
Udvikling af GIS-kort over estimeret fosfortal i landbrugsjord

Holger Nehmdahl; ConTerra
Torkild Birkmose; SEGES

September 2020

Udvikling af GIS-kort over estimeret fosfortal i landbrugsjord

Indhold

1.	Resume.....	3
2.	Projektets baggrund og formål	4
3.	Bidrag fra projektparterne	4
4.	Datagrundlag.....	5
5.	Metode	6
5.1.	Fosfor i husdyrgødning.....	6
5.2.	Fosfor i høstet afgrøde	8
5.3.	Fosfor i handelsgødning	9
5.4.	Fosforoverskud – akkumulering	10
6.	Håndtering af jordbundsdata	13
6.1.	Fosforbindingskapacitet.....	15
6.2.	Håndtering af afstand mellem husdyrhold (stald) og markarealer.....	16
7.	Korrelationsanalyser med målte fosfortal - datagrundlag	17
7.1.	Data over fosfortal ved SEGES	17
7.2.	Datagrundlag for korrelationer på kommuneniveau efter 1970-reformen	18
7.3.	Datagrundlag for korrelationer med landbrugsdata på 500x500 m celler	18
7.4.	Usikkerheder vedrørende målte fosfortal.....	18
7.5.	Anvendt geografisk opløsning og indledende analyser	19
8.	Resultater af analyser af data på overordnet niveau	20
8.1.	Korrelationer på kommuneniveau.....	20
8.2.	Korrelation på kommuneniveau – en til mange analyse	24
8.3.	Korrelationer på regionsniveau (geo-regioner).....	25
9.	Resultater af analyser i forbindelse med udarbejdelsen af kort i høj opløsning.	27
10.	Konklusion	32
11.	Litteratur	34

1. Resume

Projektets formål var at udarbejde et GIS-kort, som på bedste vis giver et skøn over landbrugsjordens fosforindhold. Dette beskrives oftest i form af "fosfortallet" (Pt) som måleenhed, der viser den plantetilgængelige andel af fosfor i landbrugsjord. Jordbrugere får jævnligt foretaget jordprøveanalyser af bl.a. Pt. Disse analyseresultater, som bl.a. findes hos SEGES, ejes af jordbrugerne og kan ikke anvendes til kortlægningen af forskelle i landbrugsjordens fosforstatus. Der blev med projektet derfor foretaget en kortlægning, der benytter sig af registeroplysninger vedr. anvendelsen af fosfor i dansk landbrug over tid og etablerede sammenhænge mellem et beregnet akkumuleret fosforoverskud/fosformætningsgrad og fosforstatus givet som Pt.

Med udgangspunkt i landbrugsdata fra 1920-2016 blev der i forbindelse med projektet udarbejdet landsdækkende kort over fosforbalancer og fosforoverskud indenfor perioden. Hertil blev der bl.a. anvendt data over husdyrhold, afgrødevalg, høstudbytter samt tildelte gødningsmængder. Disse data foreligger på et meget forskelligt opløsningsniveau spændende fra sogne, herreder, amtsråds kredse og de tidligere kommuner (1970-2007). For de sidste ca. 20 år af perioden kan data dog præsenteres på mark/markblokniveau.

De knap 100 års data blev aggregeret i 4 tidsstep og anvendt til regressionsanalyser, hvor delposter fra fosforbalancen og det beregnede fosforoverskud blev sammenholdt med målte data for jordens fosfortal fra SEGES database over jordbrugeres jordprøveanalyser. Herudover indgik jordbundsdata og afstandsanalyser (bedrift/markarealer) i analysen. Trinvise regressionsanalyser blev gennemført for større administrative enheder og i kørsler, hvor beregnede forklarende parametre og målte værdier blev udlæst og sammenholdt i højopløsnings-grid.

Variationen i det beregnede fosforoverskud samt delposter for fosforbalancen indenfor det seneste tidsstep (1995-2016) viste sig i alle tilfælde at have den største forklaringsgrad i forhold til de målte fosfortal. En række tilsvarende parametre for de tidligere tidsstep blev ligeledes udpeget som værende signifikant korreleret til målte fosfortal. Forklaringsgraden for parametrene varierede alt efter på hvilket opløsningsniveau regressionen blev gennemført. På overordnede niveauer som f.eks. afgrænsninger givet ved kommunegrænserne (1970-2007) kan variationen i målte P-tal prædikeres på et tilfredsstillende niveau med korrelationskoefficienter på mellem 0,6 og 0,8.

Den samlede usikkerhed for modeller til prædiktion af fosfortal i høj opløsning synes stor. Usikkerheder for målte fosfortals-værdier er tidligere vist at ligge på 1 måleenhed, og usikkerheden ved prædiktionen via modellen ligger på yderligere ca. 2 måleenheder. Kendsgerningen, at målte værdier for fosfortal (SEGES) er meget uens fordelt i Danmark, kan bidrage til usikkerheden. Hvor antallet af prøvetagninger i Jylland er omfattende, er antallet af prøver lavt specielt på Sjælland og Lolland-Falster. Særlig stor er usikkerhederne i yderpunkterne, hvor meget høje og meget lave værdier for målte fosfortal ikke kan prædikeres gennem anvendelsen af modellen. Korrelationskoefficienter for højopløsnings-grid på 500 x 500 meter kantlængde lå på under 0,3 (0,28) og antages for 100 x 100 m kantlængde alt andet lige at være svagere. Den rumlige variation for de styrende parametre er vanskelig at beskrive med modellen på meget lokal skala, og derudover er usikkerheder i forbindelse med jordprøveudtagning og analyse for fosfortal ligeledes betydelige.

2. Projektets baggrund og formål

Nærværende projekt er gennemført af ConTerra i samarbejde med SEGES for Miljø- og Fødevarerministeriet i 2019. Ministeriet har igangsat projektet med henblik på, at resultaterne fra projektet kan overleveres til Aarhus Universitet med henblik på at indgå i et større projekt om Fosforkortlægning af dyrkningsjord og vandområder i Danmark, som universitet gennemfører for ministeriet. I dette større projekt kortlægger Aarhus Universitet bl.a. risikoen for fosfortab via erosion og via matrixudvaskning fra arealerne, hvor en relevant parameter for den samlede risiko for fosfortab er jordens fosforstatus udtrykt som jordens fosfortal. Behovet for at få estimeret et fosfortal i et GIS-kort er således baggrunden for nærværende projekt.

Formålet er at udarbejde et GIS-kort, som på bedste vis giver et skøn over landbrugsjordens fosforindhold. Dette beskrives oftest i form af "fosfortallet" (Pt) som måleenhed, der viser den plantetilgængelige andel af fosfor i landbrugsjord. Jordbrugeren vil som regel følge med i udviklingen af Pt, især for de dele af bedriftens markarealer hvor en evt. mangelsituation måtte opstå. Der kan dog ikke opnås adgang til den centrale registrering af disse analyseresultater, som findes hos SEGES men ejes af jordbrugerne, og derfor kan disse data ikke anvendes til kortlægningen af forskelle i landbrugsjordens fosforstatus.

Der søges derfor på anden vis foretaget en kortlægning, der benytter sig af registeroplysninger vedr. anvendelsen af fosfor i dansk landbrug over tid og etablerede sammenhænge mellem et beregnet akkumuleret fosforoverskud/fosformætningsgrad og fosforstatus givet som Pt. Ud over et akkumuleret P-overskud må jordbundsegenskaberne forventes at have en signifikant indflydelse på Pt. Herunder jordens evne til at binde fosfor. Jordbundstyper er kortlagt via den officielle klassificering af jord af Aarhus Universitet og foreligger i Danmark som et digitalt jordbundskort.

SEGES har i en undersøgelse fra 2016 vist, at der er omvendt sammenhæng mellem afstanden fra husdyrholdet til marken og det målte fosfortal. Det er derfor relevant at beskrive landbrugsdriften i Danmark i perioden fra 1920 og frem til nutiden, da bl.a. den historiske tilførsel af fosfor vurderes at være afgørende for jordens nuværende fosforstatus. Udgangspunkt tages i en kortlægning af fosforoverskuddet akkumuleret over tid.

3. Bidrag fra projektparterne

ConTerra har i forbindelse med projektet stået for indsamling og håndtering af landbrugs- og jordbundsdata. Herunder udarbejdelse af databasen med landbrugsdata der muliggør, at disse gøres anvendelige i GIS. ConTerra har ligeledes stået for beregninger af fosforbalancer i en varierende spatial opløsningsgrad indenfor perioden 1920-2016. Data tilvejebragt af ConTerra er efterfølgende aggregeret for administrative enheder eller indenfor gridceller med varierende kantlængde og leveret til SEGES. SEGES har efterfølgende stået for at koble de leverede data geografisk med data for målte fosfortal. Efterfølgende statistiske analyser til kortlægning af korrelationer mellem de af ConTerra udarbejdede landbrugsdata og værdier for målte fosfortal er ligeledes foretaget af SEGES.

I rapporten er afsnittene 7.2-7.4 forfattet af SEGES.

4. Datagrundlag

Der er foretaget en helt grundlæggende filtrering af landbrugs- og jordbundsdata på den ene side og jordbundsprøver (fosfortal) ved SEGES på den anden, som gør, at analyserne begrænses til landbrugsarealer på højbundsjord. Sidstnævnte omfatter alle jordbundstyper (alle JB-numre) bortset fra organisk jord (JB11).

Landbrugsdata for perioden 1920-2016 inddeles med hensyn til datahåndtering i 2 overordnede tidsrum. Fra 1920 til 1994 tages der udgangspunkt i registreringer (Landbrugsstatistikker) fra Danmarks Statistik (DS). Fra 1995 til 2016 baseres analysen på data fra grundbetalingsordningen (tidligere "hektarstøtten"), gødningsregnskaberne (GR) og husdyrregisteret (CHR).

Disse data foreligger ikke for hele denne periode, men data fra de tidligste år (1998 for CHR og 2000 for både enkeltbetaling og GR) benyttes til at beregne fosforbalancen bagud til 1995 gennem kalibreringer baseret på overordnede landsdata fra DS. I det følgende fokuseres der derfor hovedsageligt på metodikken for etableringen af regionaliserede data for fosforbalancen i tidsrummet 1920-1994.

For perioden 1920 til 1994 er relevante data fra landbrugsstatistikkerne digitaliseret i 5 års trin og data for de mellemliggende år estimeret ved kalibreringer ud fra landsdækkende tal for udviklingen. De anvendte data er til og med 1994 digitaliseret i den i landbrugsstatistikkerne foreliggende opløsning. Data foreligger på administrative enheder som herreder (1920-1928), amtsråds kredse (1920-1969), amter hhv. kommuner (1970-1994). I et konkret år vil data til udarbejdelsen af en fosforbalance typisk foreligge på flere forskellige administrative enheder. Tabel 1 viser, på hvilket administrative niveauer data til beregning af fosfor i husdyrgødning, handelsgødning og i høstet afgrøde er indhentet på.

Tabel 1. Detaljeringniveauet for data bag beregninger af fosforindholdet i delposterne til fosforbalancen.

Fosfor i husdyrgødning	
Periode	Kortlægningsenhed
1920-1969	Amtsråds kredse
1970-1994	Kommuner
1995-2016	Bedrifter (markblokke)
Fosfor i kunstgødning	
Periode	Kortlægningsenhed
1920-1939	Herreder
1940-1969	Amtsråds kredse
1970-1994	Amter
1994-2016	Bedrifter (markblokke)
Fosfor i høstet afgrøde	
Periode	Kortlægningsenhed
1920-1969	Amtsråds kredse
1970-1994	Kommuner
1995-2016	Bedrifter (markblokke)

Data på bedriftsniveau er via kobling til oplysninger under enkeltbetalingsordningen koblet til bedrifternes markblokke. Oplysninger over kunstgødningsforbruget foreligger i perioder kun på amtsniveau (amter 1970-2007). Kunstgødningsforbruget er efterfølgende distribueret på kommuneniveau under hensyntagen til den enkelte kommunes andel af landbrugsarealet indenfor amtet. Afgrænsninger for de øvrige tre administrative enheder herreder, amtsråds kredse og kommuner er vist i Figur 1.



Figur 1. Administrative enheder (kortlægningsenheder) for hvilke der er indhentet landbrugsdata. Kort over amterne (1970 – 2007) og markblokke for perioden 1995 – 2016 er ikke vist.

5. Metode

5.1. Fosfor i husdyrgødning

Opgørelser over mængden af næringsstoffer i husdyrgødning foreligger som landsdækkende tal igennem hele perioden. For perioden 1900 til 1965 er disse data gengivet i en samlet oversigt fra Danmarks Statistik¹, men foreligger herudover i de årsspecifikke landbrugsstatistikker. Forsimpelt kan disse beregninger af næringsstofindholdet i husdyrgødningen beskrives som balancer baseret på estimater af foderforbruget og anden import af fosfor på den ene side og eksport af næringsstoffer via salg af animalske- og planteprodukter på den anden. Mængden af næringsstoffer i husdyrgødningen er herefter estimeret som difference mellem import og eksport af fosfor. Det endelige estimat tager hensyn til tabsprocenter under lagring og opfodring. De hertil fornødne data til en sådan analyse kunne ikke fremskaffes i en opløsning, der tillader regionaliserede kortlægninger. Landstotaler for fosfor i husdyrgødning beregnet på ovennævnte måde anvendes derfor udelukkende i valideringssammenhæng.

Et estimat over fosfor tildelt via husdyrgødning vil i nærværende analyse blive baseret på en kortlægning af husdyrbestanden indenfor de i statistikkerne anvendte geografiske enheder. Dette betyder, at der for de betydende dyrearter skal anvendes normtal for fosfor ab dyr. Sådanne oplysninger foreligger dog kun for de seneste dekader i perioden. Helt frem til perioden, hvor analysen baseres på bl.a. gødningsregnskabsdata (1995 og op), vil disse normtal skulle reproducere ud fra tilgængelige oplysninger over husdyrgødningsmængder og fosforindholdet heri. Fremgangsmåden er beskrevet nedenfor.

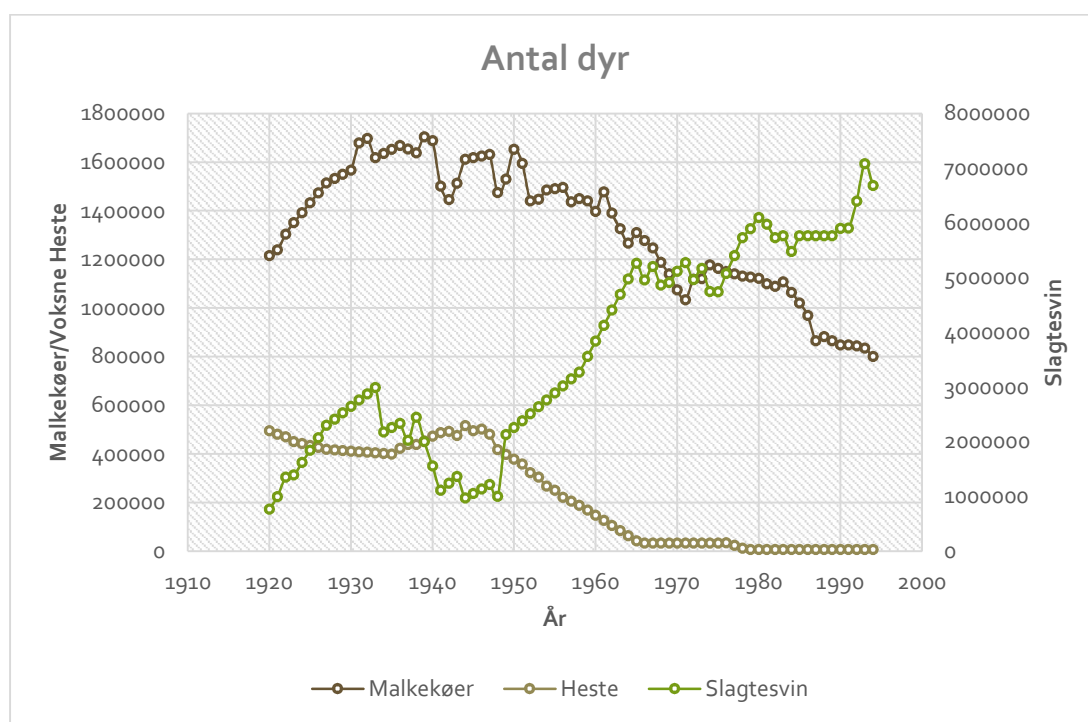
Digitaliseringen af data over husdyrhold omfattede overordnede tal i form af antal dyr på dyrearter. Data for får og geder er udeladt, da disse på intet tidspunkt spiller en for resultatet afgørende rolle. Pelsdyr er medtaget fra 1970. I gennem perioden 1920-1994 er antallet af kvæg, svin og fjerkræ opgjort. Heste er medtaget til 1969. Fra 1995 anvendes data fra gødningsregnskaberne, som kobles til de af bedrifterne

¹ (Danmarks Statistik, 1968)

dyrkede arealer. I den sidste periode (1995-2016) anvendes data for kvælstof i tildelt husdyrgødning grupperet efter dyreart og omregnet til tildelt fosfor vha. normalt for N/P-forhold.

Denne fremgangsmåde er valgt, da landbrugsdata kun foreligger analogt og skal digitaliseres manuelt (indtastes). Anvendelsen af en fordelingsnøgle og den derved introducerede usikkerhed kan evt. undgås ved digitalisering af data for husdyrtyper på områdeniveau for de år, hvor disse foreligger. Data for fjerkræ håndteres tilsvarende, dog er der for disse i starten af perioden kun opgjort fjerkræ af æglægningstypen. I Figur 2 vises et eksempel på antal dyr for udvalgte dyretyper. Dette er fremkommet ved, at data for totalt antal dyr for dyrearten på områdeniveau via fordelingsnøglen er omsat til dyretyper og herefter opsummeret på landsniveau. Tilsvarende vil alle andre dyretyper under dyrearterne kvæg, svin, heste og fjerkræ kunne præsenteres.

Får og geder er ikke medtaget i beregningerne da disse på intet tidspunkt indenfor perioden 1920-2016 har været betydelige for det samlede husdyrhold i DK. I 1920 udgjorde får/geder ca. 2 % af det totale antal "storkreaturenheder" for derefter at falde til under 1% 20 år senere. I 1960'erne er andelen af får/geder faldet til under 0,2% af det samlede husdyrhold. (Danmarks Statistik, 1969).

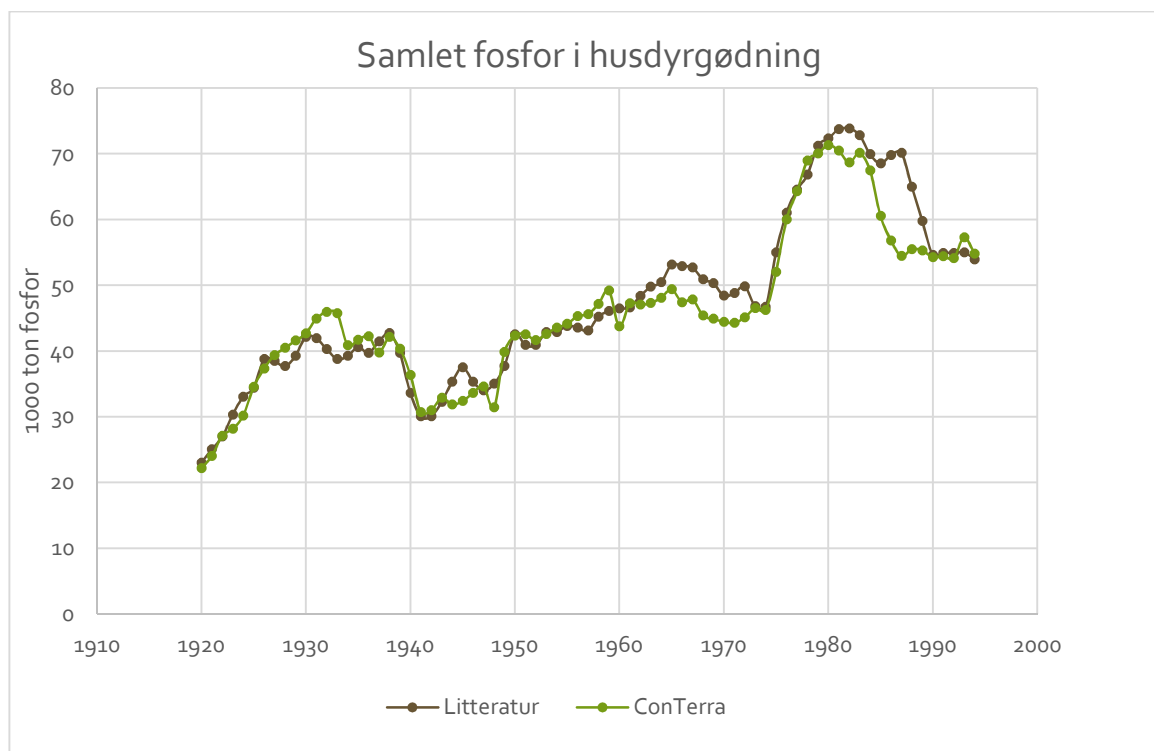


Figur 2. Eksempel på antal dyr på dyretype baseret på data over dyreart på områdeniveau og herefter summeret landsdækkende.

Data over antal dyr på dyretype bliver efterfølgende benyttet til estimater over fosfor af dyr.

I Figur 3 vises årlige værdier for mængden af fosfor i husdyrgødning som sum på tværs af dyretyper og sammenholdes med data fra Danmarks Statistik. Overordnet er der en fin sammenhæng. En nærmere gennemgang af data og sammenligninger med litteratordata på dyreartsniveau indikerer, at den anvendte fremgangsmåde overvurderer mængden af fosfor i svinegødning i de seneste 10-15 år og samtidig

undervurderer fosfor i kvæggødning. Data i (Poulsen, 2005) anslår f.eks., at mængden af fosfor i kvæg hhv. svinegødning i 1985 til 30 hhv. 23 tusinde tons. Tilsvarende data fra nærværende analyse lyder på 25 hhv. 26 tusinde tons. En delforklaring herpå kan være, at der ikke skelnes mellem kvæg af stor race og jersey, og at faldet i fosforindholdet i svinegødning fordeles jævnt over perioden (fosfor ab dyr).



Figur 3. Mængden af fosfor i husdyrgødning beregnet som fosfor ab dyr for perioden 1920 til 1994 sammenholdt med værdier givet fra Danmarks Statistik (Litteratur).

5.2. Fosfor i høstet afgrøde

Afgrødedata er digitaliseret for de i Tabel 1 anførte administrative enheder. I statistikkerne (1920-1994) medtages en lang række afgrøder under afgrødegrupperne. Således er f.eks. de enkelte kornarter eller arter under rodfrugter registreret særskilt. Data for græsafgrøder foreligger dog oftest kun samlet for afgrøden evt. opdelt i omdriftsgræs og græs fra arealer udenfor omdrift. Registreringer omfatter som regel både arealet med de enkelte afgrøder samt udbyttens niveau. Sidstnævnte kan være registreret som hkg. afgrøde pr. ha og/eller som foderenheder/afgrødeenheder pr. ha. I de første dekader indenfor perioden medtages udbyttedata for "industriafgrøder" sporadisk eller slet ikke. Disse omfatter bl.a. oliefrø (herunder raps), som på dette tidspunkt ikke havde nogen betydning for det totale udbyttens niveau.

For den første periode (1920-1994) omfatter digitaliseringen af afgrødedata først og fremmest opgørelserne af udbyttens niveau på områdeniveau. Det vil sige udbyttedata opgjøret for herreder, amtsråds kredse eller kommuner alt efter aggregeringsniveauet i statistikkerne og som vist i Tabel 1. Her

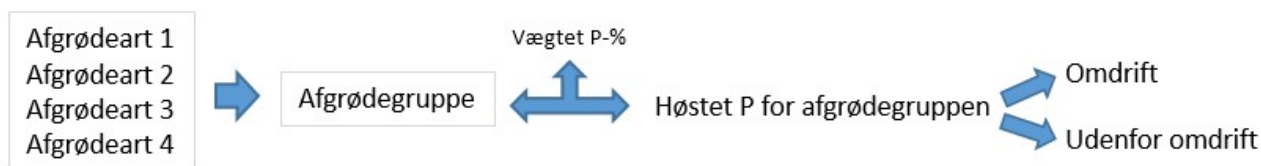
medtages ikke data for de særskilte afgrødearter, men for afgrødegrupper. For eksempel håndteres alle kornafgrøder som en gruppe, og udbyttedata for hele gruppen er digitaliseret. Tilsvarende medtages data for rodfrugter og græs samlet. Dog med undtagelser. Data for sukkerroer og kartofler er medtaget særskilt. I perioder er græsudbyttet og udbytte for hø opført og digitaliseret særskilt. Til beregning af mængden af fosfor i høstet afgrøde anvendes værdier for fosfor-indholdet i afgrøderne. Igennem hele perioden fastholdes værdier for fosforindholdet i afgrøderne, da fosforindholdet tilsyneladende ikke har ændret sig mærkbart over tid. I Tabel 2 vises eksempler på fosforindholdet i kornafgrøder registreret i 1927 hhv. 2017. I modsætning til kvælstofindholdet synes fosforindholdet i afgrøden at være forholdsvis upåvirket af tilførte næringsstofmængder, og for de øvrige afgrøder findes samme tendens til en ensartet fosforprocent over tid. Udviklingen i fosfor høstet med afgrøden er derfor frem for alt styret af de høstede tørstofmængder.

Tabel 2. Eksempler på fosforindholdet i kornafgrøder angivet i 1927 og 2017.

P. Christensen, 1927			Fodermiddeltabel; SEGES, 2017
Afgrøde	% P ₂ O ₅ ved 20 % vand	% P ved 15 % vand	% P høstet vare ¹
Hvede	0,63	0,26	0,26
Rug	0,68	0,28	0,25
Havre	0,64	0,26	0,27
Byg	0,64	0,26	0,28

¹ Opgjort for høstet vare ved 15 % vandindhold

Fremgangsmåden til beregning af fosformængder i høstet udbytte er skitseret i Figur 4. Høstudbyttet bliver slutteligt fordelt på landbrugsarealet indenfor det kortlægningsområde, data er medtaget for og opdelt på omdriftsarealer hhv. arealer udenfor omdrift. Her antages korn (halm), rodfrugter og oliefrø at blive dyrket på omdriftsarealerne. Udbytte fra hø og græs er oftest opgjort for "agermark" (omdrift), og områder udenfor agermark og fosforudbyttet fordeles herefter.

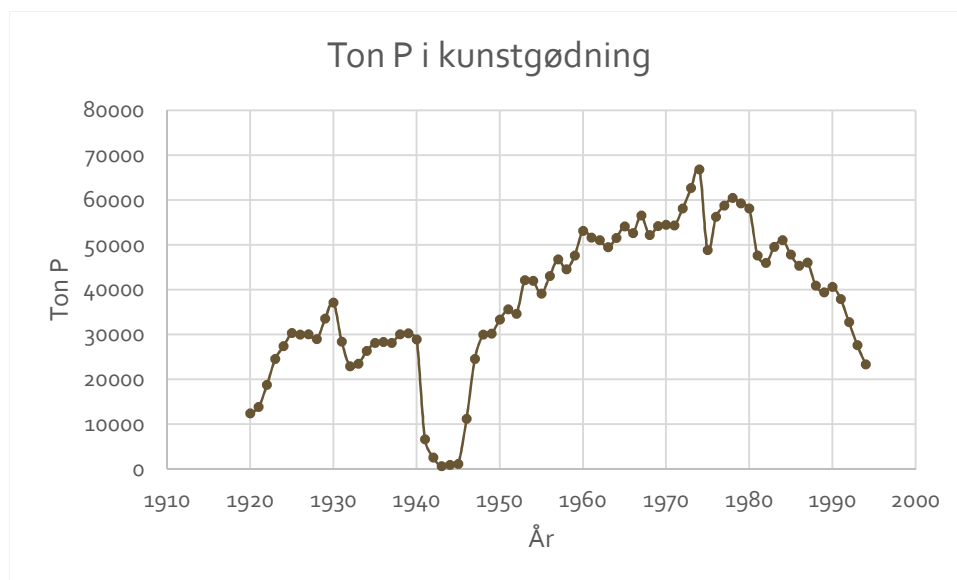


Figur 4. Skitse over arbejdsgange for digitalisering af udbyttedata og efterfølgende beregning af fosfor i høstet afgrøde.

5.3. Fosfor i handelsgødning

Data for anvendelsen af mineralsk gødning foreligger i landsdækkende tal over hele perioden og i forskellig opløsning. For perioden 1970-1994 foreligger tal på amtsniveau og er dermed i en ringe rumlig opløsning. Som tidligere anført er kunstgødningsforbruget for denne periode fordelt på kommuneniveau under hensyntagen til den enkelte kommunes andel af landbrugsarealet indenfor amtet. For enkelte år tidligt i perioden (1928, 1955) foreligger der data på sogneniveau, men data er ikke medtaget i denne analyse, da digitalisering af data og etableringen af et GIS-temalag over sogne, som korresponderer med opdelingen af inputdata, er yderst tidskrævende.

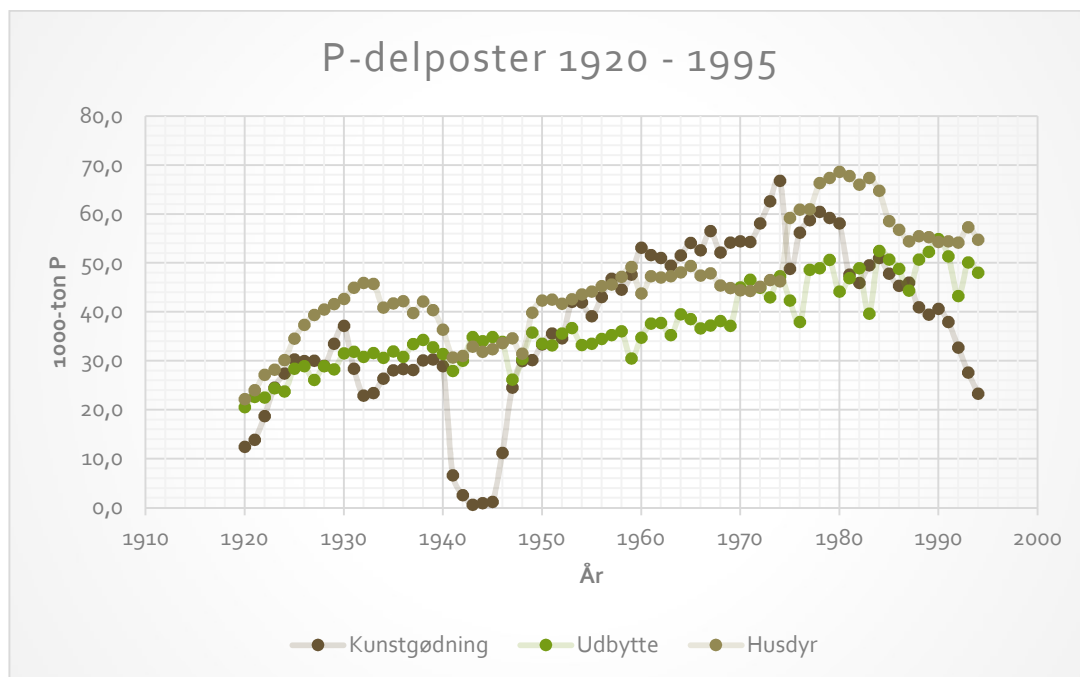
Fosfor i handelsgødningen er fordelt ligeligt på landbrugsarealet indenfor de respektive kortlægningsenheder. Denne fremgangsmåde beror på manglende data over håndtering af kunstgødningen indenfor bedrifterne og bemærkninger i (Danmarks Statistik; Det Statistiske Departement, 1930) og (Danmarks Statistik; Det Statistiske Departement, 1955) om, at kunstgødningen alt andet lige blev fordelt homogent på landbrugsarealerne.



Figur 5. Forbruget af fosfor i handelsgødning summeret på tværs af kortlægningsenhederne de respektive år i perioden 1920 - 1994.

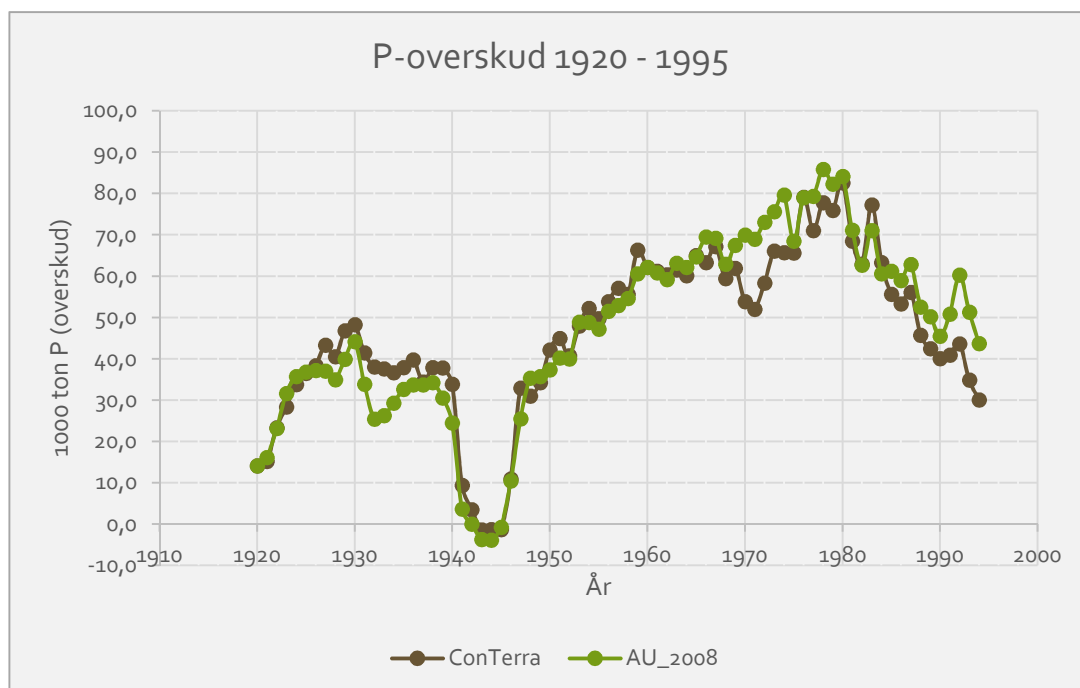
5.4. Fosforoverskud – akkumulering

Fosforoverskuddet i perioden beregnes ved at addere fosfor i husdyrgødning og mineralsk gødning og fratække fosfor i høstet udbytte. Dette gøres for alle kortlægningsenheder. I Figur 6 vises de 3 delposter for de enkelte år igennem perioden. Data er fremkommet ved at summere de beregnede fosformængder i høstet afgrøde, husdyrgødning og kunstgødning for kortlægningsenhederne.



Figur 6. Delposter til beregning af fosforoverskuddet summeret på tværs af kortlægningsenhederne.

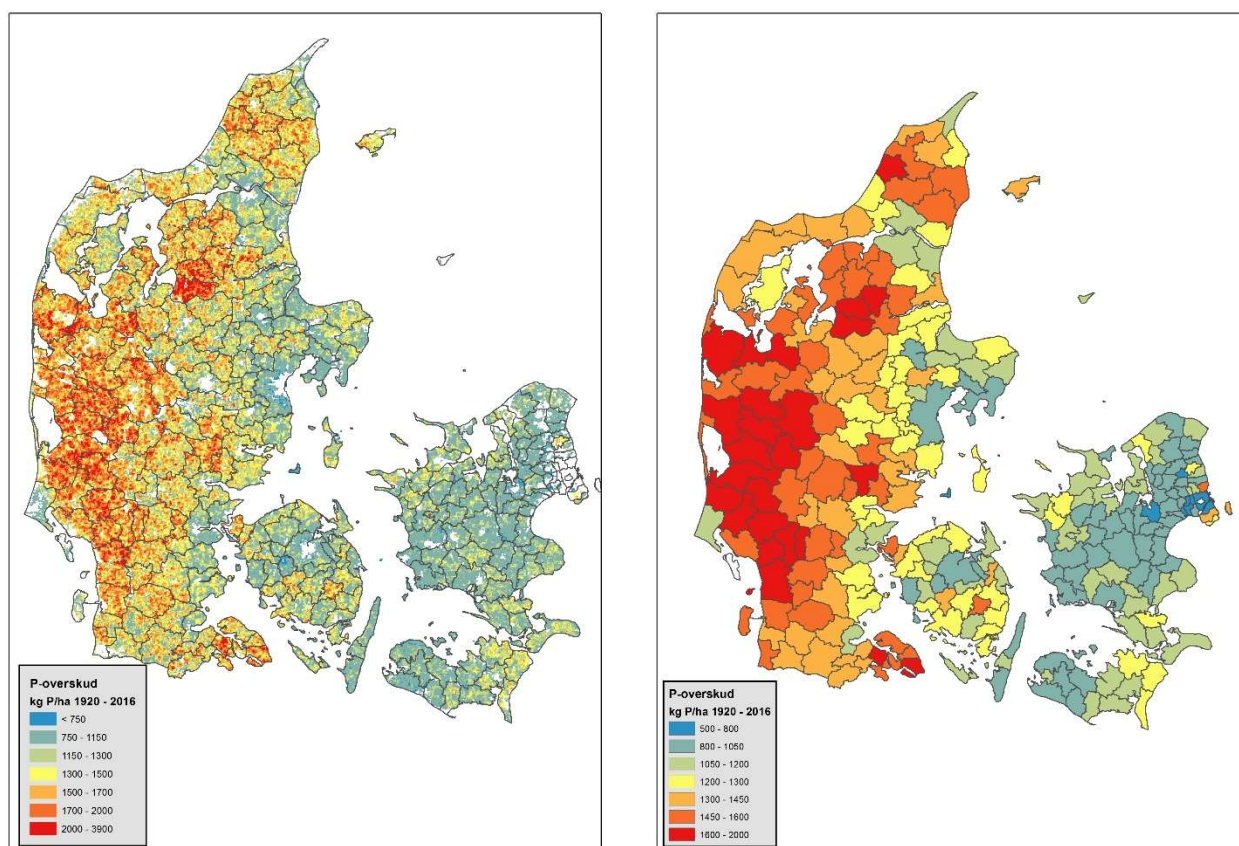
Fosforoverskuddet sammenholdt med litteraturværdier (Kyllingsbæk, 2008) er vist i Figur 7.



Figur 7. Fosforoverskuddet (landsdækkende) beregnet på baggrund af data for kortlægningsenhederne og sammenholdt med litteraturværdier (Kyllingsbæk, 2008).

Fra 1995 til 2016 baseres analysen på data fra grundbetalingsordningen, gødningsregnskaberne (GR) og husdyrregisteret (CHR). Disse data foreligger ikke for hele denne periode, men data fra de tidligste år (1998 for CHR, 2000 for enkeltbetaling og GR) benyttes til at beregne fosforbalancen bagud til 1995 gennem kalibreringer baseret på overordnede landsdata fra DS.

Overordnet opnås der en god sammenhæng mellem de i analysen beregnede værdier for fosforoverskud og værdier fundet i litteraturen. Uoverensstemmelser er ikke af en størrelsesorden, der skønnes at have indflydelse på konklusionerne i nærværende rapport.



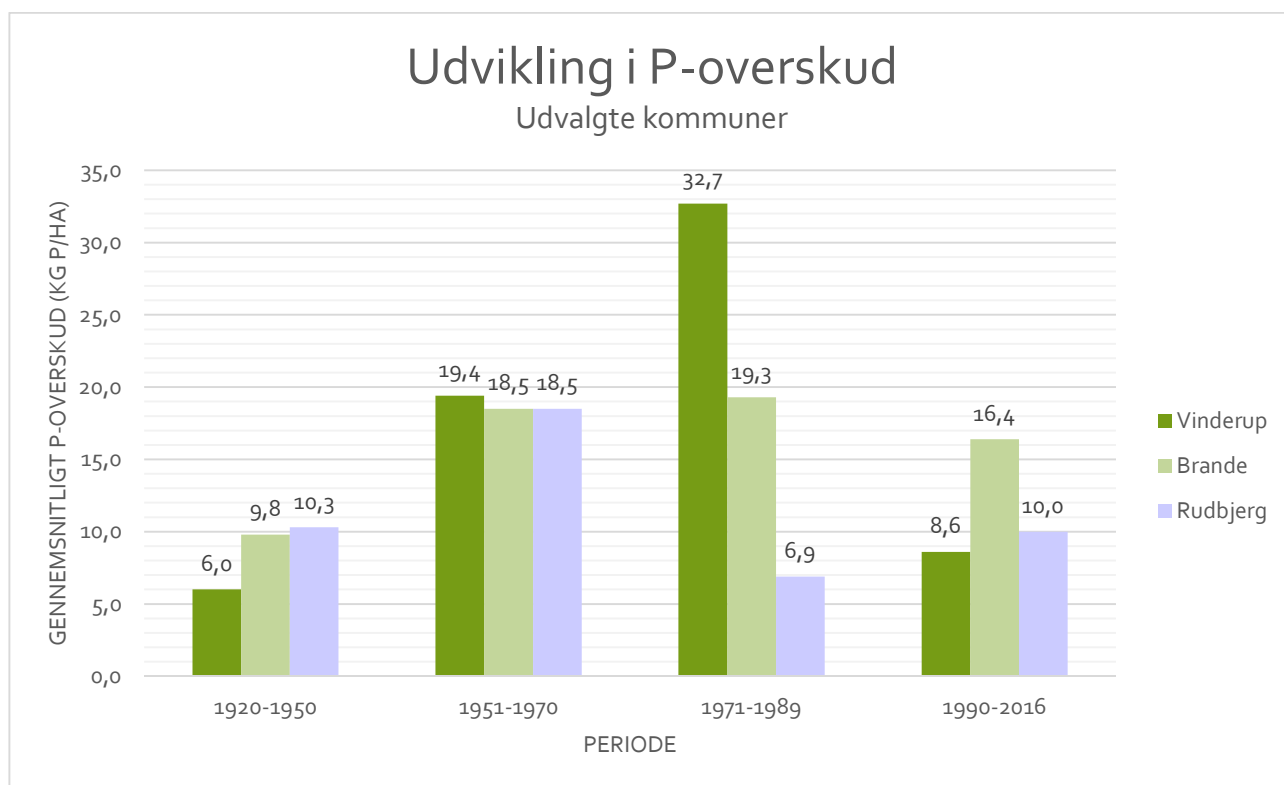
Figur 8. Beregnet akkumuleret P-overskud 1920-2016 (venstre: celler med 500 m kantlængde; højre: kommuner 1970-2006).

I Figur 8 vises værdier for P-overskuddet igennem hele perioden (1920-2016) akkumuleret i celler med 500 meter kantlængde hhv. for kommuneafgrænsninger 1970-2006. I gennemsnit er der indenfor perioden akkumuleret ca. 1300 kg P/ha på landbrugsjord. Denne værdi ligger på linje med beregninger for et akkumuleret P-overskud i perioden 1900-2006 på 1400 kg P/ha (Kyllingsbæk, 2008). Om end en mindre del af den akkumulerede fosfor vil kunne flyttes til dybere jordlag, vil ophobningen frem for alt ske i pløjelaget. I en analyse foretaget på jordprøver fra "kvadratspunkterne" (Rubæk, 2013) sammenholdes fosforindholdet i jord fra naturarealer (skov) og landbrugsarealer. I denne undersøgelse anslås opbygningen af fosforpuljen i landbrugsjord at ligge på 2,3 ton P/ha (0-75 cm dybde). Med usikkerhederne in mente, som f.eks. antagelsen om, at landbrugsjord som udgangspunkt havde en bedre iboende fertilitet

og skov fortrinsvis forblev urørt på næringsfattig jord, menes de beregnede værdier at være i samme størrelsesorden (Rubæk, 2013).

I samme artikel belyses ud over forskelle i fosforindholdet mellem landbrugs- og skovjord også ændringer i fosforindholdet igennem jordprofilen. Hertil benyttes jordprøver udtaget i 1987 hhv. 1998. Gennemsnitlige stigninger i jordens fosforindhold i overjorden (0-25 cm) kan forklares med beregnede gennemsnit for fosforoverskud i perioden og variationen i stigningen med forskelle i tildelt husdyrgødning. Der observeres dog også et stigende fosforindhold i underjorden (25-50 cm og 50--75 cm) som tilsyneladende er korreleret til stigninger i overjorden hvilket antyder, at den seneste periodes fosforoverskud er styrende. Interessant er det, at de i artiklen fundne, ikke ubetydelige, ændringer i underjordens fosforindhold, sker over kort tid (11 år). At fosfor siver fra over- til underjord kan have betydning for korrelationer mellem beregnede fosforoverskud og fosfortal baseret på overjordsprøver.

Udviklingen af P-overskuddet over tid (1920-2016) varierer betragteligt i de forskellige egne af landet. I Figur 9 vises eksempler på P-overskuddet for 3 forskellige kommuner (1970-kommuneafgrænsning).

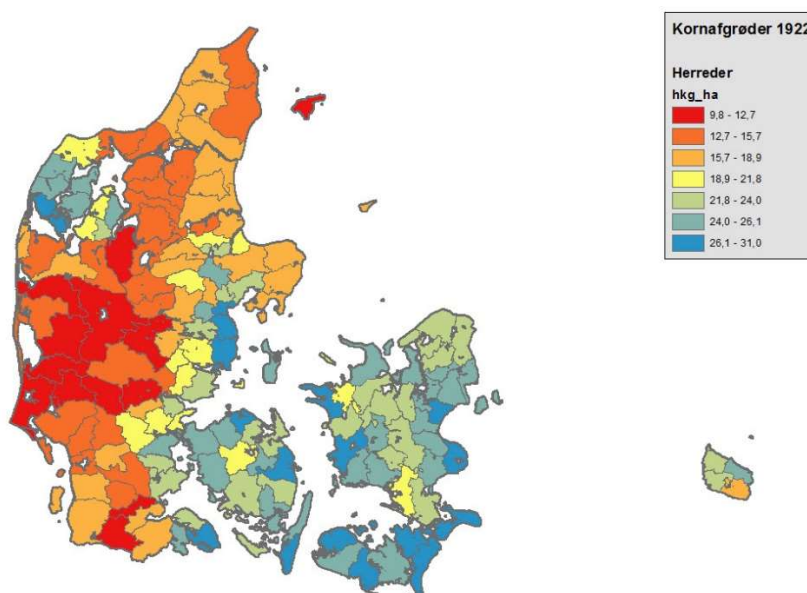


Figur 9. Eksempler på gennemsnitlige P-overskud (kg P/ha) indenfor 4 forskellige tidsperioder. Anvendte kommuneafgrænsninger 1970-2006 med Vinderup beliggende i Vestjylland, Brande beliggende i Midtjylland og Rudbjerg beliggende på Lolland.

6. Håndtering af jordbundsdata

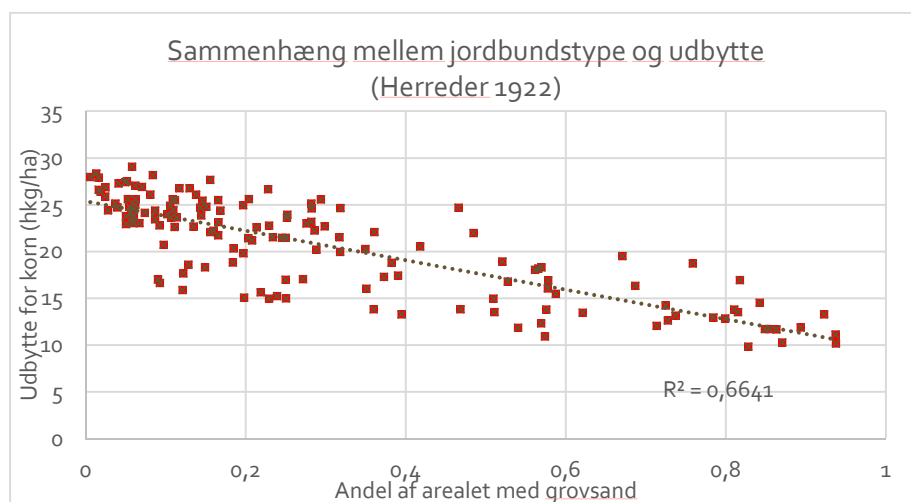
For den første periode (1920-1994) tages der kun i begrænset omfang hensyn til udbytteforskelle på jordtypeniveau. Der sker en mindre omfordeling af udbytter fra sandede jorde til lerede jorde inden for hver statistikenhed. Der foreligger ikke data på placeringen af afgrøderne indenfor

kortlægningsenhederne. Det samlede udbytte er med de ovenfor nævnte justeringer fordelt ensartet indenfor disse enheder dog opdelt efter omdrifts- og ikke omdriftsarealer. Herudover skelnes der indenfor kortlægningsenhederne mellem mineraljord (højbund) og organisk jord, hvor førstnævnte yderligere inddeles i ler hhv. sandjord. Hertil er der anvendt GIS-kort fra AU-Foulum (opdateret JB-kort/2019). Opdeling i højbund hhv. lavbund benyttes i første linje til udpegning af omdriftsarealer hhv. sandsynlige arealer udenfor omdrift. Data fra "målebordsblade" er inddraget for at medtage arealer, der i starten af 1900-tallet var klassificeret som lavbund, men som sidenhen i 1970'ernes jordbundskortlægning er klassificeret som mineraljord. Inddelingen af højbundsjord i ler- hhv. sandjord tillader en omfordeling af områdets beregnede udbytte således, at lerjordsarealer kan få tillagt et højere udbytt niveau end sandarealer. Indflydelsen af jordbundsforhold på udbyttet tidligt i perioden afspejles i et eksempel i Figur 10, der viser et kort over høstudbyttet for korn indenfor herreder i 1922.



Figur 10. Høstudbyttet for korn i 1922 digitaliseret på baggrund af data fra Danmarks Statistik.

På dette tidspunkt er der en faktor på 3 mellem højeste og laveste udbytter pr. arealenhed og en simpel regression (Figur 11), hvor andelen af arealet med sandjord indenfor herreder sammenholdes med høstudbyttet, afspejler betydningen af jordbundsforhold på udbyttet.

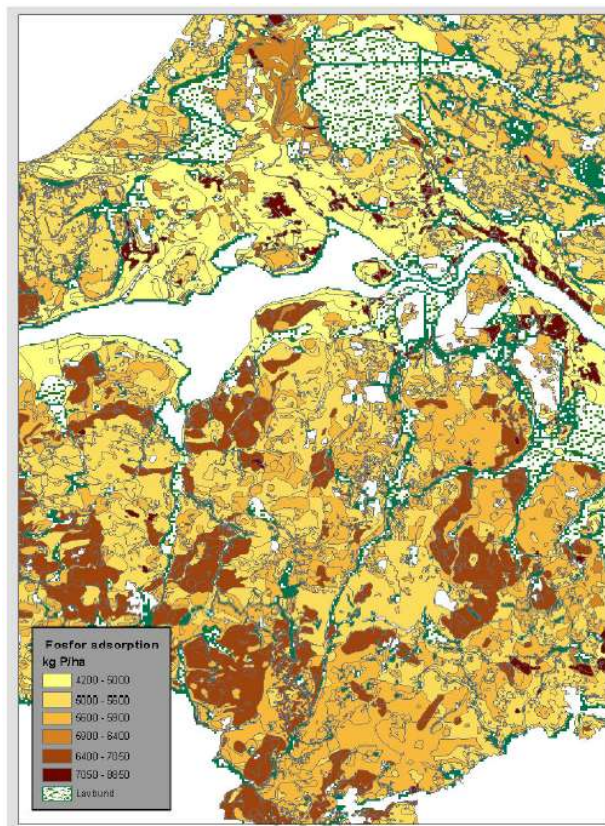


Figur 11. Udbyttet for korn pr. arealenhed for herreder i 1922 som funktion af andelen af sandjord indenfor herrederne.

I den anden periode (1995-2016) anvendes de officielle kort over jordbundstyper (JB-numre) indirekte, da oplysninger herfra har indflydelse på den for den specifikke marks beregnede udbyttensniveau. I modsætning til den første periode er der her tale om en langt mere detaljeret beskrivelse af udbyttensniveauet opnået gennem koblinger af oplysninger om afgrøde, jordbundstype og normtal for høstudbytte.

6.1. Fosforbindingskapacitet

Af rapporteringer viser sammenhænge mellem målte fosfortal og jordbundstyper. Dette er bl.a. beskrevet i (Andersen, 2016). Samme sted vises fundne sammenhænge mellem fosformætningsgraden og fosfortal og betydningen af de forskellige jordtypers fosforbindingskapacitet. En kortlægning af sidstnævnte kræver en lang stribe analysedata, herunder bl.a. oplysninger om mængden af "oxalatekstraherbart" jern og aluminium. Sådanne data foreligger kun ved AU og også her i et beskedent omfang. I 2005 blev der på baggrund af dataudtræk fra AU (profildatabasen) udarbejdet en rapport, der skulle afdække muligheden for udarbejdelsen af et kort over fosforbindingskapaciteten (ConTerra, 2005). Under anvendelsen af pedotransferfunktioner blev et sådant udarbejdet, og data herfra indgår i analysen. Beregningerne bag fosforbindingskapacitetskortet tager højde for regionale forskelle i jordbundsegenskaber indenfor samme jordtype. For eksempel indgår humusindholdet som parameter til beregning af bindingskapaciteten, og humusindholdet kan være signifikant forskellig indenfor samme jordbundstyper beliggende i forskellige georegioner. Fosforbindingskapaciteten er beregnet for over- og underjord indenfor de givne afgrænsninger for jordtyper og jordarter (underjord). Resultater fra analysen er anvendelig på mineraljord men ikke på lavbundsjord. Et eksempel på beregnede værdier for bindingskapaciteten er givet i Figur 12.



Figur 12. Eksempel på beregnede værdier for fosforbindingskapaciteten.

6.2. Håndtering af afstand mellem husdyrhold (stald) og markarealer.

Tidligere undersøgelser indikerer, at markarealer tæt på landbrugsejendomme og dermed tæt på stald/lager over tid får tilført større mængder husdyrgødning end resten af bedriftens arealer. En kortlægning af P-tal i en høj opløsning peger på, at dette kunne være tilfældet (SEGES, 2016). I undersøgelsen blev målte fosfortal på markniveau sammenholdt med afstanden til driftsbygningerne. Der foreligger dog ingen undersøgelser over eller estimerer for, hvor store forskydninger i tildelingsmængder der kan være tale om. Herudover sker der over tid store ændringer i både placeringen og størrelsen af husdyrhold samt ejendommens/bedriftens jordtilliggende. I nærværende analyse introduceres en afstandsfunktion baseret på data for placeringer af husdyrhold fra de seneste årtier til trods for, at dette ikke medtager eventuelle omfordelinger af husdyrgødning igennem hele den undersøgte periode (1920-2016).

Afstandsfunktionen er i udgangspunktet beregnet for 1 km celler. Omfordelingen er foretaget i kort med 500 m hhv. 100 m celler, og afstandssammenhænge er håndteret på følgende måde:

- Der er på baggrund af CHR-data fra 1996 og BBR-oplysninger om større staldbygninger etableret i 1970 og frem (der ikke var aktive i CHR 1996), etableret et tema over husdyrhold med besætningstørrelse. På baggrund af dette tema er der interpoleret et kort over nærhed til husdyrhold, hvor størrelsen af de respektive besætninger indgår. Med udgangspunkt i dette tema

flyttes op til 15 % af den tildelte husdyrgødning tættere på husdyrholdet indenfor hver statistikenhed.

- For perioden 1994 til 2016 tages der udgangspunkt i afstanden til husdyrproduktioner over 50 DE (de tidligere dyreenheder), således at op til 10 % af husdyrgødningen flyttes fra fjernt liggende områder til nært liggende områder indenfor hver 1970-kommune.
- Fremgangsmåden medfører, at afstandsfunktionen ikke længere indgår som selvstændig parameter i korrelationsanalysen, men effekten indregnes i fosforoverskuddet.

7. Korrelationsanalyser med målte fosfortal - datagrundlag

Formålet med korrelationsanalyserne er at afsøge mulighederne for udarbejdelsen af en model, der ud fra tilgængelige landbrugsdata, jordbundsdata mm. kan prædiktere fosfortallet i størst mulig geografisk opløsning.

Helt overordnet lider korrelationsanalyserne under, at data for målte P-tal (SEGES) og beregnede værdier for fosforoverskud ikke bliver korreleret under anvendelse af den størst mulige rumlige sammenfald. Således sammenholdes f.eks. gennemsnitsværdier for landbrugsdata på kommuneniveau med gennemsnitsværdier for målte P-tal indenfor samme afgrænsning. Fosfortal indenfor en given kommune kan derfor være udtaget på en begrænset del af kommunens landbrugsareal, men sammenholdes med gennemsnit for landbrugsdata for hele kommunen.

Ved analyser på celler med f.eks. 500 m kantlængder, sammenholdes landbrugsdata, som i udgangspunktet er aggregeret på et overordnet niveau (data i de 3 første anvendte tidsstep, 1920-1989), med P-tal givet i et punkt. Om end sidstnævnte er angivet med en specifik position, repræsenterer det målte P-tal dog en landbrugsflade af varierende størrelse. Korrelationsanalyserne er derved i udgangspunktet behæftet med betydelige usikkerheder.

7.1. Data over fosfortal ved SEGES

I analysen indgår resultatet af et stort antal fosforanalyser i de jordprøver af pløjelaget, som udtages for landmænd af konsulenter i deres rådgivningsvirksomheder. Prøverne udtages positionsbestemt, og GPS-koordinaten gemmes i databasen MarkanalyseOnline, som drives af SEGES. I alt indeholder databasen fosfortal for 432.993 jordprøver fra perioden 2014-2019. For enkelte marker kan der forekomme dobbelte analyser, såfremt der f.eks. er udtaget jordprøver både først og sidst i perioden.

Databasens indhold af analyseresultater er ikke jævnt fordelt over landet, idet nogle rådgivningsvirksomheder ikke anvender databasen i fuldt omfang. Således er analyseresultater fra bl.a. Sjælland underrepræsenteret.

Den statistiske analyse omfatter ikke områder, der er defineret som lavbund, og derfor indgår 397.915 resultater af fosfortalsanalyser i datamaterialet.

7.2. Datagrundlag for korrelationer på kommuneniveau efter 1970-reformen

I analysen er landet inddelt i et grid med i alt 42.866 kvadrater á 1x1 km. For hvert grid i analysen er der lavet et udtræk af MarkanalyseOnline med antal jordprøver og det gennemsnitlige fosfortal. I den endelige statistiske analyse indgår imidlertid blot 9.755 kvadrater med i alt 280.893 fosfortalsanalyser. I reduktionen af datamaterialet er kvadrater taget ud af analyse, hvis det opfylder én eller flere af følgende kriterier:

Der har ikke kunnet beregnes en fosforadsorption	751 kvadrater
Der har ikke kunne beregnes en afstand til husdyrbrug	1.076 kvadrater
For få jordprøver pr. landbrugsarealenhed (> 5 ha pr. prøve)	12.562 kvadrater
Arealet med højbundsjord er mindre end 1 hektar	1.405 kvadrater
Kvadratet indeholder ingen resultater af fosfortalsanalyser	18.705 kvadrater
Kvadratet indeholder blot 1 eller 2 resultater af fosfortalsanalyser	3.925 kvadrater
Kvadrater med urealistisk høj husdyrgødningsmængde, > 60 kg P pr. ha pr. år	719 kvadrater

Kvadraterne er derefter aggregeret til kommuneniveau efter kommunalreformen i 1970 (275 kommuner). Et givet kvadrat er tilfaldet den kommune, hvor hovedparten af arealet er beliggende. I alt indgår der data for 239 kommuner i den statistiske analyse.

7.3. Datagrundlag for korrelationer med landbrugsdata på 500x500 m celler

I analysen er landet inddelt i et grid med i alt 160.348 kvadrater á 500x500 m. For hvert grid i analysen er der lavet et udtræk af MarkanalyseOnline med antal jordprøver og det gennemsnitlige fosfortal. I den endelige statistiske analyse indgår imidlertid blot 36.950 kvadrater med i alt 341.465 fosfortalsanalyser. I reduktionen af datamaterialet er kvadrater taget ud af analyse, hvis det opfylder én eller flere af følgende kriterier:

Kvadratet indeholder ingen resultater af fosfortalsanalyser:	98.964 kvadrater
Kvadratet indeholder blot 1 eller 2 resultater af fosfortalsanalyser:	111.271 kvadrater
For få jordprøver pr. landbrugsarealenhed (> 5 ha pr. prøve):	23.042 kvadrater
Arealet med højbundsjord er mindre end 1 hektar:	9.433 kvadrater

I alt indgår data fra 36.950 kvadrater i den statistiske analyse.

7.4. Usikkerheder vedrørende målte fosfortal

Resultatet af jordprøver for fosfor er forbundet med en vis sikkerhed. Usikkerheden kan stamme fra prøvetagningen i marken eller fra laboratorieanalysen.

I marken kan der være en betydelig rumlig variation i jordens fosforindhold på den enkelte mark, og derfor kan det være meget vanskeligt at udtage en repræsentativ jordprøve. Normalt indeles marken i zoner á ca. 1 hektar, og inden for disse zoner udtages 15-20 prøver med jordspyd i ca. 25 cm dybde (pløjelaget). Disse prøver blandes, og der udtages en fællesprøve, som skal repræsentere hele zonen på ca. 1 hektar. Zonerne vil normalt være fordelt jævnt på arealet, men de kan også være stratificerede, så man lader zonerne repræsentere forskellige områder i marken, som er så ensartede som muligt. Fra praksis kan man se, at resultaterne af jordprøverne kan variere betydeligt indenfor samme mark, og på varierende marker skal der således mange prøver til, før gennemsnittet af resultaterne kan antages at repræsentere hele

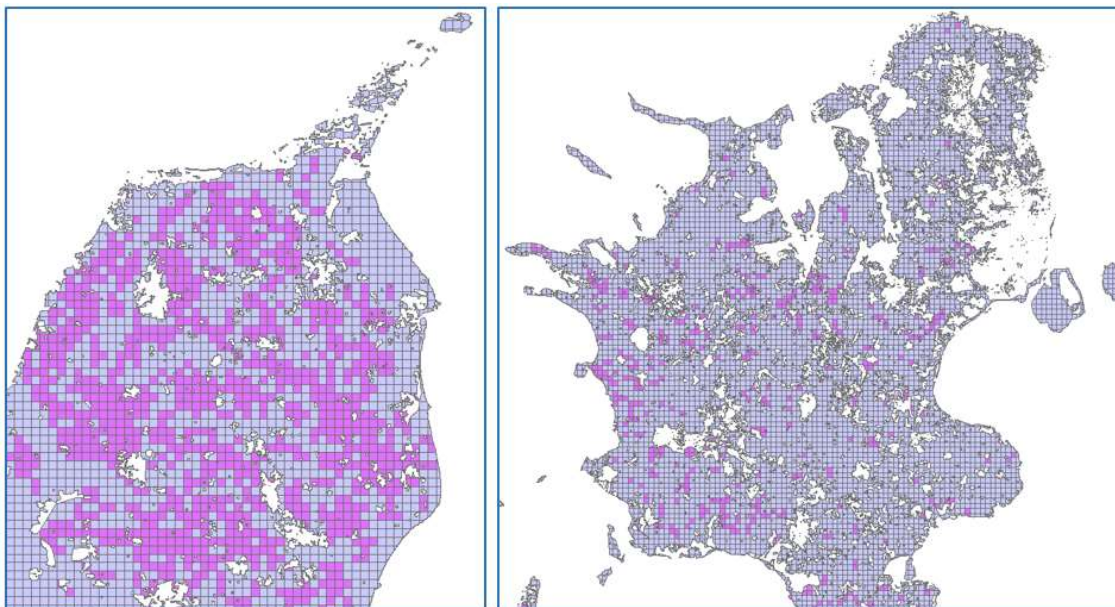
marken. I analysen er der derfor set bort fra arealer, hvor ét analyseresultat repræsenterer mere end fem hektar.

På laboratoriet kan der både være systematisk og tilfældig variation i analyseresultatet. SEGES gennemfører hvert år en [ringanalyse](#) til kvalitetssikring blandt tre kommercielle laboratorier, der foretager jordanalyser. Ringanalysen gennemføres ved at sende en jordprøve med kendt fosfortal til laboratorierne og sammenligne analyseresultatet med det kendte indhold. Resultaterne tyder på, at der kan være op til ca. 1 enheds afvigelse i det målte fosfortal.

7.5. Anvendt geografisk opløsning og indledende analyser

Til den foreløbige korrelationsanalyse er Danmarks areal inddelt i celler med en kantlængde på 1 km. I en første kørsel forelå der anvendelige fosfortal på godt 12.500 celler ud af de totalt ca. 44.000 celler. Det vil sige for ca. 28 % af det samlede antal celler. Dækningen er ikke jævnt fordelt, og hvor store områder i Jylland er forholdsvis godt beskrevet, er densiteten for celler med data på øerne, og Sjælland specielt, meget lavt (se Figur 13). Dette kan være begrundet i, at bedrifter i den østlige del af landet ikke i lige så stor udstrækning betjener sig af ydelser leveret af SEGES. Det er ligeledes en mulig forklaring, at husdyrbrug omfattet af kvægundtagelsen fra nitratdirektivet, for hvilke der er krav om udtagning af jordprøver til bl.a. P-tals-analyser, er koncentreret i Jylland.

Data er herudover aggregeret på et mere overordnet niveau (kommuner 1970-2007), som tillader hurtigere genberegninger på baggrund af tilpasninger i beregningsforudsætningerne.



Figur 13. Eksempel på densiteten af 1 km grid-celler med data for målte fosfortal (pink farve) i Nordjylland (venstre) hhv. Sjælland (højre).

I korrelationsanalysen blev aggregerede data (1 km grid) for 4 tidsstep indenfor den undersøgte tidsperiode sammenholdt med målte fosfortal. Det vil sige, at fosforbalancens delkomponenter blev beregnet som gennemsnit for følgende tidsafsnit:

- 1920-1950
- 1951-1970
- 1971-1994
- 1995-2016

Data fra balancerne omfattede gennemsnitlige værdier for fosfor i høstet afgrøde, fosfor i tildelt husdyrgødning, fosforoverskud, men også data for fosforbindingsevnen og resultater fra afstandsanalysen. Afstandsanalysen bestod i en beregning af den gennemsnitlige afstand fra mark til husdyrhold for hver 1 km-celle. Resultater fra denne analyse viste, at de anvendte data ikke umiddelbart giver en tilfredsstillende korrelation (multipel lineær regression). Forklaringsgraden lå på godt 30 %. Fosfor tildelt med husdyrgødning i den seneste periode samt jordens evne til at binde fosfor bidrog mest til den fundne korrelation.

Justeringer på inputparametrene og genberegninger blev herefter udført på et grovere niveau (kommunegrænser 1970-2007). Fosfor i husdyrgødning fra den seneste periode (1990-2016) blev koblet med fosforbindingsevnen til en faktor (husdyr-P \times (1/P-bindingsevne)). En første analyse hvor der kun var 9.500 celler med data for fosfortal til rådighed viste, at ovennævnte faktor samt jordens P-bindingsevne var de parametre som kunne forklare mest af variationen i P-tal.

Rækkefølgen i betydningen af de forskellige parametre blev dog ændret væsentligt efter, at antallet af celler med fosfortal blev øget til 12.500. Analyser med det udvidede sæt data viste, at de beregnede fosforoverskud indenfor de ovennævnte 4 tidsafsnit havde den største betydning for den fundne korrelation efterfulgt af den beregnede faktor, hvor P-bindingsevnen er koblet til tildelt P i husdyrgødning i det seneste tidsafsnit (1990-2016). Cirka 70 % af variationen i målte fosfortal kunne forklares i en model (multipel regression), som medtog disse parametre.

8. Resultater af analyser af data på overordnet niveau

8.1. Korrelationer på kommuneniveau

Under anvendelse af statistikprogrammet SAS blev der ved SEGES udført en stribe korrelationsanalyser for data på kommuneniveau (antal = 239), som medtog alle tilgængelige variabler med udgangspunkt i multipel regression, trinvis regression, analyser med eller uden udelukkelse af "outliers", samt analyser hvor der blev stillet krav til et mindste antal datapunkter indenfor kommunen. Herudover blev analyser gennemført, som inddrog afledte variabler og analyser med en brugervalgt sammensætning af forklarende variabler. Udskrifter fra disse analyser er gengivet i Bilag 1. I Tabel 3 gives et overblik over de anvendte variabler. Fosfor i husdyrgødning vil f.eks. blive medtaget med 4 værdier. Én værdi for hvert tidsafsnit. Antallet af variabler bliver herved omfattende. Dog er variablerne ofte "interkorreleret". For eksempel er fosforoverskuddet beregnet ud fra fosfor i høstet afgrøde, handelsgødning og husdyrgødning. Dette kan have betydning for konklusioner og tolkninger på resultater fra de statistiske analyser.

Tabel 3. Input variabler til korrelationsanalyserne i SAS foretaget ved SEGES. Flere variabler er beregnet som gennemsnit for de 4 anvendte tidsafsnit og ved herudover i nogle analyser ligeledes indgå i en afledt form.

Parameter	Antal værdier i analysen
P i husdyrgødning	Beregnet for alle 4 tidsafsnit
P i handelsgødning	Beregnet for alle 4 tidsafsnit
P i høstet afgrøde	Beregnet for alle 4 tidsafsnit
P-overskud	Beregnet for alle 4 tidsafsnit
P-bindingsevne	Én værdi
Afstand mellem mark/husdyrhold	Beregnet for de seneste 2 tidsafsnit
Faktor (husdyr-P x (1/P-bindingsevne))	Beregnet for de seneste 2 tidsafsnit

Tabel 4 giver et sammendrag over valgte analyser og de opnåede regressionskoefficienter. Som udgangspunkt er analyserne delt op efter, om statistikprogrammet frit kan vælge variabler, eller om programmet er bundet til brugervalgte variabler. Ved at begrænse statistikprogrammet til brugervalgte variabler medtages modeller, hvor faren for "overfitting" ved anvendelse af indbyrdes afhængige variabler begrænses. De brugervalgte variabler består af:

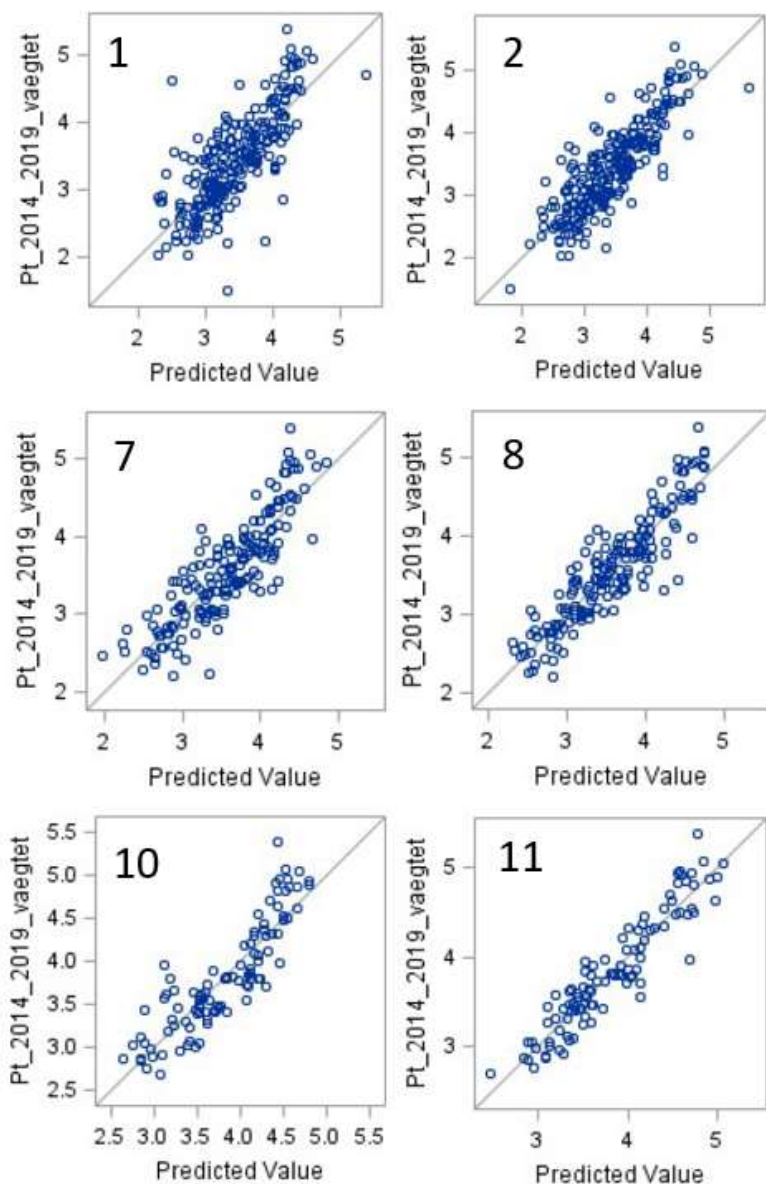
- P-overskud 1920-1950
- P-overskud 1951-1970
- P-overskud 1971-1994
- P-overskud 1995-2016
- P-bindingsevne
- Afstandsfaktor
- Faktor ((husdyr-P x (1/P-bindingsevne))

I modeller (Tabel 4) hvor statistikprogrammet frit kan vælge mellem variablerne, kan f.eks. alle delposter fra P-balancen indenfor samme tidsperiode inddrages. Plots over målte kontra beregnede værdier for P-tal for udvalgte modeller fra Tabel 4 er givet i Figur 14.

Tabel 4. Tabel med sammendrag af resultater givet i Bilag 1. Tabellen viser om modellen er baseret på et frit valg blandt variablerne eller ej ("Variabler"), om der er stillet krav til antal 1 km celler med P-tals-data inden for kommunen ("Krav til antal celler"), antal kommuner i analysen ("Antal prøver"), om top-5 outliers er fjernet ("Outliers fjernet"), om der er anvendt trinvis regression ("Trinvis"), om afledte parametre er medtaget som variabler ("Afledte variabler"), den opnåede regresionskoefficient ("R²") samt sidenummer i Bilag 1 med detaljerede analysedata ("Side").

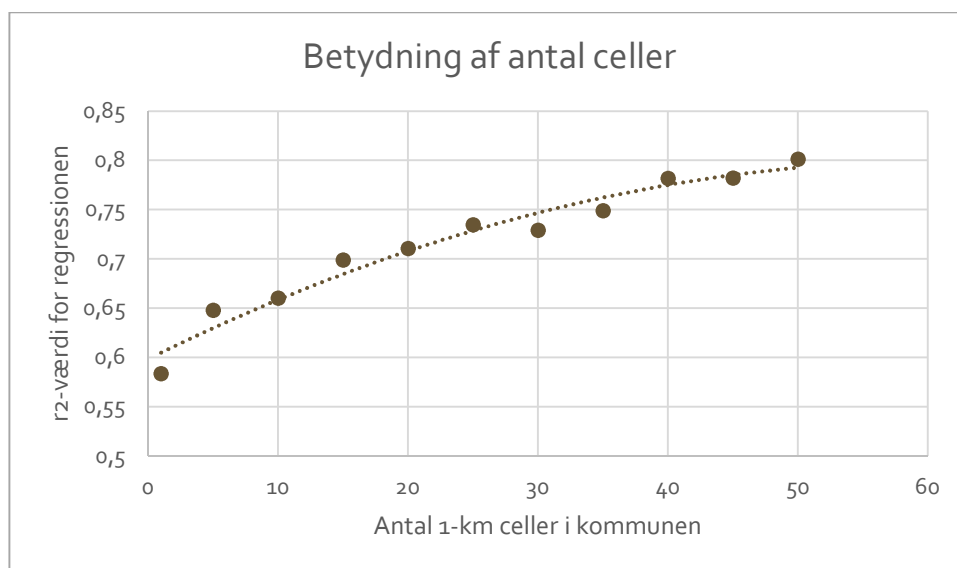
Model	Variabler	Krav til antal celler	Antal prøver	Outliers fjernet	Trinvis	Afledte variabler	R ²	Side
1	Udvalgte	Ingen	239	Nej	Nej	Nej	0,60	1
2	Alle	Ingen	239	Nej	Ja	Ja	0,72	4
3	Alle	Ingen	239	Nej	Ja	Nej	0,69	11
4	Udvalgte	Ingen	234	Ja	Nej	Nej	0,69	21
5	Alle	Ingen	234	Ja	Ja	Ja	0,73	24
6	Alle	Ingen	234	Ja	Ja	Nej	0,74	32
7	Udvalgte	Mindst 20	173	Nej	Nej	Nej	0,74	44

8	Alle	Mindst 20	173	Nej	Ja	Ja	0,81	47
9	Alle	Mindst 20	173	Nej	Ja	Nej	0,81	54
10	Udvalgte	Mindst 50	101	Nej	Nej	Nej	0,78	61
11	Alle	Mindst 50	101	Nej	Ja	Ja	0,88	64
12	Alle	Mindst 50	101	Nej	Ja	Nej	0,83	76



Figur 14. Eksempler på scatterplots over målte P-talsværdier sammenholdt med beregnede (Predicted Value). Numre i de enkelte plot refererer til modelnummer i Tabel 4.

De indledende analyser viste, at mange outliers udpeget af statistikprogrammet hørte til kommuner med et lille antal 1 km celler indeholdende værdier for fosfortal. For enkelte kommuner var dette tal nede på 1 celle. I Tabel 4 er der i kolonnen "Krav til antal celler" anført, om der i modellen er krav om et mindste antal 1 km celler med P-tals-data inden for kommunen eller ej og i givet fald hvilket. I Figur 15 vises sammenhæng mellem krav til antal celler (1 km celler med data for P-tal) indenfor kommunerne og den opnåede regressionskoefficient. Ikke overraskende øges sidstnævnte i takt med, at kommuner med en ringe datatæthed frasorteres. Der er taget udgangspunkt i "Model 1" i Tabel 4.



Figur 15. sammenhæng mellem antal celler med P-talsdata i kommunen og den opnåede regressionskoefficient. Der er taget udgangspunkt i Model 1 (Tabel 4).

En udpeging af outliers via statistikprogrammet viser dog samtidig, at om end kommuner med få dataceller er dominerende, så bliver enkelte kommuner med mange data for P-tal ligeledes frasorteret samtidig med, at kommuner med få datapunkter ikke nødvendigvis er blandt outliers. En "outlier-analyse", hvor sammenhængende data for modelvariabler og målte P-tal undersøges, ville derfor være af stor værdi for en videreudvikling af modellerne. Da den anvendte fremgangsmåde ikke giver adgang til at koble målte værdier for P-tal med specifikke marker/bedrifter eller 1 km-celler, er en detaljeret analyse af sammenhænge udelukket.

Rent statistisk kan udelukkelsen af kommuner alene på baggrund af antal celler med data for P-tal ikke forsvares. Derfor er der i Tabel 4 medtaget modeller, hvor frasorteringen af datapunkter begrænses til de 5 yderstplacerede outliers.

Som det fremgår af Tabel 4, opnås en forklaringsgrad på mellem 60 og 88 % på tværs af de valgte modeller. De højeste værdier kommer dog på bekostning af en, ikke statistisk begrundet, fjernelse af outliers og anvendelsen af indbyrdes afhængige inputvariabler.

Detaljerede analyseresultater er givet i Bilag 1. Et eksempel på en opsummering af en trinvis regression (model nr. 5 i Tabel 4) er vist i Tabel 5. I dette tilfælde har en afledt værdi (andengradsled) for fosforoverskuddet i perioden 1995-2016 den største forklaringsgrad. Denne efterfølges af fosfor i

husdyrgødning i næstsidste periode, fosfor i husdyrgødning i den seneste osv. En gennemgang af Bilag 1 viser, at valg af variabler og rækkefølgen af variablerne skifter.

Tabel 5. Eksempel på sammenfatning af en trinvis regressionsanalyse (model 5 i Tabel 4) hvor input variablerne er listet i rangorden efter forklaringsgrad. Variabler der indgår som afledte værdier (andengradsled) vises med variabelnavne afsluttet med "_2". "P-over" = fosforoverskud; "P-hus" = fosfor i husdyrgødning; "P_udb" = fosfor i høstet afgrøde (udbytte).

Summary of Stepwise Selection									
Step	Variable Entered	Variable Removed	Label	Number Vars In	Partial R-Square	Model R-Square	C(p)	F Value	Pr > F
1	P_overs_1995_2016_2			1	0.5709	0.5709	162.063	308.65	<.0001
2	P_hus_1971_94		P_hus_1971_94	2	0.0852	0.6561	86.2499	57.20	<.0001
3	P_hus_1995_2016		P_hus_1995_2016	3	0.0222	0.6782	67.9898	15.85	<.0001
4	P_overs_1951_70_2			4	0.0172	0.6954	54.2717	12.93	0.0004
5	P_udb_1995_2016		P_udb_1995_2016	5	0.0131	0.7085	44.3028	10.25	0.0016
6	P_hus_1951_70		P_hus_1951_70	6	0.0071	0.7156	39.8326	5.65	0.0183
7	P_udb_1971_94		P_udb_1971_94	7	0.0037	0.7193	38.4762	2.96	0.0868
8	P_udb_1971_94_2			8	0.0041	0.7234	36.7057	3.36	0.0682
9	P_overs_1971_94_2			9	0.0036	0.7271	35.3806	2.99	0.0853
10	P_udb_1995_2016_2			10	0.0046	0.7316	33.2209	3.78	0.0530

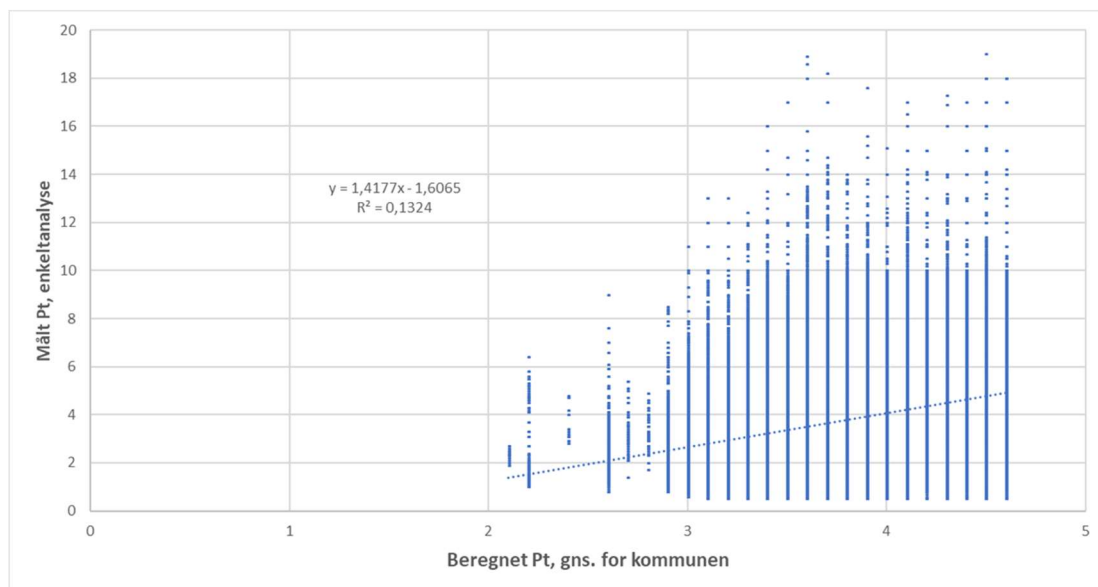
I den anvendte opløsning (gamle kommuner) kan modeller til beregninger af P-tal ud fra landbrugs- og jordbundsdata give en retvisende differentiering af landet i områder med høje hhv. lave værdier for P-tal. En gennemgang af analysedata på kommuneniveau viser dog, at modelberegnete værdier underestimerer P-tal i områder med de højeste målte værdier. De modelberegnete værdier er baseret på et gennemsnit for alt landbrugsareal (højbund) i kommunen, hvorimod de målte værdier kun repræsenterer et forholdsvist lille areal. Såfremt de målte P-tal indenfor kommunen ikke er repræsentativt fordelt, kan dette være årsag hertil. Figur 15 indikerer, at antallet af celler med data indenfor kommunen og dermed repræsentativiteten har en indflydelse på forklaringsgraden.

For alle udarbejdede modeller gælder, at fosforoverskud og tildelt fosfor med husdyrgødning fra de seneste tidsstep har størst betydning for forklaringsgraden.

Da det ikke er muligt at sammenholde kort på kommuneniveau over målte hhv. beregnede værdier, er det ikke umiddelbart muligt at udtale sig om, hvorvidt der er større områder i landet, hvor sammenhænge mellem målte og estimerede værdier er specielt ringe. For Sjælland og Lolland-Falster foreligger forholdsvis få data (Figur 13). Samtidig kendetegnes disse områder alt andet lige ved at have landets laveste gennemsnitlige værdier for målte fosfortal. Dette kan øge usikkerheder i prædiktionen af fosfortal i disse områder.

8.2. Korrelation på kommuneniveau – en til mange analyse

I nedenstående figur (Figur 16) vises et plot for det gennemsnitlige beregnede P-tal på kommuneniveau sat over for alle målte, individuelle P-talsprøver (SEGES) registreret i kommunen. De beregnede værdier for P-tal er baseret på model 5 (Tabel 4) og givet med en præcision på en decimal og derfor forefindes der kun 23 unikke værdier for beregnede P-tal på tværs af de over 200 kommuner.

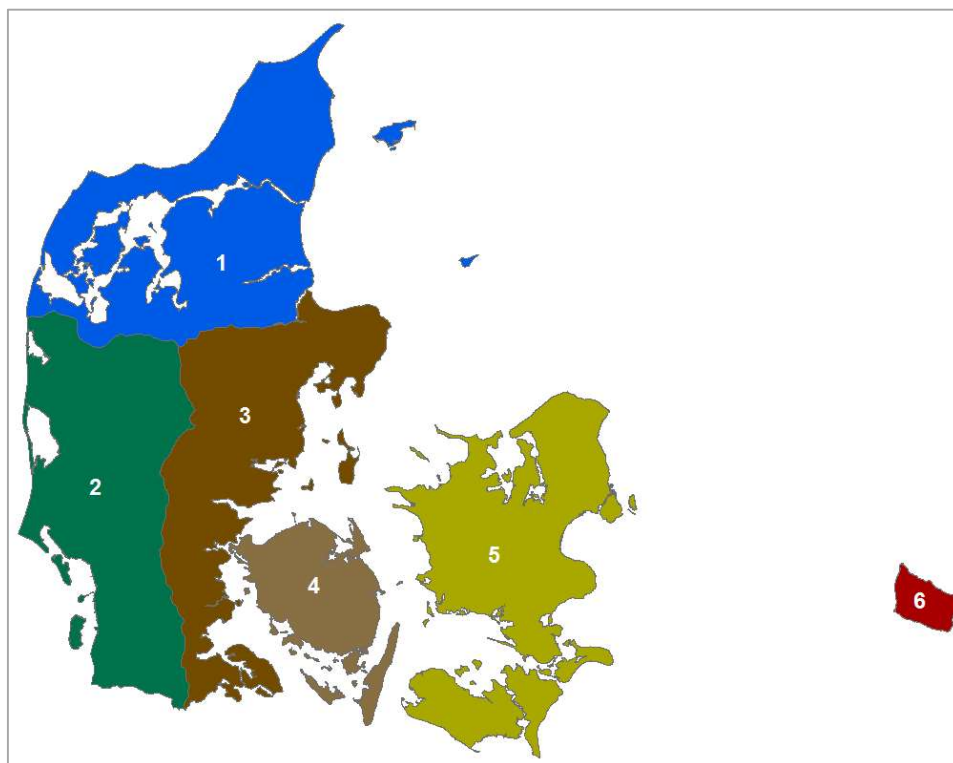


Figur 16. Beregnede gennemsnitsværdier for P-tal i kommunerne sammenholdt med alle målte værdier indenfor kommunen.

Som det fremgår af Figur 16 er variationen i målte P-tal indenfor kommuneafgrænsningerne betydelig og at sammenholde disse data med gennemsnitsværdier for beregnede P-tal inden for kommunen er ikke anvendeligt. Denne øvelse giver et billede af, at selvom forklaringsgraden er størst på en grovere skala (forklaringsgrad på mellem 60 og 88 % på kommuneniveau), så rammer det ikke bedre, hvis der anvendes en gennemsnitsværdi på kommuneniveau, da variationen i målte fosfortal inden for kommunen er så stor. Forklaringsgraden falder således til 13 %.

8.3. Korrelationer på regionsniveau (geo-regioner)

Anvendes modeller til prædiktions af P-tal på kommuneniveau (Tabel 4) til beregning af P-tal på regionsniveau, er korrelationen for gennemsnitsværdier mellem de beregnede og målte P-tal meget høj. I Figur 17 vises et forsimplet kort over landets "geo-regioner". Det vil sige en forsimplet afgrænsning af afsætningsforhold for istidsaflejringer/havaflejringer, som er udarbejdet af Aarhus Universitet. For denne opdeling af landet er der i modsætning til f.eks. kommuneafgrænsninger givet adgang til gennemsnitlige målte fosfortal SEGES (Tabel 7). Datagrundlag for Tabel 7 er jordprøver udtaget i tidsrummet 2014-2019.



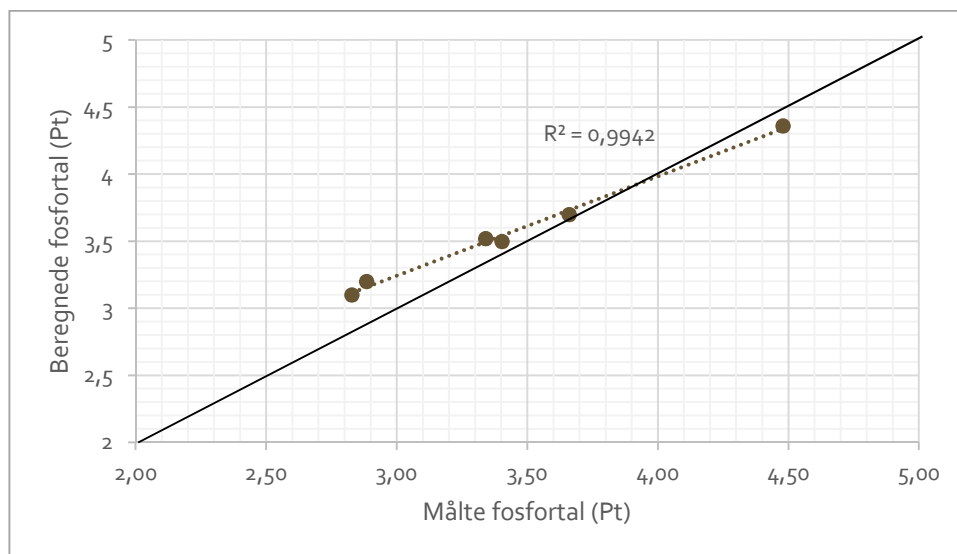
Figur 17. Opdeling af DK i forsimplede georegioner.

I Tabel 6 sammenholdes målte hhv. modellerede gennemsnitstal for geo-regioner og i Figur 18 vises et plot af samme data. I grafen er der ligeledes indsat en 1:1 linje, der indikerer, at de modellerede værdier har en ringere korrelation i områder med de laveste hhv. højeste målte værdier. De modellerede værdier gengiver dog gennemsnittet for det samlede landbrugsareal (højbund) indenfor georegionerne, mens de målte værdier giver gennemsnittet for arealer, der er udtaget jordprøver på.

Tabel 6. Gennemsnit for målte fosfortal (SEGES) for georegioner i DK i årene 2014-2019. Modelberegnete fosfortal baseret på aggregeringer fra DK-kort i 100 x 100 m celler.

P-tal	Nordjylland	Vestjylland	Østjylland	Fyn	Sjælland-Lolland-Falster	Bornholm	Hele landet
Gns. P-tal (målt 2014-2019)	3,66	4,48	3,34	3,40	2,88	2,83	3,75
Gns. P-tal (modelberegnet)	3,70	4,36	3,52	3,51	3,20	3,09	3,67

Til trods for, at de modelberegnete værdier for P-tal er højere end de målte værdier i alle geo-regioner på nær én, ligger de modelberegnete værdier for hele landet under de målte. Dette skyldes, det høje antal prøver udtaget i geo-regionen Vestjylland hvor beregnede værdier for P-tal ligger under de målte.



Figur 18. Plot af gennemsnit for modellerede fosfortal i georegionerne (Tabel 6) som funktion af gennemsnit for målte fosfortal (SEGES). I grafen er der indlagt en 1:1-linje.

9. Resultater af analyser i forbindelse med udarbejdelsen af kort i høj opløsning.

Analyser baseret på sammenhænge på værdier aggregeret på kommuneniveau skulle anvendes til udarbejdelsen af en model til prædiction af P-tal, som herefter skulle anvendes til højopløsnings-kort.

Regressionsanalysen er baseret på en lang række parametre udarbejdet for hver 500 m celle. Her drejer det sig om de samme parametre, som blev anvendt for regressionen udført på gennemsnitsværdier på kommuneniveau (Tabel 3). Beregnede værdier for fosforoverskud, delelementer i fosforbalancen, fosforadsorptionskapacitet mm. bliver i den trinvis regression sat over for målte data indenfor 500 m cellerne.

Analysen blev udført på det fulde datasæt dvs. uden udelukkelse af outliers eller anden filtrering. De beregnede P-overskud fra de forskellige tidsstep indenfor perioden 1920-2016 sammen med fosforbalancens delposter viste sig her at have den største forklaringsgrad. Data fra det seneste tidsstep (1995-2016) vægter højest. Detaljerede analysedata er gengivet i Bilag 2.

I Tabel 7 fremgår de parametre, som i en trinvis regression blev udpeget som signifikante for prædictionen af P-tallet i en korrelation med målte P-tal. Rækkefølgen i Tabel 7 afspejler vægtningen i den multiple regression (faldende "F-value"), hvor de beregnede P-overskud fra 3 tidsstep (1995-2016; 1971-1994 og 1951-1970) har den største forklaringsgrad. Disse bliver efterfulgt af mængden af tildelt husdyrgødning (1995-2016), fosfor fjernet med afgrøden (1995-2016) og tildelt husdyrgødning i det tidligste tidsstep og endeligt jordens evne til at tilbageholde fosfor (fosforabsorptionskapaciteten) "PadsTot".

Tabel 7. Oversigt over variabler der indgår i korrelationsanalysen for højopløsnings-kortet (500 m grid). **P_overs_1995_2016_ScenO** = P-overskud i perioden 1995-2016; **P_overs_1971_94_ScenO** = P-overskud i perioden 1971-1994; **P_overs_1951_70** = P-overskud i perioden 1951-1970; ; **P_hus_1995_2016_ScenO** = husdyr-P fordelt i perioden 1995-2016; **P_udb_1995_2016** = P i høstet afgrøde i perioden 1995-2016; **P_hus_1920_50** = husdyr-P fordelt i perioden 1920-1950; **PadsTot** = fosforbindingsevne.

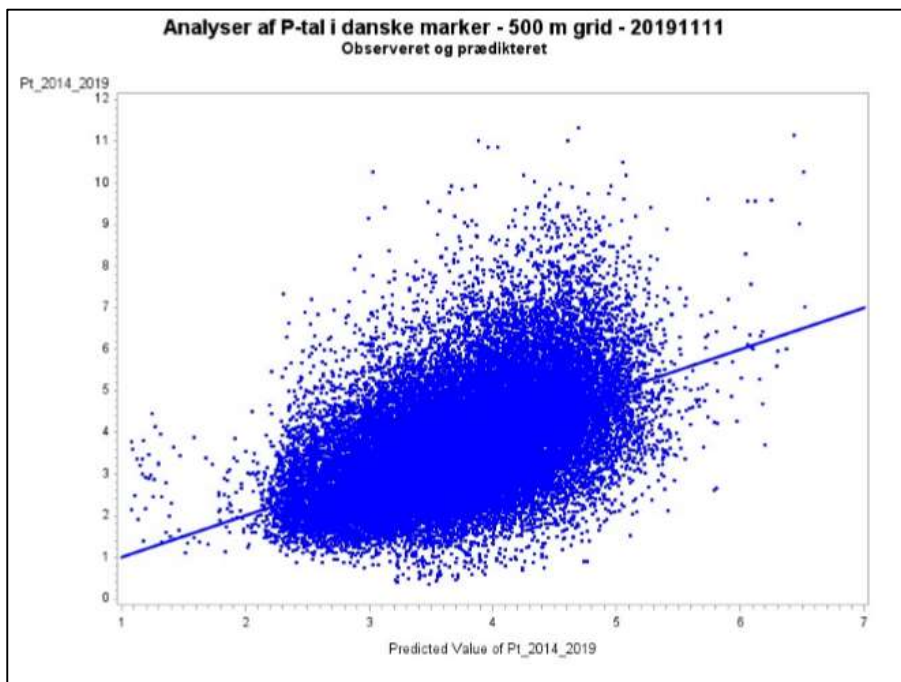
Summary of Forward Selection								
Step	Variable Entered	Label	Number Vars In	Partial R-Square	Model R-Square	C(p)	F Value	Pr > F
1	P_overs_1995_2016_ScenO	P_overs_1995_2016_ScenO	1	0.1226	0.1226	6260.69	5160.54	<.0001
2	P_overs_1971_94_ScenO	P_overs_1971_94_ScenO	2	0.0554	0.1780	3533.92	2490.74	<.0001
3	P_overs_1951_70	P_overs_1951_70	3	0.0343	0.2123	1846.32	1609.35	<.0001
4	P_hus_1995_2016_ScenO	P_hus_1995_2016_ScenO	4	0.0127	0.2249	1224.78	603.62	<.0001
5	P_udb_1995_2016	P_udb_1995_2016	5	0.0163	0.2413	422.949	794.86	<.0001
6	P_hus_1920_50	P_hus_1920_50	6	0.0042	0.2454	220.532	203.24	<.0001
7	PadsTot	PadsTot	7	0.0017	0.2471	139.873	82.36	<.0001

Korrelationsanalysen mellem data på 500 m celler og målte fosfortal foretaget af SEGES viste, at forklaringsgraden stadig svarer til den opnåede i de indledende analyser og udført på 1 km celler. Det vil sige en forklaringsgrad på under 30 % (0,28). Der anvendes "mean square error" (MSR) til en vurdering af modellens prædiktionsikkerhed beregnet som:

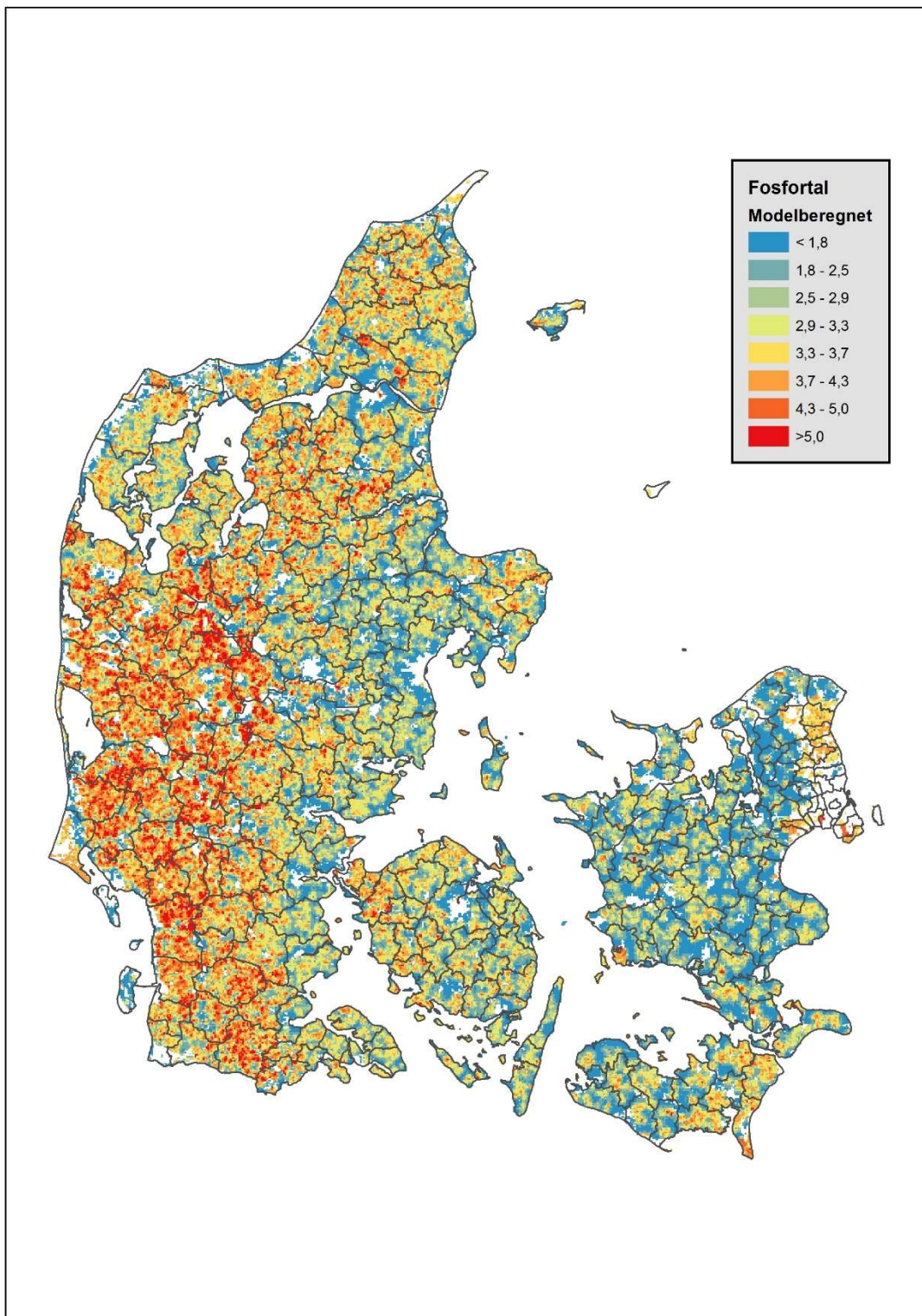
$$\text{Prædiktion} = \sqrt{\text{MSR}} \times 2$$

Med en MSR-værdi på 1,15 for den anvendte model vil en tilnærmet prædiktionsikkerhed være på 2,1 P-tals-enheder. I yderpunkterne, dvs. ved meget lave eller meget høje værdier, vil P-tal blive beregnet med en endnu større usikkerhed. Den samlede usikkerhed øges yderligere pga. den ovenfor beskrevne usikkerhed forbundet med prøveudtagning og laboratorieanalyserne. Til trods for at kortet viser sig at være retvisende på et mere overordnet niveau, er mulighederne for retvisende at prædiktere P-tal på et meget detaljeret niveau begrænsede.

Et scatterplot over målte hhv. modelberegnete værdier er vist i Figur 19. Den samlede usikkerhed ved beregninger af fosforbalancer og øvrige inputparametre i en opløsning på 500 x 500 m på den ene side og usikkerheden for målte fosfortal hvad angår prøveudtagning, prøvetagningsarealets størrelse og placering i forhold til 500 m cellen på den anden side, kan forklare den forholdsvis beskedne sammenhæng. En fuld oversigt over modelparametre er givet i bilag 2. I Figur 20 vises et kort (500 m grid) baseret på den i forbindelse med regressionsanalysen udarbejdede model.



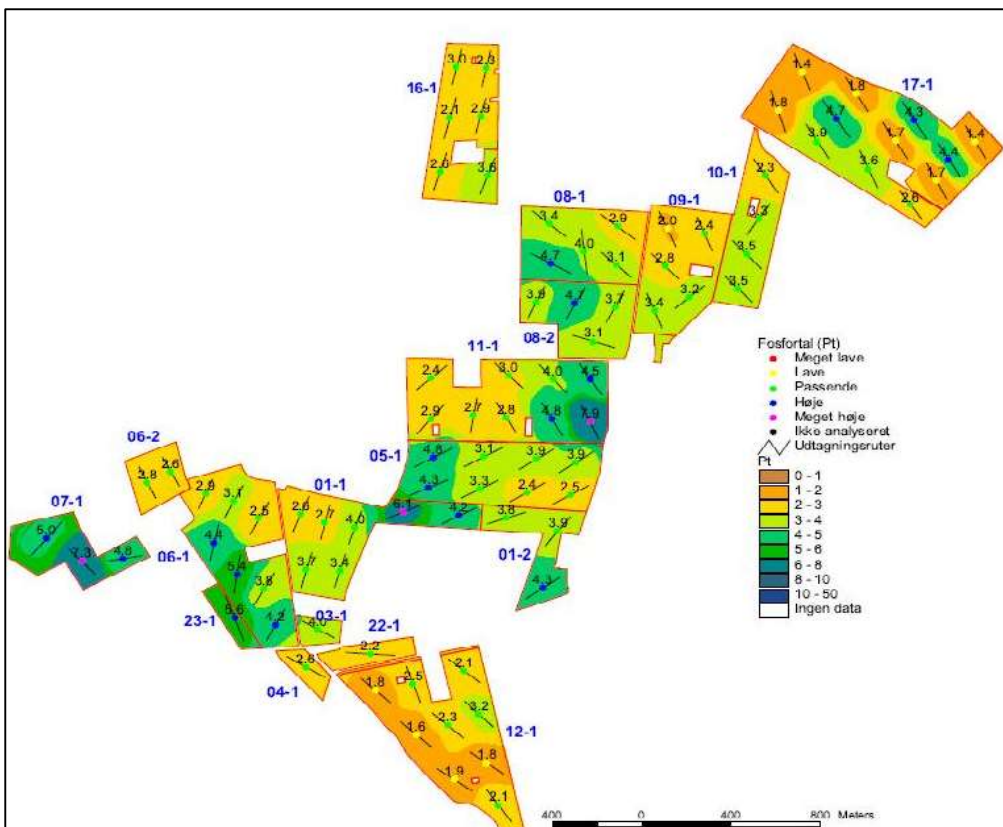
Figur 19. Scatterplot over målte og modellerede værdier for fosfortal.



Figur 20. Modelberegnete værdier for P-tal gengivet for celler med en kantlængde på 500 m.

Ikke overraskende er det også i korrelationerne bag højopløsnings-kortet, landbrugsdata fra det seneste tidsstep (1995-2016) der vægtes højest. Data fra denne periode kan distribueres rumligt på et forholdsvis højt detaljeringsniveau.

I det omfang landbrugsdata fra de tidlige tidsstep inddrages som forklarende parameter, vil disse i udgangspunktet være beregnet på f.eks. "amtsrådsniveau" og i begrænset omfang være egnede til analyser i høj opløsning. Jordprøver kan på den anden side være udtaget på tværs af meget store forskelle i den undersøgte mark og muligvis på tværs af grænsen mellem 500 m cellerne. Et eksempel på variationen i fosfortal på markniveau er givet i Figur 21. Figur 21 viser variationen i målte P-tal i pløjelaget på markniveau og er resultatet af en undersøgelse, som den pågældende bedrift selv har stået for. Der foreligger kun få kortlægninger af P-tal med et tilsvarende opløsningsniveau, men variationen gengivet i Figur 19 vil forventeligt ikke være et særsyn. Med mindre en erfaren jordprøvetager gennem en landskabsanalyse tager højde for variationen ved at "subsample" på delmarker, vil selv analysedata for delmarker kunne spænde over store forskelle i jordens fosforstatus. Potentialet for en forbedret model til prædiktion af jordens fosforstatus er derfor knyttet til en forbedret rumlig kobling af landbrugs- og jordbundsdata på den ene side og målte fosfortal på den anden.



Figur 21. Eksempel på variationen for fosfortal indenfor markarealer. (Hansen, 2013).

Modellen til udarbejdelse af et kortet med celler med en kantlængde på 500 m blev ligeledes benyttet til udarbejdelsen af et kort med celler med en kantlængde på 100 m. Korrelationsanalyser på sammenhænge mellem driftsdata udlæst for 100 m celler og P-tal for udtagne jordprøver blev i den sammenhæng ikke gennemført. Dette hænger sammen med, at selv de seneste registerdata over forklarende parametre som f.eks. afgrødeforhold og gødningsanvendelsen ikke kan omsættes til valide kort der beskriver driftsforskelle i en opløsning på 100 x 100 m. Ydermere vil placeringen af udtagne jordprøver ej heller kunne stedfæstes med denne nøjagtighed, da jordprøver og dermed målte P-tal ofte udtages på baggrund af landskabstolkninger og ikke i et ensartet mønster. Korrelationer mellem driftsdata udlæst for 100 m celler og P-tal for udtagne jordprøver antages alt andet lige at være svagere end tilsvarende korrelationer beregnet for det udarbejdede kort med 500 m kantlængde. Dette til trods er modellen udlæst i en opløsning på 100 m celler, da kortet over det estimerede P-tal som anført skal anvendes i projekt om Fosforkortlægning af dyrkningsjord og vandområder i Danmark, som gennemføres af Aarhus Universitet. Kortlægningen sker her på markniveau eller finere skala, og jordens fosforstatus skal indgå som parameter i flere dele af kortlægningen.

10. Konklusion

Fosforbalancer er oprettet på baggrund af to forskellige tilgange. Perioden fra 1920-1994 beskrives vha. landbrugsstatistikker (Danmarks Statistik), hvorfra data over husdyrhold, udbyttensniveau og anvendte mængder mineralisk gødning anvendes. Disse data foreligger i en varierende opløsning fra oplysninger for herreder til amter. Perioden 1995-2016 beskrives ved data fra landbrugsregistre. I begge tilfælde er der en god overensstemmelse mellem opsummerede værdier for balancens delposter fra analysen og fra landsdækkende data fra andre kilder.

Som led i projektet er der udarbejdet landsdækkende kort over fosforbalancen i 1-års step.

Det indledende arbejde resulterede i landsdækkende kort som i 4 tidsstep redegør for delposterne i fosforbalancen. Værdier for disse delposter (fosfor i tildelt organisk gødning, tildelt fosfor i handelsgødning, fosfor i høstet afgrøde samt fosforoverskuddet) blev sammen med afstandsbetragtninger og værdier for fosforabsorptionskapaciteten beregnet for forskellige geografiske enheder. Dette blev gjort på regions- og kommuneniveau samt for celler med varierende kantlængde (500 og 1000 m). SEGES stod herefter for beregningen af gennemsnitsværdier for målte fosfortal indenfor disse afgrænsninger. Herefter blev de af SEGES beregnede værdier for målte P-tal sammenholdt med den lange række af forklarende parametre. Dette arbejde blev udført i et statistikprogram (SAS), hvor parametre med en signifikant forklaringsgrad blev udpeget én for én i en trinvis regression. Resultater herfra blev brugt til at opstille modeller til prædiktion af P-tal ud fra de udpegede signifikante parametre (multipel regression).

Korrelationsanalyser tog afsæt i gennemsnitsværdier for målte fosfortal beregnet for celler med en kantlængde på 1 km. Af disse forelå der ca. 12.500 celler, som dog ikke var ligeligt fordelt over landet. Dette svarer til data over fosfortal på ca. 28 % af Danmarks areal. Dækningsgraden i de østlige dele af landet var forholdsvis ringe.

Gennemsnitsværdier for fosfortal i 1 km-cellerne blev på kommuneniveau (1970-kommuner) sammenholdt med gennemsnitsværdier for en lang række beregnede parametre. Herunder beregnet fosforoverskud for flere tidsstep i perioden 1920-2016, fosforbindingsegenskaber, afstandsbetragtninger mellem markarealer

og husdyrhold mm. Afhængigt af den valgte regressionsmodel, valg af inputparametre og valg til håndtering af outliers, blev der opnået korrelationskoefficienter på mellem 0,60 og 0,88.

Beregnete fosforoverskud for de 4 anvendte tidssteps indenfor perioden 1920-2016 samt delposter af fosforbalancen viste sammen med en beregnet fosforbindingskapacitet og afstandsbetragtninger (husdyrhold hhv. markarealer), at have den største forklaringsgrad. Fosforbalancen og det heraf beregnede fosforoverskud fra det seneste tidsstep (1995-2016) indgår i alle modeller med den største forklaringsgrad. Dette gør sig gældende for korrelationer på kommuneniveau såvel som korrelationer bag udarbejdelsen af højopløsnings-kort. Begrundelsen herfor kan blandt andet ligge i, at opløsningen for landbrugsdata for denne periode er på markblokniveau.

På overordnede niveauer kan variationen i målte fosfortal beskrives tilfredsstillende gennem modelberegninger med fosforbalance- og jordbundsdata som inputparametre.

Datasammenhænge er væsentlig ringere ved korrelationsanalyser mellem data fra højopløsnings-kort over fosforbalancer/jordbundsdata og målte fosfortal. Analyser på baggrund af kort med celler på 500 m kantlængde opnåede en forklaringsgrad på 28 %, og forklaringsgraden må for kort med celler på 100 m kantlængde alt andet lige antages at være svagere. Den samlede usikkerhed for inputdata til modellen på den ene side og en sløret positionering af udtagningspunkter for jordprøver på den anden side, må antages at være hovedårsag hertil. Usikkerheden for prøveudtagning og analyse svarer til 1 P-tals-enhed og usikkerheden for modellen til udarbejdelsen af højopløsnings-kort på 2,1 P-tals-enhed. Specielt i yderpunkterne for P-tals-skalaen er modellen meget usikker. Det vil sige, at meget høje og meget lave værdier for målte P-tal ikke kan prædikteres af modellen.

Den i litteraturen beskrevne nedsivning af fosfor fra over- til underjord kan udviske sammenhænge mellem beregnede P-tal og værdier for målte P-tal baseret på overjordsprøver. Ligeledes kan den meget skæve distribution af P-tals-målinger, med mange målepunkter i Jylland og få målinger på øerne, indvirke negativt på udarbejdelsen af en model til beregning af P-tal. Dette kan evt. efterprøves ved at udarbejde en model på baggrund af data fra områder med mange datapunkter.

En mere entydig kobling mellem landbrugs- og jordbundsdata på den ene side og målte fosfortal på den anden side, vil uden tvivl kunne forbedre korrelationen. De gennemførte analyser viste, at inputvariabler med udgangspunkt i fosforbalancen for det seneste af de anvendte tidsstep (1995-2016) har den største forklaringsgrad. En 1:1 kobling mellem jordprøvedata og bedriftsdata fra denne periode vil kunne bidrage væsentligt til forståelsen af sammenhænge og til udarbejdelsen af forbedret model til prædiktation af jordens fosforstatus. Herunder f.eks. forbedrede analyser for betydningen for afstande mellem marker og husdyrhold, muligheder for håndtering af "hotspots" (afgrænsede områder med meget høje fosfortal), eventuelle bedriftstypeafhængige forhold, en langt mere detaljeret beskrivelse af jordbundsforholdenes indflydelse mm. En sådan analyse, gennemført på bedriftsniveau, ville initialt kunne udføres på en delmængde af fosfortalsprøverne ved SEGES, og vil af datarettighedsmæssige begrænsninger også kun kunne udføres samme sted.

11. Litteratur

- Andersen, H. e. (2016). *Redegørelse for udvikling i landbrugets fosforforbrug, tab og påvirkning af vandmiljøet. Teknisk rapport fra DCE nr. 77*. Århus Universitet.
- Christensen, P. (1927). *Danske landbrugsplanterers indhold af mineralstoffer*. Odense: Andelsbogtrykkeriet.
- ConTerra. (2005). *Opskalering af analysedata for oxalat ekstraherbart jern og aluminium - Mulighederne for en regional afgrænsning af jordens P-bindingsevne*. Tjele: ConTerra.
- Danmarks Statistik. (1953). *Landbrugsstatistik 1952*. København: Danmarks Statistik.
- Danmarks Statistik. (1957). *Landbrugsstatistik 1957*. København: Danmarks Statistik.
- Danmarks Statistik. (1968). *Landbrugsstatistik 1900 - 1965; Bind 1*. København: Danmarks Statistik.
- Danmarks Statistik. (1969). *Landbrugsstatistik 1900 - 1965; Bind 2*. København: Danmarks Statistik.
- Danmarks Statistik. (1981). *Landbrugsstatistik 1980; Statistiske Meddelelser 1981:9*. Danmarks Statistik.
- Danmarks Statistik; Det Statistiske Departement. (1930). *Anvendelsen af kunstgødning 1928*. København.
- Danmarks Statistik; Det Statistiske Departement. (1955). *Anvendelsen af kunstgødning 1952*. København.
- Hansen, L. K. (13. Juni 2013). *Egedesgaard Landbrug*. Hentet fra <http://egedesgaard-landbrug.blogspot.com/2011/04/>
- Kyllingsbæk, A. (2008). *Landbrugets husholdning med næringsstoffer 1900 - 2005; Markbrug nr. 18*. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet; DJF.
- Lund, P. (1. 8 2018). *Normtal for husdyrgødning*. Århus Univeritet.
- Miljøstyrelsen. (2007). *Boringsnære beskyttelsesområder - BNBO, Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 2, 2007*. København: Miljøstyrelsen.
- Nils Kofoed, B. H. (1990). *Kvælstofbalancer- og fosforbalancer ved kvæg- og svinehold; Nr A1*. Miljøstyrelsen.
- Poulsen H.D, Rubæk G.H. (ed). (2005). *Fosfor i dansk landbrug*. DJF.
- Poulsen, H. o. (2005). *Fosfor i dansk landbrug*. DJF-rapport .
- Rubæk, G. e. (2013). Phosphorus accumulation and spatial distribution in agricultural soils in Denmark. *Geoderma*, s. 241-250.
- SEGES. (17. 11 2015). *Mælkeydelsens udvikling målt i ydelseskontrollen*. Hentet fra <https://www.landbrugsinfo.dk/kvaeg/ryk/sider/maelkeydelsensudviklingmaaltiydelseskontrollen.aspx>
- Aarhus Universitet. (2019). *LANDOVERVÅGNINGSOPLANDE 2017; DCE-rapport 305*.