

# Slætprognose med effekt af tørke

Institut for Agroøkologi, Århus Universitet

Mathias N. Andersen – Jørgen Eriksen – Karen Søgaard  
19-12-2018



Den Europæiske Landbrugsfond for Udvikling af Landdistrikterne:  
Danmark og Europa investerer i landdistrikterne

 **Miljø- og Fødevareministeriet**  
Landbrugsstyrelsen

  
Den Europæiske Landbrugsfond  
for Udvikling af Landdistrikterne

**LDP 2020**  


Se EU-Kommissionen, Den Europæiske Landbrugsfond for Udvikling af Landdistrikterne

## Sammendrag

Græsvækst påvirkes af mange forhold og derfor er det svært at bestemme det optimale tidspunkt for slæt. Slætprognose er et modelværktøj, som baseret på klimadata, løbende estimerer væksten i kløvergræs igennem 1., 2. og 3. slætperiode. Selvom klimaet i høj grad bestemmer den potentielle produktion, er der imidlertid mange andre faktorer, der spiller ind og kan begrænse væksten. Det ville derfor kunne øge præcisionen og anvendeligheden af Slætprognose at inddrage disse forhold, i blandt hvilke tørke er en de mest betydningsfulde. I denne rapport har vi undersøgt, hvordan prognosen kan forbedres ved at inddrage information om markens vandbalance. Sådanne informationer kan hentes fra modellen Vandregnskab, der blandt andet estimerer fordampning fra afgrøden og jordens vandindhold igennem sæsonen.

Analysen tager udgangspunkt i data fra tidligere vandingsforsøg i hvidkløvergræs og rent græs udført under både markforhold og mere kontrollerede betingelser. Med udgangspunkt i udbyttet i de fuldt vandede behandlinger, blev det optimale tidspunkt for start af vækst i Slætprognose undersøgt. Vi fandt, at opstart når Afgræsningsprognose havde en værdi på 60 kg ts/ha var optimalt og gav en god forudsigtelse af udbytterne i 1. slæt, når der blev set bort fra nogle få høje udbytter opnået i markforsøg med alm. rajgræs i renbestand. Estimerterne var derimod mindre gode i 2. og 3. slæt.

Vandbalancen i forsøgene blev simuleret med Vandregnskab og valideret, og to forskellige mål for tørkestress blev afprøvet med hensyn til at estimere udbyttenedgangen pga. tørke i forsøgene. Disse byggede begge på, at fordampningen under tørke bliver reduceret i forhold til den potentielle, men vægter fordampningsdeficittet forskelligt. Begge metoder var i stand til at estimere de målte udbyttetab forholdsvis godt, uafhængigt af hvilket slæt, det drejede sig om. De vil derfor kunne bruges til at forbedre Slætprognose, så modellen også er troværdig under tørkeforhold.

Et sidste specielt spørgsmål blev også undersøgt, nemlig den kompensatoriske vækst, der ofte observeres i det følgende slæt, når der har været udbyttenedgang i det foregående på grund af tørke. Hvis Slætprognose ikke tager hensyn til dette, vil den kunne give forkerte estimerer af vækst i sådanne situationer. Det blev fundet, at den kompensatoriske vækst ikke var relateret til udbyttetabet i foregående slæt, men derimod til hvor længe det tilgængelige jordvandindhold i foregående slæt havde været under en tærskelværdi på 9 mm. Dette kunne indikere, at den kompensatoriske vækst er relateret til en forøget N-mineralisering efter kraftig udtørring af jorden.

## Indholdsfortegnelse:

Side

Sammendrag .....	2
Baggrund .....	4
Forsøgsdata og beregninger.....	5
Datagrundlag.....	5
Modeludbygning, simuleringer og validering .....	5
Resultater og diskussion.....	7
Starttidspunkt for Slætprognose's simulering af vækst i 1. slæt .....	7
Slætprognose's simulering af vækst i 2. og 3. slæt .....	8
Vandregnskab's simulering af vandbalance .....	8
Bladarealudvikling i hvidkløvergræs til slæt .....	8
Jordvandsdeficit i hvidkløvergræs til slæt .....	9
Slætprognose's simulering af udbytte under tørke .....	9
Stressdage (SD) integration i Slætprognose.....	10
Nedgang i transpiration ( $T_{def}$ ) integration i Slætprognose .....	11
Integration af kompensatorisk vækst (KV) i Slætprognose.....	12
Referencer .....	15

## Baggrund:

Slætprognose (Søgaard, 2007; Søgaard, 2016) beregner den daglige tilvækst i kløvergræs igennem 1., 2. og 3. slæt ud fra gennemsnitlig globalstråling og middeltemperatur i den foregående 7-dages periode samt mængden af tørstof dagen forinden. Det er således en dynamisk simuleringssmodel, der beregner det potentielle udbytte men pt. ikke tager hensyn til eventuelle begrænsende faktorer. Selvom beregningen udføres med et tidskridt på en enkelt dag bevirker midlingen af inputdata, at der sker en udglatning af tilvækstkurven. Beregningen af daglig tilvækst startes ud fra forskellige kriterier for de tre slætperioder. I første slæt har opstarten hidtil været fastsat ved hjælp af et ekspertskøn, medens tilvæksten i 2. og 3. slæt startes vha. en algoritme, hvori indgår udbyttet i foregående slæt.

Vandregnskab simulerer bladareal og roddebyde i græs ud fra temperatursummen fra vækststart eller seneste slættidspunkt (Plauborg og Olesen, 1991, Thysen og Detlefsen, 2006). Endvidere simuleres vandbalancen vha. data for nedbør og potentiel fordampning samt jordkarakteristika. Med hensyn til udbytte simuleres alene effekten af tørke på hele årets produktion. Dette er baseret på en statistisk funktion for sammenhængen mellem reduktion i fordampning repræsenteret ved stressdage (SD) i løbet af sæsonen og reduktion i det anslåede potentielle udbytte (Plauborg et al., 1996). Modellen er udviklet på data målt i 80'erne. Modelparametrene for bladarealudvikling, som er afgørende for at Vandregnskab kan beregne fordampning og jordvandsunderskud, blev valideret af Andersen et al. (2018). Her blev det fundet, at modellen simulerede for hurtig genvækst efter slæt, hvor det målte bladarealindeks var mindre end de forventede 0.5. Dette er der som nævnt taget hensyn til i Slætprognose via en langsommere genvækst efter et stort slæt. Brug af drone- og satellitdata ville formentlig yderligere kunne forbedre modelleringen af genvækst efter slæt (Andersen et al., 2018).

Formålet med de herværende beregninger og undersøgelser har været at teste om brug af vandbalanceberegninger fra Vandregnskab kan gøre Slætprognose i stand til at simulere effekten af tørke på udbyttet af kløvergræs på en dag til dag basis. I en sådan beregning virker det mest oplagt at nedjustere den dagligt beregnede potentielle tilvækst fra Slætprognose med den dagligt beregnede SD fra Vandregnskab, der kan variere fra 0 til 1. Her svarer værdien 1 til at den aktuelle fordampning ( $T_a$ ) er nul, medens værdien 0 svarer til at  $T_a$  har samme størrelse som den potentielle fordampning ( $T_o$ ). Denne størrelse anvendes ud over Vandregnskab også i FAO's model "AquaCrop" (Steduto et al., 2012) til at kvantificere tørkestress. Det er dog ofte fundet, at nedgangen i  $T_a$  i forhold til  $T_o$  set over en længere (slæt-) periode (Doorenbos & Kassam, 1979) korrelerer bedre til udbyttetabet som følge af tørke. Sidstnævnte størrelse tager sandsynligvis bedre hensyn til, at perioder med høj  $T_o$  som regel svarer til perioder med høj indstråling og produktion, og en SD-værdi på 0.5 derfor burde tælle mere end i en periode med lav  $T_o$  (e.g. Tanner, 1981). Det skal også erindres at Slætprognose med sine 7-dages glidende gennemsnitsberegning faktisk bruger et tidskridt, der ligger imellem de to metoder til kvantificering af tørkestress.

En yderligere komplicerende faktor ved simulering af tørkestresseffekter på græsproduktion er, at græsset helt eller delvis er i stand til at kompensere for udbyttetabet på grund af tørke i foregående slæt ved at øge væksten i de efterfølgende slæt til niveauer, der overgår en fuldt vandet afgrøde. Dette kaldes kompensatorisk vækst og er fundet både i markforsøg (Søgaard, 1984; Thomsen, 1989; Søgaard 1990) såvel som i forsøg under mere kontrollerede betingelser, hvor nedbør var udelukket vha. rullende tage (Søgaard, 1984; Andersen og Søgaard, 2014; Andersen, 2016; Andersen, 2017). Den kompensatoriske vækst har imidlertid været varierende fra i nogle tilfælde nær 100% (Andersen, 2017) til langt mindre (Thomsen, 1989). Spørgsmålet er derfor endvidere om det er muligt at simulere den kompensatoriske vækst ved en udbygning af Slætprognose.

## Forsøgsdata og beregninger

### Datagrundlag

Som baggrund for udbygningen af Slætprognose er anvendt data fra vandingsforsøg i Jydevad 1983-1986 (Thomsen, 1989) med alm. rajgræs i renbestand. Udbytteerne fra 4- og 5-slæt strategierne, omfattende fuldt vandede og uvandede led, såvel som en række intermediære udtørningsbehandlinger er simuleret ved hjælp af Slætprognose i kombination med Vandregnskab. Endvidere er anvendt data fra slætdelen af et afgræsningsforsøg i 2004-2005 i Jydevad (Søgaard et al. 2006) med hvidkløvergræs, hvori indgik et fuldt vandet led, et uvandet led, samt et led med 50% af vandtilførslen i fuldt vandet. I disse to markforsøg var der 4 gentagelser af behandlingerne, og udbytteerne er således forholdsvis sikkert bestemt. Endelig er der anvendt data fra et treårigt vandingsforsøg i et overdækket bassin anlæg i Foulum 2013-2015 (Andersen, 2017) med hvidkløvergræs, hvor bassinerne var ifyldt JB1 jord fra Jydevad. I dette forsøg under mere kontrollerede forhold blev der udført en række udtørninger i forskellige slæt og slætkombinationer, men uden gentagelser. De tre forsøg gav tilsammen 231 observationer til brug i simuleringerne.

### Modeludbygning, simuleringer og validering

Udbygningen af Slætprognose er sket i en række diskrete trin som angivet nedenfor:

1. De fuldt vandede forsøgsled blev anvendt til at finde det bedste starttidspunkt for Slætprognose's simulering af vækst i første slæt. Til dette formål blev der foretaget simuleringer med Afgræsningsprognose (Bligaard, 2016) og den optimale værdi af Afgræsningsprognose til start af Slætprognose blev fundet.
2. Slætprognose's simulering af udbytte i 2. og 3. slæt blev valideret i fuldt vandede led uden ændringer i modellen
3. Vandbalancen i de 231 led/slætperioder blev simuleret med Vandregnskab og stressdage (SD) beregnet på daglig basis som beskrevet af Plauborg et al. (1996):

$$SD = 1 - \frac{E_{aT}}{E_{pT}} \quad (1)$$

hvor  $E_{aT}$  er daglig aktuel transpiration og  $E_{pT}$  er daglig potentiel transpiration fra afgrøden. Endvidere blev nedgangen i den summerede daglige aktuelle transpiration i forhold til den potentielle ( $T_{def}$ ) beregnet for hver slætperiode/observation:

$$T_{def} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{aT}}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{pT}} \quad (2)$$

hvor  $i$  er et dagnummer, og  $n$  er antallet af dage i slætperioden (siden sidste slæt).

4. Slætprognose's simulering af udbytte under tørke (TS) i 1., 2. og 3. slæt blev justeret i forhold til tørkepåvirkning ved hjælp af hhv. ligning (1) og (2). Metoderne til dette var forskellige for de to mål for tørkepåvirkning. For SD (1) anvendtes:

$$TS_{SD} = \sum_{i=1}^{i=n} DTV \times (1 - SD \times w_{SD}) \quad (3)$$

hvor  $TS_{SD}$  er det tørkejusterede udbytte,  $DTV$  er den daglige tilvækst beregnet med Slætprognose (uden stress) og  $w_{SD}$  er en vægtning af SD's indflydelse på den daglige tilvækst.

For  $T_{def}$  (2) anvendtes en mere direkte justering af Slætprognose's udbytteberegning:

$$TS_{def} = TS \times (1 - w_{def} \times \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{aT}}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{pT}}) \quad (4)$$

hvor  $TS_{def}$  er det tørkejusterede udbytte, TS er udbyttet beregnet med Slætprognose uden tørkestress, og  $w_{def}$  er en vægtning af  $T_{def}$ 's indflydelse på udbyttet. Ved brug af ligning (3) var det muligt at medtage i beregningen, at tilvæksten i 2. og 3. slæt i hht. Slætprognose starter tidligere, når udbyttet i foregående slæt er reduceret pga. tørke. Dette var ikke muligt ved anvendelse af ligning (4) idet der indgår udbyttet beregnet med Slætprognose uden tørkestress (TS) på samme dag.

De to vægtningsfaktorer ( $w_{SD}$  og  $w_{def}$ ) blev estimeret ved at beregne RMSE for alle tørkepåvirkede observationer baseret på forskellen mellem målte og simulerede udbytter. En række værdier for de to vægtningsfaktorer blev afprøvet og den værdi, der gav lavest RMSE blev valgt til den videre modelopbygning.

5. Kompensatorisk vækst i slæt med tørke i forudgående slæt blev estimeret. Da der kan forekomme tørke i samme slæt som der forekommer kompensatorisk vækst (KV), blev estimatet for KV defineret som:

$$KV = (TS_m - TS_{sim})_a - (TS_m - TS_{sim})_{fv} \quad (5)$$

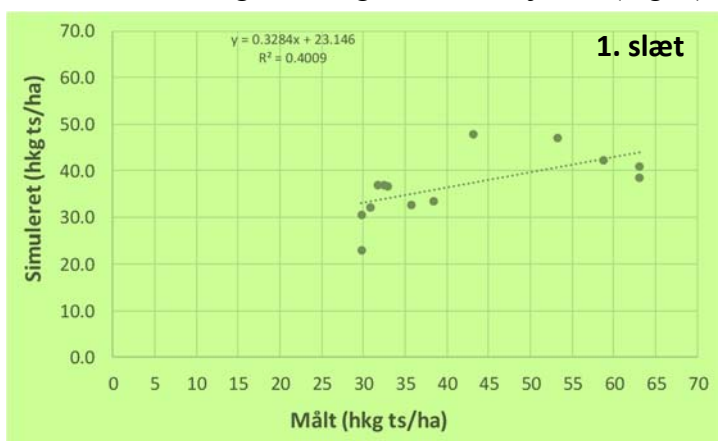
hvor 1. parentes er forskellen mellem målt og simuleret tørstofudbytte i det aktuelle led (med tørke i foregående slæt), medens 2. parentes er forskellen i tørstofudbytte mellem målt og simuleret TS i det fuldt vandede led. KV blev korreleret med udbyttetabet i foregående slæt pga. tørke. KV blev endvidere korreleret med antallet af dage, hvor det tilgængelige jordvandsindhold i foregående slæt havde været mindre end X mm, hvor den bedste værdi af X blev fundet som tidligere ved trial and error metoden indtil RMSE for forskellen mellem målt og simuleret var mindst mulig.

KV blev derefter korreleret til begge faktorer dvs. udbyttetab i foregående slæt og dage med jordvandindhold mindre end X mm vha. en multipel lineær regression (PROC REG, SAS) mhp. at bestemme den relative indflydelse af de to faktorer.

## Resultater og diskussion

### Starttidspunkt for Slætprognose's simulering af vækst i 1. slæt

Slætprognose's start af vækst blev gjort afhængig af, hvornår Afgræsningsprognose når et givet niveau af produktion. I forbindelse med disse test stod det ret hurtigt klart, at Slætprognose ikke kunne simulere de høje udbytter, der var opnået i 1. slæt i 4 slæt-strategien i alm. rajgræs i 1983 og 1984 (Thomsen, 1989). Det var heller ikke muligt selvom den udfladning af tilvæksten, der er lagt ind når TS overstiger 35 hkg ts/ha, blev fjernet (Fig. 1).



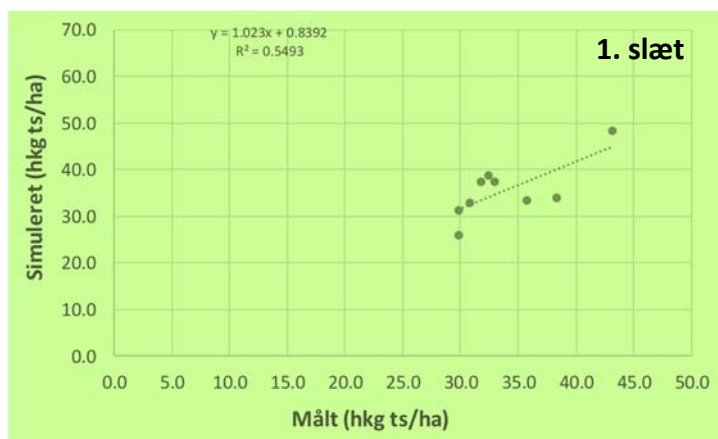
**Figur 1.** Simulering af tørstofudbytte i første slæt med Slætprognose med optimeret værdi af starttidspunkt i henhold til Afgræsningsprognose. Høje udbytter fra 1983-84 inkluderet.

Udbytteobservationerne fra 1. slæt i 4 slæt-strategien i alm. rajgræs i 1983 og 1984 blev derfor taget ud af datasættet for ikke at give et skævt estimat af det optimale starttidspunkt for Slætprognose's simulering af tilvækst i 1. slæt. Det optimale tidspunkt blev derefter fundet til at være når Afgræsningsprognose viser et udbytte på 60 kg ts/ha (Tabel 1).

Afgræsningsprognose (kg ts/ha)	20	30	40	50	60	70	80	90	100
RMSE (hkg ts/ha)									
Målt-simuleret med Slætprognose	7.31	5.55	4.88	4.72	4.40	4.59	4.49	4.51	4.52

**Tabel 1.** Afgivelse (RMSE) fra målt ved simulering af udbytte i 1. slæt med Slætprognose.

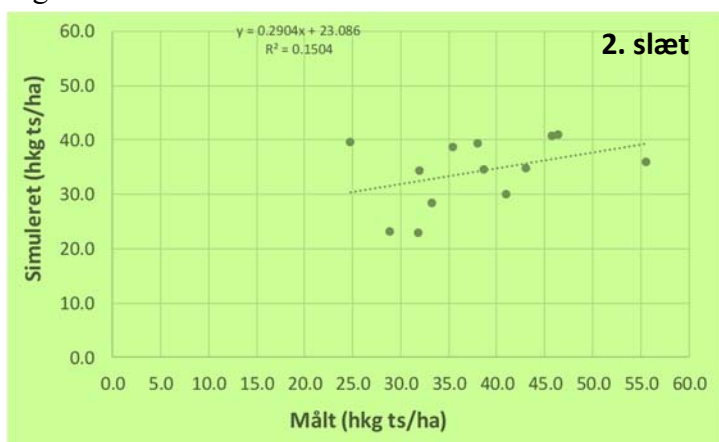
Simulerede udbytter versus målte er vist i Fig. 2. Der er ses en nogenlunde god sammenhæng ( $r^2 = 0.55$ ) og en hældning på linjen nær 1.



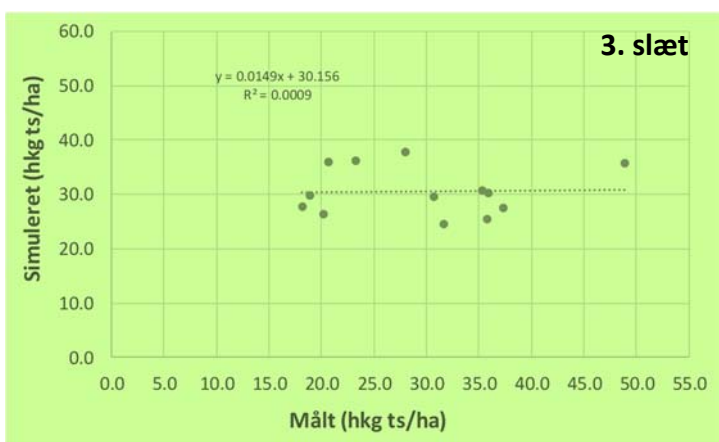
**Figur 2.** Simulerede imod målte udbytter i 1. slæt i fuldt vandede led.

### **Slætprognose's simulering af vækst i 2. og 3. slæt**

Slætprognose's simulering af udbytter i fuldt vandede led i 2. og 3. slæt er visualiseret i Fig. 3 og Fig. 4 nedenfor.



**Figur 3.** Simulerede imod målte udbytter i 2. slæt i fuldt vandede led.



**Figur 4.** Simulerede imod målte udbytter i 3. slæt i fuldt vandede led.

I 2. slæt er der en nogenlunde sammenhæng mellem simulerede og målte udbytter, hvis der ses væk fra et par af observationerne. I 3. slæt er der ingen sammenhæng, selvom den udfladning af tilvæksten, der er lagt ind, når TS overstiger 30 og 20 hkg ts/ha i hhv. 2. og 3. slæt var fjernet fra modellen. Ud over dette, har det imidlertid ikke været formålet med arbejdet her at revidere selve Slætprognose-modellen.

### **Vandregnskab's simulering af vandbalance**

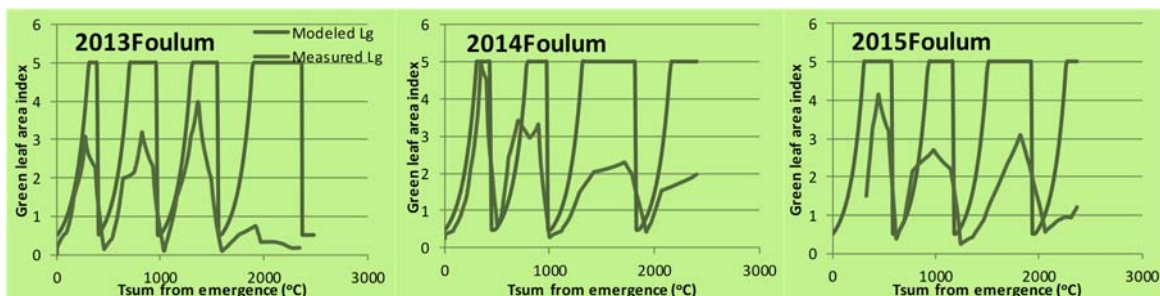
For at Vandregnskab kan simulere nøjagtige værdier af de to tørke-indikatorer ( $SD$  og  $T_{def}$ ) er det nødvendigt at udvikling af bladarealindeks og jordvandsunderskud simuleres nøjagtigt. Dette er tidligere valideret i de anvendte forsøg (Plauborg et al., 1996; Søegaard et al., 2006; Andersen et al., 2018). Her gengives derfor alene nogle få simulering-eksempler.

### **Bladarealudvikling i hvidkløvergræs til slæt**

Bladarealudviklingen i vandet hvidkløvergræs (blanding 22) dyrket i Foulum er vist i Fig. 1 for perioden 2013-2015, hvor der forelå reflektans-målinger (Andersen et al., 2018). Der sås et noget varierende mønster med hensyn til modellens evne til at fange stigningen i grønt bladarealindeks efter vækststart i foråret og efter slæt. Over de tre år forekom både for hurtig og for langsom



simulering af udviklingen. I modellen antages det grønne bladareal at falde til 0.5 efter slæt. I Fig. 5 ses, at det især var efter slæt, hvor det målte grønne bladarealindeks (Lg) var mindre end 0.5, at modellen simulerede for hurtig genvækst. Derudover, målt i alle år et betydeligt mindre bladarealindeks i 4. slætperiode end det simulerede. Det er især perioder med bladarealindeks mindre end 2, hvor præcisionen i simuleringen har betydning for vandbalancen (Kristensen og Jensen, 1973)

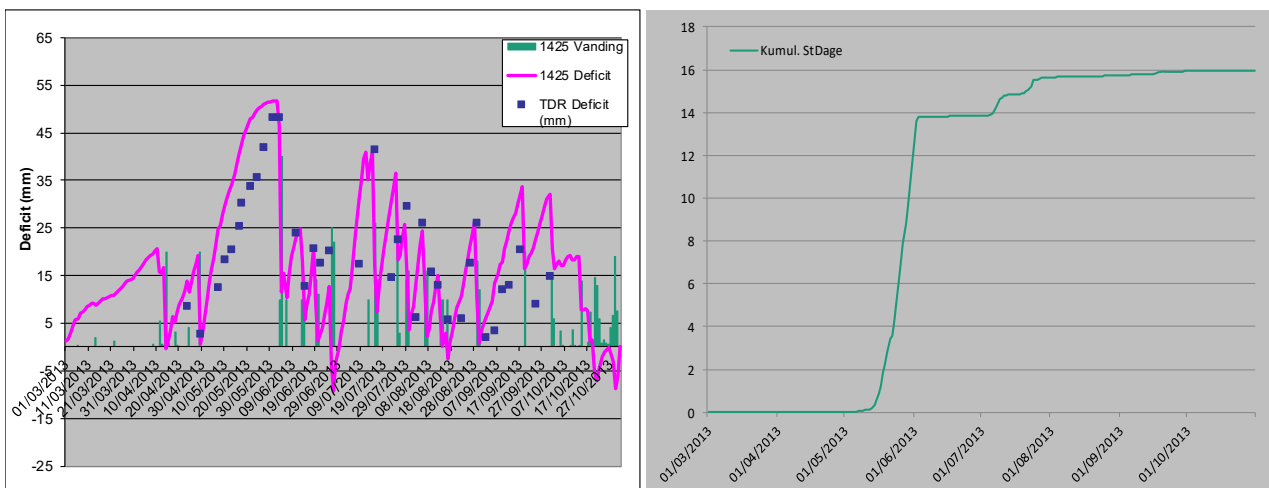


**Figur 5.** Grønt bladareal ifølge Vandregnskabs simulerede udvikling (Modeled Lg) i hvidkløvergræs modstillet målt (Measured Lg) med spektral reflektans.

Langsommere genvækst ved lav stubhøjde eller efter store slæt er velkendt. Vandregnskab tager ikke i samme grad som Slætprognose hensyn til dette og ville således kunne forbedres på dette punkt ved at inkludere elementer fra Slætprognose.

#### Jordvandsdeficit i hvidkløvergræs til slæt

I Fig. 6 er den simulerede udvikling af jordvandsunderskud i en parcel fra forsøget i 2013 vist i relation til det målte jordvandsunderskud. Når jordvandsunderskuddet overstiger den lettilgængelige vandmængde, bliver den aktuelle fordamning mindre end den potentielle og dermed fås værdier af  $SD > 0$ . Summationen af SD over tid er vist til højre i figuren.



**Figur 6.** Målt og simuleret jordvandsunderskud i hvidkløvergræs med udtørring i 1. slæt (til venstre). Akkumulerede stressdage i løbet af sæsonen (til højre).

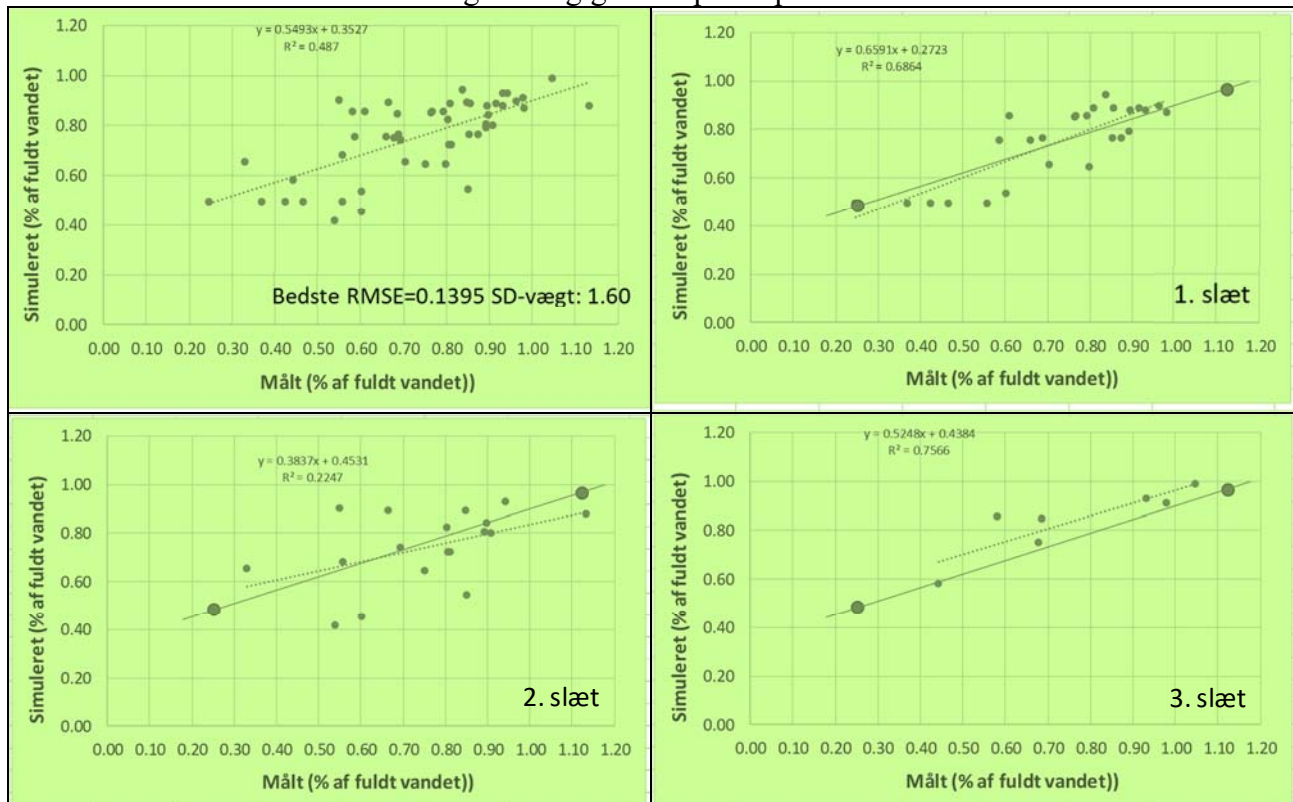
#### Slætprognose's simulering af udbytte under tørke

På grund af Slætprognose's forholdsvis dårlige simulering af udbytte i fuldt vandede led især i 3. slæt, blev der anvendt relative udbytter i forbindelse med korrelering til de to stressindikatorer fra Vandregnskab. Det vil sige at udbyttet i fuldt vandede led blev sat til værdien 1.00 og udbyttet i de

tørkestressede led i samme forsøg og slæt blev sat i proportion hertil – både for de målte såvel som de simulerede værdier.

### Stressdage (SD) integration i Slætprognose

Udbytteerne i de tørkepåvirkede led ( $TS_{SD}$ ) blev simuleret vha. ligning (3) og er vist i Fig. 7 for de led og slætperioder, hvor der forekom tørke og hvor der ikke havde været tørke i forudgående slæt. Materialet er vist både for alle slæt under et samt for de individuelle slætperioder for at bedømme om relationen var ens eller forskellig afhængig af tidspunkt på året.



**Figur 7.** Relativt udbytte modelleret med Slætprognose med effekt af tørke i form af stressdage (SD) mod målt. Den stiplede regression fra det samlede materiale (øverst tv.) er gengivet i de andre figurer med en fuldt optrukket linje.

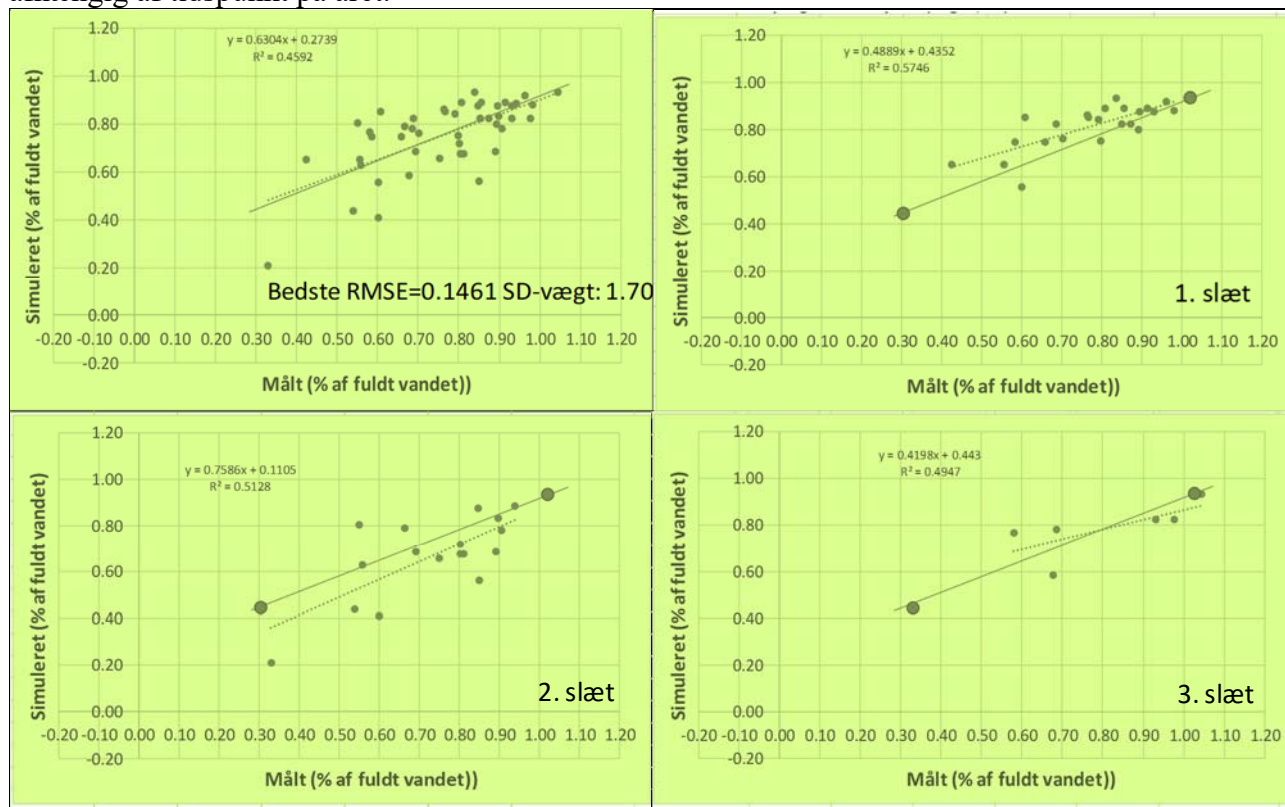
Som det ses af Fig. 7. er der en relativ god sammenhæng både mellem modelleret og målt i det samlede materiale dog med nogen spredning og en hældning på linjen (0.55), der afviger en del fra den ideelle (1.0). Regressionerne på de enkelte slætperioder giver ikke anledning til at tro, at der er forskelle i relationen mellem simuleret og målt afhængig af slæt. Den optimale værdi af vægtningsfaktoren ( $w_{SD}$ ) i ligning (3) blev fundet ved at teste forskellige værdier og vælge den (1.6), der gav den laveste RMSE baseret på afvigelsen mellem simuleret og målt relativt udbytte (Tabel 2).

$w_{SD}$	1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2	2.2
RMSE	0.180	0.160	0.146	0.1412	0.1395	0.1395	0.142	0.153	2.200
Målt-simuleret									

**Tabel 2.** Afvigelse (RMSE) fra målt ved simulering af relativt udbytte i tørkepåvirkede slæt ved hjælp af stressdage (SD).

### Nedgang i transpiration ( $T_{def}$ ) integration i Slætprognose

Som muligt alternativ til den SD-baserede simulering blev udbytte i de tørkepåvirkede led ( $TS_{def}$ ) simuleret vha. ligning (4) og er vist i Fig. 8 for de led og slætperioder, hvor der forekom tørke og hvor der ikke havde været tørke i forudgående slæt. Materialet er vist både for alle slæt under et samt for de individuelle slætperioder for at bedømme om relationen var ens eller forskellig afhængig af tidspunkt på året.



**Figur 8.** Relativt udbytte ( $TS_{def}$ ) modelleret med Slætprognose med effekt af tørke i form af nedgang i transpiration ( $T_{def}$ ) mod målt. Den stiplede regression fra det samlede materiale (øverst tv.) er gengivet i de andre figurer med en fuldt optrukket linje.

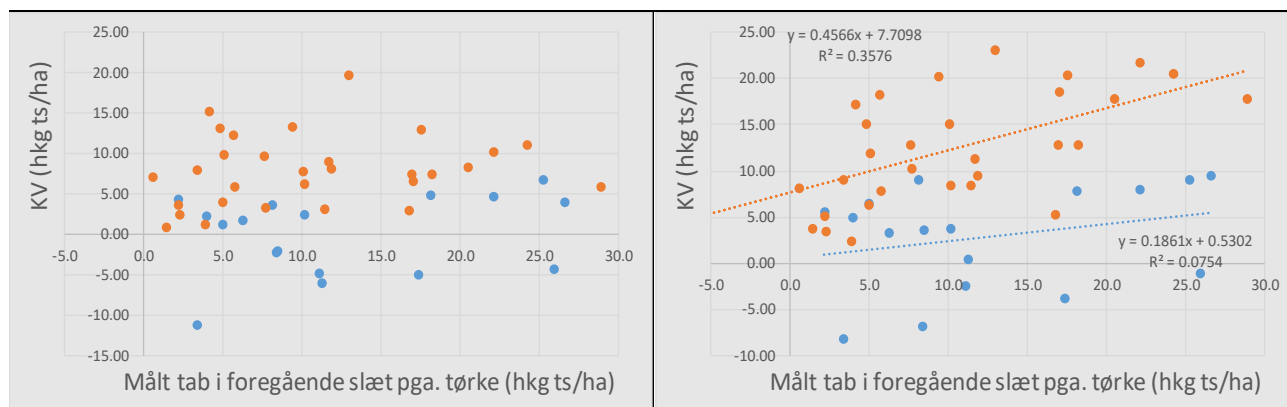
Som det ses af Fig. 8. er der en relativ god sammenhæng både mellem modelleret og målt i det samlede materiale dog med nogen spredning og en hældning på linjen (0.63), der afviger en del fra den ideelle (1.0). Regressionerne på de enkelte slætperioder giver ikke anledning til at tro, at der er forskelle i relationen mellem simuleret og målt afhængig af slæt. Den optimale værdi af vægtningsfaktoren ( $w_{def}$ ) i ligning (4) blev fundet ved at teste forskellige værdier og vælge den (1.7), der gav den laveste RMSE baseret på afvigelsen mellem simuleret og målt relativt udbytte (Tabel 3). Denne var lidt større end for den SD-baserede modellering.

$w_{def}$	1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2
RMSE	0.1855	0.1666	0.1531	0.1489	0.1465	0.1461	0.1477	0.1565
Målt-simuleret								

**Tabel 3.** Afvigelse (RMSE) fra målt ved simulering af relativt udbytte i tørkepåvirkede slæt ved hjælp af transpirationsnedgang ( $T_{def}$ ).

### Integration af kompensatorisk vækst (KV) i Slætprognose

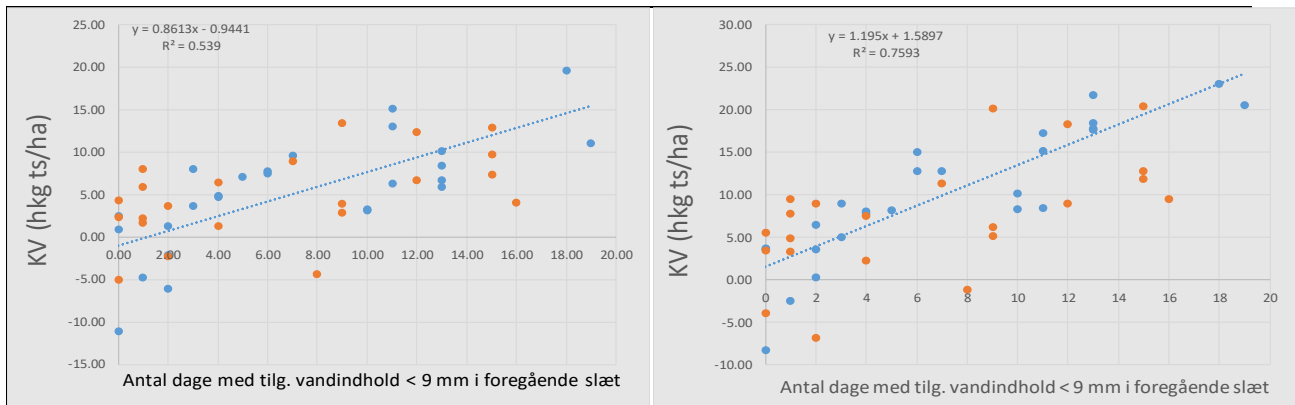
Da der indgår simulerede værdier i estimatet for kompensatorisk vækst (KV, ligning 5) afhænger KV af, om simuleringen er baseret på SD eller  $T_{def}$ . Derfor vises og diskuteres modellering vha. begge estimater i det følgende. Det har ofte været diskuteret om KV er en funktion af udbyttenedgangen pga. tørke i foregående slæt, da det i nogen tilfælde er fundet, at udbyttenedgangen er kompenseret 100% i efterfølgende slæt (Andersen, 2018). KV er derfor afbildet i Fig. 9 som funktion af udbyttenedgangen pga. tørke i foregående slæt for de to beregningsmetoder.



**Figur 9.** Kompensatorisk vækst (KV) beregnet ud fra hhv. stressdage (venstre) og transpirationsnedgang (højre) afbildet mod det målte udbyttetab i foregående slæt i samme led. Forsøg i bassinlæg vist med gul signatur, markforsøg vist med blå signatur.

KV-estimatet baseret på SD (Fig. 9, venstre) kunne ikke korreleres til udbyttenedgangen i foregående slæt. Generelt var KV lavere i markforsøgene end i forsøgene udført i bassinlæg. KV-estimatet baseret på  $T_{def}$  (Fig. 9, højre) korrelerede derimod til udbyttenedgangen i foregående slæt for forsøgene udført i bassinlæg, men ikke i markforsøgene.

En alternativ teori med hensyn til kompensatorisk vækst kunne være, at den skyldes en forøget N-mineralisering pga. udtørring i foregående slæt. Da herværende datamateriale er forholdsvis spinkelt, blev der foretaget en analyse af, om KV kan relateres til udtørningsgraden i foregående slæt med en simpel indikator, nemlig antallet af dage, hvor det tilgængelige jordvandindhold havde været under en tærskelværdi i forhold til den totale tilgængelige vandmængde i jorden. Resultatet af denne analyse er vist i Fig. 10.



**Figur 10.** Kompensatorisk vækst (KV) beregnet ud fra hhv. stressdage (venstre) og transpirationsnedgang (højre) afbildet mod antallet af dage med tilgængeligt jordvandindhold mindre end 9 mm i foregående slæt i samme led. Forsøg i bassinanlæg vist med gul signatur, markforsøg vist med blå signatur.

Begge KV-estimer kunne korreleres til hvor mange dage det tilgængelige jordvandindhold havde været under 9 mm i foregående slæt. Endvidere sås ingen tendens til forskelle mellem markforsøg og forsøg udført i bassinanlæg i denne analyse. KV-estimatet baseret på  $T_{def}$  (Fig. 10, højre) havde en højere korrelation til jordvandsindholdet i foregående slæt end KV-estimatet baseret på SD.

Den optimale værdi af tilgængeligt jordvandindhold i foregående slæt mht. til korrelering blev fundet ved at teste forskellige værdier og vælge den (9 mm), der gav den laveste RMSE (Tabel 4) baseret på afvigelsen mellem simuleret og projiceret KV repræsenteret ved linjen i Fig. 10 højre figur.

Tilg. Jordvand (mm)	1	3	5	7	8	9	10	12
RMSE	7.76	5.80	4.82	3.98	3.84	3.64	3.85	4.10
Simuleret-middel								

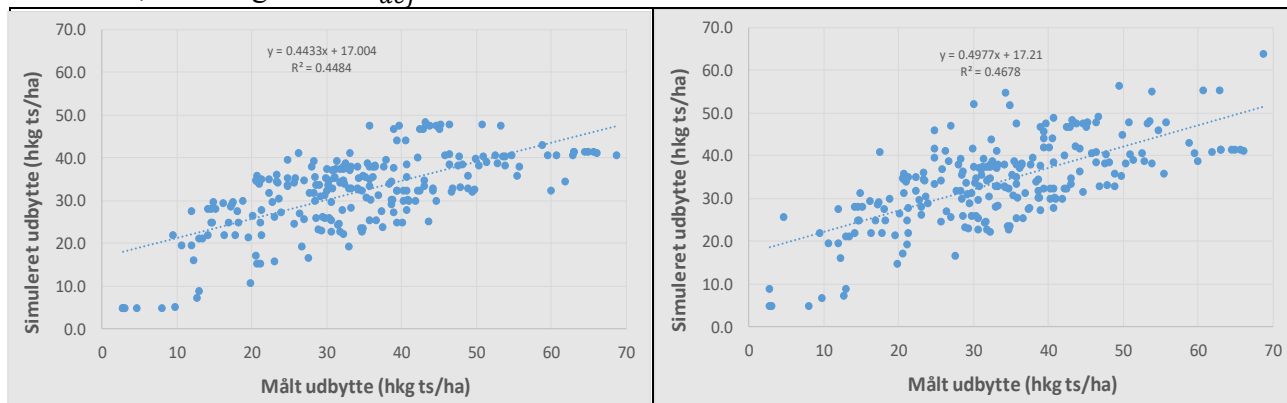
**Tabel 4.** Afvigelse (RMSE) fra middel ved simulering af kompensatorisk vækst ud fra transpirationsnedgang ( $T_{def}$ ) i relation til dage med jordvandunderskud < 9 mm i foregående slæt.

At den kompensatoriske vækst kan være relateret til N-tilgængelighed understøttes af visuelle observationer af en betydelig grønnere afgrøde efter tørke i bassinanlægget på trods af at biomasse samtidig var større. Det har også været indikeret i tidligere undersøgelser: ”Efter vanding er nettofotosynteseraten i blade, som har været udsat for tørkestress, større end i kontrolblade af samme kronologiske alder (Ludlow & Ng, 1974)” cf. Søegaard (1984), idet højere fotosyntese meget ofte korrelerer til bladets N-status. En række undersøgelser af den vandingsmetode, der kaldes PRD eller ”Partial Root-zone Drying”, har påvist en øget N-mineralisering, når jord skiftevis udtørres og vandes (Shahnazari et al., 2008; Wang et al., 2010; Liu et al., 2015). For førstnævnte referencens vedkommende blev forsøgene udført i samme bassinanlæg som det her omtalte græsforsøg.

For at vurdere den relative betydning af henholdsvis udbyttenedgangen i foregående slæt og antal dage med tilgængeligt jordvandindhold mindre end 9 mm blev der lavet en multipel regressionsanalyse i SAS, hvor begge faktorer blev inddraget til at forklare den kompensatoriske vækst. Data fremkommet ved brug af den  $T_{def}$  baserede model (dvs. data vist de to højre-stillede delfigurer i Fig. 9 og 10) blev anvendt. Analysen viste, at inddragelse af udbyttenedgangen i

foregående slæt forbedrede modellen minimalt og de tilhørende parameterestimer var ikke signifikant forskellige fra nul.

I Fig. 11 er det samlede datamateriale vist hhv. uden og med modellen for kompensatorisk vækst inkluderet, ved brug af den  $T_{def}$  baserede model.



**Figur 11.** Udbytte i alle led simuleret med den  $T_{def}$  baserede Slætprognose-model versus målt. Venstre: uden model for kompensatorisk vækst; højre: med model for KV.

På det samlede materiale er der en lille forbedring af modelleringen ved at tage hensyn til kompensatorisk vækst (Fig. 11). Den  $T_{def}$  baserede model giver i nogle få tilfælde negative udbytteresultater, hvorfor der i simuleringen er lagt et gulv ind på det simulerede tørstofudbytte på 5 hkg ts/ha (Fig. 11).

## Referencer

- Andersen, M.N. & Søegaard, K. 2014. Vanding. Oversigt over Landsforsøgene 2014, side 375-377.
- Andersen M.N. 2016. Vanding af kløvergræs. Oversigt over landsforsøgene 2016, side 358-360. Landbrug og Fødevarer, Planteproduktion ISBN 978-87-93051-00-3.
- Andersen M.N. 2017. Er der penge i at vande kløvergræs? Plantekongres 2017. Seges, AU og KU, 2017. side 270-274.
- Andersen, M.N., Edlefsen, O., Sommer, S. Manevski, K., Peng, J., Hvid, S.K. 2018. Evaluering af Afgrødemodellerne i Vandregnskab. Rapport til Seges. 18 sider.
- Bligaard, J. 2016. Vejrbaserede modeller. Notat fra Seges. 89 sider.
- Doorenbos, J. & Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1979. 193 pp
- Kristensen, K.J. og Jensen, S.E. 1975. A model for estimating actual evapotranspiration from potential evapotranspiration. *Nordic Hydrology* 6, 170-188.
- Liu C., Rubaek G.H., Liu F., Andersen M.N. 2015 Effect of partial root zone drying and deficit irrigation on nitrogen and phosphorus uptake in potato. *Agricultural Water Management* 159, 66-76.
- Ludlow, M.M., Ng, T.T. 1974. Water stress suspends leaf ageing. *Plant Science Letters* 3, 235-240.
- Plauborg, F. & Olesen, J.E. 1991. Udvikling og validering af modellen MARKVAND til vandingsstyring i landbruget. *Tidsskr. Planteavl Beretning S-2113*, 103 pp.
- Plauborg, F.L., Andersen, M.N., Heidmann, T. & Olesen, J.E. 1996, Markvand: A decision support system for irrigation scheduling. I: CR Camp, EJ Sadler & RE Yoder (eds), *Evaporation and Irrigation Scheduling. Proceedings of International Conference. ASAE*. pp. 527-535, San Antonio, Texas, United States, 03/11/1996.
- Shahnazari, A., Liu, F., Ahmadi, S.H., Jensen, C.R., Lærke, P.E., Plauborg F.L., Jacobsen, S.-E. & Andersen, M.N. 2008. Nitrogen dynamics in the soil-plant system under deficit and partial root zone drying irrigation strategies in potatoes. *European Journal of Agronomy* 28, 65-73.
- Steduto, P. Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D. 2012. Crop yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 66. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome, 2012. 502 pp.
- Søegaard, K. 1984. Vand og kvælstof til almindelig rajgræs. *Tidsskr. Planteavl Beretning S-1704*, 133 pp.
- Søegaard, K. 1990. Slætantal, kvælstofmængde og vandingsstrategi i hvidkløvergræs. I. 1. brugsår. *Tidsskr. Planteavl* 94, 367-385, Beretning 2087.

Søgaard, K., Andersen, M.N., Plauborg, F.L. 2006. Irrigation of grass/clover under grazing and cutting. In Grassland Science in Europe (pp. 65-67). European Grassland Federation. Grassland Science in Europe, Vol. 11.

Søgaard, K. 2007. Græsprøgnose for afgræsning og slæt. Plantekongres 2007. Seges, 2007. side 232-233.

Søgaard, K. 2016. Slætprøgnose. Forår 2016. Notat til Seges. 5 sider.

Tanner, C.B. 1981. Transpiration efficiency of potato. *Agronomy Journal* 73, 59-64.

Thyssen, I & Detlefsen, N.K. 2006. Online decision support for irrigation for farmers. *Agricultural Water Management* 86, 269-276.

Thomsen, P.C. 1989. Slætantal, kvælstofmængder og vanding i alm. rajgræs. *Tidsskr. Planteavl Beretning S-2026*, 103 pp

Wang Y., Liu F., Andersen M.N., Jensen C.R. 2010. Improved plant nitrogen nutrition contributes to higher water use efficiency in tomatoes under alternate partial root-zone irrigation. *Functional Plant Biology* 37, 175-182.