounts in agricultural fertilization between the planned and actual allocated amounts, and the economic significance

År	Interval af afvigelse, kg N pr. ha							Afvigelse ialt, kg N pr. ha	Betydning af afvigelse, kr. pr. ha	I alt på 800 ha, kr. i alt
	< 50	30 - 50	10 - 30	10 - -10	-10 - -30	-30 - -50	< -50			
Pct. af areal med afvigelse fra gødningsplan ¹⁾										
2008	8	11	11	50	0	0	19	-4,2	-178	-142.411
2009	0	0	8	50	28	5	9	-13,5	-77	-61.502

¹⁾Positive deviation means that there is less nitrogen applied than planned

4.0 KLIMATISKE FORHOLD I 2008-2010

Resultaterne af forsøg og undersøgelser i marken er præget af de klimatiske forhold. I dette afsnit gives en oversigt over de vigtigste klimatiske parametre, der har påvirket væksten og forsøgsresultaterne i de tre år.

Høstår 2008

I etableringsfasen i september – oktober var middeltemperaturen 0,4 grader lavere end normalen, dvs. tæt på normalen. Samtidigt har nedbørsmængden ligget noget under normalen, hvilket kan ses i tabel 4.1. I perioden november – marts var temperaturen meget over normalen, mens nedbøren var lidt højere end normalen. Foråret, den tidlige vækstperiode, havde også højere temperatur end normalt, dog med enkelte dage med dagsfrost i slutningen af marts. Overvintringen af vinterhveden var god, og vinterhveden var kraftigere end normalt fra vækstsæsonens begyndelse. Forsommeren var en forholdsvis varm periode med en meget lille nedbørsmængde, hvilket medførte et meget stort nedbørunderskud, som ses i figur 4.1. Afgrøderne var fra slutningen af maj frem til høst meget tørkepræget.

Tabel 4.1. Middeltemperaturen i udvalgte perioder for høstårene 2008, 2009 og 2010

Periode	Middeltemperaturen			
	2007-2008	2008-2009	2009-2010	Normal
Sep. – Okt.	10,2	10,9	10,4	10,6
Nov. – Mar.	3,9	2,5	0,3	1,3
Apr. – Jun.	11,4	11,4	10,0	10,2

Høstår 2009

Under etableringsfasen i efteråret 2008 var middeltemperaturen højere end normalen, tabel 4.1, og nedbørsmængden var forholdsvis høj, tabel 4.2. Vinteren 2008 – 2009 var varmere end normalen og havde en forholdsvis lille nedbørsmængde. Overvintringen af vinterhvede var god, og udviklingen langt fremme ved vækstsæsonens begyndelse. Foråret og forsommeren 2009 var relativt lune sammenlignet med normalen, dog med større nedbørsmængde i modsætning til det foregående vækstår. Vækstforholdene var i 2008-2009 stort set ideelle til vinterhvede.

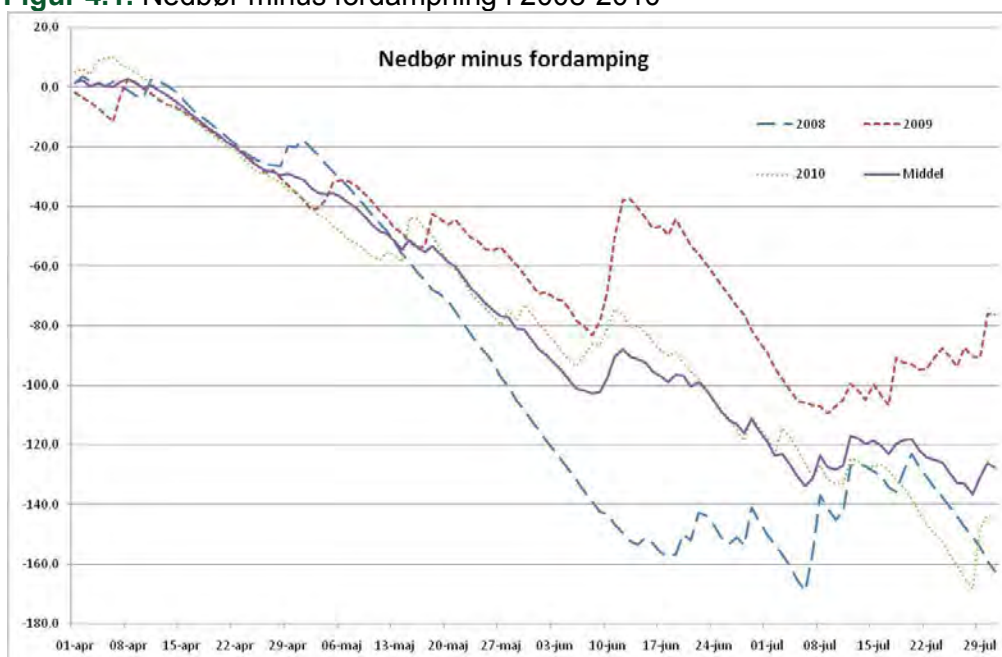
Tabel 4.2. Nedbørsmængden i udvalgte perioder for høstårene 2008, 2009 og 2010

Periode	Nedbørsmængden			
	2007-2008	2008-2009	2009-2010	Normal
Sep. – Okt.	114	171	118	148
Nov. – Mar.	330	246	323	270
Apr. – Jun.	107	170	108	141

Høstår 2010

I efteråret 2009 var middeltemperaturen lidt lavere end normalen, tabel 4.1, og nedbørsmængden var en del lavere end normalen, tabel 4.2. Vinteren 2009-2010 var en kold periode, med en temperatur en hel grad lavere end normalen for november til marts, med dagsfrost helt ind i marts. Nedbørsmængden var højere end normalen, dog faldt størstedelen af nedbøren i denne periode som sne. I marts smeltede det isolerende snedække, hvilket medførte udvintring af afgrøderne, da der efterfølgende var dage med dagsfrost. Denne situation gav anledning til omsåninger på store arealer i vintersæden. Enten som omsåning af hele marken eller isåning af vårbyg i større eller mindre områder. Den kolde tendens fortsatte i foråret og forsommeren 2010, der var koldere end normalen og de to foregående høstår. Nedbørsmængden var en del lavere end normalen, men det gav ikke anledning til et stort nedbørsunderskud, figur 4.1.

Figur 4.1. Nedbør minus fordampning i 2008-2010



5.0 BESKRIVELSE AF ANVENDTE TEKNIKKER

I projektet er anvendt forskellige plante- og jordsensorer. I dette afsnit vil der være en kort beskrivelse af de anvendte sensorer, som er:

1. Yara N-Sensor fra Yara
2. VMSP EC fra Veris Technologies

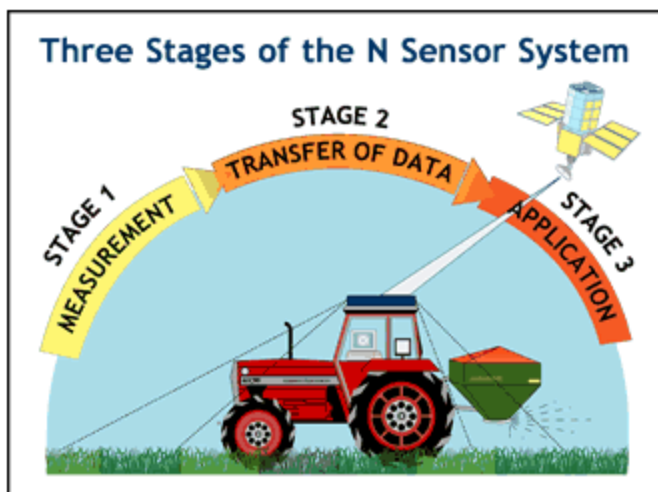
5.1 Yara N-sensor

Yara N-Sensor er en plante-sensor, der tildeler kvælstof on-the-go i marken, ud fra målinger af afgrødens klorofylindhold (grønkorn) og biomasse.

En Yara N-Sensor består af følgende enheder:

- 1) Sensor-enhed monteret på traktorens tag, der måler i fire områder omkring traktoren
- 2) Computer i førerhuset

Tildeling af kvælstof med Yara N-Sensor foregår i 3 trin – se figur 5.1. Første trin er, at de fire sensorer på traktorens tag måler afgrødens klorofylindhold og biomasse. Derefter beregnes afgrødens kvælstofbehov ud fra en sammenhæng mellem den målte klorofyl og det målte kvælstof i afgrøden. Til sidst går der besked til gødningssprederen om, hvilken mængde gødning, der skal tildeles på netop dette sted i marken. Dette foregår, mens der køres i marken – deraf udtrykket ”on-the-go”.

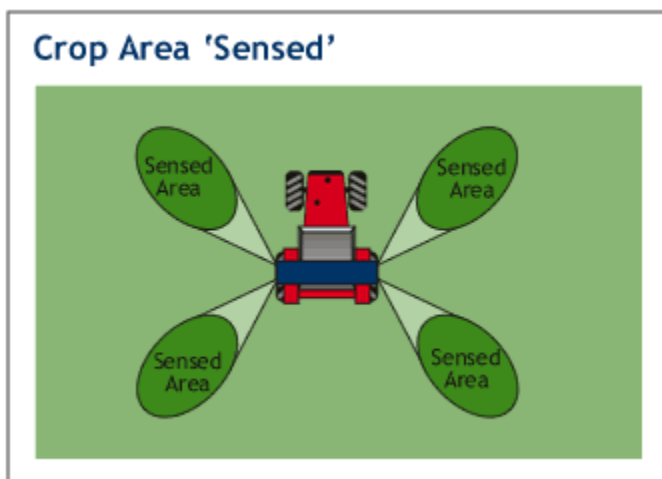


Yara N-sensor systemet består af:

- 1) Måling af afgrødens klorofyl og biomasse
- 2) Databehandling
- 3) Kvælstoftilførsel

Figur 5.1. Måling og tildeling af kvælstof med Yara N-sensor foregår i tre trin, som vist på figuren. Tildeling af gødning sker under kørsel i marken (on-the-go).

I sensorkassen, der er monteret på traktorens tag, sidder i alt fire sensorer, der peger i hver sin retning - se figur 5.2. De fire sensorer måler lysrefleksionen fra afgrøden fra fire forskellige vinkler, der tilsammen dækker et areal på 50 m².



Figur 5.2. Yara N-sensor måler afgrødens klorofyl og biomasse fra fire forskellige vinkler, der dækker et areal på i alt 50 m².

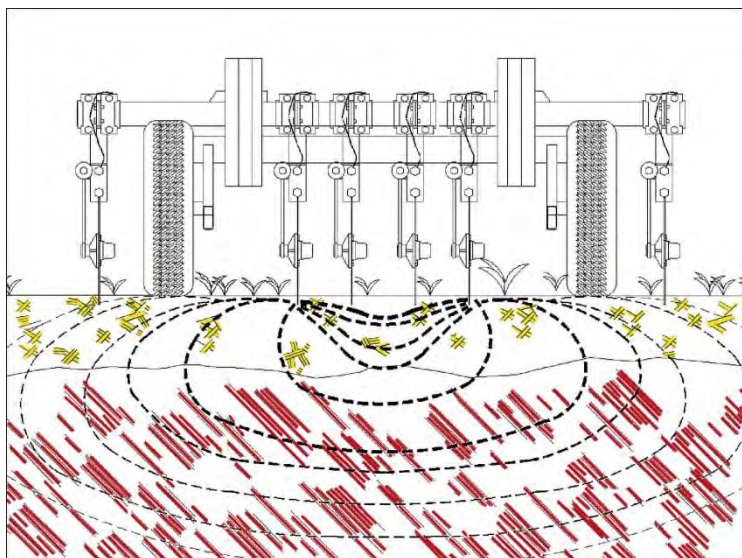
5.2 VMSP EC – måling af jordens elektriske ledningsevne

Måling af jordens ledningsevne giver et udtryk for jordens tekstur (indhold af sand og ler). Selve målingen sker ved, at en elektrode sender en kendt spænding ned i jorden, hvorefter en anden elektrode måler spændingsfaldet. En høj EC-værdi er ensbetydende med et højt lerindhold i jorden eller et højt humusindhold, og jo lavere værdi, jo mere sandet er jorden. Et stigende humusindhold giver en højere elektrisk ledningsevne. En høj værdi for elektrisk ledningsevne kan derfor både skyldes et højt lerindhold og et højt humusindhold.

VMSP EC måler jordens ledningsevne i to dybder på én gang:

- 0-30 cm's dybde
- 0-90 cm's dybde.

De fire midterste skær måler jordens elektriske ledningsevne i 0-30 cm, og de to yderste skær måler i hele jordprofilen 0-90 cm – se figur 5.3.



Figur 5.3. Skitse af Veris EC. De yderste skær måler jordens ledningsevne i 0-90 cm, mens de midterste fire skær måler jordens ledningsevne i topjorden 0-30 cm.

VMSP EC er sat op til at logge data hvert andet sekund, så der genereres en EC-måling for ca. hver fjerde meter – i alt ca. 100 EC-målinger pr. ha. VMSP EC kræver ikke kalibrering, hvilket gør, at data mellem marker umiddelbart kan sammenlignes. Tolkningen af VMSP EC værdier kan dog formodentlig forbedres ved at gennemføre en lokal kalibrering mod lerindholdet.

6. FORSØGSOPBYGNING OG DESIGN

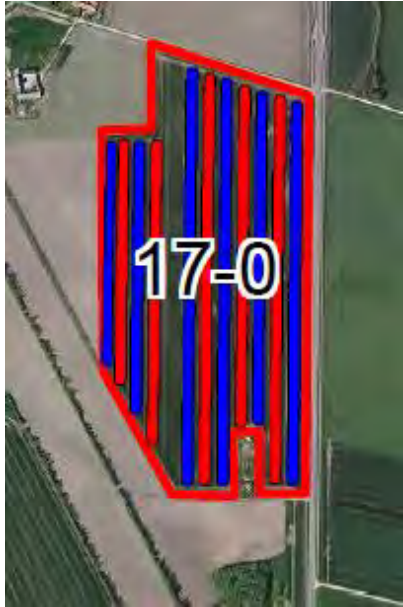


I hvert af de tre år indgår ca. 300 ha vinterhvede i projektet. På hver mark er der gennemført forskellige målinger og undersøgelser. I tabel 6.1 ses en oversigt over de aktiviteter, der har været i projektet i årene 2008 til 2010.

For at karakterisere jorderne er alle marker kørt over med Veris EC (elektrisk ledningsevne). Derudover er der udtaget både standardanalyser (Rt, Pt, Kt, Mgt) og teksturanalyser i 2010 i alle de marker, der gennem årene har indgået i projektet.

Tabel 6.1. Oversigt over de aktiviteter, der indgår i projektet 2008 til 2010

Oversigt	Aktivitet	2008	2009	2010
Ejendom	Antal ha	260	293	100
	Antal marker	12	19	5
Biomasse	Biomasse måling 1	15. april	19. marts	11. april
	Biomasse måling 2	6. maj	21. april	3. maj
	Biomasse måling 3	21. maj	6. maj	25. maj
	Biomasse måling 4	26. juni	-	14. juni
Kvælstof	N-tildeling med Sensor 1. tildeling	9. maj	22. april	29. maj
	N-tildeling med Sensor 2. tildeling	28. maj	12. maj	-
Jord	Veris EC målinger, alle marker		x	
	Tekstur i alle marker, alle marker		x	
	Standard analyser, alle marker		x	
Forsøg	Sensor og ens striber	x	x	x
	50 og 200 kg N striber	x	x	-
	Miljø forsøg	-	x	x

I figur 6.2 er vist en oversigt over de tre forskellige forsøgsdesign, der er gennemført i hvert af årene. De tre forsøgsdesigns samt resultater beskrives i efterfølgende afsnit: Stribeforsøg i afsnit 7, Yara N-sensor-forsøg i afsnit 8 og Miljøforsøg i afsnit 9.

<p>1. Yara N-sensor forsøg Hvert andet kørespor i hver mark tildeles gødning efter henholdsvis gødningsplan (Blå) og Yara N-sensor (Rød). Forsøget høstes med mejetærsker med udbyttmåler og GPS.</p>	<p>2. Stribeforsøg I hver mark anlægges et kørespor, hvor den ene side af køresporet tildeles 50 kg N pr. ha, og den anden side tildeles 200 kg N pr. ha i handelsgødning. Der er ikke tildelt gylle inden for arealet. Forsøget høstes med mejetærsker, med udbyttmåler og GPS.</p>	<p>3. Miljøforsøg (parcelforsøg) Traditionelt parcelforsøg. Forsøget høstes med forsøgsmejetærsker.</p>
		

Figur 6.2. Oversigt over de tre forskellige forsøgsdesign, der hvert år er afprøvet i projektet.

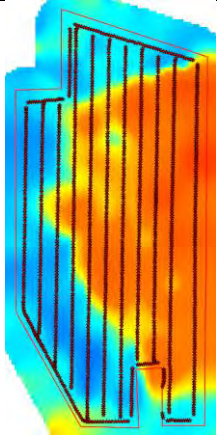
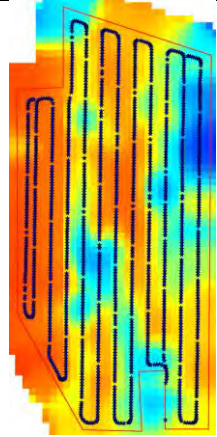
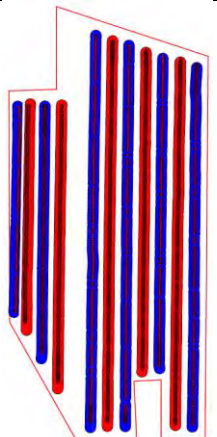
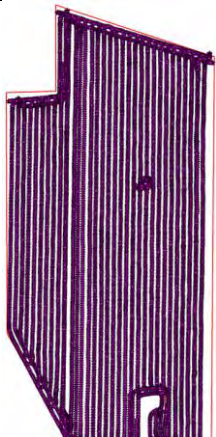
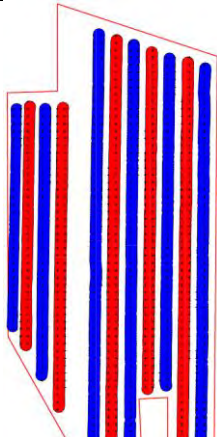
6.1 Databehandling i GIS

En af udfordringerne i projektet har været at sammenstille data fra flere forskellige maskiner og måleinstrumenter, der måler med forskellig intensitet og med forskellig kørselstæthed i marken. Udfordringen er at udarbejde et samlet datasæt, der for ethvert punkt i marken har tilknyttede værdier for henholdsvis:

- Jordens elektriske ledningsevne (Veris EC)
- Biomasse (flere målinger pr. år)
- Kvælstoftildeling henholdsvis med Yara N-sensor og ensartet tildeling
- Udbyttmålinger fra mejetærsker
- Jordprøver, tekstur og standardanalyser (Rt, Pt, Kt og Mgt).

I figur 6.3 ses en oversigt over de forskellige målinger, der er foretaget i projektet. For overskuelighedens skyld er kun vist data fra én mark. Som det fremgår, er der variation i både måletæthed og kørselsintensitet (mejetærsker har størst kørselsintensitet).

Figur 6.3. Kort A og B viser, hvor målingerne for henholdsvis jordens elektriske ledningsevne og biomasse – den faktiske kørsel - er vist, og bagved ses de interpolerede målinger – røde farver er høje værdier og blå er lave værdier. Kort E viser den endelige resultattabel, hvor alle data er koblet op på hvert af punkterne (10*10 meter) beliggende inden for henholdsvis en blå stribe (ens tildeling) og en rød stribe (sensor tildeling).

<p>A) Jordens elektriske ledningsevne (jordtype). Det bagved-liggende kort viser de faktiske målinger interpoleret inden for marken.</p>	<p>B) Biomasse måling. Det bagved-liggende kort viser de faktiske målinger interpoleret inden for marken.</p>	<p>C) N-tildeling Rød stribe er N tildelt med Yara N sensor. Blå er ensartet N-tildeling.</p>	<p>D) Udbyttedata fra mejetærsker med foldmeter.</p>	<p>E) Master Inden for hver "gødningsstribe" er dannet punkter med 10 meter i mellem. På disse punkter hæftes alle øvrige data op via Point Inspection.</p>
				

Datavalidering

Det anvendte GIS software er MapInfo Professionel 10.5 med de to eksterne programmer Vertical Mapper og Engage 3D.

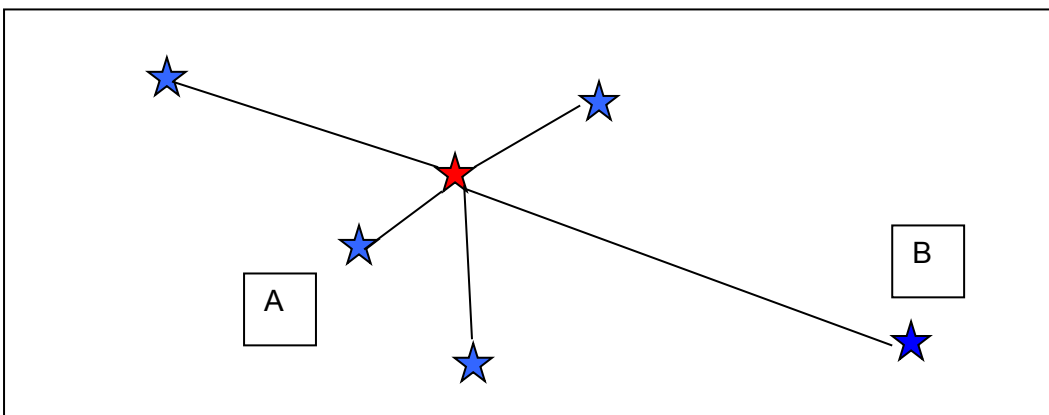
Når data er indlæst i GIS, sker den første datavalidering, hvor de data, der er "outliers" fjernes fra datasættet. Det kan være målinger med værdien -9999, eller de første 30 meter mejetærskeren kører i starten og slutningen af en høststribe. Det er også en outlier, hvis mejetærskeren har været nødt til at bakke midt i høstsporet, og i så fald fjernes ligeledes de følgende 30 meter. Udover dette kan der forekomme urealistisk høje eller lave værdier. Fjernelse af data skal ske med forsigtighed, da det ofte er af faglig interesse, hvad der sker i områder af marken, hvor der er meget lave eller meget høje værdier.

Interpolation

Figur 6.3, kort B, viser de målte biomassedata, der er interpoleret – de røde farver viser høje værdier i marken, og de blå viser lave værdier. Begrundelsen for at interpolere data, er et behov for at kende værdier, hvor der ikke er nogen eksakt målt værdi. Interpolation er et intelligent gæt på værdier, hvor disse ikke findes.

Baggrunden for interpolation er Tobler's lov, der siger, at alle punkter er relateret til hinanden, men punkter, der ligger i nærheden af hinanden er tættere korrelerede end punkter, der ligger længere væk (positiv autokorrelation) - se figur 6.4.

Den interpolerede værdi er et vægtet gennemsnit af de målte værdier, hvor afstanden til det målte punkt kvadreres. Det betyder, at den højeste vægt gives til det nærmeste punkt, og at vægtingen af et punkt falder med en faktor 4, når afstanden fordobles og en faktor 9, når afstanden tredobles. Det betyder, at den interpolerede værdi aldrig kan blive højere eller lavere end udgangsmaterialet.



Figur 6.4. Den røde stjerne er den værdi, der skal beregnes ud fra værdierne i de blå stjerner, som er målte værdier. Punkt B's indflydelse på den beregnede værdi i den røde stjerne, falder med en faktor 9, idet afstanden til den røde stjerne er tre gange så stor som afstanden til punkt A.

Point inspection

Point inspection er et værktøj i GIS, der som en tegnestift prikker ned igennem de forskellige interpolerede lag (Biomasse, N-tildeling, udbytte mm.) og henter den værdi, den "rammer" fra de enkelte interpolerede lag – se figur 6.5. Derved kan der fremstilles et sammenhørende datasæt, hvor der til ethvert punkt kan kobles data fra de forskellige målinger. Dette datasæt kaldes Master (figur 6.3, kort E).

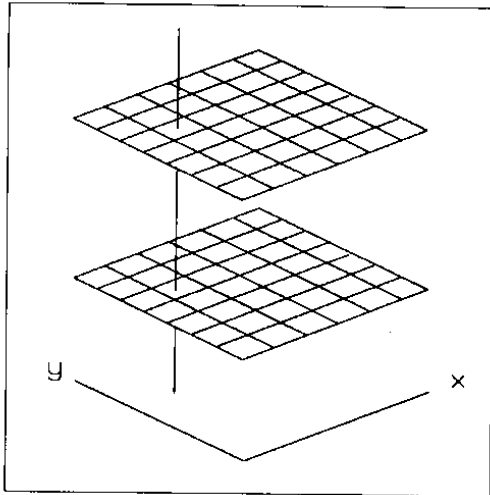


Fig. 6.5. Skematisk tegning af rastermodellen, hvor celler i det ene lag sammenholdes med celler i det andet lag.

Alle målinger i marken, frem til kvælstoftilførsel med henholdsvis Yara N-sensor og ens kvælstoftildeling i hvert andet sprøjtespor, kan umiddelbart interpoleres inden for hele marken. Efter den stribevis behandling håndteres data i en separat fil for hver af de to behandlinger, og interpolationen foretages for hvert datasæt. Det betyder, at alle data beliggende inden for den røde bufferstribe interpoleres for sig, og data beliggende inden for den blå bufferstribe interpoleres for sig – se figur 6.3, kort C.

7. STRIBEFORSØG MED 50 OG 200 N STRIBER

Stribeforsøgene er betegnelsen for én stribe med tilførsel af henholdsvis 50 kg og 200 kg kvælstof pr. ha i handelsgødning anlagt i hele agerlængden pr. mark. Striberne er 6 meter brede og ligger inden for samme kørespor, dvs. med en afstand på ca. 6 meter – se figur 6.2 forsøgsdesign 2. Striberne er høstet separat med landmandens mejetærsker med elektronisk logning af udbytter og position. Formålet med stribeforsøgene er, at

- fastlægge kvælstofbehovet pr. mark
- fastlægge variationen i kvælstofbehovet inden for marken
- give mulighed for udvikling af algoritmer til optimal fordeling af kvælstof.

7.1 Forsøgenes gennemførelse

I **tabel 7.1.** er vist en oversigt over, de enkelte behandlinger og målinger i striberne i hvert af de to år, hvor stribeforsøgene er gennemført.

	2008	2009
Antal marker		
Dato for tilførsel af 50 kg kvælstof pr. ha	15/3	25/3
Dato for tilførsel af 150 kg kvælstof pr. ha.	15/4	15/4
Dato for måling af biomasse 1. gang	15/3	(19/3)22/4
Dato for måling af biomasse 2. gang	15/4	22/4
Dato for måling af biomasse 3. gang ¹⁾	6/5	25/5
Dato for måling af biomasse 4. gang ¹⁾	16/5	

¹⁾ I nogle målinger er målinger af biomasse med Yara N-sensor ikke udført separat for hver af de to gødningsstriber. Det betyder, at der ikke kan skelnes mellem de to striber.

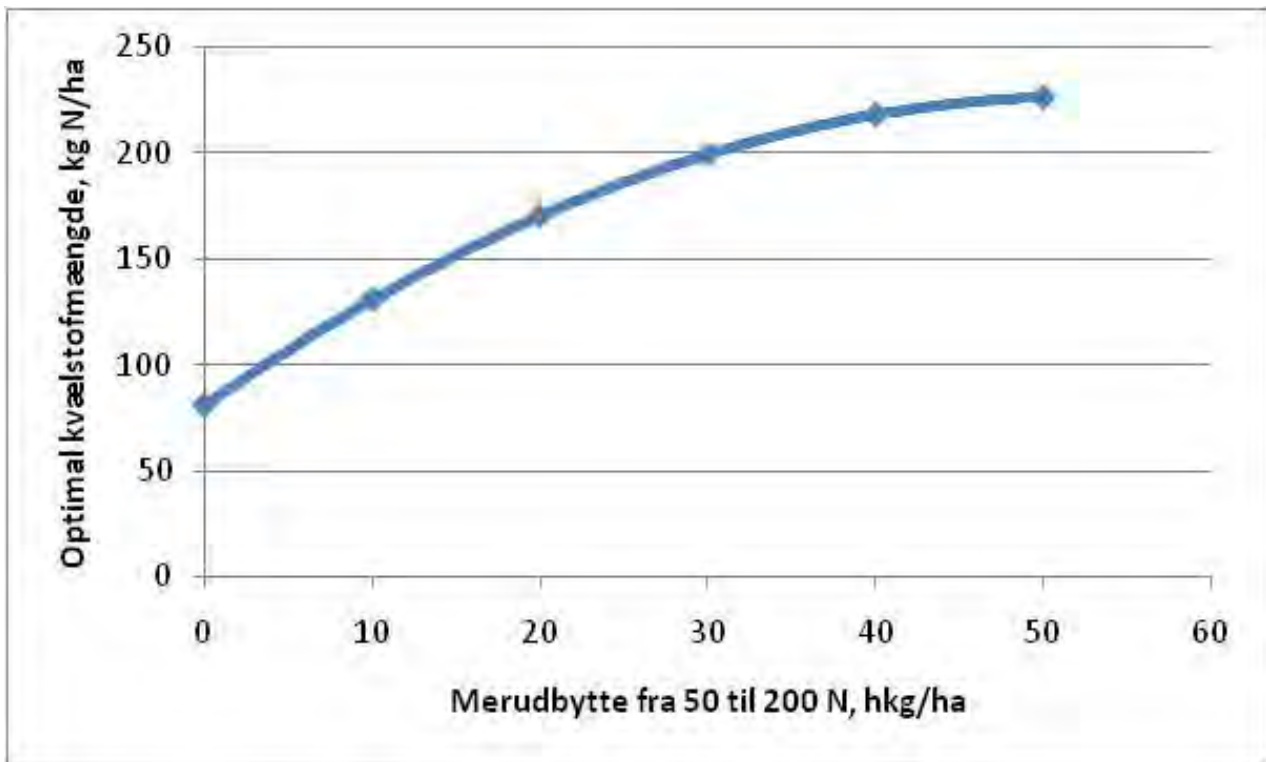
I 2010 er data fra forsøgene ikke anvendt på grund af omfattende udvintringsskader.

7.2 Beregning af kvælstofbehov ud fra resultater

Udbyttet er beregnet punktvis for et 10 meter grid i hver stribe ved at interpolere udbyttedata. Det gennemsnitlige udbytte for henholdsvis 50 og 200 kg kvælstof striben findes som gennemsnit af griddata.

Beregning af kvælstofbehovet sker ud fra forskellen i udbyttet mellem 50 og 200 kg kvælstofstriben. Metoden er beskrevet nærmere i bilag 1. Metoden bygger på en analyse af 263 landsforsøg med stigende mængder kvælstof til vinterhvede. Her er undersøgt sammenhængen mellem den beregnede optimale kvælstofmængde ud fra seks kvælstofniveauer og forskellen i udbytte i forsøgsled tildelt 200 kg og 50 kg kvælstof pr. ha. Denne korrelation er statistisk sikker med en R^2 værdi på 0.79. Sammenhængen mellem merudbyttet for at øge kvælstofmængden fra 50 til 200 kg pr. ha og den optimale kvælstofmængde fremgår af figur 7.1. Formlen til beregning af den optimale kvælstofmængde gælder principielt kun ved en prisrelation mellem korn og kvælstof, hvor der skal avles seks kg korn til at betale for et kg kvælstof.

Det antages, at udbytteforskellen mellem 50 og 200 kg kvælstofstriberne er repræsentative for marken.



Figur 7.1. Sammenhæng mellem merudbytte fra 50 til 200 kg kvælstof pr. ha og den optimale kvælstofmængde.

7.3 Variation i kvælstofbehov mellem marker

I tabel 7.2 er resultatet af sribeforsøgene vist for 2008 og 2009 opgjort på markniveau. Den optimale kvælstofmængde er beregnet ud fra ovenstående formel. Målingerne af ledningsevne (EC) og biomasse målt i april er vist som gennemsnit af de to striber, fordi de er behandlet ens indtil måletidspunktet.

I gennemsnit af 2008 har merudbyttet ved at øge tildelingen af kvælstof i handelsgødning fra 50 til 250 kg kvælstof pr. ha været 27,6 hkg pr. ha - varierende fra 17,5 hkg pr. ha i mark 16-0 op til 36,3 hkg pr. ha i mark 25. Det giver et kvælstofbehov på 192 kg i gennemsnit pr. ha varierende fra 161 kg til 212 kg kvælstof pr. ha. Udbyttet i 2008 har generelt været meget højt.

I gennemsnit af 2009 har merudbyttet ved at øge tildelingen af kvælstof fra 50 til 200 kg kvælstof pr. ha været 30,5 hkg pr. ha. Det er således lidt højere end i 2008. Det større merudbytte er opnået trods et lavere udbyttensniveau. Variationen i merudbytte har været fra 22,3 i mark 25-0 til 42,1 hkg/ha i mark 70. Tilsvarende var kvælstofbehovet i gennemsnit 198 kg varierende fra 178 til 221 kg kvælstof pr. ha. I begge år har spredningen på kvælstofbehovet mellem markerne været ca. 15 kg kvælstof pr. ha.

Kvælstofbehovet i markerne er ikke signifikant korreleret til gennemsnittet af EC-målinger eller biomasse-målinger.

Det økonomiske potentiale i at ramme kvælstofbehovet i hver mark, i forhold til at tildele en gennemsnitlig kvælstofmængde på niveau med kvælstofkvoten, er beregnet ud fra en standard udbyttefunktion (Knudsen, 2010). Med den givne variation i kvælstofbehovet vil der være en teoretisk gevinst på 0,14-0,18 hkg korn pr. ha for at kunne ramme kvælstofbehovet i hver mark. Det svarer til en gevinst på ca. 20 kr. pr. ha. Det økonomiske potentiale i at ramme behovet præcist i en mark er derfor relativt begrænset i denne undersøgelse.

Table 7.2. Målinger, udbytter og merudbytter for striber med tilførsel af 50 og 200 kg kvælstof pr. ha i 2008 og 2009

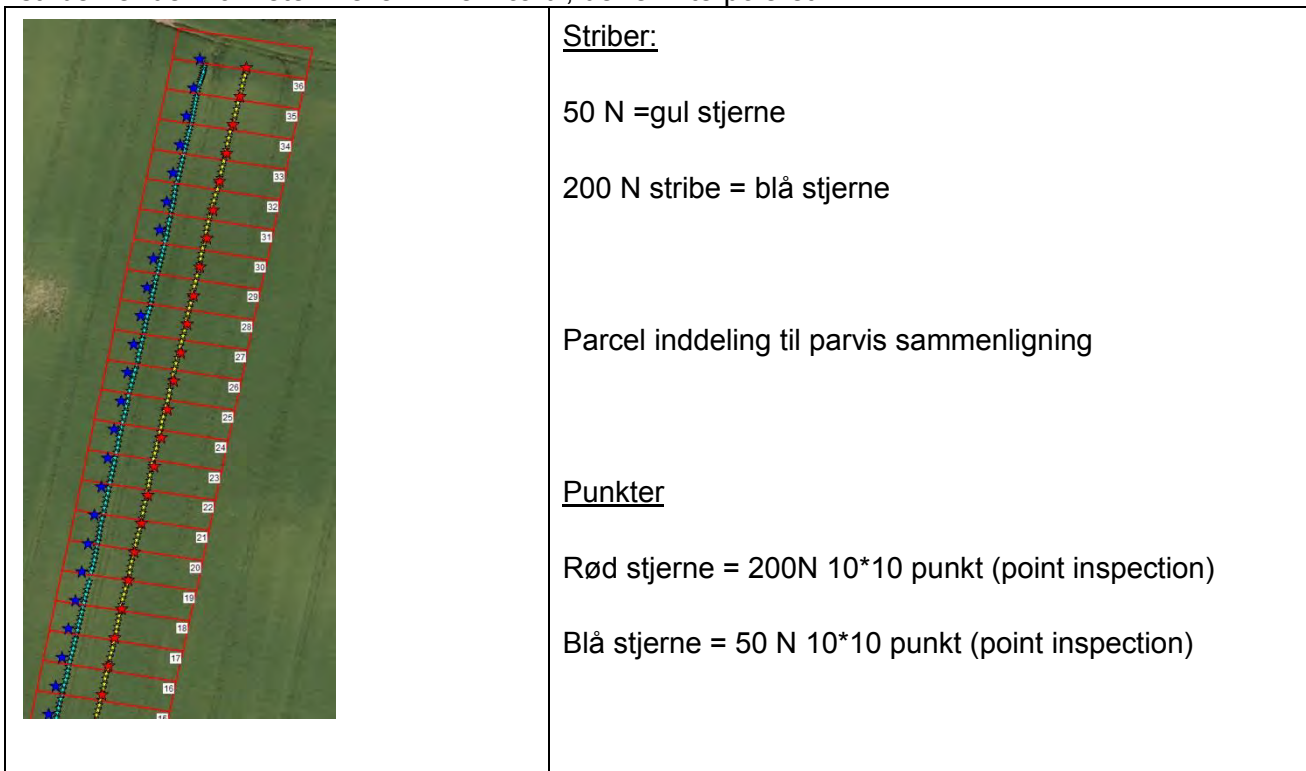
Mark nr.	Antal	EC low	Yara 15 april, gns.	Yara biomasse, 25-05-2009, 50 N	Yara biomasse, 25-05-2009, 200 N	Udbytte, 50 N stribe, hkg/ha	Udbytte, 200 N stribe, hkg/ha	Merudb., hkg/ha	Optimal kvælstof mængde, kg N/ha
2008									
1-0	80,0	1,3	3,7			73,8	98,2	24,4	184
1a-0	34,0	1,0	3,6			64,1	93,2	29,1	197
3-0	37,0					65,5	90,7	25,2	187
5-0	65,0	1,7	3,9			79,4	114,5	35,1	210
11-0	33,0	1,5	3,4			63,5	87,3	23,8	182
14-0	26,0	1,5	4,0			67,2	94,0	26,8	191
14-2	27,0	1,3	4,2			59,1	87,8	28,6	196
16-0	37,0	1,4	3,5			79,9	97,4	17,5	161
17	56,0	1,7	4,1			76,7	107,2	30,5	200
25-0	73,0	2,6	4,5			76,2	112,5	36,3	212
26-0	33,0	1,6	3,5			77,4	106,4	29,0	197
27-0	35,0	1,0	4,9			101,8	128,6	26,8	191
40-0	48,0	1,3	2,9			65,0	95,9	30,8	201
47-0	40,0					69,0	95,2	26,3	190
48-0	33,0	1,2	4,3			92,6	122,1	29,5	198
70-0	91,0					77,2	99,7	22,5	178
Middel		1,5	3,9			74,3	101,9	27,6	192
St.afv.		0,4	0,5			11,2	12,2	4,6	12
2009									
									81
10-0	52,0	1,3	2,1	7,4	12,1	47,1	71,2	24,1	183
17-0	58,0	1,3	2,4	7,0	10,4	38,4	77,7	39,3	217
25-0	57,0	1,3	2,7	8,2	11,5	41,2	63,5	22,3	178
26-0	47,0	1,2	2,0	7,9	11,6	48,2	77,7	29,5	198
32-0	60,0	1,5	6,7	7,2	11,8	58,3	87,4	29,0	197
36-0	41,0	0,5	3,6	8,6	12,7	68,6	98,6	30,1	200
48-0	39,0	0,8	2,8	8,3	12,6	61,1	88,9	27,8	194
70-0	89,0	1,7	2,3	7,8	12,2	51,1	93,2	42,1	221
Middel		1,2	3,1	7,8	11,9	51,7	82,3	30,5	198
St.afv.		0,4	1,5	0,6	0,7	10,3	11,8	6,9	15

7.4 Analyse af variation af kvælstofbehov inden for marken – Ved 'parvis sammenligning'

Analyse af variationen i markens kvælstofbehov er foretaget efter to metoder. Den ene, hvor analysen foretages ved 'parvis sammenligning', beskrives i dette afsnit, mens den anden, hvor analysen foretages ud fra modellering udbytter, beskrives i næste afsnit (7.5).

Ved parvis sammenligning sammenlignes udbyttet i et punkt i striben med 50 N med det nærmeste punkt i striben med 200 N (se figur 7.2). Afstanden mellem de to punkter er højst 15 meter. Merudbyttet for at tildele kvælstof kan derved beregnes som forskellen i udbytte mellem de to punkter, og merudbyttet kan henføres til punktet i 50 N striben.

Figur 7.2. viser de to gødningsstriber 50 N og 200 N beliggende på hver side af samme kørespor. I striben er der 10 meter mellem hver værdi, der er interpoleret.



Metoden forudsætter, at der er en større korrelation mellem de to nærmeste punkter i striben end mellem punkter, der ligger længere væk. I 2008 er der i udvalgte marker foretaget en analyse af denne problemstilling.

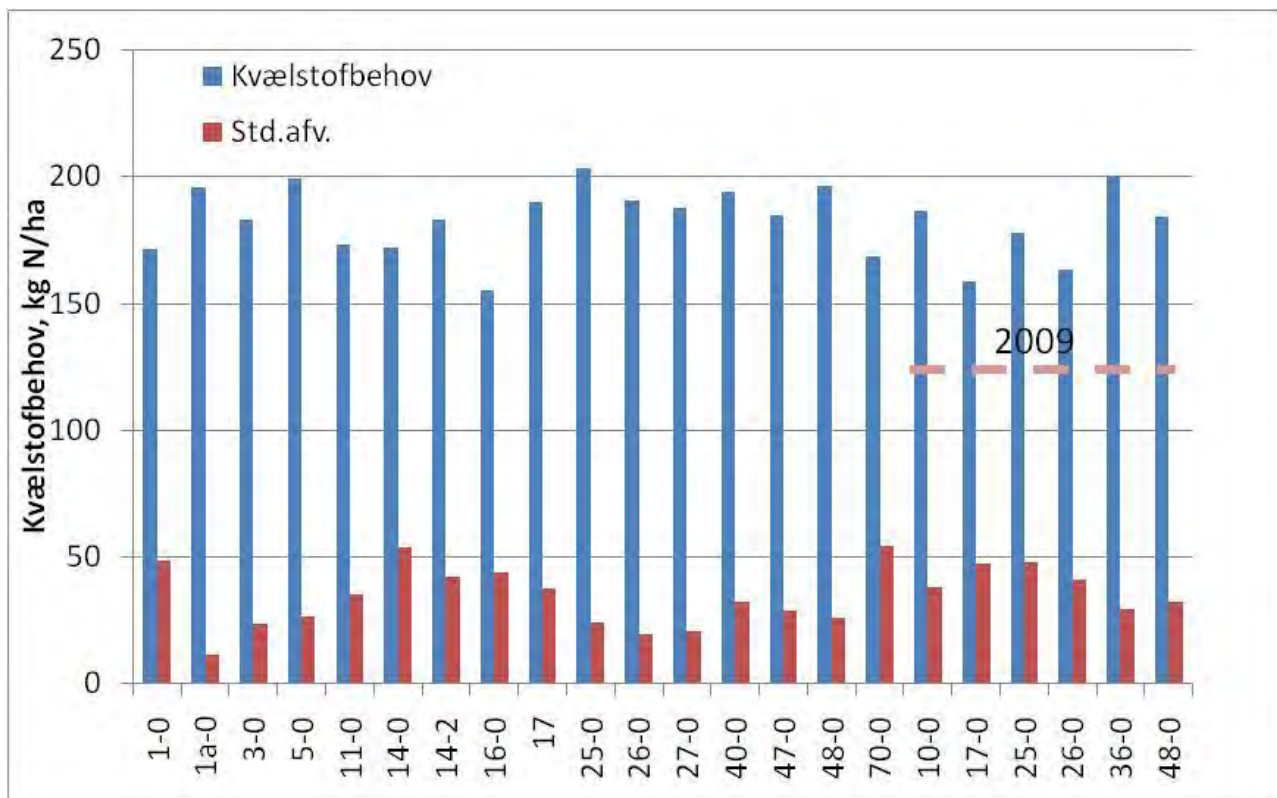
Table 7.3. Spredning på udbytter i 50 og 200 N stribe samt korrelation mellem punkter i de to striber

Mark nr.	Standardafvigelse i udbytte, hkg/ha		R ² for sammenhæng mellem punkter i striber		
	50 N Stribe	200 N Stribe	Tættest muligt	2 punkter mellem	4 punkter mellem
1-0	8,29	15,74	0,05	0,05	0,01
11-0	10,14	15,96	0,23	0,15	0,19
14-0	13,56	34,28	0,96	0,56	0,21
14-2	7,36	13,91	0,01	0,19	0,31
16-0	6,68	10,57	0,16	0,16	0,05
17	3,62	15,14	0,32	0,18	0,02
1a-0	2,97	5,57	0,10	0,00	0,10
25-0	9,48	13,37	0,12	0,06	0,00
26-0	4,70	9,04	0,18	0,33	0,26
70-0	9,98	13,14	0,07	0,00	0,02

Ved metoden sammenlignes udbyttet i ét punkt i 50 N sriben med udbyttet i nærmeste punkt i 200 N sriben. Forskellen i udbyttet mellem de to punkter er merudbyttet. Merudbyttet forsøges forklaret ud fra de parametre, der er målt i 50 N sriben. Idéen i denne metode er, at de to nærmeste punkter mellem striberne repræsenterer samme jordtype mv. Forskellen i udbytterne alene anses derfor at være et udtryk for forskellig behandling og ikke et udtryk for markvariation.

Sammenhængen mellem de to nærmeste punkter i to striber er testet i forhold til sammenhængen mellem et punkt i én stribe og ét punkt i en anden stribe, der ligger hhv. to og fire punkter længere væk.

Merudbytterne i hvert punkt er beregnet for alle sribeforsøg. For hvert punkt er herefter beregnet et kvælstofbehov ud fra metoden beskrevet i afsnit 7.2. Markens gennemsnitlige kvælstofbehov samt variationen inden for marken, udtrykt ved standardafvigelsen, er beregnet. Resultatet er vist i figur 7.3 for 2008 og 2009.



Figur 7.3. Kvælstofbehov og variation i kvælstofbehov inden for marken udtrykt som standardafvigelsen. Beregnet ved parvis sammenligning. De sidste 6 marker angivet ved stiplede linje er data fra 2009. De andre er fra 2008.

Det beregnede kvælstofbehov for marken beregnes systematisk ca. 5 pct. lavere ud fra parvis sammenligning end ved beregning på markniveau. Det skyldes, at den anvendte sammenhæng mellem merudbytte og kvælstofbehov ikke er lineær.

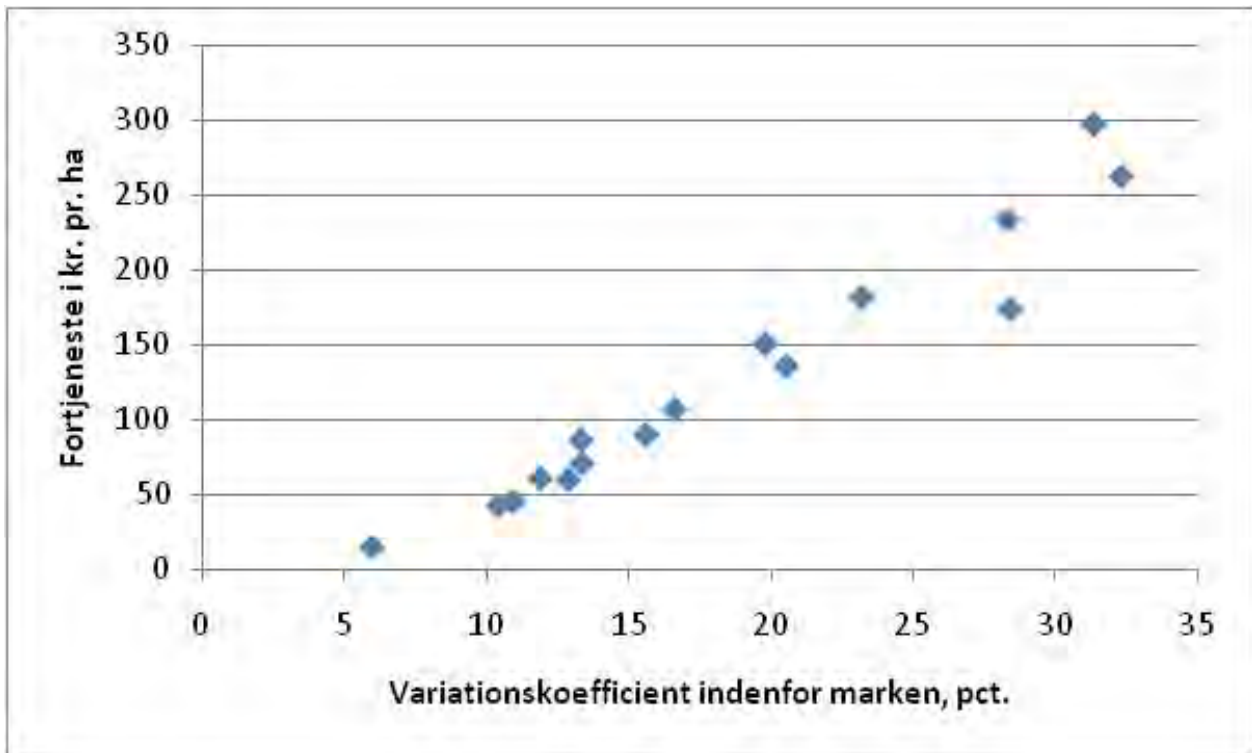
Variationen i kvælstofbehovet er udtrykt i figuren som standardafvigelsen mellem merudbytte beregnet i de enkelte punkter. I gennemsnit er standardafvigelsen for kvælstofbehovet *inden for* marken 35 kg varierende mellem markerne fra 15 til 55 kg kvælstof pr. ha. Tilsvarende er standardafvigelsen i kvælstofbehovet *mellem* marker i 2008 og 2009 kun 13 kg kvælstof pr. ha.

Variationen i kvælstofbehovet inden for marken kan overvurderes ved metoden, fordi der er en tilfældig spredning i merudbytte. Spredningen stammer fra måleusikkerheden og en forskel mellem de to sammenlignede punkter, der skyldes andet end forskelle i kvælstoftildeling, selvom punkterne ligger tæt sammen i marken.

Resultatet tyder imidlertid på, at variationen i kvælstofbehovet inden for marken er betydelig.

Forskellen i det økonomiske resultat mellem ensartet tilførsel i marken og graderet tilførsel efter behovet i det enkelte punkt er beregnet for hver mark. Den ensartede tilførsel er fastsat ud fra det beregnede behov for marken minus 15 pct. for den tvungne undergødskning. Ved den graderede tilførsel er kvælstoftildelingen beregnet som det fundne kvælstofbehov i marken minus 15 pct. Kvælstoftildelingen efter de to principper er således ens i gennemsnit for marken.

I figur 7.4 er merfortjenesten vist som funktion af variationskoefficienten i kvælstofbehovet for 2008. Jo større variationen er i kvælstofbehov inden for marken, jo større er den potentielle fortjeneste ved at graduere tilførslen.



Figur 7.4. Merfortjeneste ved at graduere kvælstoftilførslen efter behov inden for de enkelte marker i forhold til en ensartet tilførsel. Kun marker for 2008 er vist.

I gennemsnit for 2008 er det beregnet, at der er en potentiel gevinst ved at graduere kvælstoftilførslen efter det beregnede kvælstofbehov på 126 kr. pr. ha. Tilsvarende beregninger for 2009 viser en potentiel gevinst på 134 kr. pr. ha. Det svarer til en potentiel forøgelse af udbyttet på ca. et hkg pr. ha.

Den potentielle gevinst ved en gradueret tilførsel er formentlig overvurderet, fordi variationen i behovet er overvurderet ved beregningsmetoden. Omvendt er det forudsat i beregningerne, at der ikke forekommer lejesæd. Det medfører, at der ikke forventes en negativ udbytteeffekt af en større kvælstoftilførsel end behovet. For at realisere den potentielle gevinst ved gradueret tilførsel af kvælstof skal variationen i kvælstofbehovet kunne forudsiges.

7.4.1. Forklaring af kvælstofbehov ud fra "parvis sammenligning"

Hvis variationen i merudbytter kan forklares ved målinger af Biomasse eller EC før den sidste gødningstildeling, kan disse parametre også bruges til at forudsige variationen i kvælstofbehovet, dvs. de kan anvendes til at graduere kvælstof efter.

For 2008 er ved beregnet lineær regression, hvor målinger af biomasse i sriben med 50 N den 15. april, 6. maj og 15. maj samt målinger af elektrisk ledningsevne med Veris EC er korreleret med merudbyttet beregnet ud fra forskellen i udbyttet i punktet i 50 N sriben og nærmeste punkt i 200 N sriben.

Beregningen er foretaget, så modellen sætter behovet i hver mark til en separat værdi (mark er en klassevariabel), og biomasse og ledningsevne beregner variationen i behov inden for marken (biomasse og ledningsevne er covariable).

Table 7.4. Statistiske data for modeller til forudsigelse af kvælstofbehovet i 2008

Model med Mark, biomasse den 15. april, Veris EC							
	Gns.	Min.	Maks.	Spredning	Signifikans	R² model	Parameter
Merudbytte	28,9	-11,8	73,7	13,7	-	0,16	
Biomasse	3,9	1,9	5,6	0,7	< 0,0001		4,7
Veris EC	1,56	0,46	4,89	0,88	< 0,0001		3,1
Model med Mark, biomasse den 15. april							
Merudbytte	28,9	-11,8	73,7	13,7		0,14	
Biomasse	3,9	1,9	5,6	0,7	< 0,0001		4,5

Beregningen viser, at merudbyttet er signifikant korreleret med biomassen målt den 15. april og med ledningsevnen. Resultatet af beregningerne med og uden ledningsevnen i modellen fremgår af tabel 7.4.

Både biomasse 15. april og EC er stærkt signifikante. Men forklaringsgraden for forudsigelse af merudbyttet er alligevel lav. Både for biomasse og EC har parameteren positivt fortegn. Det betyder, at merudbyttet stiger ved stigende biomasse og ved stigende ledningsevne.

En beregning af merudbyttet og det afledte kvælstofbehov med modellen, der både inkluderer biomasse og ledningsevne for hver mark i 2008 viser, at kvælstofbehovet kun varierer med en standardafvigelse på ca. 5 kg kvælstof pr. ha inden for marken. I nogle af markerne er variationen dog betydeligt større. I en enkelt mark er standardafvigelsen 16 kg kvælstof pr. ha. Beregningen viser også, at der er et helt margintalt merudbytte og en økonomisk fortjeneste ved at tilføre kvælstof ud fra modellen i forhold til at tildele en ensartet kvælstofmængde i hver mark.

Tilsvarende beregninger er gennemført for resultater af stribeforsøgene i 2009 (se tabel 7.5). I 2009 er elektrisk ledningsevne ikke signifikant korreleret med merudbyttet. Derimod er både biomasse målt 19. marts og 25. maj stærkt signifikante. Modellen i 2009 forklarer variationen i merudbyttet langt bedre i 2009 end i 2008. På begge måletidspunkter falder merudbyttet for tilførsel af kvælstof ved stigende biomasse – altså modsat 2008.

Tabel 7.5. Statistiske data for modeller til forudsigelse af kvælstofbehovet i 2009

Variable	Gns.	Min.	Maks.	Spredning	Signifikans	R ² model	Parameter
Model med Mark, biomasse den 19. marts							
Merudbytte 2009	32,3	1,6	67,3	13,7		0,51	
Biomasse 19. marts	2,5	1,7	4,3	0,7	< 0,0001		-11,8
Model med Mark, biomasse den 25. maj							
Merudbytte 2009	32,3	1,6	67,302	13,7		0,53	
Biomasse 25. maj	7,8	5,0	11,1	0,8	< 0,0001		-4,5

Biomassen målt på begge tidspunkter er stærkt signifikant korreleret med udbyttet, og variationen i biomasse forklarer en relativ stor del af variationen i udbytteerne inden for marken. Beregnes variationen i kvælstofbehovet med modellen, giver det alligevel kun anledning til en variation i tilførslen af kvælstof på 6-7 kg pr. ha på begge tidspunkter for måling af biomasse. Det betyder også, at fortjenesten ved at graduere kvælstofmængden ud fra modellen er særdeles beskedent.

7.5 Analyse af variation af kvælstofbehov inden for marken - ud fra modellering af udbytter

Princippet i denne analyse er, at udbyttet i hver af striberne med hhv. 50 og 200 kg kvælstof pr. ha beskrives bedst muligt med parametrene EC og Biomasse, som er målt før tildeling af den sidste gødningsmængde.

$$Udb_{50N} = f_1(EC, \text{biomasse})$$

$$Udb_{200N} = f_2(EC, \text{biomasse})$$

Merudbyttet for at øge kvælstofmængden kan derefter beregnes som:

$$\text{Merudb}_{50_200N} = f_2(EC, \text{biomasse}) - f_1(EC, \text{biomasse})$$

For hvert af årene 2008 og 2009 er ved lineær regression analyseret, hvordan udbytteerne ved de to kvælstofniveauer kan beskrives som funktion af den målte EC og målte biomasse.

7.5.1. Modellering af resultater fra 2008

Hvis man forudsætter, at niveauet for udbyttet er kendt (Mark indgår som klassevariabel), kan merudbyttet i striben med 200 kg kvælstof pr. ha beskrives som:

$$\text{Udb}_{200\text{N}} = 25,5 + 24,8 \times \text{EC} - 3,9 \times \text{EC}^2 + 15,3 \times \text{BioApril} + \text{Mark}_{1-70}$$

Hvor Mark_{1-70} udtrykker en konstant beregnet for hver mark (svarende til udbyttensniveauet).

Alle parametre i udtrykket er stærkt signifikant ($P < 0,0001$). R^2 værdien for modellen er 0,65. Modellen betyder således, at udbyttet forøges med stigende ledningsevne (indtil et vist niveau) i marken og med stigende biomasse målt den 15. april.

Tilsvarende beregnes udbyttet for 50 N striben. Resultatet af denne beregning viser:

$$\text{Udb}_{50\text{N}} = 30,2 + 15,9 \times \text{EC} - 2,8 \times \text{EC}^2 + 8,2 \times \text{BioApril} + \text{Mark}_{1-70}$$

Hvor Mark_{1-70} udtrykker en konstant beregnet for hver mark.

Merudbyttet ved at øge kvælstoftildeling fra 50 til 200 kg kvælstof pr. ha kan nu beregnes:

$$\text{Merudb}_{50_200\text{N}} = -4,7 + 8,9 \times \text{EC} - 1,1 \times \text{EC}^2 + 7,1 \times \text{BioApril} + (\text{Mark}_{1-70} - \text{Mark}_{1-70})$$

Residualerne i udbyttefunktionen for 50 N og 200 N striben har ikke systematisk skævheder ved forskellig biomasse. Det tyder på, at udtrykket kan anvendes til at beskrive merudbyttet. Udtrykket betyder, at kvælstofbehovet vokser med stigende ledningsevne og med stigende biomasse målt den 15. april.

I praksis vil anvendelse af udtrykket kræve, at man kender niveauet for merudbytte i hver mark. Hvis vi betragter gennemsnittet af de marker, der indgår i beregningen kan udtrykket ændres til:

$$\text{Merudb}_{50_200\text{N}} = -9,3 + 8,9 \times \text{EC} - 1,1 \times \text{EC}^2 + 7,1 \times \text{BioApril} + \text{Mark}_{\text{afv}}$$

Hvor Mark_{afv} er markens merudbytte i forhold til normalt.

I praksis kendes niveauet for markens merudbytte for kvælstof fra 50 til 200 kg pr. ha ikke, og normalt kendes markernes individuelle behov heller ikke. Derfor er der også regnet på generelle modeller, hvor fordelingen af kvælstof foretages ud fra målinger af EC og Biomasse alene, og hvor der så ikke korrigeres for variationer mellem marker, der skyldes andet end variationen i disse parametre. Alle de testede modeller fremgår af tabel 7.6 Modeller, hvor der korrigeres for marker, har generelt en bedre forklaringsgrad. Modellerne uden mark som klassevariabel er også stærkt signifikante. Også for disse modeller stiger merudbytte ved stigende biomasse i marken og ved stigende ledningsevne.

Table 7.6. Oversigt over testede modeller med signifikant effekt af parametre i 2008

Mark	Biom. 15. april	EC	EC ²	R ²		Parametre for merudbyttefunktion				
				50 N str.	200 N str.	Konst.	EC	EC ²	Biom.	Mark- konstant
	x			0,32	0,34	5,65			7,35	
	x	x		0,34	0,40	29,85	2,67		10,66	
	x	x	x	0,38	0,45	-0,94	9,77	-1,28	4,99	
x	x			0,66	0,52	7,15			7,22	*
x	x	x		0,73	0,62	-2,12	3,18		8,08	*
x	x	x	x	0,75	0,65	-4,72	8,93	-1,15	7,30	*

* Når mark indgår i modellen er der en individuel korrektion for hver mark.

7.5.2. Modellering af resultater fra 2009

Tilsvarende beregninger er gennemført på data fra 2009. Resultatet fremgår af tabel 7.7. Igen forbedres korrelationen meget, når der korrigeres for Mark i modellen. Det betyder, at markens udbytte afhænger af noget andet, som EC og biomasse ikke kan forklare. Udbyttet i 50 N sriben forklares betydeligt bedre ved biomasse og EC end udbyttet i 200 N-sriben. Det skyldes, at udbyttet i denne stribe er stærkt kvælstofbegrænset, hvorfor specielt variationen i biomasse, der er et udtryk for forskellig mineralisering på positionen, betyder noget for udbyttet.

Table 7.7. Beskrivelse af udbyttet i sribeforsøg 2009 og parametre i model til beskrivelse af merudbyttet

Mark	Biom. 15.	EC	R ²		Parametre for merudbyttefunktion					
			50 N	200 N	Konst.	EC	Bio	Mark-	Middel	Omford.
	x		0,35	0,11	43,7		-4,61			
	x	x	0,34	0,12	37,5	2,73	-3,46			
x	x		0,69	0,69	69,8		-12,16	*		
x	x	x	0,69	0,70	68,3	1,49	-12,47	*		

* Når Mark indgår i modellen er der en individuel korrektion for hver mark.

Det bemærkes også, at merudbyttet er aftagende i alle modeller i 2009 med stigende biomasse målt i april. Det er modsat i forhold til 2008. Ledningsevnen (EC) betyder betydeligt mindre i 2009 for merudbyttet end i 2008.

En gennemregning af modellerne på alle data for 2009 viser, at når en korrektion for Mark inkluderes, vil modellen med Biomasse alene, stort set give samme resultat, som hvis også EC inddrages. Brug af disse modeller til fordeling af kvælstof giver en variation i kvælstoftildelingen inden for marken svarende til en spredning på mellem 3 og 14 kg kvælstof pr. ha på kvælstoftildelingen i de syv marker, der indgår i forsøget i 2009.

Bruges modellen, hvor gødningen fordeles alene ud fra biomasse til alle marker, uden korrektion for niveauet i den enkelte mark, bliver omfordelingen af gødning betydeligt mindre.

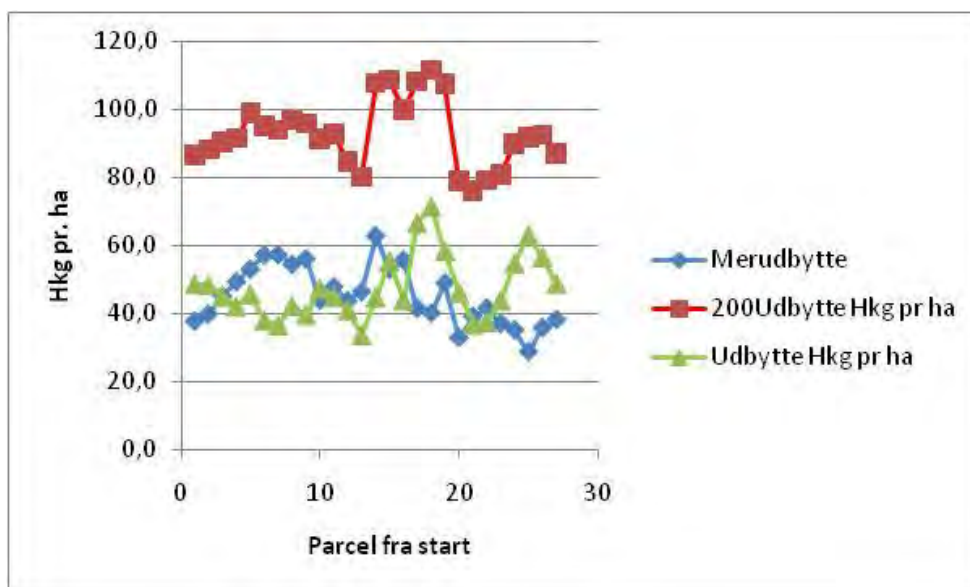
7.5.3. Undersøgelse af 50N og 200N i striber høstet med parcelhøster (2009)

I forbindelse med en undersøgelse af miljøpåvirkning (omtales særskilt i kapitel 9) er 50 N og 200 N striberne i én mark i 2009 høstet særskilt med parcelhøster. Parcellerne er 10 meter lange. I forhold til bestemmelse af udbytte med elektronisk udbyttemåler, må udbyttebestemmelsen og positionen på udbyttet forventes at være mere sikker ved høst med parcelhøster – se figur 7.5. Derfor er disse data analyseret særskilt.



Figur 7.5. Forsøgsdesign fra 2009. De to midterste rækker er henholdsvis en 200 N og en 50 kg N stribe. I hver af de 4 rækker er der 32 parceller.

Marken er 320 m i længden i alt, svarende til 32 separat høstede parceller i hver stribe. I hver af striberne er det specifikt noteret, at væksten har været dårlig i de sidste fem parceller. Udbytterne i disse parceller er klart afvigende fra resten. Disse parceller er udeladt fra denne analyse, men bliver behandlet i afsnittet om miljø. En oversigt over udbytter i de to striber og merudbyttet, for at øge kvælstofmængden fra 50 til 200 kg kvælstof pr. ha, ses i figur 7.6.



Figur 7.6. Udbytte i 50 og 200 N striber samt merudbytte for ekstra kvælstoftildeling. Én mark, 2009.

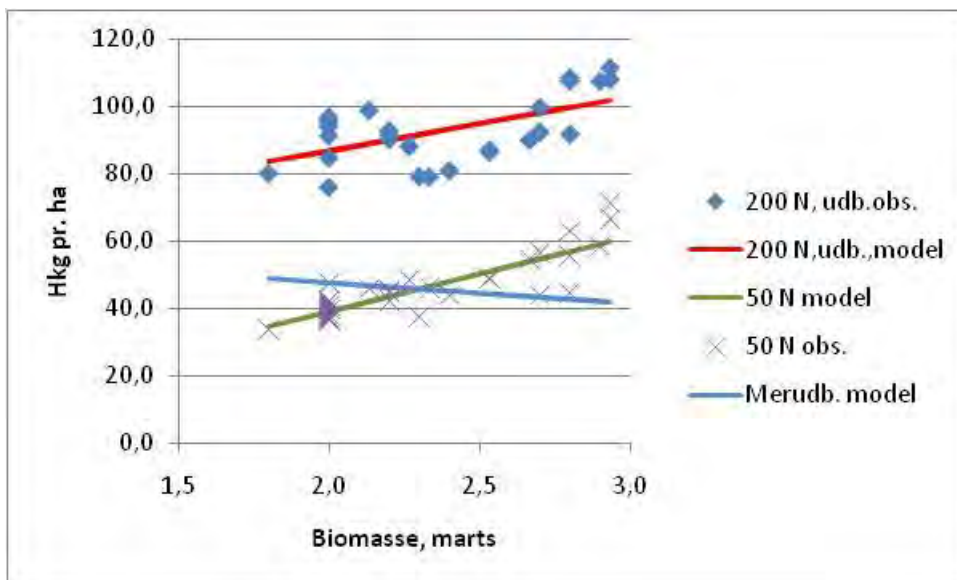
Data fra marken er analyseret ved lineær regression, som beskrevet ovenfor. Både udbyttet ved 50 N og ved 200 N er godt korreleret til biomassen målt i april og i maj. Der er ikke signifikant effekt af EC. En oversigt over parametrene i de undersøgte modeller fremgår af tabel 7.8.

Tabel 7.8. Statistiske parametre for merudbytte i sribeforsøg 2009 med parcelhøst

Biomasse måling, dato	R ²	R ²	Parametre for merudbyttefunktion	
	50 N str.	200 N str.	Konst.	Biomasse
15. april 2009	0,68	0,31	59,8	-6,1
25. maj 2009	0,74	0,42	63,3	-2,1

Biomasse målt i maj er stærkere korreleret med såvel udbyttet i 50 N og 200 N striber end biomasse målt i marts. Biomassen målt tidligt er dog alligevel godt korreleret til udbyttens niveauet ved begge kvælstofniveauer.

Udbyttet er stigende med stigende biomasse ved begge kvælstofniveauer på begge måletidspunkter. Udbyttet i 50 N striben stiger lidt mere ved stigende biomasse end i striben med 200 N. Det betyder, at merudbyttet for tilførsel af de ekstra 100 kg kvælstof pr. ha aftager svagt med stigende biomasse. Ved måling i marts er dette vist i figur 7.7.



Figur 7.7. Målte merudbytter som funktion af målt biomasse. De fuldt optrukne linjer viser de modelberegnedte udbytter i 50 og 200 N striben.

En beregning af kvælstofbehovet ud fra modellen med måling af biomasse i marts viser, at variationen i det beregnede kvælstofbehov er lav, med en spredning på kun to kg kvælstof pr. ha. En medvirkende årsag til dette er, at merudbyttet i marken er på et højt niveau, og at kvælstofbehovet ikke stiger så meget ved høje kvælstofbehov (se figur 7.7).

7.9 Konklusion af sribeforsøg

Der er gennemført forsøg med to striber på ca. seks meters bredde ved siden af hinanden i hele agerlængden i 16 marker i 2008 og seks marker i 2009. Formålet med forsøgene er at belyse variationen i kvælstofbehov mellem marker og inden for marken samt at estimere, om og hvordan kvælstof kan fordeles ud fra målinger af biomasse med Yara N-Sensor og Veris EC (ledningsevne).

I gennemsnit af 2008 har merudbytte for at tildele kvælstof i handelsgødning fra 50 til 250 kg kvælstof pr. ha været 27,6 hkg pr. ha, varierende fra 17,5 hkg pr. ha til 36,3 hkg pr. ha. Det giver et kvælstofbehov på i gennemsnit 192 kg pr. ha, varierende fra 161 kg til 212 kg kvælstof pr. ha. Udbyttet i 2008 har generelt været meget højt.

I gennemsnit af 2009 har merudbyttet for tildeling af kvælstof fra 50 til 200 kg kvælstof pr. ha været 30,5 hkg pr. ha og således lidt højere end i 2008. Det større merudbytte er opnået trods et lavere udbyttensniveau. Variationen i merudbytte har været fra 22,3 til 42,1 hkg pr. ha. Tilsvarende var kvælstofbehovet i gennemsnit 198 kg, varierende fra 178 til 221 kg kvælstof pr. ha. I begge år har spredningen på kvælstofbehovet mellem markerne været ca. 15 kg kvælstof pr. ha.

Variationen i kvælstofbehov inden for marken er beregnet ved at sammenligne udbyttet mellem nærmeste punkter i de to striber. Det vil formentlig overvurdere variationen i kvælstofbehovet, fordi der er andre forskelle end forskellen i kvælstoftildeling, der har indflydelse på forskellen i udbytte mellem de to punkter herunder usikkerheden ved udbytteopgørelsen. I gennemsnit er standardafvigelsen for kvælstofbehovet inden for marken 35 kg, varierende fra 15 til 55 kg kvælstof

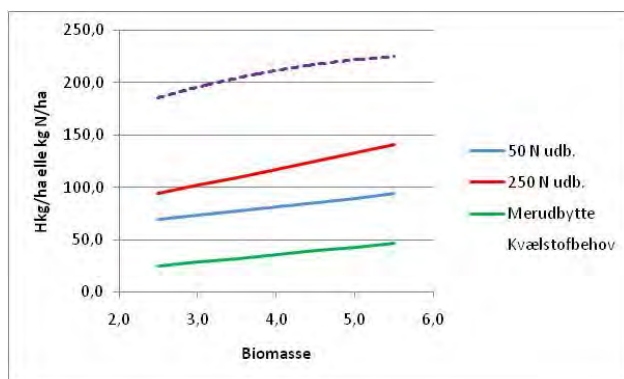
pr. ha i de enkelte marker. Variationen i kvælstofbehovet inden for marker er derfor større end mellem markerne. Standardafvigelsen på de 35 kg kvælstof pr. ha vil dog formodentlig være overvurderet.

Beregninger viser, at den potentielle gevinst ved at graduere kvælstoftilførslen mellem marker kun er ca. 20 kr. pr. ha, mens den inden for en mark er ca. 130 kr. pr. ha. Det svarer til et potentielt merudbytte for at graduere kvælstof på ca. ét hkg pr. ha.

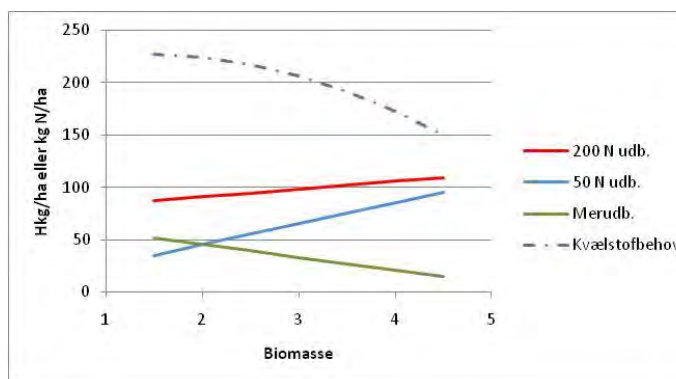
Variationen i kvælstofbehovet er undersøgt ud fra en sammenhæng mellem kvælstofbehov og merudbytte, der er beregnet ud fra et stort antal landsforsøg.

Den målte biomasse og Veris EC er direkte korreleret med merudbyttet mellem de to nærmeste punkter i striberne og udbytter ved 50 N og 200 N striberne i 2008. I 2009 er det kun biomassen, der er signifikant korreleret med merudbytte og udbytter. I begge år er der en stor indflydelse på merudbyttet for kvælstof af den individuelle mark, der ikke kan knyttes til forskelle i målt biomasse eller ledningsevne. Kendskab til niveauet for merudbyttet vil derfor forbedre modellen til fordeling af kvælstof betydeligt.

I figur 7.8 – 7.9 er vist, hvordan udbytter, merudbytter og kvælstofbehov afhænger af den målte biomasse i april ud fra de fundne sammenhænge. Figurerne gælder for en specifik mark. I andre marker med forskelligt niveau af merudbytter forskydes kurverne parallelt, men hældningen på kurven er identisk.



Figur 7.15. Sammenhæng mellem biomasse, udbytte og kvælstofbehov, 2008 (EC 1,9).



Figur 7.16. Sammenhæng mellem biomasse, udbytte og kvælstofbehov, 2009 (EC 1,9).

I begge år stiger udbytter og kvælstofbehov med stigende ledningsevne. I 2008 er sammenhængen kvadratisk.

I begge år stiger udbyttet i både 50 N og 200 N sriben ved stigende biomasse. I 2008 stiger udbyttet imidlertid mere i 200 N sriben end i 50 N sriben. Det betyder, at kvælstofbehovet stiger med stigende biomasse. I 2009 stiger udbyttet mest i 50 N sriben. Derfor er kvælstofbehovet i 2009 faldende med stigende biomasse.

Forklaringen på de forskellige resultater mellem 2008 og 2009 kan skyldes, at klimaet i 2008 var markant anderledes end i 2009. I 2008 var der et meget stort nedbørsunderskud gennem sommeren. Den kraftigste biomasse om foråret kan være korreleret med de områder, hvor afgrødens vandforsyning gennem sommeren var bedst og derfor resulterede i de bedste merudbytter.

Vejrforholdene i 2009 var tættere på det normale end i 2008. Derfor bør der lægges mest vægt på de fundne sammenhænge i dette år.

En gennemregning af den estimerede model for 2009 viser, at det giver anledning til en variation i kvælstoftildelingen svarende til en spredning på 3 til 14 kg kvælstof pr. ha, hvis der korrigeres for markens individuelle behov.

8. YARA N-SENSOR FORSØG

I 2008, 2009 og 2010 er hvert andet kørespor i de marker, der indgår i projektet, gødsket ensartet efter gødningsplanens anvisninger og hvert andet kørespor ud fra Yara N-Sensor. En oversigt over design, antal marker og areal ses i afsnit 6 om forsøgsopbygning og design. Der er ikke foretaget en dataopgørelse på 2010 data, fordi markerne var stærkt præget af udvintring.

8.1 Gødskningens gennemførelse

I alle marker er gylle tildelt efter praksis på ejendommen med hensyn til mængde og tidspunkt. Tildelingen af gylle er udført af landmanden. Tildeling (type, tidspunkt og mængde) af handelsgødning er sket ud fra et ønske om at optimere udbyttet. Gødskning efter Yara N-Sensor er lagt til rette, så det er sket mindst tre uger efter sidste tilførsel af handels- eller husdyrgødning for at sikre, at den tilførte gødning har haft fuld effekt. Hvis Yara N-Sensor skal anvendes til at omfordele en så stor mængde kvælstof som muligt, er det vigtigt at være meget bevidst om strategien for tilførsel af kvælstof.

I 2008 blev alle marker tildelt 26 kg kvælstof i handelsgødning den 13. marts ved begyndende vækst. Det medførte, at den kvælstofmængde, der senere kunne omfordeles (restkvoten) var beskednen. Derfor blev der i 2009 udarbejdet en strategi, hvor marker, der blev tildelt gylle tidligt, ikke blev tildelt handelsgødning. Det medførte, at en større del af kvælstofmængden i handelsgødningen kunne omfordeles.

En oversigt over tildelingstidspunkter for handelsgødning og gylle er vist i tabel 8.1.

Tabel 8.1. Oversigt over tidspunkter for tilførsel af handels- og husdyrgødning samt for anvendelse af Yara N-Sensor

År	Antal marker	Gylle tilført – periode, dato	Første tildeling af handelsgødning	Gns. tildeling efter Yara N-Sensor Kg N pr. ha (std. afv.)	Gødskning efter Yara N-Sensor, dato
2008		Før 20. april	26 kg N i NS d. 13. marts	69 (12)	9. maj
		Efter 20. april	26 kg N i NS d. 13. marts	37 (8)	28. maj
2009		Før 20. marts	10 kg S i sprøjtesvovl, hvis der ikke anvendes forsuret gylle	80 (14)	22. april
		Efter 20. marts	40-45 kg N i NS d. 20. marts til 8. april	27 (10)	12. maj

8.2 Beregning af tildeling af kvælstofmængde efter Yara N-Sensor

Tildelingen af kvælstofmængder i handelsgødning ved "Ensartet tildeling" har fulgt gødningsplanens anvisninger. For hver tildeling efter Yara N-Sensor er det beregnet, hvor meget kvælstof, der er fordelt ved "Ensartet tildeling" i samme gruppe af marker. Samme kvælstofmængde er i alt tildelt efter Yara N-Sensor. Efter Yara N-Sensor er kvælstofmængden således omfordelt mellem marker og inden for markerne i forhold til "Ensartet tildeling".

Tildeling efter Yara N-Sensor er ikke sket "on-the-go". Markerne er først kørt over og målt med Yara N-Sensor. Derefter er måleresultaterne trukket ud elektronisk, og ud fra disse data er beregnet et elektronisk tildelingskort, hvorefter gødningen er spredt.

Beregningen af tildelingen er sket ud fra den algoritme til fordeling af kvælstof ud fra Yara N-Sensor, der er beskrevet af Berntsen et. al. (2006):

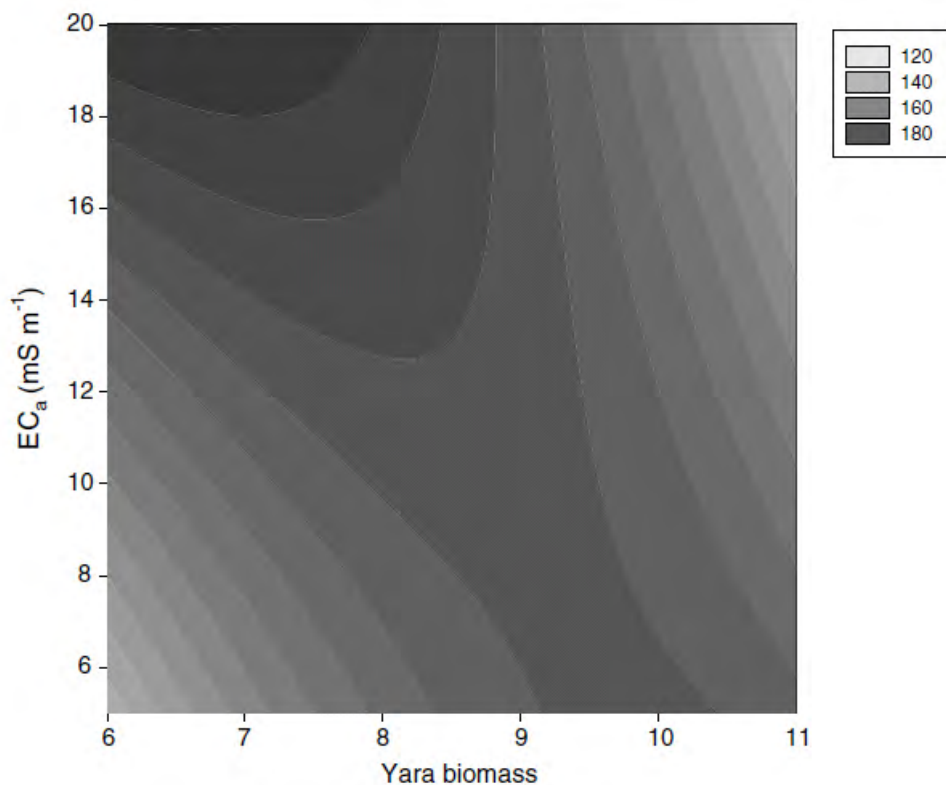
$$N_{\text{pos}} = (k1+(k2-(f \times \text{biomasse} + g \times \text{biomasse} \times \text{biomasse} + j \times \text{EC} + l \times \text{EC} \times \text{EC} + m \times \text{biomasse} \times \text{EC}))/2 \times a),$$

hvor k1 og k2 er parametre, der anvendes til at afstemme den samlede kvælstofmængde til den fastsatte mængde. EC er ledningsevne målt med EM 38 og biomasse er biomasse målt med Yara N-Sensor. Konstanterne i funktionen er givet af Berntsen et. al. (2006) og vist i tabel 8.2.

Tabel 8.2. Parametre anvendt i udtrykket til omfordeling af kvælstofmængden (fra Berntsen et. al., 2006)

Parameter	a	f	g	j	l	m
Værdi	-8,60E-04	0,093	-0,0043	0,018	-4,50E-05	-0,0018

Fordelingen af kvælstof ud fra ovenstående udtryk som funktion af EC (EM 38) og biomasse er vist i figur 8.3.



Figur 8.1. Fordeling af kvælstof ud fra EC og biomasse (fra Bernsen et.al. 2006). Farverne angiver niveaulet for kvælstoftildeling, som er angivet på label i figuren.

Af figur 8.1 fremgår det, at kvælstoftildelingen ved en middel EC-værdi vil blive øget op til en Yara-biomasse-værdi på ca. 8,5, hvorefter kvælstoftildelingen aftager igen. Variationen i kvælstoftildelingen vil, ifølge omfordeling med dette udtryk, være ret begrænset ved en middel EC-værdi, selv inden for en stor variation i Yara-biomasse. Det samme er tilfældet ved en middel Yara-biomasse værdi. Her vil omfordelingen ved variation i EC-værdien være meget beskedent. Størst kvælstofmængde vil blive tildelt ved kombinationen "Lav Yara biomasse – høj EC-værdi", mens kvælstoftildelingen vil være mindst i de andre kombinationer af Yara-biomasse og EC.

I ovenstående algoritme indgår EC, som er ledningsevne målt med EM 38. I nærværende projekt er ledningsevne målt med Veris Sensor (Knudsen et. al. 2008). Der er foretaget en omregning fra VERIS EC til EC_a efter formlen: $EC_a = 2,53 + 5,06 \times VERIS\ EC$. Parametrene for denne omregning er sat ud fra variationen i VERIS EC målingerne sammenholdt med EC-værdierne i Berntsen et. al. 2006.

I den algoritme, der er anvendt til fordeling af gødning i nærværende projekt, er der anvendt en såkaldt "cut-off"-værdi på 3,0. Det betyder, at hvis biomassen er under en værdi på 3,0 tildes den mindste kvælstofmængde. Fastsættelse af cut-off-værdien kan være afgørende, specielt ud fra en miljømæssig betydning. Hvis biomassen er så lav, at udbyttet vil blive meget lavt, bør gødningstildelingen sættes ned til 0. Det kræver imidlertid, at man er sikker på, at udbyttet på positionen er meget lavt.

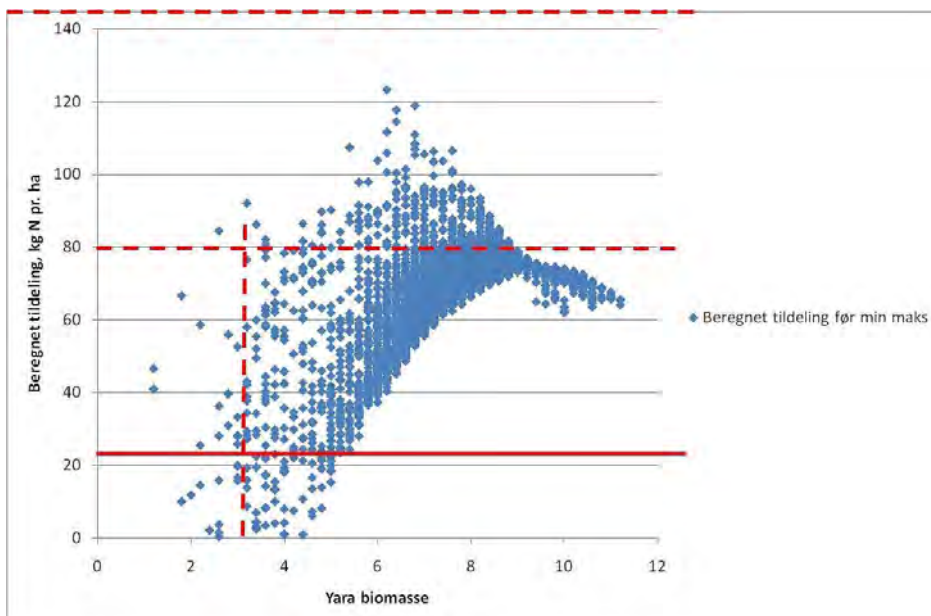
Den anvendte gødningsspreder i projektet er en Wing jet k-tronik s 4020 fra Kongskilde. Den har faste gear, som kun kan udsprede gødning i et vist mængdeinterval. En automatisk graduering af gødningmængden inden for en udspreddning kan kun ske inden for dette interval. Det har betydet, at tildelingen ikke har kunnet varieres så meget som ønsket. Med en kvælstofgødning med et indhold på 25 pct. kan tildelingen af kvælstof i det valgte gear kun varieres inden for et interval fra 25 til 86 kg kvælstof pr. ha - svarende til 93 til 319 kg gødning pr. ha. Hvis kvælstoftildelingen ved brug af algoritmen ligger uden for det interval, som gødningssprederen kan håndtere, sættes tildelingen til hhv. minimum- eller maksimumtildeling.

Den samlede gødningstildeling under hensyntagen til korrektioner for cut-off-værdier og gearkassens begrænsninger kalibreres til slut, så den passer med den ønskede værdi.

Metoden anvendt til fordeling af kvælstof ud fra Yara N-Sensoren kan summarisk beskrives som:

1. Marken køres over (måles) med Yara N-Sensor.
2. Den udsprede kvælstofmængde fastsættes ud fra, hvilken mængde, der som sum af markerne tilstræbes udsprede med "Ensartet tildeling".
3. For hver position beregnes kvælstoftildelingen ud fra en algoritme baseret på Yara-N-biomasse og elektrisk ledningsevne. Der korrigeres for cut-off-værdi og gødningssprederens begrænsninger.
4. Der produceres et elektronisk tildelingskort, som kan styre gødningssprederen.
5. Gødningen udspredes.

I figur 8.2 er vist fordelingen af gødningen ved første tildeling efter Yara N-Sensor 9. maj 2008. På figuren er vist den direkte beregnede tildeling og afgrænsningen på grund af cut-off-værdien og gearkassens begrænsninger.



Figur 8.2. Beregnet tildeling d. 9. maj 2008. Den lodrette linje udtrykker cut-off-værdien, og de to vandrette linjer udtrykker hhv. minimum- og maksimumtildelinger givet af gødningssprederens gearkasse.

Generelt fremgår det af figur 8.2, at langt størstedelen af den beregnede tildeling ligger inden for de tekniske muligheder, som gearkassen på gødningsprederen tillader og over cut-off-værdien. Tildelingen af kvælstof er generelt stigende med stigende biomasse. Spredningen i tildelingen ved samme biomasse skyldes variationen i ledningsevnen (EC-værdien).

8.3 Udbytteresultater af Yara N-sensor forsøg

Udbytteresultaterne i hhv. striber med tilførsel af kvælstof ved "Ensartet tildeling" og "Yara N-Sensor" striber er gjort op ud fra høst med mejetærsker med elektronisk udbyttmåler og logning af udbyttet. Se metodebeskrivelse i afsnit 6.

Resultater af forsøgene fremgår af tabel 8.3 (2008) og tabel 8.4. (2009).

Table 8.3. Resultater fra 2008. "Ens" står for ensartet tildeling, og "Sens" står for sensorbaseret tildeling

Mark nr.	VERIS EC	NS tildeling 13/3	Dato, gylle tild.	Kg N i gylle pr. ha	Kg N i NS 9/5		Kg N i NS 29/5		Yara biomasse			Udbytte, hkg/ha		Merudb., sensor, hkg/ha
					Ens	Sens.	Ens	Sens.	15-apr.	06-maj	21-maj	Ens	Sens.	
1-0	1,3	26	10/4	129					3,5	7,1	9,0	81,1	80,5	-0,6
3-0	0,9	26	14/4	55	74	70			4,5	7,6		66,5	66,5	0,0
4-0	1,2	26	12/4	109	68	74			4,3	8,0		76,7	77,3	0,6
4-2	1,1	26	12/4	109	72	72			5,3	9,0		80,0	80,0	0,0
5-0	1,7	26	25/4	73			36	36	3,3	6,4	7,9	82,7	82,7	0,0
11-0	1,7	26	16/4	55	64	64			3,3	6,4		79,3	79,3	0,0
16-0	2,0	26	27/4	75			30	35	3,8	6,8	8,0	83,2	83,4	0,2
17-0	2,0	26	17/4	60			36	36	4,2	8,6	8,7	82,2	82,2	0,0
25-0	2,0	26	22/4	90			39	42	4,3	7,4	8,9	76,7	80,2	3,5
26-0	1,3	26	22/4	90			38	38	3,6	7,1	8,8	82,2	82,2	0,0
27-0	0,9	26	24/4	58			28	37	4,6	6,9	9,0	96,1	96,0	-0,1
28-0	0,9	26	22/4	90			33	33	4,3	6,8	8,7	56,3	56,3	0,0
40-0	1,1	26	15/4	55	62	60			2,9	7,0		66,8	70,2	3,4
47-0	1,1	26	16/4	71	65	65				7,2		76,6	76,6	0,0
48-0	1,4	26		49			28	38	4,1	8,2	9,2	101,0	100,4	-0,7
70-0	2,7	26	30/4	108			36	37	3,2		8,1	80,7	80,7	0,0
Gns.		26		91								79,2	79,2	0,0

Tabel 8.4. Resultater fra 2009. "Ens" står for ensartet tildeling, og "Sens" står for sensorbaseret tildeling

Mark	EC-pløje-lag	Biomasse, Yara N-Sensor			Gylle, kg N/ha	Tilførsel 24/4, kg N/ha		Tilførsel 24/4, kg N/ha		Udbytte, hkg/ha		Merudbytte, sensor, hkg/ha
		19-3	22-4	5/5		Ens	Sens.	Ens	Sens.	Ens	Sens.	
1-0	1,3	2,8	6,5		86	82	83			72,1	73,3	1,3
10-0	1,2	1,9		8,2	86			34	27	64,4	62,1	-2,3
16-0	2,0	2,2		8,2	69			32	26	81,4	81,5	0,1
17-0	1,9	2,4		9,0	77			12	32	68,2	67,0	-1,2
25-0	2,1	2,5		10,4	108			42	28	68,3	65,9	-2,4
26-0	1,2	2,1		8,5	86			42	26	77,7	72,6	-5,1
32-0	2,2	7,6		9,3	69			14	22	72,9	74,5	1,6
36-0	0,7	3,9		10,2	109			14	26	77,7	84,0	6,3
48-0	1,0	2,7		8,8	86			24	27	77,8	76,4	-1,4
55-0	1,0	2,6	7,0		78	82	78			121,2	120,3	-0,9
60-0	1,5	3,0	7,3		78	82	78			98,3	99,9	1,5
64-0	0,8	2,3	5,8		78	76	66			111,8	116,4	4,5
70-0	2,8	2,5		7,6	74			34	32	84,1	81,4	-2,7
Gns.	1,6	3,1			82					82,9	82,5	-0,4

Det fremgår af tabellerne, at der hverken i 2008 eller 2009 er opnået et merudbytte for gødskning efter sensor i forhold til ensartet gødskning. Resultatet er ikke overraskende, når der ses på kvælstoftildelingen og variationen i kvælstoftildelingen efter sensoren. Det er anført i tabel 8.1, at spredningen på tildelingen efter sensoren med den valgte algoritme kun varierer fra 8 til 14 kg kvælstof pr. ha. Med en så lav variation i kvælstoftildelingen kan der ikke forventes et merudbytte.

Af tabel 8.5 og 8.6 fremgår også, at der på markniveau næsten er spredt samme kvælstofmængde ved ens og ved tildeling efter sensor.

8.4 Diskussion af anvendt algoritme

Det kan være et problem, at der i tildelingen er anvendt den algoritme, der tidligere er udviklet på baggrund af Landsforsøgene. Denne algoritme bygger på en biomassevariation, der alene er forårsaget af variation i mineralisering fra jorden. Tilmed giver algoritmen kun en begrænset variation i tildelingen ved en gennemsnitlig beregnet EM 38-værdi på 10, som er niveauet på markerne i projektet. EM 38-værdien i projektet her er beregnet ud fra målt Veris EC. Ved en EM 38-værdi på 10 stiger kvælstofbehovet til en biomasseværdi på 9, for derefter igen at aftage. Det fremgår også af figur over tildelinger af kvælstof som funktion af biomassen (fig. 8.2).

Et af formålene i projektet har været at få sensoren til at korrigere for variationen i gylletildeling. Det er velkendt fra andre undersøgelser og fra tidligere Landsforsøg, at man ud fra sensormålinger kan beregne mængden af kvælstof tilført tidligere i vækstsæsonen. Det er også tilfældet i et af forsøgene i nærværende projekt (se afsnit 9). Størst variation i gylletildelingen af effektivt kvælstof må forventes at findes mellem marker. Inden for marken kan der dog også være en variation som følge af, at gyllen udbringes på forskellige tidspunkter inden for en dag og eventuelt også over flere dage,

hvilket vil give en forskellig ammoniakfordampning og dermed en forskellig virkning af totalkvælstof i gyllen. Gyllen kan også inden for en mark stamme fra forskellige gyllebeholdere. Endelig kan der også ske fejl ved gylleudbringningen, så der springes et spor over, eller der gives dobbelt gylle i et spor.

Er der en variation, der skyldes forskellig tilførsel af effektivt kvælstof i gyllen, skal algoritmen være anderledes end den anvendte. Den skal mere direkte korrigere for forskelle i biomasse, der skyldes forskellige tilførsler af gylle. Det vil betyde, at mængden af supplerende kvælstof i handelsgødning skal være faldende med stigende biomasse. I den algoritme, der er anvendt i projektet, er der kun ét fald i kvælstoftildelingen i supplerende handelsgødning ved en biomasse over 9 ved normale værdier for Veris EC (eller EM 38).

Af resultaterne af de algoritmer, der er udviklet på baggrund af striber med 50 og 200 N (se afsnit 7), blev det fundet, at kvælstofbehovet i 2008 steg med stigende biomasse, mens det i 2009 faldt med stigende biomasse. De ældre "blokforsøg", som algoritmen anvendt i dette projekt er udviklet ud fra, viste, at kvælstofbehovet var stigende med stigende biomasse indtil et optimum, hvorefter behovet faldt med stigende biomasse (kvadratisk sammenhæng).

Ved anvendelse af sensor til at tildele det supplerende kvælstof i handelsgødning er der, i forhold til de ældre "blokforsøg", og også i forhold til 50 og 200 N-striberne, den forskel, at en langt større del af markens kvælstofmængde allerede er tildelt på tidspunktet, hvor sensoren anvendes.

I afsnit 10 beskrives, hvordan algoritmen foreslås til på baggrund af erfaringer i dette projekt at omfordele kvælstof på større husdyrbrug.

9. MILJØFORSØG

Ud over en potentiel effekt på udbyttet ved gødsning efter Yara N-Sensor, er også den potentielle effekt på udvaskningen af kvælstof forsøgt belyst i projektet. Formålet med projektet har bl.a. været at udarbejde en miljøoptimeret algoritme, hvor udvaskningen af kvælstof minimeres ved omfordeling af en given kvælstofmængde.

Der er gennemført ét specifikt forsøg i 2009 og ét i 2010 med henblik på at vise miljøeffekten af gødsningen efter sensor. Effekten på udvaskning af kvælstof er belyst ved at måle N-min i efteråret. Mængden af N-min (nitrat + ammonium) ses som et udtryk for risikoen for udvaskning.

Den teoretiske effekt af omfordeling af kvælstof efter sensor på udvaskningen er, at kvælstoftildelingen afpasses bedre efter behovet på positionen ved sensorgødsning.

9.1 Forsøg 2009

I 2009 blev der i én mark, i tilknytning til forsøgene med 50 N, 200 N, ensartet gødsning og gødsning efter sensor, gennemført høst med parcelhøster, og der blev målt protein i kerne. Desuden blev der målt N-min i hver anden parcel af det "Ensartet gødskede", samt i udvalgte parceller i 50 N-striben. Sammenhæng mellem udbytte, biomasse med videre er omtalt i afsnit 7.5.3 Det skal bemærkes, at det i forsøget blev observeret, at i alle 4 striber i de sidste 5 parceller, stod afgrøden meget dårligt på grund af jordbundsproblemer.

Resultatet af opgørelsen fremgår af tabel 9.1.

Tabel 9.1. Resultat af forsøg 2009 med udvidede målinger. "Ens" står for ensartet tilførsel, og "Sensor" står for sensorbaseret tilførsel

Behandling i striben	Antal parc.	Kg N tilført, kg N/ha	Udb., hkg/ha		Protein, pct. i kerne		Overskud af kvælstof, kg N/ha		N-min	
			Gns.	Std.afv.	Gns.	Std.afv.	Gns.	Std.afv.	Gns., kg N/ha	Antal
50 N	32	50	46,7	9,0	7,4	0,5	-1	9	51	4
200 N	32	200	87,2	17,6	9,6	0,7	76	22	-	-
Ens	32	141	84,3	11,6	8,4	0,4	39	23	47	16
Sensor	32	138	77,0	11,2	8,0	0,3	47	12	-	-

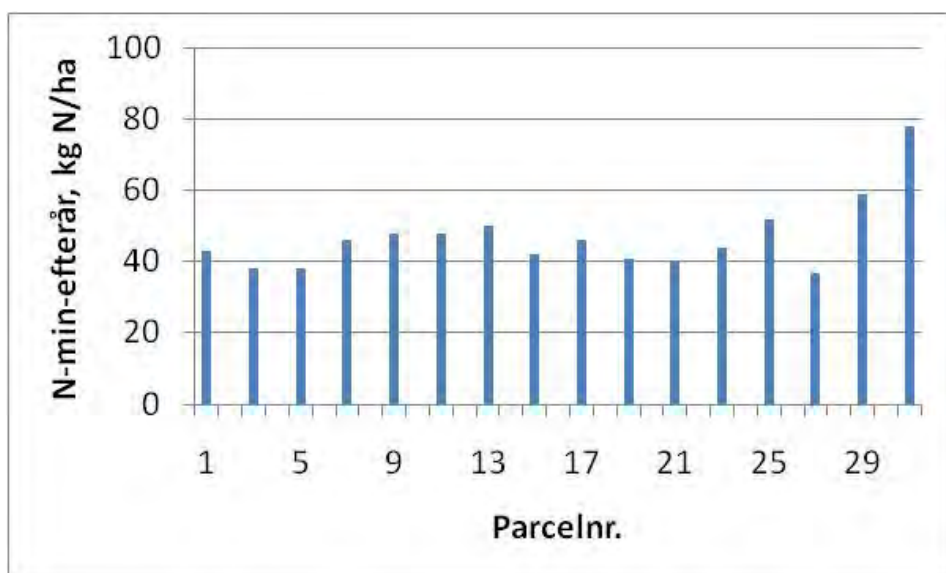
I striben med "Ens" og tilførsel efter "Sensor" er der tildelt gylle, mens der i striberne med hhv. 50 og 200 N er brugt udelukkende handelsgødning. Det skal bemærkes, at specielt striberne med "Ens" og "Sensor" ligger et stykke væk fra de to andre striber, hvilket gør direkte sammenligninger usikkert.

Proteinindholdet i 50 N-striben er meget lavt, og udbyttet ved dette proteinniveau er stærkt kvælstofbegrænset. Også proteinniveauet i "Ens"- og "Sensor"-striberne er meget lavt, og udbyttet her er også stærkt kvælstofbegrænset.

Overskuddet af kvælstof er beregnet som forskellen mellem tilført kvælstof (mineralsk) og bortførslen af kvælstof i kerne. Der er ikke regnet med bortførslen i halm, deposition af kvælstof, eller tilførsel af organisk kvælstof i gylle. Ved tilførsel af 50 kg kvælstof pr. ha er der balance mellem tilført og fjernet kvælstof, mens der ved tilførsel af 200 kg kvælstof pr. ha er et kvælstofoverskud på 76 kg kvælstof pr. ha.

I striben med "Ens" tilførsel er udtaget 16 N-min-prøver, dvs. i hver anden parcel ned gennem marken. I striben med tilførsel af 50 N er tilsvarende udtaget 4 N-min-prøver for at kunne sammenligne niveauet. Det fremgår af tabellen, at N-min-værdierne er lidt højere i striben, hvor der kun er tilført 50 kg kvælstof pr. ha i forhold til striben med "Ens" tilførsel af kvælstof. En medvirkende årsag til dette er, at 1 ud af de 4 prøver er taget i området med jordbundsproblemer og har en høj værdi. I striben med "ens" gødskning er udtaget 2 ud af 16 prøver i dette område, hvorfor gennemsnittet her er mindre påvirket af høje værdier i dette område.

I figur 9.1 er vist resultaterne af N-min-prøverne ved "Ens" tildeling.



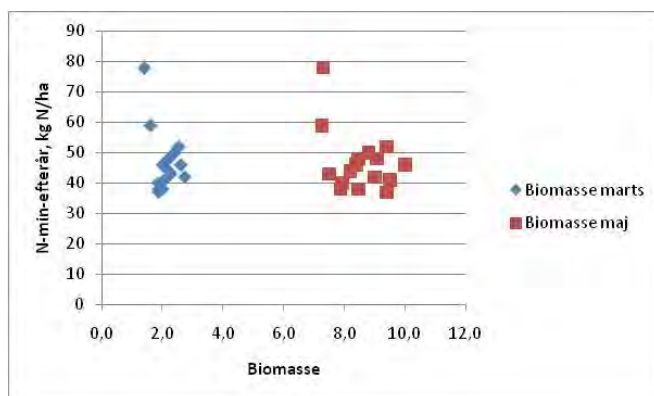
Figur 9.1. N-min målt om efteråret i 16 parceller i striben med "Ensartet tilførsel".

Parcellerne benævnt 29 og 31 er blandt de parceller, hvor der er noteret jordbundsproblemer. Figuren viser, at hvis parcellerne med jordbundsproblemer udelades, varierer N-min-indholdet fra 40 til 50 kg kvælstof pr. ha. Variationen er derfor beskedent. I parcellerne med jordbundsproblemer er N-min-indholdet derimod i begge parceller betydeligt højere (ca. 60 og 80 kg kvælstof pr. ha). Udbyttet i disse parceller var også betydeligt lavere end i resten af striben.

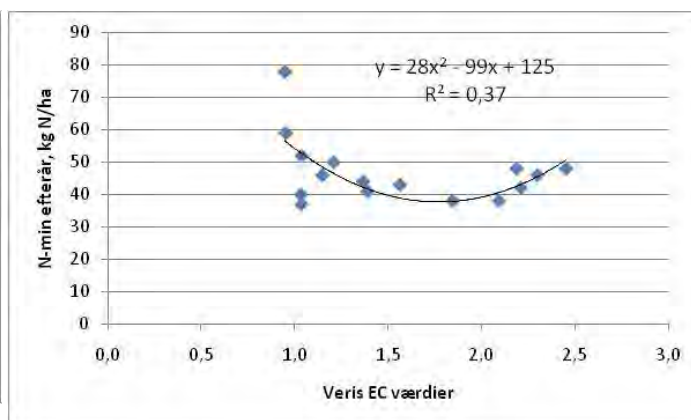
Ud fra en miljømæssig betragtning er det af stor interesse at kunne reducere N-min-indholdet i "problemområdet". Hvis jordbundsproblemet kan afhjælpes (afvanding, forbedring af strukturen eller lignende afhængigt af problemets art), må det forventes, at udbyttet kan forbedres og N-min-indholdet reduceres. Hvis det ikke kan afhjælpes, kan gødningstilførslen i dette område reduceres, hvorved N-min på længere sigt vil blive reduceret. Det skal noteres, at N-min-indholdet, og dermed udvaskningen, ikke reduceres meget ved at reducere tilførsel af kvælstof i et enkelt år. I striben med tilførsel af 50 kg kvælstof pr. ha blev også udtaget en prøve i dette område. Resultatet af denne

prøve viste et indhold på 71 kg kvælstof pr. ha – dvs. i samme niveau som i sriben med tilførsel af ”Ens”, hvor der blev tilført 140 kg kvælstof pr. ha.

Hvis området med jordbundsproblemer kan identificeres af biomassemålinger eller EM-38 målinger, kan tilførslen af gødning justeres automatisk. I figur 9.2 og 9.3 er N-min-indholdet i sriben med ”Ens” gødsning afbildet, dels som funktion af biomasse målt i marts og maj, og dels som funktion af Veris EC-værdier. For biomasse målt på begge tidspunkter fremgår det, at de to høje værdier forekommer ved de lavest målte biomasser. Hvis der ses bort fra de to høje værdier af N-min, er der ikke målt en sikker sammenhæng mellem N-min-indholdet og biomasse. Når der ses bort fra de to høje værdier, synes der at være en tendens til stigende N-min med stigende biomasse. Umiddelbart vil biomassemålingen i praksis ikke kunne afsløre risiko for høje N-min-indhold efter høst, fordi forskellene jf. figur 9.2 er for lille. For Veris EC (ledningsevne) er sammenhængen tilsyneladende bedre. Også her forekommer de høje værdier af N-min ved lave Veris EC-værdier, men også her synes forskellene så små, at det vil være svært at bruge i praksis.



Figur 9.2. Sammenhæng mellem N-min og biomasse målt i marts og i maj.



Figur 9.3. Sammenhæng mellem N-min og Veris EC.

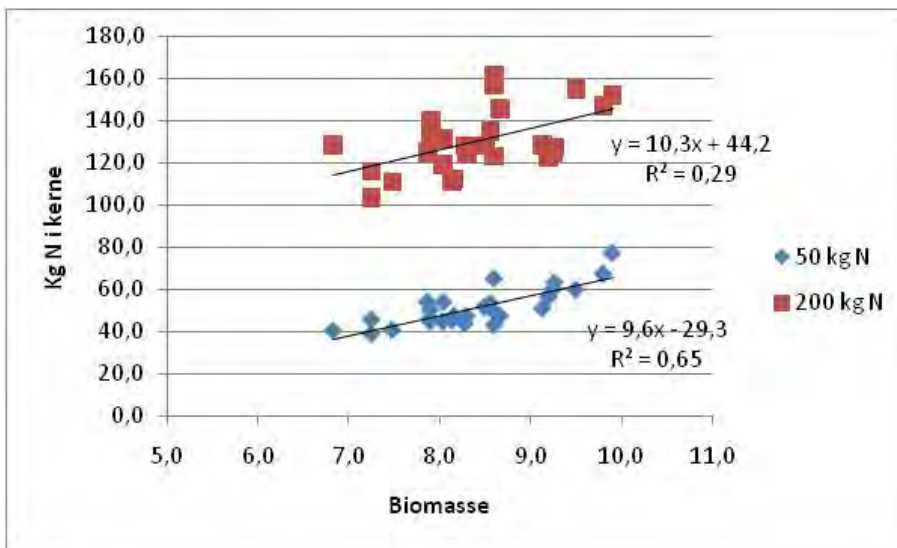
9.1.1. Kvælstofoverskud

Normalt betragter man overskuddet af kvælstof, dvs. tilført kvælstof fratrukket fjernet kvælstof, som et udtryk for det potentielle kvælstoftab. Dette gælder imidlertid kun på langt sigt, hvor man må forvente, at ændringen i jordens pulje er tæt på nul (balance).

Omfordeling af en given kvælstofmængde kan give anledning til en mindre udvaskning af kvælstof, hvis kvælstof flyttes fra områder i marken med en stor marginaludvaskning til områder med en lav marginaludvaskning.

Kvælstofudnyttelsen, udtrykt som marginaloptagelsen, er konstant op til et kvælstofniveau over den økonomisk optimale kvælstofmængde. Det fremgår tydeligt af Landsforsøgene. Ved høje kvælstof-tilførsler inkl. den kvælstoftilførsel, der kommer fra jorden, vil marginaloptagelsen af kvælstof dog begynde at falde. Hvis der er områder i marken, hvor jordens frigivelse af kvælstof er stor, kan der her fås en lav marginaludnyttelse af tilført kvælstof, hvis der ikke korrigeres for jordens frigørelse af kvælstof.

Sensoren kan, specielt ved tilførsel af lave kvælstofniveauer, beskrive variationer i jordens frigivelse af kvælstof. I figur 9.4 ses, at der er en god sammenhæng mellem kvælstofoptagelsen i kerne og biomassen i striben med tilførsel af 50 kg kvælstof pr. ha, hvor udbyttet er stærkt kvælstofbegrænset.



Figur 9.4. Sammenhæng mellem biomasse og kvælstofoptagelse i kerne i striberne med tilførsel af hhv. 50 N og 200 kg N pr. ha.

Det fremgår af figur 9.4, at også kvælstofoptagelsen ved 200 kg kvælstof pr. ha er påvirket af biomassen. Sammenhængen er dog meget svagere. Kvælstofudnyttelsen af de tilførte ekstra kg kvælstof kan beregnes som forskellen mellem de to kurver. Idet kurverne stort set har samme hældning, vil kvælstofudnyttelsen af de tilførte 150 kg kvælstof pr. ha være stort set konstant. Det kan dog ikke konkluderes entydigt fra data, idet sammenhængen mellem biomasse og kvælstofoptagelse i striben med 200 kg kvælstof pr. ha er usikker, og desuden kan kurveforløbet være sådan, at kvælstofoptagelsen stiger op til en given biomasse for efterfølgende at være konstant. Et sådant forløb vil give den bedste kvælstofudnyttelse ved en middel biomasse. Det vil betyde, at der alt andet lige kan opnås en bedre kvælstofudnyttelse ved at flytte kvælstof fra områder med lav og med høj biomasse mod områder med middel biomasse.

9.2 Miljøforsøg 2010

I 2010 er der gennemført et forsøg efter et specielt design. Ideen i forsøget var at undersøge

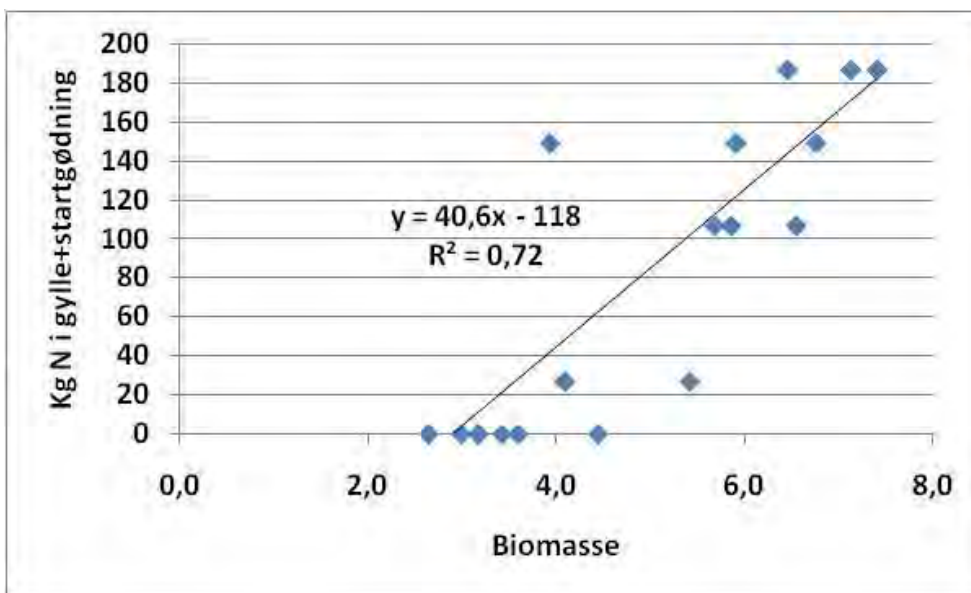
- om der ved hjælp af sensoren kan justeres i handelsgødningstildeling ved store forskelle i tildeling af gylle
- om justering af tildelingen af kvælstof efter forskellig gyllemængde har miljø- og udbyttmæssig effekt.

Behandlinger og hovedresultater fremgår af tabel 9.2. På grund af sen gylleudbringning forårsaget af vejret i 2010 blev alle parceller, undtaget led uden tilførsel af gylle, tilført 27 kg kvælstof pr. ha i begyndelsen af marts. Gylle blev udbragt den 27. april i tre forskellige mængder ud over "0"-ledet.

Tabel 9.2. Oversigt over resultater med "miljøforsøg" 2010

Biomasse		Gylle	Handelsgødning, kg N/ha		Udbytter, hkg/ha		Kvælstofbalance, kg N/ha		N-min, kg N/ha	
Ens	Sensor		Ens	Sensor	Ens	Sensor	Ens	Sensor	Ens	Sensor
4,5	6,0	0	149	79	60,2	66,5	74	61	52	55
3,1	3,6	0	0	142	32,6	55,9	-47	40	61	54
6,0	6,0	80	70	79	65,5	66,5	76	61	58	55
5,5	5,5	122	70	93	69,2	65,7	106	105	46	51
7,0	7,0	160	70	46	76,1	69,6	134	106	48	47

Gyllen er varieret i mængde svarende til en tilførsel fra 0 til 160 kg kvælstof pr. ha. Ved ensartet tilførsel af kvælstof er tilført samme mængde kvælstof i handelsgødning til supplement. Ved tilførsel efter sensor har det været formålet at undersøge, om sensoren kunne korrigere for den uensartede tilførsel i husdyrgødning. På tidspunktet for tilførsel af handelsgødning har sensoren kunnet registrere forskelle i den første tilførsel af kvælstof i gylle (se figur 9.5).



Figur 9.5. Sammenhæng mellem målt biomasse og tidligere tilført kvælstof i handelsgødning eller gylle.

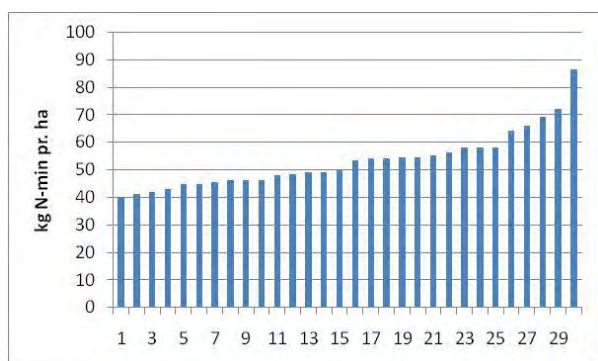
Sammenhængen er generelt god, men der er en betydelig spredning, der gør hældningen på kurven usikker. Hver enhed i biomasse svarer til en tilførsel af kvælstof på ca. 40 kg pr. ha. Tilførslen efter sensor er gradueret ud fra sammenhængen.

Ved brug af sensoren kan der, med den rigtige indstilling af sensoren, ske en korrektion for tilførslen af gyllen. I forsøget er sensortildelingen beregnet ud fra målinger med sensoren. Derefter er bedst mulig korrektion udregnet. Det ses i tabel 9.2, at hvis der ikke er tildelt gylle, vil sensortildelingen være 142 kg kvælstof pr. ha. Hvis der derimod er tildelt 160 kg kvælstof i gylle, er der kun tildelt 46 kg kvælstof pr. ha. Der er altså sket en korrektion af tildelingen ud fra tildelingen af kvælstof i gylle, men korrektionen er ikke slået helt igennem. Det ses også, at tildelingen af kvælstof ved tildeling af

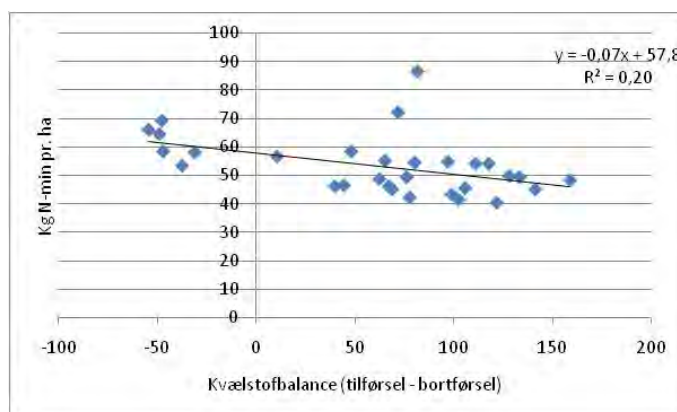
122 kg kvælstof i gylle er større end ved tildeling af 80 kg kvælstof i gylle. Det skyldes, at der ved 122 kg kvælstof er målt betydeligt højere biomasse end forventet ud fra den generelle sammenhæng (se figuren).

9.2.1. N-min

Hvis sensoren kan korrigere for gyllens indhold af kvælstof, kan mertilførsel i forhold til planternes behov undgås. Ved tilførsel af betydeligt større kvælstofmængder end behovet vil forventes øget risiko for udvaskning. Hvis kvælstoftilførslen er passende i forhold til behovet, vil det derimod forventes, at N-min-indholdet i jorden kan reduceres, og at udvaskningen dermed bliver mindre. Målinger af N-min om efteråret efter forsøget viser imidlertid kun begrænset variation (fig. 9.6 og 9.7).



Figur 9.6. Variation af N-min i forsøget efteråret 2010.



Figur 9.7. N-min-indholdet i jorden som funktion af kvælstofbalancen.

Som det fremgår af figur 9.6 og 9.7, er variationen i N-min-indholdet generelt beskeden. N-min-indholdet i jorden kan ikke korreleres med kvælstofoverskuddet i parcellen, biomasse eller Veris EC-værdier. Set i forhold til kvælstofbalancen er der nærmere en tendens til, at N-min-indholdet falder med stigende kvælstofoverskud.

Umiddelbart er det overraskende, at der ikke måles en stigning i N-min-indholdet ved et så stort overskud af kvælstof.

Forsøget er gennemført i tre blokke. I den ene blok er der en betydelig højere ledningsevne end i de andre to blokke. Det har imidlertid ikke medført nogen betydelig ændring af N-min-indholdet.

9.3 Konklusion af gennemførte miljøforsøg

Af forsøget i 2009 fremgår det, at sensoren ved måling af biomasse i maj ved tildeling af 50 N giver en sikker forudsigelse af udbyttet ud fra biomassen og derfor en sikker bestemmelse af variationen i jordens kvælstofmineralisering. Ud fra forsøget kan man dog ikke konkludere, at en omfordeling af kvælstof vil give en bedre udnyttelse af kvælstof, fordi udbytte ved høj kvælstofmængde (200 kg N pr. ha) stiger ligeså meget med stigende biomasse som i striben med 50 N.

I 2010 er der heller ikke registreret nogen sammenhæng mellem overskudstilførslen af kvælstof og N-min-indholdet om efteråret. Sensoren kan korrigere tilførslen af handelsgødning efter tidligere forskelle i tilførsel af kvælstof i gylle, og vil derfor være i stand til at udjævne forskelle i kvælstofoverskud. Dette vil principielt teoretisk set føre til en reduktion i udvaskningen.

Undersøgelserne viser, at tilførsel af kvælstof og forskelle i overskud af kvælstof i det enkelte år inden for marken ikke påvirker N-min-indhold og dermed udvaskning nævneværdigt. Udvasningen ved ensartet tilførsel af kvælstof må forventes at være størst fra områder med stor kvælstoffrigivelse fra jorden, selvom udbytterne her er høje. Dvs. typisk lave områder i jorden, hvor erosionen betyder en ophobning af organisk stof. Undersøgelserne viser også, at der er problemområder i marken med dårlig vækst på grund af f.eks. problemer med afvanding, kan N-min og dermed udvaskningen være stor. Måling af biomasse, elektrisk ledningsevne og udbyttekort kan være med til at identificere disse områder.

Der er gennemført en teoretisk beregning af potentialet for reduktion af kvælstofudvaskningen ved graderet tilførsel af kvælstof. Udgangspunktet for beregningen er, at en afvigelse af kvælstoftilførslen fra behovet for kvælstof på lokaliteten vil være styrende for udvaskningen. Metoden er beskrevet af (Nilsson (2010)), der i beregninger ud fra svenske forsøg med Yara N-Sensor og forskellige svenske empiriske udvaskningsmodeller angiver en udvaskningsreduktion på 1-3 kg kvælstof pr. ha. (Nilsson (2010)).

Udgangspunktet for angivelserne i tabel 9.3. er beregning af udvaskningen fra vinterhvede ved stigende mængder kvælstof med den empiriske udvaskningsmodel N-les3 (Kristensen et. al. (2003)).

Tabel 9.3. Udvasningsreduktion ved positionsbestemt tilførsel af kvælstof ved stigende spredning på kvælstofbehovet inden for marken. Beregningen er foretaget ud fra N-les3.

	Standardafvigelse for kvælstofbehov			
	10	20	30	40
Reduktion af kvælstofudvaskning, kg kvælstof pr. ha.	0,2	0,5	1,4	2,2

Med de spredninger, der er fundet i kvælstofbehovet inden for marker samt de svenske angivelser, vil den potentielle udvasningsreduktion formentlig være i størrelsesordenen 1-2 kg kvælstof pr. ha.

10. UDVIKLING AF ALGORITME

I kapitel 7 er gennemgået resultaterne af stribeforsøgene med 50 og 200 kg kvælstof pr. ha, der har genereret et vigtigt input til udarbejdelse af algoritmer. I kapitel 8 er gennemgået resultaterne af storskala Yara N-sensor-forsøget, hvor der er afprøvet en algoritme udviklet fra tidligere Landsforsøg. Konklusionen af disse undersøgelser er

- at den optimale kvælstofmængde er signifikant korreleret med ledningsevne og biomassen
- at biomassen har større betydning for kvælstofbehovet end ledningsevnen
- at kvælstofbehovet i 2008 steg med stigende biomasse.
- at kvælstofbehovet i 2009 faldt med stigende biomasse
- at den anvendte algoritme i Yara N-sensor-forsøgene ikke har ført til merudbytter
- at årsagen kan være, at den anvendte algoritme er baseret på variation i kvælstofmineraliseringen fra jorden og ikke af variation i kvælstoftildelingen i gylle
- at algoritmen i for stor udstrækning har taget hensyn til ledningsevne
- at gødningssprederen ikke har kunnet håndtere hele den ønskede variation i udspredding.

Med udgangspunkt i disse resultater og formålet med at udarbejde en så enkel strategi som muligt for at anvende sensoren på store husdyrbrug, foreslås i dette afsnit, hvordan gødningsstrategien kan indrettes, og hvordan algoritmen skal parametriseres.

10.1 Overordnet strategi for anvendelse af Yara N-Sensor på husdyrbrug

Projektet har vist, at det er meget vigtigt, at have en overordnet strategi for hele gødkningen for at kunne anvende omfordeling af kvælstof efter Yara N-sensor. Forslaget vil være, at gødkningen tilrettelægges således, at Yara N-sensor bruges til omfordeling af sidste kvælstofmængde i handelsgødning. På den måde vil den anvendes til at afbalancere tildelingen i forhold til forskelle i effektiv tilført kvælstofmængde i husdyrgødning og i forhold til variationer i kvælstoffrigørelsen fra jorden. Samtidig vil strategien være meget enkel.

Tabel 10.1 viser den strategi for gødningstilførsel, der blev anvendt i projektet.

Tabel 10.1. Strategi for gødningstilførsel til vinterhvede med efterfølgende omfordeling af sidste kvælstofmængde efter Yara N-sensor

Tidspunkt	Gødningstilførsel	
	Forfrugt: Korn	Forfrugt: Vinterraps
Ved vækstsæsonens begyndelse (primo marts)	30 kg N i handelsgødning + 20 kg svovl. (142 kg NS-21-23 eller 115 kg NS 26-14)	30 kg N i handelsgødning + 20 kg svovl. (142 kg NS-21-23 eller 115 kg NS 26-14)
Fra primo marts til 20. april	100-140 kg total-kvælstof i gylle	100-140 kg total-kvælstof i gylle
Medio maj (st. 32-34)	Omfordeling af restkvote efter Yara N-Sensor	Omfordeling af restkvote efter Yara N-Sensor

Et problem ved metoden er, at det kun er en beskedent kvælstofmængde, der kan omfordeles. I tabel 10.2 er der vist en beregning af, hvor meget kvælstof, der er til omfordeling:

Table 10.2. Kvælstofmængde til omfordeling, når der kun tildeles 30 kg kvælstof pr. ha ved vækstsæsonens begyndelse

	JB 1+3	JB 1-4 vandet	JB 2+4	JB 6	JB 7
	Kvote ved den pågældende jordtype (kg N pr. ha)				
Kvælstof i husdyrgødning (kg N pr. ha)	145	164	147	158	172
	Kvælstof til omfordeling (kg N pr. ha)				
100	40	59	42	53	67
110	33	52	35	46	60
120	25	44	27	38	52
130	18	37	20	31	45
140	10	29	12	23	37

For at en omfordeling af en kvælstofmængde skal give mening, vurderes det, at der minimum skal være 20 kg kvælstof pr. ha til omfordeling. På JB 2-4 vil der, hvis der tildeles 140 kg totalkvælstof pr. ha i husdyrgødning, kun være en kvælstofmængde på 12 kg kvælstof tilbage til omfordeling. Her vil en omfordeling ikke give mening. Alt andet lige vil omfordeling af sidste kvælstofmængde være lettest at få til at fungere, hvis der tildeles maksimalt 120 kg kvælstof i gylle.

Det enkleste for landmanden er, at der anvendes samme dosering af gylle til alle vinterhvedemarker, uanset hvilken gyllebeholder, det kommer fra. Det er også den metode, der er praktiseret på ejendommen i projektet. I projektet her er målt en forskel i indhold af totalkvælstof i gylle på ca. 3 kg kvælstof pr. ha mellem forskellige gyllebeholdere. Med en dosering på 25 ton pr. ha, vil det resultere i en forskel på ca. 50 kg kvælstof pr. ha tilført effektivt kvælstof. Det er en større forskel, end der er til omfordeling efter Yara N-sensoren. Derfor skal der på denne bedrift foretages en differentieret tilførsel af gylle efter det forventede indhold.

I praksis kan der udarbejdes en tabel, der viser doseringen af gylle til vinterhvede afhængigt af den gyllebeholder, der udbringes gylle fra. En sådan tabel kan anvendes under udkørslen, hvis der hentes fra forskellige gyllebeholdere. En sådan tabel kunne udarbejdes, som i tabel 10.2. Tabellen skal ideelt udarbejdes på baggrund af gylleanalyser fra de forskellige gyllebeholdere hvert forår. Tabellen kan også udarbejdes ud fra teoretisk beregnede værdier, der vil være betydeligt bedre end ingen korrektioner. Tabel 10.3 er beregnet ud fra de gylleanalyser, der er vist i tabel 3.9.

Table 10.3. Eksempel på en operationel vejledning i differentiering af tildeling af gylle efter indhold i forskellige gylletanke på ejendommen (se tabel 3.9.). Listen kan ligge i traktoren, og chaufføren instrueres i, at der skal skiftes dosering, når der hentes fra nye tanke.

	Ton pr. ha
Gylle Vester Harken	23
Gylle Søndergaard	23
Gylle Børglum	27
Gylle Krogholm,	28
Gødningsvand	35

Idet væskefraktionen fra separeret gylle og/eller forsuret gylle har en bedre udnyttelse af kvælstof end almindelig gylle, kan dette indbygges i vejledningen. En korrektion af doseringen af gyllen ud fra det aktuelle indhold af kvælstof er mere nødvendigt, hvis Yara N-Sensoren kun omfordeler kvælstof inden for en mark og ikke mellem marker.

10.2 Principielle betragtninger over algoritmer på husdyrbrug

10.2.1. Hældning på tildelingskurve

Et af formålene med at anvende sensoren på husdyrbrug er, at sensoren skal korrigere for variation i tilførsel af effektivt kvælstof i husdyrgødning inden for marken og mellem marker. En sådan variation kan forekomme ved, at mængden af tilført husdyrgødning varierer. Det kan også skyldes, at indholdet af kvælstof i gyllen varierer, fordi der f.eks. hentes gylle fra forskellige gylletanke, eller fordi udnyttelsesprocenten for kvælstof varierer, såfremt gyllen udbringes henover døgnnet, hvor der er en variation i ammoniakfordampningen, som følge af variation i temperaturen.

Hvis man antager, at den eneste variation i marken eller mellem marker skyldes variation i effektiv tilført kvælstof i gylle, vil man forvente, at den målte biomasse er lineært stigende med den effektivt tilførte kvælstofmængde. I så tilfælde skal algoritmen være en jævnt aftagende funktion af biomassen.

I praksis vil variationen i biomasse fremkaldt af varierende tilførsel af effektivt kvælstof i gylle skulle tillægges den variation, der kommer som følge af forskelle i forsyningen af kvælstof fra jorden. Ud fra resultaterne gennemgået i afsnit 7, udgjorde denne forskel, i frigørelsen af kvælstof fra jorden i en stribe, ca. 50 kg kvælstof pr. ha. Det må formodes, at variationen i kvælstoffrigørelsen fra jorden er større set over mange marker frem for kun i én stribe i én mark.

Resultaterne af sribeforsøgene viser, at der ikke kan korrigeres direkte for forskellen i kvælstoffrigørelsen fra jorden, fordi udbyttepotentialet og dermed også kvælstofbehovet er stigende med stigende kvælstoffrigørelse fra jorden og dermed stigende biomasse. Det betyder, at der ikke skal korrigeres fuldt for stigende kvælstoffrigørelse fra jorden.

10.2.2. Bestemmelse af størrelsen af hældningen på tildelingsfunktionen

Det forudsættes, biomassemålingen er direkte proportional med mængden af biomassen pr. arealenhed. I den nye figuration udtrykkes biomassen direkte som kg optaget kvælstof i biomassen pr. ha, og den er derfor en absolut størrelse. I projektet er anvendt en ældre konfiguration.

Umiddelbart har det ikke været muligt at oversætte data fra den gamle konfiguration til den nye. Derfor skal biomassedataene i dette projekt anses som relative.

For at fastlægge, hvor meget tildelingen af kvælstof skal korrigeres for den målte biomasse, såfremt der kun skal korrigeres for den hidtil tilførte kvælstofmængde, så skal man kende sammenhængen mellem tidligere tildelt kvælstof og den efterfølgende målte biomasse. Sammenhængen vil være påvirket af, hvornår målingen foretages, og hvornår der er tildelt kvælstof. En betingelse for at kunne korrigeres for tidligere tildelt kvælstof er, at kvælstoffet er optaget i planten og har resulteret i en ændret tilvækst. I anbefalingerne omkring gødskning med sensor anbefales det normalt, at der skal gå minimum tre uger fra tildeling af kvælstof, inden sensormålingen kan foretages.

Fra Landsforsøgene kendes sammenhængen mellem tilført kvælstof og den samlede optagelse ved høst. I kerne alene opnås typisk en marginaloptagelse af kvælstof på 45-50 pct. Hvis optagelsen i halmen indregnes, opnås en marginaloptagelse på 60-65 pct. Sammenhængen mellem tilførsel af kvælstof og optagelse af kvælstof midt i maj foreligger der umiddelbart ingen data på.

I forsøget med tilførsel af forskellige gyllemængder, hvor der efterfølgende er målt med Yara N-Sensor (se afsnit 9), er der fundet en sammenhæng mellem målt biomasse og tidligere tildelt kvælstof i gylle eller handelsgødning på $N_{\text{tildelt}} = 41 \times \text{Biomasse} - 118$. I ét af sribeforsøgene med tildeling af henholdsvis 50 og 200 kg kvælstof pr. ha i april, er der i maj målt en forskel i biomasse på 3,1 mellem de to striber, svarende til en forskel på 48 kg N pr. enhed biomasse.

I Landsforsøgene blev der i 2010 i forsøg målt kvælstofoptagelse i planteklip i 2 forsøgsled, der var tilført henholdsvis 0 og 50 kg kvælstof pr. ha tidligt. I disse forsøg blev målt en meroptagelse af kvælstof på i gennemsnit ca. 30 pct. af den tilførte kvælstofmængde. Skal der korrigeres for tilført effektivt kvælstof tyder resultaterne på, at der skal korrigeres med ca. 40 kg kvælstof pr. ha pr. enhed biomasse. Sammenhængen er dog meget usikker, da forsøgene ikke har været designet til at fastlægge denne sammenhæng.

Skal tildelingen alene korrigeres ud fra forskelle i jordens frigørelse af kvælstof, tyder resultaterne i 2009 på, at kvælstoftildelingen ud fra biomassemålinger i april skulle korrigeres med $-12 \times \text{biomasse}$ (se afsnit 7). I 2008 var sammenhængen omvendt. Her skulle kvælstoftildelingen øges med stigende biomasse. 2008 var imidlertid et afvigende år med et stort vandunderskud. Derfor lægges mest vægt på resultaterne i 2009.

For at få et indtryk af, hvor meget en given korrektion af kvælstoftildelingen der vil ske ved forskellig korrektion for tildelingen fra biomassen, er der i tabel 10.4 vist resultater af biomassemålinger ved den sene tildeling.

Table 10.4. Resultatet af biomassemålinger ved sen tildeling af kvælstof. På måletidspunktet mangler at blive tildelt i gns. 30-40 kg kvælstof pr. ha

2008, måling 21. maj			2009, måling 12. maj		
Mark nr.	Middel, BIO	Spredning BIO	Mark nr.	Middel, BIO	Spredning BIO
1-0	8,9	0,9	10-0	8,3	1,1
16-0	8,1	1,2	16-0	8,3	1,2
17	8,5	0,6	17-0	9,1	1,5
25-0	8,8	0,9	25-0	9,7	1,7
26-0	8,8	0,9	26-0	8,8	1,3
27-0	8,7	1,3	36-0	10,2	0,6
28-0	8,6	1,2	48-0	8,9	1,0
			70-0	7,6	0,6

Det foreslås at anvende en korrektion på 20 kg N pr. enhed afvigende biomasse. Dette foreslås på baggrund af et kompromis mellem

- 1) at der skal ske en korrektion på 40 kg kvælstof pr. enhed biomasse for at korrigere for forskelle i tidligere tildeling af effektivt kvælstof,
- 2) at der skal ske en korrektion på 12 pr. enhed biomasse i april ud fra forskelle i jordens kvælstofforsyning og
- 3) at den fastlagte spredning i kvælstofbehovet inden for en mark er op til 35 kg kvælstof pr. ha.

10.2.3. Begrænsning ved lave udbytter

Udbytterne kan være så lave, at der kun er behov for at tilføre en begrænset kvælstofmængde. Ved ensartet tildeling af 110-140 kg mineralsk kvælstof før en omfordeling finder sted, må det forventes, at der ikke skal tildeles kvælstof i områder med lavt udbytte. I tabel 10.5 er vist, hvor stor en andel, områder i marken med meget lave udbytter udgør. I både 2008 og 2009 udgør områder med under 40 hkg pr. ha i udbytte ca. 0,4 pct. af marken. Områder med udbytter på under 50 hkg pr. ha udgør tilsvarende i alt 2-3 pct. af marken i de to år.

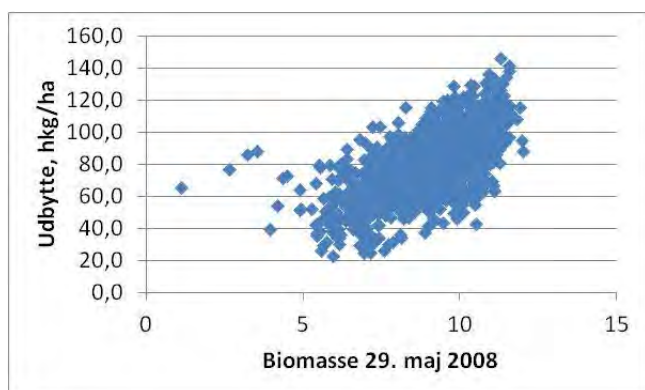
Table 10.5. Procentandel af arealet med lave udbytter i 2008 og 2009

Udbyttensniveau	<40 hkg/ha	40-45 hkg/ha	45-50 hkg/ha
2008	0,4	1,4	1,6
2009	0,4	0,8	2,0

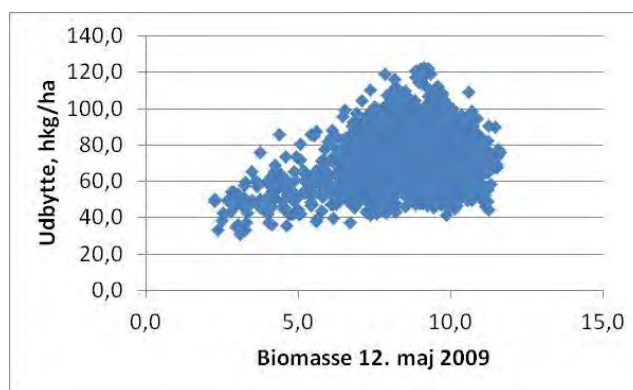
Områderne med lave udbytter kan ikke entydigt identificeres ud fra biomassemålinger ved sidste tildelingstidspunkt. I forsøgsresultaterne ses, at biomassen sætter en begrænsning på, hvor højt et udbytte, der kan opnås. I figur 10.1 og figur 10.2 er vist sammenhængen mellem den målte biomasse på det tidspunkt, hvor de sidste 30-40 kg kvælstof i handelsgødning pr. ha tildeles, og udbyttet i kerne ved høst. I begge år har biomassen skullet være over 6 for, at der kan opnås et udbytte på mere end 60 hkg kerne pr. ha. I 2009 topper udbyttet ved en biomasse på 9,5 til 10,0, mens der ikke ses et tilsvarende optimum i 2008.

Det fremgår også af figur 10.1 og 10.2, at selvom der på gødskningstidspunktet i maj måles en høj biomasse, så resulterer det ikke nødvendigvis i et højt udbytte. Der er andre udbyttebestemmende faktorer, der kan begrænse udbyttet.

Sammenhængen mellem biomasse og udbyttet kan anvendes til, i algoritmesammenhæng, at lægge en begrænsning ind på algoritmen, idet det maksimalt opnåelige udbytte ved en given biomasse lægger en absolut maksimal kvælstofmængde ind.



Figur 10.1. Sammenhæng mellem biomasse og udbytte i 2008.



Figur 10.2. Sammenhæng mellem biomasse og udbytte i 2009.

Hvis det antages, at der kun skal omfordeles de sidste ca. 30 kg kvælstof pr. ha, og der til vinterhvede er tildelt 110-140 kg kvælstof pr. ha på dette tidspunkt, vil man ud fra forsøg med stigende mængde kvælstof kunne antage, at den allerede tilførte kvælstofmængde er nok til at dække et behov på et udbytte til 50 hkg pr. ha. Ud fra figur 10.1 og 10.2 fastsættes derfor en nedre biomasse-værdi på 5,0, hvorunder der ikke tildeles yderligere kvælstof. Derudover foreslås det for biomasser på mellem 5,0 og 6,0 at gøre tildelingen jævnt stigende op til en given maksimal kvælstoftildeling ved en biomasse på 6,0.

I algoritmen, udledt af Berntsen et. al. (2006), indgår ledningsevnen som parameter. Også i nærværende undersøgelse er der fundet en signifikant effekt af ledningsevnen. Den påvirker dog ikke kvælstofbehovet meget, og det foreslås derfor, at den ikke indgår i algoritmen i almindelighed. Men en algoritme, der alene bygger på, at kvælstoftildelingen skal forøges med aftagende biomasse, rummer den risiko, at lave biomasser skyldes andre begrænsende faktorer end kvælstof. I så tilfælde vil algoritmen medføre en overgødskning i nogle områder med lave biomasser. Det vil navnlig skyldes, at udbyttet kan være begrænset af jordens vandholdende evne. Brug af ledningsevne i algoritmen kan afhjælpe noget af denne problemstilling. I stedet for at bruge ledningsevnen foreslås det, at der i marker med sandede områder, hvor udbyttet erfaringsmæssigt bliver lavt, indtegnes på et elektronisk baggrundskort. Udgangspunktet for at tegne dette baggrundskort kan være udbyttekort fra tidligere år og/eller luftfoto, kombineret med landmandens erfaringer eller ledningsevnekort (Veris EC eller EM 38). Kortet kan tegnes med udgangspunkt i, at der ikke i et normalår vil forventes et udbytte på over 50 hkg pr. ha.

10.2.4. Korrektion mellem marker og/eller inden for marker

Den ideelle algoritme kan korrigerer kvælstoftildelingen, også mellem marker, som det er gjort i projektet. Det rummer imidlertid den risiko, at biomassen er mere påvirket af forskellige såtidspunkter, sorter og tildelingstidspunkter for kvælstof end af den tildelte kvælstofmængde og jordens frigivelse af kvælstof fra jorden.

Derfor anbefales det generelt kun at omfordele kvælstofmængden inden for en given mark. Marker, der frem til omfordelingstidspunktet er behandlet ens, kan dog indgå i samme omfordeling.

10.3 Forslag til færdig algoritme

Forudsætningen for, at den beskrevne algoritme kan anvendes er,

- at der sker omfordeling af en restmængde i vinterhvede på fra 20 til 50 kg kvælstof pr. ha
- at det er minimum 3 uger siden, at marken sidst er tildelt kvælstof i handels- eller husdyrgødning
- at kornet er i st. 32 til 34
- at marken ikke har symptomer på svovl- eller manganmangel og ikke er tørkestresset
- at omfordeling sker inden for en mark eller gruppe af marker, der er ens behandlet med hensyn til såtidspunkt, sorter og gødskningsstrategi indtil omfordelingstidspunktet.

Kvælstofmængden til omfordeling beregnes som kvælstofkvoten for markerne, fratrukket tildelt kvælstofmængde i handels- og tildelt mængde husdyrgødning sat til den lovpligtige udnyttelsesprocent.

10.3.1. Teknisk algoritmebeskrivelse

Der anvendes følgende betegnelser:

- Målt biomasse med Yara N-Sensor: Bio
- Gennemsnitlig biomasse Bio_{gns}
- Biomassen på positionen: Bio_{pos}
- Cutoff-værdi for biomasse: Bio_{cutoff}
- Kvælstoftildeling til omfordeling: N_{gns}
- Kvælstoftildeling på positionen: N_{pos}
- Maksimal kvælstoftildeling: N_{max}
- Minimal kvælstoftildeling: N_{min}
- Værdi i baggrundskort: $Kort_{pos}$

Korrektion for biomasse: - 20 kg N pr. enhed biomasse forskel fra middel biomasse.

$Bio_{cutoff} = 5,0$ hvis $Bio_{gns} > 7,0$, hvis $Bio_{gns} < 7,0$ så er $Bio_{cutoff} = Bio_{gns} - Bio_{gns} \times 0,15 \times 2,5$

Hvis $Bio_{pos} > Cutoff_{bio}$ så er $N_{pos} = N_{gns} + (Bio_{pos} - Bio_{gns}) \times korr$

Hvis $N_{pos} > N_{max}$ så er $N_{pos} = N_{max}$

Hvis $Bio_{pos} < Bio_{cutoff}$ så er $N_{pos} = 0$

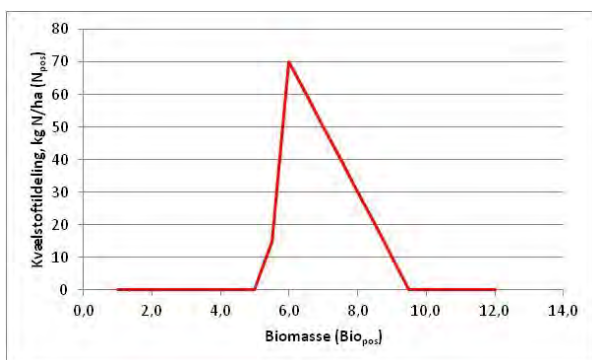
Hvis $Bio_{pos} > Bio_{cutoff}$ og $Bio_{pos} < Bio_{cutoff} + 1,0$ så er $N_{pos} = (Bio_{pos} - Bio_{cutoff}) \times (-korr \times 2)$

Hvis $Kort_{pos} = 0$ så er $N_{pos} = 0$

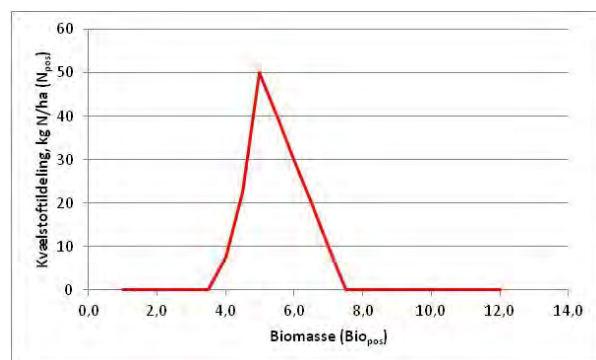
Fastsættelse af cutoff-værdien for biomasse betyder, at hvis der registreres en biomasse, der ligger under cutoff-værdien, så sker der en tildeling på 0, såfremt minimumstildelingen er sat til 0. Hvis biomassen for marken i gennemsnit er under 7, modificeres cutoff-værdien til den gennemsnitlige biomasseværdi for marken fratrukket 2,5 gange den almindelige standardafvigelse for biomassen. Sidstnævnte er sat ud fra en variationskoefficient for biomasse på 15 pct.

Kvælstoftildelingen er stigende fra cutoff-værdien til en biomasse på cutoff-værdien + 1,0. Det begrundes med, at der ikke sker en justering fra en stor kvælstoftildeling til 0, når biomassen netop ændres omkring cutoff-værdien. Størst tildeling sker ved cutoff-værdien + 1,0. Herefter falder tildelingen med 20 kg kvælstof pr. biomasseenhed indtil kvælstoftildelingen er 0 eller den mængde, der er sat som minimum. Ved den gennemsnitlige biomasse for marken gives gennemsnitstildelingen.

Algoritmen giver mulighed for, at der lægges et baggrundskort ind, som der tages hensyn til. Dette baggrundskort er i sin simpleste form en angivelse af, om der på en given position ønskes en tildeling af gødning. I praksis vil det typisk være et kort over lavudbytteområder i marken (pga. sand eller vandlidende jord), hvor det, ud fra en vurdering foretaget af landmand eller konsulent, ikke er ønskeligt at tildele mere kvælstof.



Figur 10.3. Illustration af tildelingsalgoritme. Gns. tildeling 30 kg kvælstof pr. ha, gennemsnitlig biomasse 8,0.



Figur 10.4. Illustration af tildelingsalgoritme. Gns. tildeling 30 kg kvælstof pr. ha, gennemsnitlig biomasse 5,0.

10.3.2. Test af algoritme på data fra 2008

Algoritmen er sammenlignet med den i projektet anvendte algoritme ved udspredning af sidste kvælstofmængde i maj 2008 ud fra målinger af biomassen den 21. maj 2008. Der er regnet med en gennemsnitlig udspredd kvælstofmængde på 30 kg kvælstof pr. ha. Det er forudsat, at der kun foretages en omfordeling mellem hver mark. Minimumstildelingen af kvælstof er sat til 0, og den

maksimalt tilførte kvælstofmængde er sat til 75 kg kvælstof pr. ha. Der er ikke foretaget en korrektion ud fra baggrundskort. I tabel 10.6 er vist en sammenstilling af data fra denne beregning.

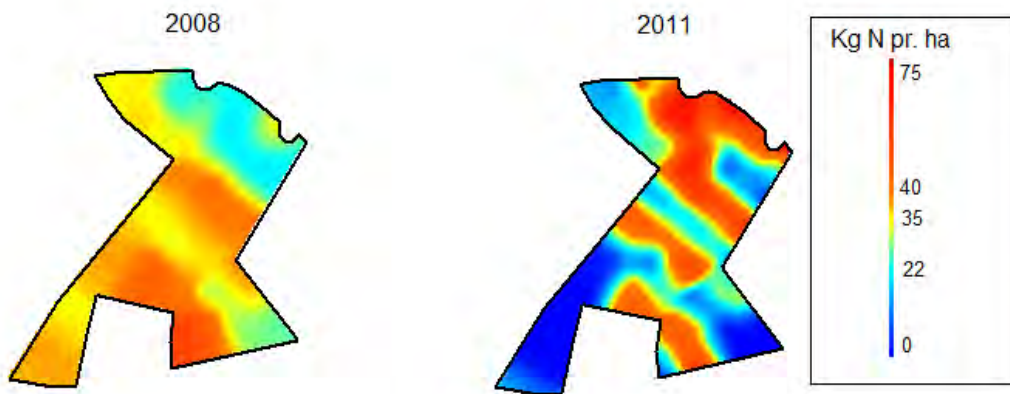
Tabel 10.6. Eksempel på tildeling efter den beskrevne algoritme ud fra biomassemålinger 21. maj 2008

Mark nr.	Biomasse		Udb. Hkg/ha	Tildeling, kg N/ha		Fordeling af marker efter		
	Middel	Spredning		Gns.	Spr.	0	1-10	>50
1-0	8,9	0,9	81,1	29	17	1	8	13
16-0	8,1	1,2	83,2	26	19	10	13	15
17	8,5	0,6	84,8	29	10	0	0	4
25-0	8,8	0,9	76,7	29	16	2	5	10
26-0	8,8	0,9	79,5	30	17	0	8	14
27-0	8,7	1,3	96,1	25	18	6	11	9
28-0	8,6	1,2	61,7	26	19	12	9	15
48-0	8,8	1,4	101,0	26	22	16	17	17
5-0	8,1	1,6	80,2	24	21	28	7	16

Af tabellen ses, at der i gennemsnit ikke helt er ramt en kvælstoftildeling på 30 kg kvælstof pr. ha i alle marker. Det skyldes, at der ikke er taget højde for den del af marken, som ikke tilføres kvælstof. Afvigelsen er dog begrænset. Spredningen på den tilførte kvælstofmængde er 15-20 kg kvælstof pr. ha. Det er en spredning, der er ca. dobbelt så stor som den algoritme, der aktuelt blev anvendt i projektet, til trods for, at der ved denne algoritme også skete en omfordeling mellem marker. Der findes også en betydelig større spredning, end der anvendes i Yaras standardalgoritme. Hvis der skal hentes en gevinst på gradueret tilførsel af kvælstof, så skal spredningen være af den angivne størrelse.

I tabellen er vist, at op til 28 pct. af marken ikke får tilført yderligere kvælstof. I de fleste marker er det dog en betydelig lavere andel. Tabellen viser også, at ca. 15 pct. af marken får tilført mere end 20 kg kvælstof pr. ha mere end gennemsnitstildelingen.

I figur 10.4 er vist tildelingskortene for mark 5 i 2008, dels foretaget ud fra den oprindelige algoritme og dels foretaget ud fra den foreslåede algoritme. Variationen i biomasse i mark 5 er jf. tabel 10.6 relativ stor. Den foreslåede algoritme foreslår i denne mark en stor graduering af tilført kvælstof.



Figur 10.4. Kvælstoffordeling efter oprindelig algoritme (2008) og efter foreslået algoritme (2011) ud fra biomassemålinger i mark 5.

10.4 Kalibrering

Med de danske gødningsregler er det vigtigt, at landmanden kan stole på, at den positionsbestemte udspredding af kvælstof efter Yara N-Sensor ikke overskrider kvælstofkvoten. Tidligere har Yara anbefalet at gennemkøre udvalgte sprøjtespor før tildeling med henblik på at kalibrere systemet. Det har givet en ekstra arbejdsgang og har hæmmet udbredelsen af systemet.

I den nye konfiguration af Yara N-Sensor er der indbygget en funktion med autokalibrering, hvor der før udspredding inddateres den kvælstofmængde, der er til fordeling på arealet. Ved gennemkørsel beregner sensorens computer hele tiden ud fra de allerede registrerede målinger den gennemsnitlige registrerede biomasse og tildelte kvælstofmængde og kalibrerer hele tiden modellen herefter.

Forudsætningen for, at dette vil virke optimalt er, at der begynder med udspredding i områder, der er nogenlunde repræsentative både med hensyn til gennemsnitlig biomasse og spredning på biomassen. Hvis der f.eks. kommer stærkt afvigende områder til sidst under udspreddingsforløbet, vil tildelingene her ikke kunne justeres til idéen i algoritmen.

Det vurderes dog, at man relativt let og præcist kan anvende den autokalibrering.

10.5 Konklusion

Ud fra en analyse af de gennemførte forsøg og undersøgelser er der foreslået en algoritme, der er målrettet omfordeling af kvælstof på større husdyrbrug. Algoritmen omfordeler en restkvælstofmængde på 20-50 kg kvælstof pr. ha ud fra biomassen og kan anvendes on-the-go. Gradueringen af kvælstoftildelingen tager højde for, at der dels er en variation i kvælstoffrigørelsen fra jorden og dels er en variation i tildelingen af kvælstof i gylle. Korrektionen for biomasse er betydeligt større end den, der er anvendt i fordelingsalgoritmen i projektet.

For at forenkle anvendelsen foreslås der ikke korrigeret for ledningsevne. Derimod er det vigtigt i marker, hvor udbyttet kan være begrænset af vandmangel (sandede områder), eller af andre forhold (f.eks. vandlidende jord) at anvende et baggrundskort, der kan "overrule" den automatiske beregning af tildelingen ud fra biomasse. Udarbejdelse af et sådant baggrundskort skal kun ske én gang, og kan ske på baggrunde af udbyttekort fra tidligere år, ledningsevnekort eller landmandens erfaringer.

Algoritmen er ikke testet i praksis. Det anbefales, at der i kommende år foretages en test af algoritmen specielt for at fastlægge hældningen på tilførselskurven.

Det vurderes, at anvendelsen af den udviklede algoritme kan resultere i et merudbytte på 0,5-1,0 hkg kerne pr. ha. Effekten på udvaskningen vurderes til at være en udvaskningsreduktion på 0,5-2,0 kg kvælstof pr. ha. I marker, hvor dele af marken har lavt udbytte på grund af områder med grovsandet jord, kan udvaskningsreduktionen være større, hvis der anvendes et baggrundskort, der begrænser tildelingen af kvælstof i disse områder.

11. LITTERATUR

Berntsen, J., Thomsen, A., Schelde, K., Hansen, O.M., Knudsen, L., Broge, N., Hougaard, H., Hørfarter, R. (2006): Algorithms for sensor-based redistribution of nitrogen fertilizer in winter wheat. Precision Agric. (2006) 7: 65-83

Knudsen, L., Hørfarter, R., Andersen, J.E. og Jensen, B. (2008): Afprøvning af automatisk jordprøveudtager med on-line bestemmelse af pH. LandboMidtØst, LandboNord og Landscentret, Planteproduktion.

Knudsen, L, 2010: Beregning af konsekvensen af undergødskning, Planteavl/orientering - 037. Videncentret for Landbrug. http://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Goedskning/Naeringsstoffer/Kvaelstof-N/Sider/pl_po_10_037.aspx

Kristensen, K., Jørgensen, U. og Grant, R. (2003): Baggrundsnotat til Vandmiljøplan II – slutevaluering. Genberegning af modellen N-LES. Miljøministeriet, Danmarks Jordbrugsforskning og Danmarks Miljøundersøgelser.

Nilsson, C. (2010): Möjligheter att minska kväveutlakningen genom att anpassa kvävegödslingen till variationer inom stråsådesfält. Kandidatuppsats i Biologi, SLU, Sveriges Lantbruksuniversitet.

12. BILAG

Bestemmelse af optimalt kvælstofniveau i vinterhvede ud fra to kvælstofniveauer ANR... Side 1 af 2

Du er her: Landbrugsinfo > Planteavl > Gødskning > Gødskningsstrategier > Vinterhvede > Bestemmelse af optimalt

Planteavlsorientering - 056

Oprettet: 27-07-2011

Bestemmelse af optimalt kvælstofniveau i vinterhvede ud fra to kvælstofniveauer

Den optimale kvælstofmængde i vinterhvede kan relativt sikkert bestemmes ud fra merudbyttet ved at øge kvælstofmængden fra 50 til 200 kg kvælstof pr. ha i vinterhvede sammenlignet med de seks kvælstofniveauer, der i dag bruges i landsforsøgene

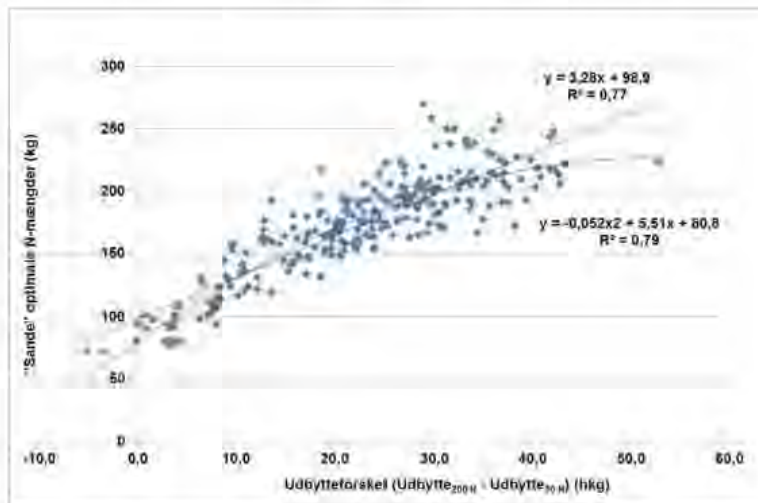
I landsforsøg anvendes normalt seks kvælstofniveauer (fra 0 til 250 kg kvælstof pr. ha med trinvis spring på 50 kg) til at fastlægge udbyttekurven som baggrund for beregning af den optimale kvælstofmængde. I forskellige projekter o.l. kan det være hensigtsmæssigt at kunne bestemme den optimale kvælstofmængde ud fra færre kvælstofniveauer. Med udgangspunkt i landsforsøg med stigende mængder kvælstof til vinterhvede i perioden 1999-2008 er undersøgt sikkerheden ved at bestemme den optimale kvælstofmængde ud fra merudbyttet ved at øge kvælstofmængden fra 50 til 200 kg pr. ha (dvs. kun to kvælstofniveauer) i forhold til den traditionelle beregning af optimum ud fra seks kvælstofniveauer.

Der er udvalgt de forsøg, hvor kvælstoftildelingen i led 2 og led 5 har ligget inden for et bestemt interval: $47 < N_{led2} < 53$ og $195 < N_{led5} < 205$. Dette giver i alt 263 forsøg.

Hvert forsøg er udført med fem gentagelser.

For alle forsøg er via forsøgsdatabasen beregnet den optimale kvælstofmængde ud fra alle kvælstofniveauer på traditionel vis, og udbyttet ved optimum er beregnet. Den optimale kvælstofmængde beregnes for hvert landsforsøg ud fra et anden- eller tredjegradspolynomium. Som udgangspunkt vælges et tredjegradspolynomium, men i visse tilfælde vælges et andengradspolynomium. Der er anvendt en kvælstofpris på 8,00 kr. pr. kg N og en afgrødepris på 135 kr. pr. hkg, svarende til at der skal ca. 8 kg korn til at betale for 1 kg kvælstof.

Den optimale N-mængde beregnet for hvert forsøg ud fra seks kvælstofniveauer er plottet mod forskellen i udbytte mellem forsøgsleddet med 200 kg og 50 kg kvælstof pr. ha fra samme forsøg.



Figur 1. Korrelation mellem traditionelt beregnet optimal kvælstofmængde beregnet ud fra seks kvælstofniveauer og forskellen i udbytte mellem leddene tilført 200 og 50 kg kvælstof pr. ha.

Den optimale kvælstofmængde kan således beregnes med et andengradspolynomium ud fra forskellen i udbytte mellem forsøgs tilført 200 og 50 kg kvælstof pr. ha efter følgende algoritme:

$$\text{Optimal N} = 80,8 + 5,51 \times \text{Merudbytte}_{200-50} - 0,052 \times \text{Merudbytte}_{200-50}^2$$

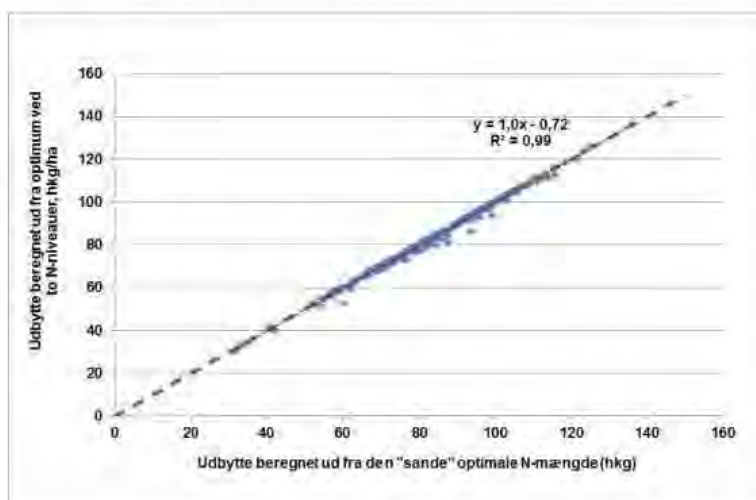
<http://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Goedskning/Goedskningsstrategier/Vinterhve...> 27-09-2011

Sammenhængen mellem den optimale kvælstofmængde bestemt ud fra seks forsøgsled og forskellen mellem udbyttet ved hhv. 50 og 200 kg kvælstof pr. ha er stærk signifikant. Den optimale kvælstofmængde beregnet ud fra seks niveauer er i sig selv behæftet med en vis usikkerhed, fordi merudbyttekurven er relativt flad omkring den optimale kvælstofmængde. Tidligere beregninger har vist, at usikkerheden på beregning af optimum i enkeltforsøg er ca. 15 kg kvælstof pr. ha.

Test af sammenhæng ved beregning af udbyttet

For at validere, hvor godt den fundne algoritme beskriver det traditionelt beregnede optimum, er udbyttet sammenlignet ved det beregnede optimum fra to kvælstofniveauer med udbyttet beregnet ud fra optimum fundet ud fra alle seks kvælstofniveauer. I begge tilfælde er udbyttet beregnet ud fra udbyttekurven beregnet ud fra alle kvælstofniveauer. Sammenhængen fremgår af figur 2.

Af figuren ses det, at der er en meget stærk korrelation mellem udbytterne. Når denne sammenhæng er bedre end sammenhængen mellem de optimale kvælstofmængder, skyldes det igen, at udbyttekurven er relativt flad omkring optimum.



Figur 2. Sammenhængen mellem udbytte beregnet ud fra optimum beregnet ud fra seks kvælstofniveauer (x-akse) og fra to kvælstofniveauer (y-akse).

Analysen viser, at den optimale kvælstofmængde kan beregnes med rimelig sikkerhed, hvis merudbyttet i vinterhvede mellem tilførsel af henholdsvis 200 og 50 kg kvælstof pr. ha er kendt.



Det er kun ansatte i DLBR, der har adgang til at kommentere og læse kommentarer. Når du har skrevet en kommentar får artiklens forfatter automatisk besked, og du kan vælge om du vil have besked, hvis andre kommenterer på artiklen.

Skriv dit **fulde navn** og **emailadresse** når du kommenterer

[blog comments powered by Disqus](#)

[Læs regler og betingelser for kommentarer](#)



VIDENCENTRET FOR LANDBRUG

Sidst bekræftet: 27-07-2011 Oprettet: 27-07-2011 Revideret: 27-07-2011

Forfatter

Planteproduktion

Chefkonsulent

Leif Knudsen

Planteproduktion, Specialviden

lek@vfl.dk



VIDENCENTRET FOR LANDBRUG
Planteproduktion