Statistisk analyse af korrektionsfaktorer i normsystemet

Baggrund og formål

I kvælstofnormsystemet findes der, ud over basiskvælstofnormen for de enkelte afgrøder, en lang række faktorer, som kvælstoftildelingen skal korrigeres med, for at nå frem til den faktiske kvælstofnorm. Det gælder korrektioner for forfrugt, jordtype, udbytte og kvælstofprognose. For at teste om disse korrektioner er retvisende fastsat, er der i dette notat udført en statistisk analyse af kvælstofoptimum for vårbyg og vinterhvede. Der er udført en selvstændig statistisk analyse på hver af de to kornarter, hvor kvælstofoptimum beskrives ud fra jordtype, forfrugt, udbytte i forhold til standardudbytte, kvælstofprognose, og eftervirkning af husdyrgødning. Analysen er udført på optimum uden proteinkorrektion.

Beskrivelse af korrektionsfaktorer

Udbyttekorrektion

I normsystemet korrigeres kvælstoftildelingen i forhold til et standardudbytte. I vårbyg er standardudbyttet 50 hkg pr. ha og i vinterhvede 75 hkg. pr. ha. Udbyttekorrektionen i begge kornarter er 1,5 kg N pr. hkg kerne. Det vil sige, at man for hvert hkg kerne pr. ha man avler over standardudbyttet, skal man tilføre ekstra 1,5 kg N pr. ha.

Jordtypekorrektion

Jordtypen er i normsystemet inddelt i fem grupper med hver sin jordtype korrektion. Denne ses i tabel 1.

Tabel 1. Jordtypegrupper og jordtypekorrektioner

Jordtypegruppe	Jordtypegrupper	Jordtyper	Korrektionsfaktor for vintersæd	Korrektionsfaktor for vårbyg
Grovsand	1	JB1+JB3	15	15
Finsand og organogenjord	2	JB2+JB4 + JB11	0	0
Lerblandet sand	3	JB5+JB6	0	-10
Sandblandet ler	4	JB7+JB8+JB9+JB10	5	-10
Vandet sandjord	5	JB1 – JB4 vandet	15	15

Gruppen finsand og organogen jord er fastsat til 0 og er dermed omdrejningspunkt for korrektionen. Korrektionen skal forstås sådan, at der skal tildeles en ekstra mængde kvælstof svarende til korrektionsfaktorens størrelse, såfremt der avles samme udbytte på begge jordtyper.

Jordtypekorrektionerne er oprindelig fastsat ud fra systematiske forskelle i N-min på de forskellige jordtyper i foråret, og bør altså afspejle hvor meget kvælstof jorden stiller til rådighed ved vækststart.

Prognose

Kvælstofprognosen bliver udarbejdet årligt. Den viser hvor meget mineralsk kvælstof der er i jorden ved vækstsæsonens begyndelse i forhold til de foregående elleve år. En positiv prognose viser, at der er mindre kvælstof i jorden end i et normalt år, mens en negativ prognose viser, at der er mere kvælstof i jorden end i et normalt år.

Det kvælstofoptimum, som et givent stigende N forsøg viser, er naturligvis påvirket af prognosens størrelse i forsøgsåret. Hvis prognosen er positiv, vil det beregnede optimum være højere end i et normal år, fordi jorden stiller mindre kvælstof til rådighed end i et normalt år. Ved en negativ prognose er relationen omvendt. Det betyder i praksis, at for hvert kg N pr. ha som prognosen er positiv, vil man forvente et optimum der er et kg N pr. ha højere.

Eftervirkning af organisk gødning

Mineralisering af den organiske bundende del af kvælstoffet i husdyrgødningen bidrager også til planternes kvælstofforsyning. Derfor vil den optimale kvælstoftildeling være lavere i forsøg der er udført på arealer, der er gødet med husdyrgødning i de foregående år. I normsystemet er optimum altid givet for et areal, hvor der ikke er brugt husdyrgødning i de foregående år. I forsøgene vil man forvente, at hvis kvælstof fra eftervirkning virker lige så godt som handelsgødning, vil optimum være 1 kg N pr. ha lavere for hvert kg N pr. ha i eftervirkning fra organisk gødning.

Forfrugtskorrektion

Forfrugten påvirker udbyttet og kvælstofoptimum, både fordi nogen forfrugter stiller kvælstof til rådighed for den efterfølgende afgrøde når planteresterne mineraliseres og fordi nogen forfrugter ved deres sanerende effekt i sædskiftet øger udbyttet, ud over det niveau der kan forventes fra forfrugtens kvælstofeftervirkning. F.eks. øger raps oftest udbyttet mere end hvad der kan forklares med selve rapsens eftervirkning. Når udbyttet bliver højere, er det klart at kvælstofoptimum også øges og forfrugtskorrektionen og udbyttekorrektionen påvirker derfor hinanden i normsystemet.

Alle forfrugtsvirkninger i normsystemet sættes relativt i forhold til eftervirkningen af korn. Desuden er de indstillede forfrugtsvirkninger, renset for forfrugtens udbytteeffekt ud over kvælstofeftervirkningen. Det betyder, at eftervirkningen er fastsat som den kvælstofeftervirkning der ville være, ved samme udbytteniveau som hvis forfrugten var korn. Når der analyseres på forsøgenes forfrugtseffekter, påvirkes optimum imidlertid både af selve forfrugtseffekten og det øgede udbytte. Derfor skal forfrugtsvirkninger sammenlignes med den såkaldte faglige forfrugtsvirkning, der viser hvad den samlede forfrugtsvirkning af kvælstofmineraliseringen fra forfrugten og det øgede udbytte.

I normsystemet er alle normer angivet med korn som forfrugt. Hvis man har haft en bedre forfrugt end korn, skal de forfrugtsvirkningen derfor fratrækkes normerne, for at få kvælstofnormen ved den givne forfrugt. Det følger heraf, at optimum i forsøg hvor forfrugten bidrager med en kvælstofeftervirkning, vil være lavere end i forsøg med forfrugt korn. For at komme til optimum hvis forfrugten havde været korn, og udbytteniveauet havde været der samme som ved forfrugt korn, skal forsøgets optimum derfor tillægges forfrugtskorrektionen. De forfrugtsgrupper der er anvendt i de statistiske analyser er vist i tabel 2.

Tabel 2. Gruppering af forfrugtsgrupper

Forfrugtsgruppe	Nummer
Korn, kornhelsæd og kernemajs	1
Bælgsæd	2
Oliefrø	3
Frøgræs	4
Kløvergræs	5
Kartofler og Roer	6
Majshelsæd	7
Andet	8

Statistisk metode

Analyserne er udført som lineære modeller der beskriver optimum ud fra jordtype, forfrugt, udbytte i forhold til standardudbytte, kvælstofprognose, og eftervirkning af husdyrgødning. Den tilfældige effekt af høstår på modellens afskæring inddrages også, mens regresionshældningerne for de enkelte parametre ikke tillades at variere mellem høstår. I praksis vil det sige, at modellen lader optimums gennemsnit variere imellem høstår, men den vil ikke lade f.eks. forfrugsvirkningen være forskellig i forskellige år. Alle analyser inddrager kun hovedeffekter, og interaktioner mellem de forskellige parametre er således ikke analyseret.

Omdrejningspunktet for, altså den gruppe hvor parameteren defineres til værdien 0, er som i normsystemet. Det vil sige jordtypegruppe 2 (JB2+Jb4+JB11), forfrugt korn, en eftervirkning på 0 kg N pr. ha og en prognose på 0 kg N pr. ha. Disse omdrejningspunkter anvendes i alle følgende analyser med mindre andet er oplyst.

Analysen er udført i R (version 3.6.2) ved hjælp af lmer funktionen fra pakken lme4 (version 1.1-21). alle modelbeskrivelser er angivet i samme notation som i R. Modellerne er estimeret med restricted maximum-likehood metoden.

Vårbyg

Datasættet for vårbyg består af alle 651 stigende N forsøg udført fra 1987 – 2019. Analysen er dog alene fortaget på de 130 forsøg der er gennemført fra 2010-2019, idet det er den periode normindstillingen for 2021-2023 skal basere sig på. I enkelte analyser er der dog anvendt data fra 2000-2019 for at teste om modellerne er stabile over flere år. Hvor dette er tilfældet fremgår det tydeligt af teksten.

Fri model (model 0)

I den fri model lader vi modellen estimere alle parametre i normsystemet. Dvs. at modellen estimerer en afskæring (intercept) og alle de korrektionsfaktorer der skal bruges for at forudsige forsøges kvælstofoptimum.

Den undersøgte model (m0) er:
Optimum~JordtypeGR+ForfrugtGR+Sum_eftervirk_orgN+Udbyt_ifht_std+Prognose +(1|year)

Parametrene forfrugt, udbytte og prognose har signifikant indflydelse på optimum, mens jordtypen overraskende ikke er signifikant (Rb0).

Rb0:

```
> anova(m0)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
                   Sum Sq Mean Sq NumDF DenDF F value    Pr(>F)
Jordtype_grp         2731     910     3   103  0.7367   0.53251
ForfrugtGR_type     40389    6732     6   103  5.4472 6.296e-05 ***
Sum_eftervirk_orgN     75      75     1   103  0.0607   0.80583
Udbyt_ifht_std      42071   42071     1   103 34.0439 6.280e-08 ***
Prognose             6710    6710     1   103  5.4299   0.02175 *
```

Parametrene ses i Pb0. Afskæring er 91 kg N pr. ha. Dvs. at optimum i et forsøg på JB2, JB4 eller JB11 med forfrugt korn, ved en neutral prognose, uden organisk gødning i forhistorien og et udbytte på 50 hkg pr. ha vil være 91 kg N pr. ha. For hvert hkg udbyttet stiger stiger optimum 1,66 kg N pr. ha. Overraskende falder optimum med en stigende prognose, hvor man fagligt ville forvente det modsatte. Effekten af eftervirkning af husdyrgødning er stort set neutral, hvor man ville forvente at eftervirkningen reducerede optimum en til en.

På grovsandet jord (jordtypegruppe 1) er optimum 17 kg N pr. ha højere end på finsand (jordtypegruppe 2), mens det er henholdsvis 12 og 8 kg N pr. ha højere på lerblandet sand (jordtypegruppe 3) og sandblandet ler (jordtypegruppe 4). Optimum falder med 33 kg pr. ha efter bælgsæd (forfrugtsgruppe 2), 60 kg N pr. ha efter oliefrø og frøgræs (henholdsvis forfrugtsgruppe 3 og 4), men der er meget få observationer i disse grupper. Når forfrugten er roer eller kartofler stiger optimum med 3 kg N pr. ha (forfrugtsgruppe 6), mens det stiger med 8 kg når forfrugten er majshelsæd (forfrugtsgruppe 7). Både majs og kartofler er altså dårligere forfrugter end korn, når modellen frit får lov til at indstille alle parametre selv. Optimum stiger med 65 kg N pr. ha når forfrugt er andet (forfrugtsgruppe 8). Denne gruppe er domineret af gulerødder som forfrugt, der kan immobilisere store mængder kvælstof fordi der nedmuldes store halmmængder ved dyrkningen. Hvis observationer med forfrugt ”andet” udelades af modellen ændrer det kun meget lidt for modellens parametre (data ikke vist). Kun forfrugtsgrupperne korn, majshelsæd og kartofler+roer har 10 eller flere observationer bag sig.

Pb0:

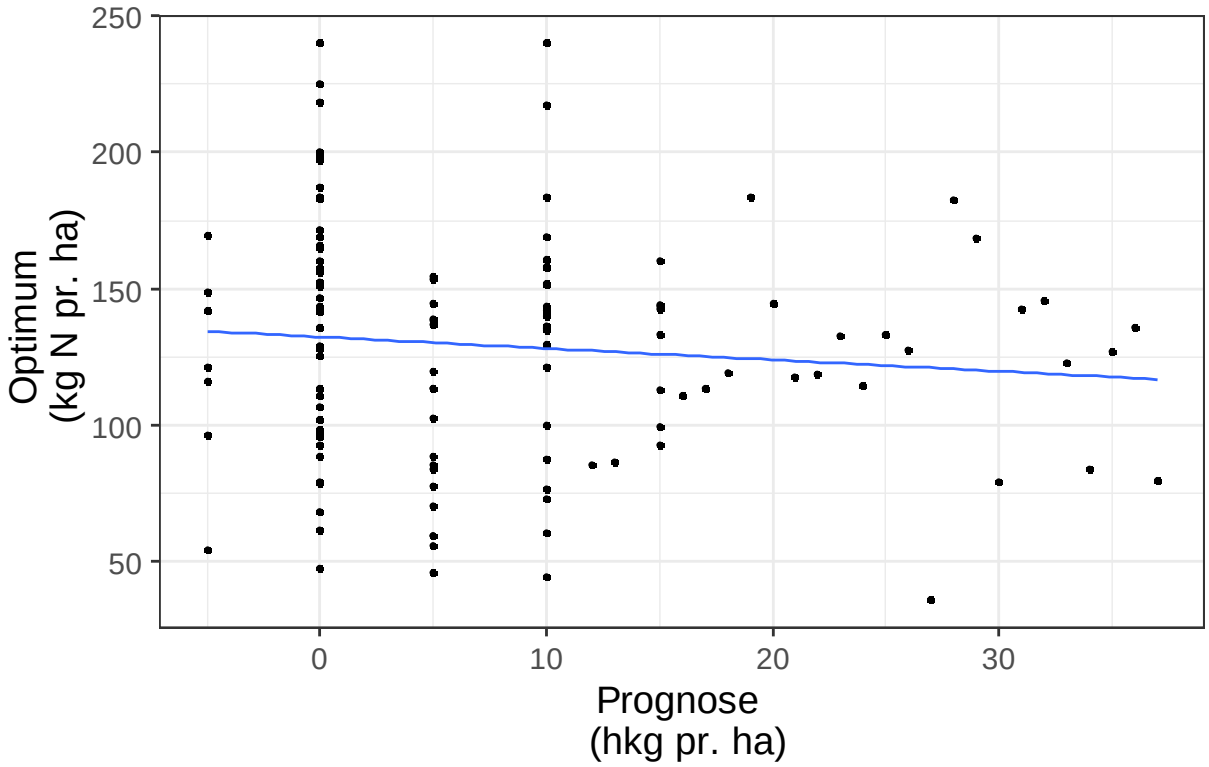
```
Fixed effects:
                          Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept)                90.9206    12.5789 103.0000   7.228 8.85e-11 ***
Jordtype_grpb JBGr 1       16.6871    11.9843 103.0000   1.392  0.16680
Jordtype_grpc JBGr 3       12.4823    11.9444 103.0000   1.045  0.29845
Jordtype_grpd JBGr 4        7.8242    14.0047 103.0000   0.559  0.57759
ForfrugtGR_typeb FFGr 2   -33.4163    37.0304 103.0000  -0.902  0.36895
ForfrugtGR_typec FFGr 3   -59.8093    21.4895 103.0000  -2.783  0.00640 **
ForfrugtGR_typed FFGr 4   -60.6944    21.2500 103.0000  -2.856  0.00519 **
ForfrugtGR_typef FFGr 6     3.2343     8.9910 103.0000   0.360  0.71979
ForfrugtGR_typeg FFGr 7     7.7834    17.6496 103.0000   0.441  0.66014
ForfrugtGR_typeh FFGr 8    65.2408    18.4740 103.0000   3.531  0.00062 ***
Sum_eftervirk_orgN         -0.1515     0.6148 103.0000  -0.246  0.80583
Udbyt_ifht_std              1.6616     0.2848 103.0000   5.835 6.28e-08 ***
Prognose                   -0.8534     0.3662 103.0000  -2.330  0.02175 *
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Prognose fastlåst (model m1)

Ud fra en forsyningsnormstankegang bør kvælstofprognosen øge optimum med 1 kg N pr. ha for hvert kg N pr. ha som prognosen er større end 0. Relationen mellem prognose og optimum uden hensyntagen til andre variable er vist i figur 1. Det er tydeligt at relationen er svag, og at hældningen er drevet af nogle få år med meget høje prognoser. På grund af den svage korrelation kan man derfor forestille sig, at modellen ikke er særlig følsom overfor prognose parameterens størrelse. Derfor er det undersøg i hvor høj grad modellen påvirkes, hvis prognoseparameteren fastfryses til 1. Model m1 er:

Optimum~JordtypeGR+ForfrugtGR+Sum_eftervirk_orgN+Udbyt_ifht_std+offset(1*Prognose) + (1|year)

Resultatet af en model (m1) hvor prognoseparameteren er tvunget til at være 1 ses i Rb1 og Pb1. Model m1 er kun lidt dårligere end m0, og parameterestimaterne i begge modeller er stort set de samme. Derfor arbejdes der videre med en model hvor prognoseeffekten er fastlåst til 1 ud fra en forsyningsnormstankegang.



Figur 1. Relation mellem Prognose og optimum i vårbyg.

Rb1:

```
> anova(m1)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
                   Sum Sq Mean Sq NumDF   DenDF F value    Pr(>F)
Jordtype_grp         3402    1134     3 101.458  0.9207 0.4336975
ForfrugtGR_type     36273    6045     6  98.631  4.9082 0.0001977 ***
Sum_eftervirk_orgN     58      58     1  99.781  0.0469 0.8289064
Udbyt_ifht_std      32927   32927     1 103.769 26.7327 1.141e-06 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Pb1:

```
Fixed effects:
                          Estimate Std. Error        df t value Pr(>|t|)
(Intercept)               80.53177   15.20784  68.89828   5.295 1.34e-06 ***
Jordtype_grpb JBGr 1      18.53253   12.80483 101.94351   1.447  0.15088
Jordtype_grpc JBGr 3       9.09862   12.21143  97.87285   0.745  0.45800
Jordtype_grpd JBGr 4       2.52262   14.55162 101.02363   0.173  0.86272
ForfrugtGR_typeb FFGr 2  -28.50529   37.90730  97.41359  -0.752  0.45388
ForfrugtGR_typec FFGr 3  -60.57878   21.96351  97.30883  -2.758  0.00694 **
ForfrugtGR_typed FFGr 4  -58.49596   21.88338  98.38667  -2.673  0.00880 **
ForfrugtGR_typef FFGr 6   -0.01241    9.19608  98.62250  -0.001  0.99893
ForfrugtGR_typeg FFGr 7   12.74055   18.28293  99.97914   0.697  0.48751
ForfrugtGR_typeh FFGr 8   61.76636   18.54599 101.41659   3.330  0.00121 **
Sum_eftervirk_orgN        -0.13956    0.64412  99.78068  -0.217  0.82891
Udbyt_ifht_std             1.72023    0.33271 103.76901   5.170 1.14e-06 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Eftervirkning husdyrgødning og prognose fastlåst (m2)

Fagligt set vil eftervirkning af husdyrgødning, ligesom prognosen, virke med et en til en forhold mellem optimum og den beregnede eftervirkning. Dog vil eftervirkning af husdyrgødning reducere optimum. Derfor er effekten af eftervirkning fastlåst ved at fastlåse parameteren for husdyrgødningseftervirkning til -1.

Model m2:
Optimum~JordtypeGR+ForfrugtGR+ offset (-1*Sum_eftervirk_orgN)+Udbyt_ifht_std+offset(1*Prognose) +(1|year)

Resultater og parametre ses i Rb2 og Pb2. Sammenhængen mellem eftervirkning af husdyrgødning og optimum, uden hensyntagen til andre parametre er vist i figur 2.

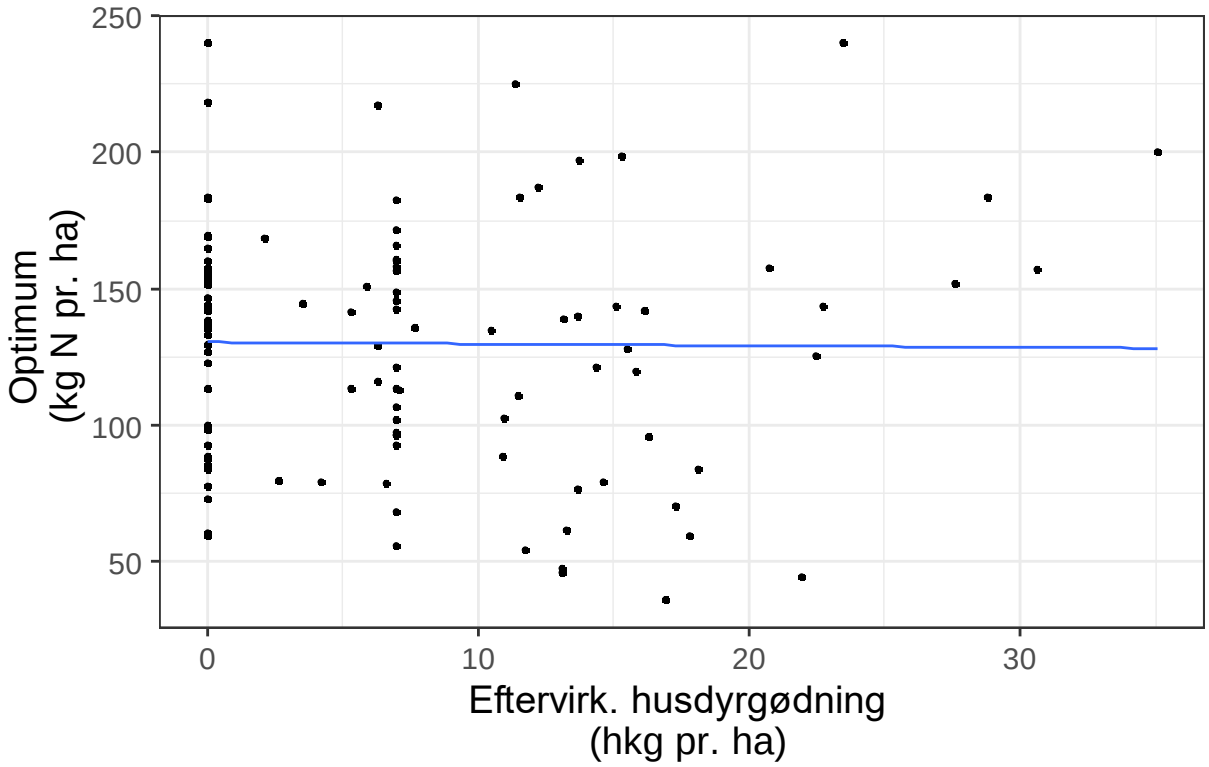
Rb2:

```
> anova(m2)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
                Sum Sq Mean Sq NumDF  DenDF F value    Pr(>F)
Jordtype_grp      4076  1358.6     3 102.76  1.0916 0.3561630
ForfrugtGR_type  37370  6228.3     6 100.02  5.0044 0.0001601 ***
Udbyt_ifht_std   30927 30926.6     1 104.64 24.8494 2.467e-06 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Pb2:

```
Fixed effects:
                        Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept)              88.4177    14.0415  59.5954   6.297 4.00e-08 ***
Jordtype_grpb JBGr 1     18.3650    12.8606 103.1506   1.428  0.15631
Jordtype_grpc JBGr 3      7.8201    12.2356  99.1857   0.639  0.52421
Jordtype_grpd JBGr 4     -0.8659    14.4047 102.5274  -0.060  0.95218
ForfrugtGR_typeb FFGr 2 -32.4387    37.9829  98.9888  -0.854  0.39515
ForfrugtGR_typec FFGr 3 -55.4005    21.7167  98.2716  -2.551  0.01228 *
ForfrugtGR_typed FFGr 4 -60.1750    21.9513  99.7628  -2.741  0.00725 **
ForfrugtGR_typef FFGr 6  -0.8712     9.2115  99.9580  -0.095  0.92484
ForfrugtGR_typeg FFGr 7  27.8075    14.5091 100.0596   1.917  0.05815 .
ForfrugtGR_typeh FFGr 8  57.2812    18.3664 102.3492   3.119  0.00236 **
Udbyt_ifht_std            1.6371     0.3284 104.6440   4.985 2.47e-06 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Modellen ændrer afskæring med 8 kg N pr. ha, men de øvrige parametre er ikke særligt følsomme overfor fastlåsning af parameteren for husdyrgødningseffekten til -1. Der arbejdes derfor videre med modeller hvor husdyrgødningseffekten er fastlåst til -1.



Figur 2. Sammenhæng mellem optimum og eftervirkning af husdyrgødning

Jordtypekorrektion og udbyttekorrektion

Da udbyttet variere stærkt på forskellige jordtyper, kan udbyttekorrektionen ikke ses uafhængigt af jordtypekorrektionen. Der er her opsat en model, der beregner jordtypekorrektionen ved de forfrugtskorrektioner der findes i normsystemer i dag. Det er sket ved at korrigere hvert forsøgs optimum med den faglige forfrugtsvirkning. Da optimum er lavere når der har været en bedre forfrugt end korn, er korrektionen foretaget ved at addere optimum og den indstillede forfrugtsvirkning for forfrugten i hvert forsøg, således at optimum bliver korrigeret til det optimum man ville have fundet, hvis forfrugten havde været korn. Modellens resultater ses i Rb3 og Pb3.

Model m3:

Optimum_korrig.forf.~JordtypeGR +offset(-1*Sum_eftervirk_orgN)+Udbyt_ifht_std+offset(1*Prognose) + (~1|year)

Rb3:

```
> anova(m3)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
               Sum Sq Mean Sq NumDF   DenDF F value    Pr(>F)
Jordtype_grp    10741    3580     3 109.255  2.2583   0.08569 .
Udbyt_ifht_std  36044   36044     1  94.915 22.7353 6.702e-06 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Pb3:

```
Fixed effects:
                      Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept)           106.8278    13.3315  61.8837   8.013  3.8e-11 ***
Jordtype_grpb JBGr 1   13.6308    13.5235 110.9943   1.008    0.316
Jordtype_grpc JBGr 3   -8.6361    12.4275 108.6196  -0.695    0.489
Jordtype_grpd JBGr 4  -12.1030    14.5455 110.8909  -0.832    0.407
Udbyt_ifht_std          1.5348     0.3219  94.9147   4.768  6.7e-06 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Jordtypekorrektionen for grovsandet jord (Jordtypegruppe 1) er estimeret til 14 kg N pr. ha. Det er i niveau med de 15 kg N pr. ha som jordtypekorrektionen er fastsat til i normsystemer i dag. På lerblandet sandjord (jordtypegruppe 3) og sandblandet lerjord (jordtype gruppe 4) estimere modellerne jordtypekorrektioner på henholdsvis -9 og -12 kg N pr. ha. Det er også i niveau med de -10 som jordtypekorrektionen er fastsat til i normsystemet i dag. Modellen estimerer udbyttekorrektionen til stort set samme værdi som den er fastsat til i normsystemet i dag. Modellen viser altså, at forholdet mellem udbyttekorrektion og jordtypekorrektioner i normsystemet er i god overensstemmelse med forsøgsgrundlaget.

For at undersøge om dette også gælder når datasættet udvides til at inkludere data fra 2000-2019 er det kørt en model 3a, der er samme model som model 3, men kørt på data fra 2000-2019. Resultaterne ses i Rb3a og Pb3a.

Model m3a:
Optimum_korrig.forf.~JordtypeGR +offset(-1*Sum_eftervirk_orgN)+Udbyt_ifht_std+offset(1*Prognose) + (~1|year)

Rb3a:

```
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
               Sum Sq Mean Sq NumDF  DenDF F value    Pr(>F)
Jordtype_grp    16749    5583     3 303.95   3.863  0.009784 **
Udbyt_ifht_std  66341   66341     1 211.39  45.903 1.213e-10 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Pb3a:

```
Fixed effects:
                      Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept)           119.1678     5.1317  66.2076  23.222  < 2e-16 ***
Jordtype_grpb JBGr 1    6.6013     6.1528 304.9911   1.073   0.2842
Jordtype_grpc JBGr 3  -12.3893     6.1451 300.5138  -2.016   0.0447 *
Jordtype_grpd JBGr 4   -8.0279     7.7348 304.9193  -1.038   0.3001
Udbyt_ifht_std          1.2386     0.1828 211.3944   6.775 1.21e-10 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Det er tydeligt, at resultatet på JB1+JB3 (jordtypegruppe 1) er i dårligere overensstemmelse med jordtypekorrektionen i normsystemet, når der inkluderes flere års data. Også udbytte korrektionen er lavere end i normsystemet i denne model. Jordtypekorrektionerne i jordtypegruppe 3 og 4 er i samme niveau som i normsystemet. Det er positivt, at jordtypekorrektionerne vender som i normsystemet, med negative korrektioner på lerjord og positive på grovsandet jord, men jordtype gruppe 1 er væsentlig under værdien i normsystemet.

Fagligt kan man overveje, om JB1 i virkeligheden adskiller sig fra de øvrige sandjordtyper med hensyn til effekten af jordtype. Derfor er der også gennemført en analyse, hvor JB1 og JB3 er adskilt i to

jordtypegrupper. Gruppen med JB2+JB4 er stadig omdrejningspunkt for analysen. Resultaterne er vist i Rb4 og Pb4.

Model m4:
Optimum_korrig.forf.~JordtypeGR_JB1_JB3+ offset (-1*Sum_eftervirk_orgN)+Udbyt_ifht_std+ offset (1*Prognose) + (1|year)

Rb4:

```
> anova(m4)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
               Sum Sq Mean Sq NumDF   DenDF F value    Pr(>F)
JBgr_1_3        11147    2787     4 109.699  1.7406    0.1462
Udbyt_ifht_std  32946   32946     1  87.258 20.5769 1.817e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Pb4:

```
Fixed effects:
                 Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept)      107.5344    13.3717  59.5792   8.042 4.36e-11 ***
JBgr_1_3b JB 1    16.0200    14.3264 109.3907   1.118    0.266
JBgr_1_3b JB 3     7.2036    18.0243 109.6044   0.400    0.690
JBgr_1_3c JBGr 3  -8.5280    12.4789 107.7500  -0.683    0.496
JBgr_1_3d JBGr 4 -11.8229    14.6023 109.8075  -0.810    0.420
Udbyt_ifht_std     1.4964     0.3299  87.2584   4.536 1.82e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Modellen viser, at en jordtypegruppering hvor JB1 udskilles for sig giver en jordtype korrektion på 16 kg N pr. ha på JB1 og 7 kg N pr. ha på JB3. Parameter estimatet for JB1 er stort set det samme som for den samlede jordtypegruppe 1 i model m3. Antallet af observationer med JB3 er kun 8 forsøg og standard error på parameterestimatet er stor i forhold til parameterestimatet, så man skal være varsom med at tolke sikkert på denne jordtype korrektion. Jordtypekorrektionerne på lerjordsgrupperne er stort set uændrede og afskæringen er stort set også den samme.

I normsystemet er JB4 i praksis adskilt i to grupper. JB4 med leret underbund regnes som JB5+JB6, mens JB4 med sandet underbund regnes som JB2+JB4. Det er derfor undersøgt, om man statistisk kan eftervise at jordtypekorrektionen er forskellig for JB4 med sandet og leret underbund. Om et forsøgsareal med JB4 henregnes til leret eller sandet underbund beregnes en GIS analyse af underjorden på alle forsøgslokaliteter i datasættet. Resultaterne af en model (m5) hvor JB4 er fordelt i jordtype gruppe 2 og jordtype gruppe 3 på baggrund af underjorden er vist i Rb5 og Pb5. I jordtypegruppe 2 indgår her alle forsøg på JB2 og JB4 med sandet underjord, mens JB4 med leret underjord flyttes til jordtypegruppe 3. Jordtypegruppe 2 fastholdes som omdrejningspunkt.

Model m5:
Optimum_korrig.forf.~JordtypeGR_JB2_JB4S+ offset (-1*Sum_eftervirk_orgN)+Udbyt_ifht_std+offset(1*Prognose) + (1|year)

Rb5:

```
> anova(m5)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
               Sum Sq Mean Sq NumDF   DenDF F value    Pr(>F)
JB4GroupNorm    17568    5856     3 109.811   3.879   0.01114 *
Udbyt_ifht_std  32123   32123     1  97.489  21.279 1.208e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Pb5:

```
Fixed effects:
                     Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept)          130.9792    17.7425  77.2911   7.382 1.53e-10 ***
JB4GroupNormb JBGr 1  -9.9767    17.5517 110.2452  -0.568   0.5709
JB4GroupNormc JBGr 3 -33.8169    16.6151 110.9743  -2.035   0.0442 *
JB4GroupNormd JBGr 4 -34.9367    18.0058 110.9224  -1.940   0.0549 .
Udbyt_ifht_std         1.5019     0.3175  94.7705   4.730 7.81e-06 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Man skal være opmærksom på, at man i denne analyse deler den gruppe som bruges som omdrejningspunkt for analysen, og modellens afskæring bliver derfor påvirket. Afskæringen stiger med 24 kg N pr. ha i forhold til model m3. Derfor er jordtypegruppernes parametre også noget laverer end i de øvrige modeller. For jordtypegruppe 1 (JB1+JB3) er der negativ jordtypekorrektion på -10 kg N pr. ha. Der er negative korrektioner på de 34-35 kg N pr. ha på de to lerjordsgrupper. Estimation af parametrene i modellen er dog meget følsom fordi der kun er få data i gruppen der fungerer som omdrejningspunkt. Det er dog overraskende, at modellen vender jordtypekorrektionerne således at alle jordtypekorrektioner er lavere end jordtypegruppe 2.

Det er også undersøgt, om jordtypegrupperne JB1+JB2+JB3+JB4 med sandet underjord i virkeligheden kan slås sammen til en fælles jordtypegruppe. Resultaterne en sådan model (m6) er vist i Rb6 og Pb6. Den fælles sandjords jordtypegruppe er omdrejningspunkt, og modellens parameter er meget lig parametrene i den foregående model. Dvs. at afskæringen er 122 og jordtypekorrektionen er -26 for jordtypegruppe3 (JB5+JB6) og -27 for jordtypegruppe 4(JB7+JB8).

Model m6:
Optimum_korrig.forf.~JordtypeGR_JB1_2_3_4S+ offset(-1*Sum_eftervirk_orgN)+Udbyt_ifht_std+offset(1*Prognose) +(1|year)

Rb6:

```
> anova(m6)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
                        Sum Sq Mean Sq NumDF   DenDF F value    Pr(>F)
JB4GroupNorm_Sandsamlet  15867    7934     2 111.372  5.2197   0.00681 **
Udbyt_ifht_std           35320   35320     1  99.801 23.2376 5.131e-06 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Pb6:

```
Fixed effects:
                              Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept)                   122.4901     9.5493  40.6141  12.827 7.19e-16 ***
JB4GroupNorm_Sandsamletc JBGr 3 -25.7137     8.5077 109.7042  -3.022  0.00312 **
JB4GroupNorm_Sandsamletd JBGr 4 -26.9761    11.2828 111.6371  -2.391  0.01848 *
Udbyt_ifht_std                    1.5190     0.3151  99.8008   4.821 5.13e-06 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Da en tidligere analyse (m4) har vist, at JB1 reagere forskelligt fra JB3 er der desuden kørt en analyse, hvor JB1 udgør sin egen jordtype, øvrige sandjord (JB2+JB3+JB4sand) er grupperet sammen, og hvor den ler blandede sandjord (JB5+JB6) er grupperet sammen med JB4 med leret underbund, og jordtypegruppe 1 indeholder her kun JB1. Sandblandet lerjord (JB7+JB8) er holdt separat. Modellens omdrejningspunkt er gruppen med øvrig sandjord. Resultatet af denne analyse er vist i Rb7 og Pb7.

Model 7:

Optimum_korrig.forf.~JordtypeGR_JB1_split+ offset(-1*Sum_eftervirk_orgN)+Udbyt_ifht_std+offset(1*Prognose) +(1|year)

Rb7:

```
> anova(m7)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
                     Sum Sq Mean Sq NumDF   DenDF F value   Pr(>F)
JB4GroupNorm_SandJB1  15876    5292     3 110.333  3.4474  0.01917 *
Udbyt_ifht_std        34541   34541     1  99.586 22.5021 7.02e-06 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Pb7:

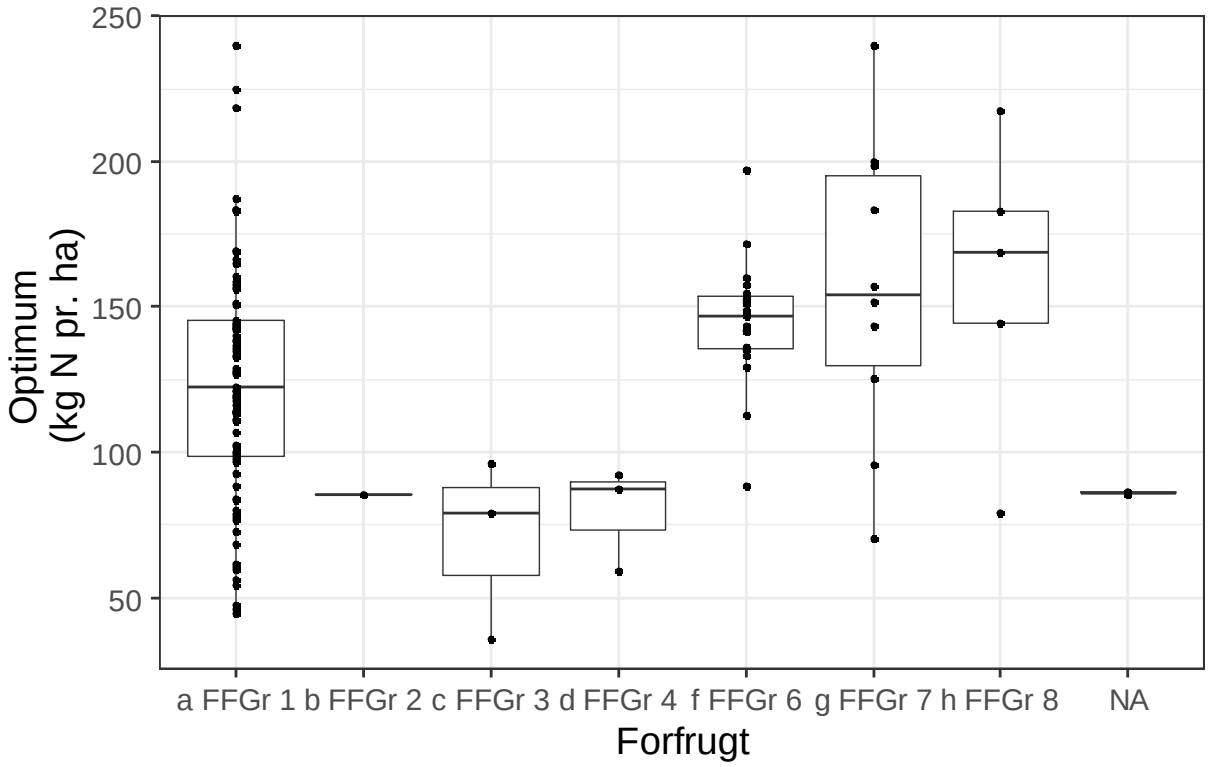
```
Fixed effects:
                            Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept)                 121.5394    11.9237  63.6076  10.193 5.30e-15 ***
JB4GroupNorm_SandJB1b JBGr 1   1.7445    13.3970 106.5035   0.130   0.8966
JB4GroupNorm_SandJB1c JBGr 3 -24.6542    11.6410 109.5825  -2.118   0.0364 *
JB4GroupNorm_SandJB1d JBGr 4 -25.9108    13.9834 110.9999  -1.853   0.0665 .
Udbyt_ifht_std                1.5138     0.3191  99.5861   4.744 7.02e-06 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

I denne model er afskæringen 122, mens jordtypekorrektionen er 2 kg N pr ha for JB1, mens øvrige jordtyper har en korrektion mellem -25 og -26 kg N pr. ha.

Analuserne i model m6 og m7 antyder, at det er lige så godt at lave to jordtypegrupper der blot gives ved sand og ler, som det er at opdele de nuværende jordtypegruppe med f.eks. udskildning af JB1. I de foregående modeller m3, m4 og m5 ser der ud til at være nogen forskel på finsand og grovsand, og når man lader modellen bruge disse forskelle i bliver der mindre forskelle i mellem ler og sandjordskorrektionerne, der passer bedre med de oprindelige N-min data der er lagt til grund for jordtypekorrektionerne.

Forfrugtsvirkninger

Der er kun få observationer for andre forfrugtsgrupper end korn (gruppe 1) roer og kartofler (gruppe 6) og majshelsæd (gruppe 7). Derfor er alle observationer i de øvrige forfrugtsgrupper udeladt af de modeller, hvor forfrugtsvirkningen skal estimeres. Figur 3 viser optimum for hver observation i hver forfrugtsgruppe.



Figur 3. Fordeling af observationer på forfrugtsgrupper

Forfugtsvirkningen er estimeret ved at korrigere optimum for forfrugtsvirkning, ved at ligge den indstillede forfrugtsvirkning til det målte optimum i hvert forsøg. Resultaterne af en sådan model

Optimum_korrig.jordtype.~ForfrugtGr + offset(-1*Sum_eftervirk_orgN)+Udbyt_ifht_std+offset(1*Prognose) +(1|year)

Rb8:

```
> anova(m8)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
                 Sum Sq Mean Sq NumDF  DenDF F value    Pr(>F)
ForfrugtGR_type  3032.8  1516.4     2 94.674  1.1914    0.3083
Udbyt_ifht_std  29296.3 29296.3     1 97.350 23.0183 5.785e-06 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Pb8:

```
Fixed effects:
                        Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept)             101.2367     9.0760  20.9019  11.154 2.92e-10 ***
ForfrugtGR_typef FFGr 6   1.5321     9.0680  95.6204   0.169    0.866
ForfrugtGR_typeg FFGr 7  19.5728    12.7794  93.2603   1.532    0.129
Udbyt_ifht_std            1.5458     0.3222  97.3505   4.798 5.79e-06 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Modellen tilsiger, at der skal være en neutral forfrugtsvirkning for kartofler og roer, men en negativ forfrugtsvirkning på 19 kg N pr. ha (optimum stiger med 19 kg N pr. ha). Det er overraskende, at majsen kommer ud med så dårlig en forfrugtsvirkning. Det er testet om denne effekt er stabil på et større datasæt ved at inkludere data fra 2000-2019. Denne model ses i model 8 a. Modellen viser samme forfrugtskorrektion for majs, men en negativ korrektion for kartofler og roer. Udbyttekorrektionen er lidt lavere

end i normsystemet, men en fastlåsning på 1,5 kg N pr. hkg kerne flytter kun få kg N i forfrugtskorrektionerne (data ikke vist).

Optimum_korrig.jordtype.~ForfrugtGr + offset(-1*Sum_eftervirk_orgN)+Udbyt_ifht_std+offset(1*Prognose) +(1|year)

Rb8b:

```
> anova(m8)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
                Sum Sq Mean Sq NumDF  DenDF F value    Pr(>F)
ForfrugtGR_type   8013    4007     2 275.81  2.9926   0.05179 .
Udbyt_ifht_std   69950   69950     1 185.81 52.2470 1.232e-11 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Pb8b:

```
Fixed effects:
                        Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept)             112.7286     4.0052  23.6377  28.146  < 2e-16 ***
ForfrugtGR_typef FFGr 6  -6.6898     5.4120 274.1725  -1.236   0.2175
ForfrugtGR_typeg FFGr 7  20.6878    10.9928 275.6608   1.882   0.0609 .
Udbyt_ifht_std            1.3148     0.1819 185.8125   7.228 1.23e-11 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Vinterhvede

Datasættet for vinterhvede består af alle 1073 stigende N forsøg udført fra 1987 – 2019. Analysen er dog alene fortaget på de 249 forsøg der er gennemført fra 2010-2019, idet det er den periode normindstillingen for 2021-2023 skal basere sig på. I enkelte analyser er der dog anvendt yderligere data.

Fri model

I den fri model lader vi, som for vårbyg, modellen estimere alle parametre i normsystemet. Dvs. at modellen estimerer en afskæring (intercept) og alle de korrektionsfaktorer der skal bruges for at forudsige forsøges kvælstofoptimum.

Den undersøgte model (m0) er:
Optimum~JordtypeGR+ForfrugtGR+Sum_eftervirk_orgN+Udbyt_ifht_std+Prognose+(1|year)

Parametrene forfrugt, udbytte og prognose har signifikant indflydelse på optimum, mens jordtypen overraskende ikke er signifikant (Rv0).

Rv0:

```
> anova(m0)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
                   Sum Sq Mean Sq NumDF  DenDF F value    Pr(>F)
Jordtype_grp        18746    6249     3 233.14  5.5605  0.001058 **
ForfrugtGR_type     22355    3726     6 230.41  3.3155  0.003770 **
Sum_eftervirk_orgN   2853    2853     1 230.11  2.5392  0.112422
Udbyt_ifht_std      42572   42572     1 234.62 37.8835 3.221e-09 ***
Prognose             1578    1578     1 207.74  1.4043  0.237351
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Parametrene ses i Pv0. Afskæring er 154 kg N pr. ha. Dvs. at optimum i et forsøg på JB2, JB4 eller JB11 med forfrugt korn, ved en neutral prognose, uden organisk gødning i forhistorien og et udbytte på 75 hkg pr. ha vil være 154 kg N pr. ha. For hvert hkg udbyttet stiger stiger optimum 1,0 kg N pr. ha. Som for vårbyg falder optimum med en stigende prognose, hvor man ville forvente det modsatte. Effekten af eftervirkning af husdyrgødning er negativ, hvor man ville forvente at det reducerede optimum en til en.

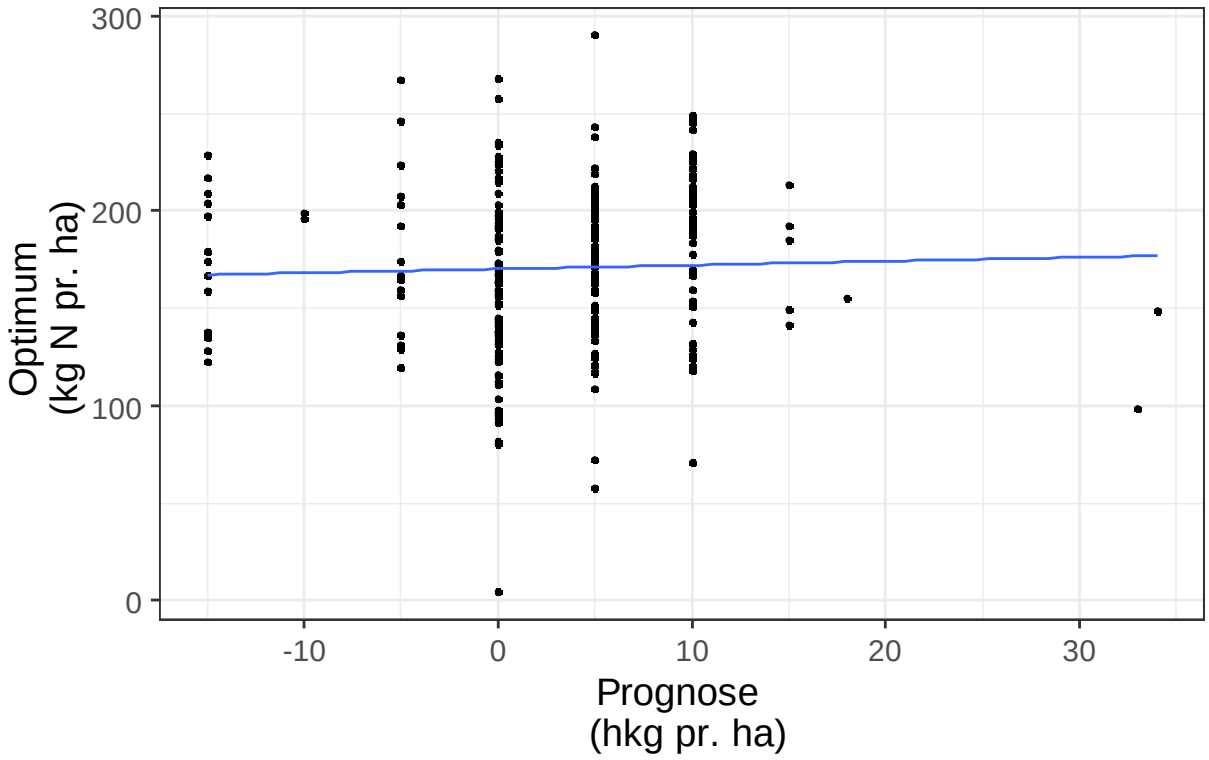
På grovsandet jord (jordtypegruppe 1) er optimum 20 kg N pr. ha højere end på finsand (jordtypegruppe 2), mens det er henholdsvis 16 og 28 kg N pr. ha højere på lerblandet sand (jordtypegruppe 3) og sandblandet ler (jordtypegruppe 4). Optimum falder med ca. 20 kg pr. ha efter bælgsæd (forfrugtsgruppe 2), oliefrø (forfrugtsgruppe 3) og frøgræs (forfrugtsgruppe 4), men kun for oliefrø (raps) er der mange observationere bag estimatet. Når forfrugten er kløvergræs eller ærter falder optimum med 40 kg N pr. ha, mens det ved roer og kartofler falder med 13 kg N pr. ha (forfrugtsgruppe 6), og med 11 kg N pr. ha ved majshelsæd som forfrugt (forfrugtsgruppe 7). Der er dog også meget få observationer i disse grupper. Reelt er der kun et tilstrækkeligt antal observationer til at estimere forfrugtsvirkningerne fra forfrugt korn (forfrugtsgruppe 1, omdrejningspunktet) og forfrugt oliefrø (forfrugtsgruppe 3). Estimatet for forfrugt oliefrø er tæt på værdien på 23 kg N pr. ha i normsystemet, men udbyttekorrektionen, der også påvirker normen efter raps, er lavere end i normsystemet.

Pb0:

```
Fixed effects:
                          Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept)               154.3947     7.5855  69.7402  20.354  < 2e-16 ***
Jordtype_grpb JBGr 1       19.5604     7.9268 235.4927   2.468 0.014313 *
Jordtype_grpc JBGr 3       16.2688     6.0745 235.9111   2.678 0.007922 **
Jordtype_grpd JBGr 4       27.6958     7.1672 235.2343   3.864 0.000144 ***
ForfrugtGR_typeb FFGr 2 -20.2444    11.4202 229.6037  -1.773 0.077607 .
ForfrugtGR_typec FFGr 3 -20.6216     5.1245 230.1637  -4.024 7.76e-05 ***
ForfrugtGR_typed FFGr 4 -23.1304    24.2920 229.9619  -0.952 0.342004
ForfrugtGR_typee FFGr 5 -40.7019    24.6911 233.0078  -1.648 0.100609
ForfrugtGR_typef FFGr 6 -13.1090    10.4786 230.7345  -1.251 0.212191
ForfrugtGR_typeg FFGr 7 -10.9388    14.4782 229.8949  -0.756 0.450701
Sum_eftervirk_orgN        -0.6216     0.3901 230.1059  -1.593 0.112422
Udbyt_ifht_std             0.9729     0.1581 234.6208   6.155 3.22e-09 ***
Prognose                  -0.4065     0.3430 207.7439  -1.185 0.237351
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Prognose fastlåst

Relationen mellem prognose og optimum ses i figur 4. Relation er svag, men inkludere heller ikke øvrige modeleffekter. Ud fra en forsyningsnorms tankegang bør kvælstofprognosen øge optimum med 1 kg N pr. ha for hvert kg N pr. ha som prognosen er større end 0. Ud fra dette argument er det, som for vårbyg forsøgt at fastlåse prognosen til parameteren 1 (Rv1 og Pv1). Som for vårbyg påvirker fastlåsningen af prognoseparameteren kun modelestimaterne i begrænset omfang. Parameteren for prognosen er derfor sat til 1 i de følgende modeller.



Figur 4. Relation mellem prognose og optimum i hvede, uden hensyntagen til øvrige parametre

Model m1:

Optimum~JordtypeGR+ForfrugtGR+Sum_eftervirk_orgN+Udbyt_ifht_std+offset(1*Prognose) +(1|year)

Rv1:

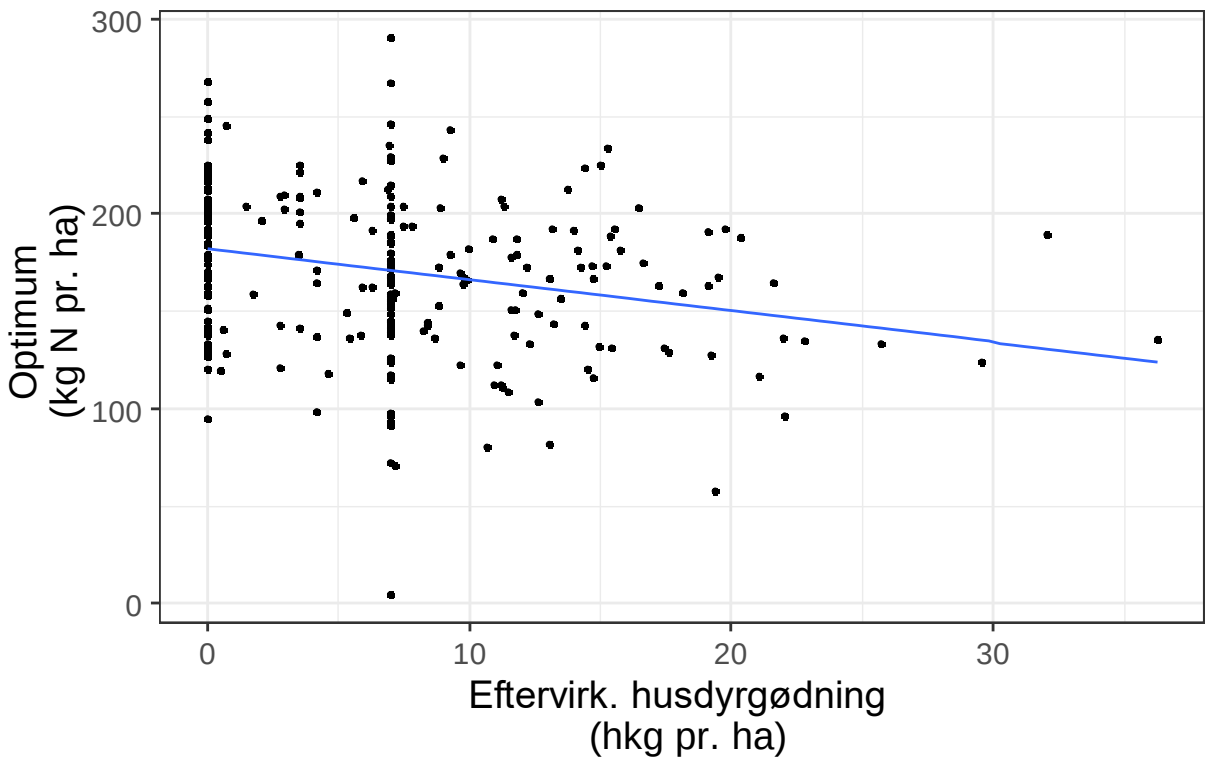
```
> anova(m1)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
                   Sum Sq Mean Sq NumDF  DenDF F value    Pr(>F)
Jordtype_grp        17855    5952     3 234.02  4.9072  0.002515 **
ForfrugtGR_type     17088    2848     6 232.16  2.3481  0.032020 *
Sum_eftervirk_orgN   2176    2176     1 231.75  1.7944  0.181703
Udbyt_ifht_std      49070   49070     1 225.89 40.4570 1.103e-09 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Pv1:

```
Fixed effects:
                        Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept)             148.7445     7.2854  79.8954  20.417  < 2e-16 ***
Jordtype_grpb JBGr 1     22.2098     8.1383 236.3072   2.729 0.006829 **
Jordtype_grpc JBGr 3     15.5486     6.2532 234.0434   2.486 0.013600 *
Jordtype_grpd JBGr 4     25.2912     7.3831 236.9879   3.426 0.000723 ***
ForfrugtGR_typeb FFGr 2 -16.4937    11.8087 231.7282  -1.397 0.163825
ForfrugtGR_typec FFGr 3 -18.3008     5.2795 231.6886  -3.466 0.000629 ***
ForfrugtGR_typed FFGr 4 -16.4871    25.1451 232.0003  -0.656 0.512681
ForfrugtGR_typee FFGr 5 -30.5256    25.4081 235.1814  -1.201 0.230800
ForfrugtGR_typef FFGr 6 -11.2159    10.8604 231.9201  -1.033 0.302806
ForfrugtGR_typeg FFGr 7  -9.5658    15.0173 231.5475  -0.637 0.524763
Sum_eftervirk_orgN       -0.5416     0.4043 231.7446  -1.340 0.181703
Udbyt_ifht_std            1.0291     0.1618 225.8864   6.361  1.1e-09 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Eftervirkning husdyrgødning og prognose fastlåst

Som beskrevet i vårbyg afsnittet bør parameteren for eftervirkningen være -1. Relationen mellem husdyrgødningseftervirkning og optimum er vist i figur 5. Det er også for hvede forsøgt at fastlåse parameteren til denne værdi. Resultater og parametre ses i Rv2 og Pv2. Generelt er sammenhængen mellem optimum og husdyrgdøningseftervirkning svag (Figur x). Modellens er kun marginal anderledes en model med fastlåst prognose, hvor eftervirkningen får lov til at variere frit. Der arbejdes derfor videre med en model hvor parameteren for husdyrgødning er fastsat til -1.



Figur 5. Relation mellem eftervirkning af husdyrgødning og optimum i hvede, uden hensyntagen til øvrige parametre

Model m2:

Optimum~JordtypeGR+ForfrugtGR+offset(-1*Sum_eftervirk_orgN)+Udbyt_ifht_std+offset(1*Prognose)+(1|year)

Rv2:

```
> anova(m2)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
                Sum Sq Mean Sq NumDF  DenDF F value    Pr(>F)
Jordtype_grp     16351    5450     3 234.58  4.4920  0.004362 **
ForfrugtGR_type  17467    2911     6 233.15  2.3994  0.028665 *
Udbyt_ifht_std   47707   47707     1 227.36 39.3197 1.791e-09 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Pv2:

```
Fixed effects:
                        Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept)             153.3995     6.0314  42.9857  25.433  < 2e-16 ***
Jordtype_grpb JBGr 1     21.6353     8.1264 237.3493   2.662 0.008290 **
Jordtype_grpc JBGr 3     13.9475     6.0885 234.6983   2.291 0.022863 *
Jordtype_grpd JBGr 4     22.8432     7.0590 237.9920   3.236 0.001384 **
ForfrugtGR_typeb FFGr 2 -18.1894    11.7160 232.6176  -1.553 0.121897
ForfrugtGR_typec FFGr 3 -18.3455     5.2808 232.5534  -3.474 0.000611 ***
ForfrugtGR_typed FFGr 4 -16.0265    25.1489 232.8886  -0.637 0.524578
ForfrugtGR_typee FFGr 5 -26.8945    25.2230 236.1295  -1.066 0.287392
ForfrugtGR_typef FFGr 6 -11.8638    10.8487 232.9090  -1.094 0.275274
ForfrugtGR_typeg FFGr 7  -3.1719    13.9172 232.7789  -0.228 0.819913
Udbyt_ifht_std            1.0111     0.1612 227.3590   6.271 1.79e-09 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Jordtypekorrektion og udbyttekorrektion

Da udbyttet variere stærkt på forskellige jordtyper, kan udbyttekorrektionen ikke ses uafhængigt af jordtypekorrektionen. Der er her opsat en model, der beregner jordtypekorrektionen ved de forfrugtskorrektioner der findes i normsystemer i dag. Det er sket ved at korrigere hvert forsøgs optimum med den indstillede forfrugtskorrektion. Resultatet ses i Rv3 og Pv3.

Model m3:
Optimum_korrig.forf.~JordtypeGR+ForfrugtGR+offset(-1*Sum_eftervirk_orgN)+Udbyt_ifht_std+offset(1*Prognose) + (1|year)

Rv3:

```
> anova(m3)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
               Sum Sq Mean Sq NumDF  DenDF F value   Pr(>F)
Jordtype_grp    26156    8719     3 240.52  5.3602 0.001371 **
Udbyt_ifht_std  38465   38465     1 228.99 23.6483 2.15e-06 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Pv3:

```
Fixed effects:
                     Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept)          135.7993     6.5542  36.1203  20.719  < 2e-16 ***
Jordtype_grpb JBGr 1  19.9552     8.8802 240.6712   2.247 0.025537 *
Jordtype_grpc JBGr 3  20.4350     6.8994 241.2839   2.962 0.003363 **
Jordtype_grpd JBGr 4  30.5845     7.9977 243.9542   3.824 0.000167 ***
Udbyt_ifht_std         0.8898     0.1830 228.9874   4.863 2.15e-06 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Udbyttekorrektionen er væsentligt lavere end i normsystemet (0,9 mod 1,5 kg N pr. hkg kerne), mens jordtypekorrektionerne er væsentligt højere på lerjord end i normsystemet. Det skyldes formentligt at udbyttet på lerjord er højere og at modellen fordeler den øgende kvælstofnorm der følger af det højere grundudbytte på lerjord anderledes mellem jordtypekorrektioner og udbyttekorrektion end i normsystemet. For at undersøge jordtypekorrektionerne ved samme udbyttekorrektion som i normsystemet er der kørt en model m3a hvor udbyttekorrektionen er fastlåst til 1,5 kg N pr. hkg kerne. Resultaterne ses i Rv3a og Pv3a.

Model m3a:
Optimum_korrig.forf.~JordtypeGR+ offset(-1*Sum_eftervirk_orgN)+offset (1,5*Udbyt_ifht_std)+offset(1*Prognose) + (1|year)

Rv3a:

```
> anova(m3a)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
             Sum Sq Mean Sq NumDF  DenDF F value   Pr(>F)
Jordtype_grp  20850    6950     3 244.18  4.1003 0.007297 **
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Pv3a:

```
Fixed effects:
                      Estimate Std. Error      df t value Pr(>|t|)
(Intercept)            129.962      6.409  33.974  20.279  < 2e-16 ***
Jordtype_grpb JBGr 1    24.554      8.948 241.062   2.744  0.00652 **
Jordtype_grpc JBGr 3    14.499      6.805 243.748   2.131  0.03411 *
Jordtype_grpd JBGr 4    24.939      7.978 244.664   3.126  0.00199 **
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

En fastlåsning af udbyttekorrektionen til 1,5 kg N pr. bringer jordtypekorrektionerne tættere på de jordtypekorrektioner der findes i normsystemet i dag, men jordtypekorrektionen for jordtypegruppe 1 (JB1+JB3) estimeres til at være 10 kg N pr. ha højere end i dag, mens estimatet for jordtypegruppe 3 (JB5 + JB6) og og jordtypegruppe 4 (JB7 + JB8) er estimeret til at være ca. 15-20 kg N pr. ha højere end i dag. At jordtypekorrektionerne på lerjord forhøjet mere på lerjord end på sandjord i forhold til normsystemet indikere, at udbytte korrketionen ikke fanger udbytteforskellen, selvom den er fastlåst til 1,5 kg N pr. hkg kerne i denne model.

For at undersøge om eventuelle ændringer i jordtypekorrektion er stabil overfor hvilket data der inkluderes i estimationen, er samme model kørt med data fra 2000-2019 (model 3b). Resultaterne ses i Rv3b og Pv3b.

Rv3b:

```
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
             Sum Sq Mean Sq NumDF  DenDF F value    Pr(>F)
Jordtype_grp  29996  9998.6     3 531.89  5.6632 0.0007995 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Pv3b:

```
Fixed effects:
                      Estimate Std. Error      df t value Pr(>|t|)
(Intercept)            138.012      4.716  91.161   29.27  < 2e-16 ***
Jordtype_grpb JBGr 1    24.317      6.607 533.911    3.68 0.000257 ***
Jordtype_grpc JBGr 3     7.417      4.912 533.928    1.51 0.131660
Jordtype_grpd JBGr 4    16.338      5.634 533.916    2.90 0.003885 **
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Det er tydeligt, at resultaterne ikke er helt stabile overfor inklusion af yderligere 10 års data. Jordtypekorrektionerne på lerjord er lavere når dette datasæt anvendes, men stadig ca. 5 – 10 kg N pr. ha højere end i normsystemet i dag.

For at undersøge om udbyttekorrektion indstiller sig til de 1,5 der anvendes i normsystemet, hvis de øvrige parametre låses fast, er der kørt en model, hvor der er korrigeret for både forfrugtsvirkning og jordtypekorrektion og hvor kun udbytte korrektionen variere. Dette er gjort både på data fra 2010 til 2019 (model 3c) og fra 2000 til 2019 (model 3d), fordi det er tydeligt, at jordtypekorrektionen er påvirkelig af, hvilke data der anvendes.

Model m3c:

Optimum_korrig.forf._jordtype ~ offset(-1*Sum_eftervirk_orgN)+Udbyt_ifht_std+offset(1*Prognose) + (1|year)

Rv3c:

```
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
               Sum Sq Mean Sq NumDF  DenDF F value    Pr(>F)
Udbyt_ifht_std  75189   75189     1 231.64  44.126 2.172e-10 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Pv3c:

```
Fixed effects:
               Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept)    146.7561     4.6266  15.7093  31.720 1.14e-15 ***
Udbyt_ifht_std   1.1235     0.1691 231.6422   6.643 2.17e-10 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Model m3d:

Optimum_korrig.forf._jordtype ~ offset(-1*Sum_eftervirk_orgN)+Udbyt_ifht_std+offset(1*Prognose) + (1|year)

Rv3d:

```
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
               Sum Sq Mean Sq NumDF  DenDF F value    Pr(>F)
Udbyt_ifht_std 107847  107847     1 441.94  63.379 1.453e-14 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Pv3d:

```
Fixed effects:
               Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept)    152.6214     3.0660  28.4948  49.779  < 2e-16 ***
Udbyt_ifht_std   0.9119     0.1145 441.9411   7.961 1.45e-14 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Det er tydeligt, at udbyttekorrektionen her vanskeligt ved at nå de 1,5 kg N pr. hkg kerne som der regnes med i normsystemet. Det er uafhængigt af hvilke data der anvendes.

Som for vårbyg er det undersøgt, om JB1 og JB3 kan adskilles i to jordtypegrupper. Det er valgt at fastlåse udbytte korrektionen på 1,5 kg N pr. ha.

Model m4:

Optimum_korrig.forf.~JordtypeGR_JB1_JB3+ offset (-1*Sum_eftervirk_orgN)+offset(1,5*Udbyt_ifht_std)+ offset (1*Prognose) + (1|year)

Rv4:

```
> anova(m4v)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
         Sum Sq Mean Sq NumDF  DenDF F value  Pr(>F)
JBgr_1_3  21825  5456.3     4 243.09  3.2147 0.01351 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Pv4:

```
Fixed effects:
                  Estimate Std. Error      df t value Pr(>|t|)
(Intercept)        130.050      6.435  33.636  20.210  < 2e-16 ***
JBgr_1_3b JB 1      29.103     10.788 243.940   2.698  0.00747 **
JBgr_1_3b JB 3      18.476     12.079 239.039   1.530  0.12742
JBgr_1_3c JBGr 3    14.400      6.813 242.739   2.113  0.03558 *
JBgr_1_3d JBGr 4    24.834      7.986 243.678   3.110  0.00210 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Modellen viser, at jordtypekorrektionerne for JB1 er 10 kg N pr. ha højere end på JB3 men estimaterne er ikke usikkert bestemt. Det kan derfor formentlig ikke betale sig at udskille JB1 i en jordtypegruppe for sig selv.

Som for vårbyg er det undersøgt om man statistisk kan eftervise at jordtypekorrektionen er forskellig for JB4 med sandet og leret underbund. Igen er udbyttekorrektionen fastlåst til 1,5 kg N pr. hkg kerne.

Model m5:
Optimum_korrig.forf.~JordtypeGR_JB2_JB4S+ offset (-1*Sum_eftervirk_orgN)+Udbyt_ifht_std+offset(1*Prognose) + (1|year)

Rv5:

```
> anova(m5v)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
             Sum Sq Mean Sq NumDF  DenDF F value  Pr(>F)
JB4GroupNorm  16263    5421     3 244.45  3.1603 0.02532 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Pv5:

```
Fixed effects:
                     Estimate Std. Error      df t value Pr(>|t|)
(Intercept)           132.336      6.939  40.834  19.072  < 2e-16 ***
JB4GroupNormb JBGr 1   22.024      9.353 238.376   2.355  0.01934 *
JB4GroupNormc JBGr 3    9.714      7.239 236.219   1.342  0.18091
JB4GroupNormd JBGr 4   22.633      8.416 244.921   2.689  0.00765 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Afskæringen ændres med 2 kg N pr. ha i forhold til model m3a fordi jordtypegruppen der er omdrejningspunkt opdeles. Jordtypekorrektionen for jordtypegruppe 1 (JB1+JB3) og jordtypegruppe 4 (JB7 + JB8) falder tilsvarende, og falder med ca. 4 kg N pr. ha for jordtype gruppe 3 (JB5+JB6). Det viser, at det er muligt at opdele grupperne, men denne opdeling øger optimum en smule på JB2 og JB4 sand, og på JB5+JB6 men lader optimum falde en smule på de øvrige jordtyper.

Som for vårbyg er det undersøgt om man kan etablere en samlet jordtype gruppe for sandjord, og hvor JB4 med leret underjord lægges over til jordtypegruppe 3 (JB5+JB6). Denne model er vist i model 6. For de grovsandede jorder vil modellen reducere optimum lidt og øger det på finsandede jorde. På lerjord vil modellen stort set betyde et uændret optimum. Der er altså ikke nogen stor fordel ved modellen, da den blot udvasker forskellen mellem grov og finsand, som det nuværende normsystem tager hensyn til.

Model m6:
Optimum_korrig.forf.~JordtypeGR_JB1_2_3_4S+ offset(-1*Sum_eftervirk_orgN)+Udbyt_ifht_std+offset(1*Prognose) +(1|year)

Rv6:

```
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
                        Sum Sq Mean Sq NumDF  DenDF F value Pr(>F)
JB4GroupNorm_Sandsamlet 6813.3  3406.7     2 244.72  1.9422 0.1456
```

Pv6:

```
Fixed effects:
                                Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept)                     141.9511     5.5110  25.4125  25.758   <2e-16 ***
JB4GroupNorm_Sandsamletc JBGr 3   0.2054     6.1110 245.2514   0.034   0.9732
JB4GroupNorm_Sandsamletd JBGr 4  13.4203     7.5370 243.2703   1.781   0.0762 .
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Det er også forsøg at køre en model tilsvarende model 6, men med JB1 skilt fra de andre sandjorde. Dette ses i model 7.

Model 7:
Optimum_korrig.forf.~JordtypeGR_JB1_split+ offset(-1*Sum_eftervirk_orgN)+Udbyt_ifht_std+offset(1*Prognose) +(1|year)

Rv7:

```
> anova(m7v)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
                     Sum Sq Mean Sq NumDF  DenDF F value  Pr(>F)
JB4GroupNorm_SandJB1  14461  4820.4     3 243.86  2.7966 0.04083 *
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

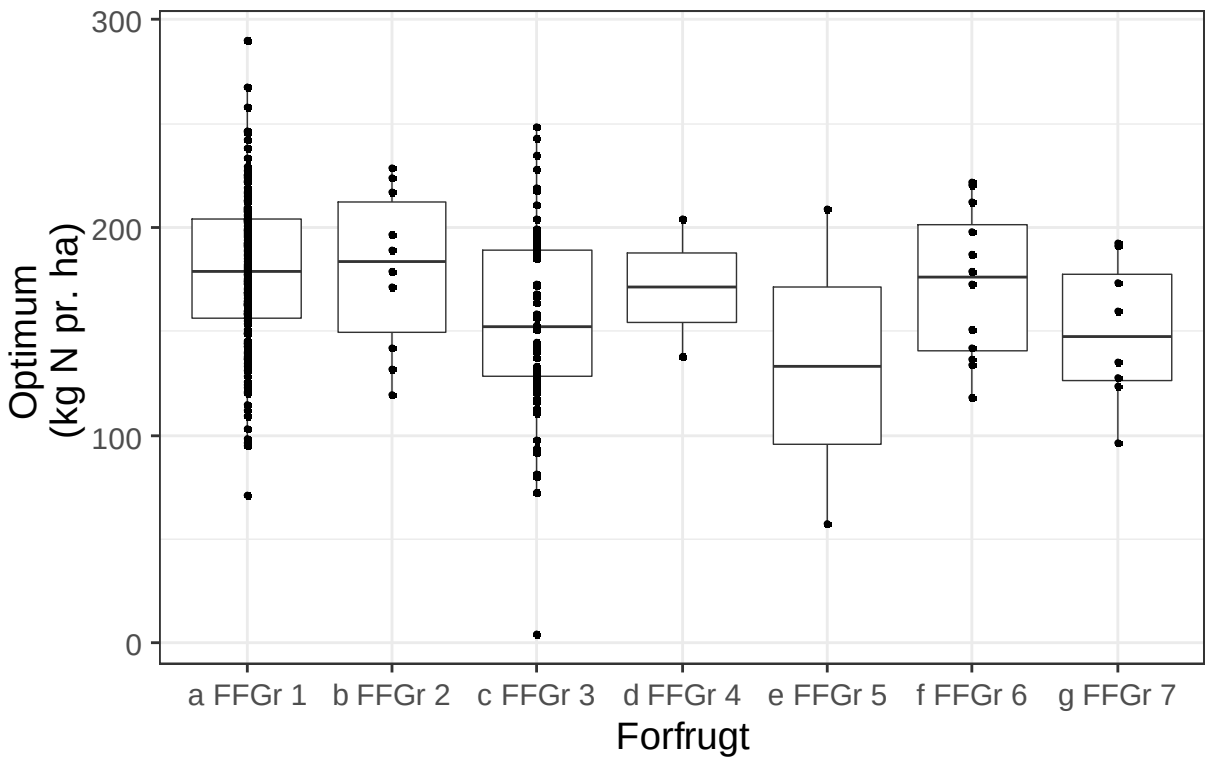
Pv7:

```
Fixed effects:
                              Estimate Std. Error      df t value Pr(>|t|)
(Intercept)                    136.513      6.171  31.957  22.120   <2e-16 ***
JB4GroupNorm_SandJB1b JBGr 1    22.635     10.708 244.314   2.114   0.0355 *
JB4GroupNorm_SandJB1c JBGr 3     5.574      6.553 244.106   0.851   0.3958
JB4GroupNorm_SandJB1d JBGr 4    18.591      7.862 243.153   2.365   0.0188 *
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Modellen viser, at afskæringen falder ca. 3 kg N pr. ha i forhold til model 6, men at der til gengæld indføres en korrektion på 22 kg N pr. ha for JB1. For de øvrige jordtypegrupper stiger korrektionen tilsvarende til faldet i afskæring. Som model 6 viser dette, at grov- og finsandet jord adskiller sig fra hinanden, men modellerne viser ikke nogen stor fordel ved at omgruppere jordtyperne fra det nuværende normsystem. Det skyldes at modellerne ikke kan vise at JB1 og JB3 er meget forskellige fra hinanden, eller at JB3 og JB2+JB4 ligner hinanden mere end JB1 og JB3.

Forfrugtsvirkninger

Der er kun få observationer (<10) for andre forfrugtsgrupper end korn (gruppe 1), oliefrø (gruppe3) og roer og kartofler (gruppe 6). Derfor er alle observationer i de øvrige forfrugtsgrupper udeladt af de modeller, hvor forfrugtsvirkningen skal estimeres.



Figur 6. Optimum for alle observationer fordelt på forfrugter

Optimum fordelt på forfrugtsgrupper for alle observationer er vist i figur 5. Forfugtsvirkningen estimeres ved at korrigere optimum for jordtypekorrektioen, ved at ligge den indstillede forfrugtsvirkning til det målte optimum i hvert forsøg. Resultaterne af en sådan model ses i Rv8 og Pv8. Som for de øvrige hvedemodeller er udbyttekorrektionen fastholdt på 1,5 kg N pr. hkg kerne.

Optimum_korrig.jordtype.~ForfrugtGr + offset(-1*Sum_eftervirk_orgN)+offset (1,5*Udbyt_ifht_std)+offset(1*Prognose) +(1|year)

Rv8:

```
> anova(m8v)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
                Sum Sq Mean Sq NumDF  DenDF F value    Pr(>F)
ForfrugtGR_type  23943    7981     3 228.93  6.3323 0.0003834 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Pb8:

```
Fixed effects:
                        Estimate Std. Error      df t value Pr(>|t|)
(Intercept)              157.832      4.024  13.378  39.219 3.34e-15 ***
ForfrugtGR_typeb FFGr 2  -22.390     11.754 230.858  -1.905    0.058 .
ForfrugtGR_typec FFGr 3  -21.188      5.195 227.315  -4.079 6.27e-05 ***
ForfrugtGR_typef FFGr 6  -16.540     10.762 229.247  -1.537    0.126
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Modellen viser, at forfrugtsvirkningen for bælgsæd og raps er henholdsvis 21 og 22 kg N pr. ha, mens den for roer og kartofler er 17 kg N pr. ha. Det er testet om denne effekt er stabil på et større datasæt ved at inkludere data fra 2000-2019. Denne model ses i model 8 a.

Optimum_korrig.jordtype.~ForfrugtGr + offset(-1*Sum_eftervirk_orgN)+ offset (1,5*Udbyt_ifht_std)+offset(1*Prognose) +(1|year)

Rb8b:

```
> anova(m8v)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
                Sum Sq Mean Sq NumDF  DenDF F value    Pr(>F)
ForfrugtGR_type  46342   15447     3 497.58  12.399 7.833e-08 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Pb8b:

```
Fixed effects:
                        Estimate Std. Error      df t value Pr(>|t|)
(Intercept)              160.009      2.910  25.364  54.988  < 2e-16 ***
ForfrugtGR_typeb FFGr 2  -18.424      7.414 497.522  -2.485   0.0133 *
ForfrugtGR_typec FFGr 3  -22.074      3.804 498.725  -5.802 1.17e-08 ***
ForfrugtGR_typef FFGr 6  -13.280      8.244 497.488  -1.611   0.1078
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Modellen viser stort set samme forfrugtskorrektion for raps, en lidt mindre korrektion for bælgsæd og en lidt mindre korrektion for kartofler og roer. Forfrugtskorrektionen for raps er laver end de 30 kg N pr. ha, som den faglige eftervirkning i normsystemet. Analyserne antyder således, at forfrugtsvirkningen for raps kan reduceres med 5-10 kg N pr. ha i forhold til værdien på 30 kg N pr. ha i det nuværende normsystem.

Konklusion

I vårbyg er udbyttekorrektionen estimeret til ca. 1,5 kg N pr. hkg kerne i alle de kørte modeller. Det gælder også når jordtypekorrektionerne låses fast. For vårbyg passer jordtype og udbyttekorrektionerne således fint med de nugældende fastsatte værdier i normsystemet.

I hvede ligger den estimerede udbyttekorrektionen omkring 1,0 kg N pr. hkg kerne. Det gælder også i en model hvor alle øvrige parametre er fastlåst til samme værdi som i normsystemet, hvor udbyttekorrektionen bliver estimeret til 1,2 kg N pr. hkg kerne. Det er således svært at eftervise, at jordtype korrektionen skal være 1,5 kg N pr. hkg kerne som den er fastsat til i normsystemet. En ændring af udbyttekorrektionen i hvede spiller sammen med omregningen fra normer fastsat for forsøgsudbytter til normer baseret på udbytter fra Danmarks statistik. Desuden bruges udbyttekorrektionen i vinterhvede også som basis for fastsættelsen af jordtypekorrektionen i en række øvrige vinterafgrøder. En ændring af udbyttekorrektionen i hvede vil derfor have en betydelig påvirkning af det samlede normsystem, herunder den samlede årlige kvote. De samlede konsekvenserne for normsystemet bør analyseres, inden der sker en en ændring af udbyttekorrektionen for vinterhvede.

I hvede er der en tendens til jordtypekorrektioner der er 5-10 kg N pr. ha højere på lerjord end i normsystemet, men dette kan være et resultat af en lavere udbyttekorrektion. Hvis der inkluderes 20 års data er konklusionen for hvede ikke robust, og jordtypekorrektionerne forbliver stort set som i normsystemet i dag. Det kan ikke anbefales at ændre jordtypekorrektionerne for hvede, både fordi konklusionerne ikke er de samme hvis analysen foretages på 10 og 20 års data, og på grund af samspillet med udbyttekorrektionen, der som nævnt ovenfor bør afvente en nærmere analyse.

På baggrund disse analyser anbefales det at holde jordtype- og udbyttekorrektioner konstante i den næste tre års periode.

Det er testet om JB1 med fordel kan udskilles i en selvstændig jordtypegruppe. Konklusionen må imidlertid være, at der ingen umiddelbar fordel er ved at opdele jordtypegrupperne i andre grupper end i dag.

Forfrugtskorrektionen for raps, der i dag er fastsat til 30 kg N pr. ha, ser ud til at være for høj. Den kan reduceres med ca. 5-10 kg N pr. ha. De øvrige forfrugtsvirkninger afviger en del fra de fastsatte værdier, men for andre grupper en raps, er der ofte kun omkring 10-20 observationer i datasættet. Estimering af parametreværdierne kan derfor være usikker. Analyserne tyder på at majs er en dårlig forfrugt til vårbyg, og at forfrugtsvirkningen her er direkte negativ. I praksis er majs dog ofte forfrugt til majs eller kløvergræs, og derfor bør man ikke ændre forfrugsvirkningen i majs, uden at have analyseret forfrugtsvirkningen i disse afgrøder.