

Hvad betyder geologien for drænvand?

Transport af nitrat via dræn spiller en vigtig rolle for nitratbelastningen til de danske kystvande. Vores studier har demonstreret, at drænaftstrømning i stor udstrækning styres af den underliggende geologi, og at etablering af dræn bevirker, at en mindre andel af den nitrat, der udvaskes fra markerne, fjernes i grundvandszonen og i stedet når frem til kysterne.

ANNE LAUSTEN HANSEN, ANKER LAJER HØJBERG, BO VANGSØ IVERSEN, CHARLOTTE KJÆRGAARD & JENS CHRISTIAN REFSGAARD

Motivation – to spørgsmål

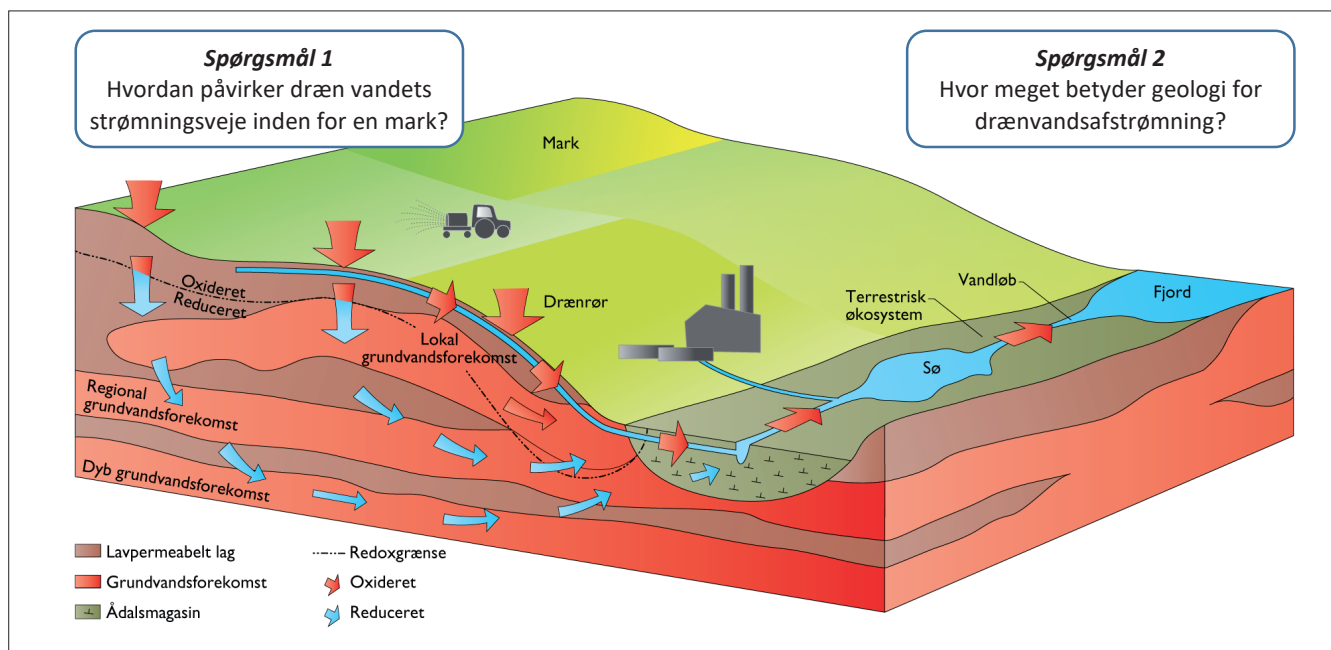
Halvdelen af landbrugsjordene i Danmark er dræned. Dræn afleder grundvandet fra rodzonen for at mindske gener for markarbejdet og afgrødernes vækst. Dræn er derfor afgørende for en høj produktivitet. I forhold til nitrattransporten har dræning imidlertid den uønsket bivirkning, at den i et vist omfang kortslutter vandets strømningsveje. Med dræning vil en mindre andel af overskuds-

nedbøren fra markerne tage den lange tur ned gennem grundvandszonen for i stedet at løbe i drænene og herfra blive ledt direkte til vandløb. Eftersom en del af vandstrømningen gennem grundvandszonen passerer under redoxgrænsen, hvor nitraten fjernes, indebærer dræning generelt en øget nitrattransport til vandmiljøet.

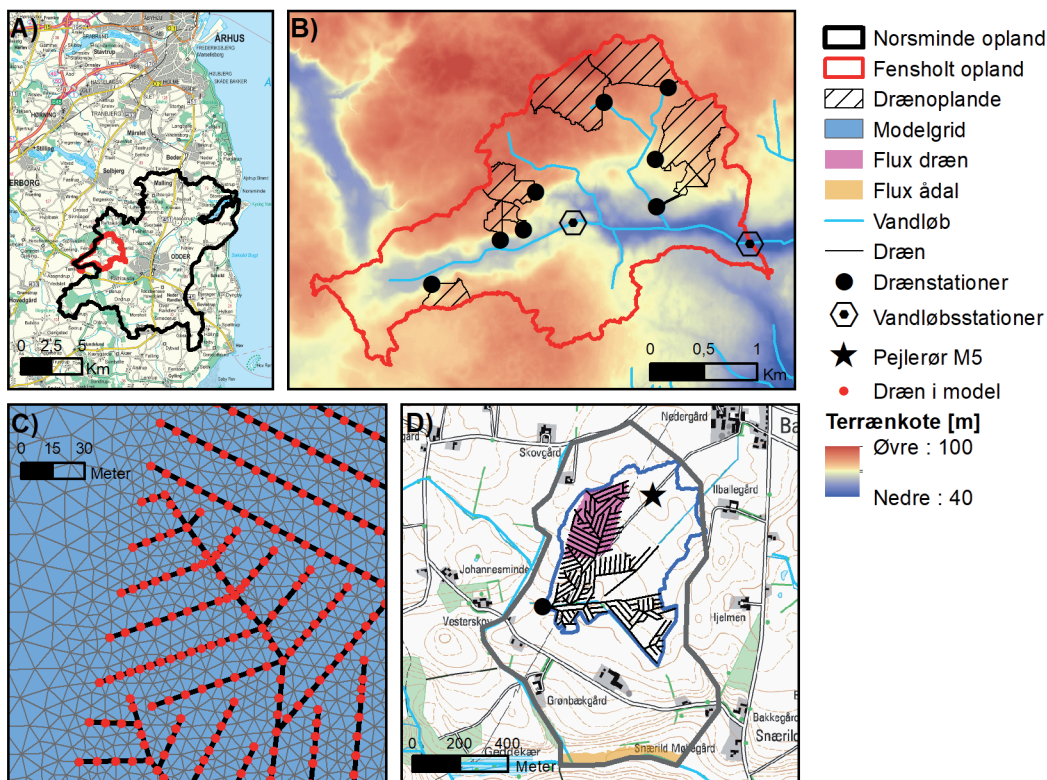
Mini-vådområder er i disse år det vigtigste virkemiddel til yderligere at nedbringe nitratbelastningen til fjorde og kystnære vande. For at kunne placere mini-vådområderne bedst muligt i landskabet er det nødvendigt at vide, hvor meget vand, der løber i drænene, og hvor vandet kommer fra. Drænmålinger viser, at den simple opfattelse, at drænrør fjerner alt overskudsvand fra en mark, ved at vandet

siver ned gennem rodzonen og herefter løber ind i drænrør i bunden af rodzonen, ikke holder i virkeligheden.

Figur 1 viser en ofte anvendt illustration af vandets strømningsveje i et morænelandskab. Der er imidlertid for lidt viden om, hvordan drænrør påvirker vandets strømningsveje i landskabet. Vores undersøgelser bidrager til svar på to spørgsmål. Det første spørgsmål er: Hvor meget af vandet tager den lange vej gennem det øvre grundvand og passerer under redoxgrænsen, og hvordan ændres strømmingen ved dræning? Det andet spørgsmål er: Hvad styrer vandets strømningsveje omkring drænrør - er det jordtyperne i rodzonen, eller er det de geologiske forhold i jordlagene under drænet?



Figur 1. Skematisk forståelse af vandets strømningsveje i et drænet morænelandskab.



Figur 2. A: Placeringen af Norsminde og Fensholt oplandene som er modelleret med MIKE SHE i 100 m beregningsnet. B: Placering af de 8 drænoplande i Fensholt. C: FEFLOW beregningsnet i drænopland D1. D: Oplandet (D1) som er modelleret med FEFLOW.

Drænoplande i Fensholt oplandet ved Odder

Vi har undersøgt de to spørgsmål ved felt- og modelstudier i det 6 km² store Fensholt opland vest for Odder (Figur 2), hvor drænastrømning bliver målt i 8 drænoplande. For det ene drænopland, D1, har vi desuden detaljerede målinger af grundvandsstand. Fensholt oplandet er kuperet. Drænoplandet D1 ligger eksempelvis på en bakkeskråning mellem kote 87 m og kote 70 m, mens ådalen ca. 500 m syd for drænuudløbet ligger i kote 45 m.

Til at belyse spørgsmål 1 har vi opstillet en meget detaljeret hydrologisk model for et 92 ha opland (Figur 2D). Modellen er opstillet i softwareprogrammet FEFLOW med 22.501 trekantede elementer (sidelængder varierende mellem 2,8 m og 26,6 m). Modellen er afgrænset nedad i 22 m dybde og har en vertikal opløsning i 27 vertikale lag, således at 3D modellen i alt indeholder 607.527 beregnings-elementer. Vi har baseret jordtyperne for de øverste 3 m på jordartskortet suppleret med DualEM geofysiske målinger, mens geologien fra 3 m til 22 m er baseret på data fra boringer og SkyTEM geofysiske målinger. Alle drænene i oplandet er indlagt i modellen i henhold til et drænkort fra 1944, således at FEFLOW kan simulere strømning imellem og ind i de enkelte drænrør. Flere detaljer om modellen kan findes i /1/.

Spørgsmål 2 er undersøgt ved hjælp af en

hydrologisk model for hele Norsmindeoplandet, opstillet i MIKE SHE i et 100 m beregningsnet. For at undersøge betydningen af geologisk usikkerhed har vi genereret 10 mulige geologier ud fra boringsdata og SkyTEM data. De geologiske modeller er alle i overensstemmelse med boringsdata, mens interpolationerne mellem boringerne er forskellige for hver model. SkyTEM data er benyttet til at angive fordelingen af sand og ler mellem boringerne, således at en SkyTEM resistivitet, der fx svarer til 60% sandsynlighed for sand, vil have sand i det pågældende punkt i 6 ud af de 10 geologiske modeller. De øverste 3 m af den geologiske model er defineret ud fra GEUS' jordartskort, og er således konstant for de 10 modeller. Flere detaljer om de geologiske og hydrologiske modeller kan findes i /2/ og /3/. For hver af de 10 hydrologiske modeller er der trukket resultater ud af simulerede drænvandsafstrømninger for de 8 drænoplande.

Dræn påvirker udledning af nitrat fra et opland.

FEFLOW modellen er i stand til at reproducere den målte dynamik både i grundvandsstrykniveau (Figur 3A, 48 yderligere eksempler kan findes i /1/) og i afstrømning fra det 33 ha store drænopland D1 (Figur 3B). Figur 3C viser simuleringer af vandløbsafstrømning for hele det 92 ha opland, som udover de højtliggende drænoplande D1 (33 ha) og D4

(4 ha) indeholder ådalen. Den observerede vandføring i Figur 3C er beregnet som differensen mellem de to vandløbsstationer proportioneret med deloplandet mellem de to stationer. Det fremgår af Figur 3C, at både observationer og simuleringer viser, at der løber vand i vandløbet hele sommeren, mens drænene i perioder er tørre (Figur 3B). Drænastrømningen i Figur 3B er vist i m³/dag og ikke i mm/dag ligesom afstrømningen fra det større opland i Figur 3C, fordi der er stor usikkerhed om hvor stort et opland, drænvandet kommer fra.

Figur 4 viser udtæk fra FEFLOW modellen af vandfluxe fra et beregningslag til det underliggende beregningslag. Fluxene er vist for en 29 måneders simuleringsperiode, hvor de nedadgående og de opadgående årlige vandfluxe er opgjort hver for sig. Figur 4A og 4B viser fluxe for et højbundsområde i D1 drænoplandet (vist med signaturen 'Flux dræn' i Figur 2D), mens Figur 4C og 4D viser fluxe for et område omkring åen (vist med signaturen 'Flux ådal' i Figur 2D). Endvidere er der vist resultater fra en referencemodel, som indeholder de dræn, vi tror der findes i D1 oplandet (blå søjler), og fra en model, hvor vi har fjernet drænene (grå søjler).

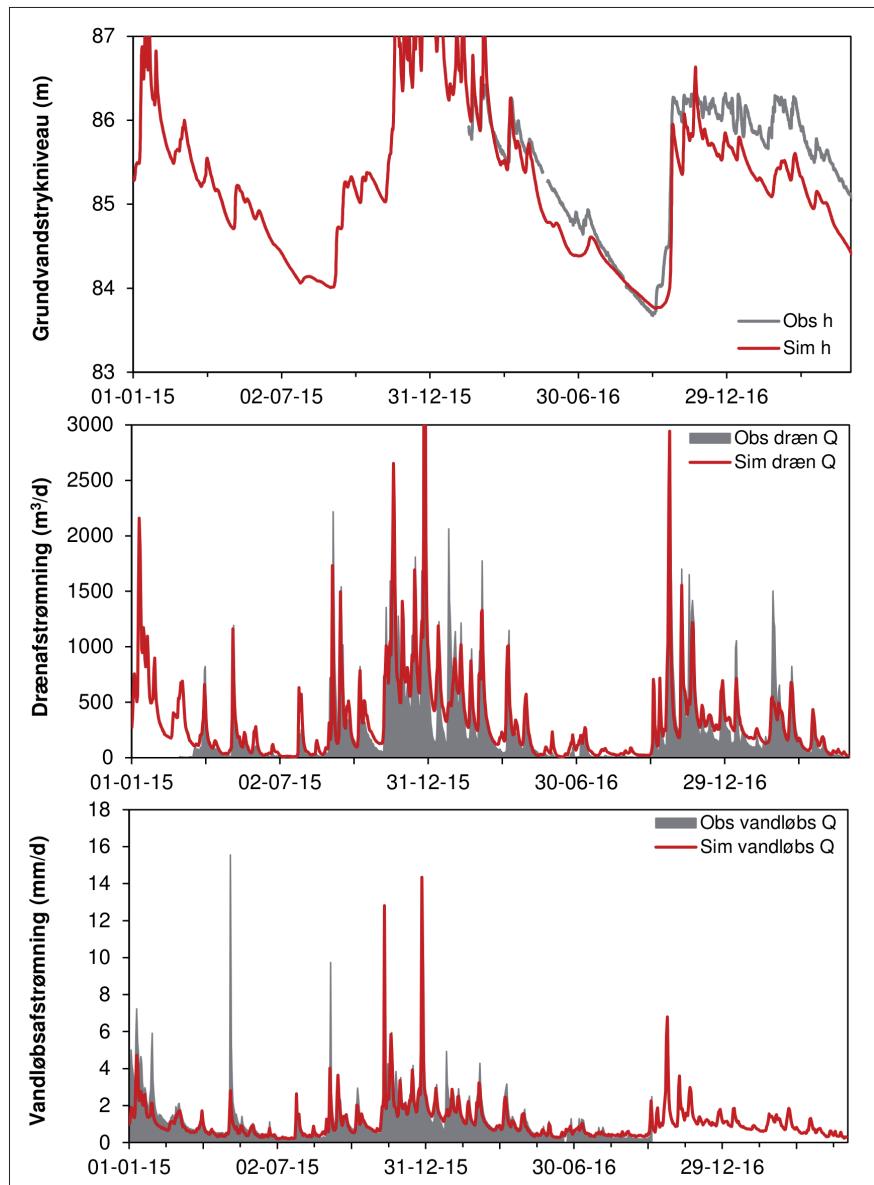
På højbundsgrunden er der både en nedadrettet og en (mindre) opadrettet strømning i alle dybder, mens billedet er markant anderledes i ådalen, hvor der er en meget stor opa-

drettet flux. Samtidig viser forskellen mellem de blå og de grå søjler, hvordan strømningerne tydeligt påvirkes af drænene i 1 m dybde. Figur 4A viser, at vandet fra markerne på bakketoppen primært siver nedad, indtil ca. halvdelen af det bliver fanget af drænene. Figur 4B viser, at der i dele af oplandet er en opadgående vandstrømning fra dybere lag til drænen. Dvs. at den del af vandet, der ikke bliver fanget af drænen i første omgang strømmer ned ad bakkeskråningen og længere nedstrøms enten dukker op i drænen eller strømmer helt ned til ådalen, hvor det presses op i åen. Disse modelresultater stemmer godt overens med, at drænet løber tør om sommeren (Figur 3B), hvor åen stadig har et betydeligt baseflow (Figur 3C), som ifølge modellen kommer fra grundvand i nogle meters dybde, der løber ned ad bakken til ådalen.

Dræn betyder altså, at strømningsvejene bliver mere overfladenære med den konsekvens, at en mindre andel af vandet på dets "rejse" mod åen passerer under redoxgrænsen, som på bakkeskråningen ligger i ca. 3,7 m dybde. Dræn betyder derfor, at en mindre andel af den nitrat, som udvaskes fra rodzonen, bliver fjernet ved nitratreduktion i grundvandet. I det undersøgte opland skønner vi ud fra Figur 4A, at vandstrømningen ned under redoxgrænsen i 3,7 m dybde nedsættes med ca. 20% af den vandmængde, der strømmer ud fra rodzonen i ca. 1 m dybde. Herudfra skønner vi at, at drænen har bevirket en nedsættelse af nitratfjernelsen med ca. 20%.

Geologien er afgørende for drænaftstrømning.

De simulerede afstrømninger som gennemsnit for perioden 1999-2013 for de 8 drænoplande og for hele Fensholt oplandet ses i Figur 5. På figuren er den geologisk betingede usikkerhed for hvert opland illustreret med de blå søjler, som viser minimums- og maksimumsafstrømninger blandt de 10 forskellige hydrologiske/geologiske modeller. De blå søjlers højde viser, at usikkerheden på geologien har stor betydning for de simulerede drænaftstrømninger. Ligeledes kan vi konstatere, at der er meget store forskelle mellem afstrømningerne i de 8 oplande. Disse forskelle kan ikke forklares ved forskelle i jordtyper i rodzonen eller fordampning fra afgrøderne, som i modellen er ensartet på tværs af drænoplande. Usikkerhederne på geologien (de blå søjler) kan ydermere ikke forklare forskellen i den arealspecifikke drænaftstrømning mellem drænoplandene. I 2/ er det analyseret i hvilken grad drænaftstrømningen kan relateres til hhv. den topografiske beliggenhed af drænen eller den underliggende geologi.



Figur 3. Simulerede grundvandstrykniveauer og vandføringer. A: Boring M5 i 3 m dybde. B: drænopland D1. C: Oplandet mellem de to vandløbsstationer.

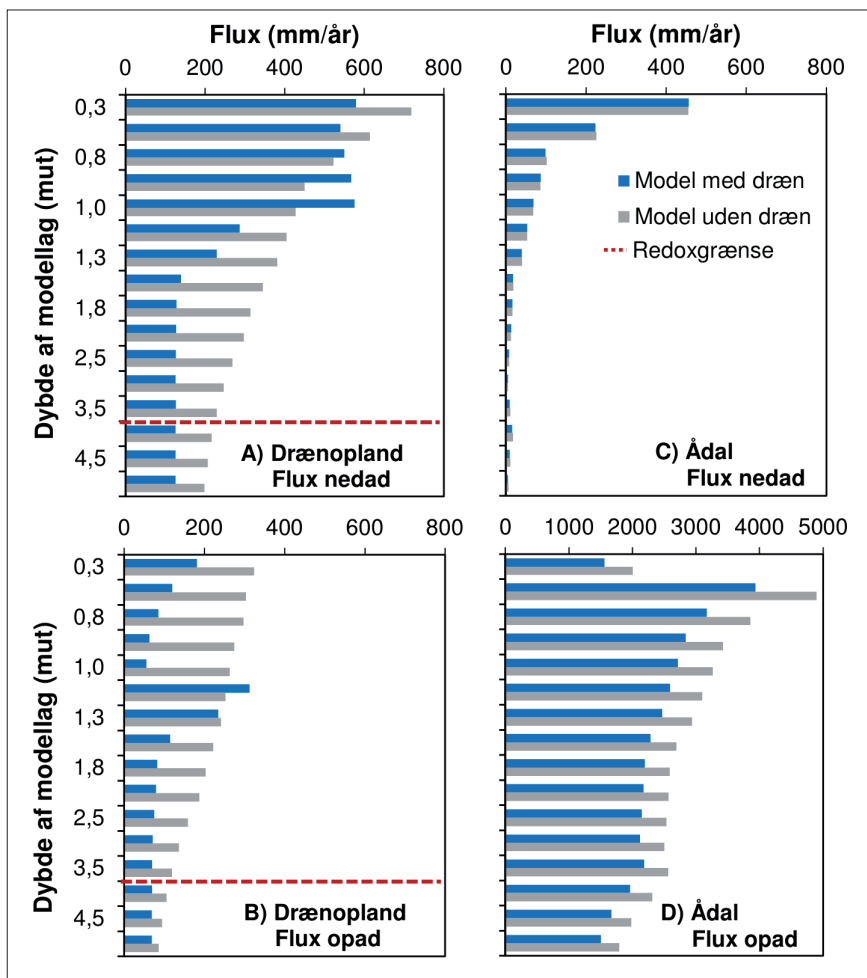
Her blev det fundet, at geologien har størst betydning, hvor en højere andel af sand under drænene resulterer i lavere drænaftstrømning. Det er imidlertid ikke kun andelen af sand lige under drænen, men helt ned til 20 m under terræn, der er betydende. Dette indikerer, at drænaftstrømningen er betinget af ikke blot den øvre geologi men den samlede geologiske struktur i undergrunden.

Perspektiver

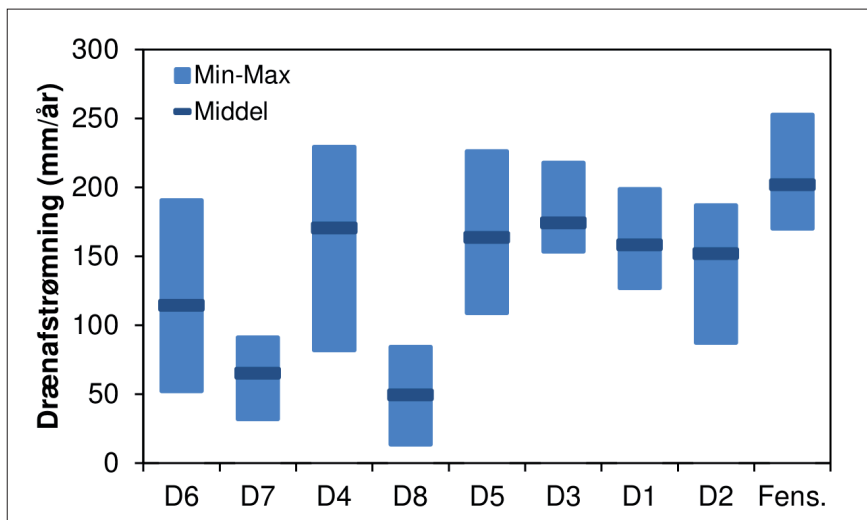
Vores undersøgelser har givet ny forståelse af dræns betydning for vandets strømning i et morænelandskab med systematisk dræning og betydningen af geologien. Konklusionerne på de to spørgsmål er: 1) dræning har en meget afgørende indflydelse på vandets strømningsveje i morænelandskaber i Danmark og påvirker både vandmængder og vandkvalitet, samt 2) geologien har en styrende rolle for hvor

meget vand, der strømmer via drænen, og hvor dyb strømningsvejen hen til drænet er.

Undersøgelsen af vandets strømning intern på en mark med dræn viser, at drænen bevirker, at strømningsvejene bliver mere overfladenære, så en mindre andel af vandet når ned under redoxgrænsen, hvor nitraten forsvinder. Selvom størstedelen af nettonedbørens afstrømmer via drænrør, passerer en stor del af vandet i første omgang forbi drænene i bunden af rodzonen og dukker først op i drænen længere nede ad bakken eller nede i ådalen. Det kan forklare, at en stor del af nitraten fra markerne bliver fjernet med nitratreduktion i grundvandszonen, selv i områder med dræn. Det ville ikke være muligt, hvis vandet "blot" løb direkte ind i drænene. I det lille D1 opland er det omtrent halvdelen af vandet, der passerer forbi drænene i første omgang, og drænen bevirker, at nitratfjernelsen er formind-



Figur 4. Beregnede vandfluxe for perioden 1/1/2015 til 31/5/2017 for modelversioner med og uden dræn. Bemærk at x-aksen i Figur 3D er forskellig fra de tre andre figurer, fordi der er meget større opadrettet strømning nede i ådalen. Placeringen af drænoiland henholdsvis ådal fremgår af Figur 1D.



Figur 5. Simulerede årlige afstrømninger i 8 drænoilande samt i hele Fensholt oplandet. Oplandene er vist efter størrelse med det mindste opland (D6) først. De blå søjler viser usikkerhedsintervallet mellem de 10 forskellige geologier.

sket med ca. 20%. Der er indtil videre ikke andre lignende undersøgelser, så vi kan ikke sige, om disse tal er repræsentative for danske morænelersjorde.

Undersøgelsen af drænaflow blandt de 8 drænoilande viser, at geologien i underjorden (her andelen af sand i dybden 3-20 m under terræen) er styrende for, hvor stor drænaflow er i de 8 oplande. De eneste geologiske informationer der i dag benyttes til at vurdere, hvor drænaflow forekommer i landskabet, både ved drænkort /4/ og ved identifikation af egnede lokaliteter til minivådområder, er jordartskort og landskabs-elementer, mens lokal geologisk information om lagene under 3 m dybde ignoreres. Vores undersøgelse viser, at geologiske data og hydrologisk viden bør inddrages.

Referencer

/1/ Hansen AL, Jakobsen R, Refsgaard JC, Højberg AL, Iversen BV, Kjaergaard C (2018) Groundwater dynamics and effect of tile drainage on water flow across the redox interface in a Danish Weichsel till area. *Advances in Water Resources*, 123, 23-39.

/2/ Hansen AL, Storgaard A, He X, Højberg AL, Refsgaard JC, Iversen BV, Kjaergaard C (2018) Importance of geological information for assessing drain flow in a Danish till landscape. *Hydrological Processes*, 2018:1-13.

/3/ Refsgaard JC, Hansen AL, He X (2015) Nitratreduktion-skort på markskala – kan det lade sig gøre? *Vand & Jord*, 22(1), 23-26.

/4/ Møller AB, Børgesen CD, Bach EO, Iversen BV, Moeslund B (2018) Kortlægning af drænede arealer i Danmark. DCA rapport, nr. 135.

ANNE LAUSTEN HANSEN, Landbosyd
 ANKER LAJER HØJBERG, senior forsker, Hydrologisk Afdeling, GEUS
 BO VANGSØ IVERSEN, lektor, Aarhus Universitet
 CHARLOTTE KLJERGAARD, chefforsker SEGES
 JENS CHRISTIAN REFSGAARD, professor emeritus, Hydrologisk Afdeling, GEUS