



## **Baggrundsnotat til Vandmiljøplan III - midtvejsevaluering**

# **Landsdækkende modelberegning af kvælstofudvaskning fra landbruget for årene 2003-2007**

Christen Duus Børgesen  
*Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet  
Århus Universitet*

December 2008

### *Baggrund*

I forbindelse med VMPIII midtvejsevalueringen er der gennemført nye landsdækkende modelberegninger af kvælstofudvaskningen. Beregningerne baseres på sædskifte- og gødningsdata fra henholdsvis mark- og bedriftsniveau. Metoden, der er anvendt, er baseret på resultater af en omfattende validering og ny kalibrering af udvaskningsmodeller.

Udvaskningsberegningerne udarbejdet i forbindelse med slutevalueringen af VMPII (Børgesen & Grant 2003) blev baseret på kommunedata, hvor landbrugsdata var summeret til fire bedriftstyper på kommuneniveau. De "nye" landbrugsdata er blevet tilgængelige fra landmandsindberetningerne i forbindelse med ansøgning om hektarstøtte og i forbindelse med indsendelse af gødningsregnskaber. Beregningerne kan derfor gennemføres særskilt for hver enkelt bedrift, og der er i de "nye" modelberegninger en bedre sammenhæng mellem sædskifte, gødningsdata, jordtyper og klimaforhold, end der var i modelberegningerne udarbejdet i forbindelse med slutevalueringen af VMPII (Børgesen & Grant, 2003). Desuden er modelberegningerne baseret på nye mere lokalt repræsentative jordbundstyper og klimadata. Således er resultaterne af modelberegningerne baseret på mere lokale data og derfor er resultaterne mere anvendelige lokalt. Dog er der i modelberegningerne stadig forhold, der er standardiseret såsom udbringningsmetode og fordeling af husdyrgødning, udbringningstidspunkt af gødning, jordbearbejdning og korrektion af gødningsmængder som gør, at modelberegningerne på lokalt niveau er forbundet med større usikkerhed end på større skala såsom regional- og national skala.

### *Metoder til modelberegning af udvaskningen*

Opgørelse af kvælstofudvaskning på både regional- og landsplan er behæftet med stor usikkerhed. Usikkerheden i opgørelsen af kvælstofudvaskningen skyldes både usikkerheden ved de anvendte modeller, usikkerheder på indgangsdata samt metodeusikkerheder forbundet med at afspejle variationen i jordbund, klima og driftsforhold i modelberegningerne.

I opgørelsen af N-udvaskningen på landsplan er det hensigtsmæssigt at anvende flere typer modeller, da de enkelte modeller har forskellige styrker og svagheder. Således er der valgt at gennemføre udvaskningsberegningerne med to modeller henholdsvis SKEP/Daisy og NLES4. SKEP/Daisy-modellen (Børgesen og Heidmann, 2002) bygger på resultater af grundlæggende modelberegninger med DAISY-modellen (Abrahamsen & Hansen, 2000). SKEP/Daisy-modellen er recalibreret og udbygget i forhold til beskrivelsen (Børgesen og Heidmann, 2002). Hvor der i modelsystemet er sket væsentlige ændringer, vil disse fremgå af dette notat.

Den nye empiriske udvaskningsfunktion NLES4 (Kristen et al., 2008) er en opdateret og recalibreret version af NLES3-modellen (Kristen et al., 2003), der blev anvendt i VMPII slutevalueringen (Børgesen & Grant, 2003). Recalibreringen og ændret modelstruktur er begrundet i nye observationer af målt kvælstofudvaskning og en ny modelberegnet vandbalance.

### *SKEP/Daisy-modellen*

SKEP/Daisy er et modelsystem, der på markniveau beregner tørstofudbytte, vand- og kvælstof- (N-) balance - herunder N-udvaskning ud fra data om jordtype, klimazone, meteorologiske data, sædskifte og N-gødsning. SKEP/Daisy-beregningerne baseres på grundlæggende resultater fra modelberegninger med den deterministiske simuleringsmodel DAISY (Abrahamsen & Hansen, 2000 (version 4.00)). Modelsystemet anvender en database med de grundlæggende Daisy-

simuleringsresultater for en række kombinationer af forfrugt, afgrøder, efterfølgende afgrøde, jordtype, klima og N-gødsning. DAISY-modellen er kalibreret på til at simulere regionale N-udbytniveauer, der svarer til et gennemsnitligt niveau for årene 2001-2005 (Danmarks Statistik, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005). Kalibreringen af modellen er gennemført for kombinationerne Geo-regioner, klimazoner og jordtyper. En detaljeret beskrivelse findes i Bilag 3: Daisy N-udbytte kalibrering.

De grundlæggende modelberegninger repræsenterer en række almindeligt anvendte sædskifter dyrket på 11-12 jordtyper repræsentative inden for hver af fem geo-regioner. Jordtyperne er genereret ud fra den Danske Jordprofil Database - se i øvrigt Bilag 2: Jordbundsdata. Der er også gennemført kalibrering af denitrifikation og udvikling i jordens organiske puljer, således at denitrifikationen ved normgødsning med handelsgødning er på niveau med en Simden (Vinther og Hansen, 2004) beregnet denitrifikation ved samme gødsningsniveau. Udviklingen i de organiske puljer er kalibreret til en gennemsnitlig puljeudvikling fundet i 25 forskellige forsøgsserier, der dækker ca. 140 års måledata af mark N-balancen. En gennemgang af kalibreringen findes i Bilag 4: Daisy kalibrering af udviklingen i jordens organiske N-puljer og denitrifikation.

Modelberegningerne er gennemført med regionale daglige meteorologiske data for perioden 1990-2005. Landet er opdelt i 18 nedbørszoner, hvor hver zone er kalibreret til en nedbør, der afspejler nedbøren i området. I VMPII slutevalueringen blev der anvendt 6 klimazoner. For en nærmere gennemgang af klimadata henvises til Bilag 1: Klima data. Resultater fra de grundlæggende Daisy-modelberegninger er lagret i en database.

I modelberegninger for en mark anvender modelsystemet følgende indgangsdata: jordtype, klima, forfrugt, afgrøde, efterafgrøde/efterfølgende afgrøde som klassevariable og N-gødsning med handelsgødning og husdyrgødning som kontinuerte variable. SKEP-beregner resultaterne for en given kombination af klassevariablen ved interpolation ud fra de resultater fra databasen, der mht. N-gødsning og jordtype, ligger tættest på den opstillede gødningsplan. Beregningerne med SKEP kan på denne måde gennemføres for mange aktuelle kombinationer af arealanvendelse og N-gødsning ud fra de samme grundlæggende modelberegninger. For hver mark der indgår i sædskiftet på en bedrift beregnes en SKEP/Daisy-modelberegnet mark N-balance (N tilført med handelsgødning, husdyrgødning, N-fiksering, atmosfære, N-deposition og N fraført ved N-fordampning fra handels- og husdyrgødning, N-udvaskning, denitrifikation, N-høst med kerne/kartoffelknold, sukkerroer og N-høst med halm, stængel, blade). Desuden beregnes ændringen i jordpuljen. For alle omdriftsmarkerne tages udgangspunkt i at markerne dyrkes som hele sædskiftet og resultaterne vægtes på markniveau i forhold til den jordtypefordeling der er for markblokken.

#### *NLES4-modelberegninger*

N-udvaskningen beregnes med den empiriske model NLES4 (Kristensen *et al.*, 2008). NLES4 er i modsætning til Daisy en empirisk model, der er udarbejdet på baggrund af data fra forsøg forskellige steder i Danmark. Modellen baseres på 1467 års opgørelse af udvaskningen for forskellige afgrøder, jordtyper, klimaforhold og N-gødsningsniveauer. Modellens parametre er beskrevet i Kristensen *et al.*, 2008.

Modellen anvender de samme inputdata for N-gødsning, sædskifte og jordtypefordeling, der anvendes af SKEP/Daisy-modellen. Modellen anvender en vandbalance, der er baseret på DMI's 10 km gridnedbør målt i perioden 1990-2006 og modelberegnet med Daisy-modellen. Se Bilag 1: Klima data. For at opnå realistiske afstrømninger er der gennemført en omfattende kalibrering af

jordens hydrauliske parametre og fordampningsparametre for at opnå sammenhæng mellem den modelberegnete afstrømning af vand fra rodzonen og så en aktuel målt afstrømning. De anvendte jordbundsdata er beskrevet i Bilag 2: Jordbundsdata og fordampningsparametrene er beskrevet i Bilag 1: Klimadata.

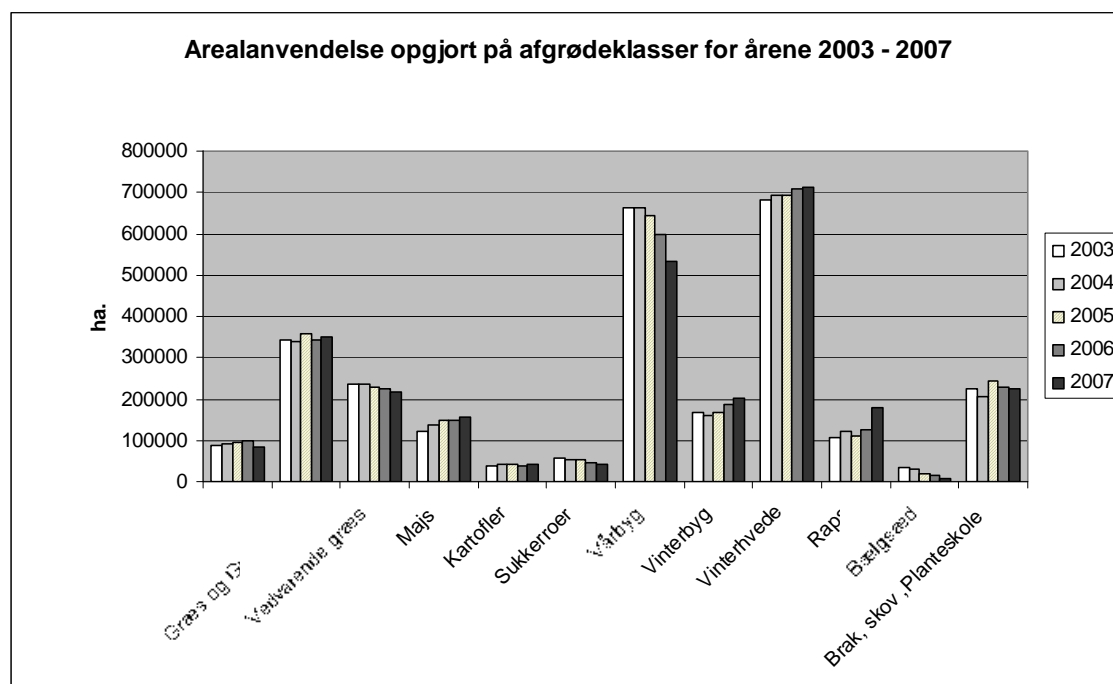
### Inputdata i de regionale modelberegninger

#### -Registerdata

Modelberegningerne er baseret på data fra de landsdækkende landbrugsregistre: Det Generelle LandbrugsRegister (GLR) og gødningsregnskaber fra Plantedirektoratet (PD). De benyttede data er udtrukket fra DJF's Forsknings Relaterede JORdbrugs register (FRJOR, 2008).

#### - Arealanvendelse

Der er anvendt data for arealanvendelsen fra GLR for dyrkningsårene 2003 til 2007. Hvert år har forskellige GLR-koder for forskellige afgrøder. Koderne dækker afgrødeklasser, der indeholder kornafgrøder, grovfoderafgrøder, udefinerede planteskolearealer, juletræer, brak, vedvarende græsningsarealer m.fl. I de grundlæggende Daisy-modelberegninger er der kun modelberegnet for de dominerende kornafgrøder: vårbyg, vinterbyg, vinterhvede, vinterraps, ærter og grovfoderafgrøderne: rajgræs, vedvarende græs og silomajs er repræsenteret. Begrænsningen skyldes at Daisy-modellen kun er kalibreret til disse afgrøder. For at kunne gennemføre modelberegninger for alle GLR-afgrøder er der sket en samling af GLR-afgrøde koderne i afgrødeklasserne, som er repræsenteret i de grundlæggende modelberegninger. I figur 1 er vist arealfordelingen af afgrødeklasserne opstillet ud fra GLR for årene 2003-2007.



Figur 1. Arealanvendelsen for årene 2003-2007 opgjort ud fra de årlige landmandsindberetninger (for årene 2003-2004 er data hentet fra Hektarstøtteansøgningen, øvrige år stammer data fra indberetninger med enkeltbetalingsordningen).

Af figur 1 ses at arealet med: Frøgræs, Kartofler, Græs og Grøntfoder i perioden er næsten konstant. For græs og grøntfoder er der sket en ændring ved at arealet med helsæd er faldet, hvorimod græsarealet er steget (ikke vist i figur 1). Arealet med vedvarende græs falder lidt i perioden og majsarealet stiger. Arealet med sukkerroer indbefatter både foderroer og sukkerroer. Der ses et fald i sukkerroearealet i perioden (2005-2007). De største ændringer i arealanvendelsen ses ved et fald i vårbygarealet fra 2004-2007 og en stigning i vintersædsarealerne af vinterbyg, vinterhvede samt raps (i figur 1 er vinterraps og vårraps slået sammen som raps, men overvejende domineret af vinterraps). Bælgsædsarealet falder i perioden. I kategorien Brak, skov og planteskole indgår både brakarealer, juletræer, frugtræer m.fl. Ophævelsen af brakpligten har først betydning fra 2008 og kan derfor ikke ses i opgørelsen eller i modelberegningerne.

I året 2005 overgik dataindsamlingen af arealanvendelse og gødningsplaner til den såkaldte enkeltbetalingsorden, hvilket medførte at det dyrkede areal steg markant. Areal med specielt vedvarende græs og juletræer steg (Grant, 2008). For at tage højde for disse ændringer er arealanvendelsen for 2003 og 2004 øget, således at det samlede areal med vedvarende græs og juletræer er øget til niveauet for 2005-2006. Herved tages der i modelberegningerne hensyn til at der med enkeltbetalingsordningen blev tilmeldt et større areal som dyrket areal.

#### *- Sædskifter*

Til hver bedrift er der opstillet årlige sædskifter ud fra oplysninger om arealanvendelsen på de marker, der er registreret på bedriften for årene 2003-2007. Bedriftens sædskifte er opdelt i tre typer arealanvendelse: 1) marker i omdrift, 2) vedvarende græsmarker og 3) marker med permanent brak/skov. Der er opstillet typiske afgrødefølger for omdriftsmarkerne ud fra bedriftens samlede arealanvendelse i de enkelte år. Eksempelvis dyrkes der vinterbyg før vinterraps, vinterhvede efter vinterraps, græsmarker ligger i to år og græs sås som udlæg i vårbyg. Der er i sædskifterne indlagt efterafgrøde (rajgræs udlæg) på primært vårsædsarealerne i forhold til det efterafgrødeareal der er indberettet med gødningsregnskaberne.

#### *Kvælstoffiksering*

I de grundlæggende Daisy-modelberegninger er kvælstoffikseringen ikke Daisy-modelberegnet for græsmarkerne, da det er rajgræsmodul i Daisy-modellen, der er anvendt. For at kompensere for den manglende kvælstoffiksering i rajgræsmarker er der anvendt en empirisk model baseret på (Høgh-Jensen *et al.*, 2003) til at beregne kvælstoffikseringen, som herefter er tilført som mineralisk gødning til marken. For bælgsædsmarker beregner Daisy-modellen en N-fiksering. For modelberegningerne med NLES4, er N-fikseringen for både ærter og græsmarker i omdrift samt vedvarende græs beregnet med den empiriske model baseret på (Høgh-Jensen *et al.*, 2003).

#### *Markgødningsplaner*

Der er beregnet en gennemsnitlig udnyttelsesprocent for udbragt husdyrgødning i gødningsplanerne. Udnyttelsesprocenten beregnes specifikt for bedriften ud fra bedriftens beregnede N-behov og aktuelt forbrug af handels- og husdyrgødning. Ved opstillingen af gødningsplanerne antages det, at den gennemsnitlige udnyttelsesprocent på en bedrift er mindst 25%. Der opstilles herefter gødningsplaner på markniveau ud fra afgrødedata for markerne og N-gødskningsdata opgjort på bedriftsniveau. Metoden, som er anvendt, er en videreudvikling af metoden anvendt i de landsdækkende modelberegninger (Børgesen & Heidmann, 2002). Indgangsdata kan opdeles i grunddata og bedriftsspecifikke data fra gødningsregnskaberne (PD-data) samt markdata for arealanvendelsen, der stammer fra GLR.

Grunddata omfatter:

- Afgrøde kvælstofnormer for de pågældende år (2003-2007) (Plantedirektoratet, 2003-2007)
- Afgrødernes P-behov
- En prioritering af alle afgrøder i forhold til gødskning med husdyrgødning

Bedriftsspecifikke data omfatter:

- Dyrket areal ifølge GLR
- Gødet areal ifølge PD
- Harmoniareal
- Areal inklusiv brak
- Areal med efterafgrøder
- Udbragt N med handelsgødning
- Udbragt N med husdyrgødning
- Eksporteret/importeret husdyrgødning
- Udbragt N med anden organisk gødning
- Udnyttelsesprocent af husdyrgødning
- P-indhold i husdyrgødning beregnet ud fra gødningstypen

Markdata:

- De dominerende jordtyper på markblokniveau
- Markens geografiske placering
- Afgrøder

Den enkelte marks gødningstildeling tager udgangspunkt i den dyrkede afgrødes N-norm. N-normen bestemmes årligt ud fra normtal for de enkelte afgrøder. Normen afhænger desuden af jordtypen (jordtypen bestemmes ud fra den dominerende jordtype i markblokken), forfrugten og af om der vandes på marken.

Tilførsel af husdyrgødning til bedriftens marker er beregnet ved at anvende en prioriteret tilførsel af husdyrgødning (prioriteringen af tildelingen til de forskellige afgrøder er baseret på oplysninger fra planteavlskonulenter indsamlet i tre områder i AGWAPLAN projektet (Børgesen et al., 2006)). Prioriteringen anvendt for alle årene er vist i tabel 1. I opstillingen af gødningsplanerne er der anvendt følgende procedurer:

- 1) Hvis der er helsæd eller majs i et sædskifte på en bedrift, og der ifølge data fra PD udbringes husdyrgødning, gødes disse afgrøder med husdyrgødning svarende til 50% af afgrødens N-behov ved den udnyttelsesprocent, der er beregnet for bedriften.
- 2) Såfremt der er mere husdyrgødning tilbage, gødes græs i omdrift, således at 50% af N-behovet dækkes - herefter følger vinterraps, dernæst vinterhvede osv.
- 3) Såfremt al husdyrgødning ikke udnyttes ved 50% dosering, ændres doseringen trinvis, så al husdyrgødning kan anvendes inden for sædskiftet.

Herefter fordeles handelsgødningen, så der opnås et ensartet gødningsniveau. Dog er der i beregningerne indlagt en maksimal overgødskning på 30% over den fundne N-norm. Hvis det indmeldte gødningsforbrug indikerer en overgødskning på over 30%, ses det som et udtryk for vanskelighed med en meningsfuld kobling af arealoplysninger og gødningsregister, og den overskydende handelsgødning lægges i en kommunal pulje til efterfølgende fordeling på det øvrige dyrkede areal der ikke er tilknyttet en gødningsplan.

**Tabel 1. Prioritet for tildeling af husdyrgødning til forskellige afgrøder**

Prioritet	Afgrøde
1	Helsæd, Sukkerroer, Kartoffler
1	Majs
2	Græs i omdrift
3	Vinterraps
7	Vedvarende græs
4	Vinterhvede
5	Vårbyg
6	Vinterbyg
0	Ærter
0	Brak + øvrige

Der findes specielt i årene 2003-2004 en række bedrifter der ikke har indsendt gødningsplaner (se i øvrigt Børgesen og Grant, 2008). Disse arealer gødes efter gældende N-gødningsnorm.

I forbindelse med opstilling af samtlige gødningsplaner for hele landet sker der en generel korrektion af gødningsmængderne således at summen afstemmes med landstal for N i husdyrgødning ab lager + udbragt anden organisk gødning (slam, kartoffelvand, m.v.), samt forbruget af handelsgødning.

I tabel 2 er vist nøgletal anvendt i modelberegningerne af udvaskningen for perioden 2003-2007. Det dyrkede areal er bestemt ud fra GLR-data. I årene 2003 og 2004 er arealerne korrigeret op til niveauet for 2005, for henholdsvis vedvarende græs og juletræer og følger Grant, 2008. Der skal bemærkes at der i 2005 er et betydeligt større areal end i de øvrige år. Dette skyldes nok indførelsen af enkeltbetalingsordningen. Sammenlignes resultaterne i tabel 2 med Danmarks statistikopgørelse af det dyrkede areal ses et generelt større GLR-areal. Det skyldes sandsynligvis, at der i hektarstøttearealet indgår flere arealtyper samt at der for Danmarks statistik kun indgår arealer fra bedrifter der er > 5 ha.

**Tabel 2. N tilført med N-gødninger i de landsdækkende modelberegninger for årene 2003, 2004, 2005, 2006 og 2007**

År	Dyrket areal (GLR-areal)	Dyrket areal DK statistik	N-Handelsgødning	N-Husdyrgødning	N anden organisk N	Tilført i alt med N-gødning
	[1000 ha]	[1000 ha]	[1000 ton N]	[1000 ton N]	[1000 ton N]	[1000 ton N]
2003	2764*	2657	196	231.7	6.2	433.9
2004	2769*	2645	201	229.9	6.6	437.5
2005	2796	2707	201	227.3	5.7	434
2006	2765	2711	187	219.1	5.1	411.2
2007	2752	2663	190	236.9	4.2	432

\* Inklusiv forøgelsen af arealet vedvarende græs og juletræer, som der skete i 2005 og 2006 med indførelsen af enkeltbetalingsordningen

## Markvanding

Data om markvandingsboringer er indhentet fra GEUS's database JUPITER (JUPITER, 2008). Boringerne er koblet med arealanvendelsesdata og gødningsdata via placering. Hvilke bedrifter der kan vande, anslås ud fra boringens placering. Grundlæggende antages at den bedrift, der har det største areal tættest på boringen også bruger denne. For hvert år er der oprettet kort med boringer og tilladelse til markvanding og en boring antages at bruges til vanding af den ejendom, der har størst areal inden for den markblok, hvor boringen ligger. Hvis der er flere boringer i en markblok, antages det, af alle bedrifter med mere end 1 ha i blokken kan vandes. Hvis en boring ligger udenfor markblokkene, antages det, at den bedrift, der har størst areal indenfor tilgrænsende markblokke, kan vandes.

Arealet, der fremkommer ved metoden, er på omkring 700.000 ha og derved større end et anslået vandet areal på ca. 450.000 ha (S.K. Hviid, 2007 pers. komm). For at kunne prioritere mellem de 700.000 ha antages, at markblokke hvor sandjorde (arealer med farvekode, 1, 2 og 3 (JB1,2,3, og 4)) er dominerende kan vandes. Der antages desuden, at grovfoderafgrøder (græs i omdrift og grøntfoder, og majs) og kornafgrøderne: vårbyg, vinterbyg, vinterbyg samt kartofler vandes. Dette er en antagelse, der for den enkelte landmand kan være fejlagtig, men er antaget at svare til generel praksis. Herved begrænses det areal der antages at blive vandet til at udgøre omkring 430.000 ha.

Der vandes for kornafgrøderne 3-4 gange årligt afhængig af udtørningsgraden af jorden. Der vandes kun hvis jorden udtørres, dvs. vandindholdet i bunden af A-horisonten er under PF 2.5. Der overfladevandes med 25 mm pr. gang. Der kan tidligst vandes hver 14 dag. Græsmarker kan vandes fra maj og frem til september. Kartofler kan vandes i perioden fra maj til august. Kornafgrøder kan vandes fra maj til midt juli.

### *Ammoniakfordampning fra udbragt husdyrgødning og anden organisk gødning*

I Daisy-modellen anvendes en fast ammoniakfordampning ved udbringning af husdyrgødning svarende til 10% af ammoniumindholdet i husdyrgødning. Anvendes de antagne 10% i alle årene fås en større fordampning end der er beregnet i Albrektsen & Gyldenkerne (2008), hvor der tages højde for årlige variationer i udbringningspraksis, ammoniumindholdet i husdyrgødning samt totale mængder udbragt. SKEP/Daisy-modelberegningerne korrigerer ammoniakfordampningen ved at tilbageføre noget af ammoniakfordampningen (de 10%) som handelsgødnings N, således at der er overensstemmelse mellem den generelle antagne ammoniakfordampning fra udbragt husdyrgødning og den mængde, der er til rådighed for planteudnyttelse eller kan tabes ved denitrifikation eller udvaskning.

## Resultater

I tabel 3 er vist de landsdækkende resultater af modelberegningerne. Resultaterne er opgjort både som kg N/ha og i 1000 t N. Resultaterne er opgjort som gennemsnitsresultater baseret på modelberegninger for klimaårene 1990-2005, idet N-udbytte er kalibreret, så de svarer til gennemsnitsudbytte af de enkelte afgrødeklasser opgjort for årene 2001-2005 på amtsniveau. Således at, hvis der sker en forskydning i arealanvendelsen, ændres det samlede N-udbytte med arealanvendelsen.

N tilført med handelsgødning varierer mellem årene i intervallet 187 og 202 tusind t N. Variationen er både en effekt af ændret arealanvendelse men også en konsekvens af variation i den årlige N-prognose (Knudsen, 2007). For at neutralisere effekten af N-prognosen, er udvaskningen korrigeret til en N-prognose lig med 0 kg N. Korrektionen er gennemført med den antagelse at udvaskningen ændres med 0.3 kg N per 1 kg N som prognosen opskrives eller nedskrives. I rækken ”Korrektion N-prognose” angives de årlige korrektioner af udvaskningen. Heraf ses at udvaskningen korrigeres op i 2003 med 1.8 tusind t i 2003 og nedkorrigeres i 2007 med 2 tusind t N. Herved antages større fald i N-udvaskningen efter korrektion for N-prognosen fra 2003 til 2007, end der er beregnet med de ukorrigerede modelberegnete N-udvaskninger.

N tilført med husdyrgødning + anden organisk gødning varierer mellem årene, således at der forekommer det laveste niveau i 2006 og det højeste niveau i 2007. N tilført med husdyrgødning udgør (se også tabel 2) den største mængde, medens N tilført med anden organisk gødning (slam, kartoffelvand, m.fl) udgør en lille del af den samlede mængde. Den modelberegnete N-fiksering beregnet med SKEP/Daisy-systemet falder i perioden fra 30 tusind t til 26 tusind t - beregnet efter Høgh-Jensen metoden er faldet fra 28 tusind t til 23 tusind t. Reduktionen er på samme niveau for de to metoder og skyldes primært nedgang i bælgseedsarealet og nedgangen i vedvarende græsareal (ses i figur 1).

N tilført ved atmosfæredeposition og med såsæd er på samme niveau igennem perioden. Det skyldes både at det dyrkede areal ikke varierer meget gennem perioden, og at alle årene er modelberegnet under de samme klimaforhold og dermed også nedbørsforhold, der kan have betydning for våddepositionen af N.

Fordampning af N (ammoniak fordampning fra udbragt husdyrgødning og anden organisk gødning) er justeret svarende til niveauet angivet af Albrektsen & Gyldenkerne (2008). Fordampningen fra udbragt husdyrgødning er reduceret fra 22.000 t N i 2003 til 20.000 t N i 2007.

Denitrifikationen er både beregnet med SimDEN (Vinther og Hansen 2004, (version 2.0)) og med SKEP/Daisy-modellen. Som tidligere nævnt er Daisy-modellen kalibreret til et denitrifikationsniveau beregnet med SimDen for udelukkende handels N gødgede arealer for de forskellige jordtyper. Denne kalibrering er i opstillingen af Daisy-databasen anvendt for både handels- og husdyrgødgede arealer. Resultaterne i tabel 3 viser, at den modelberegnete denitrifikation for SKEP/Daisy er generelt større, end hvis SimDen modellen anvendes direkte. Årsagen hertil er, at Daisy-modellen reagerer kraftigere på husdyrgødning end SimDen-modellen. Forskellen mellem de to modeller er i gennemsnit 3 kg N/ha og er relativt beskeden i forhold til usikkerheden på bestemmelsen af denitrifikationens størrelse. Det højere denitrifikationsniveau i SKEP/Daisy-modelberegningerne er opnået i alle årene og har derfor ingen betydning for trenden i udviklingen i udvaskningen, men har dog betydning for udvaskningsniveauet.

I NLES4-beregningerne er der ingen særskilt effekt af denitrifikation. Denne effekt er indarbejdet i primært jordparametrene, der indgår i NLES4-modellen.

Den høstede N fra afgrøderne opdeles i Daisy-modellen i to bidrag: 1) kerner, roer og kartofler 2) halm græs, stængel. Af tabel 3 fremgår, at N-udbyttet varierer lidt gennem perioden. Variationen er alene en konsekvens af ændret arealanvendelse, da N-udbyttene på afgrødeniveau er antaget konstant svarende til gennemsnits N-udbyttet for perioden 2001-2005. I modelberegningerne er halmudbyttet kalibreret til niveauet for 2006-2007 (Danmarks statistik (2006, 2007)). Det skal bemærkes at der i modelberegningerne med SKEP/Daisy-modellen de enkelte år kan være afvigelser på  $\pm 1.000$  t N. Det skyldes at det ikke er muligt både at kalibrere N-udbyttet i kerne og N-udbyttet i halm samtidig. Ikke bjerget halm er antaget nedmuldet. Samtidig er det forbundet med betydelig usikkerhed at opgøre halm N udbyttet. Som tidligere nævnt korrigeres de beregnede N-udvaskninger for N-prognosen. Med SKEP/Daisy-modellen er den beregnede udvaskning desuden tillagt ændringen i "mobilt N i jord" (ændring i jordens indhold af udvaskeligt kvælstof fra årets start til årets slutning) før det endelige resultat "SKEP/Daisy korrigeret udvaskning" er nået.

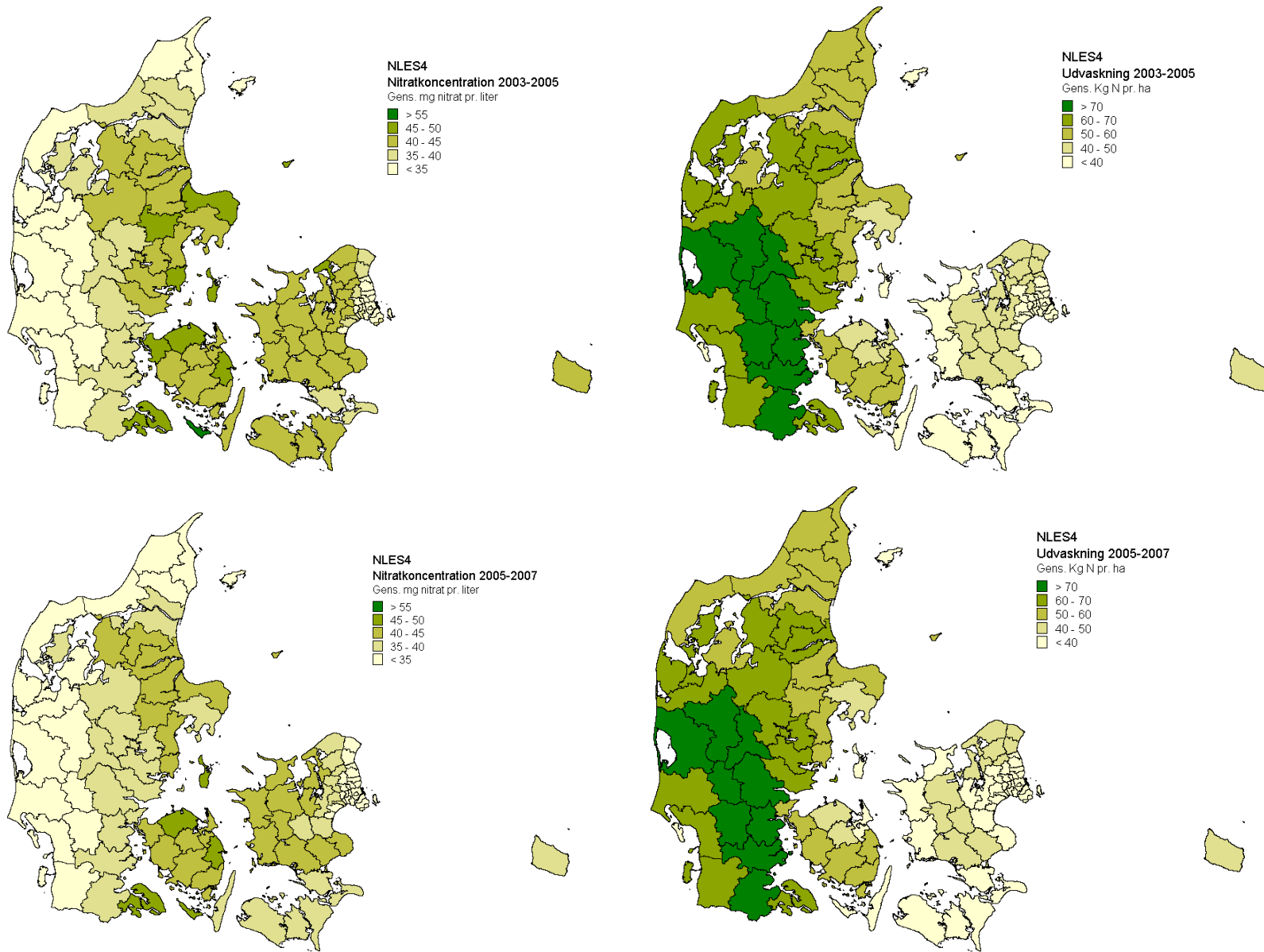
Det bemærkes, at udvaskningen i 2006 er meget lav for SKEP/Daisy. Det skyldes, at N-prognosen dikterede et meget lavt N-forbrug det år. Den gennemførte korrektion, hvor udvaskningen ændres med 0,3 kg N pr. kg N, som prognosen opskrives eller nedskrives, er dækkende for modellen NLES4 og for de Daisy-udvaskningsberegninger, der gennemføres på landovervågningsoplandene. SKEP/Daisy-modelberegningerne af udvaskning (hvor N-høstet er justeret (fastlåst), så det svarer til amts gennemsnittene for 2001-2005, og således ikke påvirkes af gødningsniveauet) vil den ændrede N-prognose slå langt kraftigere igennem på udvaskningen. Den lave udvaskning det år skyldes derfor variation i N-prognosen og ikke en udvikling i landbrugets driftsform.

I figur 2 er vist gennemsnitsnitratkoncentrationen og gennemsnitsudvaskningen beregnet for perioderne 2003-2005 og 2005-2007 opgjort på kommuneniveau. Der ses at der mellem de to perioder sker nogle få regionale ændringer i nitratkoncentration og udvaskningen, men generelt er billedet uændret mellem de to perioder. Udvasningen beregnet med NLES4 viser den største udvaskning op gennem Jylland. Dette er sammenfaldende med områder domineret af sandjordsarealer (bilag 2 Jordbundsdata) og store nedbørsmængder (bilag 1: Klimadata figur 5). Nitratkoncentrationen er beregnet ud fra årlige gennemsnitlige udvaskninger og gennemsnitlige afstrømninger ud af rodzonen. Figuren viser de største koncentrationer i den østlige del af Jylland, på Fyn og Sjælland. De større koncentrationer i disse områder er overvejende resultatet af lavere afstrømning fra rodzonen, der skyldes lavere nedbør i disse områder.

I øvrigt bemærkes et fald i N-udvaskningen fra 2003 til 2007 på 9-13.000 t N. Det skyldes sandsynligvis især ændrede sædskifter, hvor arealet med vårsæd er reduceret, medens arealet med en række vintersædsafgrøder er øget (figur 1), og hvor arealet med helsæd er reduceret, medens arealet med sædskiftegræs er øget (kan ikke ses i figur 1). Regnet i kg N/ha er forskellen kun 3-4 kg, og modellerne forventes ikke at kunne beregne effekten af ændret sædskifte med så stor præcision. Samtidig er der en del variation i udvaskningsniveauet fra år til år. Derfor er vurderingen at udvaskningsniveauet fra landbruget må antages at være uændret i perioden 2003-2007.

**Tabel 1 . Resultater af landdækkende modelberegninger for årene 2003-2007.**

År	2003		2004		2005		2006		2007	
	1000t N	Kg N/ha	1000t N	Kg N/ha	1000t N	Kg N/ha	1000t N	Kg N/ha	1000t N	Kg N/ha
SKEP/Daisy N balance <b>Tilført N</b>										
Handelsgødning	196	71	202	73	201	72	187	68	190	69
Husdyrgødning + anden org. N	238	86	238	86	232	83	224	81	241	88
Fiksering.	30	11	29	11	26	9	26	9	26	9
Atmosfære	47	17	47	17	48	17	47	17	47	17
N såsæd	10	4	10	4	10	3	9	3	9	3
<b>Total tilført</b>	<b>521</b>	<b>189</b>	<b>527</b>	<b>190</b>	<b>516</b>	<b>184</b>	<b>492</b>	<b>178</b>	<b>513</b>	<b>186</b>
<b>Fjernet N</b>										
Fordampning.	22	8	20	7	20	7	20	7	20	7
Udvaskning	181	65	183	66	168	60	155	56	171	62
Denitrifikation	50	18	51	18	49	17	48	17	50	18
Høstet kerner ,roer, kartofler	170	61	171	62	166	59	164	59	165	60
Høstet halm ,græs, stængel	138	50	140	51	142	51	143	52	143	52
<b>Total fjernet</b>	<b>561</b>	<b>203</b>	<b>566</b>	<b>204</b>	<b>546</b>	<b>195</b>	<b>530</b>	<b>192</b>	<b>548</b>	<b>199</b>
$\Delta$ -org N i jord	-26	-9	-29	-10	-25	-9	-24	-9	-26	-9
$\Delta$ -Mobilt N i jord	-10	-4	-8	-3	-6	-2	-13	-5	-10	-4
<b>N-LES4</b>	<b>161</b>	<b>58</b>	<b>162</b>	<b>59</b>	<b>159</b>	<b>57</b>	<b>154</b>	<b>56</b>	<b>156</b>	<b>57</b>
<b>N-denitrifikation</b>										
<b>SimDen</b>	<b>41</b>	<b>15</b>	<b>41</b>	<b>15</b>	<b>43</b>	<b>15</b>	<b>42</b>	<b>15</b>	<b>42</b>	<b>15</b>
<b>N-fiksering efter</b>										
<b>Høgh-Jensen et al.,2003.</b>	<b>28</b>	<b>10</b>	<b>27</b>	<b>10</b>	<b>24</b>	<b>9</b>	<b>24</b>	<b>9</b>	<b>23</b>	<b>8</b>
Korrektion N prognose	1.8		0.6		1.77		7.5		-2	-1
<b>SKEP/Daisy korrigeret</b>										
<b>Udvaskning</b>	<b>172</b>	<b>62</b>	<b>175</b>	<b>63</b>	<b>164</b>	<b>59</b>	<b>149</b>	<b>54</b>	<b>159</b>	<b>58</b>
<b>NLES4 korrigeret</b>										
<b>Udvaskning</b>	<b>163</b>	<b>59</b>	<b>163</b>	<b>59</b>	<b>161</b>	<b>58</b>	<b>161</b>	<b>58</b>	<b>154</b>	<b>56</b>



Figur 2. Tv. Nitratkoncentrationen beregnet ud fra NLES4 beregnet Nitratudvaskningen (h) og Daisy beregnet afstrømning opgjort som gennemsnit for årene 2003-2005 og gennemsnit for årene 2005-2007 på kommuneniveau.

### Referencer.

- Abrahamsen, P. and Hansen, S. 2000. Daisy: an open soil-crop-atmosphere system model. *Environmental Modelling and Software* **15**: 313-330.
- Albrektsen, R. og Gyldenkerne, S. (2008). Revurdering af ammoniakemissionen 2003-2007. Internt notat. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet.
- Børgesen, C.D.& Heidmann, T. 2002. Landsberegning af kvælstofudvaskning fra landbruget med SKEP/Daisy og SIM IIIB modellerne. DJF rapport nr.62 Markbrug. Danmarks Jordbrugsforskning.
- Børgesen., C.D., Grant, R. 2003. Baggrundsnotat til VMP II – slutevaluering. Vandmiljøplan II modelberegning af kvælstofudvaskning på landsplan, 1984-2002. Internt notat, Danmarks Miljøundersøgelser og Danmarks JordbrugsForskning. [www.dmu.dk](http://www.dmu.dk) - publikationer – øvrige publikationer og [www.agrsci.dk](http://www.agrsci.dk) – vandmiljø.
- Børgesen, C.D. Grant, R. , Kristensen I.T. (2008). Landbrugsregisterdata anvendt i regionale og landsdækkende beregninger af N og P tab. Internt notat. Det Jordbrugsvidenskabelige fakultet, Aarhus Universitet og Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet.
- Danmarks Statistik. Statistikbanken for årene 2001, 2002, 2003, 2004, 2005 ,2006, 2007.
- FRJOR 2008 Beskrevet i [Landbrugsdata - anvendelse og faldgrupper](#). / Kristensen, I.T. Hansen, L.B. Thomsen, O.C.. I: DANVA. Dansk Vand. 2004 ; vol. 5, nr. 72, s. 238-243
- Grant, R. (2008). Notat vedrørende opgørelse af det dyrkede areal i Danmark fra 2003 og fremover til brug for VMP III. Internt notat. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet.
- Hvid. S.K, 2008 .Landscentret Planteavl Skejby. Personlig komnikation.
- Høgh-Jensen, H.,Loges, R., Jensen, E.S., Jørgensen, F.V., Vinther, F.P. 2003: Empirical model for quantification of symbiotic nitrogen fixation in leguminous crops. *Agricultural Systems* <http://www.orgprints.org/1-31>
- JUPITER 2008. JUPITER - DANMARKS GEOLOGISKE & HYDROLOGISKE DATABASE.De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland –
- Knudsen , L 2008 .Landscentret Planteavl Skejby. Personlig komnikation.
- Kristensen, K., Jørgensen, U. og Grant, R. (2003) Genberegning af modellen N-LES. 12 pp. Baggrundsnotat til Grant, R og Waagepetersen, J. (2003) Findes i elektronisk form på [http://www.dmu.dk/1\\_viden/2\\_publicationer/3\\_ovrige/rapporter/VMPII/Genberegning\\_af\\_modellen\\_NLES.pdf](http://www.dmu.dk/1_viden/2_publicationer/3_ovrige/rapporter/VMPII/Genberegning_af_modellen_NLES.pdf)
- Kristensen, K., Waagepetersen, J., Børgesen, C. D., Vinther, F.P., Grant, R and Blicher-Mathiesen, G. (2008) Reestimation and further development in the model N-LES to N-LES4. Det

Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet og Danmarks  
Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. DJF rapport, Markbrug in press

Plantedirektoratet. 2003, 2004, 2005, 2006, 2007 . Vejledning om gødskning og harmoniregler.  
Plantedirektoratet

Vinther. F.P., S. Hansen 2004. SimDen – en simpel model til kvantificering af N<sub>2</sub>-emmission og  
denitrifikation. DJF rapport nr.104. Markbrug. Danmarks Jordbrugsforskning.

## Bilag 1 : Klima data.

### Klima data anvendt i modelberegninger til VMPIII.

Til opgørelse af den samlede nitratudvaskning på både lokalt, regionalt og nationalt niveau er klima parametrene af betydning for den samlede udvaskning. I VMPII slutevalueringen (Børgesen og Grant 2003) blev beregningen af nitratudvaskningen baseret på klimastationsdata fra seks klimastationer fordelt over landet. Denne metode blev anvendt da der primært var fokus på landsresultaterne og ikke på de regionale resultater. I de nye modelberegninger til VMPIII er der både fokus på landsresultater og regionale resultater. Således er der behov for større lokal klima repræsentativitet i modelberegningerne.

#### *Metode*

I modelberegninger af vandbalancen tages der udgangspunkt i daglige målinger for perioden 1.4.1990 til 31.3.2006. I de tidligere data anvendt i VMPII slutevalueringen anvendtes der data fra 1990-2001 (undtaget 1992). Således bliver årrækken forøget fra 10 år til 16 år.

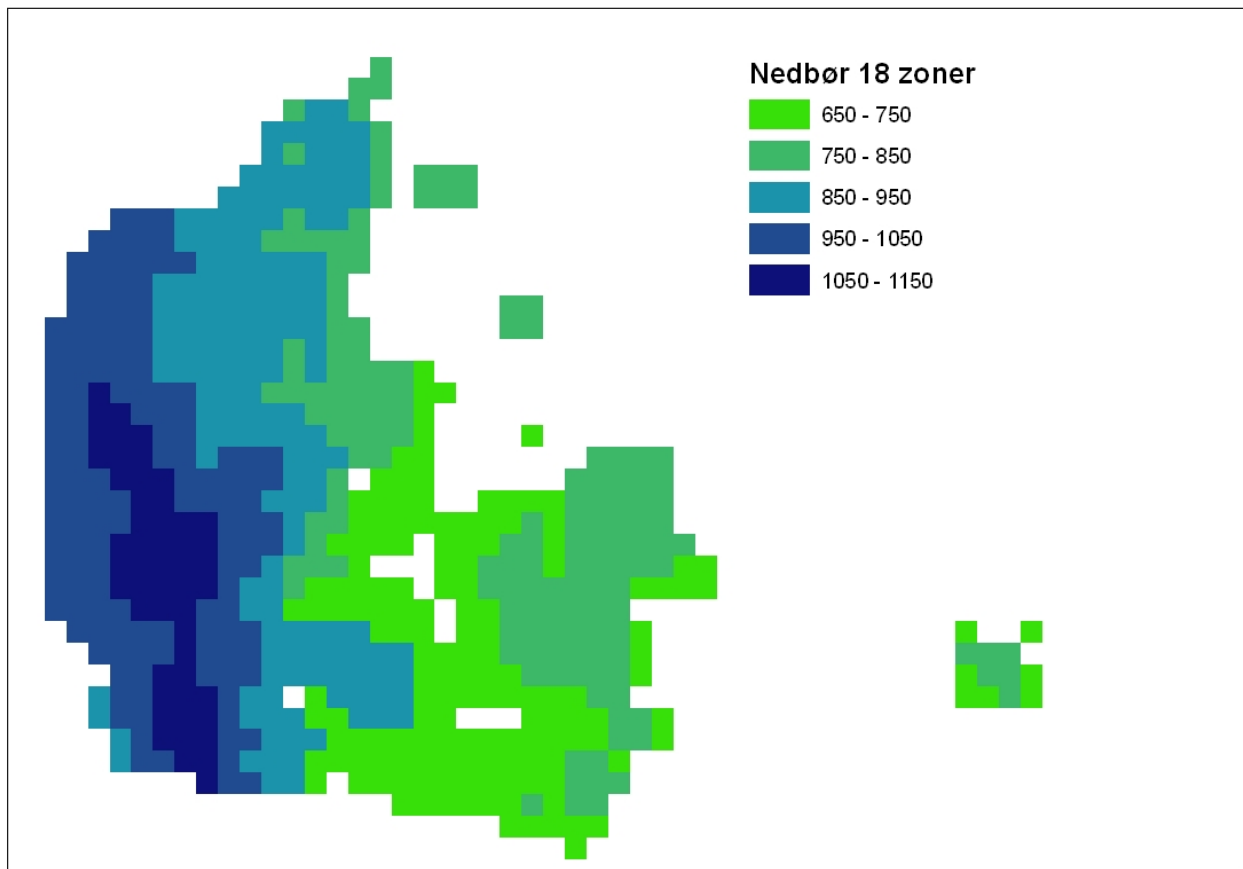
Der anvendes to forskellige klima data sæt i modelberegningerne for de landsdækkende SKEP/Daisy modelberegningerne og NLES modelberegningerne. De to klimadatasæt giver samme totale nedbør opgjort for hele landet, men er forskellige på regional skala.

#### *Vandbalance på 10 km grid niveau til NLES4 modelberegninger.*

For NLES4 modellen anvendes klimadata fra 10 km grid niveau opstillet af Danmarks Meteorologisk Institut. I hver gridcelle (609 celler i alt, fordelt over hele landet) modelberegnes der vandbalance for i alt 10 afgrøder, (vårbyg, vinterbyg, vinterhvede, vårbyg med udlæg, græs, majs, vinterraps, ærter, kartofler og sukkerrøer). Modelberegningerne gennemføres ved et gødningsniveau (norm N gødskning tilført med handelsgødning). Erfaringer fra tidligere modelberegninger eks. AGWAPLAN (Børgesen et al., 2006) af vandbalancen viste at fordampningen / afstrømningen ikke i væsentlig grad ( $< 5 \text{ mm år}^{-1}$ ) vekselvirker med N gødningsniveauet. Modelberegningerne gennemføres for 11-12 jordtyper, hvor alle jorde modelberegnes uden vanding.

DMI's 10km grid datasæt er opstillet på baggrund af interpolation mellem ca. 400 nedbørsmålere fordelt over hele landet. Datasættet omfatter ialt 609 10x 10 km gridceller fordelt over hele landet. I figur 1 er vist gennemsnitsnedbøren for perioden 1.4.1990 til 31.3.2006, korrigeret til jordoverfladen ved anvendelse af månedlig korrektionsfaktorer med lætype B, (Allerup et al. 1998).

For at opnå sammenhæng mellem målte afstrømninger og modelberegnete afstrømninger var det nødvendigt at nedjustere potentiel afgrødefordampning fra korrektion 1.1 til 1.0 for voksende afgrøder (undtaget rækkeafgrøderne Majs, sukkerroer). Sammen med kalibrering af typejordenes hydrauliske parametre var det således muligt for vinterhvede, at simulere en gennemsnitlig afstrømning med både 10 km gridnedbør og de 18 klimazoner på niveau med opgørelser fra DK modellen svarende til  $390 \text{ mm år}^{-1}$ . Henriksen & Sonnenborg (2003). Der skal dog fremhæves at modelberegning af vandbalancen herunder afstrømningen er forbundet med betydelig usikkerhed både på lokal- og regional skala.



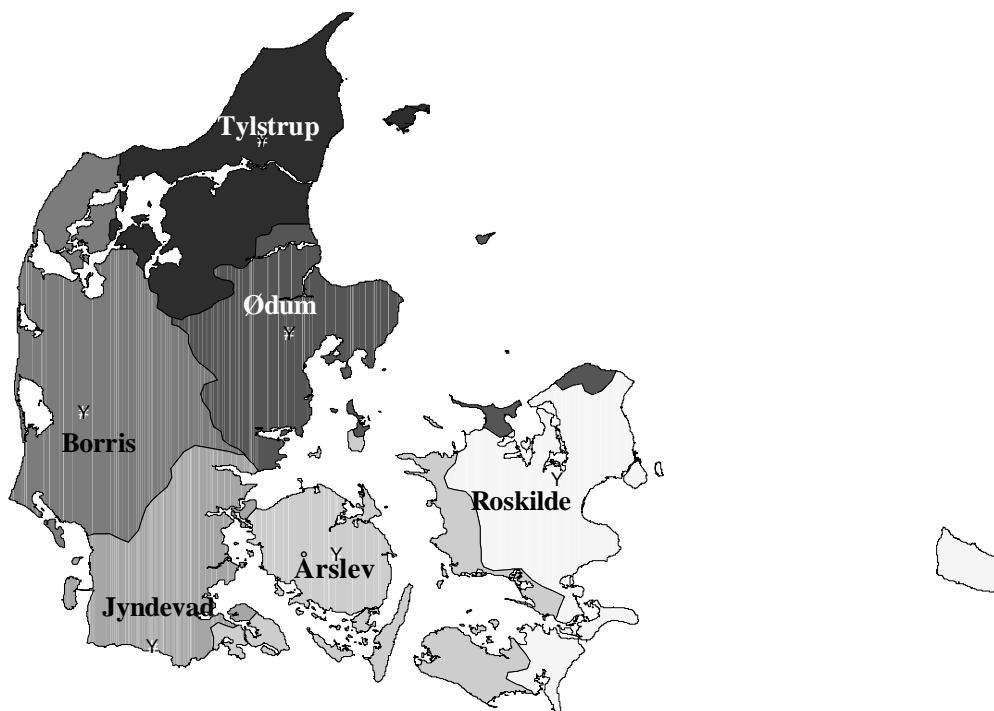
**Figur 1. Gennemsnitlig Nedbør (1990-2005) i 10 km DMI grid korrigeret til jordoverfladen ved anvendelse af månedlig korrektionsfaktorer med lætype B,( Allerup et al. 1998).**

Af figuren fremgår at der er store regionale forskelle i nedbøren , således er den største nedbør på  $1147 \text{ mm år}^{-1}$  og den laveste på  $633 \text{ mm år}^{-1}$ . For landet udgør nedbøren som gennemsnit  $867 \text{ mm år}^{-1}$

### Opstilling af klimadata ud fra data fra klimamålestation til SKEP/Daisy modelberegninger

De grundlæggende SKEP/Daisy modelberegninger inkluderer flere kombinationer af afgrøde, sædskifter og N gødskning end hvad der bruges i NLES4 beregningerne. Derfor har det ikke ud fra tidsmæssige og kapacitetsmæssige årsager ikke været muligt at gennemføre opstilling af en database for de 609 gridceller (609 klimadatasæt) med SKEP/Daisy modelsystemet (Børgesen & Heidman 2002) Det er desuden en mindre variationen i klimadata mellem nabo gridcellerne og spørgsmålet er også hvor god sikkerheden er på interpolerede klimavariablerne, samt om denne forskel kan modelberegnes tilstrækkelig sikkert med Daisy modellen.

I modelberegningerne med SKEP/Daisy modelsystemet til VMPIII tages der udgangspunkt i samme opdeling af landet i seks klimazoner (Figur 2) som antaget i VMPII slutevalueringen (Børgesen og Grant 2003). Klimazoneopdelingen er baseret på en statistisk analyse hvor der er inddraget, temperatur, nedbør i vækstsæsonen og globalstråling. Olesen et al., 2001. Valget af denne opdeling er gennemført i samarbejde med Olesen.2008 pers. komn. Der anvendes her dog klimadata for en længere periode (1990-2006), hvor der i VMPII slutevalueringen anvendtes data fra 1990-2001 (1992 undtaget).

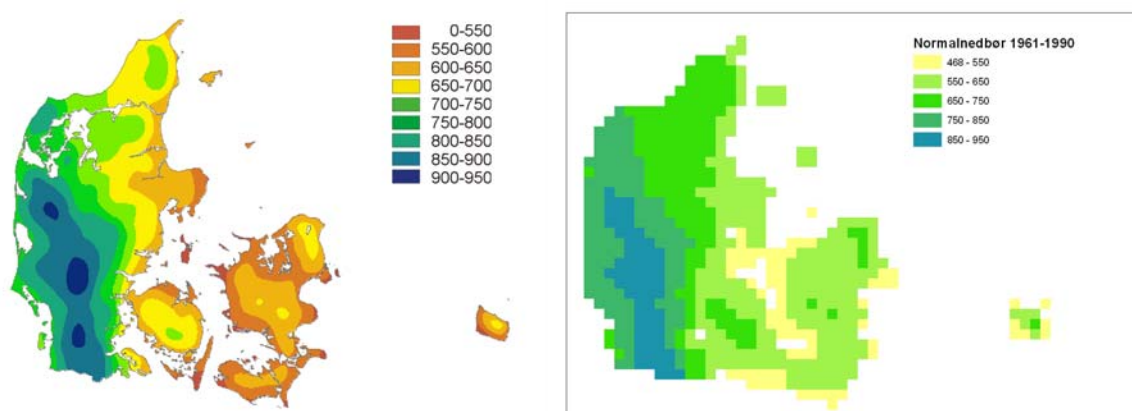


**Figur 2 Klimazoneopdeling af landet efter Olesen et al.,2001.**

Sammenholdes Figur 1 og figur 2 ses en betydelig variation i nedbøren inden for de seks klimazonen. Øvrige parametre såsom temperatur og globalstråling variere dog mindre inden for klimazonen. For at forbedre klima data i de regionale modelberegninger til VMPIII er der fokuseret på at ændre på den regionale nedbør, ved at opdele de eksisterende 6 klimazoner i en række nedbørszoner. Der er afprøvet forskellige opdelinger. Opdelingen er gennemført ved brug af klimanormaler 1961-1990 (Figur 3) for nedbøren. Olesen et al.,(2001). Ved at de tredive år som klimanormaler er opstillet for, er forskellige fra de år som data bruges i modelberegningerne (1990-

2005) kan der introduceres en bias i de områder hvor nedbøren i måleperioden 1990-2005 er relativt forskellig fra normalnedbøren for perioden 1960-1990.

Opdelingen af nedbørszoner inden for hver klimazone er baseret på forskellige statistiske opgørelse af normalnedbøren. Til opdeling af klimazonen i to nedbørszoner er der beregnet en median værdier på baggrund af nedbørsdata i klimazonen. Herved er klimazonerne opdelt i omtrent to lige store nedbørsregioner. Opdeling af klimazonen i tre nedbørsområder er baseret på 25% og 75% fraktiler over normalnedbøren. Nedbøren i de tre zoner beregnes herefter ud fra klimastations nedbøren og gridnedbørene, således at den årlige summerede gennemsnits nedbør stemmer med nedbøren opgjort ud fra DMI 10 km nedbørsdata korrigeret til jordoverfladen. I tabel 1 er angivet gennemsnits temperatur, globalstråling og den korrigerede nedbør opdelt i de tre nedbørszoner

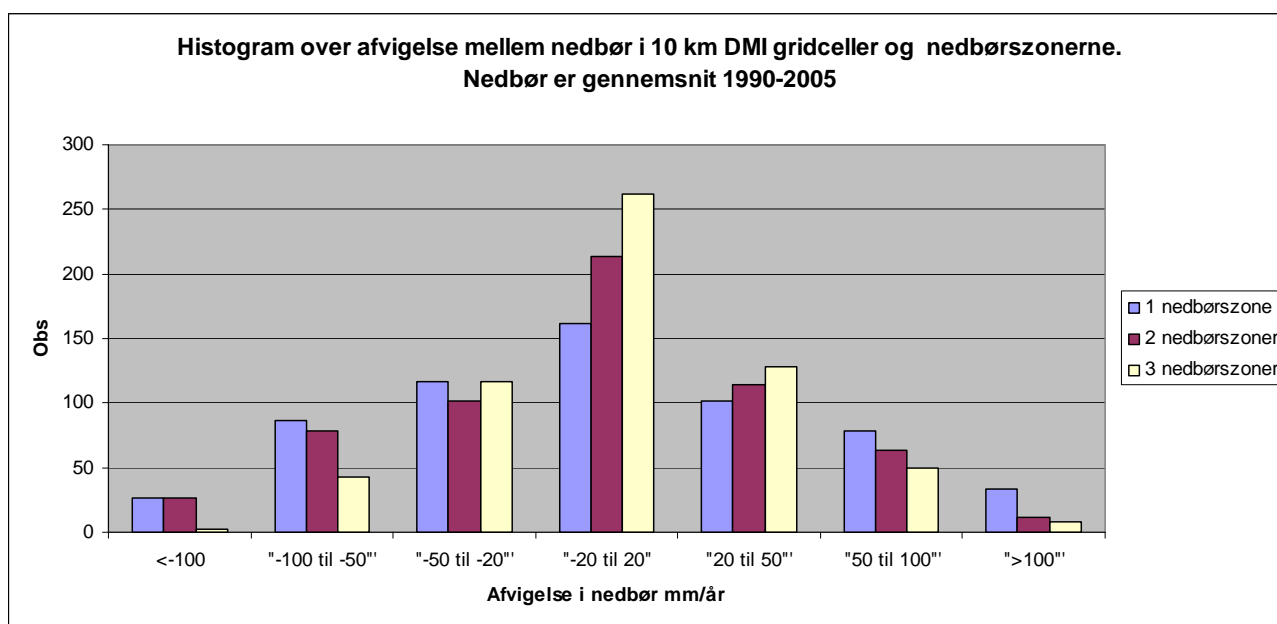


Figur 3. Normalnedbør [ $\text{mm år}^{-1}$ ] for perioden 1961-1990 efter Olesen et al., 2001(tv) og normalnedbør opgjort i 10 km gridceller.

Tabel 1. Antal observationer (antal 10 km DMI gridceller) for de 18 kombinationer klimazoner samt gennemsnitlige klimaparametre.

Klima-station	Nedbørs zone nummer	Nedbørs zone	Antal 10 km gridceller	Korrektions Faktor.	Middel nedbør i nedbørszonen [ $\text{mm år}^{-1}$ ]	Middel Globalstråling [ $\text{W m}^{-2}$ ]	Middel temperatur $\text{C}^{\circ}$
Tylstrup	1	Lav	27	0.972	835	115.6	8.2
Tylstrup	2	Middel	51	1.026	881	115.6	8.2
Tylstrup	3	Høj	28	1.074	922	115.6	8.2
Ødum	1	Lav	22	0.860	722	113.8	8.1
Ødum	2	Middel	42	0.945	793	113.8	8.1
Ødum	3	Høj	22	1.042	875	113.8	8.1
Borris	1	Lav	32	0.926	956	109.8	8.4
Borris	2	Middel	64	0.972	1004	109.8	8.4
Borris	3	Høj	33	1.039	1073	109.8	8.4
Jyndevad	1	Lav	18	0.863	911	112.5	8.8
Jyndevad	2	Middel	36	0.954	1008	112.5	8.8
Jyndevad	3	Høj	19	1.011	1068	112.5	8.8
Årslev	1	Lav	28	0.856	690	116.8	8.6
Årslev	2	Middel	56	0.927	747	116.8	8.6
Årslev	3	Høj	29	1.065	859	116.8	8.6
Roskilde	1	Lav	25	1.028	718	117.0	8.5
Roskilde	2	Middel	51	1.084	757	117.0	8.5
Roskilde	3	Høj	26	1.150	803	117.0	8.5

I figur 4 er vist et histogram over afvigelsen mellem nedbøren i DMI 10 km grid niveau også nedbøren i de enkelte gridceller i nedbørszonerne. Histogrammet viser antallet af gridceller (obs Y akser) med forskellige afvigelser (x akser), hvor klimazonen opdeles i 1, 2 og 3 nedbørszoner. Af figuren ses at antallet af observationer med en afvigelse på  $-20$  til  $+20$  mm  $\text{år}^{-1}$  stiger ved opdeling i tre nedbørszoner, samt at antallet af observationer med en afvigelse på  $<-50$  mm  $\text{år}^{-1}$  og  $>+50$  mm  $\text{år}^{-1}$  falder. Således falder antallet af observationer med stor afvigelse mellem DMI 10 interpoleret gid nedbør og nedbøren i nedbørszonen ved at bruge 3 nedbørszoner.

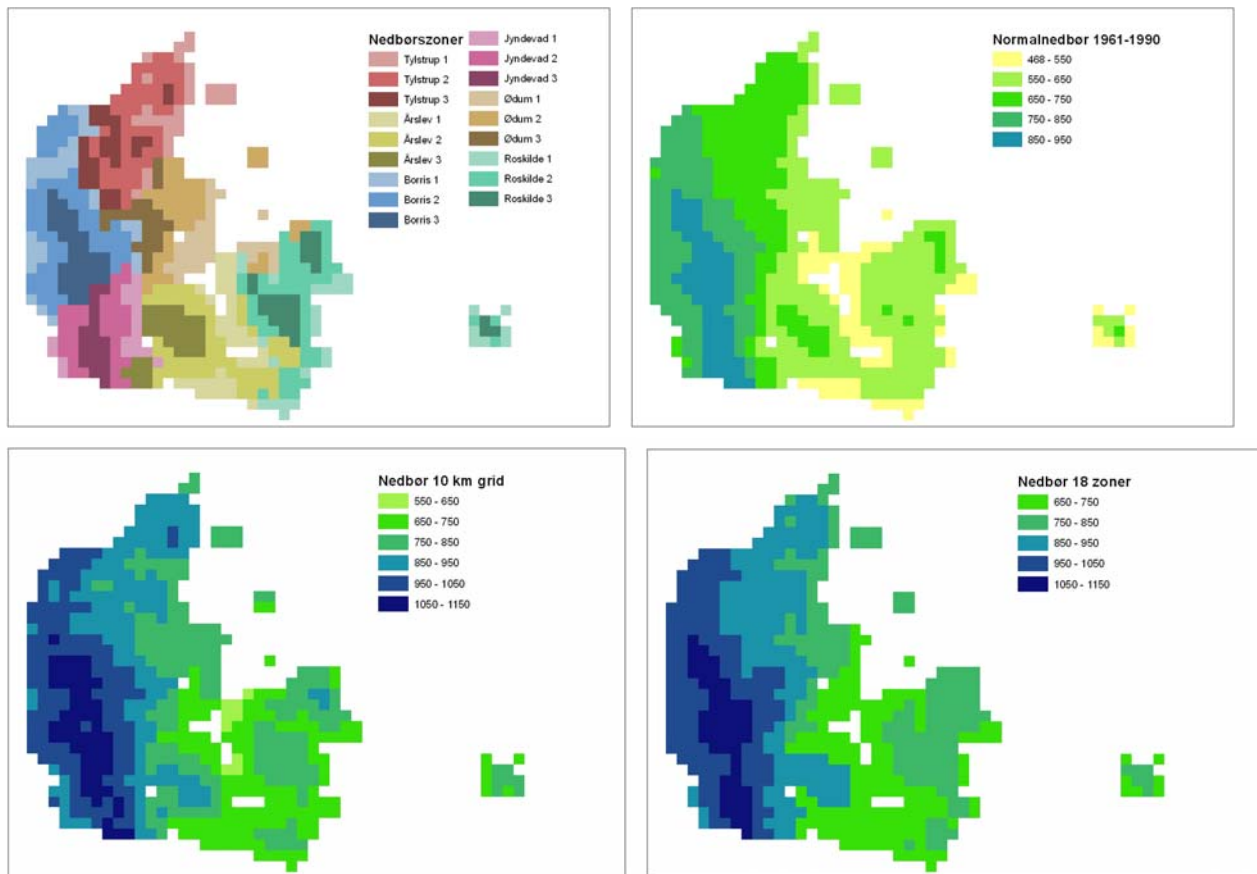


**Figur 4. Histogram over afvigelser mellem nedbøren i DMI 10 km gridceller og nedbøren i gridcellen ved opdeling i nedbørszoner.**

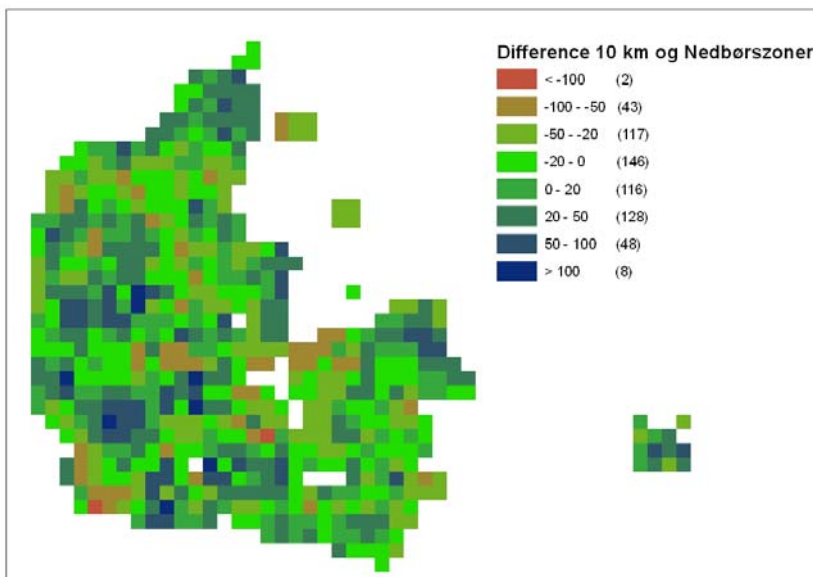
I figur 5 er vist nedbørszonerne for de seks klimazoner (Ø tv). Som antaget i modelberegningerne følger klimazoneopdelingen fordelingen af normalnedbøren (figur 5 Ø. Tv.) Nederst i figuren ses tv. Gennemsnitsnedbøren opdelt i 10 km grid celler også gennemsnitsnedbøren i gridcellerne i de 18 klimazoner. For at vurdere hvor afvigelserne mellem de to klimadata sæt er størst, er forskellen i gennemsnitsnedbør vist i figur 6 . Heraf fremgår at der er områder, hvor der er store afvigelser i gennemsnitsnedbøren. Dog er de fleste afvigelser inden for området  $\pm 50$  mm  $\text{år}^{-1}$

Det er vanskeligt at vurdere hvilken betydningen fejlen i nedbøren har for sikkerheden i den Daisy modelberegnete nitratudvaskningen. Dette skyldes at nedbøren ikke kun har betydning for afstrømningen ud af rodzonen men også har betydning for planteproduktionen samt stofomsætning. Større nedbør i vækstsæsonen fører til kortere perioder med vandbegrænset planteproduktion og derved større N optag og N høst med afgrøden. Desuden fører stor planteproduktion også til at der tilbageføres større mængder af N med afgrøderester til jorden, der herved medføre opbygning i jordens N puljer. Således kan stor nedbør i vækstsæsonen fører til mindre udvaskning ved at der er mindre mineralsk N i jorden efteråret der potentielt kan udvaskes. Modsat kan stor nedbør i vinterperioden også fører til lavt indhold af N min i foråret hvilket igen kan medføre begrænsninger i N optaget i planterne i foråret. Således er det vanskeligt at vurdere eksakt hvilken betydning forskellen i nedbøren har på udvaskningen.

Det vurderes, at fejlen i N udvaskningen beregnet med Daisy modellen som følge af anvendelse af simplificerede klima opdeling af landet (6 klimazoner opdelt i 18 nedbørszone ), er mindre en andre faktorer der indgår i modelberegningerne, herunder afgrænsning af jordtyper på landmandens marker, standardiseret landbrugspraksis mht. udbringning af husdyrgødning, standardsædskifter, N udbytter kalibreret til amtsudbytter, viden om N fiksering, m.v, samt de usikkerheder der knytter sig til DMI 10 km gridnedbør, temperatur, beregning af potentiel fordampning m.fl..



Figur 5. Ø.tv. de 18 nedbørszoner. Ø. Th. Normalnedbøren 1961-1990 anvendt i nedbørszone opdelingen. N tv. DMI 10 grid nedbør korrigeret til jordoverfladen. N th. nedbøren i de 18 nedbørszoner.



Figur 6. Difference i gennemsnitsnedbør mellem 10 km gridb nedbør og nedbøren i de 18 nedbørszoner. Antal observationer der indgår i gruppen er vist i parentes.

## Referanceliste

- Abrahamsen, P. and Hansen, S. 2000. Daisy: an open soil-crop-atmosphere system model. Environmental Modelling and Software **15**: 313-330.
- Allerup, P., Madsen, H. & Vejen, F. 1998. Standardværdier (1961-90) af nedbørskorrektion. DMI Technical Report 98-110.
- Børgesen, C.D.& Heidmann, T. 2002. Landsberegning af kvælstofudvaskning fra landbruget med SKEP/Daisy og SIM IIIB modellerne. DJF rapport nr.62 Markbrug. Danmarks Jordbrugsforskning.
- Børgesen., C.D., Grant, R. 2003. Baggrundsnotat til VMP II – slutevaluering. Vandmiljøplan II modelberegning af kvælstofudvaskning på landsplan, 1984-2002. Internt notat, Danmarks Miljøundersøgelser og Danmarks JordbrugsForskning. [www.dmu.dk](http://www.dmu.dk) - publikationer – øvrige publikationer og [www.agrsci.dk](http://www.agrsci.dk) – vandmiljø.
- Børgesen, C.D S.K. Hvid ; U. Jørgensen , I. T.Kristensen , K. H Nilsson. C. Thirup, M. Thorsen ,L.Wiggers ; H. S. Østergaard, F. P. Vinther, 2006 Bestemmelse af N og P tab fra landbruget, samt fastlæggelse af reduktionsbehov : LIFE05 ENV/DK/000155: Integrated Protection of Surface and Groundwater in Agricultural Regions (AGWAPLAN)
- Henriksen. H.J ,A.Sonnenborg (2003) Ferskvandets Kredsløb, NOVA 2003 Temarapport GEUS . Maj 2003.
- Olesen, J.E, P.K Bøcher, T.Jensen 2001. Comparison of scales of climate and soil data for aggregating simulated yields of winter wheat.Agriculture, Ecosystems and Environment
- Olesen, J.E 2008. Pers. Kommunikation.

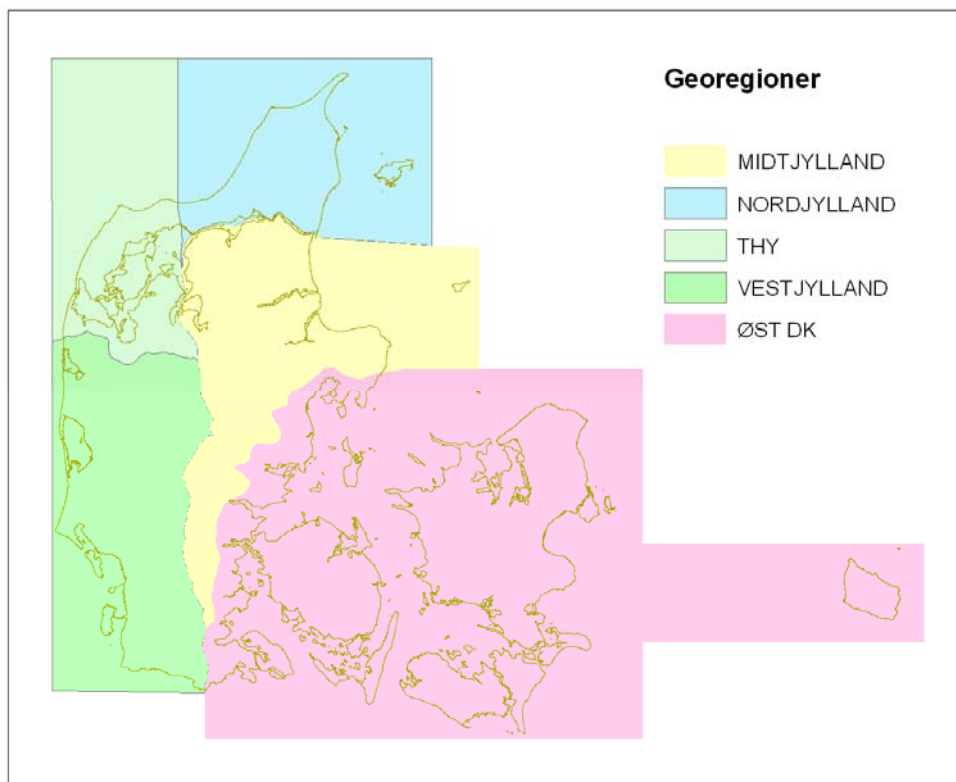
## Bilag 2. Jordbundsdata

Christen D. Børgesen og Mogens H Greve.

### Beskrivelse af Typejorde anvendt i landsdækkende modelberegninger ved VMPIII midtvejsevaluering 2008.

Jordbundsforholdene har stor betydning for modelberegning af både en vandbalance (aktuel fordampning, afstrømning ud af rodzonen via dræn og ud af rodzonen til dybere jordlag), samt for modelberegning af planteproduktion, kvælstofbalancen og herunder kvælstofudvaskningen. En beskrivelse af jordbundsforhold indgår derfor som vigtige indgangsdata i modelberegninger med Daisy modellen af vandbalance, udbytter og kvælstofbalancen ( N udbytter og tabet ved udvaskning, denitrifikation og ammoniak fordampning.

DJF har udviklet en ny landsdækkende database til beskrivelse af rodzonen. Disse data er forskellige fra tidligere anvendte jordbundsdata i VMPII slutevaluering ved at der er opstillet typejorde inden for fem geologisk regioner (georegioner) . Georegionerne er vist i Figur 1.



Figur 1. Landet opdelt i fem geologiske regioner, hvor inden for der er opstillet type jorde på baggrund af dominerende jorde i regionen..

### *Regionale jorddata*

I Danmark findes der ikke landsdækkende kort over jordens tekstur i rodzonen. Der findes dog to landdækkende kortværk: Den Danske Jordklassificering (DDJ) de såkaldte Farvekode kortet (FK)) og Jordartskortet fra GEUS (GEUS). DDJ viser pløjelagets tekstur, som er inddelt i 8 jordtyper (farvekoder), og GEUS viser den geologiske sammensætning til 1 meters dybde. Disse kortværk kan ikke umiddelbart anvendes til regionale modelleringer. På denne baggrund er der ved DJF udarbejdet en helt ny landsdækkende jorddatabase: Denne database viser jordens tekstuelle sammensætning i 3 dybder (A-horisonten (0-30cm), B-horisonten (30-70cm) samt C-horisonten (70-120cm)). Den nye database er udarbejdet på baggrund af alle tilgængelige data på DJF, 45000 punkter i A-horisonten, 6500 i B-horisonten og 2500 punkter i C-horisonten. I A- og B-horisonten er der anvendt Kriging-interpolering indenfor hvert landskabsselement. I C-horisonten er datatætheden for lille til at anvende interpolering. Der er derfor beregnet medianværdier på alle de georegionaliserede jordarter. Databasen indeholder således et landsdækkende grid for ler, silt, finsand, grovsand, samt humus i både A-, B- og C-horisonterne. Kortet har en rumlig opløsning på 250 meter i A- og B-horisonterne og 500 meter i C-horisonten. På baggrund af disse data er der udarbejdet et typejordkort i de tre horisonter .

### *Den rumlige udbredelse:*

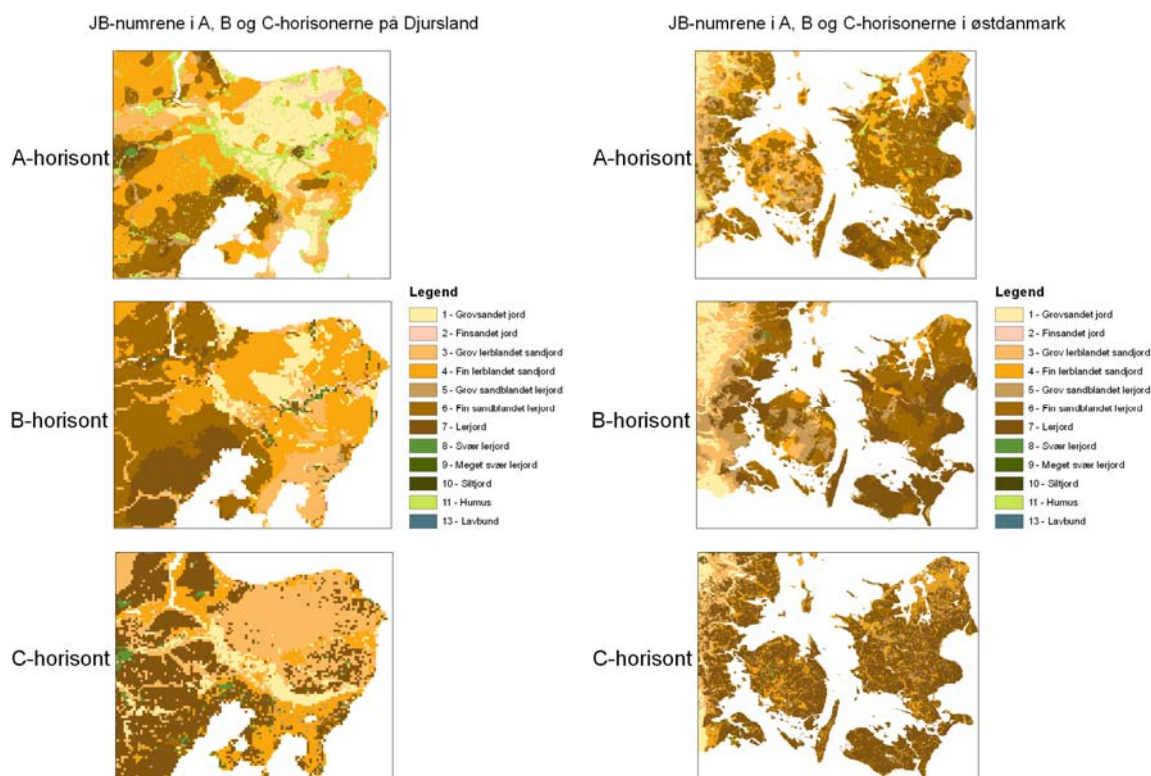
Da der er store regionale forskelle i tekturen mellem jordarterne afhængig af den geologiske oprindelse opdeles data initialt i 8 georegioner. Efter en gennemgang af data for de 8 georegioner blev data samlet inden for fem georegioner: Østdanmark, Midtjylland, Vestjylland, Thy og Nordjylland. Georegionerne er vist i figur 1.

Informationer om udbredelsen af jordtyperne i topjorden (A-horisonten) fås fra et nyt rasterbaserede topjordkort som bl.a. viser fordelingen af JB numrene. Se eksempel i figur 2 (Greve et al, 2007). Det nye topjordkort har en rumlig opløsning på 250 meter (dvs. der dannes gridceller på 250x250 m). Hver celle i dette raster indeholder indformation om JB-nummer.

Informationerne om udbredelsen af jordtyperne i underjorden (B- og C-horisonten) fås fra det geologiske jordarskort i 1:200000 idet 1:25000 kortet ikke er landsdækkende. Dette kort konverteres til et rasterkort så hver celle indeholder information om den geologiske jordart.

Typejordernes udbredelse dannes ved at kombinerer de 3 grids, så hver celle indeholder indformation om JB-nr, geologisk jordart og georegion.

For hver georegion udvælges de 9-10 hyppigste kombinationer af over / underjord samt to vådbundsjord (en mineralsk og en organogen). Der skelnes i denne opdeling mere mellem forskellige sandjordstyper (ler<10% i topjorden) end mellem lerjordstyperne (ler>10% i topjorden). Årsagen hertil er at udbytter og vandbalance daisy modelberegninger er mere følsomme over for jordens rodzonekapacitet for sandjorde (Rodzonekapacitet typisk <120mm) end for mere lerede jorden ((Rodzonekapacitet typisk >120mm) end. Kombinationer som ikke bliver udvalgt, tildeles egenskaber fra jorder som ligner dem meget.



**Figur 2. JB numre i A,B og C horisonten genereret ud fra punktdata fra DDJ**

*Dannelse af jord profil egenskaberne:*

Data fra teksturdatabasens omkring 42000 punkter danner grundlaget for en analyse af typejorders egenskaber i topjorderne, for hver georegion beregnes medianverdier for teksturen i jb-klasserne 1-10.

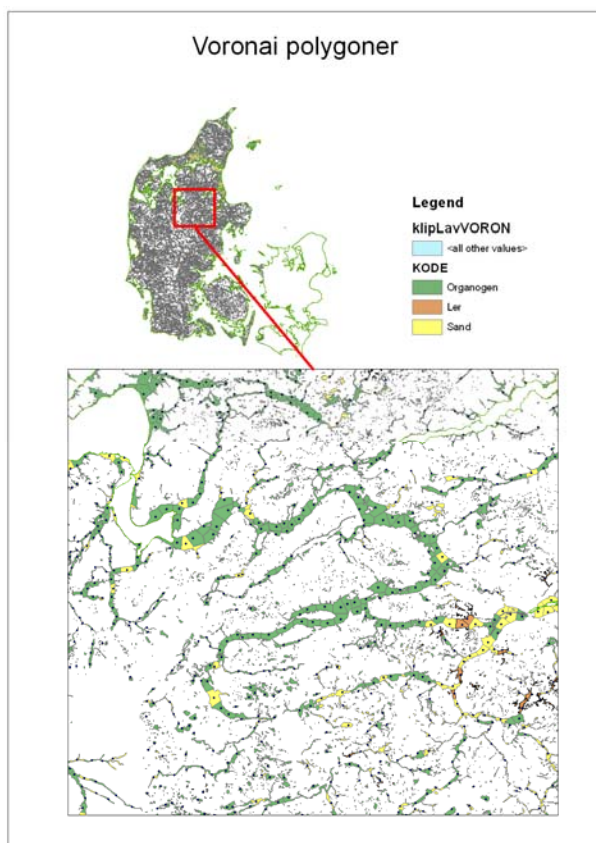
Data fra kvadratnetsdatabasens omkring 900 jordprofiler danner kernen for en analyse af skepjordernes egenskaber i underjorden (B- og C-horisonten). Der udføres et geografisk overlay mellem ovennævnte grids, og jordprofilerne tilegnes således en geologisk jordart og en georegion. Datasættet opdeles efterfølgende efter disse parameter og medianverdier kan beregnes for hver horisonttype (A, B, C) i hver teksturklasse.

### Håndtering af vådbundsjordene

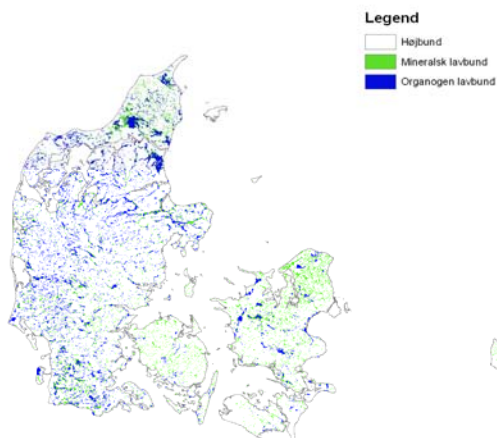
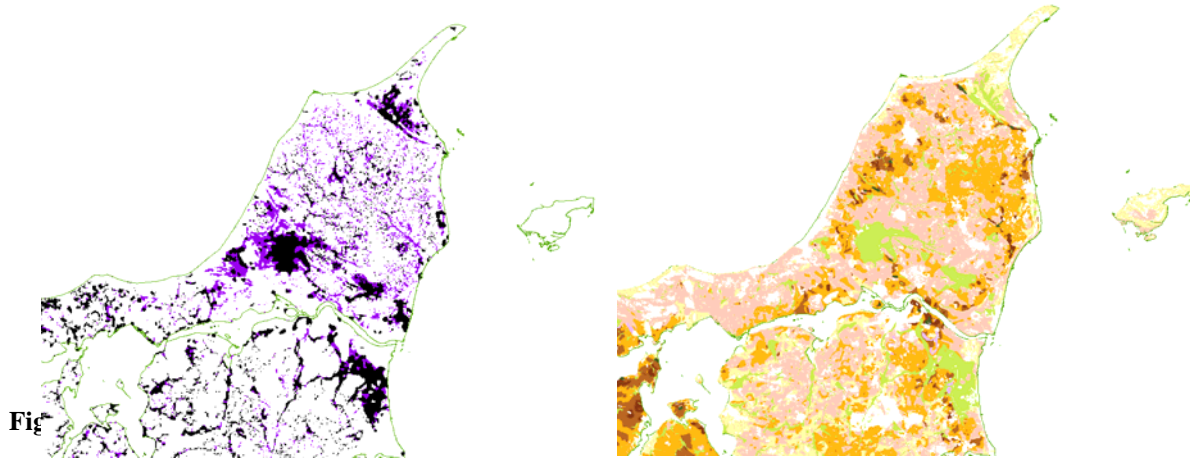
Vådbundsjordene behandles særskilt, da ovennævnte metode ikke egner sig til at generere data i disse områder. Vådbundsområderne defineres i denne sammenhæng som områder som er farvekode 7 (Humusjord) i jordklassificeringen eller som har en af vådbundsjordarterne i den geologiske jordartskortlægning (FT, FP, HT, HP).

Da ikke alle vådbundsjord er organiske laves en differentiering af vådbundsområdet i organogene- og mineralske vådbundsområder. Da der findes få prøver med analyser i lavbundsområderne anvendes data fra okkerklassificeringen til at lave denne differentiering.

Da der ikke er lavet kulstof analyser på okkerprøverne kan almindelig interpolering ikke anvendes. Der konstrueres derfor voronoi polygoner (Figur 3), hvor et hvert punkt i lavbundsområderne tildeles den værdi som det nærmeste okker punkt har. Okker punkterne klassificeres efter den geologisk beskrivelse af den øverste horisont og inddeles i to klasser; organogen og mineralsk. I figur 4 ses vådbundsjordene i nordjylland (tv) og det oprindelige farveodekort. I figur 5 ses vådbundsjordene for hele landet. Figureerne viser at der er blevet et større areal med vådbund end tidlige antaget (VMPII slutevalueringen) hvor kun humusjordene (de grønne områder på kort 4) blev antaget som vådbundsjord, ved inddragelse af oplysingerne fra det geologiske jordartskort forbedres vores estimat af lavbundsjordernes udbredelse.



Figur 3. Kort over voronoi polygoner anvendt i opstilling af et nyt vådbundkort.



**Figur 5. VådbundsJORde fordelt over landet**

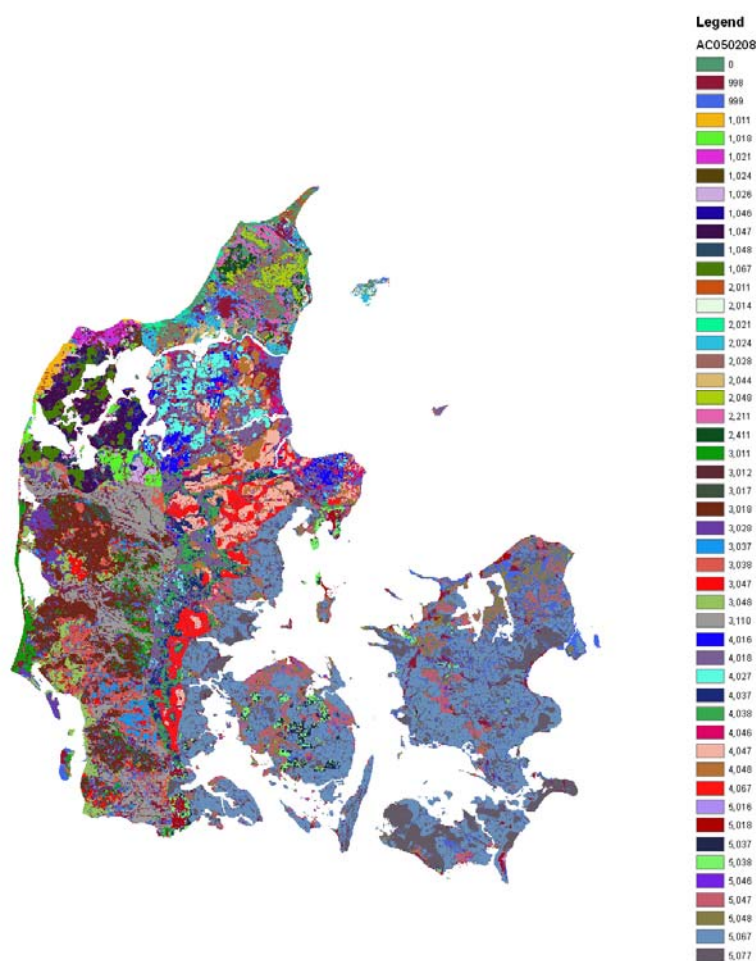
### *Generering af typejorder til regional modellering*

På baggrund af de raserbaserede teksturkort for A-, B- og C-horisonterne er der udarbejdet et forsimplet typejordskort ( Figur 6). I figur 7 er vist hvor stor en andel af jordene der afdrænes med drænrør eller grøfter.

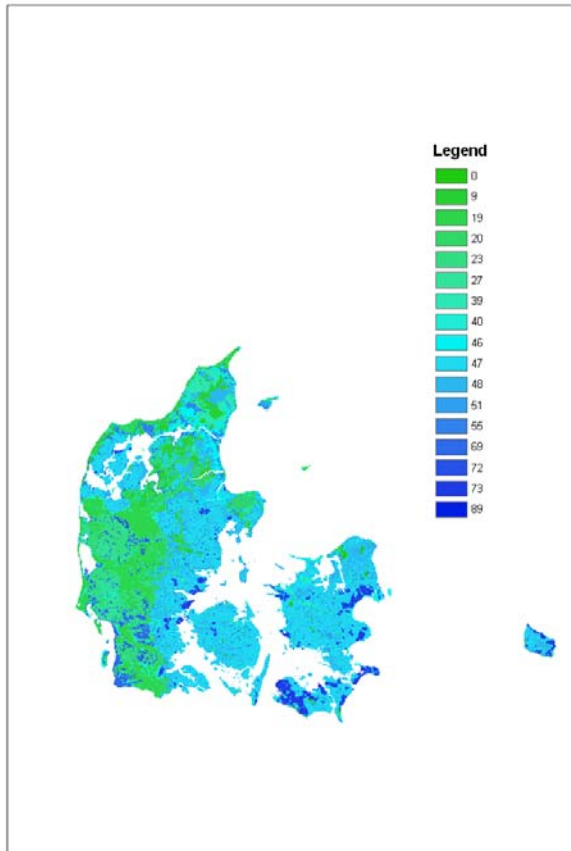
Inden for hver geo-region udvælges de 9-10 hyppigste kombination af A-horisontens JB-nummer samt C-horisontes jordart. Alle kombinationer af A/B/C horisonter henføres til en af disse klasser. I tabellerne 1a, 1 b, 1 c, 1d 1f og 1g er vist tekstur for typejordene.

Type jordernes roddebyder er vurderet på baggrund af arbejde udført af Prof. Henrik Breuning-Madsen (1992). Roddebyderne fra dette arbejde er modificeret, da typejordene både har en A, B og C-horisont, mens Breuning-Madsen's arbejde bygger på en to-lags jordmodel med en overjord og en underjord. Viden fra nyere rodstudier ved DJF er ligeledes indarbejdet i vurderingerne.

Typejordernes dræningsgrad er vurderet individuelt ud fra teksten i A, B samt C-horisonterne. Vurderingen er lavet på baggrund af de erfaringer der er opsamlet i forbindelse med etablering og vedligehold af Jordprofil Databasen, som indeholder morfologiske beskrivelser fra mere end 2000 jordprofiler. Endvidere er erfaringer fra landskontorets drænbehovsundersøgelser fra 1973 (Skriver og Hedegård) samt Den Danske Jordklassificering anvendt (Madsen et al., 1992).



Figur 6. Typejorde fordelt over landet.



Figur 7. % afvandet areal ved drænrør eller grøfter antaget for typejordene fordelt over landet

**Table 1a** Tekstur og humusindhold i tre horisonter for SKEP-modeljordene udviklet på baggrund af jordbundsdata i georegion Thy. Teksturen er beskrevet for 4 klasser af partikelstørrelse

Typejord	Geologisk Jordart	Horisont	Ler (%)	Silt (%)	Finsand (%)	Grovsand (%)	Humus (%)	Volumevægt (g cm <sup>-3</sup> )	Roddybde	Afdræning
1011	ES	A	3.2	4.0	31.3	58.6	2.8	1.46	50	Fri
1011	ES	B	1.1	1.0	45.1	52.0	0.8	1.45		
1011	ES	C	1.6	0.5	30.7	67.2	0.1	1.43		
1018	DS	A	3.2	4.0	31.3	58.6	2.8	1.44	50	Fri
1018	DS	B	5.1	6.5	46.0	41.0	1.4	1.46		
1018	DS	C	8.4	6.4	39.8	45.0	0.4	1.64		
1021	ES	A	2.8	4.2	66.3	24.0	2.7	1.46	100	Fri
1021	ES	B	1.1	1.0	45.1	52.0	0.8	1.45		
1021	ES	C	1.6	0.5	30.7	67.2	0.1	1.43		
1024	HS	A	2.8	4.2	66.3	24.0	2.7	1.39	100	Fri
1024	HS	B	2.4	1.9	55.8	38.8	1.1	1.45		
1024	HS	C	6.0	5.7	59.5	28.5	0.3	1.66		
1026	MS	A	2.8	4.2	66.3	24.0	2.7	1.46	120	drænet
1026	MS	B	7.9	9.4	50.5	30.3	1.8	1.52		
1026	MS	C	14.0	10.7	44.7	30.3	0.3	1.77		
1046	MS	A	7.9	11.3	47.2	30.1	3.5	1.41	120	drænet
1046	MS	B	7.9	9.4	50.5	30.3	1.8	1.52		
1046	MS	C	14.0	10.7	44.7	30.3	0.3	1.77		
1047	ML	A	7.9	11.3	47.2	30.1	3.5	1.41	150	drænet
1047	ML	B	11.6	12.8	45.7	28.3	1.6	1.66		
1047	ML	C	18.7	11.2	44.1	25.7	0.3	1.67		
1048	DS	A	7.9	11.3	47.2	30.1	3.5	1.38	80	drænet
1048	DS	B	5.1	6.5	46.0	41.0	1.4	1.46		
1048	DS	C	8.4	6.4	39.8	45.0	0.4	1.64		
1067	ML	A	11.6	14.3	44.6	25.6	3.4	1.54	150	drænet
1047	ML	B	11.6	12.8	45.7	28.3	1.6	1.66		
1047	ML	C	18.7	11.2	44.1	25.7	0.3	1.67		

ES = flyvesand, DS = diluvialsand, MS=morænesand, ML = moræneler, FS=Ferskvandssand, HS=Litorina sand.

**Tabel 1b Tekstur og humusindhold i tre horisonter for SKEP-modeljordene udviklet på baggrund af jordbundsdata i georegion Nordjylland. Teksturen er beskrevet for 4 klasser af partikelstørrelse.**

Typejord	Geologisk Jordart	Horisont	Ler (%)	Silt (%)	Finsand (%)	Grovsand (%)	Humus (%)	Volumevægt (g cm <sup>-3</sup> )	Roddybde	Afdræning
2011	ES	A	2.6	2.5	35.4	56.8	2.7	1.46	50	Fri
2011	ES	B	1.7	1.0	40.3	56.7	0.4	1.45		
2011	ES	C	1.9	0.5	34.5	62.9	0.2	1.43		
2014	HS	A	2.6	2.5	35.4	56.8	2.7	1.44	100	drænet
2014	HS	B	4.3	4.5	74.0	16.2	1.0	1.45		
2014	HS	C	20.7	17.4	56.6	4.3	0.9	1.60		
2021	ES	A	3.6	6.2	71.3	15.7	3.2	1.46	50	Fri
2021	ES	B	1.7	1.0	40.3	56.7	0.4	1.45		
2021	ES	C	1.9	0.5	34.5	62.9	0.2	1.43		
2024	HS	A	3.6	6.2	71.3	15.7	3.2	1.39	100	drænet
2024	HS	B	4.3	4.5	74.0	16.2	1.0	1.45		
2024	HS	C	20.7	17.4	56.6	4.3	0.9	1.60		
2028	DS	A	3.6	6.2	71.3	15.7	3.2	1.39	80	Fri
2028	DS	B	6.0	9.2	67.2	16.2	1.5	1.46		
2028	DS	C	9.5	7.9	57.5	24.8	0.3	1.66		
2044	HS	A	6.4	9.9	65.1	15.1	3.5	1.38	100	drænet
2044	HS	B	4.3	4.5	74.0	16.2	1.0	1.45		
2044	HS	C	20.7	17.4	56.6	4.3	0.9	1.60		
2048	DS	A	6.4	9.9	65.1	15.1	3.5	1.38	80	Fri
2048	DS	B	6.0	9.2	67.2	16.2	1.5	1.46		
2048	DS	C	9.5	7.9	57.5	24.8	0.3	1.66		
2211	YS	A	3.6	6.2	71.3	15.7	3.2	1.40	80	drænet
2211	YS	B	5.1	6.5	73.6	13.4	1.5	1.47		
2211	YS	C	5.5	4.6	76.6	13.0	0.3	1.65		
2411	YS	A	6.4	9.9	65.1	15.1	3.5	1.42	80	drænet
2411	YS	B	5.1	6.5	73.6	13.4	1.5	1.47		
2411	YS	C	5.5	4.6	76.6	13.0	0.3	1.65		

ES = flyvesand, DS = diluvialsand, MS=morænesand, ML = moræneler, FS=Ferskvandssand, HS=Litorina sand. YS=Yoldia sand.

Tabel 1c Tekstur og humusindhold i tre horisonter for SKEP-modeljordene udviklet på baggrund af jordbundsdata i georegion Vestjylland. Teksturen er beskrevet for 4 klasser af partikelstørrelse.

Typejord	Geologisk Jordart	Horisont	Ler (%)	Silt (%)	Finsand (%)	Grovsand (%)	Humus (%)	Volumevægt (g cm <sup>-3</sup> )	Roddybde	Afdræning
3011	ES	A	2.6	2.5	35.4	56.8	2.7	1.46	50	Fri
3011	ES	B	1.7	1.0	40.3	56.7	0.4	1.45		
3011	ES	C	1.9	0.5	34.5	62.9	0.2	1.43		
3012	FS	A	3.5	3.9	26.7	62.4	3.5	1.32	50	Fri
3012	FS	B	3.9	3.1	32.4	58.8	1.8	1.57		
3012	FS	C	2.6	1.6	21.3	74.1	0.4	1.53		
3017	ML	A	3.5	3.9	26.7	62.4	3.5	1.46	120	drænet
3017	ML	B	7.5	7.3	38.5	45.6	1.1	1.52		
3017	ML	C	12.4	7.1	37.2	43.0	0.2	1.76		
3017	DS	A	3.5	3.9	26.7	62.4	3.5	1.44	50	Fri
3018	DS	B	5.2	4.1	35.0	54.5	1.3	1.45		
3018	DS	C	4.5	2.5	31.7	61.1	0.2	1.57		
3028	DS	A	3.2	4.9	58.5	29.9	3.5	1.39	50	Fri
3028	DS	B	5.2	4.1	35.0	54.5	1.3	1.45		
3028	DS	C	4.5	2.5	31.7	61.1	0.2	1.57		
3037	ML	A	5.9	6.8	32.3	51.4	3.6	1.48	120	drænet
3037	ML	B	7.5	7.3	38.5	45.6	1.1	1.52		
3037	ML	C	12.4	7.1	37.2	43.0	0.2	1.76		
3038	DS	A	5.9	6.8	32.3	51.4	3.6	1.40	50	Fri
3038	DS	B	5.2	4.1	35.0	54.5	1.3	1.45		
3038	DS	C	4.5	2.5	31.7	61.1	0.2	1.57		
3047	ML	A	6.3	7.9	44.9	36.8	4.1	1.41	120	drænet
3047	ML	B	7.5	7.3	38.5	45.6	1.1	1.52		
3047	ML	C	12.4	7.1	37.2	43.0	0.2	1.76		
3048	DS	A	6.3	7.9	44.9	36.8	4.1	1.38	50	Fri
3048	DS	B	5.2	4.1	35.0	54.5	1.3	1.45		
3048	DS	C	4.5	2.5	31.7	61.1	0.2	1.57		
3110	TS	A	3.5	3.9	26.7	62.4	3.5	1.44	50	Fri
3110	TS	B	3.2	2.5	23.0	70.2	1.1	1.52		
3110	TS	C	2.3	1.0	14.9	81.5	0.3	1.57		

ES = flyvesand, DS = diluvialsand, MS=morænesand, ML = moræneler, FS=Ferskvandssand, HS=Litorina sand.

**Tabel 1d Tekstur og humusindhold i tre horisonter for SKEP-modeljordene udviklet på baggrund af jordbundsdata i georegion Midtjylland. Teksturen er beskrevet for 4 klasser af partikelstørrelse.**

Typejord	Geologisk Jordart	Horisont	Ler (%)	Silt (%)	Finsand (%)	Grovsand (%)	Humus (%)	Volumevægt (g cm <sup>-3</sup> )	Roddybde	Afdræning
4016	MS	A	3.9	5.7	41.7	45.9	2.9	1.46	50	Fri
4016	MS	B	5.1	6.7	47.7	39.2	1.2	1.52		
4016	MS	C	7.0	5.3	36.0	51.5	0.2	1.68		
4018	DS	A	3.9	5.7	41.7	45.9	2.9	1.44	50	Fri
4018	DS	B	5.1	6.4	44.6	42.4	1.4	1.46		
4018	DS	C	8.0	7.0	37.8	47.0	0.2	1.64		
4027	ML	A	3.8	6.9	54.8	31.4	3.1	1.46	120	drænet
4027	ML	B	11.2	10.7	41.5	35.5	1.0	1.66		
4027	ML	C	19.0	9.8	38.8	32.1	0.2	1.67		
4037	ML	A	6.6	7.8	33.6	49.2	2.7	1.48	120	drænet
4037	ML	B	11.2	10.7	41.5	35.5	1.0	1.66		
4037	ML	C	19.0	9.8	38.8	32.1	0.2	1.67		
4038	DS	A	6.6	7.8	33.6	49.2	2.7	1.40	50	Fri
4038	DS	B	5.1	6.4	44.6	42.4	1.4	1.46		
4038	DS	C	8.0	7.0	37.8	47.0	0.2	1.64		
4046	MS	A	6.9	10.3	48.7	31.0	3.2	1.41	50	Fri
4046	MS	B	5.1	6.7	47.7	39.2	1.2	1.52		
4046	MS	C	7.0	5.3	36.1	51.6	0.0	1.68		
4047	ML	A	6.9	10.3	48.7	31.0	3.2	1.41	120	drænet
4047	ML	B	11.2	10.7	41.5	35.5	1.0	1.66		
4047	ML	C	19.0	9.8	38.8	32.1	0.2	1.67		
4048	DS	A	6.9	10.3	48.7	31.0	3.2	1.38	50	Fri
4048	DS	B	5.1	6.4	44.6	42.4	1.4	1.46		
4048	DS	C	8.0	7.0	37.8	47.0	0.2	1.64		
4067	ML	A	12.2	14.5	45.5	25.4	2.4	1.54	150	drænet
4067	ML	B	15.7	13.8	42.8	26.7	1.0	1.70		
4067	ML	C	18.9	13.1	42.3	25.4	0.3	1.67		

ES = flyvesand, DS = diluvialsand, MS=morænesand, ML = moræneler, FS=Ferskvandssand, HS=Litorina sand.

**Table 1f** Tekstur og humusindhold i tre horisonter for SKEP-modeljordene udviklet på baggrund af jordbundsdata i georegion Østdanmark. Teksturen er beskrevet for 4 klasser af partikelstørrelse.

Typejord	Geologisk Jordart	Horisont	Ler (%)	Silt (%)	Finsand (%)	Grovsand (%)	Humus (%)	Volumevægt (g cm <sup>-3</sup> )	Roddybde Max. [cm]	Afdræning
5016	MS	A	3.8	4.9	33.9	55.3	2.1	1.46	80	drænet
5016	MS	B	8.8	9.7	42.3	38.2	1.1	1.52		
5016	MS	C	9.2	9.0	42.8	38.8	0.2	1.73		
5018	DS	A	3.8	4.9	33.9	55.3	2.1	1.44	100	Fri
5018	DS	B	7.9	9.0	42.0	40.1	1.0	1.46		
5018	DS	C	8.2	6.0	44.0	41.5	0.3	1.66		
5037	ML	A	7.8	9.2	35.6	45.0	2.5	1.48	150	Fri
5037	ML	B	15.7	13.8	42.8	26.7	1.0	1.70		
5037	ML	C	18.9	13.1	42.3	25.4	0.3	1.67		
5038	DS	A	7.8	9.2	35.6	45.0	2.5	1.40	100	drænet
5038	DS	B	7.9	9.0	42.0	40.1	1.0	1.46		
5038	DS	C	8.2	6.0	44.0	41.5	0.3	1.66		
5046	MS	A	8.5	11.7	47.3	30.1	2.4	1.41	80	drænet
5046	MS	B	8.8	9.7	42.3	38.2	1.1	1.52		
5046	MS	C	9.2	9.0	42.8	38.8	0.2	1.73		
5047	ML	A	8.5	11.7	47.3	30.1	2.4	1.41	150	drænet
5047	ML	B	15.7	13.8	42.8	26.7	1.0	1.70		
5047	ML	C	18.9	13.1	42.3	25.4	0.3	1.67		
5048	DS	A	8.5	11.7	47.3	30.1	2.4	1.38	100	Fri
5048	DS	B	7.9	9.0	42.0	40.1	1.0	1.46		
5048	DS	C	8.2	6.0	44.0	41.5	0.3	1.66		
5067	ML	A	12.2	14.5	45.5	25.4	2.4	1.54	150	drænet
5067	ML	B	15.7	13.8	42.8	26.7	1.0	1.70		
5067	ML	C	18.9	13.1	42.3	25.4	0.3	1.67		
5077	DS	A	17.0	16.6	42.0	21.8	2.6	1.58	150	drænet
5077	DS	B	15.7	13.8	42.8	26.7	1.0	1.70		
5077	DS	C	18.9	13.1	42.3	25.4	0.3	1.67		

ES = flyvesand, DS = diluvialsand, MS=morænesand, ML = moræneler, FS=Ferskvandssand, HS=Litorina sand.

**Tabel 1g Tekstur og humusindhold i tre horisonter for SKEP-modeljordene udviklet på baggrund af jordbundsdata i hele landet . Teksturen er beskrevet for 4 klasser af partikelstørrelse.**

Typejord	Geologisk Jordart	Horisont	Ler (%)	Silt (%)	Finsand (%)	Grovsand (%)	Humus (%)	Volumevægt (g cm <sup>-3</sup> )	Roddybde	Afdræning
998	FS	1	7.4	7.9	47.8	32.6	4.3	1.320	80	grundvandsspejl
998	FS	2	8.4	8.0	37.8	42.2	3.6	1.420		
998	FS	3	9.3	6.9	34.6	48.1	1.1	1.600		
999	FT	1	7.5	7.1	32.7	30.9	21.7	0.540	80	grundvandsspejl
999	FT	2	8.0	7.2	32.9	38.1	13.7	0.540		
999	FS	3	9.3	6.9	34.6	48.1	1.1	1.600		

FS= Ferskvandssand. FT= Ferskvandstørv.

### Hydrauliske parametre for typejordene.

#### Hydraulisk funktionsudtryk

I beskrivelsen af jordens vandretentionskurve anvendes VG-modellen [1] van Genuchten (1980)

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \begin{cases} \frac{1}{[1 + |\alpha h|^n]^m} & h < 0 \\ 1 & h \geq 0 \end{cases} \quad [1]$$

$S_e$  angiver den effektive vandmætning,  $\alpha$  og  $n$  er kurve parameter og  $m=1-1/n$ . Parametrene  $\theta$ ,  $\theta_s$  and  $\theta_r$  er henholdsvis: aktuelt vandindhold ved tryk potentialet ( $h$ ) [hPa], mættet vandindhold og vandindhold ved udtørring alle målt som [cm<sup>3</sup>cm<sup>-3</sup>].

Hydraulisk ledningsevne beskrives ved Mualem modellen (MVG) [2] der dels baseres på [1] og på den generelle pore størrelses fordelings model beskrevet i Mualem (1976)

$$k(S_e) = k_0 S_e^l [1 - (1 - S_e^{1/m})^m]^\gamma \quad [2]$$

$k_0$  er jordens hydrauliske ledningsevne ved vandmætning.  $k_0$  anvendes i modelberegninger som såkaldt "maching factor" i estimeringen af den umættede hydrauliske ledningsevne. Standarder for parametrene  $l$ ,  $\beta$ , og  $\gamma$  antager i VGM modellen henholdsvis 0.5, 1, and 2.  $l$  parameteren er generelt accepteret som en empirisk parameter og anvendes sammen med  $k_0$  i kalibreringen af de hydrauliske parametre.

### Hydrauliske parametre for typejordene

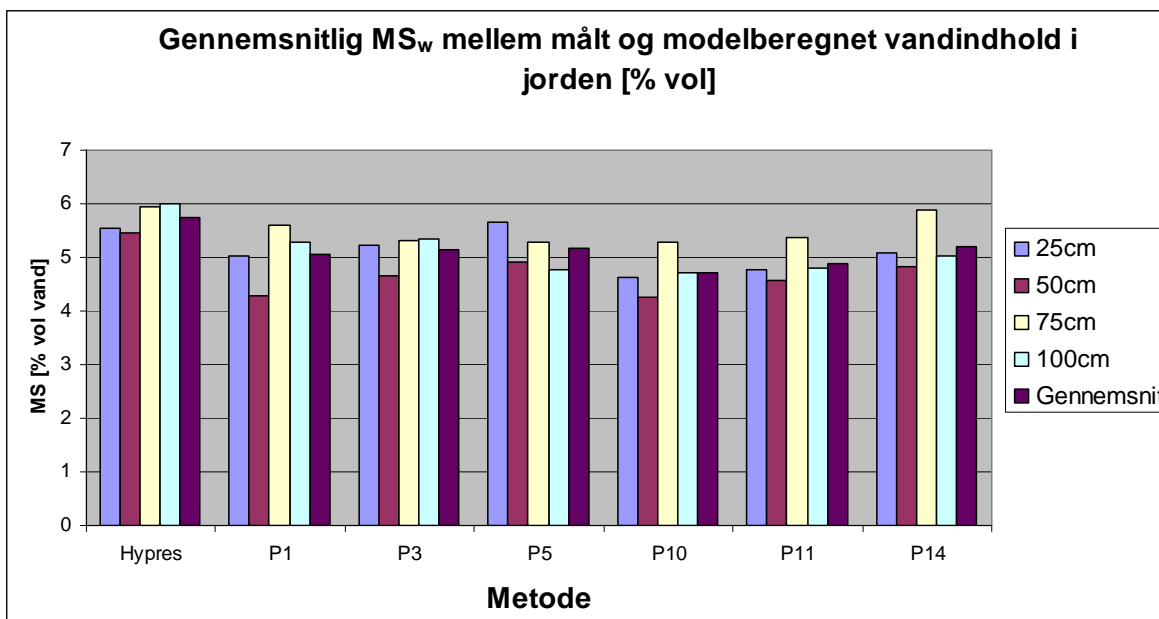
Typejordenes tekstur, humusindhold og bulk density er anvendt til at estimere typejordenes hydrauliske parametre brug af såkaldte pedo transferfunktioner (PTF). Der er anvendt metode P10 (Børgesen et al., 2007) som er en neuralt netværksmodel udviklet på baggrund af danske data fra Profildatabasen (DJF-Geodata 2007). Forud for valg af metode til at predikterer de jord hydrauliske parametre er der gennemført en validering af flere Danske PTF funktioner (P1,P3, P5,P10,P11,P14) Børgesen & Schaap 2005, Børgesen et al., 2008) og den europærisk udviklede PTF model "Hypres modellen" (Wösten et al., 1999). Valideringen er gennemført ved at anvende metoderne til at prediktere de hydrauliske parametre og herefter anvende disse i Daisy model simulering af jordens vandindhold over en række år. Data er afprøvet på data 13 datasæt over målt vandindhold i jorden. P10 metoden der anvende ler, silt og sand, (USDA klassifikation), humus, bulkdensity som prediktorer, estimerede de hydrauliske parametre der viste gennemsnitlig laveste afvigelses kvadrat (MSw) mellem målt og simuleret vandindhold i jorden. Figur 7 (fra Børgesen, 2009, Under

udarbejdelse). Denne metode gav også den bedste korrelation ( $R^2=0.81$ ) mellem målt og simuleret vandindhold for de afprøvede PTF'er .

Erfaringerne fra valideringen viste at Daisy modellen for specielt drænedede jorde viste at der i vækstperioden forekom en betydelig opadgående vandbevægelse. Således modelberegnete Daisy modellen for disse jorde et større vandindhold i jorden i hele vækstperioden end målinger af jordens vandindhold viste. Det større vandindhold medførte af fordampningen ikke blev naturlig begrænset og herved undervurderes afstrømningen fra jorden. Efter mange forsøg på at forhindre denne urealistisk store opadgående vandbevægelse ved korrektion af jordhydrauliske ledningsevne samt ændringer af de nedre randbetingelser (ændre aquatard dybden, ændre den mættede hydrauliske ledningsevne i aquartarden  $K_{aq}$ ) afprøvedes en metode hvor der blev indarbejdet overgangshorisonter med lav vandledende evne mellem A og B , samt B og C horisonterne. Overgangshorisonterne har samme tekstur som B og C horisonterne men har dårlige kepilære egenskaber. Dette gennemføres ved at  $n$  parametren i [1] sættes lig med  $n= 2,4$  eller  $2.5$  afhængig af jordens tekstur. Denne parameter værdi er fundet ved afprøvning af mange metoder, til at reducerer den opadgående vandbevægelse og karakteriserer en meget sandet jord.

I tabel 2a,2b,2c,2d,2e,og 2f er vist de anvendte hydrauliske parametre i modelberegningerne.

På de drænedede arealer er der fundet at en  $K_{aq}$  værdi på  $0.001 [cm \text{ time}^{-1}]$  gav afstrømning via drænen i afstrømningsperioden. Drænrørs dybden er sat til 110 cm og afstanden mellem drænrør til 18 m som antaget i Daisy Ståbien (Styczen et al.,2006).



**Figur 7. Gennemsnitlig afvigelses kvadrat opgjort ved at sammenligne modelberegnet vandindhold i forskellige jorddybder og Daisy modelberegnet vandindhold med forskellige Pedo transferfunktioner estimerede hydrauliske parametre (Hypres,P1,P3,P5,P10,P11 og P14).**

**Tabel 2a** Hydrauliske egenskaber for Typejordene udviklet på baggrund af jordbundsdata i georegion Thy. Hydrauliske parametre er generet med pedo transferfunktionen P10 (Børgesen et al.,2008)

Modeljord	Horisont	Nedre grænse	Hydrauliske parametre						Dræn
			$\theta_{res}$	$\theta_{sat}$	$n$	$alpha$	$l$	$K_0$	
1011	1	30	0.02	0.386	0.031	1.592	0.354	20.8	Fri
1011	2	40	0.019	0.388	0.056	2.5	-0.099	130.7	Fri
1011	3	70	0.019	0.388	0.056	1.809	-0.099	130.7	Fri
1011	4	80	0.021	0.4	0.065	2.5	-0.147	174.6	Fri
1011	5	300	0.021	0.4	0.065	2.077	-0.147	174.6	Fri
1018	1	30	0.02	0.391	0.033	1.589	0.261	25.2	Fri
1018	2	40	0.021	0.383	0.034	2.4	0.21	33.0	Fri
1018	3	70	0.021	0.383	0.034	1.374	0.21	33.0	Fri
1018	4	80	0.021	0.344	0.026	2.4	0.165	7.0	Fri
1018	5	300	0.021	0.344	0.026	1.391	0.165	7.0	Fri
1021	1	30	0.021	0.378	0.025	1.592	1.033	15.9	Fri
1021	2	40	0.019	0.388	0.056	2.5	-0.099	130.7	Fri
1021	3	70	0.019	0.388	0.056	1.809	-0.099	130.7	Fri
1021	4	80	0.021	0.4	0.065	2.5	-0.147	174.6	Fri
1021	5	300	0.021	0.4	0.065	2.077	-0.147	174.6	Fri
1024	1	30	0.021	0.396	0.029	1.578	0.947	31.2	Fri
1024	2	40	0.019	0.386	0.048	2.5	-0.077	89.7	Fri
1024	3	70	0.019	0.386	0.048	1.649	-0.077	89.7	Fri
1024	4	80	0.02	0.333	0.027	2.4	0.253	7.2	Fri
1024	5	300	0.02	0.333	0.027	1.408	0.253	7.2	Fri
1026	1	30	0.021	0.379	0.025	1.591	1.041	16.5	Drænet
1026	2	40	0.025	0.367	0.018	2.4	0.495	2.8	Drænet
1026	3	70	0.025	0.367	0.018	1.391	0.495	2.8	Drænet
1026	4	80	0.028	0.321	0.1	2.3	0.603	0.3	Drænet
1026	5	500	0.028	0.321	0.009	1.439	0.603	0.3	Drænet
1046	1	30	0.029	0.394	0.012	1.424	1.045	1.4	Drænet
1046	2	40	0.025	0.367	0.018	2.4	0.495	2.8	Drænet
1046	3	70	0.025	0.367	0.018	1.391	0.495	2.8	Drænet
1046	4	80	0.028	0.321	0.1	2.3	0.603	0.3	Drænet
1046	5	500	0.028	0.321	0.009	1.439	0.603	0.3	Drænet
1047	1	30	0.029	0.394	0.012	1.424	1.045	1.4	Drænet
1047	2	40	0.03	0.34	0.009	2.3	0.774	0.3	Drænet
1047	3	70	0.03	0.34	0.009	1.446	0.774	0.3	Drænet
1047	4	80	0.033	0.35	0.1	1.406	0.44	0.3	Drænet
1047	5	500	0.033	0.35	0.01	1.406	0.44	0.3	Drænet
1048	1	30	0.029	0.402	0.013	1.416	0.927	1.8	Drænet
1048	2	40	0.021	0.383	0.034	2.4	0.21	33.0	Drænet
1048	3	70	0.021	0.383	0.034	1.374	0.21	33.0	Drænet
1048	4	80	0.021	0.344	0.1	2.4	0.165	7.0	Drænet
1048	5	500	0.021	0.344	0.026	1.391	0.165	7.0	Drænet
1067	1	30	0.035	0.368	0.0063	1.4862	1.8513	0.3	Drænet
1067	2	40	0.03	0.34	0.009	2.3	0.774	0.3	Drænet
1067	3	70	0.03	0.34	0.009	1.446	0.774	0.3	Drænet
1067	4	80	0.033	0.35	0.01	1.406	0.44	0.3	Drænet
1067	5	500	0.033	0.35	0.01	1.406	0.44	0.3	Drænet

**Tabel 2b** Hydrauliske egenskaber for Typejordene udviklet på baggrund af jordbundsdata i georegion Nordjylland. Hydrauliske parametre er generet med pedo transferfunktionen P10 (Børgesen et al.,2008)

Modeljord	Horisont	Nedre grænse	Hydrauliske parametre						Dræn
			$\theta_{res}$	$\theta_{sat}$	$n$	$alpha$	$l$	$K_0$	
2011	1	30	0.019	0.386	0.035	1.603	0.184	31.2	Fri
2011	2	40	0.02	0.391	0.06	2.5	-0.124	144.5	Fri
2011	3	70	0.02	0.391	0.06	1.882	-0.124	144.5	Fri
2011	4	80	0.021	0.4	0.064	2.5	-0.217	163.0	Fri
2011	5	300	0.021	0.4	0.064	1.992	-0.217	163.0	Fri
2014	1	30	0.019	0.392	0.037	1.601	0.109	34.2	Drænet
2014	2	40	0.021	0.381	0.036	2.5	0.325	43.9	Drænet
2014	3	70	0.021	0.381	0.036	1.578	0.325	43.9	Drænet
2014	4	80	0.041	0.368	0.1	1.426	0.2	0.1	Drænet
2014	5	500	0.041	0.368	0.007	1.426	0.2	0.1	Drænet
2021	1	30	0.024	0.375	0.017	1.61	1.332	4.6	Fri
2021	2	40	0.02	0.391	0.06	2.5	-0.124	144.5	Fri
2021	3	70	0.02	0.391	0.06	1.882	-0.124	144.5	Fri
2021	4	80	0.021	0.4	0.064	2.5	-0.217	163.0	Fri
2021	5	300	0.021	0.4	0.064	1.992	-0.217	163.0	Fri
2024	1	30	0.024	0.393	0.02	1.593	1.143	10.0	Drænet
2024	2	40	0.021	0.381	0.036	2.5	0.325	43.9	Drænet
2024	3	70	0.021	0.381	0.036	1.578	0.325	43.9	Drænet
2024	4	80	0.041	0.368	0.1	1.426	0.2	0.1	Drænet
2024	5	500	0.041	0.368	0.007	1.426	0.2	0.1	Drænet
2028	1	30	0.024	0.393	0.02	1.593	1.143	10.0	Fri
2028	2	40	0.024	0.377	0.023	2.4	0.397	9.7	Fri
2028	3	70	0.024	0.377	0.023	1.379	0.397	9.7	Fri
2028	4	80	0.023	0.336	0.019	2.4	0.129	2.1	Fri
2028	5	300	0.023	0.336	0.019	1.392	0.129	2.1	Fri
2044	1	30	0.029	0.398	0.013	1.422	1.053	1.9	Drænet
2044	2	40	0.021	0.381	0.036	2.5	0.325	43.9	Drænet
2044	3	70	0.021	0.381	0.036	1.578	0.325	43.9	Drænet
2044	4	80	0.041	0.368	0.1	1.426	0.2	0.1	Drænet
2044	5	500	0.041	0.368	0.007	1.426	0.2	0.1	Drænet
2048	1	30	0.029	0.398	0.013	1.422	1.053	1.9	Fri
2048	2	40	0.024	0.377	0.023	2.4	0.397	9.7	Fri
2048	3	70	0.024	0.377	0.023	1.379	0.397	9.7	Fri
2048	4	80	0.023	0.336	0.019	2.4	0.129	2.1	Fri
2048	5	300	0.023	0.336	0.019	1.392	0.129	2.1	Fri
2211	1	30	0.024	0.391	0.02	1.595	1.177	9.0	Drænet
2211	2	40	0.022	0.375	0.026	2.4	0.614	16.4	Drænet
2211	3	70	0.022	0.375	0.026	1.377	0.614	16.4	Drænet
2211	4	80	0.021	0.333	0.1	2.4	0.29	7.6	Drænet
2211	5	500	0.021	0.333	0.026	1.407	0.29	7.6	Drænet
2411	1	30	0.029	0.388	0.012	1.432	1.165	1.4	Drænet
2411	2	40	0.022	0.375	0.026	2.4	0.614	16.4	Drænet
2411	3	70	0.022	0.375	0.026	1.377	0.614	16.4	Drænet
2411	4	80	0.021	0.333	0.1	2.4	0.29	7.6	Drænet
2411	5	500	0.021	0.333	0.026	1.407	0.29	7.6	Drænet

Tabel 2c Hydrauliske egenskaber for Typejordene udviklet på baggrund af jordbundsdata i georegion Vestjylland. Hydralske parametre er generet med pedo transferfunktionen P10 (Børgesen et al.,2008)

Modeljord	Horisont	Nedre grænse	Hydrauliske parametre						Dræn
			Van Genuchten hydrauliske parametre						
			$\theta_{res}$	$\theta_{sat}$	$n$	$alpha$	$l$	$K_0$	
3011	1	30	0.019	0.386	0.035	1.603	0.184	31.2	Fri
3011	2	40	0.02	0.391	0.06	2.5	-0.124	144.5	Fri
3011	3	70	0.02	0.391	0.06	1.882	-0.124	144.5	Fri
3011	4	80	0.021	0.4	0.064	2.5	-0.217	163.0	Fri
3011	5	300	0.021	0.4	0.064	1.992	-0.217	163.0	Fri
3012	1	30	0.021	0.424	0.034	1.568	-0.035	31.6	Fri
3012	2	40	0.019	0.36	0.033	2.5	0.256	21.9	Fri
3012	3	70	0.019	0.36	0.033	1.619	0.256	21.9	Fri
3012	4	80	0.02	0.374	0.056	2.5	-0.281	94.1	Fri
3012	5	300	0.02	0.374	0.056	1.9	-0.281	94.1	Fri
3017	1	30	0.021	0.388	0.026	1.591	0.546	10.7	Drænet
3017	2	40	0.022	0.371	0.029	2.4	0.134	14.6	Drænet
3017	3	70	0.022	0.371	0.029	1.371	0.134	14.6	Drænet
3017	4	80	0.025	0.323	0.1	2.3	0.565	0.8	Drænet
3017	5	500	0.025	0.323	0.014	1.422	0.565	0.8	Drænet
3018	1	30	0.021	0.392	0.027	1.588	0.469	11.9	Fri
3018	2	40	0.02	0.391	0.043	2.4	-0.22	52.0	Fri
3018	3	70	0.02	0.391	0.043	1.39	-0.22	52.0	Fri
3018	4	80	0.019	0.364	0.05	2.5	-0.175	66.7	Fri
3018	5	300	0.019	0.364	0.05	1.718	-0.175	66.7	Fri
3028	1	30	0.023	0.397	0.022	1.588	1.141	9.6	Fri
3028	2	40	0.02	0.391	0.043	2.4	-0.22	52.0	Fri
3028	3	70	0.02	0.391	0.043	1.39	-0.22	52.0	Fri
3028	4	80	0.019	0.364	0.05	2.5	-0.175	66.7	Fri
3028	5	300	0.019	0.364	0.05	1.718	-0.175	66.7	Fri
3037	1	30	0.024	0.382	0.017	1.404	0.899	2.4	Drænet
3037	2	40	0.022	0.371	0.029	2.4	0.134	14.6	Drænet
3037	3	70	0.022	0.371	0.029	1.371	0.134	14.6	Drænet
3037	4	80	0.025	0.323	0.1	2.3	0.565	0.8	Drænet
3037	5	500	0.025	0.323	0.014	1.422	0.565	0.8	Drænet
3038	1	30	0.024	0.403	0.02	1.383	0.588	5.1	Fri
3038	2	40	0.02	0.391	0.043	2.4	-0.22	52.0	Fri
3038	3	70	0.02	0.391	0.043	1.39	-0.22	52.0	Fri
3038	4	80	0.019	0.364	0.05	2.5	-0.175	66.7	Fri
3038	5	300	0.019	0.364	0.05	1.718	-0.175	66.7	Fri
3047	1	30	0.027	0.396	0.013	1.418	1.19	1.5	Drænet
3047	2	40	0.022	0.371	0.029	2.4	0.134	14.6	Drænet
3047	3	70	0.022	0.371	0.029	1.371	0.134	14.6	Drænet
3047	4	80	0.025	0.323	0.1	2.3	0.565	0.8	Drænet
3047	5	500	0.025	0.323	0.014	1.422	0.565	0.8	Drænet
3048	1	30	0.027	0.403	0.014	1.41	1.057	2.1	Fri
3048	2	40	0.02	0.391	0.043	2.4	-0.22	52.0	Fri
3048	3	70	0.02	0.391	0.043	1.39	-0.22	52.0	Fri
3048	4	80	0.019	0.364	0.05	2.5	-0.175	66.7	Fri
3048	5	300	0.019	0.364	0.05	1.718	-0.175	66.7	Fri
3110	1	30	0.021	0.392	0.027	1.588	0.469	11.9	Fri
3110	2	40	0.019	0.375	0.049	2.5	-0.26	66.5	Fri
3110	3	70	0.019	0.375	0.049	1.708	-0.26	66.5	Fri
3110	4	80	0.02	0.366	0.057	2.5	-0.274	84.4	Fri
3110	5	300	0.02	0.366	0.057	2.051	-0.274	84.4	Fri

Tabel 2d Hydrauliske egenskaber for Typejordene udviklet på baggrund af jordbundsdata i georegion Midtjylland. Hydrauliske parametre er generet med pedo transferfunktionen P10 (Børgesen et al.,2008)

Modeljord	Horisont	Nedre grænse	Hydrauliske parametre						Dræn
			$\theta_{res}$	$\theta_{sat}$	$n$	$alpha$	$l$	$K_0$	
4016	1	30	0.021	0.384	0.025	1.586	0.73	10.4	Fri
4016	2	40	0.021	0.367	0.031	2.4	0.339	20.3	Fri
4016	3	70	0.021	0.367	0.031	1.384	0.339	20.3	Fri
4016	4	80	0.02	0.334	0.03	2.4	0.232	10.4	Fri
4016	5	300	0.02	0.334	0.03	1.42	0.232	10.4	Fri
4018	1	30	0.021	0.388	0.026	1.583	0.681	11.8	Fri
4018	2	40	0.021	0.383	0.034	2.4	0.185	32.8	Fri
4018	3	70	0.021	0.383	0.034	1.375	0.185	32.8	Fri
4018	4	80	0.021	0.343	0.028	2.4	0.114	9.3	Fri
4018	5	300	0.021	0.343	0.028	1.393	0.114	9.3	Fri
4027	1	30	0.023	0.379	0.019	1.599	1.142	5.9	Drænet
4027	2	40	0.026	0.34	0.013	2.3	0.419	0.7	Drænet
4027	3	70	0.026	0.34	0.013	1.413	0.419	0.7	Drænet
4027	4	80	0.032	0.352	0.1	1.4	0.519	0.4	Drænet
4027	5	500	0.032	0.352	0.011	1.4	0.519	0.4	Drænet
4037	1	30	0.024	0.382	0.02	1.387	0.637	4.3	Drænet
4037	2	40	0.026	0.34	0.013	2.3	0.419	0.7	Drænet
4037	3	70	0.026	0.34	0.013	1.413	0.419	0.7	Drænet
4037	4	80	0.032	0.352	0.1	1.4	0.519	0.4	Drænet
4037	5	500	0.032	0.352	0.011	1.4	0.519	0.4	Drænet
4038	1	30	0.023	0.402	0.024	1.369	0.279	9.9	Fri
4038	2	40	0.021	0.383	0.034	2.4	0.185	32.8	Fri
4038	3	70	0.021	0.383	0.034	1.375	0.185	32.8	Fri
4038	4	80	0.021	0.343	0.028	2.4	0.114	9.3	Fri
4038	5	300	0.021	0.343	0.028	1.393	0.114	9.3	Fri
4046	1	30	0.027	0.393	0.015	1.404	0.794	2.7	Fri
4046	2	40	0.021	0.367	0.031	2.4	0.339	20.3	Fri
4046	3	70	0.021	0.367	0.031	1.384	0.339	20.3	Fri
4046	4	80	0.02	0.334	0.032	2.4	0.192	13.7	Fri
4046	5	300	0.02	0.334	0.032	1.424	0.192	13.7	Fri
4047	1	30	0.027	0.393	0.015	1.404	0.794	2.7	Drænet
4047	2	40	0.026	0.34	0.013	2.3	0.419	0.7	Drænet
4047	3	70	0.026	0.34	0.013	1.413	0.419	0.7	Drænet
4047	4	80	0.032	0.352	0.1	1.4	0.519	0.4	Drænet
4047	5	500	0.032	0.352	0.011	1.4	0.519	0.4	Drænet
4048	1	30	0.027	0.401	0.016	1.397	0.717	3.6	Fri
4048	2	40	0.021	0.383	0.034	2.4	0.185	32.8	Fri
4048	3	70	0.021	0.383	0.034	1.375	0.185	32.8	Fri
4048	4	80	0.021	0.343	0.028	2.4	0.114	9.3	Fri
4048	5	300	0.021	0.343	0.028	1.393	0.114	9.3	Fri
4067	1	30	0.033	0.368	0.008	1.447	0.941	0.3	Drænet
4067	2	40	0.033	0.338	0.008	2.3	0.826	0.2	Drænet
4067	3	70	0.033	0.338	0.008	1.444	0.826	0.2	Drænet
4067	4	80	0.034	0.35	0.1	1.407	0.21	0.3	Drænet
4067	5	500	0.034	0.35	0.009	1.407	0.21	0.3	Drænet

Tabel 2eHydrauliske egenskaber for Typejordene udviklet på baggrund af jordbundsdata i georegion Øst danmark. Hydralske parametre er generet med pedo transferfunktionen P10 (Børgesen et al.,2008)

Modeljord	Horisont	Nedre grænse	Hydrauliske parametre						Dræn
			$\theta_{res}$	$\theta_{sat}$	$n$	$alpha$	$l$	$K_0$	
5016	1	30	0.02	0.387	0.036	1.589	0.127	37.8	Drænet
5016	2	40	0.024	0.37	0.023	2.4	0.145	5.9	Drænet
5016	3	70	0.024	0.37	0.023	1.371	0.145	5.9	Drænet
5016	4	80	0.023	0.322	0.1	2.4	0.328	1.3	Drænet
5016	5	500	0.023	0.322	0.017	1.415	0.328	1.3	Drænet
5018	1	30	0.02	0.391	0.037	1.587	0.037	42.0	Fri
5018	2	40	0.022	0.385	0.029	2.4	-0.039	18.7	Fri
5018	3	70	0.022	0.385	0.029	1.36	-0.039	18.7	Fri
5018	4	80	0.021	0.339	0.026	2.4	0.259	6.0	Fri
5018	5	300	0.021	0.339	0.026	1.397	0.259	6.0	Fri
5037	1	30	0.025	0.381	0.018	1.388	0.647	3.2	Fri
5037	2	40	0.033	0.338	0.008	2.3	0.826	0.2	Fri
5037	3	70	0.033	0.338	0.008	1.444	0.826	0.2	Fri
5037	4	80	0.034	0.35	0.009	1.407	0.21	0.3	Fri
5037	5	300	0.034	0.35	0.009	1.407	0.21	0.3	Fri
5038	1	30	0.025	0.402	0.022	1.369	0.365	7.5	Drænet
5038	2	40	0.022	0.385	0.029	2.4	-0.039	18.7	Drænet
5038	3	70	0.022	0.385	0.029	1.36	-0.039	18.7	Drænet
5038	4	80	0.021	0.339	0.1	2.4	0.259	6.0	Drænet
5038	5	500	0.021	0.339	0.026	1.397	0.259	6.0	Drænet
5046	1	30	0.027	0.395	0.016	1.392	0.487	3.3	Drænet
5046	2	40	0.024	0.37	0.023	2.4	0.145	5.9	Drænet
5046	3	70	0.024	0.37	0.023	1.371	0.145	5.9	Drænet
5046	4	80	0.023	0.322	0.1	2.4	0.328	1.3	Drænet
5046	5	500	0.023	0.322	0.017	1.415	0.328	1.3	Drænet
5047	1	30	0.027	0.395	0.016	1.392	0.487	3.3	Drænet
5047	2	40	0.033	0.338	0.008	2.3	0.826	0.2	Drænet
5047	3	70	0.033	0.338	0.008	1.444	0.826	0.2	Drænet
5047	4	80	0.034	0.35	0.1	1.407	0.21	0.3	Drænet
5047	5	500	0.034	0.35	0.009	1.407	0.21	0.3	Drænet
5048	1	30	0.027	0.402	0.017	1.386	0.374	4.5	Fri
5048	2	40	0.022	0.385	0.029	2.4	-0.039	18.7	Fri
5048	3	70	0.022	0.385	0.029	1.36	-0.039	18.7	Fri
5048	4	80	0.021	0.339	0.026	2.4	0.259	6.0	Fri
5048	5	300	0.021	0.339	0.026	1.397	0.259	6.0	Fri
5067	1	30	0.033	0.368	0.008	1.447	0.941	0.3	Drænet
5067	2	40	0.033	0.338	0.008	2.3	0.826	0.2	Drænet
5067	3	70	0.033	0.338	0.008	1.444	0.826	0.2	Drænet
5067	4	80	0.034	0.35	0.1	1.407	0.21	0.3	Drænet
5067	5	500	0.034	0.35	0.009	1.407	0.21	0.3	Drænet
5077	1	30	0.04	0.369	0.006	1.471	1.712	0.2	Drænet
5077	2	40	0.033	0.338	0.008	2.3	0.826	0.2	Drænet
5077	3	70	0.033	0.338	0.008	1.444	0.826	0.2	Drænet
5077	4	80	0.034	0.35	0.1	1.407	0.21	0.3	Drænet
5077	5	500	0.034	0.35	0.009	1.407	0.21	0.3	Drænet

**Tabel 2f**Hydrauliske egenskaber for Typejordene udviklet på baggrund af jordbundsdata ifor vådbundsdata for hele Danmark. Hydralske parametre er generet med pedo transferfunktionen P10 (Børgesen et al.,2008)

Modeljord	Horisont	Nedre grænse	Hydrauliske parametre Van Genuchten hydrauliske parametre						Dræn
			$\theta_{res}$	$\theta_{sat}$	$n$	$alpha$	$l$	$K_0$	
6998	1	30	0.029	0.42	0.014	1.411	0.991	2.2	Grundvand
6998	2	40	0.027	0.397	0.014	2.4	0.89	1.7	Grundvand
6998	3	70	0.027	0.397	0.014	1.405	0.89	1.7	Grundvand
6998	4	80	0.023	0.355	0.022	2.4	0.239	4.2	Grundvand
6998	5	300	0.023	0.355	0.022	1.385	0.239	4.2	Grundvand
6999	1	30	0.102	0.597	0.001	2.845	8.102	2.2	Grundvand
6999	2	40	0.053	0.602	0.004	2.4	4.173	1.5	Grundvand
6999	3	70	0.053	0.602	0.004	1.663	4.173	1.5	Grundvand
6999	4	80	0.023	0.355	0.022	2.4	0.239	4.2	Grundvand
6999	5	300	0.023	0.355	0.022	1.385	0.239	4.2	Grundvand

## Referencer:

- Børgesen, C.D. & Schaap, M.G., 2005. Point and Parameter Pedotransfer Functions for water retention predictions for Danish soils. *Geoderma* 127, 154-167.  
[www.elsevier.com/locate/geoderma](http://www.elsevier.com/locate/geoderma)
- Børgesen, C.D. Iversen B. V. O.H. Jacobsen, Schaap, M.G., 2008. Pedotransfer functions estimating soil hydraulic properties using different soil parameters. *Hydrological Processes.* ; vol. 22, nr. 11, s. 1630-1639.
- Børgesen, C.D 2009 Kalibrering og validering af Daisy modellen på 25 mark forsøgsserier dyrket under varierende klima og jordbundsforhold. DJF rapport under udarbejdelse.
- Madsen, H.B.; Nørr, A.H. & Holst, K.A. 1992. Den danske Jordklassificering. Atlas over Danmark, serie I, bind 3. Kgl Geografisk Selskab.
- Greve, M.H. Greve, M.B, Bøcher, P.K, Balstrøm. T., Madsen H. B, Krogh, L (2007). Generating a Danish raster-based topsoil property map combining choropleth maps and point information. *Geografisk Tidsskrift* 107 (2).
- Mualem, Y., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.*, 12, 3, 513-522.
- Skriver, K. og J. Hedegård. 1973. Undersøgelser over danske jorders dræningstilstand. *Planteavl* 23, 2, 2055-59.
- Styczen, M., Hansen, S, Jensen, L. S., Svendsen, H., Abrahamsen, P., Børgesen, C. D., Thirup, C. & Østergaard, H. S. (2006): Standardopstillinger til Daisy-modellen. Vejledning og baggrund. Version 1.2, april 2006. DHI Institut for Vand og Miljø. 62 pp.
- van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc Am. J.* 44, pp 892-898.
- Wösten J.H.M., A. Lilly, A. Nemes and C. Le Bas. 1999. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma* 90. pp169-185.

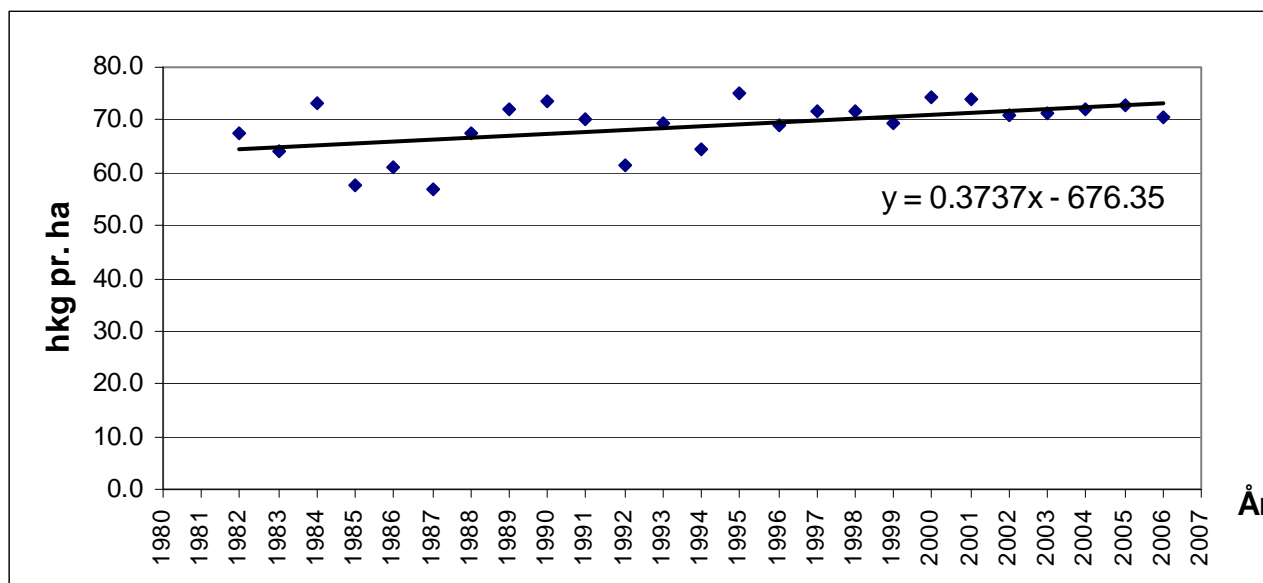
### Bilag 3. Daisy N-udbytte kalibrering

Christen Duus Børgesen og Finn P. Vinther.

#### *Udbyttekalibrering i forbindelse med VMPIII midtvejsevaluering 2008.*

For at de modelberegne N balance resultater, hviler på et så klima normaliseret grundlag som muligt, er der anvendt regionale klima data for perioden 1990-2005 i de grundlæggende modelberegninger i Daisy databasen, således at de nyeste klima effekter indgår i grundlaget for modelberegningerne. De årlige registrerede amts udbytter er i høj grad korreleret til det aktuelle dyrknings års klimatiske betingelser og kan ikke direkte anvendes til en kalibrering af N udbyttens niveau.

Samtidig med at der er en klima sammenhæng mellem afgrøder og N udbytte, er der også sket en udvikling af nye sorter, som har betinget en stigning i udbyttet for en række afgrøder (se fig. 1). Den generelle udvikling beskrevet ved den lineære regression viser at der i perioden forekommer en årlig udbytte stigning på 0.37 hkg pr. ha, således at hvis de registrerede udbytter i starten af klimaperioden (i starten af 1990-erne ) anvendes i modelberegning af en klimanormaliseret N balance, vil det generelle N udbytte niveau blive undervurderet set i forhold til de udbytter der opnås med de sorter der anvendes i dag.



**Fig 1. Årlige vinterhvede udbytte opgjort på landsplan (1982-2006) og udbytte trend opgjort ved lineær regression.**

For at kompensere for denne undervurdering er der besluttet at modelberegningerne for dyrkningårene 2003, 2004, 2005, 2006 og 2007 klimanormaliseres på baggrund af de seneste fem års udbytter. Dette vil praktisk sige, at der beregnes gennemsnits N udbytter på baggrund af amtsudbytter for perioden 2001-2005 og de årlige N udbytter korrigeres med en generel afgrøde

korrektion, således at gennemsnits N udbyttet for hele perioden (1990-2005) korrigeres til N udbyttet registreret i årene (2001-2005).

### *Udbyttekalibrering af de grundlæggende Daisy modelberegninger*

For at kunne modelberegne realistiske mark N balancer både på regional skala men også på national skala, er det vigtigt at de enkelte poster beregnes med så stor nøjagtighed som muligt. Initial Daisy simuleringer med kombinationen af de generelle afgrødeparametre (Daisy standard afgrøde parametre, (Styczen et al.,2006)) sammen med typejordene opstillet for hele landet (Bilag 2, Jordbunddata) og anvendelse af regionale klima parametre (Bilag 1 Klima data) viste, at Daisy modellen i standardversion, ikke simulerede N udbytter på niveau med udbyttedata fra amtsstatistikken. Derfor er der forud for opstilling af SKEP/Daisy databasen foretaget en modelkalibrering af afgrøde modulet i Daisy modellen.

SKEP/Daisy modelsystemet anvender en database med grundlæggende Daisy modelberegninger, hvor der er modelberegnet forskellige kombinationer af årlige mark N balancer under en række kombinationer af sædskifter, jordbund, klima, vanding og N gødskning. Databasen består af to sæt modelberegninger, hvor der er anvendt to sæt forskellige afgrødeparametre. Øvrige parametre: sædskifter, jordbund, klima, vanding og N gødskning er ens i de to data sæt. Det ene datasæt er i gennemsnit kalibreret til at give et 10-15% højere N udbytte end registreret i amtet, og det andet datasæt til 10-15% lavere N udbytte end registreret i amtet. Denne kalibrering er den første grove kalibrering af SKEP/Daisy modellen.

Modelkalibreringen af afgrødeparametrene gennemføres efter de principper Daisy ståbien anbefaler (Styczen et al. 2006). Kalibreringen gennemføres kun for de seks nedbørszoner (middel nedbør) , hvor der anvendes N udbytter på amtsniveau. Disse afgrøde parametre anvendes både i nedbørsområdet med lavt og høj nedbørsmængder. For at kalibreringen kan afspejle jordtypeforskelle mellem typejordene (eksempelvis JB1 jord og JB7 jordtyper) anvendes normudbytterne fra Plantedirektoratet for de forskellige jordtyper (eksempelvis JB1 og JB3), til at korrigere udbyttene fra amtsstatistikken til et jordtype specifikt N udbytteneiveau.

For kombinationer af jordtyper, klimazone (6 klimazoner (middelnedbør)) kalibreres afgrødemodulet i Daisy modellen ved 1 N (dvs. normgødskning med handelsgødning) til at modelberegne en N balance der henholdsvis ligger 10-15% over det registrerede N udbytte i amtet og 10-15% under det registrerede N udbytte i amtet. Kalibreringen er foretaget ved at justere Daisys' "fotosynteseaktivitet" (DSEff), således at N udbyttet som gennemsnit for årene 1990-2005 svarer til gennemsnitsudbyttet i amtet for perioden. 2001-2005. ( Danmarks Statistik 2001, 2002, 2003, 2004 og 2005).

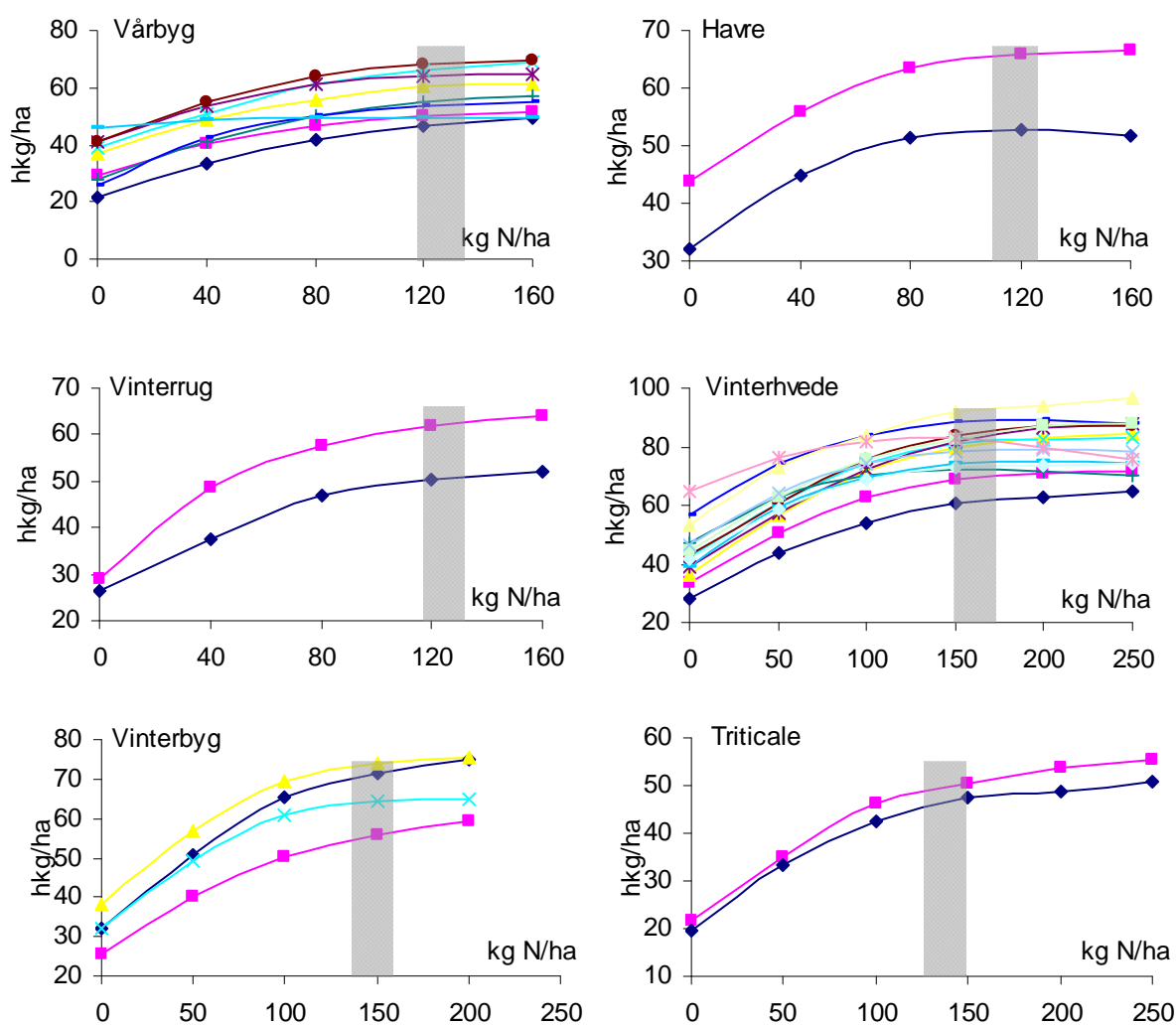
For at opnå korrekt N-koncentration og C:N-forhold, hvilket er specielt vigtigt i halm der nedmuldes, har det endvidere i nogle afgrøder/jordtyper været nødvendigt at justere optagelsen af kvælstof (MxNH<sub>4</sub>up og MxNO<sub>3</sub>up). For at opnå N udbytte niveauer for industrikartofler korrigeres endvidere "Fm" parameteren.

### *1.2 N-respons*

Af tidsmæssige årsager har det ikke været muligt at gennemføre afgrødekalibreringer ved andre N niveauer end 1 N. Tidligere undersøgelser med Daisy modellen har vist usikkerhed på beregningen

af afgrøde N respons ved højere N niveau end norm gødskning med N, men da der kun er relativt få marker der gødes ved et højere N niveau end normgødskning, er der i opstillingen af SKEP/Daisy databasen ikke modelberegnet med gødningskombinationer højere end norm gødskning.

For de marker der har en N gødskning over afgrødens N norm, er der i SKEP/Daisy modelberegninger modelberegnet et meroptag af kvælstof ud fra N respons kurver, opstillet på grundlag af Landscentrets udbytteforsøg med stigende mængder kvælstof (Landsforsøgene, 2005). Resultater fra disse forsøg er gengivet i Fig. 2, hvor også niveauer for Plantedirektoratets N-norm er angivet. Overskydende kvælstof (Tilført over N normen minus mer optagelse i afgrøden t) medfører primært merudvaskning og opbygning i jordens organiske pulje)



**Fig.2. Udbytte som funktion af N-tilførsel i kornafgrøder. Fra Landsforsøgene (2005). Skraveret felt angiver niveauet for Plantedirektoratets norm-gødskning (1N).**

*Referencer*

Danmarks Statistik. Statistikbanken for årene 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007.

Landsforsøgene (2005) Oversigt over landsforsøgene 2005. Dansk Landbrugsrådgivning, Skejby, Århus.

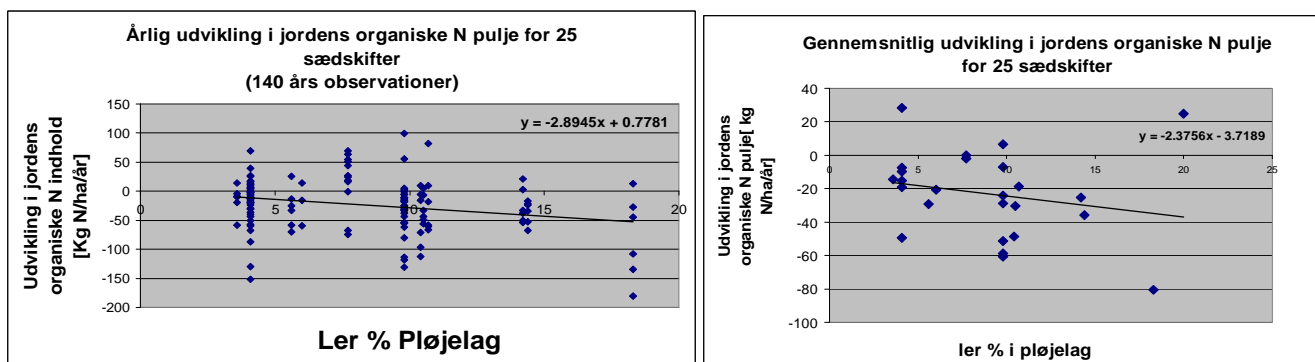
Styczen, M., Hansen, S, Jensen, L. S., Svendsen, H., Abrahamsen, P., Børgesen, C. D., Thirup, C. & Østergaard, H. S. (2006): Standardopstillinger til Daisy-modellen. Vejledning og baggrund. Version 1.2, april 2006. DHI Institut for Vand og Miljø. 62 pp.

## Bilag 4 : Kalibrering af udviklingen i jordens organiske N puljer og denitrifikation.

Christen Duus Børgesen

Der er gennemført en omfattende validering /kalibrering af Daisy modellen på baggrund af data fra 25 forsøgsdatasæt omfattende i alt 140 årlige opgørelser af N gødskning, N udbytter og N udvaskning under forskellige klima og jordbundsforhold (Børgesen, 2009). Forsøgene omfatter både efterafgrøde forsøg, forsøg hvor der er variation i N gødsknings niveau, klimaforhold, jordtype og sædskifte. Markorsøgene er overvejende handelsgøde sædskifter. Resultaterne af forsøgene vurderes til bedst at kunne repræsenterer planteavlssædskifter, da der primært er kornafgrøder der indgår i sædskifterne.

I figur 1 er vist et uddrag af resultaterne fra validering /kalibrering af Daisy modellen (Børgesen, 2009). Figuren viser sammenhængen mellem årlige udvikling i jordens organiske N pulje (opgjort ud fra en N balance korrigeret for forskel i N-min ved start og slut på forsøget) også lerindholdet i pløjelaget (Figur 1 th). I figur 1 (tv) er også vist den gennemsnitlige udvikling i jordens organiske N pulje som funktion af lerindholdet i pløjelaget. Figuren viser at der er en tendens til at med større lerindhold i pløjelaget, forekommer der en større nedgangen i jordens organiske N puljer. Af figur 1 ses at korrelationen ikke er særlig god mellem lerindhold og udviklingen i jordens organiske pulje, hvorimod trenden er entydig. Den store variation forklares overvejende ved forskelle i sædskifter. Samme tendens som der ses i Figur 1 ses også i kvadratnetsundersøgelsen (Heidmann et al., 2001) for forskellige jordtyper .



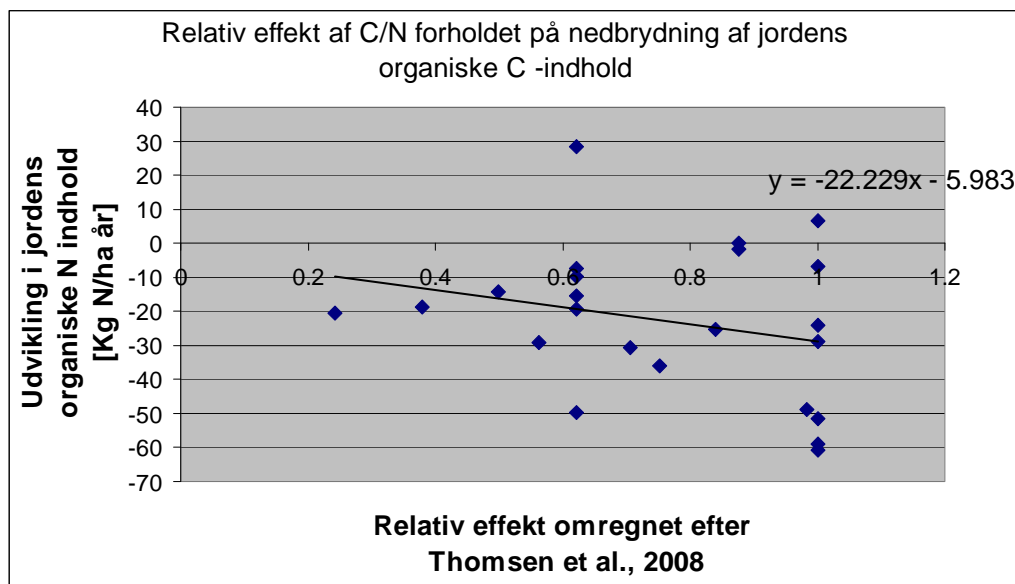
Figur 1. Udvikling i jordens organiske N pulje som funktion af pløjelagets lerindhold for 25 forsøg Børgesen 2009, Under udarbejdelse).

Thomsen et al., 2008 viste at for en række jordtyper kunne omsætningshastigheden af organisk stof i jorden beskrives ud fra C/N forholdet i jordens pløjelag. Da C/N forholdet i pløjelaget er korreleret til jordens lerindhold, er der for de 25 forsøg opstillet en generel sammenhæng mellem den relative omsætningshastighed, omregnet ud fra C/N forholdet i pløjelaget, også udviklingen i jordens organiske N pulje. Af figur 2 ses denne sammenhæng ved et højere C/N forhold forekommer en mindre negativ udvikling i jordens organiske pulje. Trenden er således den samme som for lerindholdet i pløjelaget. I figur 2 ses dette eksempelvis ved en relativ effekt på 0.5 er lig med et C/N forholdet = 14 og en udviklingen i jordens organiske N puljer på  $-15 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  . Hvis

C/N forholdet er på 10 fås en relativ effekt =1 ( X akse ) og her er nedbrydningen i jordens organiske puljer på ca.  $-30 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ .

I opstillingen af Daisy databasen er der i samråd med Christensen, 2008 (pers. komn) og Pedersen, 2008 (pers. komn.) valgt, at anvende metoden vist i figur 2 som udgangspunkt for relation mellem nedbrydning af jordens organiske pulje også jordtypen.

For alle jordtyper anvendt for de fem Geo-regioner (Bilag 2 jordbundsdata) er der gennemført en kalibrering af fordelingen af SOM puljerne således at udviklingen i jordens organiske stofindhold følger sammenhængen vist i figur 2. I kalibreringen er den relative fordeling mellem SOM1 (langsom omsættelige pulje) og SOM2 (hurtig omsættelig pulje) været konstant (1:1) og SOM3 (Pulje af inert organisk humus) er blevet varieret. Kalibreringen følger i øvrigt anbefalingerne for metode til kalibrering af puljefordeling angivet i (Styczen et al.,2006). Kalibreringen følger således ikke antagelsen om en nul-udvikling i jordens organiske N, For sædskifter med vedvarende græs er der antaget, at der ingen udvikling forekommer i jordens organiske C eller N puljer. Her er der anvendt et andet forhold mellem SM1:SOM2 og SOM3 for vedvarende græs som for afgrøder i omdrift.



Figur 2. Udviklingen i jordens organiske pulje beskrevet med relationen mellem C/N forhold i jorden og relativ effekt på omsætningen af kulstof efter Thomsen et al., 2008.

#### Kalibrering af denitrifikation i Daisy modellen.

Daisy modellen modelberegner denitrifikationen som en funktion af dels omsætningen af organisk stof i jorden (udtrykt ved CO<sub>2</sub> frigivelses raten) samt vandmætningsgraden af jorden udtrykt som relativ vandmætning. I SimDen rapporten (Vinter & Hansen 2004) er tre forskellige metoder til beskrivelse af vandmætningens betydning for den Daisy denitrifikation afprøvet og sammenlignet med en SimDen beregnet denitrifikation. I modelberegninger med Daisy modellen for de tidligere omtalte 25 forsøg, fandtes en dårlig sammenhæng mellem den Daisy modelberegnete denitrifikation, hvor der anvendtes standard parametre for vandmætningsgraden (Vinter & Hansen 2004) og så en SimDen beregnet denitrifikation. Det skyldes sandsynligvis at der anvendes kalibrerede hydrauliske parametre i kalibreringen / valideringen, hvor der i Vinter & Hansen 2004 anvendtes standard af de hydrauliske parametre for standard jorde fra (Styczen et al.,2006). For

hver typejord er der foretaget en kalibrering af Daisy modellens således at den Daisy simulerede denitrifikationen for vinterhvede gødet med handelsgøning er på niveau med den SimDen beregnede denitrifikation.

#### *Referancer*

- Børgesen, C.D 2009 Kalibrering og validering af Daisy modellen på 25 mark forsøgsserier dyrket under varierende klima og jordbundsforhold. DJF rapport under udarbejdelse.
- Heidmann, T., Nielsen, J., Olesen, S.E., Christensen, B.T., Østergaard, H.S., 2001. Ændringer i indhold af kulstof og kvælstof i dyrket jord: Resultater fra kvadratnettet 1987-1998. DJF rapport nr. 54, Markbrug, 73 pp.
- Styczen, M., Hansen, S, Jensen, L. S., Svendsen, H., Abrahamsen, P., Børgesen, C. D., Thirup, C. & Østergaard, H. S. (2006): Standardopstillinger til Daisy-modellen. Vejledning og baggrund. Version 1.2, april 2006. DHI Institut for Vand og Miljø. 62 pp.
- Thomsen, I. K., Petersen, B. M., Bruun, S., Jensen, L. S. and Christensen, B. T. 2008. Estimating soil C loss potentials from C to N ratio. Soil Biol. Biochem. 40, 849-852.
- Vinther, F.P., S. Hansen 2004. SimDen – en simpel model til kvantificering af N<sub>2</sub>-emmission og denitrifikation. DJF rapport nr.104. Markbrug. Danmarks Jordbrugsforskning.