



Notat: Statistisk modellering af N-min som funktion af markspecifikke parametre

15-08-2018

Philipp Trénel, ph.d., seniorkonsulent, specialist
phtr@teknologisk.dk, +45 72 20 33 92

Formål

- At udvikle en model til bestemmelse af en forventet N-min som funktion af markspecifikke parametre såsom høstafgrøde (HA), efterårsplantedække (EP), husdyrgødning tildelt om efteråret (OE), forfrugt (FF), kløvergræs-forhistorie (FH), husdyrgødning tildelt om foråret (OF) og jordtype (JT) under hensyntagen af en jordtypeafhængig årsvariation ($JT \times Aar$) og en lokalitetseffekt udtrykt som kvadratnet-punktnummer (Punktnr.) ved gentagne målinger fra samme lokalitet.

Overordnede konklusioner

- På baggrund af de foreliggende variabler $HA \times EP \times OE$, FF, FH, OF, JT, Aar og Punktnr. kunne den udviklede model forklare en signifikant del af variationen i N_{min} , se tabel 4, med en andel af forklaret variation på 46.7% (R^2).
- Dette indikerer samtidig, at der er en relativ stor andel af ikke-forklaret variation i N_{min} , og peger dermed på andre, ikke-observerede/ikke-inkluderede variabler, som potentielt betydende variabler, f.eks. prøvetagningstidspunkt, markens mikroklimahistorik, fjernet halm (ja/nej), udbytte, total N-gødsning, driftsgren, m.m. Samtidig resulterer dette i relativt brede prædiktionsintervaller for prædiktionen af et N_{min} -niveau som funktion af en given kombination af $HA \times EP \times OE$, FF, FH, OF og JT for en ny, ukendt mark, se tabel 6.
- $HA \times EP \times OE$, FF og FH er fundet til at være signifikante forklarende variabler ($p < 0.05$), se tabel 4; OF derimod var ikke signifikant i modellen.
- Datahåndteringsstrategien og modellen kunne effektivt eliminere indbyrdes afhængigheder mellem de forklarende variabler, og modelantagelserne kunne opfyldes, hvorfor konklusionerne fra modellen betragtes til at være valide.
- De forklarende variabelers effekt på N_{min} er multiplikativ jf. den udviklede log-normal model. N_{min} -niveauer og N_{min} -multiplikationsfaktorer for de forklarende variabler fremgår af tabel 5 og kan bruges til at beregne forventede N_{min} -niveauer for alle kombinationer af $HA \times EP \times OE$, FF, FH og OF, samt JT.

Metoder

Data

- Data foreligger som excelark "cal20180806_Nmin-data til Philipp.xlsx" og indeholder 458 observationer fra Kvadratnettet fordelt over 3 år (2014 til 2016).
- Der foreligger følgende variabler i datasettet:

Tabel 1: Variabler i datasettet.

Variabel	Forkortelse	Niveauer/led	Kommentar
År	Aar	2014, 2015, 2016	
Jordtype	JT	Ler, Sandet	Sandet: {JB1, JB2, JB3, JB4/JB1-3, JB4/JB12, JB4} Ler: {JB4/JB5-7, JB5, JB6, JB7}
Høstafgrøde	HA	se tabel 2	
Efterårsplantedække	EP	se tabel 2	
Organisk gødning efterår	OE	Ja, Nej, Ukendt	
Forfrugt	FF	se tabel 2	
Forhistorie	FH	Fogr/Klgr, Nej, Ukendt	Fogr/Klgr = Fodergræs el. kløvergræs
Organisk gødning forår	OF	Ja, Nej, Ukendt	
N _{min} (kg/ha)	Nmin_kgha	-	Responsvariabel

- Variablerne forventes, at være højt korrelerede, hvilket medfører risiko for multicollinearitet i modellen og dermed bias i modelestimater. For at mindske problemer med multicollinearitet, er variablerne HA, EP og OE blevet kombineret i en samlet variabel HA×EP×OE bestående af vekselvirkningen/krydsningen af de tre variabler, der dermed beskriver dyrkningsforløb bestående af kombinationen af høstafgrøde, plantedække i efteråret og gødskning med organisk gødning i efteråret. Konsekvensen af krydsningen er, at de herved dannede grupper eller led kun har et begrænset antal observationer.

Datahåndtering

- For at sikre et tilstrækkeligt antal observationer per led ($k > 2$) indenfor alle faktorer i modellen er der brugt følgende datahåndteringsstrategi ud fra en faglig vurdering af Søren Kolind Hvid, Camilla Lemming og Kristoffer Piil, SEGES:
 - HA: "Helsæd" blev kodet om til "Korn".
 - FH: "Fogr_ukl" og "Klgr" blev kodet om til "Fogr/Klgr".
 - FF:
 - "Fodergræs_u_kløver", "Kløvergræs" blev kodet om til "Fogr/Klgr".
 - "Korn", "Korn_m_udlæg", "Helsæd" blev kodet om til "Korn".
 - "Andet", "Ukendt", "Grøntsag" blev kodet om til "Andet".
 - En enkelt observation med N_{min} > 800 kg/ha blev fjernet som *a priori* outlier.
 - Derudover blev følgende observationer fjernet:
 - HA = {"Andet", "Ukendt", "Grøntsag", "Udyrket/Brak/Skov"}
 - EP = {"Andet", "Ukendt", "Udyrket/Brak/Skov"}
 - HA×EP: Der blev generet variabelen HA×EP, som er vekselvirkningen/krydsningen mellem variabelen HA og EP og følgende led blev kodet om eller observationer fjernet, således at alle led har minimum tre observationer i datasettet:
 - "Roer-Vintersæd", "Roer-Ingen" blev kodet om til "Roer-alle"

- "Kartofler-Vintersæd", "Kartofler-Ingen" blev kodet om til "Kartofler-alle"
- "Bælgsæd-Vintersæd", "Bælgsæd-Efterafgrøde" blev kodet om til "Bælgsæd-alle"
- "Frøgræs-Vinterraps", "Korn-Vinterraps" blev kodet om til "Korn-Vinterraps"
- "Fodergræs-Efterafgrøde", "Fodergræs-Fodergræs" blev kodet om til "Fodergræs-Fodergræs"
- "Raps-Ingen", "Raps-Vintersæd" blev kodet om til "Raps-Vintersæd"
- "Majs-Vintersæd", "Majs-Ingen" blev kodet om til "Majs-Ingen"
- "Frøgræs-Efterafgrøde", "Frøgræs-Frøgræs" blev kodet om til "Frøgræs-Frøgræs"
- 1 observation med "Kartofler-Efterafgrøde" blev fjernet fra datasettet.
- $HA \times EP \times OE$: Der blev generet variablen $HA \times EP \times OE$, som er vekselvirkningen/krydsningen mellem variablen $HA \times EP$ og OE og følgende led blev kodet om eller observationer fjernet, således at alle led har minimum tre observationer i datasettet (undtagen "Korn-Vinterraps-Ukendt" med to observationer):
 - "Bælgsæd-alle-Ukendt", "Bælgsæd-alle-Nej" blev kodet om til "Bælgsæd-alle-Nej"
 - "Korn-Frøgræs-Ja", "Korn-Frøgræs-Ukendt" blev kodet om til "Korn-Frøgræs-Ukendt"
 - "Frøgræs-Vintersæd-Ja", "Korn-Vintersæd-Ja" blev kodet om til "Korn-Vintersæd-Ja"
 - "Korn-Frøgræs-Ukendt", "Frøgræs-Frøgræs-Ja" blev kodet om til "Korn-Frøgræs-Ukendt"
 - "Majs-Ingen-Ukendt", "Majs-Ingen-Nej" blev kodet om til "Majs-Ingen-Nej"
 - "Korn-Fodergræs-Nej", "Korn-Fodergræs-Ukendt" blev kodet om til "Korn-Fodergræs-Nej"
 - 1 observation med "Roer-alle-Ja" blev fjernet fra datasettet.
- Dette resulterede i et dataset med i alt 403 observationer, dvs. 55 fjernede observationer.
- Tabel 2 angiver antal observationer indenfor hvert led for alle faktorer.
- Observationerne i de endelige dataset stammer fra i alt 327 kvadratnetpunkter, hvorved 15,9% af punkterne bidrager med to eller tre observationer, se tabel 2. Der forventes derfor en korrelation mellem gentagne observationer fra samme punkt. For at tage højde for denne lokalitetseffekt medtages lokalitet som en tilfældig variabel i modellen, hvor hver kvadratnetpunkt modelleres med normalfordelt afvigelse fra populationsmiddelværdien. Da den største del af observationerne kun bidrager med en enkel observation, blev der oprettet en ny variabel "Punktnr.", hvor alle kvadratnetpunkter med kun 1 observation i datasettet blev tildelt Punktnr.-gruppe "0", som forventes at have et gennemsnit tæt på populationsgennemsnittet, dvs. med en tilfældig afvigelse fra populationsmiddelværdien på omtrent 0.
- For at evaluere, om datahåndteringen har kunne eliminere signifikante afhængigheder mellem variablerne blev der udført en række simple logistiske regressioner mellem variablerne. For hver regression blev der beregnet Cragg & Uhler's pseudo- R^2 og en pseudo-korrelation blev beregnet som $\sqrt{R^2}$. Tabel 3 opsummerer resultaterne og indikerer, at variablen $HA \times EP \times OE$ ikke kan afvises at være uafhængig af både FF og FH, mens der foreligger en moderat afhængighed med JT og OF.
- En anden måde at vurdere multicollinearitet på er beregning af VIF, variance inflation faktor, som angiver den faktor variansen forventes øget grundet collinearitet. Der blev derfor beregnet VIF for alle forklarende variabler i følgende lineær model $N_{min_kgha} \sim HA \times EP \times OE + FF + FH + OF + JT + Aar$ som $GVIF^{1/(2 \times Df)}$, som blev fundet til at være < 1.22 og dermed betragtes at være ubetydeligt.

Tabel 2: Antal observationer indenfor hvert led indenfor alle faktorer i det endelige dataset (n = 403).

Aar										
2014	2015	2016								
141	128	134								
JT										
Ler Sandet										
222	181									
FF										
Andet	Bælgsæd	Fogr/Klgr	Frøgræs	Korn	Kartofler	Majs	Raps	Roer		
14	5	46	18	248	8	24	35	5		
FH										
Fogr/Klgr	Nej	Ukendt								
60	247	96								
OF										
Ja Nej										
218 185										
HAXEPxOE										
Korn-Vintersæd-Nej		Korn-Ingen-Nej		Korn-Efterafgrøde-Nej						
83		56		38						
Fodergræs-Fodergræs-Nej		Raps-Vintersæd-Nej		Korn-Efterafgrøde-Ukendt						
23		21		17						
Korn-Vinterraps-Nej		Majs-Ingen-Nej		Frøgræs-Frøgræs-Nej						
15		14		13						
Korn-Vintersæd-Ja		Korn-Vintersæd-Ukendt		Fodergræs-Fodergræs-Ja						
13		13		11						
Korn-Ingen-Ukendt		Korn-Fodergræs-Nej		Fodergræs-Fodergræs-Ukendt						
10		9		8						
Kartofler-alle-Nej		Korn-Frøgræs-Nej		Korn-Vinterraps-Ja						
7		6		6						
Majs-Efterafgrøde-Nej		Majs-Efterafgrøde-Ukendt		Korn-Frøgræs-Ukendt						
5		5		4						
Korn-Ingen-Ja		Raps-Vintersæd-Ja		Roer-alle-Nej						
4		4		4						
Bælgsæd-alle-Nej		Frøgræs-Vintersæd-Nej		Kartofler-alle-Ukendt						
3		3		3						
Raps-Vintersæd-Ukendt		Korn-Vinterraps-Ukendt								
3		2								
Punktnr med 1, 2 el. 3 observationer										
1	2	3								
275	28	24								

- Endeligt blev der i vurderingen af signifikante termer i modellen valgt en sekventiel vurdering af signifikante termer (type I SS) med følgende prioritering af variablerne i forhold til signifikansvurdering: 1) HA×EP×OE, 2) FF, 3) FH, 4) OF og 5) JT. Prioriteringen blev fastlagt ud fra en faglig vurdering foretaget af Søren Kolind Hvid, Camilla Lemming og Kristoffer Piil, SEGES. Denne sekventielle signifikansvurdering gør, at eventuelle tilbageværende afhængigheder mellem forklarende variabler håndteres i den måde man tolker modellen på, f.eks. er FF-effekten den effekt, der er tilbage efter at HA×EP×OE-effekten er fittet til data, FH-effekten er den effekt, der er tilbage efter at HA×EP×OE- og FF-effekten er fittet til data, osv.

Tabel 3: Estimerede pseudokorrelationer mellem variablerne.

	FH	FF	OF	HA	EP	OE	HA×EP×OE
JT	0.26***	NS	0.24***	0.38*	0.19**	0.15*	0.38*
FH	-	NS	0.27***	NS	0.18*	NS	NS
FF	-	-	0.29**	NS	NS	NS	NS
OF	-	-	-	0.37*	0.17**	NS	0.37*
HA	-	-	-	-	0.38***	0.31**	-
EP	-	-	-	-	-	0.39***	-

NS: ikke signifikant, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$

Model

- Der er brugt følgende log-normal lineære mixed effects model:

$$\log(N_{min,i}) = \beta_0 + \beta_1 HA \times EP \times OE_i + \beta_2 FF_i + \beta_3 FH_i + \beta_4 OF_i + JT_{j[i]} \times Aar_{k[i]} + Punktnr_{l[i]} + e_i$$

hvor $JT_{j[i]} \times Aar_{k[i]}$ beskriver en normalfordelt tilfældig effekt af vekselvirkningen mellem den j 'te JT og det k 'te år, som vedrører den i 'te observation. Ligeledes er $Punktnr_{l[i]}$ den normalfordelte tilfældige effekt for den l 'te punktnummer-gruppe, som den i 'te observation tilhører. Residualerne er modelleret som normalfordelte. Alle tilfældige effekter er modelleret som uafhængige effekter.

- Der blev undersøgt for alle tovejs vekselvirkninger i modellen, men disse var enten ikke signifikante (HA×EP×OE:FF, FF:FH, FH:OF) eller kunne ikke fittes grundet for få frihedsgrader (HA×EP×OE:FH, HA×EP×OE:OF, FF:OF).
- Der er foretaget standard modelkontrol, se appendiks.
- Alle analyser er foretaget i R (R Core team, 2018).

Resultater

- Modellen indfrie de modelantagelserne med rimelighed, se appendiks, hvilket indikerer, at $N_{\min}$ påvirkes multiplikativt (og ikke additivt) af de forklarende variabler jf. log-normal modellen.
- Fig. 1 viser sammenhængen mellem prædikeret og observeret $N_{\min}$.
- Modellen udviste en samlet forklaringsgrad på $R^2 = 0.476$, hvorved kvadratnetpunkter med kun én observation isoleret set udviste en $R^2 = 0.37$ og kvadratnetpunkter med flere observationer isoleret set udviste en $R^2 = 0.67$. Dette indikerer, at der er en betydelig stedsspecifik markeffekt eller lokalitetseffekt på $N_{\min}$ ud over effekten af de forklarende variabler HA×EP×OE, FF, FH, OF og effekten af JT og Aar.
- Variansen i den estimerede model fordelte sig procentuelt på følgende måde mellem varianskomponenterne: Punktnr. = 21%, JT×Aar = 30% og residual = 49%. Årsvariationen var herved dobbelt så stor i sandede jordtyper sammenlignet med ler, hhv. 20% og 10% af den totale varians. Fig. 1 viser de estimerede afvigelser for kombinationerne af JT og Aar udtrykt som den faktor, $N_{\min}$ skal multipliceres med, relativt til et gennemsnitsår og en gennemsnitsjordtype.
- Alle modeltermer/variabler undtagen OF udviste signifikans i en type II SS ANOVA, se tabel 4. Da OF udviser den forventede tendens, med øget $N_{\min}$ ved OF = "Ja", er variabelen bibeholdt i modellen.
- Tabel 5 viser de estimerede $N_{\min}$ -niveauer for alle HA×EP×OE-led, samt $N_{\min}$ -multiplikationsfaktorerne for alle led i de resterende forklarende variabler. For at beregne kombinationen af flere faktorer skal $N_{\min}$ -niveauet multipliceres med de relevante $N_{\min}$ -multiplikationsfaktorer. F.eks. kombinationen $HA \times EP \times OE_{\text{Korn-Ingen-Nej}} \times FF_{\text{Fogr/Klgr}} \times FH_{\text{Fogr/Klgr}} \times OF_{\text{Nej}} = 44.6 \times 1.29 \times 1.30 \times 1 = 74.8 \text{ kgN/ha}$. Tabellen angiver afrundede værdier og beregningerne bliver derfor kun approksimativ. Se vedlagte bilag "Coefs.xlsx" for værdier af højere præcision. OBS: beregninger ud fra denne tabel baseres kun på de såkaldte faste effekter og ser bort fra de tilfældige effekter.
- Tabel 6 viser $N_{\min}$ -niveauer for alle faktorkombinationer, der optræder i datasettet (men midlet over år), fremkommet på baggrund af en parametriske simulering ($N = 10.000$) af responser fra den estimerede model og dens varians-covarians struktur af tilfældige effekter. De estimerede usikkerheder er derfor her betydeligt større, idet usikkerheden grundet lokalitets-, JT×Aars- og residualvariationen (den u-forklarede variation) er inkluderet i beregningen af middel- $N_{\min}$ -niveauet og 95%-prædiktionsintervallet. OBS: Vær opmærksom på, at de simulerede $N_{\min}$ -niveauer kun approksimativt stemmer overens med en beregning ud fra tabel 5. F.eks. $HA \times EP \times OE_{\text{Korn-Ingen-Nej}} \times FF_{\text{Fogr/Klgr}} \times FH_{\text{Fogr/Klgr}} \times OF_{\text{Nej}} \times JT_{\text{Sandet}} = 74.8 \times 1.098135 = 82.2 \text{ kgN/ha}$ i tabel 5 vs. 87.0 (33.4, 226.3) kgN/ha i tabel 6.

Tabel 4: ANOVA-tabel.

Analysis of Variance Table of type I with Satterthwaite approximation for degrees of freedom							
	Sum Sq	Mean Sq	NumDF	DenDF	F.value	Pr(>F)	
HA×EP×OE	257.814	8.8901	29	74.47	47.644	< 2.2e-16	***
FF	5.185	0.6481	8	337.62	3.474	0.0007244	***
FH	1.804	0.9020	2	359.96	4.834	0.0084776	**
OF	0.491	0.4907	1	361.52	2.629	0.1057671	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1							

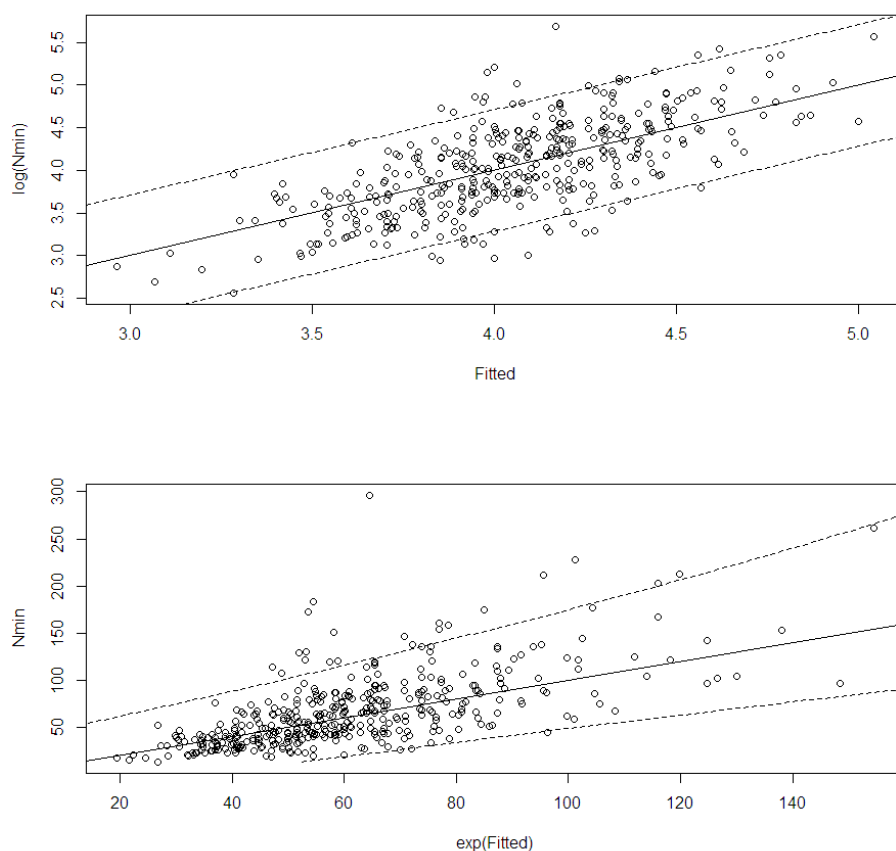


Fig. 1: Sammenhæng mellem prædikeret (Fitted) og observeret $N_{\min}$ på hhv. log-skala og tilbagetransformeret skala. 95%-prædiktionsintervallet er angivet som stiplede linjer. Grafen viser, at usikkerheden vokser med stigende $N_{\min}$ -niveau jf. log-normal modellen.

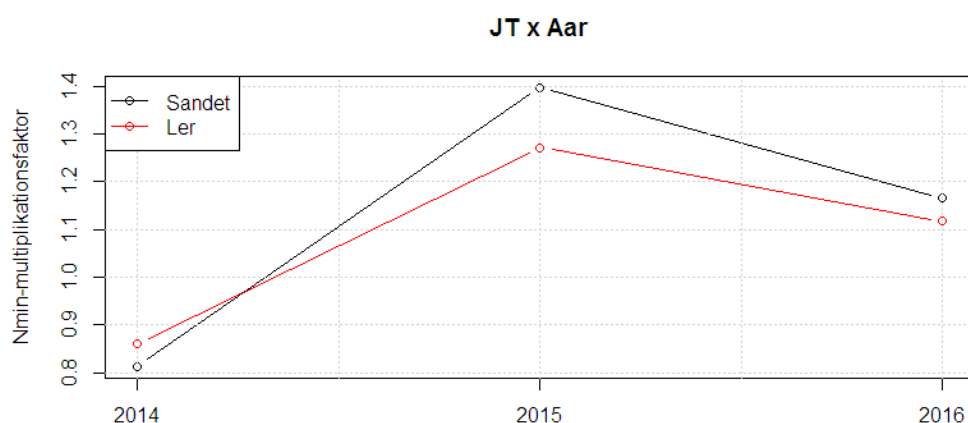


Fig. 2: Estimeret tilfældig effekt af JT $\times$ Aar, der viser, at sandede jorde udviste en større $N_{\min}$ end lerjorde i 2015, mens forskellen mellem jordtyperne var mindre betydelige i 2014 og 2016. Gennemsnitlig $N_{\min}$ -multiplikationsfaktor for Sandet = 1,098135; gennemsnitlig $N_{\min}$ -multiplikationsfaktor for Ler = 1,069678.

Tabel 5: Estimerede $N_{\min}$ -niveauer (og 95% konfidensintervaller) for alle HA×EP×OE-led, samt $N_{\min}$ -multiplikationsfaktorerne for alle led i de resterende forklarende variable, som $N_{\min}$ -niveauet skal multipliceres med for at beregne den samlede effekt af kombinationen. F.eks. kombinationen $HA \times EP \times OE_{\text{Korn-Ingen-Nej}} \times FF_{\text{Fogr/Klgr}} \times FH_{\text{Fogr/Klgr}} \times OF_{\text{Nej}} = 44.6 \times 1.29 \times 1.30 \times 1 = 74.8$ kgN/ha. Tabellen angiver afrundede værdier og beregningerne bliver derfor kun approksimativ. Se vedlagte bilag "Coefs.xlsx" for værdier af højere præcision.

	$N_{\min}$	Nedre 95%CI	Øvre 95%CI	signifikansgruppe
HA×EP×OE: Korn-Ingen-Nej	44,6	34,7	57,3	bcdef
HA×EP×OE: Bælgsæd-alle-Nej	56,3	34,3	92,4	abcdef
HA×EP×OE: Fodergræs-Fodergræs-Ja	44,1	31,3	62,3	abcdef
HA×EP×OE: Fodergræs-Fodergræs-Nej	31,0	23,1	41,7	def
HA×EP×OE: Fodergræs-Fodergræs-Ukendt	37,6	25,6	55,2	bcdef
HA×EP×OE: Korn-Frøgræs-Ukendt	53,0	34,3	81,8	abcdef
HA×EP×OE: Frøgræs-Frøgræs-Nej	45,0	32,3	62,7	bcdef
HA×EP×OE: Korn-Vintersæd-Ja	94,1	70,1	126,3	a
HA×EP×OE: Frøgræs-Vintersæd-Nej	50,3	31,7	79,8	abcdef
HA×EP×OE: Kartoffler-alle-Nej	62,7	43,4	90,5	abcde
HA×EP×OE: Kartoffler-alle-Ukendt	30,0	18,2	49,3	bcdef
HA×EP×OE: Korn-Efterafgrøde-Nej	39,8	30,8	51,4	cdef
HA×EP×OE: Korn-Efterafgrøde-Ukendt	28,5	20,7	39,1	ef
HA×EP×OE: Korn-Fodergræs-Nej	24,1	17,0	34,1	f
HA×EP×OE: Korn-Frøgræs-Nej	46,7	31,7	68,8	abcdef
HA×EP×OE: Korn-Ingen-Ja	58,5	38,6	88,8	abcdef
HA×EP×OE: Korn-Ingen-Ukendt	32,0	22,8	45,0	cdef
HA×EP×OE: Korn-Vinterraps-Ja	39,0	26,9	56,7	bcdef
HA×EP×OE: Korn-Vinterraps-Nej	44,6	33,5	59,4	bcdef
HA×EP×OE: Korn-Vinterraps-Ukendt	58,5	32,9	104,1	abcdef
HA×EP×OE: Korn-Vintersæd-Nej	54,8	42,9	70,1	bc
HA×EP×OE: Korn-Vintersæd-Ukendt	46,9	34,1	64,4	bcdef
HA×EP×OE: Majs-Efterafgrøde-Nej	58,1	37,5	89,8	abcdef
HA×EP×OE: Majs-Efterafgrøde-Ukendt	48,1	31,4	73,8	abcdef
HA×EP×OE: Majs-Ingen-Nej	79,2	56,6	111,0	ab
HA×EP×OE: Raps-Vintersæd-Ja	60,1	39,7	91,0	abcdef
HA×EP×OE: Raps-Vintersæd-Nej	56,8	43,3	74,4	abcd
HA×EP×OE: Raps-Vintersæd-Ukendt	47,2	29,6	75,4	abcdef
HA×EP×OE: Roer-alle-Nej	33,5	22,3	50,3	bcdef
	$N_{\min}$ - multi- plikations- faktor	Nedre 95%CI	Øvre 95%CI	signifikansgruppe
FF: Korn	1,00	1,00	1,00	3
FF: Andet	0,90	0,73	1,12	23
FF: Bælgsæd	0,82	0,59	1,15	23
FF: Fogr/Klgr	1,29	1,06	1,56	1
FF: Frøgræs	1,05	0,84	1,30	123
FF: Kartoffler	0,73	0,54	0,97	3
FF: Majs	0,82	0,67	1,00	3
FF: Raps	1,19	1,04	1,37	12
FF: Roer	0,85	0,61	1,19	123
FH: Nej	1,00	1,00	1,00	y
FH: Fogr/Klgr	1,30	1,12	1,51	x
FH: Ukendt	1,00	0,90	1,11	y
OF: Nej	1,00	1,00	1,00	I
OF: Ja	1,09	1,00	1,19	I

Signifikansgruppe: led med samme symbol er ikke signifikant forskellige. For HA×EP×OE efter en Tukey multiple testing korrektion; for de andre faktorer uden korrektion.

Tabel 6: Simulerede $N_{\min}$ -niveauer (og 95% prædiktionsintervaller) for alle faktor-kombinationer, der optræder i datasettet, sorteret i faldende $N_{\min}$ -orden. Se vedlagte bilag "nwd.xlsx", såfremt der ønskes en anden sortering. Vær opmærksom på, at de simulerede $N_{\min}$ -niveauer kun approksimativt stemmer overens med en beregning ud fra tabel 5. F.eks. $HAXEPxOE_{\text{Korn-Ingen-Nej}} \times FF_{\text{Fogr/Klgr}} \times FH_{\text{Fogr/Klgr}} \times OF_{\text{Nej}} \times JT_{\text{Sandet}} = 74.8 \times 1.098135 = 82.2$ kgN/ha i tabel 5 vs. 87.0 (33.4, 226.3) kgN/ha her.

HAXEPxOE	FF	FH	OF	JT	$N_{\min}$	Nedre 95%PI	Øvre 95%PI
Majs-Ingen-Nej	Fogr/Klgr	Fogr/Klgr	Ja	Sandet	168,7	64,9	438,6
Korn-Vintersæd-Ja	Raps	Nej	Ja	Ler	139,0	56,5	341,7
Korn-Vintersæd-Ja	Raps	Nej	Nej	Ler	126,7	51,5	311,6
Majs-Ingen-Nej	Fogr/Klgr	Ukendt	Ja	Ler	125,9	51,2	309,4
Korn-Vintersæd-Ja	Majs	Fogr/Klgr	Nej	Sandet	116,7	44,9	303,8
Korn-Vintersæd-Ja	Korn	Nej	Ja	Ler	116,3	47,0	287,5
Korn-Vintersæd-Ja	Korn	Nej	Nej	Sandet	109,5	42,2	284,2
Korn-Vintersæd-Ja	Korn	Ukendt	Nej	Ler	106,5	42,9	264,4
Korn-Vintersæd-Ja	Korn	Nej	Nej	Ler	106,3	43,0	262,8
Majs-Ingen-Nej	Majs	Fogr/Klgr	Ja	Ler	104,8	42,4	259,0
Majs-Efterafgrøde-Ukendt	Fogr/Klgr	Fogr/Klgr	Ja	Sandet	102,2	39,8	262,8
Majs-Ingen-Nej	Korn	Ukendt	Ja	Ler	98,0	39,9	240,6
Fodergræs-Fodergræs-Ja	Fogr/Klgr	Fogr/Klgr	Ja	Sandet	93,8	36,2	243,0
Fodergræs-Fodergræs-Ja	Fogr/Klgr	Fogr/Klgr	Ja	Ler	91,3	37,1	224,6
Korn-Vintersæd-Ja	Roer	Nej	Nej	Ler	90,5	36,7	223,1
Majs-Ingen-Nej	Andet	Nej	Ja	Sandet	90,4	34,9	233,8
Korn-Vintersæd-Nej	Korn	Fogr/Klgr	Ja	Sandet	90,0	34,5	234,8
Korn-Vintersæd-Nej	Korn	Fogr/Klgr	Ja	Ler	88,1	35,6	218,2
Korn-Ingen-Nej	Fogr/Klgr	Fogr/Klgr	Nej	Sandet	87,0	33,4	226,3
Bælgsæd-alle-Nej	Korn	Fogr/Klgr	Nej	Sandet	85,3	32,8	221,9
Korn-Vintersæd-Nej	Korn	Fogr/Klgr	Nej	Sandet	83,0	32,0	215,7
Korn-Vintersæd-Nej	Raps	Nej	Ja	Sandet	82,9	31,9	215,1
Majs-Ingen-Nej	Majs	Nej	Ja	Sandet	82,4	31,8	213,3
Majs-Ingen-Nej	Majs	Ukendt	Ja	Sandet	82,3	31,7	213,7
Korn-Vintersæd-Nej	Fogr/Klgr	Ukendt	Nej	Sandet	82,0	31,7	212,7
Korn-Vintersæd-Nej	Raps	Nej	Ja	Ler	80,8	32,7	199,5
Majs-Ingen-Nej	Majs	Nej	Ja	Ler	80,2	32,3	198,7
Fodergræs-Fodergræs-Ukendt	Fogr/Klgr	Fogr/Klgr	Ja	Sandet	80,0	31,1	206,3
Kartofler-alle-Nej	Korn	Nej	Ja	Sandet	79,5	30,6	206,6
Kartofler-alle-Nej	Korn	Ukendt	Ja	Sandet	79,1	30,5	205,4
Korn-Ingen-Ja	Raps	Ukendt	Nej	Ler	78,9	31,9	194,9
Kartofler-alle-Nej	Frøgræs	Nej	Nej	Sandet	76,2	29,4	197,8
Korn-Vintersæd-Nej	Raps	Nej	Nej	Sandet	76,2	29,2	198,5
Majs-Ingen-Nej	Majs	Nej	Nej	Sandet	75,9	29,5	195,1
Korn-Vintersæd-Nej	Raps	Ukendt	Nej	Ler	74,2	30,1	182,7
Korn-Vintersæd-Nej	Raps	Nej	Nej	Ler	74,1	30,1	182,7
Korn-Vinterraps-Ukendt	Korn	Nej	Ja	Sandet	74,1	28,6	191,9
Majs-Efterafgrøde-Nej	Korn	Nej	Ja	Sandet	73,9	28,6	191,2
Korn-Ingen-Nej	Korn	Fogr/Klgr	Ja	Sandet	73,3	28,1	191,2
Korn-Ingen-Ja	Korn	Nej	Ja	Ler	72,6	29,4	179,5
Raps-Vintersæd-Nej	Korn	Ukendt	Ja	Sandet	72,1	27,8	187,1
Raps-Vintersæd-Nej	Korn	Nej	Ja	Sandet	72,0	27,5	188,1
Korn-Ingen-Nej	Korn	Fogr/Klgr	Ja	Ler	72,0	29,0	178,4
Korn-Vintersæd-Ukendt	Raps	Nej	Ja	Sandet	70,9	27,3	184,2
Fodergræs-Fodergræs-Ja	Korn	Fogr/Klgr	Ja	Ler	70,9	28,7	175,3
Kartofler-alle-Nej	Korn	Nej	Nej	Ler	70,7	28,7	174,7
Raps-Vintersæd-Nej	Korn	Nej	Ja	Ler	70,3	28,3	174,4
Raps-Vintersæd-Nej	Korn	Ukendt	Ja	Ler	70,2	28,4	173,4

Fodergræs-Fodergræs-Ja	Fogr/Klgr	Nej	Ja	Ler	70,1	28,5	172,5
Bælgsæd-alle-Nej	Majs	Fogr/Klgr	Nej	Sandet	69,8	26,9	181,3
Raps-Vintersæd-Ja	Korn	Nej	Nej	Sandet	69,8	27,0	180,7
Korn-Vintersæd-Nej	Korn	Nej	Ja	Sandet	69,6	26,6	182,6
Korn-Vintersæd-Nej	Korn	Ukendt	Ja	Sandet	69,5	26,8	180,0
Bælgsæd-alle-Nej	Frøgræs	Nej	Nej	Sandet	68,7	26,4	178,7
Korn-Ingen-Ja	Korn	Nej	Nej	Sandet	68,4	26,3	177,8
Raps-Vintersæd-Ja	Korn	Ukendt	Nej	Ler	68,3	27,6	169,0
Raps-Vintersæd-Ja	Korn	Nej	Nej	Ler	68,1	27,5	168,6
Korn-Vinterraps-Ukendt	Korn	Nej	Nej	Sandet	67,9	25,9	178,3
Frøgræs-Frøgræs-Nej	Korn	Fogr/Klgr	Nej	Sandet	67,9	25,9	177,6
Korn-Ingen-Nej	Raps	Ukendt	Ja	Sandet	67,9	26,1	176,3
Korn-Vintersæd-Nej	Korn	Ukendt	Ja	Ler	67,7	27,4	167,5
Korn-Ingen-Nej	Raps	Nej	Ja	Sandet	67,5	26,0	175,1
Korn-Vintersæd-Nej	Korn	Nej	Ja	Ler	67,2	27,2	166,1
Korn-Frøgræs-Ukendt	Korn	Nej	Ja	Sandet	66,9	25,7	173,8
Korn-Ingen-Ja	Korn	Nej	Nej	Ler	66,3	26,8	163,7
Fodergræs-Fodergræs-Nej	Fogr/Klgr	Fogr/Klgr	Ja	Sandet	66,1	25,6	170,9
Raps-Vintersæd-Nej	Korn	Nej	Nej	Sandet	66,1	25,4	172,1
Korn-Ingen-Nej	Raps	Nej	Ja	Ler	65,7	26,7	161,7
Korn-Ingen-Nej	Korn	Fogr/Klgr	Nej	Ler	65,7	26,5	162,4
Korn-Frøgræs-Ukendt	Korn	Nej	Ja	Ler	65,5	26,5	162,2
Korn-Vintersæd-Nej	Frøgræs	Nej	Nej	Ler	65,5	26,5	162,2
Korn-Frøgræs-Ukendt	Korn	Ukendt	Ja	Ler	65,4	26,4	161,6
Raps-Vintersæd-Nej	Korn	Ukendt	Nej	Ler	64,6	26,2	159,2
Raps-Vintersæd-Nej	Korn	Nej	Nej	Ler	64,2	25,9	158,9
Fodergræs-Fodergræs-Nej	Fogr/Klgr	Fogr/Klgr	Ja	Ler	64,1	25,9	158,8
Frøgræs-Vintersæd-Nej	Korn	Nej	Ja	Sandet	63,9	24,6	166,2
Korn-Vintersæd-Nej	Korn	Ukendt	Nej	Sandet	63,9	24,7	165,4
Korn-Vintersæd-Nej	Korn	Nej	Nej	Sandet	63,9	24,8	164,8
Korn-Vinterraps-Ja	Korn	Fogr/Klgr	Ja	Ler	62,8	25,4	155,0
Fodergræs-Fodergræs-Ukendt	Korn	Fogr/Klgr	Ja	Sandet	62,2	23,9	162,0
Frøgræs-Vintersæd-Nej	Korn	Nej	Ja	Ler	62,1	25,1	153,3
Korn-Vintersæd-Nej	Korn	Nej	Nej	Ler	62,0	25,1	153,0
Korn-Vintersæd-Nej	Korn	Ukendt	Nej	Ler	62,0	24,9	154,1
Korn-Vintersæd-Ukendt	Majs	Fogr/Klgr	Ja	Ler	61,6	24,9	152,0
Korn-Vintersæd-Nej	Andet	Ukendt	Ja	Ler	61,1	24,8	150,6
Korn-Ingen-Nej	Andet	Fogr/Klgr	Nej	Sandet	60,8	23,3	158,6
Fodergræs-Fodergræs-Nej	Fogr/Klgr	Fogr/Klgr	Nej	Sandet	60,5	23,3	157,2
Majs-Efterafgrøde-Nej	Majs	Ukendt	Ja	Sandet	60,4	23,3	156,4
Majs-Efterafgrøde-Nej	Majs	Nej	Ja	Sandet	60,4	23,4	155,9
Korn-Efterafgrøde-Ukendt	Fogr/Klgr	Fogr/Klgr	Ja	Sandet	60,3	23,2	156,7
Korn-Efterafgrøde-Nej	Raps	Nej	Ja	Sandet	60,3	23,3	156,1
Frøgræs-Frøgræs-Nej	Frøgræs	Nej	Ja	Sandet	59,8	23,0	155,4
Korn-Vintersæd-Ukendt	Korn	Ukendt	Ja	Sandet	59,4	22,8	155,0
Korn-Vintersæd-Ukendt	Korn	Nej	Ja	Sandet	59,3	22,9	153,9
Korn-Frøgræs-Nej	Korn	Nej	Ja	Sandet	59,3	22,8	154,4
Korn-Ingen-Nej	Frøgræs	Nej	Ja	Sandet	59,1	22,9	153,0
Fodergræs-Fodergræs-Nej	Fogr/Klgr	Fogr/Klgr	Nej	Ler	59,1	23,9	146,0
Korn-Efterafgrøde-Nej	Korn	Fogr/Klgr	Nej	Ler	58,7	23,8	144,5
Korn-Efterafgrøde-Nej	Raps	Nej	Ja	Ler	58,5	23,6	145,2
Frøgræs-Frøgræs-Nej	Frøgræs	Ukendt	Ja	Ler	58,3	23,6	144,1
Korn-Vintersæd-Ukendt	Korn	Ukendt	Ja	Ler	58,1	23,5	143,8
Raps-Vintersæd-Ukendt	Korn	Nej	Ja	Ler	58,1	23,7	142,6
Korn-Vintersæd-Ukendt	Korn	Nej	Ja	Ler	57,8	23,3	143,0

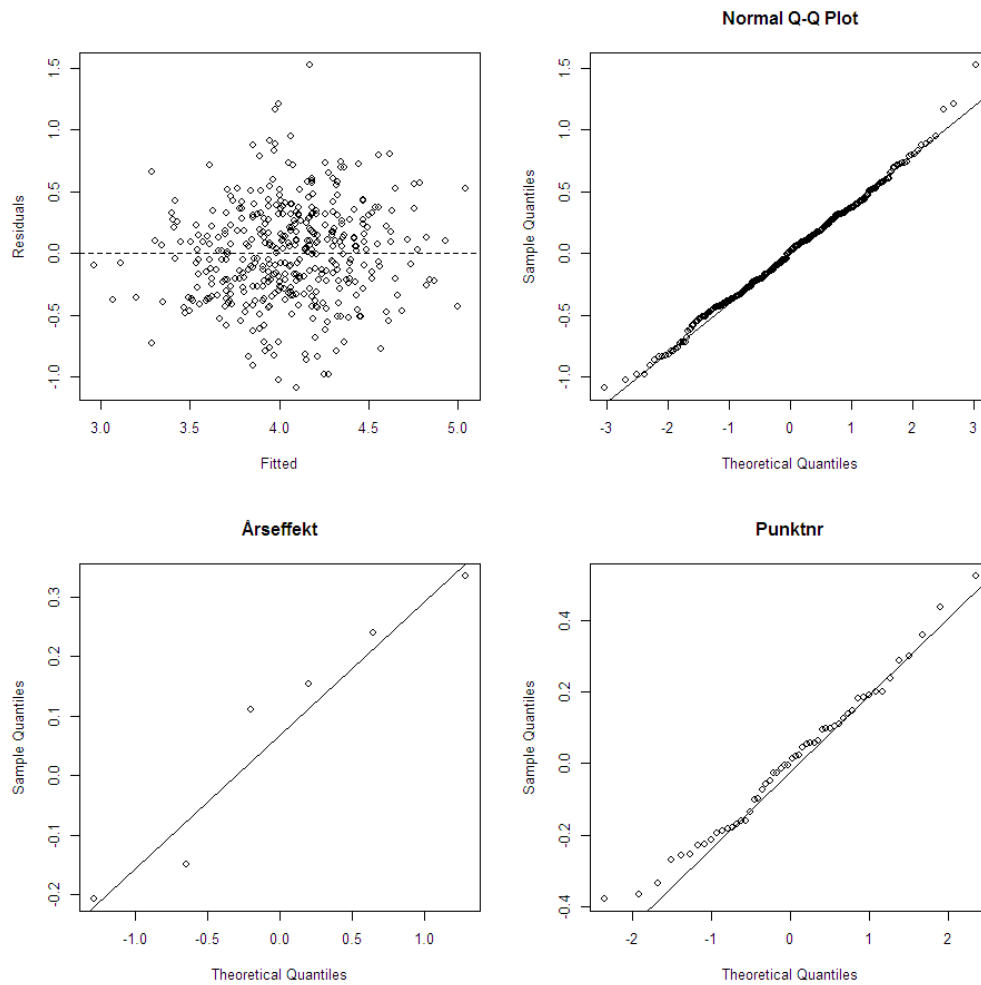
Korn-Frøgræs-Nej	Korn	Nej	Ja	Ler	57,6	23,2	142,9
Korn-Vintersæd-Nej	Bælgsæd	Nej	Ja	Sandet	57,4	22,0	150,0
Korn-Vintersæd-Nej	Andet	Ukendt	Nej	Sandet	57,4	22,0	149,6
Frøgræs-Vintersæd-Nej	Korn	Nej	Nej	Ler	56,9	23,2	139,6
Fodergræs-Fodergræs-Ukendt	Korn	Fogr/Klgr	Nej	Sandet	56,8	21,9	147,5
Korn-Ingen-Nej	Korn	Nej	Ja	Sandet	56,8	21,9	147,1
Korn-Ingen-Nej	Korn	Ukendt	Ja	Sandet	56,5	21,8	146,7
Korn-Vintersæd-Nej	Andet	Nej	Nej	Ler	56,1	22,8	137,9
Korn-Vintersæd-Nej	Andet	Ukendt	Nej	Ler	56,0	22,6	139,1
Korn-Frøgræs-Nej	Frøgræs	Ukendt	Nej	Ler	55,6	22,5	137,6
Korn-Ingen-Nej	Korn	Nej	Ja	Ler	55,4	22,5	136,4
Majs-Efterafgrøde-Nej	Majs	Nej	Nej	Sandet	55,2	21,2	143,9
Korn-Vinterraps-Nej	Korn	Nej	Ja	Ler	55,2	22,3	136,6
Korn-Ingen-Nej	Korn	Ukendt	Ja	Ler	55,1	22,3	136,2
Frøgræs-Frøgræs-Nej	Frøgræs	Ukendt	Nej	Sandet	55,0	21,1	143,6
Majs-Efterafgrøde-Ukendt	Andet	Nej	Ja	Sandet	55,0	21,3	142,0
Frøgræs-Frøgræs-Nej	Frøgræs	Nej	Nej	Sandet	54,9	21,2	141,9
Raps-Vintersæd-Ukendt	Korn	Nej	Nej	Sandet	54,8	21,2	142,1
Korn-Vintersæd-Ukendt	Korn	Nej	Nej	Sandet	54,4	21,0	140,8
Korn-Efterafgrøde-Nej	Raps	Nej	Nej	Ler	53,6	21,6	132,8
Frøgræs-Frøgræs-Nej	Frøgræs	Ukendt	Nej	Ler	53,4	21,7	131,6
Raps-Vintersæd-Ukendt	Korn	Nej	Nej	Ler	53,4	21,5	132,7
Frøgræs-Frøgræs-Nej	Frøgræs	Nej	Nej	Ler	53,4	21,6	132,0
Korn-Ingen-Nej	Frøgræs	Nej	Nej	Ler	53,1	21,5	131,1
Korn-Ingen-Nej	Frøgræs	Ukendt	Nej	Ler	53,0	21,5	130,7
Korn-Vintersæd-Nej	Roer	Ukendt	Nej	Ler	52,8	21,2	131,2
Frøgræs-Frøgræs-Nej	Korn	Nej	Nej	Sandet	52,2	20,1	135,8
Korn-Vinterraps-Nej	Korn	Ukendt	Nej	Sandet	51,8	20,0	134,4
Korn-Ingen-Nej	Korn	Nej	Nej	Sandet	51,8	20,0	134,5
Korn-Ingen-Nej	Korn	Ukendt	Nej	Sandet	51,7	19,9	134,3
Korn-Efterafgrøde-Nej	Frøgræs	Nej	Ja	Ler	51,7	20,9	127,5
Fodergræs-Fodergræs-Ukendt	Andet	Fogr/Klgr	Nej	Sandet	51,5	19,8	134,3
Kartofler-alle-Nej	Kartofler	Nej	Nej	Ler	51,4	20,9	126,3
Korn-Fodergræs-Nej	Fogr/Klgr	Fogr/Klgr	Ja	Sandet	51,3	19,8	133,4
Fodergræs-Fodergræs-Nej	Korn	Fogr/Klgr	Ja	Sandet	51,3	19,8	133,0
Korn-Vintersæd-Nej	Bælgsæd	Ukendt	Nej	Ler	51,2	20,7	126,5
Fodergræs-Fodergræs-Ukendt	Bælgsæd	Fogr/Klgr	Ja	Sandet	51,1	19,8	131,9
Frøgræs-Frøgræs-Nej	Korn	Ukendt	Nej	Ler	51,1	20,7	126,0
Fodergræs-Fodergræs-Ja	Andet	Nej	Ja	Sandet	50,6	19,3	132,7
Korn-Vinterraps-Nej	Korn	Ukendt	Nej	Ler	50,5	20,4	124,8
Korn-Ingen-Nej	Korn	Nej	Nej	Ler	50,5	20,5	124,4
Korn-Vinterraps-Nej	Korn	Nej	Nej	Ler	50,4	20,4	124,7
Korn-Efterafgrøde-Nej	Korn	Nej	Ja	Sandet	50,4	19,4	131,2
Korn-Ingen-Nej	Korn	Ukendt	Nej	Ler	50,2	20,2	124,6
Majs-Efterafgrøde-Ukendt	Majs	Nej	Ja	Sandet	50,1	19,1	131,5
Korn-Vinterraps-Ja	Korn	Nej	Ja	Sandet	49,5	19,0	129,0
Korn-Efterafgrøde-Nej	Korn	Nej	Ja	Ler	49,2	20,0	120,7
Fodergræs-Fodergræs-Nej	Fogr/Klgr	Nej	Ja	Ler	49,1	20,0	120,4
Korn-Efterafgrøde-Nej	Korn	Ukendt	Ja	Ler	49,0	19,8	120,9
Korn-Frøgræs-Nej	Roer	Nej	Ja	Ler	48,9	19,7	121,6
Korn-Ingen-Ukendt	Raps	Nej	Ja	Sandet	48,5	18,7	125,7
Korn-Vinterraps-Ja	Korn	Ukendt	Ja	Ler	48,3	19,5	120,0
Korn-Vinterraps-Ja	Korn	Nej	Ja	Ler	48,0	19,4	118,9
Korn-Efterafgrøde-Nej	Frøgræs	Nej	Nej	Ler	47,4	19,2	117,2
Korn-Efterafgrøde-Ukendt	Korn	Fogr/Klgr	Ja	Sandet	47,2	18,1	123,1

Korn-Fodergræs-Nej	Fogr/Klgr	Fogr/Klgr	Nej	Sandet	46,9	18,1	121,9
Korn-Ingen-Nej	Andet	Nej	Nej	Sandet	46,8	18,0	122,2
Korn-Ingen-Nej	Andet	Ukendt	Nej	Sandet	46,8	17,9	122,2
Fodergræs-Fodergræs-Nej	Fogr/Klgr	Ukendt	Nej	Sandet	46,5	17,9	121,1
Korn-Efterafgrøde-Nej	Korn	Ukendt	Nej	Sandet	46,4	17,9	120,4
Korn-Ingen-Nej	Majs	Nej	Ja	Sandet	46,3	17,9	120,2
Korn-Efterafgrøde-Nej	Korn	Nej	Nej	Sandet	46,2	17,8	119,8
Korn-Ingen-Nej	Andet	Ukendt	Nej	Ler	45,9	18,6	112,9
Korn-Vinterraps-Nej	Andet	Nej	Nej	Ler	45,6	18,5	112,4
Fodergræs-Fodergræs-Nej	Fogr/Klgr	Ukendt	Nej	Ler	45,3	18,2	112,5
Korn-Ingen-Nej	Majs	Ukendt	Ja	Ler	45,2	18,3	111,5
Fodergræs-Fodergræs-Nej	Fogr/Klgr	Nej	Nej	Ler	45,2	18,2	112,2
Korn-Efterafgrøde-Nej	Korn	Nej	Nej	Ler	45,1	18,2	111,7
Korn-Efterafgrøde-Nej	Korn	Ukendt	Nej	Ler	44,9	18,1	111,1
Korn-Vinterraps-Ja	Korn	Nej	Nej	Ler	44,1	17,9	108,5
Korn-Ingen-Nej	Roer	Ukendt	Nej	Ler	43,0	17,3	107,3
Korn-Ingen-Nej	Bælgsæd	Nej	Nej	Ler	41,5	16,7	103,0
Roer-alle-Nej	Korn	Nej	Ja	Ler	41,5	16,7	102,9
Korn-Efterafgrøde-Nej	Majs	Nej	Ja	Sandet	41,2	15,9	106,7
Korn-Vinterraps-Nej	Kartofler	Ukendt	Ja	Sandet	41,1	15,9	106,4
Korn-Ingen-Nej	Kartofler	Nej	Ja	Sandet	41,1	15,8	107,1
Korn-Ingen-Ukendt	Korn	Ukendt	Ja	Sandet	40,7	15,6	105,9
Korn-Ingen-Ukendt	Korn	Nej	Ja	Sandet	40,4	15,6	104,4
Korn-Ingen-Nej	Kartofler	Nej	Ja	Ler	40,0	16,3	98,5
Korn-Fodergræs-Nej	Fogr/Klgr	Ukendt	Ja	Sandet	39,5	15,1	102,9
Korn-Fodergræs-Nej	Korn	Fogr/Klgr	Ja	Ler	38,8	15,8	95,4
Korn-Efterafgrøde-Ukendt	Majs	Fogr/Klgr	Ja	Sandet	38,5	14,9	99,8
Fodergræs-Fodergræs-Nej	Korn	Nej	Ja	Ler	38,2	15,4	94,6
Roer-alle-Nej	Korn	Ukendt	Nej	Ler	38,2	15,5	94,0
Kartofler-alle-Ukendt	Korn	Nej	Ja	Sandet	37,8	14,6	97,8
Roer-alle-Nej	Korn	Nej	Nej	Ler	37,8	15,3	93,1
Korn-Ingen-Ukendt	Korn	Nej	Nej	Sandet	37,1	14,3	96,3
Fodergræs-Fodergræs-Nej	Frøgræs	Nej	Nej	Ler	36,8	15,0	90,6
Korn-Efterafgrøde-Nej	Kartofler	Ukendt	Ja	Sandet	36,8	14,2	95,3
Korn-Fodergræs-Nej	Korn	Fogr/Klgr	Nej	Sandet	36,5	14,0	95,1
Korn-Efterafgrøde-Ukendt	Korn	Nej	Ja	Sandet	36,0	13,8	94,2
Fodergræs-Fodergræs-Nej	Korn	Nej	Nej	Ler	35,1	14,2	86,7
Korn-Fodergræs-Nej	Fogr/Klgr	Ukendt	Nej	Ler	35,1	14,2	87,1
Kartofler-alle-Ukendt	Korn	Nej	Nej	Sandet	34,8	13,4	90,2
Korn-Efterafgrøde-Ukendt	Korn	Nej	Nej	Sandet	33,0	12,7	85,9
Korn-Fodergræs-Nej	Majs	Fogr/Klgr	Ja	Ler	31,7	12,9	78,2
Korn-Fodergræs-Nej	Korn	Ukendt	Ja	Sandet	30,6	11,8	79,4
Korn-Ingen-Ukendt	Majs	Nej	Nej	Sandet	30,6	11,7	79,8
Korn-Efterafgrøde-Ukendt	Bælgsæd	Nej	Ja	Sandet	29,7	11,4	76,9
Korn-Efterafgrøde-Ukendt	Majs	Nej	Ja	Sandet	29,6	11,5	76,5
Kartofler-alle-Ukendt	Kartofler	Nej	Ja	Sandet	27,5	10,6	71,7
Korn-Efterafgrøde-Ukendt	Kartofler	Nej	Ja	Sandet	26,2	10,1	67,9

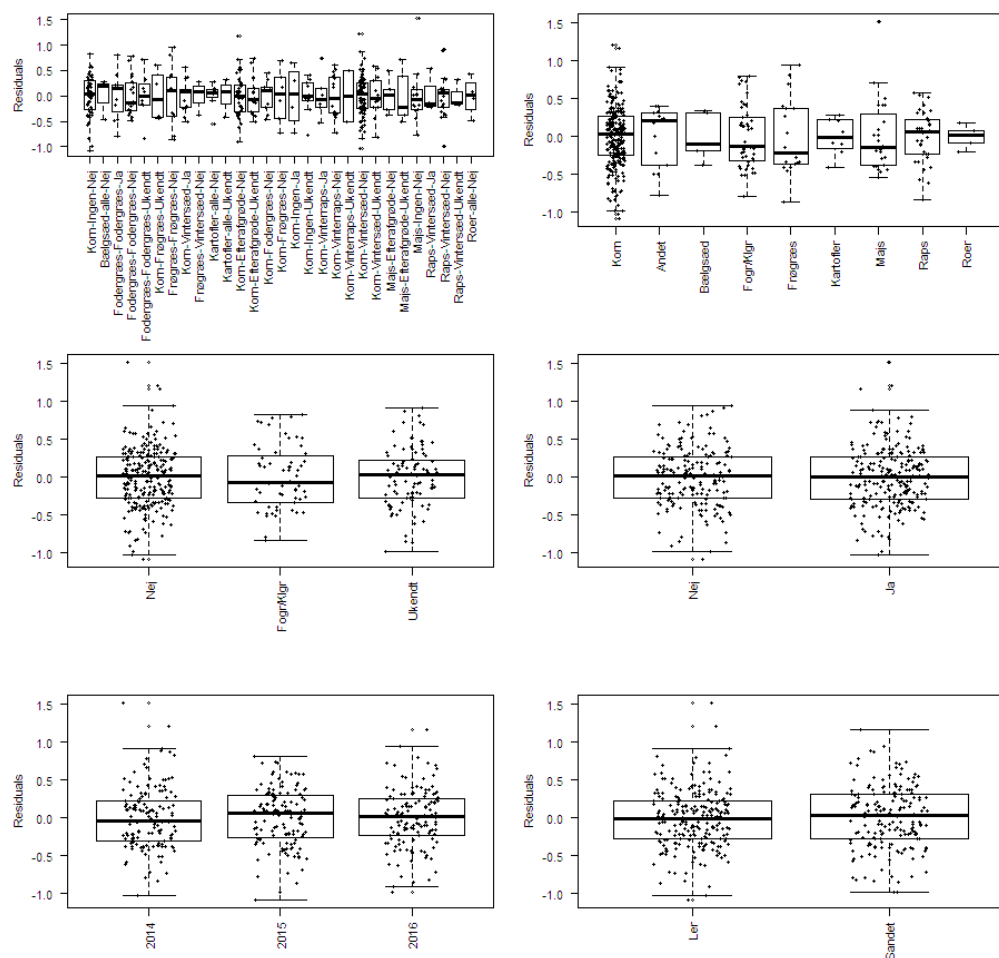
Referencer

R Development Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

Appendiks



Modelkontrol-plots



Modelkontrol-plots