

# Kvælstofudvaskning modelleret og bestemt ved sugeceller i SEGES' forsøg

Forfatter(e): Henrik Vestergaard Poulsen<sup>a</sup> og Leif Knudsen<sup>a</sup>

<sup>a</sup> SEGES

STØTTET AF

**Promille**afgiftsfonden for landbrug

## Sammendrag

Der ses en stærk korrelation mellem udvaskninger bestemt ved sugecelle-metoden i 19 landsforsøg udført i perioden 2015-2019 og modelberegnete udvaskninger med NLES4 og NLES5 for samme forsøg;  $R^2$ -værdier over 0,5 og 0,4 for henholdsvis NLES4 og NLES5. I det aktuelle datasæt beregner NLES-modellerne konsekvent en højere udvaskning, end bestemt ved sugecellemetoden, ved de laveste niveauer af udvaskning, sugecelle-bestemt udvaskning < 25 kg N/ha. Årsagen til denne forskel kan ikke konkluderes her, men det peger på, at de relativt få observationer af de laveste udvaskninger her i undersøgelsen er relativt lave i forhold til observationer for sammenlignelige forhold i NLES-grundlaget. Ved højere niveauer af udvaskning, 50-80 kg N/ha, fordeler de sugecellebestemte og NLES-beregnete udvaskninger sig mere ligeligt omkring 1:1 sammenhængen, hvilket kan argumenteres at være mere relevant i en praktisk anvendelse af modellerne. Udvasning beregnet ved balance-modellen viste ingen korrelation med de sugecelle-bestemte udvaskninger. Analysen er foretaget på de samlede resultater fra SEGES' sugecelleforsøg, 2015-2029, med stigende kvælstoftilførsel. Analysen viser, at usikkerheden ved beregning af udvaskningen for en given mark i et givet år med N-les-modellerne er stor. Derfor bør modellerne kun bruges for en gruppe af marker over flere år.

## Introduktion

I forvaltningen af landbrugets areal- og kvælstofanvendelse er det ofte vigtigt at kunne bestemme kvælstofudvaskningen fra en gruppe marker eller et opland. Konkret kan der f.eks. være tale om, at man ønsker at kende kvælstofudvaskningen i oplandet til et grundvandsmagasin eller i et opland, der afvander til en fjord. Kvælstofudvaskningen kan måles, men dette er meget dyrt, hvis man skal dække et større opland eller blot en bedrift. Derfor vil man ofte beregne kvælstofudvaskningen med en model ud fra oplysninger om markens dyrkning og klimadata. Denne beregnede kvælstofudvaskning vil så indgå, som en del af det forvaltningsgrundlag, som landmanden møder i den generelle landbrugsregulering eller i reguleringen af hans konkrete bedrift. Eksempelvis møder landmanden konsekvenserne af udvaskningsberegninger i forbindelse med den målrettede regulering, idet retentionen i praksis er bestemt ud fra den kvælstofudledning, der er målt i danske vandløb og en modelberegnet kvælstofudvaskning i et givent opland. En landmand kan også helt konkret opleve, at en modelleret kvælstofudvaskning anvendes som forvaltningsgrundlag til at pålægge specifikke dyrkningsrestriktioner på dele af hans bedrift, som en del af en grundvandsindsatsplan. Derfor er det naturligvis meget vigtigt, at de modellerede udvaskninger er så korrekte som muligt.

Formålet med denne rapport er at undersøge, hvor godt forskellige udvaskningsmodeller kan modellere kvælstofudvaskningen på forskellige marker. Dette undersøges ved at beregne kvælstofudvaskningen med tre forskellige udvaskningsmodeller og dernæst undersøge, hvor god overensstemmelse der er mellem de modellerede kvælstofudvaskninger og kvælstofudvaskning beregnet ved brug af sugecellemetoden – det tætteste man kommer en 'målt' udvaskning.

De tre udvaskningsmodeller, som de i forsøg bestemte kvælstofudvaskninger sammenholdes med, er kvælstofbalancemodellen og udvaskningsmodellerne NLES4 og NLES5.

## Materialer og metoder

### Udvaskning bestemt ved sugecelle-metoden

En egentlig måling af kvælstofudvaskningen fra rodzonen er naturligvis vanskelig, da selve processen foregår under jordoverfladen. Det er generelt accepteret, at metoden, som kommer nærmest en måling, er anvendelse af sugeceller – en nedgravet lukket keramisk kop som via slangeforbindelse til overfladen giver mulighed for at prøvetage det jordvand, som afdræner fra rodzonen. Ved at multiplicere jordvandskoncentrationen af nitrat-N og med en modelberegnet vandafstrømning gennem jorden fås kvælstofudvaskningen.

Jordvand udtages ved hjælp af sugeceller placeret i en meters dybde henover over afdræningsperioden og koncentrationen af nitrat-kvælstof bestemmes. I de forsøg, der er anvendt her, er der udtaget jordvandsprøver hver 14-20 dage i den periode, hvor der er vandafstrømning gennem jorden. Afdræningen fra rodzonen simuleres over året ved hjælp af vandbalancemodellen EVACROP, ud fra nedbør, temperatur, solindstråling og afgrøden på arealet.

EVACROP modellen beregner en daglig afstrømning, mens der kun udtages jordvandsprøver hver 14. til hver 20. dag. Derfor etableres et datasæt med daglige nitratkoncentrationer i jordvandet. Dette sker ved at interpolere den afstrømningsvægtede koncentration mellem hver målt jordvandskoncentration. Det vil sige, at ændringen i koncentration fra en dag til den næste stiger eller falder med samme procentandel af den samlede stigning mellem to jordvandprøver, som den procentandel af den samlede nedbør mellem de to dage, der faldt på den dag, for hvilken nitratkoncentrationen skal beregnes. Ud fra de daglige vandafstrømninger og daglige nitratkoncentrationer beregnes daglige

kvælstofudvaskninger, og disse summeres til årlige værdier. Perioden, hvor kvælstofudvaskningen opgøres, er altid 1. april – 31. marts i det efterfølgende år.

I det efterfølgende refereres udvaskninger bestemt ved den beskrevne metode som 'sugecelle-bestemt udvaskning'.

### Udvaskning beregnet ved kvælstofbalance-model

Den samlede tilførte kvælstofmængde beregnes som en sum af tilført kvælstof i gødning, tilført kvælstof ved deposition fra atmosfæren og biologisk fixering af kvælstof i jorden. Derfra trækkes de summerede fraførende processer; denitrifikation, NH<sub>3</sub>-fordampning og høstet og bortført afgrøde. Den eventuelt overskydende mængde kvælstof antages udvasket. Der bør i de tilførende/fraførende processer også indregnes ændringer i kvælstofpuljen i jorden. Dette er ikke gjort i denne analyse.

### Udvaskning beregnet ved NLES4-model

Ud fra følgende oplysninger beregnes udvaskningen ved modellen NLES4 (Kristensen et al. 2008):

Plantedække i udvasknings- og det foregående år

Tilstedeværelse af græs i året forud for forfrugten/det foregående år

Jordens indhold af kulstof, ler og humus, samt C/N-forhold i 0-25 cm dybde

Det aktuelle års tilførsel af kvælstofgødning (organisk og uorganisk), samt niveauet af kvælstoftilførsel de foregående fem år

Afstrømningen det aktuelle og det forudgående år

### Udvaskning beregnet ved NLES5-model

Ud fra følgende oplysninger beregnes udvaskningen ved modellen NLES5 (Børgesen et al. 2019):

Plantedække i udvasknings- og det foregående år

Tilstedeværelse af græs i året forud for forfrugten/det foregående år

Jordens indhold af ler og total-N i 0-25 cm dybde

Det aktuelle og to forudgående års tilførsel af kvælstofgødning (organisk og uorganisk)

Afstrømningen det aktuelle og det forudgående år

### Datasæt

Datasættet anvendt her i analysen bygger på en række forsøg udført af SEGES under Landsforsøgene i perioden fra 2015-2019. Forsøgene er udført med stigende kvælstoftilførsel med 4 – 12 led på arealer anlagt med sugeceller. Registreringerne i forsøgene inkluderer: Udbytte, protein i udbytte, jordteksturanalyser og jordvandkoncentration af N-min. I Tabel 1 ses en oversigt over forsøgene og tilgængelige bestemmelser af kvælstofudvaskning pr. metode.

Tabel 1. Oversigt over data i analysen.

Lokalitet	JB	Afgørde	Efterårsdække	År	Led	Udvaskning bestemt, antal led			
						Sugeceller	Markbalance	NLES4	NLES5
13	4	Vinterrug	Vinterrug	2017	4	4	4	4	4
		Vinterrug	Bar jord	2018	4	4	4	4	4
		Vårbyg	Vinterraps	2019	4	4	4	4	4
14	6	Vinterbyg	Vinterraps	2017	6	6	0	6	6
		Vinterraps	Vinterhvede	2018	6	6	0	6	6
		Vinterhvede	Vinterhvede	2019	6	6	6	6	6
25	3	Majs	Bar jord	2016	8	8	0	8	8

27	1	Vinterhvede	Triticale	2016	7	7	7	7	7
		Triticale	Vinterrug	2017	7	7	7	7	7
		Vinterrug	Vinterrug	2018	7	7	7	7	7
		Vinterrug	Vinterrug	2019	7	7	7	7	7
28	7	Roer	Roer/bar jord	2016	7	7	0	7	7
		Vårbyg	Vinterhvede	2017	7	7	7	7	7
		Vinterhvede	Bar jord	2018	7	7	7	7	7
		Roer	Bar jord	2019	7	7	7	7	7
96	6	Vinterhvede	Bar jord	2017	12	7	7	7	7
		Vinterhvede	Vinterhvede	2019	12	7	7	7	7
Ialt					118	108	81	108	108

## Resultater og diskussion

I visningen af data præsenteres udvaskningen beregnet som den samlede årlige udvaskning, kg N/ha x år.

### Udvaskning bestemt ved sugecellemetode vs. beregning ved NLES4 og NLES5

Ved beregning af udvaskning ved NLES4-modellen skal det angives, om der regnes for en mark på en kommerciel bedrift eller en mark beliggende som en del af en forsøgsstation (experimental station), da det under udvikling af modellen har vist sig, at udvaskningen fra forsøgsstationer generelt er lavere end fra direkte sammenlignelige arealer på almindelige bedrifter. I NLES4 dokumentationen beskrives det:

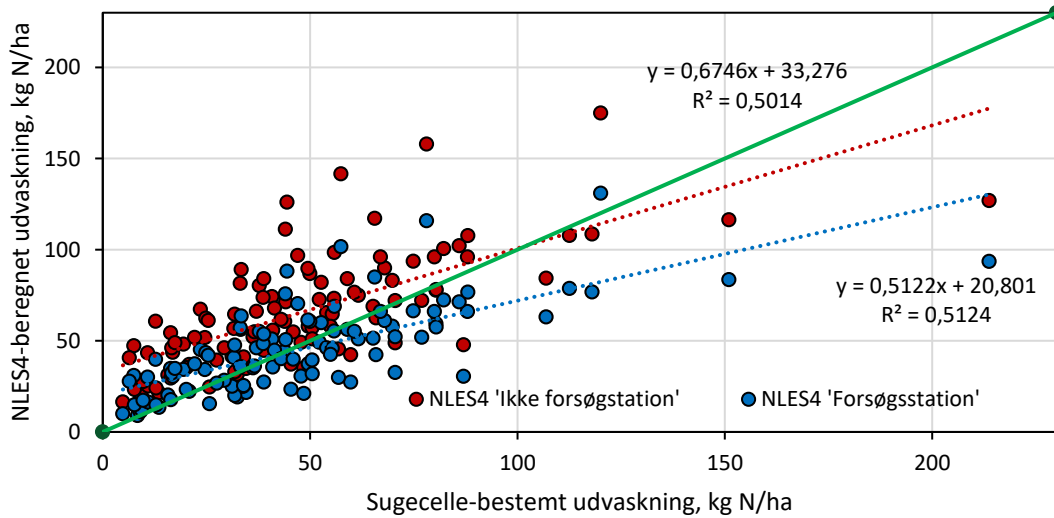
“Experimental station: The effect of the field being located on an experimental station is estimated as being either larger or smaller than a field on a commercial farm. The estimate shows that – all other things being equal – the leaching from a field on an experimental station was smaller than for a similar field on a commercial farm.”

Gennemsnitligt lå NLES4 beregnet kvælstofudvaskning for "Forsøgsstation" 20 kg N/ha lavere end ved "Ikke forsøgsstation".

Det ses i Figur 1, at de NLES4-beregnete udvaskninger generelt viser en fin sammenhæng med de sugecelle-bestemte. Overordnet er de NLES4-beregnete udvaskninger højere end de sugecelle-bestemte udvaskninger ved lave udvaskninger og omvendt ved høje udvaskninger. Det vil sige, at NLES4-modellen tilsyneladende 'overvurderer' udvaskningen en smule ved lave udvaskninger og undervurderer den en smule ved høje udvaskninger sammenlignet med de sugecelle-bestemte udvaskninger - overordnet set i forhold til hele det aktuelle datasæt. På baggrund af de indtegnede regressionslinjer sker 'skiftet' mellem over- og undervurdering ved ca. 50 og 100 kg N/ha sugecelle-bestemt udvaskning for henholdsvis beregningen som 'Forsøgsstation' og 'Ikke forsøgsstation'.

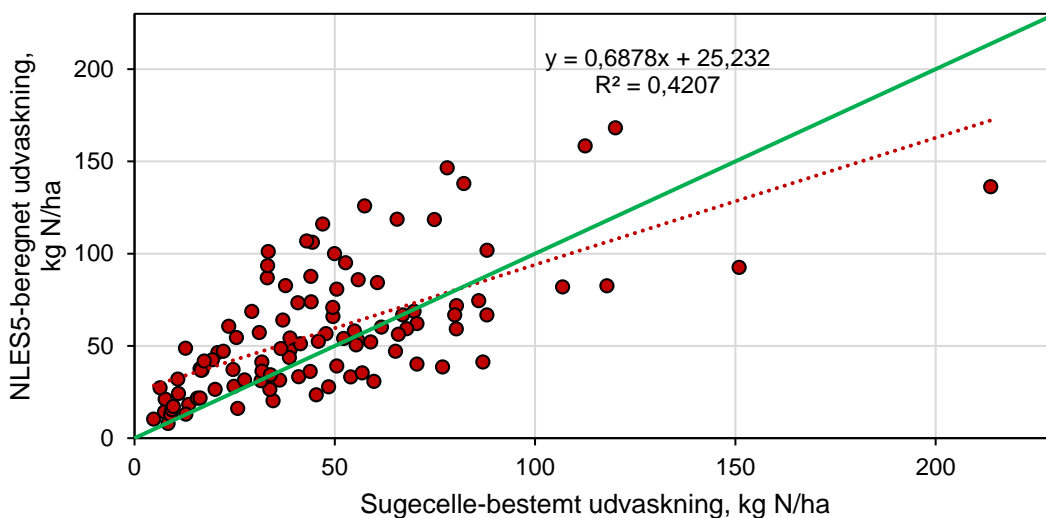
Det skal også bemærkes, at indenfor det interval af udvaskning, hvor hovedparten af datapunkterne ligger, ca. 5-80 kg N/ha, er der bedst overensstemmelse mellem de sugecelle-bestemte udvaskninger og de NLES4-beregnete udvaskninger som 'Forsøgsstation'. Datasættet her i undersøgelsen må i

denne sammenhæng dog nok falde i kategorien 'Ikke forsøgsstation', da forsøgene er anlagt i praktisk dyrkede marker.



Figur 1. Beregnet kvælstofudvaskning ved NLES4 plottet mod sugecelle-bestemt udvaskning for alle samhørende værdier i datasættet. De plottede udvaskninger beregnet ved NLES4 er både beregnet som værende fra en forsøgsstation (●) og ikke værende fra en forsøgsstation (●). Der er indtegnet lineære regressionslinjer for begge serier. Den grønne linje repræsenterer den teoretiske 1:1 sammenhæng mellem de to metoder til bestemmelse af udvaskningen. Standardafvigelsen på differencen mellem udvaskningerne bestemt ved de to metoder er 23 og 24 kg N/ha ved henholdsvis 'Forsøgsstation' og 'Ikke forsøgsstation'.

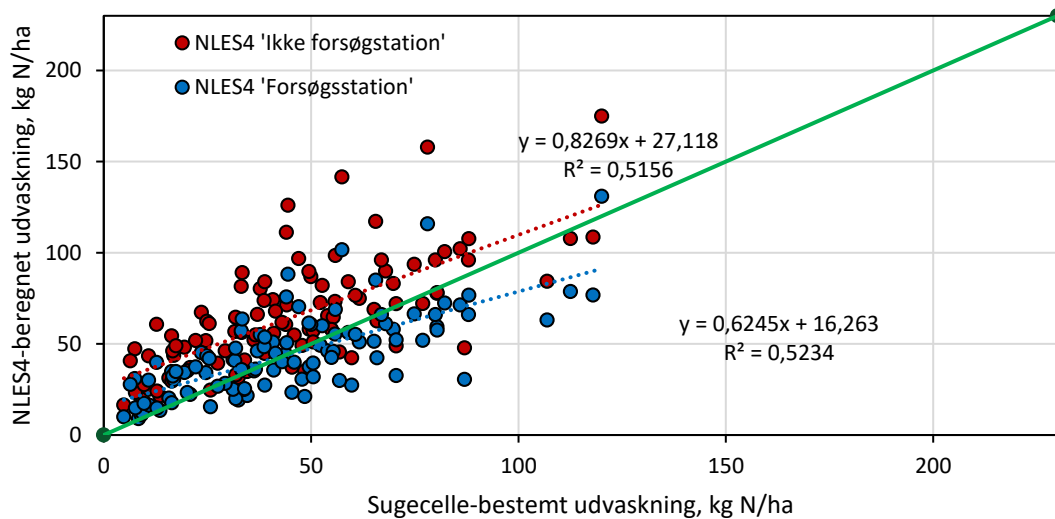
I Figur 2 kan man se, at de NLES5-beregneede udvaskninger, som observeret ovenfor for NLES4, generelt er højere end de sugecelle-bestemte udvaskninger ved et lavt udvaskningsniveau og omvendt ved et højt niveau – dvs. at NLES5-modellen tilsyneladende, set over hele det aktuelle datasæt, ligeledes overvurderer udvaskningen ved lave udvaskninger og undervurderer den ved høje udvaskninger. Overordnet set må sammenhængen mellem de to metoder siges at være god.



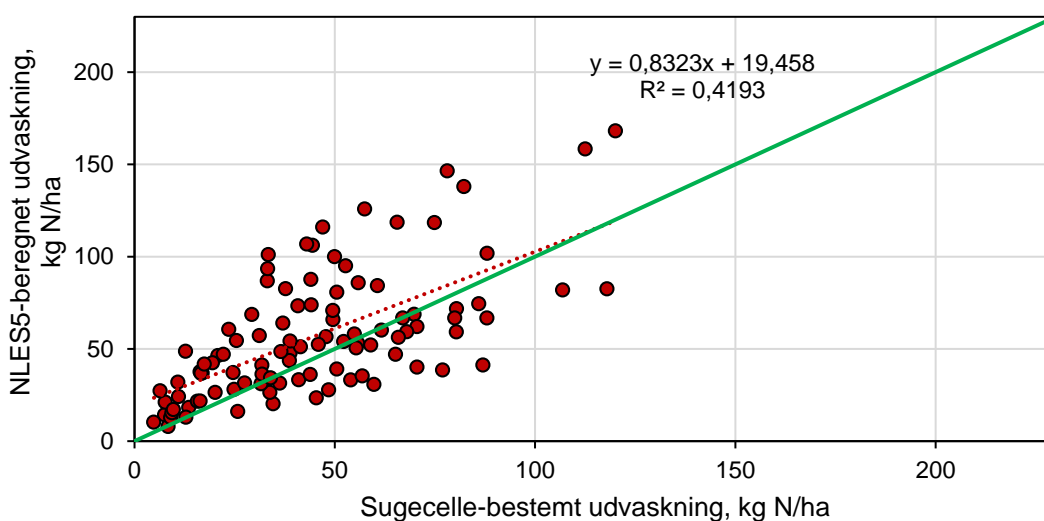
Figur 2. Kvælstofudvaskning beregnet ved NLES5 plottet mod sugecelle-bestemt udvaskning for alle samhørende værdier i datasættet. Der er indtegnet en lineær regressionslinje for dataserien. Den grønne linje repræsenterer den teoretiske 1:1 sammenhæng mellem de to metoder til bestemmelse af

udvaskningen. Standardafvigelsen på differencen mellem udvaskningerne bestemt ved de to metoder er 28 kg N/ha.

Det ses i figurene ovenfor, at der er to datapunkter med meget høje sugecelle-bestemte udvaskninger på 151 og 214 kg N/ha. Det er i nogen grad forventeligt, at en model ikke vil ramme sådanne 'ekstreme' værdier. Udelades disse to målepunkter stiger hældningen på de gennemsnitlige regressionslinjer, der, især for NLES5 og NLES4 'Ikke forsøgsstation' som funktion af sugecelle-bestemt udvaskning, nærmer sig den teoretiske 1:1 sammenhæng. Se Figur 3 og 4.



Figur 3. Beregnet kvælstofudvaskning ved NLES4 plottet mod sugecelle-bestemt udvaskning for alle samhørende værdier i datasættet, undtaget to højeste sugecelle-bestemte udvaskninger. De plottede udvaskninger beregnet ved NLES4 er både beregnet som værende fra en forsøgsstation (●) og ikke værende fra en forsøgsstation (●). Der er indtegnet lineære regressionslinjer for begge serier. Den grønne linje repræsenterer den teoretiske 1:1 sammenhæng mellem de to metoder til bestemmelse af udvaskningen. Standardafvigelsen på differencen mellem udvaskningerne bestemt ved de to metoder er 18 og 21 kg N/ha ved henholdsvis 'Forsøgsstation' og 'Ikke forsøgsstation'.



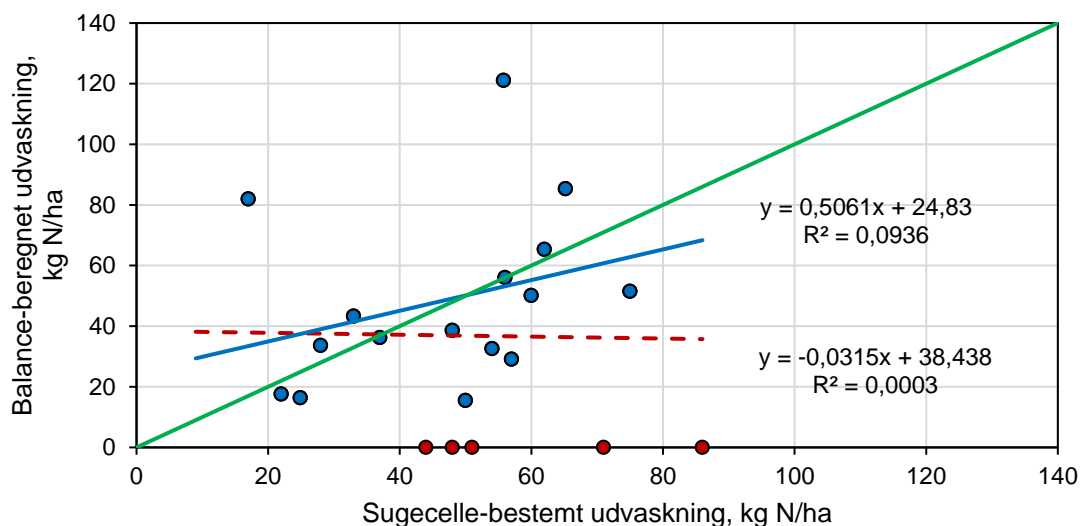
Figur 4. Beregnet kvælstofudvaskning ved NLES5 plottet mod sugecelle-beregnet udvaskning for alle samhørende værdier i datasættet, undtaget to højeste sugecelle-bestemte udvaskninger. Der er indtegnet en lineær regressionslinje for dataserien. Den grønne linje repræsenterer den teoretisk

forventede 1:1 sammenhæng mellem de to metoder til bestemmelse af udvaskningen. Standardafvigelsen på differencen mellem udvaskningerne bestemt ved de to metoder er 26 kg N/ha.

### Udvaskning bestemt ved sugeceller vs. beregning ved NLES4, NLES5 og kvælstofbalancemodeller nær N-norm-tilførsel

I den praktiske anvendelse af udvaskningsmodellerne kan det argumenteres, at beregninger af udvaskning omkring eller nær normen for kvælstoftilførsel er mest relevante. Eksempelvis antages det ofte, at kvælstofbalancemodellen i tilfælde uden en kvælstoftilførsel vil give en udvaskning på nul, hvilket ikke stemmer overens med den generelt observerede tilstedeværelse af en 'basis-udvaskning' – selv fra arealer uden kvælstoftilførsel. Ved kun at anvende et del-datasæt af observationer nær normtilførsel fås et relativt begrænset datasæt sammenlignet med det samlede datasæt, hvilket også har betydning for tolkningen af sammenhængen.

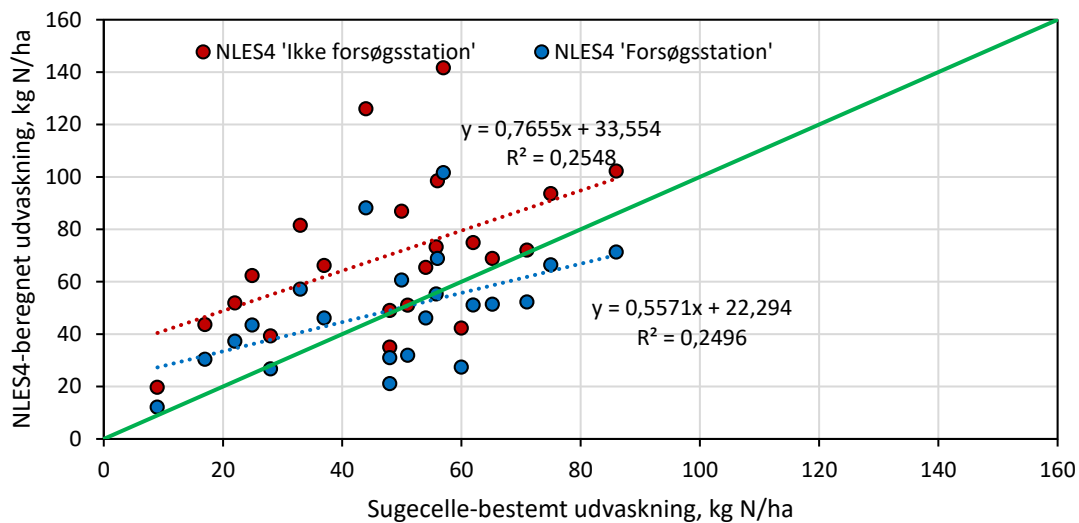
I Figur 5 er vist den balancemodell-beregnete udvaskning plottet mod den tilsvarende sugecelle-bestemte udvaskning for de observationer fra hvert forsøg, hvert år, hvor kvælstoftilførslen ligger nærmest normtilførslen. Negative kvælstofbalancer er afbilledet som en udvaskning på 0 kg N/ha. Den røde regressionslinje repræsenterer alle datapunkterne, mens den blå ikke inkluderer de røde punkter, hvor udvaskningen ved balancemetoden er sat til 0 kg N/ha. Det ses først og fremmest, at der, uanset dataserie, ikke er nogen egentlig sammenhæng mellem sugecelle-bestemte og balance-model beregnede udvaskninger. For enkelte punkter er en meget stor uoverensstemmelse mellem de to metoder. En sandsynligvis medvirkende årsag til, at balancemodellen i mange tilfælde ikke vil korrelere godt med de øvrige modeller, er, at der ikke tages hensyn til afstrømningens størrelse. Balance-beregningen fortæller således om den potentielle kvælstofudvaskning, men tager ikke højde for om potentialet eventuelt ikke bliver udløst af lav afstrømning. Anvendelse af balanceregnskaber til at estimere udvaskningen vil være mere relevant for et sædskifte over flere år.



Figur 5. Beregnet kvælstofudvaskning ved balancemodell plottet mod sugecelle-bestemt udvaskning for de observationer i hvert forsøg pr år, hvor den tilførte kvælstofmængde er nærmest gældende kvælstofnorm. Negative udvaskninger beregnet ved balancemodellen er plottet som en udvaskning på nul (•). Der indtegnet lineære regressionslinjer for alle datapunkter (rød stilet) og alle datapunkter undtaget balance-beregnet udvaskning på 0 kg N/ha (blå linje). Den grønne linje repræsenterer den teoretiske 1:1 sammenhæng mellem de to metoder til bestemmelse af udvaskningen.

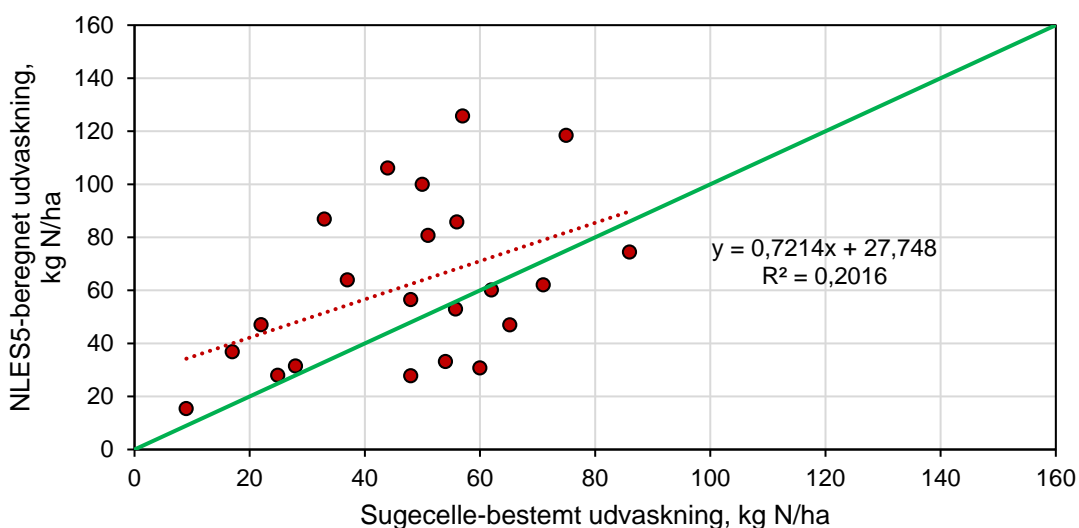
I Figur 6 er det for NLES4-beregnete udvaskninger, svarende til Figur 5, kun observationerne med kvælstoftilførsel nær normtilførsel, som er vist plottet mod de sugecelle-bestemte udvaskninger. Det

ses, at sammenhængen i denne del af datasættet mellem sugecelle-bestemte og NLES4-beregnete værdier er ikke væsentligt bedre end for det samlede datasæt og meget lig sammenhængen vist i Figur 3, hvor de højeste sugecelle-bestemte udvaskninger er udeladt.



Figur 6. Beregnet kvælstofudvaskning ved NLES4 plottet mod sugecelle-bestemt kvælstofudvaskning for samhörørende værdier i datasættet, hvor kvælstoftilførslen var nærmest norm-tilførsel. De plottede udvaskninger beregnet ved NLES4 er både beregnet som værende fra en forsøgsstation (●) og ikke værende fra en forsøgsstation (●). Der er indtegnet lineære regressionslinjer for begge serier. Den grønne linje repræsenterer den teoretisk forventede 1:1 sammenhæng mellem de to metoder til bestemmelse af udvaskningen. Standardafvigelsen på differencen mellem udvaskningerne bestemt ved de to metoder er 20 og 25 kg N/ha ved henholdsvis 'Forsøgsstation' og 'Ikke forsøgsstation'.

I Figur 7 er det, tilsvarende Figur 5 og 6, NLES5-beregnete udvaskninger for observationer med kvælstoftilførsel nær normtilførsel, som er vist plottet mod de sugecelle-bestemte udvaskninger. Det ses, at der heller ikke her er nogen væsentligt bedre sammenhæng mellem de NLES5-beregnete og de sugecelle-bestemte udvaskninger i denne udvalgte del af datasættet, sammenlignet med eks. Figur 4.



Figur 7. Beregnet kvælstofudvaskning ved NLES5 plottet mod sugecelle-bestemt udvaskning for samhörørende værdier i datasættet, hvor kvælstoftilførslen var nærmest norm-tilførsel. Der er indtegnet en



lineær regressionslinje for serien. Den grønne linje repræsenterer den teoretiske 1:1 sammenhæng mellem de to metoder til bestemmelse af udvaskningen. Standardafvigelsen på differencen mellem udvaskningerne bestemt ved de to metoder er 28 kg N/ha.

## Konklusion

NLES-modellerne er udviklet på baggrund af stort datagrundlag indeholdende udvaskningsberegninger baseret på såvel sugecellemetoden i forsøg og praksis, som på målinger af kvælstoftransport i drænvand. En del af de sugecelle-bestemte udvaskninger i datasættet i denne undersøgelse indgår også i datasættet bag NLES5. Det er bl.a. på den baggrund forventeligt, at der her ses en stærk korrelation mellem udvaskninger bestemt ved sugecelle-metoden i SEGES forsøg og NLES4 og NLES5 beregnede udvaskninger;  $R^2$ -værdier over 0,5 og 0,4 for henholdsvis NLES4 og NLES5.

I det aktuelle datasæt beregner NLES-modellerne konsekvent en højere udvaskning end bestemt ved sugecellemetoden ved de laveste niveauer af udvaskning, sugecelle-bestemt udvaskning < 25 kg N/ha. Den overvejende del af disse datapunkter repræsenterer forsøgsbehandlinger uden eller med meget lav tilførsel af kvælstof, samt et enkelt forsøg med sukkerroer på lerbord. Årsagen til denne forskel kan ikke konkluderes her, men det peger på, at de relativt få observationer af de laveste udvaskninger her i undersøgelsen ved tilfælde er 'unormalt' lave i forhold til sammenlignelige observationer i NLES-grundlaget. NLES-grundlaget kan på samme måde indenfor bestemte områder, eks. afgrødefølger, efterårsdække, ingen N-tilførsel, være spinkelt og derfor mere udsat for at være 'skævt' pga. få/enkelte observationer. De fleste data i NLES-grundlaget repræsenterer kvælstoftilførsler i normalområdet, og derfor er det ikke overraskende, at modellen ikke rammer meget lave og meget høje kvælstoftilførsler godt.

Ved højere niveauer af udvaskning, 50-80 kg N/ha, fordeler de sugecellebestemte og model-beregnete udvaskninger sig mere ligeligt omkring 1:1 sammenhængen, hvilket kan argumenteres at være mere relevant i en praktisk anvendelse af modellerne.

Datasættet illustrerer desuden, at de observerede 'ekstreme' høje udvaskningshændelser bestemt ved sugecelle-metoden naturligvis ikke kan afspejles i modeller, som bygger på gennemsnit i et stort datagrundlag.

## Referencer

- [1] Børgesen, C.D., Sørensen, P., Blicher-Mathiesen, G., Kristensen, K.M., Pullens, J.W.M., Zhao, J., 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. Aarhus University.
- [2] Kristensen, K.M., Waage-Petersen, J., Børgesen, C.D., Vinther, F.P., Grant R., Blicher-Mathiesen, G. 2008. Reestimation and further development in the model N-LES. NLES3 to NLES4. DJF Plant Science report no. 139. Aarhus University.