

FØLSOMHED AF BEREGNEDE KVÆLSTOFUDVASKNINGER OVERFOR UNØJAGTIGHED I NEDBØRSDATA OG VANDBALANCEMODEL



FØLSOMHED AF BEREGNEDE
KVÆLSTOFUDVASKNINGER OVERFOR
UNØJAGTIGHED I NEDBØRSDATA OG
VANDBALANCEMODEL

er udgivet af

SEGES

Landbrug & Fødevarer F.m.b.A.
Agro Food Park 15
8200 Aarhus N

+45 8740 5000
seges.dk

UDARBEJDET AF
PlantInnovation, SEGES

KONTAKT
Kristoffer Piil, SEGES
+45 8740 5574
krp@seges.dk

REDAKTØR
Kristoffer Piil

FORFATTERE
Kristoffer Piil og Yolanda Maria Lemes Perschke

FOTEGRAF
Kristoffer Piil

FINANSIERET AF
Promilleafgiftsfonden

December 2018

1	BAGGRUND OG FORMÅL	2
1.1	MÅLINGER MED SUGECELLER	2
2	MATERIALER OG METODER	3
2.1	FORSØGSAREALER	3
	HOLSTEBRO	3
	GULDBORG	4
	ODDER	4
	RINGSTED	4
	JYDERUP	4
	OVERSIGT OVER SÆDSKIFTER I UDVASKNINGSFORSØGENE	5
2.2	MODEL TIL BEREGNING AF VANDBALANCER OG AFSTRØMNING	7
	KLIMA OG JORDDATA TIL EVACROP	7
2.3	BEREGNING AF UDVASKNING	7
3	SCENARIER MED FORSKELLIG NEDBØR	9
3.1	AFSTRØMNINGENS FØLSOMHED VED ÆNDRING I NEDBØREN	9
3.2	UDVASKNINGSNIVEAUETS FØLSOMHED OVERFOR ÆNDRING I NEDBØR	10
3.3	MARGINALUDVASKNING FØLSOMHED OVER FOR ÆNDRINGER I NEDBØR	26
4	SCENARIER MED FORSKELLIGE JORDBESKRIVELSER	28
4.1	BESKRIVELSE AF JORD OG STANDARDPARAMETRE FOR JORD	28
4.2	RESULTATER FOR AFSTRØMNING OG UDVASKNING VED FORSKELLIGE JORDBESKRIVELSER	29
5	EFFEKT AF RODDYBDE PÅ BEREGNET UDVASKNING	35
6	ÆNDRING I BEREGNET UDVASKNING OG MARGINALUDVASKNING VED ANVENDELSE AF FORSKELLIGE TEKNIKKER TIL HÅNDTERING AF HULLER I KONCENTRATIONSDATA	37
6.1	BEREGNINGSMETODER TIL HÅNDTERING AF MANGLENDE DATA	37
6.2	FØLSOMHEDSTEST OG RESULTATER	38
7	KONKLUSION	43
8	LITTERATUR	44

1 BAGGRUND OG FORMÅL

Måling af kvælstofudvaskning i markforsøg eller foretages ofte med sugecelleteknikken. Med sugeceller er det muligt at udtage prøver af jordvand i en given dybde under en forsøgsparcel uden at forstyrre jorden eller plantevæksten i forsøgsparcellen. Det udtagne jordvand kan der efter analyseres for indhold af nitrat. I kvælstofudvaskningsforsøg udtages der prøver af jordvandet igennem afstrømningssæsonen med ca. 14-20 dages mellemrum. For at omsætte de målte koncentrationer til kvælstofudvaskning, ganges koncentrationerne med den daglig vandafstrømning. Denne bregnes med en computermodel ud fra jordtype, nedbør, solindstråling og afgrøden på arealet. Proceduren for prøveudtagning og beregning af udvaskningen er nærmere beskrevet i afsnit 2.3.

I markforsøg søger man typisk at måle kvælstofudvaskningen ved en eller flere behandlinger, således at udvaskningens størrelse kan knyttes til en dyrkningsmæssig handling. I danske markforsøg er den typiske praksis at hver forsøgsbehandling udføres i fire gentagelser, og hver forsøgsparcel er typisk instrumenteret med to sugeceller, for at repræsentere variationen inden for parcellen. Nitratkoncentrationerne i jordvandet ved hver behandling måles således med otte sugeceller pr. behandling. Den daglige afstrømning, der anvendes ved beregning af udvaskningen modelleres med en vandbalance model, der består af delmodeller for afgrødens overjordiske vækst, afgrødens rodvækst og jordens vandreservoirer. Delmodellerne er koblet sammen, og drives af jordbunds og klimadata der fødes ind i modellerne. Dvs. jordens tekstur, nedbør, solindstråling og lufttemperatur.

Ud fra ovenstående beskrivelse er det klart, at der kan være flere kilder der kan bidrage til usikkerhed på den endelige beregnede kvælstofudvaskning. Der knytter sig både en usikkerhed til repræsentativiteten af koncentrationsmålingerne med sugeceller og til modelestimater af vandafstrømningen. I denne rapport er formålet, at undersøge den usikkerhed der kan henføres til den beregnede vandbalance. Dette gøres ved en række følsomhedsanalyser, der viser hvor følsomme de beregnede udvaskningsniveauer og marginaludvaskninger er over for kvaliteten af de klimadata der driver vandbalance modellerne, samt parametriseringen af vandbalance modellernes delmodeller for jordbundsforhold og rodvækst. Det undersøges ligeledes hvor følsom udvaskningen er overfor forskellige teknikker til at håndtere manglende koncentrationsmålinger.

1.1 Målinger med sugeceller

Sugeceller er porøse porcelæns sugekopper der monteres i jorden, og som kan bruges til at udtage prøver af jordens porevand i monteringsdybden. Prøvetagning forgår ved at der etableres et vakuum i sugecellen, der medfører at der suges porevand ind igennem sugekoppen. Dette porevand kan så suges op af cellen og indsendes til analyse. Kun en mindre del af sugecellen er porøs porcelæn, således at sugecellen udtager vandprøverne fra en bestemt dybde i jorden. Ved markforsøg sidder sugecellerne oftest i 1 m dybde, idet rodzonen operationelt defineres som værende 1 m dyb. I alle forsøg i denne rapport er sugecellerne placeret i 1 meters dybde, med mindre andet er beskrevet.

Der udtages prøver af jordvandet med mellemrum på ca. 14 dage i vinterhalvåret, dvs. fra september/oktober til maj, mens der om sommeren kun tages prøver hvis det vurderes at der er nettoafstrømning fra arealet. Den mere intensive prøvetagning begynder tidligere på sandjord end på lerjord, fordi markkapacitet nås hurtigere på sandjord end på lerjord.

Selve udtagningen sker efter proceduren beskrevet i Lohmann (2017).

2 MATERIALER OG METODER

2.1 Forsøgsarealer

I analysens datamateriale indgår der data fra 5 forsøgsarealer fordelt over hele Danmark. Forsøgsarealerne er alle instrumenteret med keramiske sugeceller monteret i en meters dybde. Forsøgsarealerne varierer i tekstur fra JB1 til JB7 og dækker med deres geografiske spredning de mest almindelige kombinationer af jordtyper og nedbør i Danmark. Forsøgsarealernes placering er vist på figur 1. To af forsøgsarealerne ved Odder og Ringsted er nærmere beskrevet i Piil og Kristensen (2016). De øvrige forsøgsarealer er opbygget på samme måde som arealer ved Odder og Ringsted.



Figur 2.1. Placering af sugecelle arealer.

Holstebro

Forsøgsarealet er placeret nær Bur mellem Holstebro og Vemb. Forsøgsarealet tilhører en svinebedrift og drives med vekslende typer af vintersæd. I forsøgsårene har der været vinterhvede, vinterrug og tritcale på arealet. Se tabel 2.2.1. Jordtypen i pløjelaget er JB1, og normalnedbøren i området er 975 mm.

Forsøgsarealet har mulighed for 7 forsøgsled. Forsøgsbehandlingerne har bestået af syv forskellige niveauer af kvælstoftildeling fra 0 – 300 kg N pr. ha tildelt i handelsgødning. Forsøgsbehandlingerne er fastliggende således at der tildeles samme kvælstofmængder til hver forsøg parcel hvert år.

Der er gennemført forsøg på arealet i tre måleår. I første måleår blev arealet instrumenteret med sugeceller efter høst af vinterhvede. Derfor dækker første måleår ikke hele udvaskningssæsonen fra 1. april til 31. marts. Det første måleår anvendes derfor ikke i analyserne i denne rapport.

Guldborg

Forsøgsarealet er placeret syd for Guldborg på en mark ud mod Guldborg sund. Forsøgsarealet tilhører en planteavlsbedrift og drives med sædskiftet sukkerroer → vårbyg → vinterhvede. Se tabel 2.2.1. Jordtypen i pløjelaget er JB7, og normalnedbøren i området er 692 mm.

Forsøgsarealet har mulighed for 7 forsøgsled. Forsøgsbehandlingerne har bestået af syv forskellige niveauer af kvælstoftildeling fra 0 – 300 kg N pr. ha tildelt i handelsgødning. Forsøgsbehandlingerne er fastliggende således at der tildeles samme kvælstofmængder til hver forsøg parcel hvert år.

Der er gennemført forsøg på arealet i tre måle år. I første måleår blev arealet instrumenteret med sugeceller efter høst af vinterhvede. Derfor dækker første måle år ikke hele udvaskningssæsonen fra 1. april til 31. marts. Det første måleår anvendes derfor ikke i analyserne i denne rapport.

Odder

Forsøgsarealet er placeret nær Gosmer syd for Odder i Østjylland. Forsøgsarealet tilhører en svinebedrift og er i årene forud for forsøget drevet med kontinuert vinterhvede. Jordtypen i pløjelaget er JB6, og normalnedbøren i området er 728 mm.

Forsøgsarealet har mulighed for 12 forsøgsled. Forsøgsbehandlingerne har bestået af syv forskellige niveauer af kvælstoftildeling fra 0 – 300 kg N pr. ha i handelsgødning, og samt 5 niveauer af kvælstoftildeling hvor kvælstoffet tildeles som en kombination af handelsgødning og husdyrgødning. Forsøgsled med husdyrgødning er ikke omtalt i denne rapport.

Der er gennemført forsøg på arealet i et enkelt måleår. Sugecellerne er nedsat før såning af vinterhveden. Instrumenteringen og en beskrivelse af forsøgsarealet kan findes i Piil og Kristensen (2016).

Ringsted

Forsøgsarealet er placeret ca. 5 km øst for Ringsted. Forsøgsarealet er forpagtet af landboforeningen og drives med salgsafgrøder. Forud for måletåret er der dyrket vårbyg, mens der i måletåret er dyrket vinteraps. Jordtypen i pløjelaget er JB6, og normalnedbøren i området er 732 mm. Underjorden på forsøgsarealet er stenet.

Forsøgsarealet har mulighed for 6 forsøgsled. Forsøgsbehandlingerne har bestået af seks forskellige niveauer af kvælstoftildeling fra 75 – 300 kg N pr. ha tildelt i handelsgødning.

Der er gennemført forsøg på arealet i et enkelt måleår. Sugecellerne er nedsat før såning af vinterhveden. Instrumenteringen og en beskrivelse af forsøgsarealet kan findes i Piil og Kristensen (2016).

Jyderup

Forsøgsarealet er placeret ca. 10 km syd for Jyderup. Forsøgsarealet tilhører en svinebedrift og drives med vinterkorn, særligt vinterrug og vinterbyg. Jordtypen i pløjelaget er JB4, og normalnedbøren i området er 589 mm.

Siden 2010 er der udført forsøg med udvaskning ved to niveauer af gødskning med og uden olieræddike som efterafgrøde. Til høsten 2017 blev forsøget omlagt til et forsøg med stigende kvælstofmængder, men ved en fejl blev der ikke fortaget ny randomisering, således at gødningsniveauerne blev konfunderet med

de tidligere forsøgsbehandlinger. Forsøget blev til høsten 2018 omlagt således at en gentagelse for hvert gødskningsniveau er placeret i hver af de forudgående forsøgsbehandlinger i efterafgrødeforsøget. Kun data fra 2018 indgår i analyserne i denne rapport.

Forsøgsarealet har mulighed for 4 forsøgsled. Forsøgsbehandlingerne har bestået af fire kvælstofniveauer fra 0 – 200 kg N.

Der er gennemført forsøg på arealet i et enkelt måleår. Sugecellerne er nedsat før såning af vinterhveden.

Oversigt over sædskifter i udvaskningsforsøgene

Tabel 2.1.1 viser en oversigt over sædskiftet og forsøgsbehandlingerne på de enkelte forsøgsarealer. Tabellen viser både sædskifte, jordbundsforhold og forsøgsbehandlinger.

Tabel 2.2.1. Oversigt over grunddata og sædskifter for forsøgsarealer med måling af kvælstofudvaskning

KVÆLSTOFUDVASKNING	HOLSTEBRO	GULDBORG	ODDER	JYDERUP	RINGSTED	HOLEBY
Jordtype	JB1	JB7	JB6	JB4	JB6	JB6
Halm	Bjærges	Nedmuldes	Nedmuldes	Nedmuldes	Nedmuldes	Nedmuldes
Husdyrgødning i årene forud for forsøgets begyndelse	Ja	Nej	Ja	Ja	Nej	Nej
Første forsøgsår (høst år)	2015	2015	2017	2017	2017	2018
Afgrøde til høst 2014	Vinterhvede	Vinterhvede				
Afgrøde til høst 2015	Vinterhvede	Vinterhvede				
Afgrøde til høst 2016	Vinterhvede	Sukkerroer	Vinterhvede	Vinterbyg	Vårbyg	
Afgrøde til høst 2017	Triticale	Vårbyg	Vinterhvede	Vinterrug	Vinterbyg	Vårbyg
Efterårsdække 2017	Vintersæd	Vintersæd	Vinterraps ¹⁾	Vintersæd	Vinterraps	Se tekst
Kvælstofniveauer, kg N pr. ha	0-300	0-300	0-300	0-200	75-300	145

¹⁾ Misvækst på grund af snegleangreb.

1) Misvækst på grund af snegleangreb.

2.2 Model til beregning af vandbalancer og afstrømning

For at kunne beregne kvælstofudvaskningen er det nødvendigt at gange de målte nitratkoncentrationer med den afstrømmende vandmængde på arealet. Til at beregne vandafstrømningen er der i denne undersøgelse anvendt modellen EVACROP. I dette studie er der anvendt EVACROP 3.00a. EVACROP modellen er beskrevet i Olesen og Heidemann (1990). 3.00a er en opdateret version af modellen, i forhold til denne beskrivelse.

Modellen beregner ud fra en række oplysninger om vejrbetingelser og jordbund afdræningen fra rodzonen, i modellen defineret som 1 meters dybde.

Klimatiske input data er daglig nedbør, daglig middeltemperatur og daglig potentiel fordampning. Jorden beskrives ved jordens plantetilgængelige vandmængde i fire dybder, 0-25 cm, 25-50 cm, 50-75 cm og 75-100 cm, samt ved afdræningskonstanter og størrelsen på evaporationsreservoir. Med hensyn til afdræning er modellen i princippet en "badekarsmodel". Når et reservoir er fyldt op vil yderligere input til dette, medføre afdræning fra reservoiret. Der er ingen eller begrænset modellering af begyndende afstrømning fra et delvist fyldt reservoir, i forhold til andre modeller som f.eks. DAISY modellen. Modellen kan således forstås som en række kar, der kan fyldes og flyde over, hvis de bliver overfyldte.

Modellen er valgt fordi den anvendes i en lang række undersøgelser af kvælstofudvaskning under danske forhold. Samtidig er modellen enkelt at anvende og modificere. Samtidig er modellen følsom overfor de parametre som følsomhedsanalysen ønsker at adressere.

Et alternativ til at anvende EVACROP, er at anvende modellen DAISY der er udviklet af Københavns Universitet (Hansen m.fl., 1991). DAISY kan, hvis de nødvendige grund- og kalibreringsdata for beskrivelse af jord, vand og klima er til rådighed, formentlig give en mere præcis beskrivelse af jordens afdræning. Det er dog vurderet, at der ikke er de nødvendige data til rådighed over en lang nok tidsperiode til, at DAISY kan kalibreres og give et bedre estimat for vandbalancen end EVACROP. Disse data søges tilvejebragt over de næste forsøgsår.

Klima og jorddata til EVACROP

For de fleste af de her udførte følsomhedsanalyse er der anvendt DMI 10 x 10 km grid data for alle vejrvARIABLE. Nedbørs data er korrigeret for læforhold ved brug af månedlige korrektionsfaktorer ved middel læ givet i Allerup m.fl. (1998). Potentiel fordampning og døgnmiddeltemperatur stammer også fra DMI 10 x 10 km grid.

Der er anvendt EVACROPs standard jorddata for alle forsøg, ud fra deres jordtypeklassifikation. I enkelte scenarier er der anvendt målt tekstur og en vandholdende evne beregnet ud denne tekstur. Hvor dette er gjort er det nævnt eksplicit i scenarierne.

Ved beregning af udvaskningen er samme afstrømning anvendt, ved alle niveauer af kvælstoftilførsel.

2.3 Beregning af udvaskning

Beregning af udvaskningen sker ved at gange daglige værdier af afstrømning med daglige værdier af nitratkvælstofkoncentrationer i jordvandet. Fordi koncentrationen af nitratkvælstof kun måles ca. hver 14 dag i

afstrømningsæsonen, er det nødvendigt at etablere et sæt af daglige kvælstofkoncentrationer, ved at interpolere nitratkoncentrationerne mellem måledage. Der intrapoleres afstrømningsvægtet. Beregningsformlen er angivet i ligning 1.

Ligning 1: $Konc_k = Conc_{k-1} + (Konc_i - Conc_j) \times \frac{Afstømnings_k}{\sum_j^i Afstømnings}$, hvor $Konc_k$ er nitratkoncentrationen på dagen k som nitratkvælstofkoncentrationen skal beregnes for, $Konc_i$ og $Konc_j$ er nitratkvælstofkoncentrationer på to dage i og j hvor koncentrationerne er målt, og imellem hvilke der ikke er foretaget andre koncentrationsmålinger. Afstrømningen er afstrømningen på de indekserede dage.

Det vil sige at ændringen i koncentration fra en dag til den næste beregnes således at koncentrationsændringen imellem to dage vægtes efter den andel af afstrømningen imellem to måledage, der sker på den dag som koncentrationen skal beregnes for.

Koncentrationer og daglige udvaskninger beregnes på hver led i hver gentagelse og gennemsnittet af daglige udvaskninger beregnes derefter som gennemsnittet af hvert led. Hvis der mangler målte kvælstofkoncentrationer i et led intrapoleres koncentrationerne, som beskrevet ovenfor, frem til næste dag med målt koncentration (vertikal imputation, se også afsnit 6.) Årlige udvaskninger beregnes som summen af daglige udvaskning er perioden 1. april til 31. marts i det efterfølgende år.

Beregningsrutinen er automatiseret i et Python script.

Marginaludvaskning er defineret som den andel af et ekstra tilført kg kvælstof som vil blive udvasket. Marginaludvaskningen er derfor differentialet af den funktion der beskriver kvælstofudvaskningens sammenhæng med kvælstoftilførselen. Sammenhængen mellem kvælstofudvaskning kvælstoftildeling, er i denne rapport beskrevet med en eksponential funktion. Led med kvælstoftilførsel er ikke medtaget i eksponentialfunktionen, idet marginaludvaskningen er mest interessant omkring optimale kvælstoftildelinger, og i næsten alle forsøg og forsøgs år modelleres bedre omkring optimal kvælstoftilførsel ved, at udlade led uden kvælstoftildeling.

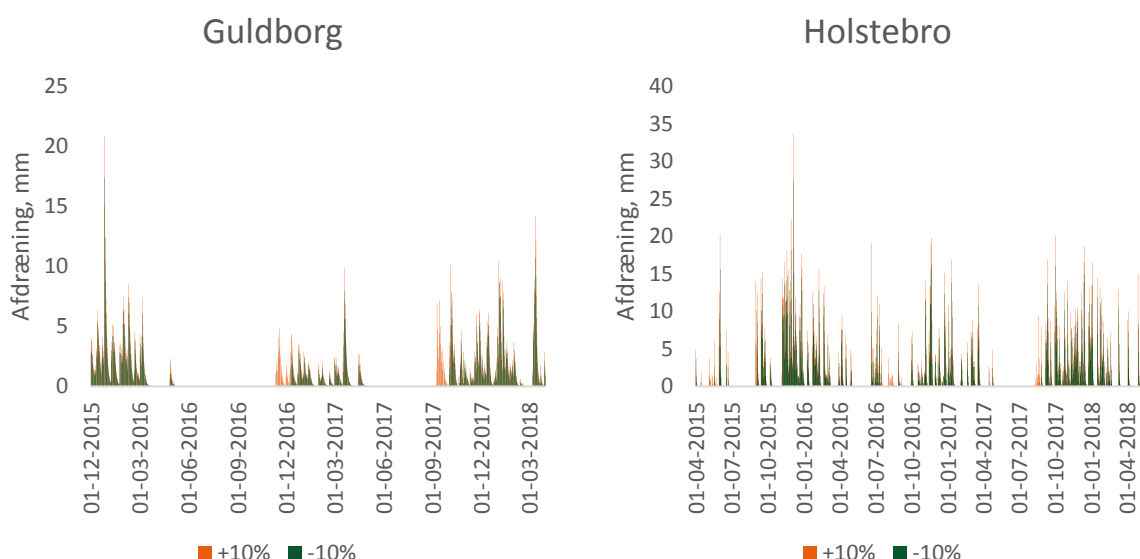
3 SCENARIER MED FORSKELLIG NEDBØR

Der er etableret en række scenarier hvor den anvendte nedbør er manipuleret. Nedbøren er manipuleret ved at øge eller reducere den daglige nedbør fra 0-10 pct. Dvs. at de daglige nedbørsmængder over hele scenariet varierer med 20 pct.

Scenarier med ændret nedbør belyser grundlæggende to problemstillinger, der dog ikke kan adskilles fra hinanden. Primært viser scenarierne, hvordan en konsistent bias i nedbørsmålingerne vil påvirke udvaskning og marginaludvaskningens størrelse. Indirekte viser scenarierne også, hvor følsom beregningen udvaskningens og marginaludvaskningens størrelse er overfor en bias i vandbalance modellens afstrømningsberegning. Scenarierne belyser således også effekten af en bias der medføre konsistent under eller overestimering af afstrømningens størrelse, hvor bias her simuleres ved at ændre på input nedbøren. Men man kan ikke anvende scenarierne til, at sige noget om, om modellerne har en bias af den nævnte størrelse. Der er altså udelukkende tale om følsomhedsanalyser.

3.1 Afstrømningens følsomhed ved ændring i nedbøren

En reduktion af den daglige nedbør reducerer både den daglige afstrømningens størrelse, og udskyder tidspunktet for afstrømningens begyndelse efter høst, fordi der er mindre nedbør til at fylde jordens vandmagasiner op efter høst. Dermed reduceres både udvaskningssæsonens længde og de daglige udvaskningers størrelse. En øget nedbør medfører naturligvis den modsatte effekt. Disse effekter er illustreret i figur 3.1, hvor afstrømningen er vist på lokaliteterne ved Guldborg og Holstebro, for scenarier hvor nedbøren er reduceret eller øget med 10 pct. i forhold til DMI grid nedbør.



Figur 3.1.1. Afstrømning i scenarier hvor nedbøren er ændret med +10% og -10% nedbør på lerjord (JB7) ved Guldborg og sandjord (JB1) ved Holstebro. Bemærk at skalaen for afstrømning er forskellig på de to lokaliteter.

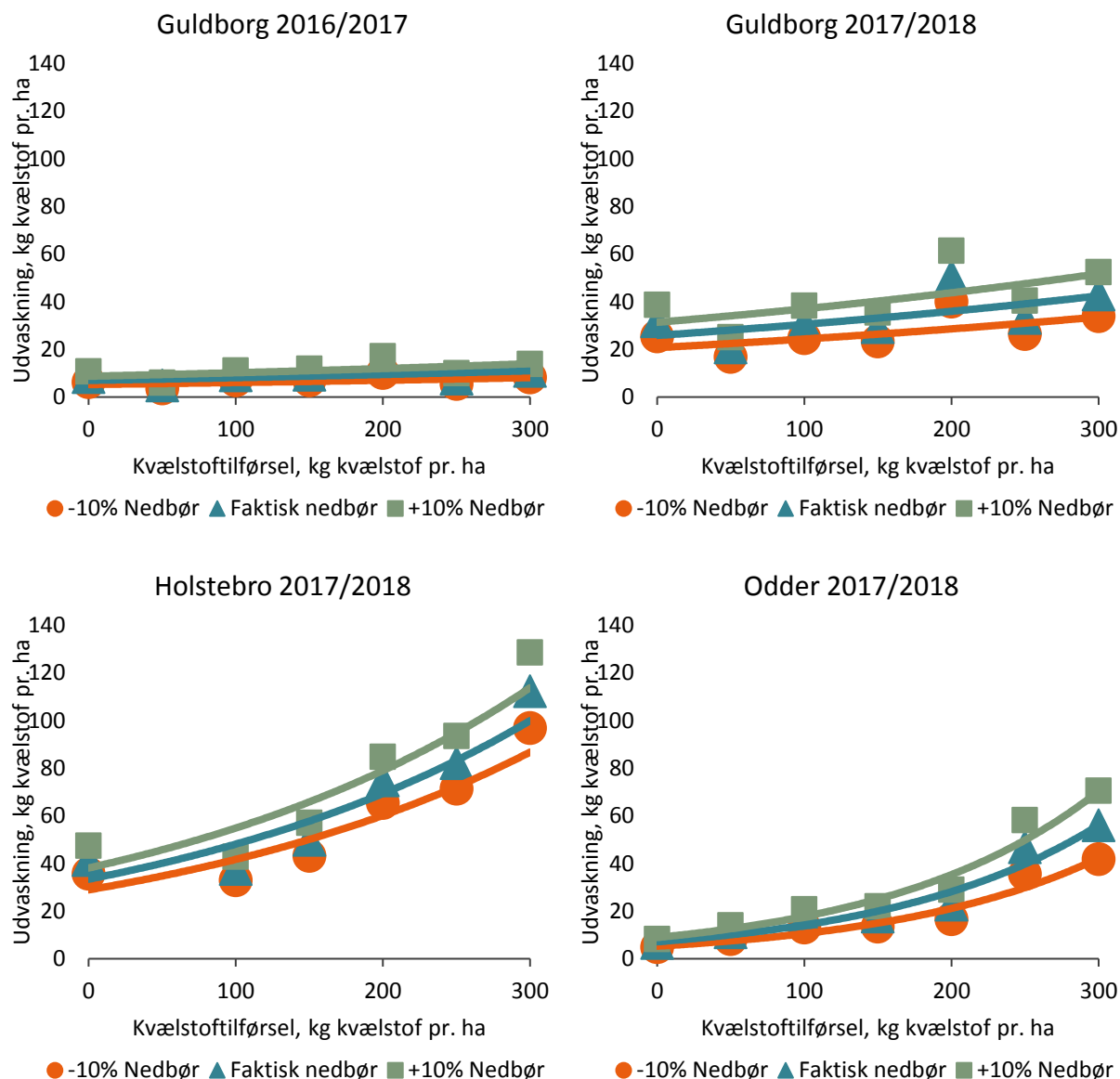
Resultaterne viser, at en ændring i inputnedbøren påvirker afstrømningens størrelse på de enkelte dage, og dermed også udvaskningens størrelse. På lerjord medfører en ændring af inputnedbøren også en ændring i timingen af afstrømningen, som i sig selv også påvirker udvaskningen. I scenarierne for Guldborg er

denne ændring af afstrømningens timing meget tydelig, idet afstrømningen begynder tidligere i efteråret 2016 og 2017 når nedbøren er øget med 10 pct. i forhold til når afstrømningen er reduceret med 10 pct. Se figur 3.1.1. I 2016 begynder afstrømningen i Guldborg ca. en måned tidligere når nedbøren er øget med 10 pct. end når den er reduceret med 10 pct. I 2017 var der 20 dages forskel i tidspunktet for afstrømningens begyndelse. På sandjorden i Holstebro er forskydningen i afstrømningens starttidspunkt mellem de to scenarier kun forskudt med tre dage i 2016 og slet ikke i 2017. Det skyldes, at der på lerjord kan opbygges et større vandunderskud end på sandjord, som skal kompenseres inden afstrømningen kan begynde.

Det er vigtigt at bemærke, at det er reduktionen af den faktiske nedbør, der har størst betydning for hvornår afstrømningen begynder på lerjord. I Guldborg begynder afstrømningen stort set samtidig i scenarier med faktisk nedbør og 10 pct. øget nedbør, men en reduktion af nedbøren med 10 pct. i forhold til faktisk nedbør medfører en senere begyndelse af afstrømningen. Det skyldes formentlig, at fordampningen øges ved øget nedbør. En reduktion af nedbøren med 10 pct. medfører derimod, som beskrevet ovenfor, en forskydning i afstrømningens begyndelse på 20 til 30 dage, afhængigt af måleåret. Det skyldes, at der ved en reduktion af nedbøren opbygges et større vandunderskud om sommeren, og dermed skal der falde mere nedbør efter høst, for at nå markkapacitet.

3.2 Udvaskningsniveauets følsomhed overfor ændring i nedbør

Ændringen i udvaskningsniveau og marginaludvaskning, under forskellige nedbørsscenarier er undersøgt på fem lokaliteter i måleåret 2017/2018. På to af lokaliteterne, Guldborg og Holstebro, er følsomhedsanalysen også udført i måleåret 2016/2017. Figur 3.2.1 viser kvælstofudvaskningen ved stigende kvælstoftilførsel for scenarier med henholdsvis nedbøren reduceret og øget med 10 pct. og ved den faktiske nedbør, for fire udvalgte kombinationer af måleår og lokaliteter. For det udvalgte forsøg, er forskellen i absolut udvaskningsniveau i de forskellige scenarier er størst i Holstebro i 2017/2018 ved en kvælstoftilførsel på 300 kg pr. ha, og mindst i Guldborg i 2016/2017 ved en kvælstoftilførsel på 0 kg kvælstof pr. ha. Det skyldes, at udvaskningsniveauet generelt er højere på sandjorden i Holstebro i det våde år 2017/2018, end i Guldborg i det tørre 2017/2018. Desuden blev der i Guldborg 2017/2018 dyrket sukkerroer, der har et stort kvælstofoptag i efteråret og giver et lavt udvaskningsniveau. Udvaskningsniveaus følsomhed over for kvaliteten af nedbørsdata er således, i sig selv afhængig af udvaskningens niveauets størrelse.



Figur 3.2.1. Udvaskning beregnet ved tre nedbørsscenarier, -10% nedbør, faktisk nedbør og +10% nedbør. Faktisk nedbør er DMI 10x10 km grid nedbør for hver lokalitet.

I tabellerne 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3, 3.2.4, 3.2.5, 3.2.6 og 3.2.7 er vist udvaskningsniveauer og marginaludvaskning ved forskellige kvælstoftilførsler og nedbørsscenarier fra -10% nedbør til +10% nedbør, for alle de analyserede forsøg. I tabellerne 3.2.8, 3.2.9, 3.2.10, 3.2.11, 3.2.12, 3.2.13 og 3.2.14 er vist udvaskningen og marginaludvaskningen for hvert scenarie, som procent af udvaskningen eller marginaludvaskningen ved den faktiske nedbør. Data fra Guldborg og Holstebro i sæsonen 2015/2016 er ikke vist, idet der ikke findes data for hele målesæsonen i disse to forsøg. Marginaludvaskningen er vist som merudvaskning i kg kvælstof ved tilførsel af et ekstra kg kvælstof. Marginaludvaskning i procent, dvs. andelen af et ekstra kg kvælstof der udvaskes, fås ved at gange dette tal med 100.

Tabel 3.2.1 Udvaskning og marginaludvaskning ved forskellige nedbørsscenarier i forsøget ved Guldborg i sæsonen 2016/2017

GULDBORG 2016/2017								
Nedbørsscenarie	Udvaskning [kg/ha]				Marginaludvaskning [merudvaskning i kg N/kg N yderligere tilført]			
	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha
-10	6	7	10	8	0,01	0,01	0,01	0,02
-8	7	8	11	9	0,01	0,01	0,02	0,02
-6	7	8	11	9	0,01	0,01	0,02	0,02
-4	8	8	12	10	0,01	0,02	0,02	0,02
-2	8	9	13	10	0,01	0,02	0,02	0,02
-1	8	9	13	11	0,01	0,02	0,02	0,03
0	8	9	14	11	0,01	0,02	0,02	0,03
1	9	10	14	11	0,01	0,02	0,02	0,03
2	9	10	14	12	0,01	0,02	0,02	0,03
4	9	10	15	12	0,01	0,02	0,02	0,03
6	10	11	16	13	0,02	0,02	0,03	0,03
8	10	11	16	13	0,02	0,02	0,03	0,03
10	11	12	17	14	0,02	0,02	0,03	0,04

Tabel 3.2.2 Udvaskning og marginaludvaskning ved forskellige nedbørsscenarier i forsøget ved Guldborg i sæsonen 2017/2018

GULDBORG 2017/2018								
Nedbørsscenarie	Udvaskning [kg/ha]				Marginaludvaskning [merudvaskning i kg N/kg N yderligere tilført]			
	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha
-10	25	23	40	34	0,04	0,06	0,07	0,09
-8	27	25	42	36	0,04	0,06	0,07	0,09
-6	28	26	44	38	0,05	0,07	0,08	0,10
-4	29	27	46	39	0,05	0,07	0,08	0,11
-2	31	28	49	41	0,05	0,08	0,09	0,11
-1	31	29	50	42	0,05	0,08	0,09	0,11
0	32	29	51	43	0,05	0,08	0,09	0,11
1	32	30	51	44	0,05	0,08	0,09	0,12
2	33	30	52	44	0,06	0,08	0,09	0,12
4	34	31	54	46	0,06	0,08	0,10	0,12
6	36	33	57	48	0,06	0,09	0,10	0,13
8	37	34	59	50	0,06	0,09	0,10	0,13
10	39	35	61	52	0,07	0,10	0,11	0,14

Tabel 3.2.3 Udvaskning og marginaludvaskning ved forskellige nedbørsscenarier i forsøget ved Ringsted i sæsonen 2017/2018

RINGSTED 2017/2018								
Nedbørsscenarie	Udvaskning [kg/ha]				Marginaludvaskning [merudvaskning i kg N/kg N yderligere tilført]			
	75 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha	75 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha
-10	25	23	43	53	0,08	0,11	0,13	0,18
-8	27	25	47	57	0,09	0,11	0,13	0,19
-6	29	28	50	61	0,09	0,12	0,14	0,19
-4	31	30	53	64	0,10	0,12	0,14	0,19
-2	33	32	56	67	0,10	0,13	0,15	0,20
-1	34	33	58	69	0,11	0,13	0,16	0,21
0	35	34	60	71	0,10	0,13	0,15	0,21
1	36	35	61	72	0,11	0,14	0,16	0,21
2	37	36	63	74	0,11	0,14	0,16	0,22
4	40	38	67	78	0,11	0,14	0,16	0,22
6	42	41	71	82	0,12	0,15	0,17	0,23
8	44	43	74	85	0,13	0,16	0,18	0,25
10	46	45	78	89	0,13	0,16	0,18	0,24

Tabel 3.2.4 Udvaskning og marginaludvaskning ved forskellige nedbørsscenarier i forsøget ved Odder i sæsonen 2017/2018

ODDER 2017/2018								
Nedbørsscenarie	Udvaskning [kg/ha]				Marginaludvaskning [merudvaskning i kg N/kg N yderligere tilført]			
	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha
-10	5	13	17	42	0,04	0,10	0,14	0,26
-8	5	14	18	45	0,04	0,11	0,15	0,28
-6	5	15	19	47	0,04	0,11	0,16	0,30
-4	6	16	20	50	0,04	0,12	0,16	0,32
-2	6	17	22	53	0,05	0,13	0,17	0,33
-1	6	17	22	55	0,05	0,13	0,18	0,34
0	7	18	23	56	0,05	0,13	0,18	0,35
1	7	18	23	57	0,05	0,14	0,19	0,36
2	7	18	24	58	0,05	0,14	0,20	0,38
4	7	19	25	61	0,05	0,15	0,20	0,40
6	7	20	26	64	0,06	0,15	0,21	0,41
8	8	21	27	67	0,06	0,16	0,22	0,43
10	8	22	29	70	0,06	0,17	0,24	0,46

Tabel 3.2.5 Udvaskning og marginaludvaskning ved forskellige nedbørsscenarier i forsøget ved Jyderup i sæsonen 2017/2018

JYDERUP 2017/2018								
Nedbørscenarie	Udvaskning [kg/ha]				Marginaludvaskning [merudvaskning i kg N/kg N yderligere tilført]			
	0 kgN/ha	120 kgN/ha	160 kgN/ha	200 kgN/ha	0 kgN/ha	120 kgN/ha	160 kgN/ha	200 kgN/ha
-10	34	44	52	59	0,11	0,16	0,19	0,22
-8	36	46	54	61	0,11	0,17	0,20	0,23
-6	37	47	56	63	0,11	0,18	0,21	0,24
-4	39	49	58	66	0,13	0,20	0,23	0,27
-2	40	50	60	67	0,12	0,18	0,21	0,24
-1	41	52	61	69	0,12	0,19	0,21	0,25
0	41	52	62	70	0,12	0,19	0,22	0,25
1	41	53	62	71	0,12	0,19	0,22	0,25
2	42	54	63	72	0,13	0,19	0,22	0,26
4	43	55	65	74	0,13	0,20	0,23	0,27
6	45	57	67	77	0,13	0,21	0,24	0,28
8	46	59	69	79	0,14	0,21	0,25	0,28
10	48	61	71	81	0,14	0,22	0,25	0,29

Tabel 3.2.6 Udvaskning og marginaludvaskning ved forskellige nedbørsscenarier i forsøget ved Holstebro i sæsonen 2016/2017

HOLSTEBRO 2016/2017

Nedbørscenarie	Udvaskning [kg/ha]				Marginaludvaskning [merudvaskning i kg N/kg N yderligere tilført]			
	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha
-10	21	31	37	44	0,06	0,11	0,14	0,20
-8	22	32	39	46	0,07	0,12	0,14	0,21
-6	22	34	40	48	0,07	0,12	0,15	0,22
-4	23	35	41	49	0,07	0,13	0,15	0,23
-2	24	36	43	51	0,07	0,13	0,16	0,24
-1	24	37	44	52	0,07	0,13	0,16	0,24
0	25	37	44	53	0,08	0,14	0,16	0,24
1	25	38	45	53	0,08	0,14	0,17	0,25
2	25	38	45	54	0,08	0,14	0,17	0,25
4	26	39	47	56	0,08	0,14	0,18	0,26
6	27	41	48	58	0,08	0,15	0,18	0,27
8	28	42	50	59	0,09	0,15	0,19	0,27
10	28	43	51	61	0,09	0,16	0,19	0,28

Tabel 3.2.7 Udvaskning og marginaludvaskning ved forskellige nedbørsscenarier i forsøget ved Holstebro i sæsonen 2017/2018

HOLSTEBRO 2017/2018								
Nedbørsscenarie	Udvaskning [kg/ha]				Marginaludvaskning [merudvaskning i kg N/kg N yderligere tilført]			
	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha
-10	36	43	65	97	0,11	0,23	0,30	0,52
-8	37	44	67	100	0,11	0,24	0,31	0,53
-6	38	46	69	103	0,11	0,25	0,32	0,55
-4	39	47	71	106	0,11	0,25	0,33	0,56
-2	40	49	73	109	0,12	0,27	0,35	0,61
-1	41	49	74	111	0,12	0,27	0,36	0,61
0	41	50	75	112	0,12	0,28	0,36	0,62
1	42	50	76	114	0,12	0,28	0,37	0,63
2	42	51	77	115	0,13	0,28	0,37	0,64
4	44	53	79	118	0,13	0,29	0,38	0,65
6	45	54	81	122	0,13	0,30	0,39	0,67
8	46	55	83	125	0,14	0,30	0,40	0,68
10	47	57	85	129	0,14	0,31	0,41	0,70

Tabel 3.2.8. Udvaskning og marginaludvaskning ved forskellige nedbørsscenarier opgjort som procent af henholdsvis udvaskning og marginaludvaskning ved faktisk nedbør (0 scenarie) i forsøget ved Guldborg i sæsonen 2016/2017.

GULDBORG 2016/2017								
Nedbørsscenarie	Udvaskning				Marginaludvaskning			
	[% ifht. faktisk nedbør]				[% ændring ifht. faktisk nedbør]			
	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha
-10	74	75	74	75	70	68	67	66
-8	79	81	80	81	75	73	72	71
-6	84	85	85	85	79	77	76	75
-4	89	90	89	90	87	86	86	85
-2	95	95	95	95	95	93	93	92
-1	98	98	98	98	98	98	98	98
0	100	100	100	100	100	100	100	100
1	102	102	102	102	102	102	102	102
2	105	105	105	105	104	104	104	104
4	111	110	111	110	109	109	109	109
6	116	115	115	115	118	120	120	122
8	121	119	119	119	121	123	124	125
10	128	126	126	126	128	129	130	131

Tabel 3.2.9. Udvaskning og marginaludvaskning ved forskellige nedbørsscenarier opgjort som procent af henholdsvis udvaskning og marginaludvaskning ved faktisk nedbør (0 scenarie) i forsøget ved Guldborg i sæsonen 2017/2018.

GULDBORG 2017/2018								
Nedbørsscenarie	Udvaskning				Marginaludvaskning			
	[% ifht. faktisk nedbør]				[% ændring ifht. faktisk nedbør]			
	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha
-10	80	80	79	79	77	76	76	75
-8	84	84	83	83	81	79	79	78
-6	88	88	88	87	88	88	88	88
-4	92	92	92	92	92	92	92	92
-2	96	96	96	96	96	96	96	96
-1	98	98	98	98	98	98	98	98
0	100	100	100	100	100	100	100	100
1	102	101	102	102	102	102	102	102
2	103	103	103	103	103	103	103	103
4	108	107	108	108	107	107	107	107
6	112	112	112	112	112	112	112	112
8	117	116	117	117	116	116	116	116
10	122	121	121	122	121	121	121	121

Tabel 3.2.10. Udvaskning og marginaludvaskning ved forskellige nedbørsscenarier opgjort som procent af henholdsvis udvaskning og marginaludvaskning ved faktisk nedbør (0 scenarie) i forsøget ved Ringsted i sæsonen 2017/2018.

RINGSTED 2017/2018								
Nedbørsscenarie	Udvaskning				Marginaludvaskning			
	[% ifht. faktisk nedbør]				[% ændring ifht. faktisk nedbør]			
	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha
-10	71	67	72	75	79	82	83	87
-8	78	75	78	81	85	87	88	91
-6	84	82	84	86	89	90	91	93
-4	89	88	89	91	92	92	93	94
-2	94	93	94	95	97	98	99	100
-1	97	97	97	98	101	102	102	103
0	100	100	100	100	100	100	100	100
1	103	103	103	102	103	103	103	103
2	106	107	106	105	107	107	107	107
4	113	114	112	111	109	109	108	107
6	119	121	119	116	116	115	115	113
8	125	127	125	121	123	122	121	120
10	132	134	131	126	124	122	121	119

Tabel 3.2.11. Udvaskning og marginaludvaskning ved forskellige nedbørsscenarier opgjort som procent af henholdsvis udvaskning og marginaludvaskning ved faktisk nedbør (0 scenarie) i forsøget ved Odder i sæsonen 2017/2018.

ODDER 2017/2018								
Nedbørsscenarie	Udvaskning				Marginaludvaskning			
	[% ifht. faktisk nedbør]				[% ændring ifht. faktisk nedbør]			
	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha
-10	73	76	73	75	75	75	75	75
-8	78	81	78	80	80	80	80	80
-6	83	85	83	85	85	85	85	85
-4	89	90	89	90	90	90	90	90
-2	95	95	95	95	95	95	95	95
-1	98	98	98	98	98	98	98	98
0	100	100	100	100	100	100	100	100
1	102	102	102	102	102	102	102	102
2	103	103	104	104	105	106	107	108
4	108	108	110	109	109	111	111	113
6	114	113	116	115	115	116	117	118
8	119	118	121	120	120	121	122	123
10	126	124	128	126	126	128	129	130

Tabel 3.2.12. Udvaskning og marginaludvaskning ved forskellige nedbørsscenarier opgjort som procent af henholdsvis udvaskning og marginaludvaskning ved faktisk nedbør (0 scenarie) i forsøget ved Jyderup i sæsonen 2017/2018.

JYDERUP 2017/2018								
Nedbørsscenarie	Udvaskning				Marginaludvaskning			
	[% ifht. faktisk nedbør]				[% ændring ifht. faktisk nedbør]			
	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha
-10	84	84	84	84	86	87	87	88
-8	88	88	88	88	90	91	92	92
-6	91	90	91	91	93	94	94	95
-4	94	94	94	94	106	106	106	106
-2	97	97	97	97	97	97	97	97
-1	99	99	99	99	99	99	99	99
0	100	100	100	100	100	100	100	100
1	101	101	101	101	101	101	101	101
2	103	103	103	103	103	103	103	103
4	106	106	106	106	106	106	106	106
6	110	110	110	110	110	110	110	110
8	113	113	112	113	113	113	113	113
10	116	117	116	116	117	117	117	117

Tabel 3.2.13. Udvaskning og marginaludvaskning ved forskellige nedbørsscenarier opgjort som procent af henholdsvis udvaskning og marginaludvaskning ved faktisk nedbør (0 scenarie) i forsøget ved Holstebro i sæsonen 2016/2017.

HOLSTEBRO 2016/2017								
Nedbørsscenarie	Udvaskning				Marginaludvaskning			
	[% ifht. faktisk nedbør]				[% ændring ifht. faktisk nedbør]			
	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha
-10	84	84	84	84	83	83	83	83
-8	88	87	88	88	87	87	87	87
-6	91	90	91	91	90	90	90	90
-4	94	94	94	94	93	93	93	93
-2	97	97	97	97	97	97	97	97
-1	99	99	99	99	99	99	99	99
0	100	100	100	100	100	100	100	100
1	101	101	101	101	101	101	101	101
2	103	103	103	103	103	103	103	103
4	106	106	106	106	106	106	106	106
6	109	109	109	109	109	109	109	109
8	112	112	112	113	113	113	113	113
10	115	116	116	116	116	116	116	116

Tabel 3.2.14. Udvaskning og marginaludvaskning ved forskellige nedbørsscenarier opgjort som procent af henholdsvis udvaskning og marginaludvaskning ved faktisk nedbør (0 scenarie) i forsøget ved Holstebro i sæsonen 2017/2018.

HOLSTEBRO 2017/2018								
Nedbørsscenarie	Udvaskning				Marginaludvaskning			
	[% ifht. faktisk nedbør]				[% ændring ifht. faktisk nedbør]			
	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha
-10	86	86	87	86	86	85	84	83
-8	89	89	90	89	88	87	86	86
-6	92	92	92	92	91	89	89	88
-4	94	94	95	94	93	92	91	90
-2	97	97	97	97	97	97	97	97
-1	99	99	99	99	99	99	99	99
0	100	100	100	100	100	100	100	100
1	101	101	101	101	101	101	101	101
2	103	103	102	103	102	102	102	102
4	106	105	105	105	105	105	105	105
6	109	108	108	108	108	108	108	108
8	111	111	110	111	110	110	110	110
10	115	114	113	114	113	113	113	113

Den beregnende udvaskning stiger stort set lineært når nedbøren øges i forhold til den faktiske nedbør, og falder ligeledes lineært når nedbøren reduceres. Se tabel 3.2.1. til tabel 3.2.7. Hvor stor forskellen i udvaskning er, er forskelligt fra forsøg til forsøg ligesom det varierer imellem forsøgsår på de enkelte lokaliteter, fordi udvaskningsniveauet generelt er forskelligt i den forskellige forsøg.

Ved definitionen af scenarierne er det valgt, at anvende relative afvigelser i nedbøren. Det betyder, at ændringen i absolut nedbør er større på mere våde lokaliteter i forhold til tørre lokaliteter. Man skal være opmærksom på dette ved tolkning af resultaterne.

I forsøgene på sandjord, Holstebro og Jyderup, er forskellen i udvaskning mellem -10% scenarier og +10% scenariet mellem 10 og 20 kg N pr. ha ved et gødningsniveau på 200 kg N pr. ha. Se tabel 3.2.5, 3.2.6, og 3.2.7. Dette gødningsniveau svare omtrent til kvælstofnormen for de fleste af de undersøgte afgrøder. Forskellen til faktisk nedbør er således 5-10 kg N pr. ha i forhold til disse scenarier. For forsøgene på lerjord er forskellen i udvaskning mellem -10% scenarier og +10% scenariet mellem 7 og 35 kg N pr. ha ved et gødningsniveau på 200 kg N pr. ha, hvilket svare til en forskel til faktisk nedbør på ca. 4 – 18 kg N pr. ha. Se tabellerne 3.2.1, 3.2.2., 3.2.3 og 3.2.4. Den mindste følsomhed er fundet i forsøget ved Guldborg i 2016/2017, hvor udvaskningsniveauet var lavt fordi der blev dyrket sukkerroer, og i forsøget ved Odder i 2017/2018. Den største følsomhed for det absolutte udvaskningsniveau blev fundet i forsøget ved Ringsted i 2017/2018.

I tabellerne 3.2.8 til 3.2.14 er vist den relative forskel i udvaskningsniveau for de forskellige scenarier, som procent af udvaskningen ved faktisk nedbør. I forsøgene på sandjord er udvaskningen 13-16 pct. lavere end ved faktisk nedbør for -10% scenarierne og tilsvarende større for +10% scenarierne ved et gødningsniveau på 200 kg N pr. ha. Ændringen er af samme størrelse uafhængigt af om nedbøren øges eller mindskes. På lerjord er den relative ændring i forhold til faktisk nedbør i størrelsesordenen 21- 31 pct. for +10 pct. scenarierne ved et gødningsniveau på 200 kg N pr. ha, og 21-28 pct. for -10 pct. scenarierne. Når den højeste afvigelse ikke bliver lige så høj i -10 pct. scenarierne som i +10 pct. scenarierne, skyldes det en mindre afvigelse fra udvaskningen ved faktisk nedbør, når nedbøren reduceres i forsøget ved Ringsted 2017/2018, i forhold til når nedbøren øges i dette forsøg. I de øvrige forsøg er reduktionen i udvaskningen ved reduceret nedbør i af samme størrelse som øgningen ved øget nedbør.

Simuleringerne af udvaskningsniveauer viser, at udvaskningsniveauet kan påvirkes betydeligt af en bias i den anvendte nedbør, eller ved en konsistent bias i den anvendte vandbalance model. Følsomheden ved gødningsniveauer omkring kvælstofnormen kan være på op til 35 kg N pr. ha, svarende til ca. 30 procent, hvis vandafstrømningen fejlberegnes med en fejl der svare til +10% scenariet. Analyserne viser dog også, at fejlen ofte vil være væsentligt mindre, og at det er meget individuelt hvor meget de enkelte forsøg påvirkes. Den forskellige følsomhed kan både skyldes forskellige størrelser på afstrømningen, og forskellige profiler af kvælstofkoncentrationer hen over målesæsonen.

3.3 Marginaludvasknings følsomhed over for ændringer i nedbør

Marginaludvaskningen ændres også med øget nedbør. I alle forsøgene falder marginaludvaskningen ved mindsket nedbør, og stiger ved øget nedbør. Se tabel 3.2.1 til 3.2.14. For nogle forsøg er stigningen ændringen i marginaludvaskning ganske betydelig, f.eks. Holstebro 2017/2018 og Odder 2017/2018, mens den for andre forsøg er så lille at den er uden praktisk betydning, f.eks. Guldborg i 2016/2017. I Holstebro 2017/2018 og Odder 2017/2018 stiger eller falder marginaludvaskningen med 0,04-0,06 kg N/kg N. i +10% og -10% scenarierne, og også ved scenarier ved scenarier med mindre ændringer i nedbøren er der en betydende påvirkning af marginaludvaskningen størrelse. Se tabel 3.2.4. og 3.2.7. Fælles for disse forsøg er

at marginaludvaskningen ved faktisk nedbør også er blandt de højeste i datasættet, nemlig mellem 0,18 og 0,36 kg N pr. kg N.

Den mindste forskel i marginaludvaskning ses i forsøget ved Guldborg i 2016/2017 hvor marginaludvaskningen ved faktisk nedbør var ca. 0,02 kg N pr. kg N. Her ændrer marginaludvaskningen sig med ca. 0,01 kg N pr. kg N. ved -10% og +10% nedbør. Se tabel 3.2.1. I dette forsøg er marginaludvaskningen ved faktisk nedbør dog også meget lav, fordi der dyrkes sukkerroer på arealet og fordi forsøgs året var tørt. I de øvrige forsøg ændrer marginal udvaskningen sig med 0,02-0,03 kg N pr. kg N i -10% og +10% scenarierne, se tabel 3.2.2, 3.2.3, 3.2.5 og 3.2.6. I disse forsøg er marginaludvaskningen ved faktisk nedbør i størrelsesordenen 0,09-0,16 kg N pr. kg N.

I procent ændres marginaludvaskningen i de analyserede forsøg med mellem ± 15 og ± 30 pct. i -10% og +10% scenarierne forhold til faktisk nedbør. Procentvis ændrer udvaskningen og marginaludvaskning sig ca. lige meget ved de forskellige nedbørsscenarier. Se tabel 3.2.8 til tabel 3.2.14.

Analyserne viser, at estimer af marginaludvaskningen i nogle tilfælde kan være påvirket af, fejl i input nedbør eller alternativt en bias i beregnet afstrømning. Dette er dog ikke tilfældet i alle forsøg.

4 SCENARIER MED FORSKELLIGE JORDBESKRIVELSER

For at undersøge i hvor høj grad den beregnede afstrømning, udvaskning og marginaludvaskning er afhængig af en god beskrivelse af jordens tekstur, er der på to af forsøgsarealerne beregnet afstrømning, udvaskning og marginaludvaskning både med anvendelse af EVACROPS standard parametre for jorden, og med parametre beregnet ud fra målt tekstur i fire dybder. I EVACROP er jorden beskrevet ved jordens potentielle indhold af plantetilgængeligt vand. De målte teksturer er omregnet til potentielt indhold af plantetilgængeligt vand, og disse parametre er derefter brugt i EVACROP.

4.1 Beskrivelse af jord og standardparametre for jord

Ud fra teksturanalyser er mængden af plantetilgængeligt vand beregnet i fire dybder (0-25 cm, 25-50 cm, 50-75 cm og 75-100 cm) for forsøgene ved Ringsted og Odder. Plantetilgængeligt vand for hvert dybdeinterval er beregnet efter formelen: Plantetilgængeligt vand = $(1,79 * \% \text{Humus} + 0,07 * \% \text{Ler} + 0,29 * \% \text{Silt} + 0,18 * \% \text{Finsand} + 2,56) * 2,5$ (Madsen og Holst, 1987). Målt tekstur, beregnet plantetilgængeligt vand, og standard parametre for plantetilgængeligt vand på JB6 i EVACROP er vist i tabel 4.1.1 og 4.1.2, for henholdsvis forsøgene ved Odder og Ringsted. For forsøget ved Odder er den plantetilgængelige vandmængde ved målt tekstur større i alle lag, i forhold til en standard jord. Dette gælder særligt i underjorden. For forsøget ved Ringsted er der større indhold af plantetilgængeligt vand i under 25 cm dybde i forhold til standard jorden. I pløjelaget (0-25 cm) er indholdet af plante tilgængeligt vand derimod på niveau med standardjorden.

Tabel 4.1.1. Målt tekstur, samt beregnet og standard plantetilgængeligt vand (PTV) for forsøget ved Odder. Jorden i dette forsøg er en JB6.

DYBDE	HUMUS (PCT.)	LER (PCT.)	SILT (PCT.)	FINSAND (PCT.)	GROV- SAND (PCT.)	PTV, BE- REGNET UD FRA TEKSTUR (PCT.)	PTV,STAN- DARD JB6 (PCT.)
0-25 cm	3,2	14,3	13,6	52,7	16,2	22,7	20,0
25-50 cm	3,0	13,2	15,1	57,0	11,7	23,5	16,0
50-75 cm	3,0	14,1	13,3	58,2	11,4	23,3	16,0
75-100 cm	2,9	15,2	14,6	56,5	10,8	23,2	16,0

Tabel 4.1.2. Målt tekstur, samt beregnet og standard plantetilgængeligt vand (PTV) for forsøget ved Ringsted. Jorden i dette forsøg er en JB6.

DYBDE	HUMUS (PCT.)	LER (PCT.)	SILT (PCT.)	FINSAND (PCT.)	GROV- SAND (PCT.)	PTV, BE- REGNET UD FRA TEKSTUR (PCT.)	PTV,STAN- DARD JB6 (PCT.)
0-25 cm	3,3	12,2	10,9	41,9	31,7	20,0	20,0
25-50 cm	3,8	12,4	10,9	44,8	28,3	21,4	16,0
50-75 cm	3,8	12,3	11,6	41,8	30,5	21,1	16,0
75-100 cm	3,0	11,8	11,0	44,7	29,5	20,0	16,0

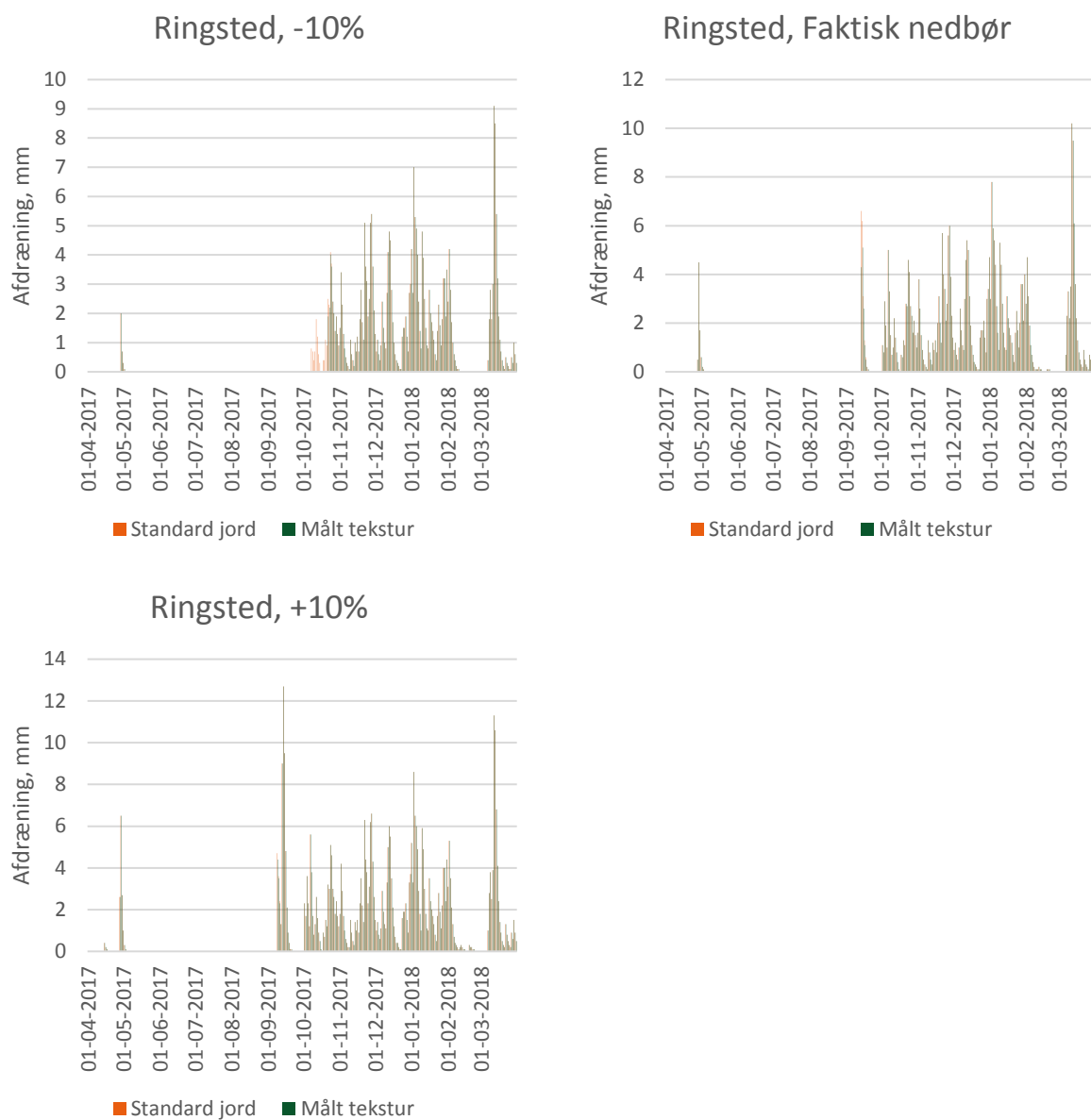
4.2 Resultater for afstrømning og udvaskning ved forskellige jordbeskrivelser

I figur 4.2.1 og figur 4.2.2. er vist den beregnede afstrømning når jorden beskrives med standard parametrene fra EVACROP og når de plantetilgængelige vandmængder baseret på målt tekstur anvendes. I alle scenarier og forsøg er afdræningen på langt de fleste dage ens for standard jorden og for jordbeskrivelsen baseret på målt tekstur. Hvor der optræder forskelle, er det på dage omkring afstrømningssæsonens begyndelse.

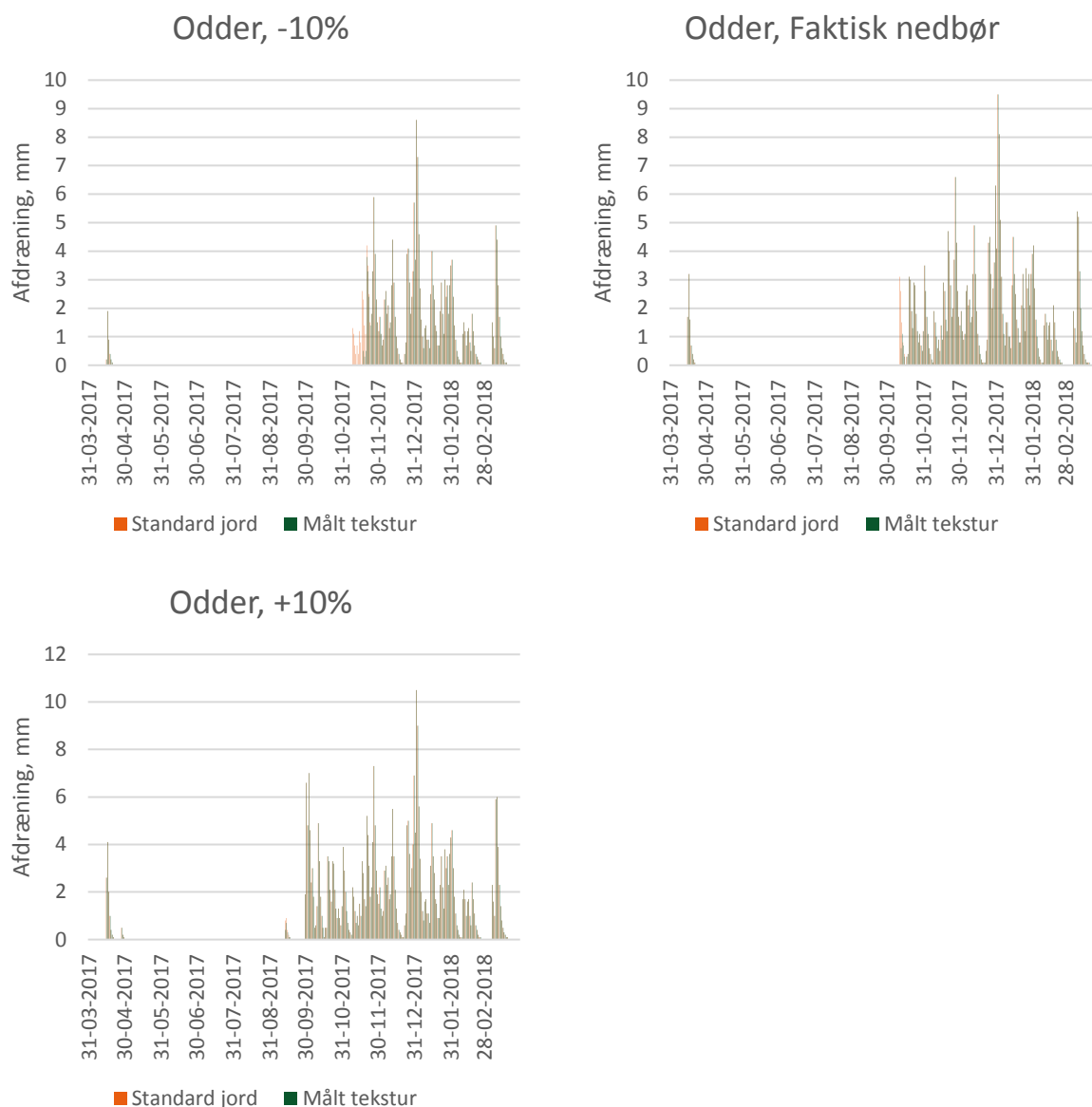
I -10% scenariet begynder afdræningen i begge forsøg lidt tidligere i efteråret, når afstrømningen beregnes med standardjorden. Som beskrevet ovenfor er afdræningens størrelse dog ikke afhængig af jordbeskrivelsen, når afdræningen først har været i gang nogle dage. Derfor bliver den samlede afstrømning heller ikke særligt forskellig. Se tabel 4.2.1 og 4.2.2.

I scenariet med faktisk nedbør i forsøget med ved Odder begynder afstrømningen kun få dage tidligere med standard jord end når der anvendes målt tekstur, selvom den målte tekstur viser en højere potentielt indhold af plantetilgængeligt vand end for standardjorden. Se figur 4.2.2. I forsøget ved Ringsted er afstrømningens begyndelse ikke afhængig af jordbeskrivelsen i scenariet med faktisk nedbør. Den samlede afstrømning over en målesæson afviger med få millimeter mellem de to jordbeskrivelser. Se tabel 4.2.1 og 4.2.2.

I +10% scenariet, er både afstrømningens begyndelse og den samlede afstrømningsstørrelse stort set uafhængig af jordbeskrivelsen for begge forsøg. Se tabel 4.2.1 og 4.2.2.



Figur 4.4.1. Sammenligning af beregnet afstrømning fra rodzonen når der anvendes en standard JB6 jord og når der anvendes en jordbeskrivelse baseret på målt tekstur. Afstrømningen er beregnet i tre forskellige nedbørsscenarier i forsøget ved Ringsted.



Figur 4.4.2. Sammenligning af beregnet afstrømning fra rodzonen når der anvendes en standard JB6 jord og når der anvendes en jordbeskrivelse baseret på målt tekstur. Afstrømningen er beregnet i tre forskellige nedbørsscenarier i forsøget ved Odder.

Tabel 4.2.1. Kumuleret afstrømning (mm) for fem nedbørsscenarier i perioden 1/4-2017 til 31/3-2018 i forsøget ved Ringsted.

RINGSTED	-10%	-4%	0	4%	10%
Standard jord	273	320	349	382	431
Målt tekstur	263	314	344	379	431
Forskel	10	6	4	2	1

Tabel 4.2.2. Kumuleret afstrømning for fem nedbørsscenarier (mm) i perioden 1/4-2017 til 31/3-2018 i forsøget ved Odder

ODDER	-10%	-4%	0	4%	10%
Standard jord	222	267	297	325	374
Målt tekstur	208	259	291	321	373
Forskel	14	9	6	4	1

Tabel 4.2.3. Forskel i udvaskning og marginaludvaskning mellem standard jord og den målte tekstur. Positive værdier angiver større udvaskning for standard jorden end for jordopsætning med målt tekstur. Forsøget ved Ringsted i sæsonen 2017/2018.

RINGSTED 2017/2018								
Nedbørsscenarie	Forskel i udvaskning [kg/ha]				Forskel i marginaludvaskning [merudvaskning i kg N/kg N yderligere tilført]			
	75 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha	75 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha
-10	1,9	2,4	2,9	3,1	0,01	0,01	0,01	0,01
-4	1,0	1,2	1,7	1,6	0,00	0,00	0,00	0,00
0	0,7	0,8	1,2	1,1	0,00	0,00	0,00	-0,01
4	0,4	0,4	0,7	0,6	0,00	-0,01	-0,01	-0,01
10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabel 4.2.4. Forskel i udvaskning og marginaludvaskning mellem standard jord og den målte tekstur. Positive værdier angiver større udvaskning for standard jorden end for jordopsætning med målt tekstur. Forsøget ved Odder i sæsonen 2017/2018.

ODDER 2017/2018								
Nedbørsscenarie	Forskel i udvaskning [kg/ha]				Forskel i marginaludvaskning [merudvaskning i kg N/kg N yderligere tilført]			
	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha
-10	0,2	0,6	0,9	2,8	0,00	0,01	0,01	0,02
-4	0,1	0,4	0,7	1,6	0,00	0,00	0,00	0,01
0	0,1	0,2	0,5	1,1	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,1	0,2	0,3	0,7	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,0	0,0	0,1	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabel 4.2.5. Forskel i udvaskning og marginaludvaskning mellem standard jord og den målte tekstur angivet som procent af udvaskning eller marginaludvaskning på standardjorden. Positive værdier angiver større udvaskning for standard jorden end for jordopsætning med målt tekstur. Forsøget ved Ringsted i sæsonen 2017/2018.

RINGSTED 2017/2018								
Nedbørs-scenarier	Forskel udvaskning (%)				Forskel marginaludvaskning (%)			
	75 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha	75 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha
0	7,7	10,8	6,7	5,8	6,1	5,4	4,9	4,0
0	3,3	3,9	3,2	2,5	0,0	-0,8	-1,3	-2,3
0	2,0	2,4	2,0	1,6	-1,7	-2,4	-2,9	-4,0
0	1,0	1,2	1,0	0,8	-3,0	-3,8	-4,3	-5,3
0	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2

Tabel 4.2.6. Forskel i udvaskning og marginaludvaskning mellem standard jord og den målte tekstur angivet som procent af udvaskning eller marginaludvaskning på standardjorden. Positive værdier angiver større udvaskning for standard jorden end for jordopsætning med målt tekstur. Forsøget ved Odder i sæsonen 2017/2018.

ODDER 2017/2018								
Nedbørs-scenarier	Forskel udvaskning (%)				Forskel marginaludvaskning (%)			
	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha	0 kgN/ha	150 kgN/ha	200 kgN/ha	300 kgN/ha
-10	4,2	4,8	5,3	6,7	5,5	6,9	7,3	8,3
-4	2,4	2,3	3,4	3,2	2,0	2,0	2,0	2,0
0	1,4	1,4	2,0	1,9	1,2	1,2	1,2	1,2
4	0,8	0,8	1,2	1,1	0,7	0,7	0,7	0,7
10	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Forskellen i den beregnede udvaskning mellem jordbeskrivelser er meget lille, også i nedbørsscenariet -10%, hvor forskellen i afstrømning ellers var størst. I forsøget ved Odder var den i alle tilfælde under 1 kg N pr. ha og i Ringsted altid under 3 kg N pr. ha. Denne forskel er stort set ubetydelig. Ved faktisk nedbør er forskellen i -10% scenariet i begge forsøg under 2,5 pct., og ved +10% scenarier er forskellen helt ubetydelig.

For marginaludvaskningen er de absolutte afvigelser imellem standard jord og jordbeskrivelse baseret på målt tekstur på et procentpoint eller mindre. Dog på nær i Odder ved 300 kg N i scenariet -10%. Se tabel 4.2.3 og 4.2.4. De procentmæssige afvigelser for marginaludvaskning er større, end for udvaskningsniveauet, men er også afvigelser fra et væsentligt mindre tal. Jordbeskrivelsens indflydelse på estimatet af marginaludvaskningen i disse forsøg er helt ubetydelige, særligt set i forhold til sikkerheden på et estimat af marginaludvaskningen, på tværs af år, afgrøder og forsøg.

Resultaterne af scenarierne viser, at en bedre jordbeskrivelse end modellens standard beskrivelse, på disse forsøgsarealer kun har begrænset indflydelse på udvaskningen og marginaludvaskningens størrelse. I alt fald med vandbalance modellen EVACROP. Resultaterne viser dog også, at indflydelsen er større i tørre år eller hvis nedbøren er underestimeret. I de analyserede forsøg viser den målt tekstur en højere markkapacitet for jorden end modellens standard jord, og konklusionerne kan formentlig ikke ekstrapoleres ud over denne situation.

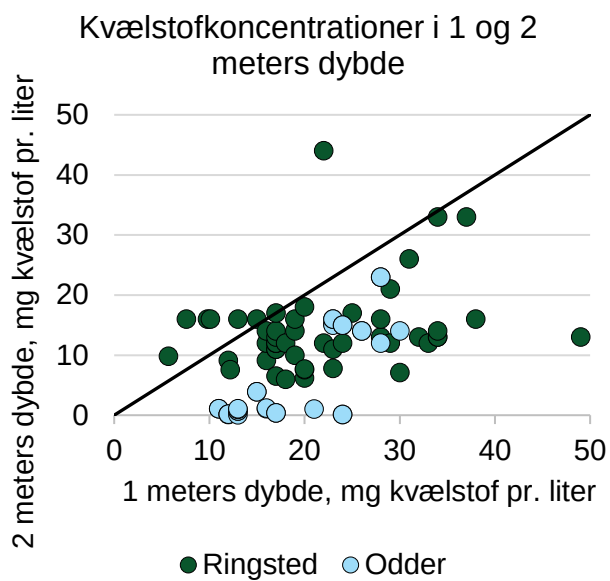
5 EFFEKT AF RODDYBDE PÅ BEREGNET UDVASKNING

Det er efterhånden velkendt at rødderne på mange landbrugsafgrøder på lerjord, herunder f.eks. vinterhvede og vinterraps, kan trænge dybere ned end 1 meters dybde, der normalt defineres som den maksimale dybde for rodzonen (f.eks. Thorup-Kristensen, 2009). Kvælstofudvaskningen er som oftest defineret som den kvælstofmængde der udvaskes med afstrømningen fra rodzonen, og dermed ikke længer kan optages af planterne. Kvælstof kan altså ses som det kvælstof der nedvaskes til en dybde, hvor det ikke længere er tilgængeligt for planterne, og dermed må anses for tabt for landbrugsafgrøderne. Hvis rødderne under 1 meters dybde optager vand og kvælstof vil udvaskningen beregnet ved en rodzone på 1 meter formentlig være overestimeret, fordi denne beregning ikke medtager hele vand og kvælstofoptaget. Roddybden er størst på lerjord, og problemet må derfor antages at være størst på disse jorde.

For at undersøge kvælstofudvaskningen i større dybde end den traditionelt definerede rodzone på 1 meter, er der i en række af SEGES' sugecelleforsøg nedsat sugeceller i 2 meters dybde i udvalgte forsøgsled. Af de i denne rapport undersøgte arealer drejer sig om de to forsøgsarealer ved Ringsted og Odder. I figur 5.2.1. ses kvælstofkoncentrationen på samme dag i henholdsvis 1 og 2 meters dybde i led gødet med 300 kg N pr. ha disse to forsøg. Linjen i figur 5.2.1. angiver 1:1 overensstemmelse mellem kvælstofkoncentrationer i 1 og 2 meters dybde. Det er tydeligt, at kvælstofkoncentrationerne i 2 meters dybde i de fleste tilfælde er lavere end i 1 meters dybde, særligt ved høje kvælstofkoncentrationer i 1 meters dybde. Det viser, at der sker en fjernelse af kvælstof fra 1 til 2 meters dybde, enten ved optag i planten fra rødder dybere end 1 meter eller via denitrifikation, eller, mere sandsynligt, en kombination af disse to processer.

Ligesom kvælstofkoncentrationerne, er vandafstrømningen er også væsentlig forskellig i 1 og 2 meters dybde. Begge forsøgsarealer er dræned i ca. 1 meters dybde, og på dræned arealer vil en del af vandafstrømningen afdræne gennem drænene, mens det resterende vand infiltrere dybere og passere gennem grundvandet på sin vej til vandløbet. Andelen af vand der afdræner via drænen og via grundvand er meget forskellig fra areal til areal, og vil også være forskellig fordelt hen over året. På lerjorde ved man dog, at dræntabet ofte kan ligge i intervallet 50 – 95 pct. af afstrømningen. For at kunne beregne en udvaskning fra den faktiske rodzone (2 meter), vil det være nødvendigt, at kende andelen af afstrømning der går via drænen, og andelen af afstrømning der går gennem grundvand på daglig basis.

På de undersøgte forsøgsarealer er andelen af den samlede afstrømning der går gennem drænen ikke kendt, hverken på dagsbasis eller på årsbasis. En modellering af dette kan heller ikke udføres med modellen EVACROP. Derfor har det ikke været muligt, at modellere en troværdig udvaskning, hvor en roddybde over 1 meter inkluderes som en del af beregningerne. For at modellere en troværdig vandtransport under 1 meters dybde, er det nødvendigt at anvende mere komplicerede modeller, der kan inddrage større roddybde og fordele afstrømningen mellem drænen- og grundvandstransport. For nuværende er det fornødne data-grundlag for at kalibrere sådanne modeller på de relevante forsøgsarealer ikke til rådighed.



Figur 5.2.1. Kvælstofkoncentrationer i en og to meters dybde under samme forsøgsparcel. Forsøgsparcerler kan indgå med flere målinger igennem måleåret.

6 ÆNDRING I BEREGNET UDVASKNING OG MARGINALUDVASKNING VED ANVENDELSE AF FORSKELLIGE TEKNIKKER TIL HÅNDTERING AF HULLER I KONCENTRATIONSDATA

Alle de her analyserede forsøg er udført med fire gentagelser af hvert gødningsniveau. Dvs. at for hvert gødningsniveau er der fire parceller med dette gødningsniveau. Vandprøver og høstudbytter og andre registreringer sker individuelt i hver af disse parceller, og data i forsøgene kan derfor i alt overvejende grad henføres til en specifik parcel. Når udvaskningen beregnes ved hvert gødningsniveau er den derfor gennemsnittet af udvaskningen beregnet for hver af de fire gentagelser. I alle de her analyserede forsøg, er udvaskningen beregnet som beskrevet i afsnit 2.3.

6.1 Beregningsmetoder til håndtering af manglende data

Huller i koncentrationsdataserien håndteres i de analyserede forsøg på følgende måde. Hvis der mangler koncentrationer i en eller flere gentagelser ved første eller sidste måletid lukkes hullerne ved at fastsætte de manglende koncentrationer, som gennemsnittet af koncentrationer for de gentagelser hvor der findes koncentrationsdata. Således findes der altid et fuld koncentrationsdatasæt for første og sidste måletidspunkt, hvilket er nødvendigt for de her beregnede udvaskninger. Som beskrevet i afsnit 2.3. beregnes der for hver dag i forsøgsperioden daglige koncentrationer, ved at foretage en afstrømningsvægtet intrapolation mellem koncentrationsmålinger foretaget med 14 til 20 dages mellemrum. Hvis der i en eller flere gentagelser mangler koncentrationsmålinger på en måledag intrapoleres der blot afstrømningsvægtet frem til den næste dag, hvor koncentrationen er målt for den pågældende gentagelse. Denne teknik benævnes her vertikal imputation.

Alternativet til denne teknik er at udfylde det manglende koncentrationsdata, på samme måde som for første og sidste måledag. Dvs. at sætte de manglende koncentrationer til gennemsnittet af de faktisk målte koncentrationer for dagen. Denne teknik kaldes horizontal imputation. Principperne for de to beregningsmetoder er vist på figur 6.1.1. og figur 6.1.2. Det anvendte beregningscript kan udfylde huller i datasættet ved både vertikal og horizontal imputation.

Figur 6.1.1. Udfyldning af manglende data med vertikal imputation. Dog med imputation på første måledag. Blok angiver at der er tale om samme led i de forskellige gentagelser i et blokket forsøgsdesign. Se tekst for detaljer.

Dag	Blok 1	Blok 2	Blok 3	Blok 4
1	10	11	12	11
2				
3				
4	12	10		
5				
6				
7				
8				
9	6	4		5
....				

Figur 6.1.2. Udfyldning af manglende data med horizontal imputation på alle måledage. Blok angiver at der er tale om samme led i de forskellige gentagelser i et blokket forsøgsdesign. Se tekst for detaljer.

Dag	Blok 1	Blok 2	Blok 3	Blok 4
1	10	11	12	11
2				
3				
4	12	10	11	11
5				
6				
7				
8				
9	6	4	5	5
....				

6.2 Følsomhedstest og resultater

For at teste, om valget af teknik til håndtering af manglende data, har betydende indflydelse på de beregnede udvaskninger og marginaludvaskninger, er udvaskning og marginaludvaskning beregnet med begge teknikker for forsøgene i Guldborg, Ringsted og Odder. Resultaterne fremgår af tabel 6.2.1, 6.2.2 og 6.2.3.

Tabel 6.2.1. Udvaskning og marginaludvaskning for tre forsøgsår i forsøget ved Guldborg når udvaskningen beregnes med henholdsvis vertikal og horizontal imputation. Årstal for forsøgsår er af pladshensyn angivet som f.eks. 15/16. Forskellen i udvaskning og marginaludvaskning er angivet længst til højre.

	Guldborg, 2015 - 2018																	
N tildelt [kg N pr. ha]	N udvasket [kg/ha]						Marginaludvaskning [merudvaskning i kg N/kg N yderligere tilført]						Forskel i N udvasket[kg/ha]			Forskel i marginaludvaskning		
	Vertikal imputation			Horizontal imputation			Vertikal imputation			Horizontal imputation			Vertikal imputation			Horizontal imputation		
	Faktisk nedbør			Faktisk nedbør			Faktisk nedbør			Faktisk nedbør			Faktisk nedbør			Faktisk nedbør		
	15/16	16/17	17/18	15/16	16/17	17/18	15/16	16/17	17/18	15/16	16/17	17/18	15/16	16/17	17/18	15/16	16/17	17/18
0	18	8	32	16	8	30	0,04	0,01	0,05	0,04	0,01	0,06	2	0	2	0,00	0,00	0,00
50	9	5	21	9	5	19	0,05	0,02	0,06	0,05	0,02	0,06	0	0	2	0,00	0,00	0,00
100	13	9	31	11	9	31	0,07	0,02	0,07	0,07	0,02	0,07	2	0	1	0,00	0,00	0,00
150	24	9	29	25	9	29	0,08	0,02	0,08	0,09	0,02	0,08	-1	0	0	0,00	0,00	0,00
200	20	14	51	20	16	52	0,11	0,02	0,09	0,11	0,02	0,09	0	-2	-2	-0,01	0,00	-0,01
250	25	8	33	26	8	34	0,14	0,02	0,10	0,15	0,02	0,11	-1	0	-1	-0,01	0,00	-0,01
300	36	11	43	36	10	41	0,17	0,03	0,11	0,19	0,03	0,12	0	2	2	-0,02	0,00	-0,01

Tabel 6.2.2. Udvaskning og marginaludvaskning for tre forsøgsår i forsøget ved Ringsted i forsøgssæsonen 2017/2018 når udvaskningen beregnes med henholdsvis vertikal og horizontal imputation. Forskellen i udvaskning og marginaludvaskning er angivet længst til højre.

Ringsted 2017/2018						
N tildelt [kg N pr. ha]	N udvasket [kg/ha]		Marginaludvaskning [merudvaskning i kg N/kg N yderligere tilført]		Forskel i N udvasket[kg/ha]	Forskel i marginaludvaskning
	Vertikal imputation	Horizontal imputation	Vertikal imputation	Horizontal imputation	Vertikal imputation	Horizontal imputation
	Faktisk nedbør	Faktisk nedbør	Faktisk nedbør	Faktisk nedbør	Faktisk nedbør	Faktisk nedbør
75	35	35	0,10	0,13	0	-0,02
115	45	44	0,12	0,14	2	-0,03
150	34	34	0,13	0,16	0	-0,03
200	60	60	0,15	0,19	0	-0,04
250	57	64	0,18	0,23	-7	-0,05
300	71	72	0,21	0,27	-1	-0,06

Tabel 6.2.3. Udvaskning og marginaludvaskning for tre forsøgsår i forsøget ved Horsens i forsøgssæsonen 2017/2018 når udvaskningen beregnes med henholdsvis vertikal og horizontal imputation. Forskellen i udvaskning og marginaludvaskning er angivet længst til højre.

Horsens 2017/2018						
N intake [kg/ha]	N udvasket [kg/ha]		Marginaludvaskning [merudvaskning i kg N/kg N yderligere tilført]		Forskel i N udvasket[kg/ha]	Forskel i marginaludvaskning
	Vertikal imputation	Horizontal imputation	Vertikal imputation	Horizontal imputation	Vertikal imputation	Horizontal imputation
	Faktisk nedbør	Faktisk nedbør	Faktisk nedbør	Faktisk nedbør	Faktisk nedbør	Faktisk nedbør
0	7	6	0,05	0,05	0	0,00
50	11	11	0,07	0,07	0	0,00
100	17	17	0,10	0,10	0	0,00
150	18	19	0,13	0,13	-1	0,00
200	23	22	0,18	0,19	1	0,00
250	47	47	0,25	0,26	0	0,00
300	56	56	0,35	0,36	0	0,00

Resultaterne viser, at det i langt de fleste tilfælde ikke er afgørende om der anvendes vertikal eller horisontal imputation. For de fleste af de undersøgte forsøg og forsøgssæsoner er forskellen i udvaskning med de to beregningmetoder mindre end 3 kg N pr. ha. Kun i forsøget ved Ringsted er der ved forsøgsledet med tilførsel af 250 kg N pr. ha en større forskel i den beregnede udvaskning, nemlig en forskel på 7 kg N pr. ha. I forsøgene ved Guldborg og Odder påvirkes marginaludvaskning kun lidt eller slet ikke af valget af beregningsmetode. I forsøget ved Ringsted, er der dog en betydelig forskel, idet der med horisontal imputation beregnes en langt større marginaludvaskning end når der anvendes vertikal imputation. Det skyldes en stor mængde manglende data i fjerde gentagelse i behandlingen gødet med 250 kg N pr. ha. Resultaterne viser, at det i langt de fleste tilfælde ikke er afgørende, hvilken beregningsmetode der anvendes i forsøgene, men at resultaterne kan påvirkes af valget.

Resultaterne giver ikke anledning til at skifte fra at anvende vertikal imputation til horisontal imputation ved beregning af udvaskning og marginaludvaskning. Det skyldes, at koncentrationerne imellem forskellige gentagelser af samme forsøgsled kan variere betydeligt. Derfor er en gennemsnitskoncentration af forskellige gentagelser af samme led, ikke nødvendigvis en god approksimation til den faktiske koncentration på måledagen. Vertikal imputation henter ikke information fra andre gentagelser af samme led, og vurderes derfor at give en bedre approksimation af den faktiske koncentration i forsøgsbehandlingen på dagen for det manglende koncentrationsdata.

7 KONKLUSION

De gennemførte følsomhedsanalyser viser, at afstrømningen vil blive påvirket af bias i nedbørsdata. Afstrømningen falder, hvis nedbøren underestimeres og tidspunktet for begyndelsen af afstrømningssæsonen bliver senere på lerjord. Øget nedbør medfører højere afstrømning, men tidspunktet for afstrømningssæsonens begyndelse er ikke særlig følsomt for, om nedbøren er overestimeret.

Analyserne viser også, at hvis afstrømningen undervurderes, enten på grund af en bias i nedbørsdata, eller på grund af en bias i modellen, vil både den beregnede udvaskning og marginaludvaskningen blive mindre. Tilsvarende vil den beregnede udvaskning og marginaludvaskning stige ved bias mod øget nedbør eller ved en bias i modellen der medfører øget beregnet afstrømning. Stigningen i udvaskningen og marginaludvaskning er procentvis i samme størrelsesorden. Ændringen i udvaskningen og marginaludvaskningen er i nogle forsøg betydelig i nogle af de gennemregnede scenarier, hvilket understreget, at der er behov for gode nedbørsdata, og gode modeller til beregning af afstrømningen. Det er dog også vigtigt, at de rette data er til rådighed for de enkelte modeller.

Det har ikke været muligt at roddybdens effekt på afstrømningen og dermed på udvaskningen og marginaludvaskning. Det skyldes, at der ikke har været data til rådighed, der har kunne kvantificere drænastrømningens andel af den samlede afstrømning.

Der er i beregningerne anvendt en beregningmetode hvor daglige koncentrationer beregnes ved at intrapolere afstrømningsvægte mellem dage med målte kvælstofkoncentrationer. Ved manglende data i en gentagelse på en måledag intrapoleres til næste måledag (vertikal imputation). Huludfyldning af manglende data med gennemsnittet for øvrige parceller på måledagen (horizontal imputation), giver stort set samme resultater, men det anbefales af fortsætte med vertikal imputation, da denne teknik principielt bør give et bedre estimat for kvælstofkoncentrationerne på de enkelte dage.

8 LITTERATUR

Allerup, P., Madsen, H., Vejen, F. (1998). [Standardværdiger \(1961-90\) af nedbørskorrektioner](#). Dansk meteorologisk institut, Teknisk rapport 98-10.

Hansen, S., Jensen, H.E, Nielsen, N.E. and Svendsen, H. (1991). Simulation of Nitrogen Dynamics and Biomass Production in Winter Wheat using the Danish Simulation model Daisy. In: Fertilizer Research 27, pp. 245-259.

Lohmann, K.V (2017) Vejledning i prøveudtagning fra sugecellearealer. [Kvalitet i landsforsøgene](#). IN 07-014. Teknologisk Institut.

Madsen, H.B. & Holst, K. (1987). Potentielle marginaljorder - Landsdækkende kortlægning af jordbundsfysiske og kemiske forhold, der har indflydelse på jordens dyrkning. Marginaljorder og miljøinteresser. Miljøministeriets projektundersøgelser 1986, Teknikerrapport nr. 1.

Olesen, J.E. & Heidmann, T. (1990). EVACROP. Et program til beregning af aktuel fordampning og afstrømning fra rodzonen. Version 1.00. Arbejdsnotat nr. 9 fra Afd. for Jordbrugsmeteorologi, Statens Planteavlsvforsøg.

Piil, K. & Kristensen, R.K. (2016), [Etablering af forsøgsarealer med sugeceller](#). SEGES.

Thorup-Kristensen, K., Cortasa, M.S., Loges, R. (2009). Winter wheat roots grow twice as deep as spring wheat roots, is this important for N uptake and N leaching losses? Plant Soil (2009) 322:101–114

STØTTET AF
promilleafgiftsfonden
for landbrug

SEGES
Landbrug & Fødevarer F.m.b.A.
Agro Food Park 15
DK 8200 Aarhus N

+45 8740 5000
info@seges.dk
seges.dk

