

Effekt af præcisionsjordbrug på udbytte, kvælstofoverskud og udvaskning af kvælstof ved bedre håndtering af kvælstofgødning

Sammendrag

Effekten er beregnet af, i hver mark og indenfor marken, at tilføre kvælstof mere nøjagtigt i forhold til det optimale niveau, end det sker i dag. Påvirkningen af udbytte, kvælstofoverskud og kvælstofudvaskning er beregnet. Effekten på udbytte og kvælstofoverskud tager udgangspunkt i landsforsøg med stigende mængder kvælstof til vinterhvede, der er gennemført fra 2015 til 2020. Ud fra forsøgene er der opstillet en funktion hvor effekten på udbytte og kvælstofoverskud kan beregnes ved en afvigelse i tilførslen af kvælstof fra 200 kg mindre end behovet til 200 kg mere end behovet.

Effekten på udvaskningen af kvælstof er beregnet ud fra 26 forsøg i korn, hvor sammenhængen mellem kvælstoftilførsel – og udvaskning er bestemt i hvert af forsøgene. Ud fra disse forsøg er tilsvarende som for udbyttet beregnet, hvordan en tilførsel fra +/- 200 kg kvælstof pr. ha fra optimum påvirker udvaskningen.

I forhold til andre beregninger af effekt af afvigende tilførsel på udvaskning, synes nærværende beregninger at give en lidt mindre effekt.

Forskellige årsager til, at kvælstoftilførslen ved nuværende landbrugspraksis afviger fra behovet, er analyseret og søgt kvantificeret. Det gælder variation i kvælstofbehov mellem marker, indenfor marken, variation i indhold af kvælstof i husdyrgødning mellem forskellige lagre på bedriften, variation i markeffekt af husdyrgødning og uens fordeling af handels- og husdyrgødning i marken.

De største effekter er fundet ved at tage hensyn til variationen i indhold i husdyrgødning mellem gyllelagre ved at tilføre kvælstof efter en gylleanalyse af hver af lagrene.

Den samlede effekt på udbytte, kvælstofoverskud og kvælstofudvaskning på planteavls- og husdyrbrug er vist i nedenstående tabel. Beregninger for husdyrbrug er primært foretaget på svinebrug. Det er uvist, om de kan generaliseres til kvægbrug.

På planteavlsbrug opnås en reduktion i udvaskningen på 2,2 hkg pr. ha, samtidig med, at der kan opnås en udbyttegevinst på 3,9 hkg pr. ha. For husdyrbrug er fordelene større ved præcisionsjordbrug. Her er beregnet en udvaskningsreduktion på 4,0 kg kvælstof pr. ha og en udbyttegevinst på 6,8 hkg pr. ha.

Skøn over effekt på udbytte, kvælstofoverskud og udvaskning ved at reducere variationen mellem kvælstofbehov og faktisk tilførte kvælstofmængde ved at gennemføre præcisionsjordbrug

Skøn:	Underkant	Overkant	Middel
Planteavlsbrug			
Udbytte, hkg/ha	1,3	7,5	3,9
Kvælstofoverskud, reduktion, kg N/ha	1,7	7,8	3,4
Udvaskning, reduktion, kg N/ha	0,7	6,0	2,2
Husdyrbrug			
Udbytte, hkg/ha	2,8	12,9	6,8
Kvælstofoverskud, reduktion, kg N/ha	2,8	12,7	5,9
Udvaskning, reduktion, kg N/ha	1,8	9,0	4,0

Beregningen er foretaget ud fra en empirisk tilgang, hvor effekter er beregnet på gennemsnit af forsøg. Desuden er ikke inddraget vekselvirkning mellem tiltagene.

1. Indledning

I forbindelse med folketingets vedtagelse af Fødevare- og Landbrugspakken i december 2015 blev det besluttet, at udledningen af kvælstof fra det dyrkede areal skal reduceres med 3.500 ton pr. år senest i 2021 (Fødevare og Miljøministeriet (2015)). Virkemidlet til dette er indførelse af et krav om målrettede efterafgrøder på 380.000 ha, der skulle implementeres med 1/3 i henholdsvis efteråret 2019, 2020 og 2021. I efteråret 2019 vedtog regeringen at fremrykke kravet, så det skal være fuldt implementeret i efteråret 2020. Det betyder, at kravet til målrettede efterafgrøder i efteråret 2020 bliver 30,2 procent af efterafgrødegrundarealet i ca. 70 procent af landet. Kravet om målrettede efterafgrøder er udover kravet om pligtige og husdyrefterafgrøder. En planteavler får med de målrettede efterafgrøder typisk et krav om 40 pct. efterafgrøder og husdyrbrugene tilsvarende et krav om 50 pct. efterafgrøder (Landbrugsstyrelsen (2019)).

Landmanden kan dog vælge mellem forskellige alternativer til efterafgrøder. Det gælder tidlig såning af vintersæd, mellemafgrøder, brak, energiafgrøder eller afbrænding af fiberfraktionen af husdyrgødning eller en reduktion i ejendommens kvælstofkvote (Miljø- og Fødevareministeriet (2017)). Landmanden ønsker at få så mange alternativer til efterafgrøder som muligt, fordi et højt krav om efterafgrøder på nogle bedriftstyper kan være meget dyrt for landmanden. Store omkostninger ved et stort krav om efterafgrøder bunder i, at det kan være nødvendigt at gå fra vintersæd til vårsæd, hvilket specielt på lerjord og specielt på ejendomme, der opfodrer eget korn, typisk reducerer indtjeningen med 2-3.000 kr. pr. ha.

Landbrugsstyrelsen har siden 2018 gennemført et pilotprojekt med præcisionsjordbrug som alternativ til efterafgrøder. Mod at opfylde specifikke krav til fastsættelse af kvælstofbehov, anvendelse af analyser af husdyrgødning, udsprede handelsgødning med udstyr med sektionskontrol og udsprede handelsgødning positionsbestemt indenfor den enkelte mark ud fra variationer i vegetationsindeks målt fra satellit, kan landmanden få reduceret sit krav til efterafgrøder. På planteavlsbrug er reduktionen i efterafgrøder 10 ha pr. 100 ha, der dyrkes efter ovenstående principper. På husdyrbrug tilsvarende en reduktion på 12,5 ha. (Landbrugsstyrelsen, 2018).

Forudsætningen for, at præcisionsjordbrug kan blive et generelt alternativ til efterafgrøder forudsætter, at det har en reducerende effekt på udvaskningen. I forbindelse med pilotprojektet skal Aarhus Universitet vurdere denne effekt. I nærværende rapport udarbejdet af SEGES gives en vurdering af effekten.

1.1. Hvad omfatter præcisionsjordbrug

Præcisionsjordbrug kan omfatte en lang række forhold på den enkelte bedrift. I forbindelse med gødningsanvendelse fokuseres i denne rapport på følgende elementer:

1. Mere præcis fastsættelse af kvælstofbehovet på markniveau
2. Tilførsel af kvælstof på positionsniveau indenfor den enkelte mark
3. Anvendelse af analyser af husdyrgødning
4. Bedre fordeling af kvælstof i handels- og husdyrgødning i kraft af bedre teknologi

For alle tiltag gælder det, at der for hver position i marken skal opnås en bedre overensstemmelse mellem afgrødens behov for kvælstof og den tilførte kvælstofmængde. Med dette kan der selv ved samme tilførte gennemsnitlige kvælstofmængde for marken eller bedriften opnås en gevinst på udbytte og en reduktion i kvælstofoverskud og kvælstofudvaskning. Det skyldes udbyttekurvens og udvaskningskurvens form.

1.2 Metode

Effekten af præcisionsjordbrug på både udbytte og udvaskning lader sig kun vanskeligt måle. Det er vanskeligt at sætte kontrollerede forsøg op med det nødvendige antal gentagelser for at måle effekten, da effekten i sig selv beror på, at der er en stor variation over forsøgsarealet. Samtidig forventes det, at effekterne er relativt beskedne. Derfor er det nødvendigt at basere beregningen af effekten på modelbetragtninger.

For at fastlægge effekten skal følgende forhold afdækkes:

- Effekten på udbytte, kvælstofbalance og udvaskning ved at tilføre kvælstof i en mængde lig med behovet på positionen
- Variationen i tilførsel af kvælstof i forhold til behovet på positionen ved en dyrkningspraksis uden præcisionsjordbrug
- Mulighederne for at reducere afvigelsen mellem tilførsel og behov for kvælstof på positionen ved at anvende præcisionsjordbrug

I kapitel 2 beskrives modelleringen af effekt på udbytte, kvælstofbalance og udvaskning som funktion af en afvigelse mellem det reelle kvælstofbehov på positionen og den tilførte kvælstofmængde. I kapitel 3 beskrives variationen mellem tilført kvælstofmængde og behovet på positionen ved en dyrkningspraksis uden præcisionsjordbrug og mulighederne for at reducere denne afvigelse ved anvendelse af præcisionsjordbrug. I kapitel 4 vises en beregning af effekten af præcisionsjordbrug.

2. Effekt på udbytte, kvælstofbalance og udvaskning ved afvigende kvælstoftilførsel fra behovet

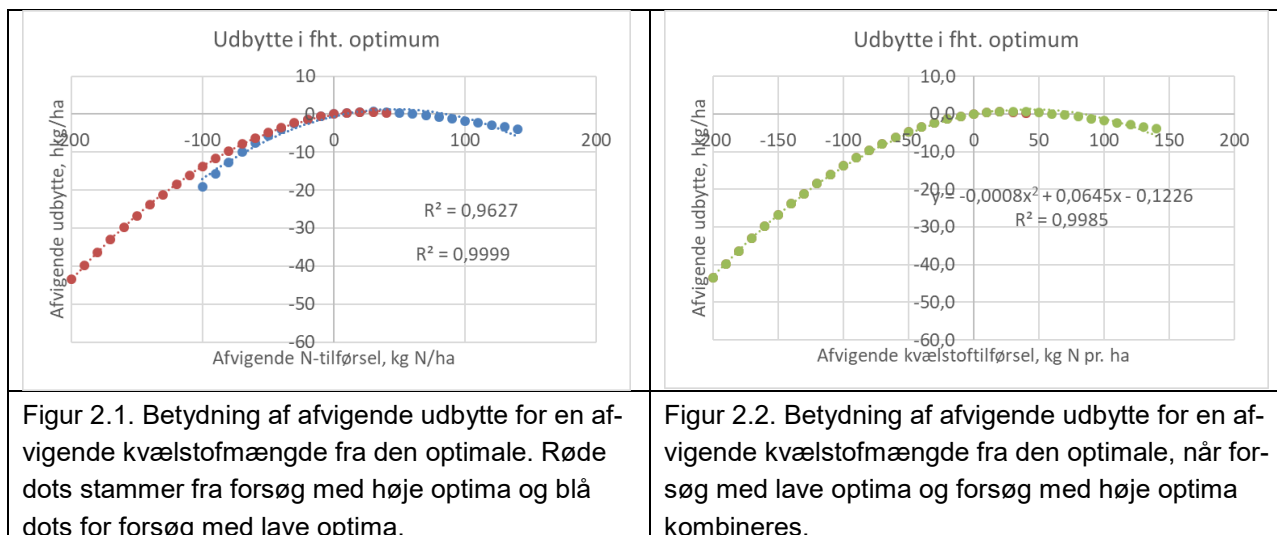
2.1 Effekt på udbytte

Effekten på udbyttet ved tilførsel af en kvælstofmængde, der afviger fra behovet, er beregnet ud fra forsøg med stigende mængder kvælstof til vinterhvede.

Beregningen tager udgangspunkt i 66 landsforsøg med stigende mængder kvælstof til vinterhvede for perioden 2015-2019. Forsøgene er gennemført med kvælstofmængder fra 0 til 300 kg kvælstof pr. ha med et interval på 50 kg kvælstof. For hvert forsøg er den optimale kvælstofmængde beregnet ud fra et 3. grads polynomium eller i visse tilfælde et 2. grads. Prisforudsætningerne for beregningen er, at bytteforholdet mellem kvælstof og korn er 1:5, dvs. der skal avles 5 kg korn for at betale et kg kvælstof. For at få et så stort spænd i beregningen i betydningen af afvigelsen fra den optimale kvælstofmængde er forsøgene delt op i 2 grupper. I den ene gruppe indgår 22 forsøg med en optimal kvælstofmængde på under 160 kg kvælstof pr. ha. I denne gruppe kan en afvigelse fra udbyttet ved tilførsel af den optimale kvælstofmængde beregnes i et spænd fra -100 til +140 fra optimum, idet den højest tilførte kvælstofmængde er 300 kg. I den anden gruppe indgår 16 forsøg med et optimum på over 220 kg kvælstof pr. ha. Her kan effekten af en tilførsel på under 200 kg N i forhold til optimum beregnes, mens kun en tilførsel på over 50 kg kvælstof tilsvarende kan beregnes.

På figur 2.1 ses resultatet af denne beregning i form af kurver dels for forsøgene med lavt optimum og med højt optimum. Af figuren ses, at kurverne næsten ligger ens i det interval, hvor de overlapper. I figur 2.2 er de to kurver sat sammen ved at anvende betydningen af en mindre tilførsel end optimum fra den gruppe af forsøg med høje optimum, og resultater fra forsøg med lavt optimum, når der tilføres mere kvælstof end den optimale. Forsøgene rummer ikke et datagrundlag, der kan sige, hvad udbyttet bliver ved tilførsel 200 kg mere end optimum. I de efterfølgende beregninger er det antaget, at den andengradsfunktion, som beskriver

afvigelsen i udbytte kan ekstrapoleres til at gælde op til 200 kg kvælstof i mertilførsel. Dette giver et udbytte-tab på 18 hkg pr. ha, som synes at være rimeligt i forhold til, at der må forventes betydelig og tidlig lejesæd ved en så stor mertilførsel. Tabet ved overgødskning kan dog være undervurderet, fordi der er mindre lejesæd i parcelforsøg på grund af de smalle parceller sammenlignet med praksis. Det observeres ofte i praksis i foragre, kiler mv., hvor dobbelt tilførsel forekommer. Ved en afvigelse på 200 kg kvælstof pr. ha under optimum beregnes udbyttetabet til 45 hkg pr. ha. Det passer godt med udbytter i ugødgede forsøgsled i landsforsøgene. Det skal noteres, at det er den étårige effekt på udbyttet. Hvis over- eller undergødskning forekommer på samme sted i markerne hvert år, skal der tillægges en langsigtet effekt.

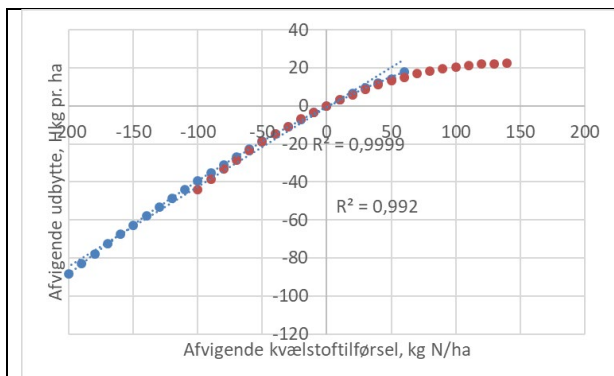


2.2 Betydning af afvigelse fra optimum for kvælstofbortførslen med kerne

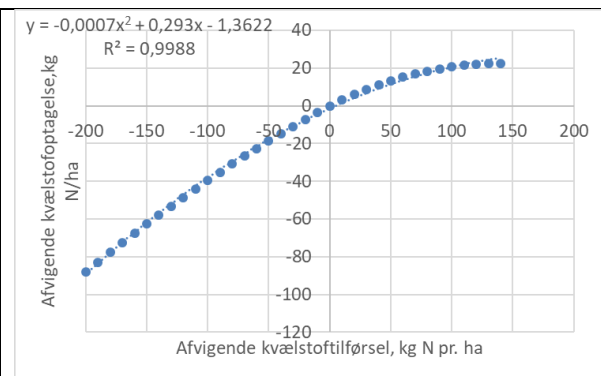
Betydningen for kvælstofbalancen er beregnet fra samme datasæt som beskrevet oven over. Kvælstofbortførslen med kerne er målt for hvert forsøgsled ved, at både udbytte og proteinprocent er målt. Herefter er kvælstofbortførslen beskrevet i form af et anden grads polynomie beregnet for hvert enkelt forsøg. Kvælstofbortførslen er i højere grad end udbyttet lineær op til en tilførsel af kvælstof lidt over den optimale, hvorefter marginaloptagelsen af kvælstof falder, så optagelseskurven aftager.

Ud fra funktionen med kvælstofoptag er for hvert forsøg beregnet, hvordan kvælstofoptaget ændres ved en afvigende kvælstoftilførsel fra den optimale. Dette igen gjort for forsøg med henholdsvis lave og høje optima. Kurver fra de to grupper falder rimeligt oven i hinanden i det overlappende interval. Derfor er de to kurver kombineret, og afvigelsen i kvælstofoptagelse ved tilførsel af en afvigende kvælstofmængde fra optimum er beskrevet ved et 2. grads polynomie, som er anvendt i de videre beregninger.

Igen er der ikke datagrundlag til at beskrive ændringen i optagelser ved en tilførsel på mere end 100 kg kvælstof fra optimum. Ekstrapoleres optagelseskurven, vil optagelsen ved tilførsel af 200 kg kvælstof pr. ha mere end optimum være 29 kg kvælstof pr. ha over optagelsen ved optimum.



Figur 2.3. Afvigende kvælstofmængde ved afvigende kvælstoftilførsel fra optimum. Røde dots er fra forsøg med lave optima, de blå fra forsøg med høje optima.



Figur 2.4. Kombinationen af 2 datasæt, der beskriver betydningen af afvigende kvælstofmængder fra optimum for kvælstofoptagelsen.

2.3 Betydning af afvigende kvælstoftilførsel for udvaskningen af kvælstof

Sammenhængen mellem afvigelse af kvælstoftilførslen fra optimum og udvaskningen er baseret på 26 forsøg, hvor udvaskningen af kvælstof er målt med sugeceller i forsøg med stigende mængder kvælstof fra perioden 2015-2018. I rapporten N-les5 er vist en oversigt over marginaludvaskningen ved henholdsvis 0, 50, 100 og 150 pct. af normal kvælstoftilførsel til afgrøden. Afgrøden har i de 26 forsøg været vinterhvede, vårbyg eller vinterrug. Efteråret efter har jorden været ubevokset eller bevokset med vintersæd. I få af forsøgene er kornafrøden efterfulgt af efterafgrøder. En oversigt over de medtagne forsøg ses i N-les5 rapporten s. 114, appendiks 4 (Børgesen et. al. (2019)).

I tabel 2.1 er vist den gennemsnitlige marginaludvaskning i forsøgene.

Tabel 2.1. Gennemsnit af marginaludvaskning ved forskellige kvælstofniveauer. 26 forsøg i vinterhvede, vinterrug eller vårbyg 2015-2018. Børgesen et. al. 2019.

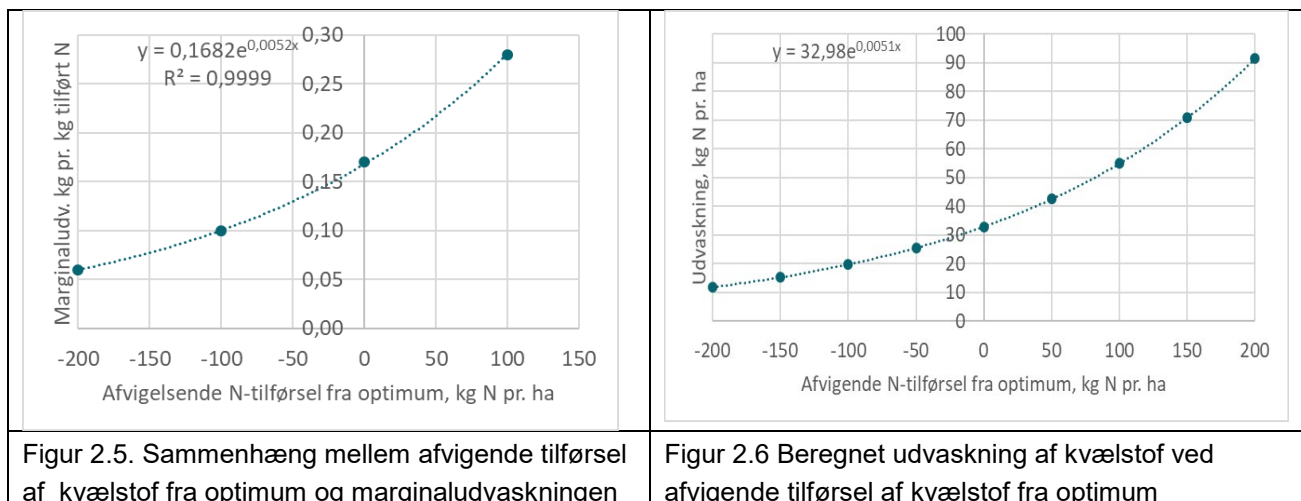
Pct. af normal tilførsel	0	50	100	150
Tilførsel i forhold til optimum, kg N/ha	-200	-100	0	100
Gns. marginaludvaskning, pct.	6	10	17	28

Variationen mellem de enkelte forsøg er meget stor gående fra en negativ marginaludvaskning til værdier over 100 pct. De fleste forsøg er gennemført på JB 4-6. Marginaludvaskningen er generelt større på sandjord end på lerjord. Datagrundlaget fra forsøget rækker ikke til at beregne kvælstoftilførslen udover 50 pct. af normaltilførsel. I de videre beregninger er marginal- og udvaskningskurven ekstrapoleret til tilførsel af 200 kg kvælstof pr. ha mere end optimum. Ved så store tilførsler viser beregningen at 40-50 pct. af ekstra tilført kvælstof udvaskes. Dette er formodentligt i underkanten, da den ekstra kvælstofoptagelse ved så høje kvælstoftilførsler er stærkt begrænset.

Betydningen af afvigelsen er beregnet i forhold til en normaltilførsel af kvælstof til den enkelte afgrøde og ikke i forhold til den aktuelle optimale kvælstofmængde i forsøget. Det betyder formodentligt, at

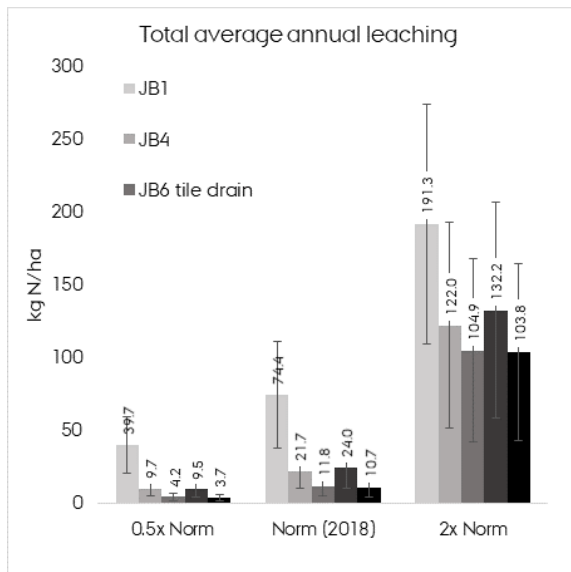
udvaskningen ved afvigende kvælstofmængde i forhold til optimum er undervurderet, når der tildeles mere kvælstof end ved optimum og overvurderet, når der tilføres mindre kvælstof.

I figur 3.5 er den beregnede marginaludvaskning vist samt den tilpassede eksponentielle funktion. Ud fra denne er udvaskningskurven og funktionen for denne beregnet, hvilket er vist i figur 3.6.

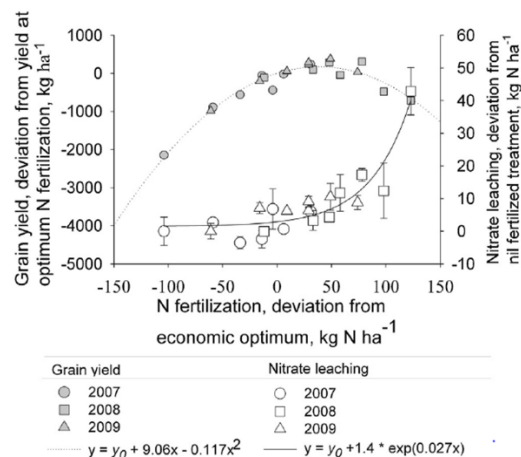


Forsøgene, der ligger bag ved beregningen af udvaskningen i figur 2.6 er ét til 3 årige forsøg. Hvis hhv., over- og undergødskning sker samme steder i marken hvert år, vil der også være en langsigtet effekt.

Beregninger med DAISY viser typisk et forløb, hvor udvaskningen stiger meget ved tilførsel af større mængder kvælstof end afgrøden har behov for (Gyldengren, 2018). I forhold til udvaskningen ved normen stiger udvaskningen på JB 6 ca. 100 kg kvælstof pr. ha ved tilførsel af det dobbelte af normen, men udvaskningen stort set er uændret ved tilførsel af halvdelen af normen. Til sammenligning stiger udvaskningen fra optimum til det dobbelte (afvigelse på 200 kg kvælstof pr. ha) kun ca. 60 kg kvælstof pr. ha og falder ca. 10 kg ved halv norm (-100 kg) ved beregning ud fra de 26 forsøg, hvor marginaludvaskningen er bestemt.



Figur 2.7. Kvælstofudvaskning ved forskellig tilførsel af kvælstof i forhold til norm. Modelberegnet med DAISY. Gyldengren (2018)



Figur 2.8. Udbytte og kvælstofudvaskning ved afvigende kvælstoftilførsel i forhold til kvælstofbehovet Delin et. al. (2014).

I svenske forsøg har man relateret kvælstofudvaskningen til behovet for kvælstof i hvert enkelt forsøg. Her har man generelt fundet en kraftig stigning i udvaskningen ved tilførsel af en kvælstofmængde større end behovet (Delin et. al., 2014). Dette fremgår af figur 3.8. I forhold til denne undersøgelse er udvaskningskurvens form ved beregningen ud fra de 26 forsøg mere stejl, og vil alt andet lige give en større effekt på udvaskningen ved at reducere afvigelsen fra optimum.

2.4 Effekt af andel af areal med dobbelt overlap og stigende variationkoefficient

Effekten af dobbelt overlap på udbytte, kvælstofbalance og udvaskning er beregnet ud fra ovenstående formelgrundlag. Med dobbelt overlap menes her områder i marken, der tildeles dobbelt så meget kvælstof, som i resten af marken. Den samlede tilførte kvælstofmængde i marken er holdt konstant. Ved stigende areal med dobbelt overlap i en del af marken tildeles således mindre kvælstof pr. ha i resten af marken. Beregningsmetoden er valgt, fordi der i gødningsreglerne er en maksimal kvælstofkvote, som må tildeles pr. ha.

Tabel 2.2. Effekt af stigende andel af marken med dobbelt overlap. Beregningen er foretaget med en tilførsel på 200 kg kvælstof pr. ha til vinterhvede. Mængden pr. ha er holdt konstant.

Hkg pr. ha							
Dobbelt overlap, pct. af mark	0	5	10	15	20	25	30
Rest af mark, pct.	100	95	90	85	80	75	70
Rest af mark, kg N pr. ha	200	190	182	174	167	160	154
Overlap, kg N pr. ha	400	381	364	348	333	320	308
Afvigelse fra optimum							
Rest af mark, kg N pr. ha	0	-10	-18	-26	-33	-40	-46
Overlap, kg N pr. ha	200	181	164	148	133	120	108
Hkg pr. ha							
Udbyttetab, rest af mark	0,0	-0,7	-1,4	-2,2	-3,0	-3,9	-4,7
Udbyttetab, overlap	-19,1	-14,5	-10,9	-7,9	-5,6	-3,8	-2,3
Udbyttetab, mark	0,0	-1,4	-2,4	-3,1	-3,6	-3,8	-4,0
Kg kvælstof pr. ha							

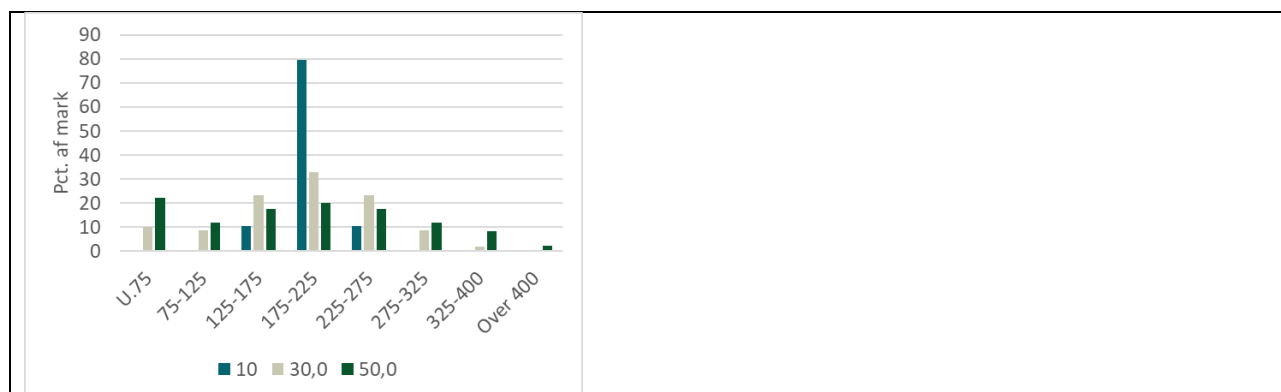
Promilleafgiftsfonden for landbrug

Kvælstofoverskud, rest af mark	0	-7	-13	-18	-23	-27	-31
Kvælstofoverskud, overlap	169	151	134	120	107	95	84
Kvælstofoverskud, mark	0,0	1,2	2,1	2,7	3,1	3,4	3,5
Kg kvælstof pr. ha							
Udvaskning, rest af mark	0	-2	-3	-4	-5	-6	-7
Udvaskning, overlap	58	50	43	37	32	28	24
Udvaskning, mark	0,0	1,0	1,7	2,1	2,3	2,4	2,4

Ved et dobbelt overlap på 5 pct. tilføres 381 kg kvælstof pr. ha i overlappet og 190 kg kvælstof i resten af marken. Udbyttetabet ved det dobbelte overlap beregnes til 14,5 hkg pr. ha, mens det er 0,7 hkg i resten af marken på grund af, at det tilføres 10 kg kvælstof pr. ha under den optimale kvælstofmængde. Den samlede effekt på udbyttet er et udbyttetab på 1,4 hkg pr. ha. Kvælstofoverskuddet beregnes til ekstra 151 kg kvælstof pr. ha, hvor der er dobbelt overlap, og for marken som helhed resulterer dette i en stigning i kvælstofoverskuddet på 1,2 kg kvælstof pr. ha. Tilsvarende stiger udvaskningen med 1,0 kg kvælstof pr. ha i forhold til en mark uden overlap.

Effekten på udbytte, kvælstofoverskud og udvaskning stiger med stigende andel af marken med overlap. Stigningstakten falder med stigende overlap, fordi kvælstofmængden tildelt i overlappet og i resten af marken nærmer sig hinanden, fordi den samlede tilførte kvælstofmængde holdes konstant.

På tilsvarende vis er effekten af en stigende variationskoefficient på afvigelsen mellem kvælstofbehovet og tilført kvælstofmængde beregnet. Beregningen er foretaget for vinterhvede med et kvælstofbehov på 200 kg kvælstof pr. ha og en gennemsnit tilført kvælstofmængde på samme 200 kg kvælstof. I figur 2.8 er vist, hvordan fordelingen i kvælstof er ved stigende variationskoefficient.

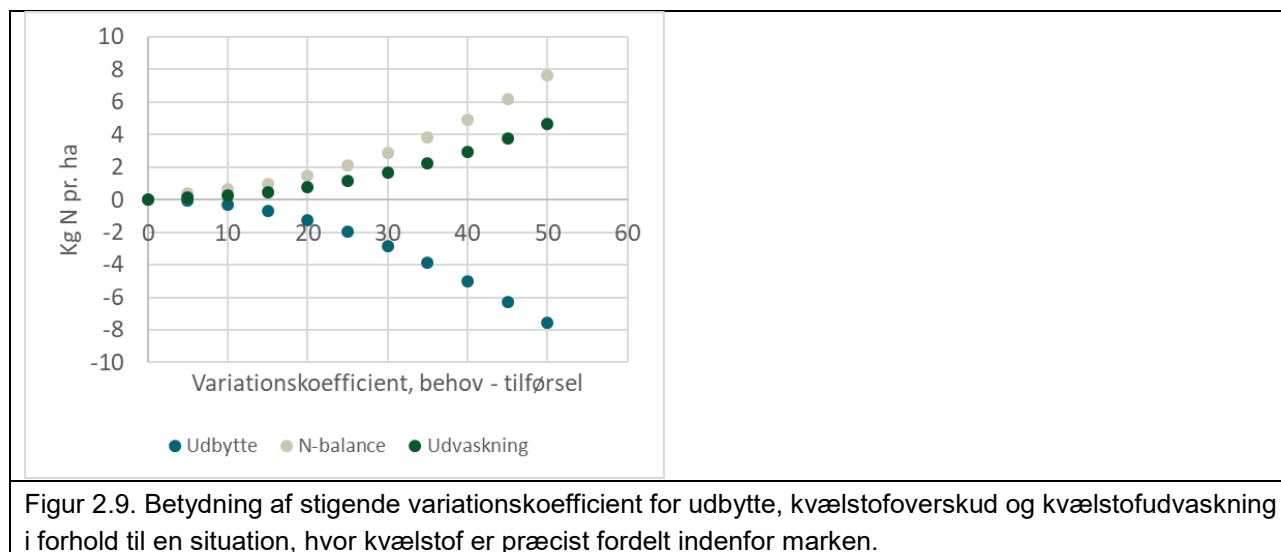


Figur 2.8. Fordeling af kvælstof i marken med stigende variationskoefficient på tildelingen af kvælstof.

Ved en teoretisk variationskoefficient på 10 pct. ved hele arealet tildeles de tilstræbte 200 kg kvælstof pr. ha

Ved en variationskoefficient på 10 procent tildeles 80 pct. af marken en kvælstofmængde, der afviger mindre end 25 kg kvælstof fra den tilstræbte. Ved en variationskoefficient tildeles tilsvarende kun 30 pct. af marken en kvælstofmængde inden for dette areal, mens 35 pct. tildeles en større eller mindre mængde. Ved en variationskoefficient tildeles 20 pct. en kvælstofmængde på under 75 kg pr. ha, mens 20 pct. tilsvarende tildeles mere end 125 kg kvælstof pr. ha.

Figur 2.9 viser, hvad en stigende variationskoefficient betyder for udbytte, kvælstofoverskud og udvaskning.



Effekten stiger kraftigt med stigende variationskoefficient. Ved en variationskoefficient på 20 pct. er udvaskningen 0,8 kg kvælstof pr. ha større end ved en ensartet fordeling. Ved en variationskoefficient på 40 er udvaskningsforøgelsen steget til 3,0 kg kvælstof pr. ha.

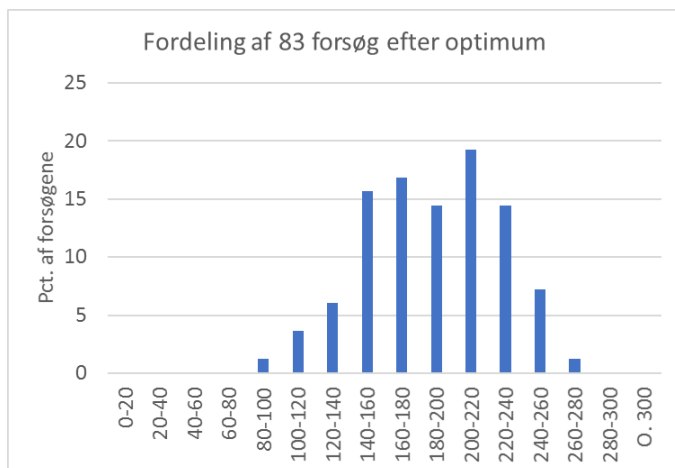
3. Størrelsen af afvigelsen mellem kvælstofbehov og tilførsel af kvælstof

Afvigelsen mellem kvælstofbehovet og den faktiske tilførsel af kvælstof kan skyldes en af flere faktorer. I følgende afsnit er følgende årsager til variation belyst:

- kvælstofbehov mellem marker
- kvælstofbehov indenfor marken,
- kvælstofeffekten af husdyrgødning på grund af varierende indhold
- Kvælstofeffekten af husdyrgødning på grund af klimatiske forhold omkring udbringning
- Overlap og uens spredning af handelsgødning
- Overlap og uens spredning af husdyrgødning

3.1. Variation i kvælstofbehov mellem marker

Variationen i kvælstofbehov mellem vinterhvedemarken kan beregnes ud fra forsøg med stigende mængder kvælstof til vinterhvede, hvor SEGES gennem en årrække har gennemført 10-30 forsøg pr. år. I 2018 foretog SEGES en statistisk analyse af 83 forsøg, hvor forskellige metoder til at forudsige kvælstofbehovet blev afprøvet. Spredningen i kvælstofbehovet mellem de 83 forsøg fremgår af figur 3.1. Spredningen er beregnet til en variationskoefficient på 24 pct.



Figur 3.1 Fordeling af 83 forsøg i vinterhvede 2014-2018 efter optimum

Beregningen viste, at udbyttet kunne hæves med 1,5 hkg pr. ha, hvis kvælstof blev tildelt netop i den mængde, der var optimal i det enkelte forsøg. Det fremgår af tabel 3.1. Fastsættes kvælstofbehovet i hvert enkelt forsøg ud fra en detaljeret beregning fra jord- og dyrkningsoplysninger herunder udbyttet, som der normalt anvendes i gødningsplanlægningen, kan udbyttet forbedres med 0,8 hkg pr. ha i forhold til at give en ensartet mængde. Hvis modellen til beregning af kvælstofbehov kan forbedres til netop at ramme den optimale kvælstofmængde kan udbyttet øges yderligere 0,6 hkg pr. ha.

Tabel 3.1. Tildeling af den optimale kvælstofmængde i hvert enkelt forsøg, tildeling af samme kvælstofmængde i alle forsøg og tildeling af kvælstof ud fra et beregnet kvælstofbehov ud fra jord- og dyrkningsoplysninger. 83 forsøg i vinterhvede 2014-2018.

Oversigt over Landsforsøgene 2018.

Beskrivelse af model	Tildeling af den optimale kvælstofmængde i hvert enkelt forsøg	Tildeling af samme kvælstofmængde alle forsøg	Tildeling ud fra beregnet behov
Parametre i model	Ingen	Ingen	Beregnet behov
Korrelationskoefficient, R^2	-		0,37
Standardfejl, kg N pr. ha	-		32,0
Merudbytte, hkg pr. ha	44,3	42,8	43,6

Udbyttetigningen ved en mere præcis behovsbestemmelse er derfor relativ beskeden. Men da omkostningerne ved at foretage denne præcise behovsbestemmelse er begrænsede, vil der alligevel være god økonomi i at gøre det.

I praksis kan variationen være større end den variationskoefficient på 24 pct., som blev fundet i de 83 forsøg. Det skyldes, at forsøg typisk placeres på ensartede arealer. En del af variationen kan forklares med de modeller, som i dag anvendes i gødningsplanlægningen til at bestemme kvælstofbehov efter, hvor der tages hensyn til forfrugt, jordtype, udbytte, eftervirkning af efterafgrøder m.m. Ud fra ovenstående dataanalyser vurderes variationskoefficienten mellem faktisk kvælstofbehov og forudsagt kvælstofbehov at være i

størrelsesordenen 15 pct., hvis modellerne følges strikt. Det gør de imidlertid næppe i praksis, fordi der ikke i alle marker foretages detaljerede beregninger.

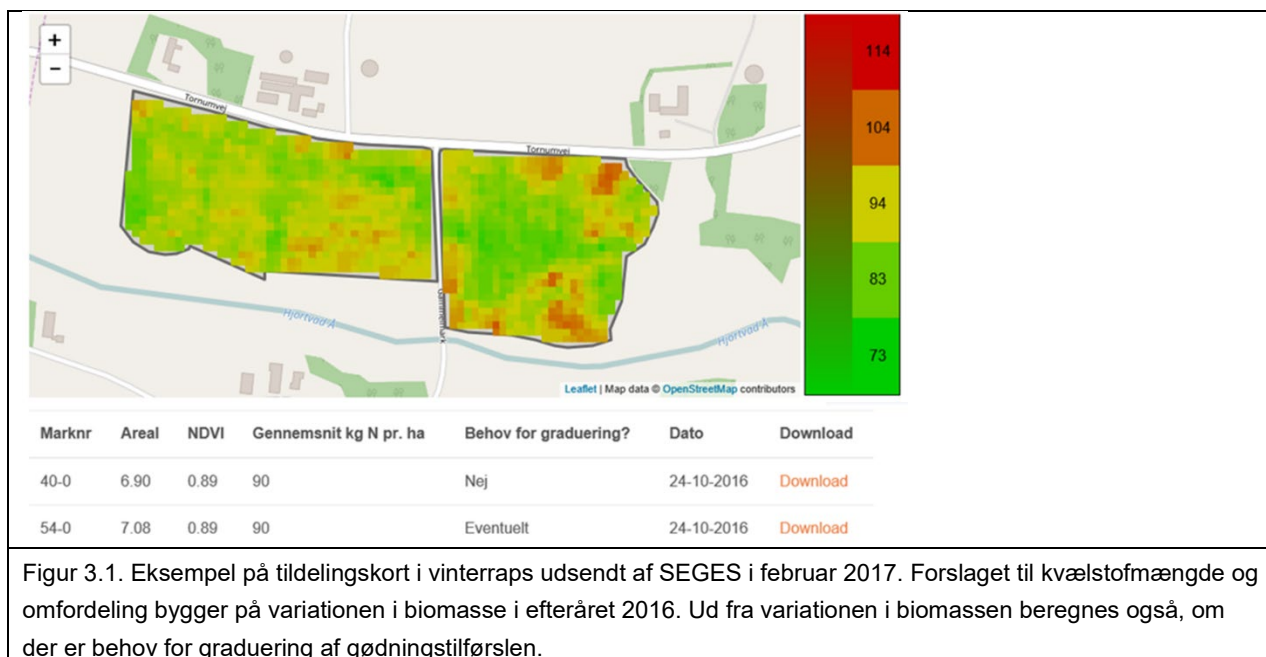
I de videre beregninger er antaget, at variationskoefficienten kan reduceres fra 20 ved nuværende praksis til 10 pct. ved at anvende detaljerede beregninger og modeller. I et overkantskøn er regnet med en reduktion i variationskoefficienten fra 30 til 10 pct. og i et underkantskøn er regnet med fra 15 til 10 pct.

3.2 Positionsbestemt tilførsel af kvælstof i handelsgødning

Undersøgelser på en svineproduktionsejendom i Nordjylland viste, at kvælstofbehovet varierede mere indenfor marken end mellem marker (Knudsen et. al., 2008). Variationen indenfor markerne blev bestemt til en spredning på 35 kg kvælstof pr. ha svarende til en variationskoefficient på 18 pct.

I de sidste 10-20 år har det været muligt at variere kvælstoftilførslen inden for marken direkte "on-the go" efter f.eks. Yara-N-Sensor eller efter elektroniske tildelingskort. Omfordelingen af kvælstof indenfor marken bygger normalt på målinger af afgrødens reflektans af lys. Denne reflektans kan udtrykkes i forskellige indekser som f.eks. NDVI, som er tæt forbundet til biomassen og kvælstofoptagelsen. En lang række forsøg ved SEGES viser, at omfordeling af kvælstof skal ske fra områder i marken med høj biomasse til områder med lav biomasse (Pedersen, 2017 og Berntsen, 2006). Det skyldes, at den høje biomasse findes i områder i marken, hvor jorden frigør mere kvælstof til afgrøden end i områder med lav biomasse. Biomassen kan dog blive så lav, at afgrøden ikke kvitterer for kvælstof, hvorfor kvælstoftildelingen i disse områder skal begrænses. Ved bestemmelse af kvælstofbehovet kan biomassemålinger suppleres med kortlægning af jordbundsvariationen og/eller udbyttepotentialet. Resultater fra forsøgene viser dog, at biomassemålinger forklarer den største del af variationen i udbytteresponsen, og derfor kan anvendes alene i de fleste marker (Berntsen, 2006).

Tildeling af kvælstof ud fra målinger af biomasse har siden 2000 været muligt med Yara-N-Sensor. Sensoren er monteret på toppen af traktorførerhuset, og beregningen af tildelingen og efterfølgende udspredning sker samtidigt under kørslen, så flere overkørsler ikke er nødvendige (on-the-go). Siden 2016 har der været gratis satellitbilleder til rådighed fra den EU-opsendte satellit Sentinel II. Med Sentinel II måles en række af de reflekterede båndbredder, hvorfra forskellige biomasseindekser kan beregnes. SEGES indgik i 2016 et samarbejde med Landbrugsstyrelsen om at udarbejde en dansk version af et svensk udviklet system til udarbejdelse af tildelingskort. Systemet kaldes CropSat og er tilgængeligt på CropSat.dk, hvor brugeren gratis kan hente satellitkort for alle marker (Hørfarter, 2016). Brugeren kan selv ud fra biomassekortet udarbejde et elektronisk tildelingskort. I 2018 er programmet udbygget med en facilitet, hvor tildelingskortene i vinterhvede og vinterraps kan beregnes automatisk ud fra biomassen. SEGES har i 2017 og 2018 gjort det muligt for landmænd at hente tildelingskort beregnet ud fra biomasse direkte via Landmand.dk, der kan overføres til gødningssprederen (se figur 3.1). SEGES udvider faciliteterne til udarbejdelse af elektroniske udbyttekort i form af programmet CropManager, der er en overbygning til MarkOnline, der bruges til gødningsplanlægning på 80-85 pct. af landbrugsarealet. Erfaringerne fra praksis er, at hvis positionsbestemt tildeling af kvælstof skal blive almindeligt, skal udarbejdelsen af tildelingskort rationaliseres.



Et andet koncept for positionsbestemt tildeling af kvælstof er beskrevet af Gyldegren (2020). Her opdeles marken i managements zones ud fra en række faktorer som topografi, EM-38 målinger mv., og kvælstofbehovet bestemmes med modellering med DAISY.

Ud fra de fundne variationer i kvælstofbehov indenfor marken vurderes det, at positionsbestemt tilførsel kan reducere afvigelsen mellem kvælstofbehov og tilført kvælstof på positionen fra en variationskoefficient på 20 til 10 procent. Et overkantskøn for den mulige forbedring er sat med en forbedring i variationskoefficienten fra 30 til 10 procent, mens underkantskønnet er sat til en forbedring fra 15 til 10 pct.

3.3 Variation i kvælstoftilførsel på grund af variation i indhold af kvælstof i husdyrgødning

Ved tilførsel af kvælstof i handelsgødning kender man den udbragte mængde, indholdet af kvælstof i gødningen og kvælstofvirkningen ret præcist. Ved udbringning af husdyrgødning kender man den udbragte mængde af husdyrgødning ret præcist, men der kan derimod være en stor variation på indholdet af kvælstof og virkningen af den udbragte kvælstofmængde. Det kan give en stor usikkerhed og dermed en stor usikkerhed på den udbragte mængde kvælstof i forhold til kvælstofbehovet i marken.

Den udbragte mængde husdyrgødning opgøres normalt ved at tælle antal læs udbragt i marken eller beregne mængden, efter hvor meget gylle, der er taget fra gyllebeholderen. I dag har de fleste gyllevogne et flowmeter, der giver mulighed for at angive mængden mere præcist eller angive mængden udbragt på hver position i marken. Der arbejdes på systemer til automatisk at opsamle disse data og overføre dem automatisk til MarkOnline.

Indholdet af kvælstof i husdyrgødning beregnes som udgangspunkt ud fra normtal. Normtal for husdyrgødning bygger på, at man kender indholdet af næringsstoffer i foderet, bortførsel af næringsstoffer i kød, mælk og værdier for kvælstofab i stald og lager. Reglerne om landbrugets areal- og gødningsanvendelse kræver, at normtallene skal anvendes eller alternativt korrigeres for en dokumenteret anderledes fodring på den enkelte bedrift. Mængden af husdyrgødning beregnes ligeledes ud fra normtal. I praksis varierer mængden af husdyrgødning meget specielt, fordi vandforbruget både i fodringen og til rengøring varierer meget. Det betyder, at der på den enkelte bedrift kan være store afvigelser i den faktiske koncentration af næringsstoffer i

forhold til de beregnede. Den samlede mængde næringsstoffer på bedrifterne må antages at afvige mindre fra normtal end koncentrationen af næringsstoffer.

For at tilrette gødningsplanen til de faktiske koncentrationer af næringsstoffer i de enkelte gødningslagre, kan landmanden bestemme indholdet ved at udtage husdyrgødningsanalyser. Dette bruges udbredt i praksis men langt fra i alle gødningslagre. Der findes udstyr til måling af næringsstofkoncentration i gylle løbende under udbringning med sensorteknologi. Det er dog i dag kun monteret på ganske få gyllevogne og metoden vurderes ikke at være præcis nok. En af årsagerne til at gylleanalyser ikke bruges mere er, at det er besværligt at rette gødningsplanen til, og at man alligevel skal overholde kvoterne i gødningsreglerne. Men både et projekt på en stor svineejendom i Nordjylland (Knudsen et. al, 2011) og pilotprojektet for præcisionsjordbrug i 2018 viser, at der er stort potentiale i at kende den udbragte mængde kvælstof i husdyrgødning bedre (Thierry and Knudsen, 2019). I ni gylletanke på svineejendommen i Nordjylland varierede indholdet målt med gylleanalyse fra 1,0 mindre til 1,8 kg kvælstof pr. ton mere end beregnet fra normtal. Udgangspunktet var et indhold beregnet efter normtal på 4,4 til 4,6 kg pr. ton beregnet ud fra normtallene. Resultaterne af gylleanalyser fra 8 gylletanke på en svinebedrift fra 2019 er vist i tabel 3.2. På grund af variationen i indhold afviger den faktiske tilførsel af kvælstof fra den planlagte fra 48 kg under den planlagte til 44 kg over. Afgivelsen er beregnet under den forudsætning, at der alternativt var regnet med et gennemsnitsindhold af kvælstof i gyllen i stedet for at basere tildelingen af kvælstof på en analyse af hver enkel tank.

Tabel 3.2. Resultater af analyser af gylle fra 8 gylletanke på en ejendom i Østjylland i 2019. Afvigelse fra planlagt er beregnet ud fra en tilstræbt tilførsel på 140 kg kvælstof pr. ha.

Tilstræbt mængde		140 kg N/ha				
Tank	Kapacitet	Analyse	Tilfdeling	Areal	Faktisk tildelt	Afvigelse fra planlagt
	Ton	Kg N/ton	Ton	Ha	Kg N/ha	Kg N/ha
Tank 1	1100	2,52	45,8	24,0	115	-25
Tank 2	2500	2,72	45,8	54,5	125	-15
Tank 3	4000	2,95	45,8	87,3	135	-5
Tank 4	2500	2,84	45,8	54,5	130	-10
Tank 5	900	2,00	45,8	19,6	92	-48
Tank 6	1500	3,77	45,8	32,7	173	33
Tank 7	2500	2,81	45,8	54,5	129	-11
Tank 8	3000	4,01	45,8	65,5	184	44
Gns	18000	3,05	45,8	392,7	140	0

Det indikerer, at på sådan en ejendom kan variationskoefficienten på forskellen mellem planlagt og faktisk udbragt kvælstof være 30 procent. Variationen kan bringes tæt på 0, hvis udbringning af gylle baseres på analyser af den enkelte gylletank.

Det vurderes, at potentialet i at anvende husdyrgødningsanalyser og basere udbringningen på dette kan bringe variationskoefficienten på afvigelsen mellem tilstræbt og tilført kvælstof ned fra 30 procent til 5 procent. Et overkantskøn er fra 40 til 5 procent og et underkantskøn er fra 20 til 10 procent.

3.4. Effekt af variation i markeffekt af husdyrgødning

Effekten af det udbragte kvælstof i husdyrgødning kan variere meget. Det gælder specielt for overfladeudbragt kvælstof til vintersæd, hvor der kan ske en større eller mindre fordampning af ammoniak efter udbringning. Variationen i effekten af kvælstof i husdyrgødning vil være mindre for nedfældet gylle eller for forsuret gylle. En opgørelse af udnyttelsesprocenten og variationskoefficienten blev foretaget i 1996. Her viste 61 forsøg, hvor svinegylle blev tilført i april med slæbeslanger, en gennemsnitlig udnyttelse på 60 pct. men med

en variationskoefficient på 38 procent. (Pedersen, C.Å., 1997). En del af variationen kan der tages højde for allerede ved gødningsplanlægningen vinteren forud for udspreddning. Her bruges i gødningsplanprogrammet MarkOnline en beregning, der resulterer i en forventet udnyttelsesprocent baseret på gylletype, afgrøde, udbringningstidspunkt og -teknik. Denne beregningsfacilitet er i 2018 udvidet med en netbaseret model, hvor udnyttelsesprocenten ud over samme parametre og inddrager de klimatiske forhold før og efter udbringning.

Programmet kan findes på www.gylleeffekt.dlbr.dk og er gratis for brugeren.

Det er meget usikkert, hvor stor variationen i markeeffekten af husdyrgødning er i praksis. I de videre beregninger er det antaget, at variationskoefficienten mellem den beregnede og opnåede effekt er 30 procent, og at denne kan nedbringes til 20 procent ved en korrektion for de klimatiske forhold omkring udbringning. Et overkantsskøn er, at den nedbringes fra 40 til 20 procent, mens et underkantsskøn er, at den kan nedbringes fra 30 til 25 pct.

3.5 Variation som følge af uens spredning af handelsgødning

Langt den største del af handelsgødningen spredes med centrifugalspredere. Gødningen kastes typisk ud i en afstand fra gødningssprederen svarende til 1 spredbredde til hver side. Ca. 10 pct. af kvælstofmængden håndteres dog som flydende gødning, der bringes ud med sprøjtebom.

Der forekommer tre typer af uens spredning ved udspreddning med centrifugalspredere. På regulær mark, dvs. fri af foragre, kiler mv. forekommer en variation, fordi spredbilledet ikke er helt jævnt. Der forekommer ofte en systematisk variation på tværs af kørselsretningen, hvor der f.eks. kan blive spredt mindre gødning midt imellem plejesporene end tæt på plejesporene. Spredjævnheden på tværs af kørselsretningen udtrykkes normalt med en variationskoefficient. En anden form for uens spredning. Køresporene går ofte ikke op, dvs. at de yderste kørespor ligger tættere end den tilstræbte afstand mellem køresporen. Desuden er der i mange marker kiler, dvs. vinklen mellem agerretning og forager ikke er ret. Både kørespor med for lille afstand og kiler giver anledning til overlap eller alternativt områder, der får for lidt gødning. En tredje årsag til uens spredning er overgangen mellem foragre og marken, Her kan overlap forekomme, hvis der gødnings-sprederen ikke slås til og fra i rigtig afstand fra køresporet under kørslen.

Særlig variationen i kiler og ved foragre kan begrænses ved at anvende moderne gødningspredere, der er udstyret med sektionskontrol, som betyder, at spredbilledet deles op i sektioner, der kan lukkes separat, og som dermed begrænser overlappet væsentligt. Sektionskontrol kan kontrolleres manuelt af traktorføreren eller automatisk ved hjælp af GPS, på samme måde som ved start og stop i retvinklede foragre.

Der findes ingen opgørelse af variationskoefficienter ved udspreddning af handelsgødning. En variationskoefficient på tværs af kørselsretningen målt med spredbakker ved udspreddning på under 15 pct. anses som tilfredsstillende. I praksis ses ofte betydeligt højere variationskoefficienter. Oveni disse variationskoefficienter skal tillægges den ekstra variation som følge af foragre, kiler mv..

I følgende beregninger er skønnet, at variationskoefficienten ved udspreddning af handelsgødning kan nedbringes fra 30 til 15 procent ved at anvende moderne teknologi og evt. bedre gødningskvaliteter. Et underkantsskøn er, at den kun kan reduceres fra 20 til 15 procent mens et overkantsskøn er en reduktion fra 35 til 10 procent.

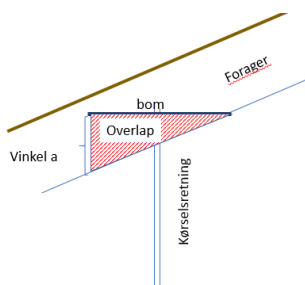
3.6 Variation som følge af uens spredning af husdyrgødning

Der er væsentligt forskel på, om gødning udspreddes med bomspredere eller med centrifugalspredere. Flydende husdyrgødning udbringes normalt med bomspredere i form af slæbeslangevogne eller med nedfældere. Gødningen fordeles her med slanger/nedfældertænder med ca. 25 cm afstand. Ved bomspredere forekommer overlap ved foragere, fordi forageren ikke er vinkelret på plejesporene (se figur 3.3). Overlap kan også forekomme, fordi køresporene ikke passer nøjagtigt med bombredden, og fordi køresporene ikke går op med markbredden. Ved overlap med bomspredere sker der en dobbelt dosering i overlappet. I kiler og foragere kan landmanden vælge imellem at udbringe dobbelt mængde gødning i overlappene eller vælge ikke at give gødning. Landmanden vil oftest vælge at udbringe dobbelt mængde, hvilket også kan begrundes af økonomiske årsager. Landmanden kan også forsøge at minimere overlappene ved at indrette kørselsmønstret efter det. Derfor vil overlappene i praksis formentligt være mindre end, hvad de teoretiske beregninger ud fra markform viser.

Overlappenes størrelse ved bomspredning afhænger af bommens bredde. Overlap som følge af vinklen mellem køreretningen (vinkel a) afviger fra 90 grader kan for én forager i marken beregnes som:

Tangens (a) x bombredde x markens bredde

Bredden måles vinkelret på kørselsretningen. Overlappets størrelse vokser derfor proportionalt med bommens bredde. Ved at forøge bombredden fra 12 meter til 36 meter, er overlappenes størrelse tredoblet.



Figur 3.3 Skitse af overlap ved spredning med bom ved foragre

I tabel 3.3 er foretaget en beregning af overlappets størrelse ved forskellige vinkler mellem foragre og kørselsretningen, bombredden og længden af marken i forhold til bredden. Det er antaget, at forageren i den modsatte ende ligger vinkelret på køreretningen. Overlappets størrelse afhænger udover bombredden og vinklen meget af forholdet mellem længden og bredden af marken.

Tabel 3.3. Beregning af overlap ved forskellig bombredde, vinkler og forhold mellem længde og bredde på marken.

Længde/bredde	1		2		4	
Bombredde, meter	12	36	12	36	12	36
Vinkel	Pct. areal med dobbelt overlap					
15	2	6	1	2	0	1
30	3	14	2	5	1	3
45	6	24	3	9	2	5

Overlap forekommer udover ved foragre også, hvis bombredden ikke går op i markens bredde. Det vil være tilfældet, hvis markbredden er bestemt af fysiske afgrænsninger (veje, hegn o.l.). Hvis man derfor spreder i fuld bredde i sidste træk vil der forekomme et overlap på i gennemsnit en halv bombredde. Det er dog muligt

ved bomspredere manuelt at lukke den ene side og kun sprede i halv bredde. Derved vil der i gennemsnit kun ske overlap i 25 pct. af bombredden. Ved en bombredde på 36 meter vil overlappet i sidste træk derfor i gennemsnit være 9 meter. Ved en mark med en bredde på 300 meter vil det resultere i et dobbelt overlap på 3 pct.

Hvis markens to længdesider ikke er parallelle, vil der være kiler. Det vil yderligere bidrage til overlap. Desuden kan der også ske overlap ved manglende nøjagtighed i start og stop.

Ved udbringning af gødning i voksende afgrøder vil overlappet opstå grundet unøjagtig afstand mellem køresporene. Etableres køresporene med såmaskinen, vil få centimeters overlap med hvert træk med såmaskinen medføre et stort akkumuleret overlap. Overlap med såmaskinen opstår oftest ved upræcis indstilling af markørarme eller ved forkert orientering ved kørsel efter markørspor.

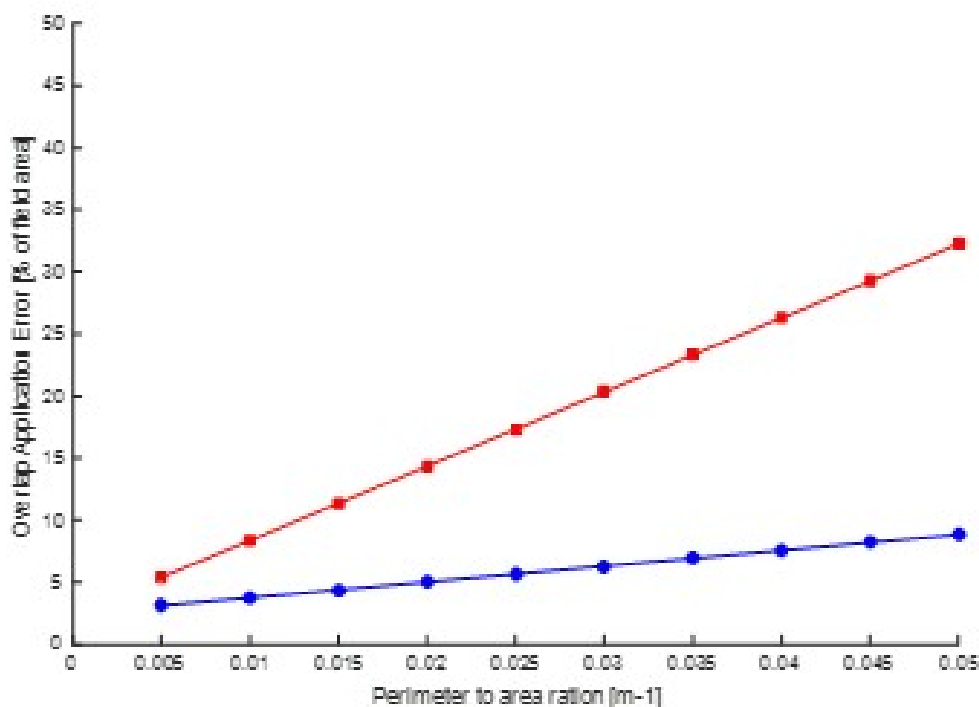
Eksempel:

Ved 24 meters afstand mellem kørespor, der er etableret med en såmaskine med fire meters arbejdsbredde, udgør hvert kørespor seks træk med såmaskinen. Ved bare fem centimeters overlap mellem de seks træk udgør det samlede overlap mellem køresporene 30 centimeter eller 1,2 pct. SEGES har lavet beregninger på de samlede effekter af anvendelse af RTK-GPS, som er baseret på skøn vurderer, et gennemsnitligt overlap på 5 pct. ved anlæg af kørespor med såmaskine (*Højholdt, M., Lyngvig, H. S., 2015*).

Overlap ved udspreddning med spredebom kan reduceres ved anvendelse af sektionsopdelte bomme, der kan lukkes ved foragre kiler mv. Det kan ske manuelt af føreren under udkørsel, eller det kan ske automatisk med GPS. Figur 3.4 viser effekten af automatisk sektionskontrol sammenlignet med manuel sektionskontrol.

- X-aksen angiver forholdet mellem omkreds og areal (omkreds divideret med areal). Stigende værdi på X-aksen er altså udtryk for en større samlet omkreds ift. areal. I denne sammenhæng vil X-aksen altså være udtryk for et stigende foragerareal ift. markens samlede areal.
- Y-aksen angiver overlap i procent af markens samlede areal.
- Den blå kurve angiver resultatet for 24,8 meter bomspreder med automatisk sektionskontrol
- Den røde kurve angiver resultatet for 24,8 meter bomspreder med manuel sektionskontrol

Figuren viser altså, at manuel sektionskontrol er årsag til en væsentlig stigning i overlappet, jo mere irregulær markformen er, mens den automatiske sektionskontrol påvirkes væsentligt mindre af markens størrelse og form.



Figur 3.4: Overlap ved hhv. automatisk og manuel sektionskontrol ift. markstørrelse og -form (Luck et al., 2011)

Forsøg udført i Kentucky i 2009 med en bomspreader på 24,8 meter viste en besparelse på mindst 15 pct. ved at anvende automatisk sektionskontrol (30 sektioner) ift. ingen sektionskontrol. (Luck et al, 2009). Samme forsøg viste at opdeling i tre sektioner gav ca. 8 pct. besparelse, mens fem sektioner gav ca. 11 pct. besparelse. Resultaterne i forsøget er baseret på en mark med meget irregulær form, og de gennemsnitlige effekter må dermed forventes at være lavere.

SEGES lavede i 2015 beregninger på effekterne af autostyring med RTK-GPS og sektionskontrol under danske forhold. Reduktionen i overlap må her forventes at komme som konsekvens af, at kørespor etableres med en nøjagtig afstand svarende til bombredden. Her vurderes det, at det samlede overlap ved gødskning kan reduceres fra gennemsnitligt 5 pct. af arealet til gennemsnitligt 1 pct. Der er altså tale om en reduktion på fire procentpoint (Højholdt, M., Lyngvig, H. S., 2015).

Overlappet som følge af unøjagtig afstand mellem kørespor kan også reduceres ved at sikre korrekt indstillede markørarme.

Gyllevogne med automatisk sektionskontrol er på vej ind på markedet. Samson oplyser, at sektionskontrollen håndterer fire sektioner på Samsons SHB4 slæbeslangebomme og op til to sektioner på øvrige redskaber. Samtidig dyrkes 59 pct. af arealet på landbrug (Danmarks Statistik), der råder over RTK-GPS, der har reduceret risikoen for overlap betydeligt.

I nærværende beregning antages, at overlap ved udspreddning af husdyrgødning kan reduceres fra 10 pct. til 2 pct. Et underkantsskøn er en reduktion fra 5 til 3 pct. og et overkantsskøn er fra 15 til 2 procent.

4. Resultater og diskussion

Effekten på udbytte, kvælstofoverskud og udvaskning af henholdsvis skøn, under- og overkantsskøn er vist i tabel 4.1.

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Tabel 4.1 Beregning af den samlede effekt af, at reducere variationen mellem kvælstofbehovet og den faktiske tilførte kvælstofmængde. Den samlede tilførsel af kvælstof i marken er holdt konstant.

Variationsårsag	Skøn over effekter af præcisionsjordbrug			Udgangspunkt, tilførsel
	Underkant	Overkant	Middel	
	Ændring i variationskoefficient mellem behov og tilførsel			Kg N/ha
Kvælstofbehov mellem marker	Fra 15 til 10	Fra 30 til 10	Fra 20 til 10	200
Kvælstofbehov indenfor marken	Fra 15 til 10	Fra 30 til 10	Fra 20 til 10	200
Varierende indhold af kvælstof i husdyrgødning	Fra 20 til 5	Fra 40 til 5	Fra 30 til 5	140
Varierende effekt af husdyrgødning	Fra 30 til 25	Fra 40 til 20	Fra 30 til 20	140
Uens spredning af handelsgødning	Fra 20 til 15	Fra 35 til 10	Fra 30 til 15	180
Uens spredning af husdyrgødning ¹	Fra 5 til 3	Fra 15 til 2	Fra 10 til 2	140

1) overlap

Effekt på udbytte:

Kvælstofbehov mellem marker	-0,4	-2,5	-0,9
Kvælstofbehov indenfor marken	-0,4	-2,5	-0,9
Varierende indhold af kvælstof i husdyrgødning	-0,8	-2,7	-2,0
Varierende effekt af husdyrgødning	-0,6	-2,7	-1,1
Uens spredning af handelsgødning	-0,5	-2,5	-2,1
Uens spredning af husdyrgødning ¹	-0,3	-1,3	-0,9

1) overlap

Effekt på kvælstofoverskud

Kvælstofbehov mellem marker	0,4	2,3	0,9
Kvælstofbehov indenfor marken	0,4	2,3	0,6
Variende indhold af kvælstof i husdyrgødning	0,8	3,2	1,8
Varierende effekt af husdyrgødning	0,6	2,4	1,0
Uens spredning af handelsgødning	0,9	3,2	1,9
Uens spredning af husdyrgødning ¹	0,2	1,0	0,7

1) overlap

Effekt på kvælstofudvaskning

Kvælstofbehov mellem marker	0,2	1,4	0,5
Kvælstofbehov indenfor marken	0,2	1,4	0,5
Variende indhold af kvælstof i husdyrgødning	0,5	2,0	1,1
Varierende effekt af husdyrgødning	0,6	1,5	0,6
Uens spredning af handelsgødning	0,3	3,2	1,2
Uens spredning af husdyrgødning ¹	0,2	1,0	0,6

1) overlap

4.1 Effekten af mere præcis fastsættelse af kvælstofbehovet på markniveau

Muligheden for at forbedre fastsættelsen af kvælstofbehovet på markniveau og tildele kvælstof efter det, ligger i at foretage mere differentierede beregninger af kvælstofbehovet. Dette kan gøres ved at fastsætte det forventede udbytte mere præcist, registrere tilførsel af husdyrgødning og planterester mere præcist og anvende modeller for beregning af kvælstofbehovet. Satellitdata forventes i fremtiden at kunne forbedre behovsfastsættelsen.

Effekten på udbyttet er beregnet til en udbytteforøgelse på 0,9 hkg pr. ha. Dette er relativt beskedent, men det skal ses i lyset af, at tiltaget næsten er gratis. Effekten på kvælstofoverskud og udvaskning er ligeledes beskeden med en reduktion i overskuddet på 0,9 og på udvaskningen 0,5 kg kvælstof pr. ha. Der findes umiddelbart ikke andre beregninger, at effekten kan sammenlignes med.

4.2. Effekten af positionsbestemt tilførsel af kvælstof

Variationen i kvælstofbehov indenfor marken er sat til samme størrelsesorden som variationen mellem marker. Effekten på udbytte, kvælstofoverskud og kvælstofudvaskning er derfor den samme.

Delin et. al. (2015) angiver en variation i effekten af positionsbestemt tilførsel af kvælstof på 0,2-3,8 kg kvælstof pr. ha. Mindst på svære lerjorder og størst på jorde med under 5 pct. ler. Ved samme variationskoefficient i kvælstofbehovet indenfor marken som fundet i danske undersøgelser (18,5 pct.) angives udvaskningsreduktionen til 1,4-1,7 kg kvælstof pr. ha, hvilket er lidt højere end den udvaskningsreduktion på 0,9 kg kvælstof pr. ha, der er angivet i nærværende beregninger. En årsag kan være, at der i Delin et. al. regnes med en mere stejl udvaskningskurve omkring optimum. Gyldengren et. al. (2020) har med DAISY i en demonstrationsmark med lerjord beregnet en potentiel udvaskningsreduktion med positionsbestemt tilførsel af kvælstof på 2,8 kg kvælstof pr. ha. Dette er ligeledes større end beregnet i nærværende beregninger, men det kan skyldes, at de 2,8 kg kvælstof opnås ved en perfekt management strategi og udvaskningsfunktionen med DAISY også er stejle omkring optimum.

Umiddelbart er en udvaskningsreduktion på 0,9 kg kvælstof pr. ha beregnet her af positionsbestemt tilførsel af kvælstof i underkanten af det opnåelige.

4.2 Effekt af anvendelse af husdyrgødningsanalyser for hver gylletank

Effekten af at tildele kvælstof ud fra en analyse af hver enkelt gyllebeholder på bedriften i stedet for at regne med et gennemsnitsindhold af kvælstof for al husdyrgødning er beregnet til en udbytteeffekt på 2,0 hkg pr. ha, en reduktion af kvælstofoverskuddet på 1,8 og af udvaskningen på 1,1 kg kvælstof pr. ha. I forhold til andre bestræbelser på at tildele kvælstof mere præcist til behovet i marken, har dette en relativ stor effekt. Effekten på den enkelte bedrift afhænger meget af, hvordan praksis er i udgangssituationen. På en del bedrifter anvendes allerede husdyrgødningsanalyser, og der sker løbende tilretning af gødningsplanerne. Fra de fleste af deltagerne i pilotordningen omkring præcisionsjordbrug er det erfaringen, at det er et af de tiltag, der har forbedret håndteringen af kvælstof mest.

4.3 Korrektion for markeffekt af kvælstof ud fra klimatiske forhold omkring udbringning mv.

Ud fra de klimatiske omstændigheder ved udbringning af husdyrgødning kan markeffekten beregnes mere detaljeret end ved gødningsplanlægningen. Det er usikkert, hvor præcist denne beregning kan gøres. Ud fra de foretagne skøn, er der beregnet en udbyttegevinst på 1,1 hkg pr. ha. Effekten på henholdsvis kvælstofoverskud og udvaskning er beregnet til henholdsvis en reduktion på 1,0 og 0,6 kg kvælstof pr. ha.

4.5 Effekt af mere ensartet fordeling af handelsgødning

Ved brug af bedre og mere moderne udstyr til udspreddning af handelsgødning kan variationskoefficienten for fordeling af handelsgødning reduceret. Det gælder specielt ved forager- og kilestyring. Variationen på tværs af kørselsretningen afhænger udover gødningsspredningen også meget af kvaliteten af gødning og vejromstændighederne omkring udspreddning.

Det er skønnet, at variationskoefficienten alt i alt kan reduceres fra 30 til 15 pct. Dette giver en udbyttegevinst på 2,1 hkg pr. ha, samtidig med, at kvælstofoverskuddet og udvaskningen reduceres med henholdsvis 1,9 og 1,2 kg kvælstof pr. ha.

Gislum (2020) viste med udgangspunkt i DAISY-beregninger og en GIS-beregnet fordeling af kvælstof i fire vinterhvedemarker med forskellig form en effekt på udvaskningen fra 0,3 til 4,1 kg kvælstof pr. ha af en ensartet spredning af handelsgødning. Afgørende for udvaskningsreduktionen var markens form med størst reduktion i små irregulære marker og mindst i store rektangulære marker. I forhold til denne detaljerede beregning virker resultatet i nærværende undersøgelse på en reduktion på 1,2 kg kvælstof pr. ha som værende i underkanten.

4.6 Effekt af mere ensartet fordeling af husdyrgødning

Flydende husdyrgødning udspreddes med bom i form af slangeudlæggere eller nedfældere. Dette medfører et dobbelt overlap i foragere, der ikke er vinkelrette på agerlængden, i kiler og hvor køresporene ikke "går op". Muligheden for reduktion af dette overlap kan ske ved anvendelse af gyllevogne med sektionsskontrol, som er på vej på markedet. Samtidig kan anvendes RTK-GPS, der sikrer en nøjagtig afstand mellem køresporene. Udover overlap kan der være en betydelig variation på tværs af bommen. Dette er ikke inkluderet i nærværende beregninger.

Effekten på udbyttet af at minimere overlap ved anvendelse af sektionssstyring er beregnet til en udbyttegevinst på 0,9 hkg pr. ha, en reduktion i kvælstofoverskuddet på 0,7 og i udvaskningen på 0,6 kg kvælstof pr. ha.

4.7 Samlet effekt på brugstyper

Ud fra tabel 4.1 er den samlede effekt på planteavls- og husdyrbrug beregnet.

Tabel 4.2 Skøn over effekt på udbytte, kvælstofoverskud og udvaskning ved at reducere variationen mellem kvælstofbehov og faktisk tilførte kvælstofmængde

Skøn:	Underkant	Overkant	Middel
Planteavlsbrug			
Udbytte, hkg/ha	1,3	7,5	3,9
Kvælstofoverskud, reduktion, kg N/ha	1,7	7,8	3,4
Udvaskning, reduktion, kg N/ha	0,7	6,0	2,2
Husdyrbrug			
Udbytte, hkg/ha	-2,8	-12,9	-6,8
Kvælstofoverskud, reduktion, kg N/ha	2,8	12,7	5,9
Udvaskning, reduktion, kg N/ha	1,8	9,0	4,0

Ved beregning af effekten på husdyrbrug er effekten af variationen i udspreddning af handelsgødning halveret, fordi der ikke bruges så meget handelsgødning på husdyrbrug som på plantebrug. For plantebrugene er alle effekter vedrørende husdyrgødning ikke indregnet.

Samlet set fås en reduktion i udvaskningen på 2,2 kg kvælstof pr. ha på planteavlsbrug varierende fra 0,7-6,0 kg ved henholdsvis et under- og overkantsskøn. Tilsvarende fås en udvaskningsreduktion på 4,0 kg kvælstof pr. ha på husdyrbrug varierende fra 1,8 til 9,0 kg kvælstof pr. ha.

Sammenlignet med svenske opgivelser og danske beregninger ud fra DAISY synes nærværende skøn over effekt på udvaskning at være i underkanten. Det kan skyldes, at den anvendte udvaskningsfunktion er mindre stejl omkring optimum end de svenske forsøg og end DAISY-beregningerne viser.

Kilder:

- Børgesen, C.D., Sørensen, P., Blicher-Mathiesen, G.B., Kristensen, K.M., Pullens, J.W.M., Zhao, J. and Olesen, J.E. (2019): NLES5 – AN EMPIRICAL MODEL FOR PREDICTING NITRATE LEACHING FROM THE ROOT ZONE OF AGRICULTURAL LAND IN DENMARK. DCA report No. 163
- Delin, S., Gruvaeus, I., Wetterlind, J., Stenberg, M., Frostgård, G., Börling, K., Olsson, C.M., Krijger, A-K., (2015): FERTILISATION FOR OPTIMISED YIELD CAN MINIMISE NITRATE LEACHING IN GRAIN PRODUCTION. Proceeding 774, International Fertiliser Society
- Gislum, R. (2020): Betydning af overlap ved gødningsudbringning for udvaskningen. Plantekongres 2020
- Gyldengren, J., Styczen, M., Diamantopoulos, E., Olesen, J.E., and Gislum, R. (2020): Effects of model aided variable nitrogen rate application to winter wheat due to soil variation - productivity, economy and the environment. (In press)
- Højholdt, M., Lyngvig, H. S., 2015: Reduktion af brændstofforbruget med RTK-GPS
- Knudsen, L., Hørfarter, R., Davidsen, K.A. og Andersen, J.E. (2011): Sensorbaseret tilførsel af kvælstof på fremtidens husdyrbrug. SEGES. https://www.landbrugsinfo.dk/.../pl_po_11_061_rapport_Sensorbase-ret_tilfoersel.pdf
- Landbrugsstyrelsen (2019): Efterafgrøder i Måltret kvælstofregulering <https://lbst.dk/landbrug/efterafgroeder-og-jordbearbejdning/efterafgroeder/efterafgroeder-i-maalrettet-kvaelstofregulering/>
- Luck et al, 2009: Potential for pesticide and nutrient savings via map-based automatic boom section control of spray nozzles
- Luck et al., 2011: A Case Study to Evaluate Field Shape Factors for Estimating Overlap Errors with Manual and Automatic Section Control
- Miljø- og Fødevareministeriet (2017): Bekendtgørelse om plantedække og om dyrkningsrelaterede tiltag¹). <https://www.retsinformation.dk/eli/lt/2017/1649>
- Miljø- og Fødevareministeriet (2015): Aftale om Fødevare- og landbrugspakke, 22. december 2015. https://mfvm.dk/fileadmin/user_upload/FVM.dk/Dokumenter/Landbrug/Indsatser/Foedevare-_og_landbrugs-pakke/Aftale_om_foedevare-_og_landbrugspakken.pdf
- Pedersen, C.Å.(red).(1997): Oversigt over Landsforsøgene 1996. Landsudvalget for Planteavl.