



Notat: OnFarmPlus forsøg i kartofler N-optimumsforsøg i 2025

22-10-2025

Philipp Trénel, senior konsulent, faglig leder
phtr@teknologisk.dk, +45 72 20 33 92

Formål

- At undersøge om topografisk vandtilgængelighed (topographic wetness index, TWI) har betydning for effekten af stigende N på udbytte i spisekartofler som fundet i et tilsvarende OnFarm stribeforsøg gennemført i kartofler i 2024.

Overordnede konklusioner

- I modsætning til sidste års forsøg viste dette års forsøg at topografisk soleksponering fremfor topografisk vandtilgængelighed var den mest betydningsfulde faktor i forsøgsmarken. Der blev fundet et merudbytte på 6.7 t/ha ($p < 0.001$) ved at gå fra nederste til øverste 10% SRI-kvantil, i.e., fra lav til høj soleksponering.
- Derudover viste dette års forsøg de højeste udbytter ved +25 kgN/ha vs. +50 kgN/ha i sidste års forsøgsmark, formentlig pga. større $N_{\min}$ -pulje i forsøgsmarken i år.
- Til trods for forskelle mellem dette års forsøg og sidste års forsøg, så er der fundet samme tendens til øget positiv udbytterespons ved optimal gødsning med forbedret topografisk vandforsyning.
- Hvor sidste års forsøg viste merudbytter på 1.4 t/ha ($p < 0.01$) ved +50 kgN/ha ved høj topografisk vandforsyning og moderat til lav topografisk soleksponering, så viste dette års forsøg ved +25 kgN/ha sammenlignelige merudbytter på 1.5 til 2.0 t/ha ($p < 0.09$) for samme niveauer af topografisk vandforsyning og soleksponering.
- Dermed underbygger dette års forsøg, at N-responsen i spisekartofler afhænger af topografiske karakteristika såsom vandtilgængelighed og soleksponering, men også at synergieffekten afhænger af kendskab af N-optimum i marken.
- Der skal gennemføres flere markforsøg med stigende N og indsamling af $N_{\min}$ flere steder i marken, førend gradueret N-tildeling efter topografiske forhold kan anbefales i spisekartofler.



Funded by
the European Union
NextGenerationEU

Fonden for **økologisk landbrug**



**Innovationscenter
for Økologisk Landbrug**

Metoder

Forsøgsdesign, data og datahåndtering

N-optimums-forsøg i 2025

- Der er udført et OnFarmPlus forsøg i kartofler i 2025 efter samme skabelon som i 2024. Forsøget er gennemført i mark 18-0 af landmand Eskild Romme, 9240 Nibe, se Fig. 1.

Forsøgsdesign

- Forsøgsdesignet fremgår af excelark 'Eskil Romme - N-optimum_forsøgsplan 2025.xlsx' og kan ses i Fig. 2.

Geodata: EM38, satellitbestemt NDVI og topografisk vandforsyning

- Pre-trial envirotyping geodata for marken kan ses i Fig. 1 og 3.
- EM38: EM38 data måler jordens elektriske konduktivitet, der er kendt til at korrelere positiv med ler-indhold (og humus-indhold) i jorden.
- dNDVI: satellitbestemte NDVI-data blev hentet fra cropsat.dk for marken for datoerne 2019-06-25, 2021-06-13, 2022-05-29, 2023-05-19 og 2024-05-21 og der blev beregnet en gennemsnitlig NDVI-afvigelse (dNDVI) fra markens median ved et givet tidspunkt.
- TWI: Topographic Wetness Index (se [her](#)) er beregnet ud fra højdedata downloaded hos <https://dataforsyningen.dk/data> vha. the Whitebox tool, <https://www.whiteboxgeo.com>. TWI er en steady-state wetness index, der beskriver den topografisk tilførte mængde vand til et givet punkt; høje værdier afspejler større sandsynlighed for plantetilgængelig vand i jorden.
- Solar Radiation Index (SRI) (Keating et al. 2007, [link](#)) er en indikator for soleksponering og er beregnet som: $SRI = \cos(\text{latitude}) * \cos(\text{slope}) + \sin(\text{latitude}) * \sin(\text{slope}) * \cos(\text{aspect}')$, hvor $\text{aspect}' = 180 - \text{aspect}$ for facing south.

Udbyttedata og behandlingsstriber

- Udbyttedata foreligger i fil 'segess-raw-data.csv'. Udbytte data skulle redigeres i forhold til geografisk position da der ikke var anvendt RTK-GPS-signal. Dette medfører en øget usikkerhed i dataanalysen.
- Udbyttedata blev manuelt tildelt til behandlingsstriber ud fra viden om kørselsmønstre, start-række, og forsøgsdesign, se Fig. 2.
- Udbytte i t/ha er beregnet som $\text{kg harvest} / (\text{speed} / (60 \times 60) \times 1000 \times \Delta t \times 1.65 \text{ m}) \times 1/1000 \times 10000$, hvor er tiden mellem to efterfølgende observationer og 1.65 m er optagerens bredde.
- Udbytteobservationer er tilordnet geodata på baggrund af deres GPS-lokation under antagelse om at geodata varierer forholdsvis lidt med afstand i marken, hvorfor der antages at GPS usikkerheden kun ubetydeligt forstyrrer analysen (Fig. 3).
- Data er anvendt til analysen så fremt følgende inkluderingsskriterier er opfyldt:
 - o $EM38 < 30$ (outlier EM38 værdier ekskluderet)
 - o $\Delta \text{udbytte}_{t2-t1} < 40 \text{ t/ha}$ (ekstreme udbytteudsving langs træk ekskluderet)
 - o $100 \text{ t/ha} > \text{udbytte} > 7.4 \text{ t/ha}$ (ekstreme udbytter ekskluderet)
- Derefter er udbyttedata udglattet med et glidende gennemsnit (vinduestørrelse på 5) og derefter down-samlet til hvert 3. observation.
- Dette gav en udbyttefordeling på Min. = 10.6, 1st Qu. = 39.8, Median = 45.4, Mean = 45.6, 3rd Qu. = 51.3 og Max. = 84.3 t/ha.

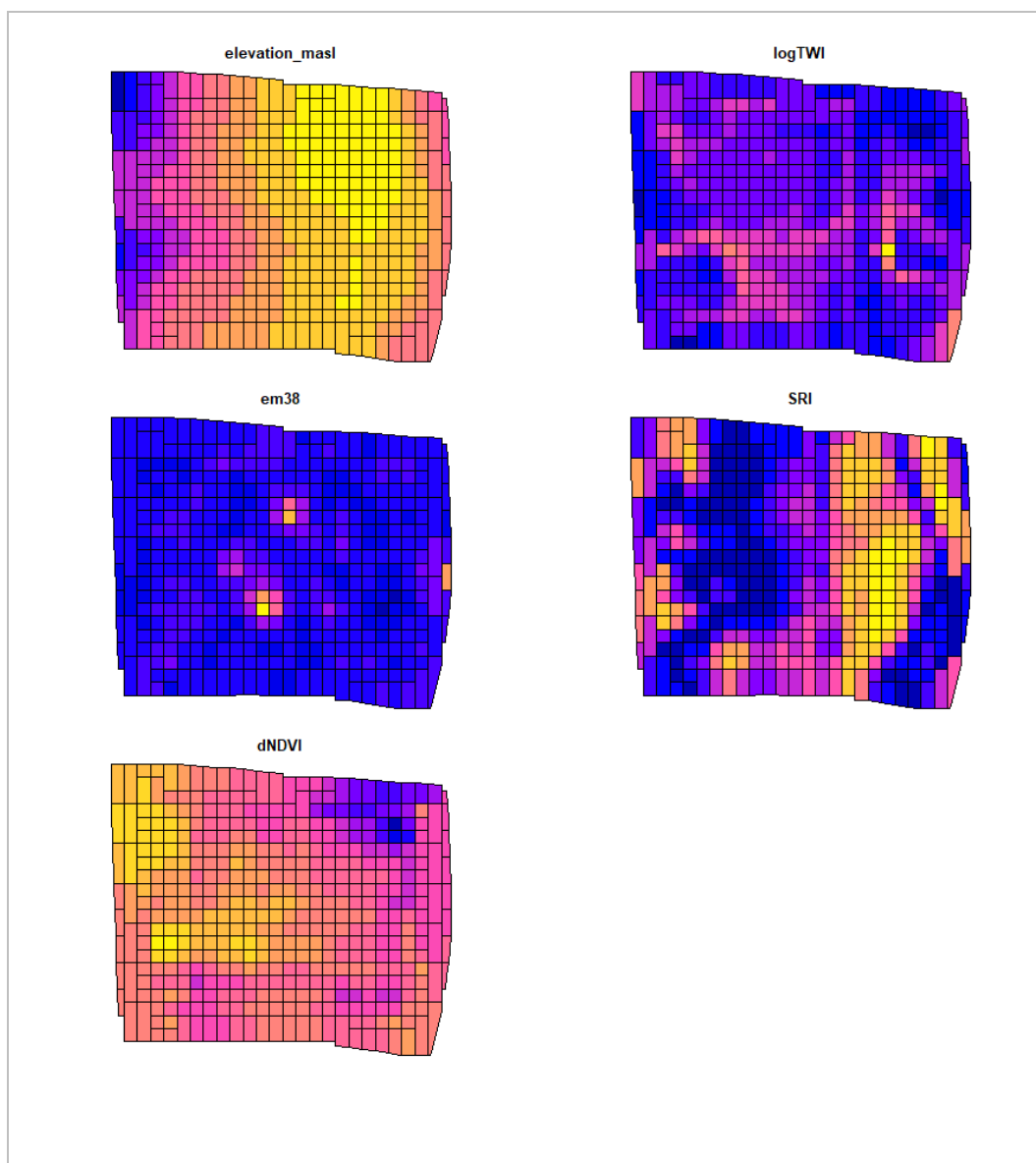


Fig. 1: Forsøgsmark 18-0 og dets karakteristika: højdekort (elevation m.a.s.l, logTWI, EM38, solar radiation index SRI, dNDVI som er satellitbaseret gennemsnitlig NDVI). Forsøget er gennemført i den sydlige halvdel af marken. Gul står for høje værdier.

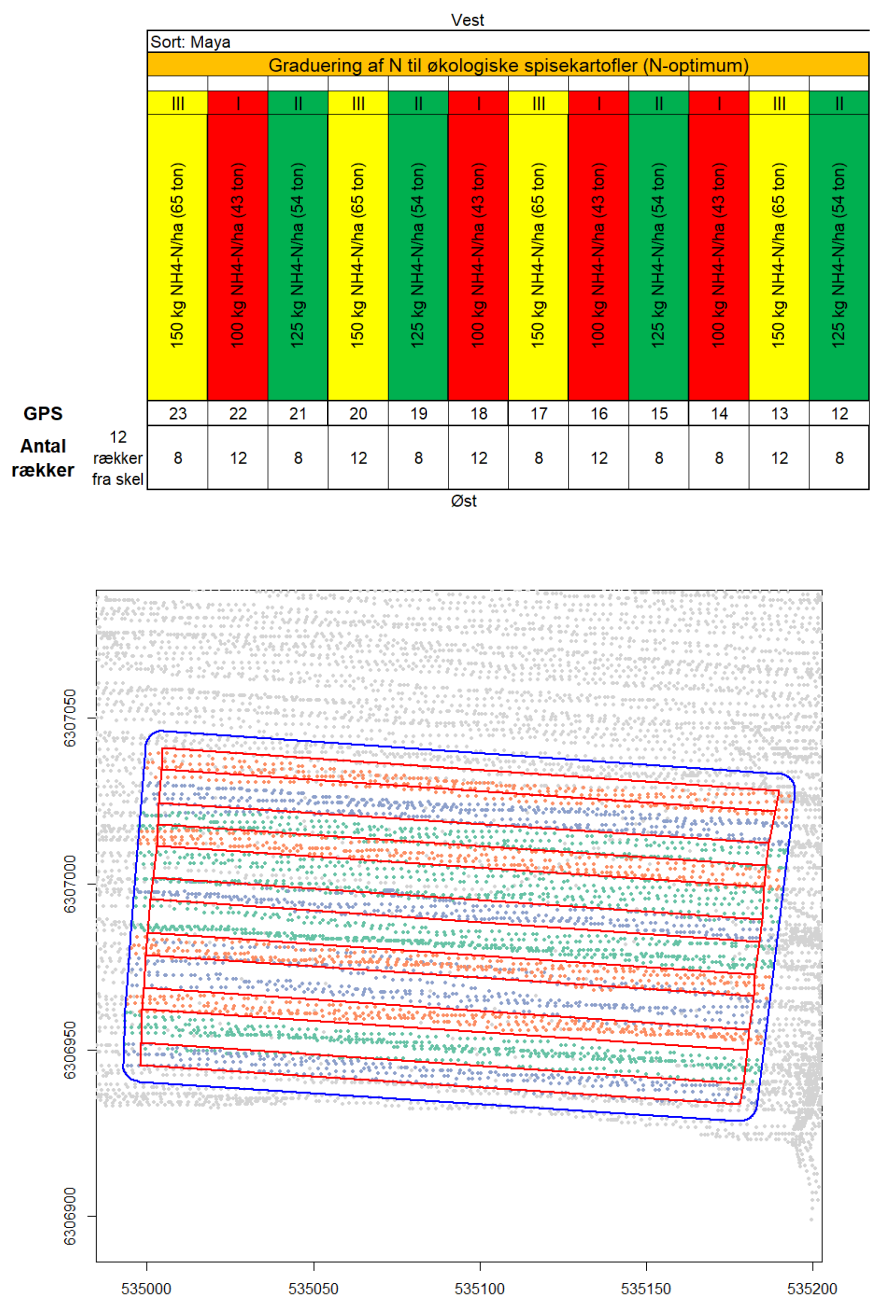


Fig. 2: Forsøgsdesign (øverst) og tildeling af udbytteobservationer til rækker og behandlingsstriber i marken (nederst). GPS usikkerheden ses tydeligt som observationer der falder udenfor GPS koordinater for behandlingsstriberne (i rødt).

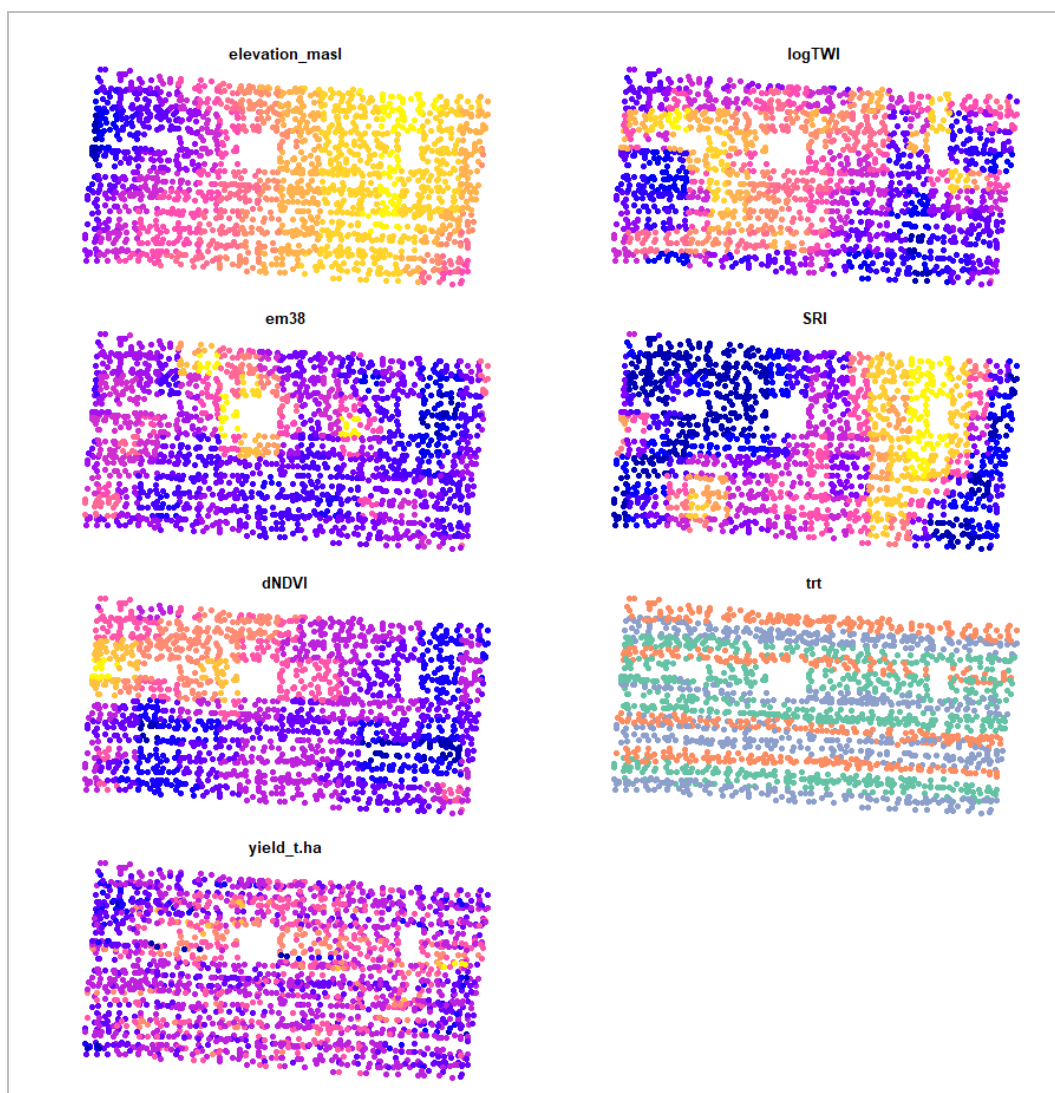


Fig. 3: Udbyttedata, tilordnede geodata og behandling.

Model

- Der er brugt en Generalized Additive Model (GAM) til modellering af høstudbytte. En GAM model nedbryder variansen i data i flere additive komponenter. Her er det følgende komponenter: en spatial komponent (S), en fixed effects komponent (X), og en tilfældig residualkomponent (e). Den spatiale komponent modellerer den spatiale afhængighed i de UTM-transformerede GPS-koordinater. Den anvendte proces er en 2-dimensionel gaussian process spline funktion med en Matern semivariansfunktion med $\kappa = 1.5$ og range-parameteren estimeret ud fra den empiriske semivariansfunktion. En semivariansfunktion beskriver den rumlige afhængighed som funktion af afstanden mellem observationerne. Udglatningsgraden i den gaussiske proces (k_s) blev estimeret som den mindste k_s der gør residualerne spatiale ukorrelerede, dvs. en ikke-signifikant Moran's I test.

$$Yield_i = S_i + X_i + e_i$$

$$= \beta_0 + s(GPS_i | k_s, Matern(1.5, 21)) + \beta_1 EM38 + \beta_2 Trt + s(logTWI_i, SRI_i | k_x) \times Trt + e_i$$

$$\text{hvor } e_i \sim N(0, \sigma^2)$$

Herved er $s(\cdot)$ en spline funktion af udglatningsgrad k . Udglatningsgraden k_x er bestemt ved generaliseret krydsvalidering.

- Der er udført standard modelkontrol.

Forbehold

- I GAM modeller er p-værdier approksimative.

Resultater

- Resultater fremgår af tabel 1 og Fig. 5.
- Modellen kunne forklare 21% af variationen i udbytte (i tons/ha), $R^2=0.21$. Dette er betydeligt lavere end forklaringsgraden sidste år ($R^2=0.62$), hvilket muligvis skyldes problemer med GPS-nøjagtighed eller andre ukendte faktorer.
- De systematiske rumlige landskabs-karakteristika 'topografisk soleksponering' (SRI) og 'topografisk vandforsyning' (logTWI) forklarede en signifikant del af variationen i udbytte ($p < 0.001$), mens jordbundsvariablen EM38 ikke var signifikant ($p = 0.166$) i dette forsøg, om end samme tendens som sidste år er fundet (Fig. 5), i.e., stigende udbytte med stigende EM38.
- Tabel 1 viser udvalgte kontraster for hovedeffekter og for vekselvirkningen mellem behandling og de to landskabskarakteristika logTWI og SRI.
- Sammenligningen af hovedeffekter på tværs af vekselvirkningen indikerer, hvilke variabler der flytter udbytte mest. I modsætning til sidste år, er det i dette forsøg topografisk soleksponering der er den mest betydende variabel (effekt på 6.7 t/ha ved at gå fra nederste til øverste 10%-kvantil, i.e., fra lav til høj soleksponering).
- Den overordnede N-behandlingseffekt blev estimeret til 1.0 t/ha merudbytte for 25 kgN ekstra (led 2), mens udbytte faldt igen ved at give yderligere 25 kgN (led 3), se Tabel 1.
- Der er fundet tendens til at optimal gødskning (125 kgN/ha i denne mark) kunne øge udbytte med 1.5 ($p = 0.088$) til 2.0 t/ha ($p = 0.080$) i de områder i marken, hvor der var god topografisk vandforsyning (90% kvantil logTWI) og hhv. moderat og lav topografisk soleksponering (50% til 10% kvantil SRI). Dermed viser dette års forsøg samme tendens som sidste års forsøg, der fandt signifikante merudbytter på 1.4 ($p < 0.01$) for god topografisk vandforsyning (90% kvantil logTWI) og moderat til lav topografisk soleksponering (50% til 10% kvantil hillshade).
- Dette års forsøg viser også, at for meget gødning (150 kgN/ha i denne mark) kan resultere i udbyttetab ved høj topografisk vandforsyning, men merudbytter ved lav topografisk vandforsyning, se Tabel 1.

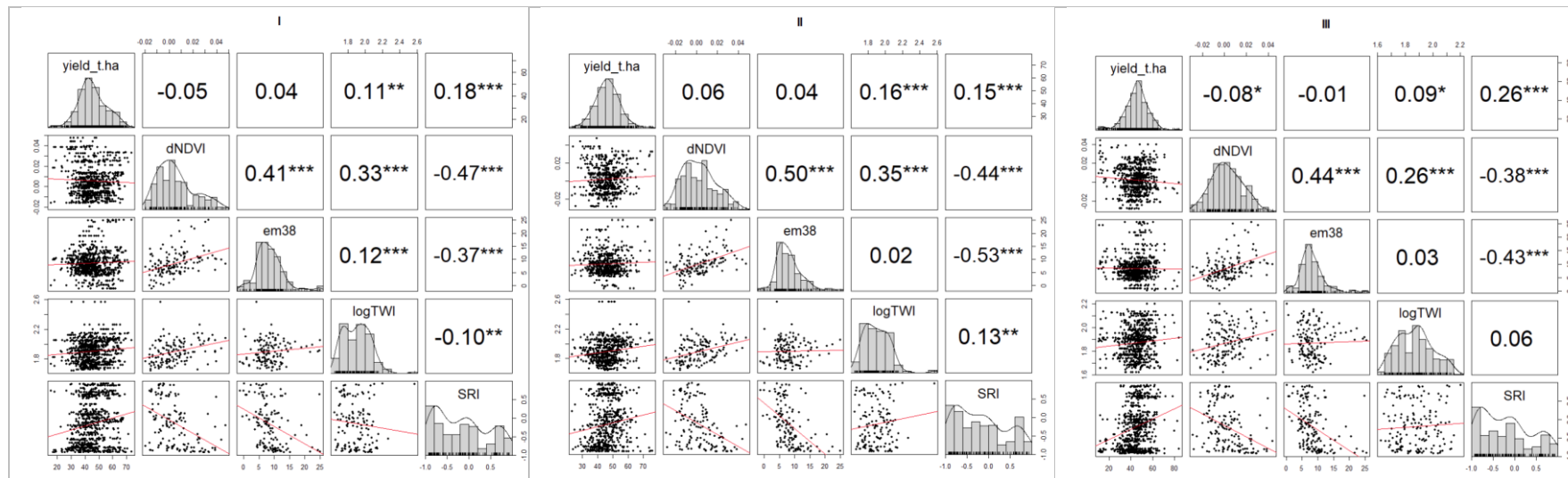


Fig. 4: Pearson korrelationer mellem udbytte og geodata-variablene for de tre behandlingsled (I: 100 kgN, II: 125 kgN, III: 150 kgN). Mens satellitbaseret NDVI (dNDVI) korrelerer signifikant med EM38, logTWI og SRI, så er dette års udbytte ikke signifikant korreleret med EM38 og dNDVI (undtagen svagt negativt i led 3), men signifikant med logTWI og SRI.



Tabel 1: Udvalgte kontraster i udbytte modellen.

Agro Food Park 15,
Skejby
8200 Aarhus N
Tlf. +45 7220 2000
info@teknologisk.dk

Kontrast	Merudbytte (t/ha) ± s.e.	P-værdi
SRI		
90%-kvantil vs. 10%-kvantil	6.7 ± 1.3	<0.001***
logTWI		
90%-kvantil vs. 10%-kvantil	-0.5 ± 0.7	0.455
Trt	Udbytte (t/ha)	
trt1	47.0 ± 0.9	
trt2	48.0 ± 0.9	
trt3	47.4 ± 0.9	
trt 2 vs. trt 1	1.0 ± 0.5	0.039*
trt 3 vs. trt 1	0.4 ± 0.5	0.354
Trt × logTWI		
logTWI = 10%-kvantil		
trt 2 vs. trt 1	1.0 ± 0.8	0.198
trt 3 vs. trt 1	1.9 ± 0.7	0.010*
logTWI = 50%-kvantil		
trt 2 vs. trt 1	1.0 ± 0.5	0.036*
trt 3 vs. trt 1	0.4 ± 0.5	0.370
logTWI = 90%-kvantil		
trt 2 vs. trt 1	1.0 ± 0.7	0.161
trt 3 vs. trt 1	-1.1 ± 0.7	0.176
Trt × logTWI × SRI		
logTWI = 10%-kvantil		
SRI = 10%-kvantil		
trt 2 vs. trt 1	0.7 ± 1.2	0.546
trt 3 vs. trt 1	1.7 ± 1.3	0.166
SRI = 50%-kvantil		
trt 2 vs. trt 1	1.0 ± 1.0	0.279
trt 3 vs. trt 1	1.9 ± 1.0	0.056+
SRI = 90%-kvantil		
trt 2 vs. trt 1	1.3 ± 1.2	0.274
trt 3 vs. trt 1	2.2 ± 1.3	0.081+
logTWI = 50%-kvantil		
SRI = 10%-kvantil		
trt 2 vs. trt 1	1.3 ± 0.9	0.168
trt 3 vs. trt 1	-0.3 ± 1.0	0.759
SRI = 50%-kvantil		
trt 2 vs. trt 1	1.2 ± 0.7	0.089+
trt 3 vs. trt 1	0.2 ± 0.8	0.764
SRI = 90%-kvantil		
trt 2 vs. trt 1	0.6 ± 0.9	0.541
trt 3 vs. trt 1	1.3 ± 0.9	0.157
logTWI = 90%-kvantil		
SRI = 10%-kvantil		
trt 2 vs. trt 1	2.0 ± 1.1	0.080+
trt 3 vs. trt 1	-2.4 ± 1.2	0.053+
SRI = 50%-kvantil		
trt 2 vs. trt 1	1.5 ± 0.9	0.088+
trt 3 vs. trt 1	-1.4 ± 1.0	0.145
SRI = 90%-kvantil		
trt 2 vs. trt 1	-0.4 ± 1.1	0.740
trt 3 vs. trt 1	0.7 ± 1.3	0.590

Lav kvantil i SRI betyder lav soleksponering. Lav kvantil i logTWI betyder lav topografisk vandforsyning.

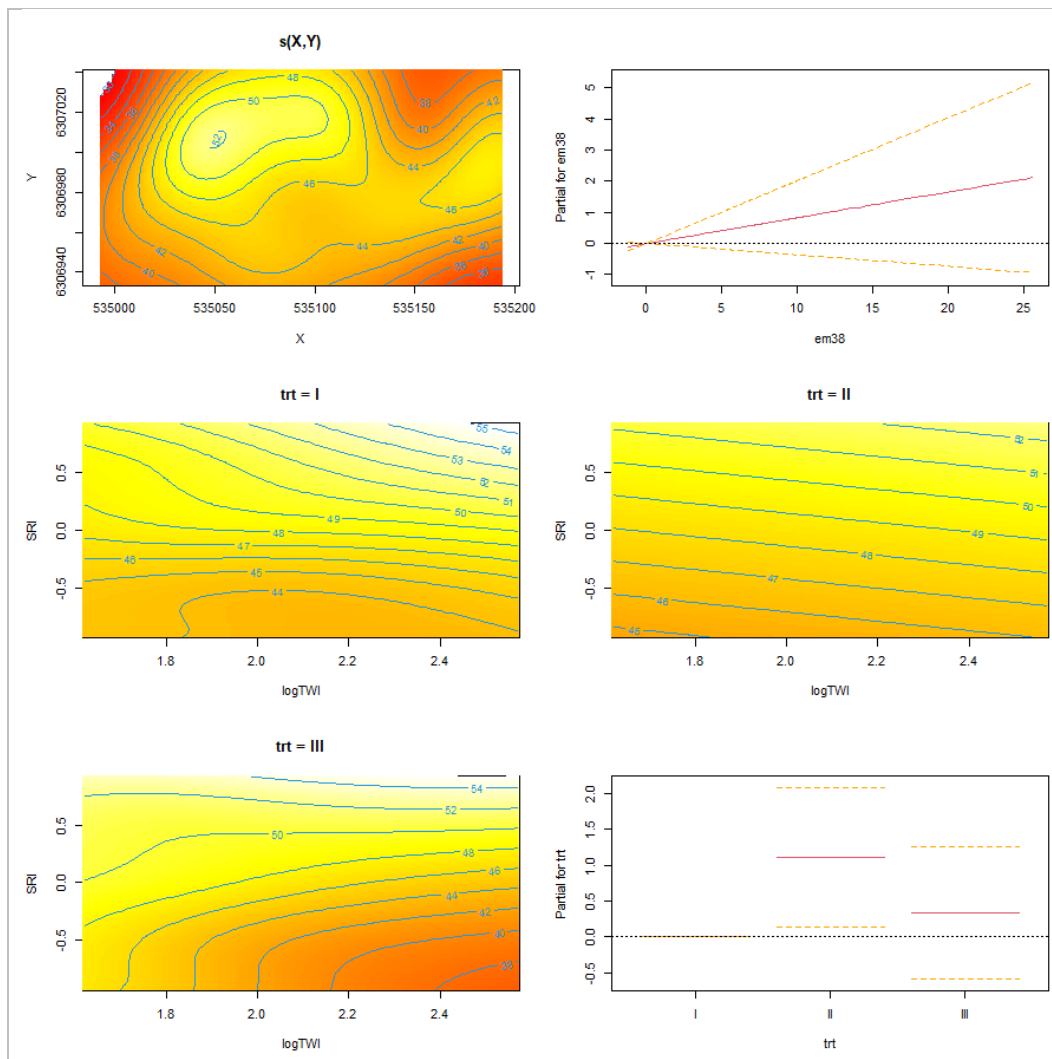


Fig. 5: Estimerede effekter i udbytte-modellen. Graferne viser at udbytte (i ton/ha) stiger med stigende EM38 (ikke signifikant) og er højest ved høj $logTWI$ (topografisk vandforsyning) og høj SRI (stigende topografisk soleksponering), men falder varierende med gødskning (trt I, II, III, svarende til hhv. 100, 125 og 150 kgN/ha). Ved behandling II falder udbytte med faldende $logTWI$ og SRI . Ved behandling III falder udbytte mest med faldende SRI ved god topografisk vandforsyning (høj TWI). På tværs af SRI og $logTWI$ giver behandling 2 (125 kgN/ha) det højeste udbytte.