

## Afslutning af ådalstypologi – (Grundvand-Overfladevand Interaktion)

Mette Dahl, Bertel Nilsson og Frants von Platen-Hallermund  
Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS)

Mads Banke, Peter Engesgaard og Torben Sonnenborg  
Københavns Universitet (Geologisk Institut)

Dirk-Ingmar Wohlfeil-Müller, Ann Fuglsang  
og Henrik Tornbjerg  
Fyns Amt

Niels Behring Ovesen og Brian Kronvang  
Danmarks Miljøundersøgelser (DMU)

Steen Christensen  
Aarhus Universitet (Geologisk Institut)

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

# Indhold

SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	5
SUMMARY AND CONCLUSIONS	7
1 INDLEDNING	9
1.1 BAGGRUND	9
1.2 FORMÅL MED PROJEKTET	9
1.3 AKTIVITETER I PROJEKTET	11
1.4 ANVENDELSE AF GOI TYPOLOGIEN	12
1.5 PROJEKTETS ORGANISERING	14
1.6 RAPPORTENS INDHOLD – LÆSEVEJLEDNING	15
2 GEOLOGISK PROFIL	16
2.1 INDLEDNING	16
2.2 VALG AF VÆRKTØJET GEOSTUDIO	16
2.3 GEOSTUDIOS OPBYGNING	17
2.4 KONSTRUKTION AF GEOLOGISKE PROFILER	17
2.5 TOLKNING AF GEOLOGISK PROFIL	27
2.6 DATAGRUNDLAG	31
3 SPECIFIK TILVÆKST I MEDIANMINIMUM VANDFØRING	34
3.1 MEDIANMINIMUM VANDFØRING	34
3.2 KRAVSPECIFIKATIONER TIL GIS REDSKAB	35
3.3 BESKRIVELSE AF GIS REDSKAB	35
3.3.1 <i>Trin A: Sammenhæng i vandløbsnetværk</i>	<b>36</b>
3.3.2 <i>Trin B: Entydig vandløbs-ID</i>	<b>36</b>
3.3.3 <i>Trin C: Vandløbets strømningsretning</i>	<b>37</b>
3.3.4 <i>Trin D: Stationering</i>	<b>37</b>
3.3.5 <i>Trin E: Overførsel af medianminimum vandføringsværdier</i>	<b>38</b>
3.3.6 <i>Trin F: Beregning af tilvækst i medianminimum vandføring</i>	<b>39</b>
3.3.7 <i>Trin G: Beregning af stræknings- og oplandspecifikke værdier</i>	<b>40</b>
3.4 EKSEMPEL FRA ODENSE Å OPLANDET	42
3.5 STATUS FOR MEDIANMINIMUM VANDFØRING I DANMARK	46
3.6 PERSPEKTIVERING	49
4 STRØMNINGSFORDELING I ÅDAL	51
4.1 INDLEDNING	51
4.1.1 <i>Strømningsveje i ådalen</i>	<b>51</b>
4.1.2 <i>Nitratreduktion for strømningsveje i ådal</i>	<b>52</b>
4.1.3 <i>Metode</i>	<b>53</b>
4.2 TRIN A: HYPOTESE FOR MULIGE STYRENDE PARAMETRE	54
4.3 TRIN B: KVANTIFICERING AF PARAMETRE FOR ÅDALSTYPER 2, 3 OG 4	55
4.3.1 <i>Kriterier for udvælgelse af feltlokaliteter</i>	<b>55</b>
4.3.2 <i>Datagrundlag for kvantificering af parametre</i>	<b>56</b>
4.3.3 <i>Karakterisering af transsekt T1 til T3 ved Ådalstype 2</i>	<b>57</b>
4.3.4 <i>Karakterisering af transsekt T4 til T6 ved Ådalstype 3</i>	<b>61</b>
4.3.5 <i>Karakterisering af transsekt T7 til T9 ved Ådalstype 4</i>	<b>61</b>
4.4 TRIN C: FELTARBEJDE VED TRANSSEKTER	63

4.4.1	<i>Borebeskrivelsesnøgle</i>	<b>65</b>
4.4.2	<i>Hydraulisk ledningsevne</i>	<b>66</b>
4.5	TRIN D: KONCEPTUEL MODELLERING AF SYNTETISKE TVÆRSNIT	67
4.5.1	<i>Modelsetup</i>	<b>68</b>
4.5.2	<i>Estimater for strømningsvej <math>Q_1</math> til <math>Q_4</math></i>	<b>70</b>
4.5.3	<i>Styrende parametre</i>	<b>71</b>
4.5.4	<i>Simuleringer</i>	<b>72</b>
4.5.5	<i>Resultater</i>	<b>74</b>
4.5.6	<i>Diskussion</i>	<b>80</b>
4.5.7	<i>Nøgle til strømningsfordeling</i>	<b>81</b>
4.5.8	<i>Estimerede strømningsfordelinger for transesekt T1 til T9</i>	<b>82</b>
4.5.9	<i>Indikatorer for dominerende strømningsvej</i>	<b>83</b>
4.5.10	<i>Sammenfatning om konceptuel modellering</i>	<b>84</b>
4.6	TRIN E: KVANTIFICERING AF TILSTRØMNING TIL ÅDALE UDFRA DK MODEL	87
4.6.1	<i>Beskrivelse af model-system</i>	<b>87</b>
4.6.2	<i>Undersøgelsesområde</i>	<b>89</b>
4.6.3	<i>Analyse af tilstrømning til vandløb</i>	<b>90</b>
4.6.4	<i>Skalaforhold</i>	<b>94</b>
5	DATA- OG VIDENSBEHOV	95
5.1	DATA BEHOV	95
5.2	VIDENSBEHOV	95
6	REFERENCER	97

# Sammenfatning og konklusioner

## ***Baggrund***

Rapporten omfatter afslutning af et projekt, der omhandler udvikling og testning af en typologi for Grundvand / Overfladevand Interaktion (GOI typologi). Typologien er udviklet med henblik på at kunne vurdere ådales betydning for vandudveksling og stofomsætning ved overgangen fra grundvand til overfladevand. Projektet har forløbet i perioden 2002-2004 og er hidtil afrapporteret i Nilsson et al. (2003) og Dahl et al. (2004).

## ***GOI typologien opbygning***

GOI typologien er opbygget i tre niveauer: Landskabstype, Ådalstype og Strømningsvariant. Typologien er funktionelt opbygget, idet grundvandets strømning karakteriseres på gradvist mindre skala. Således karakteriserer Landskabstypen den regionale geologiske opbygning i oplandet, der er styrende for den overordnede fordeling af grundvandstilstrømning til ådalen. Ådalstyperne karakteriserer ådalens samspil med de Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheder. Ådalstyperne karakteriserer derved grundvandstilstrømningen til bunden af Ådalsmagasinet. Endelig karakteriserer Strømningsvarianterne vandets strømningsveje gennem Ådalsmagasinet til vandløbet. Strømningsvarianterne giver dermed mulighed for at vurdere ådalen denitrifikationskapacitet.

## ***Formål***

Rapporten præsenterer udvikling af tre værktøjer til brug for klassificering af Ådalstyper og Strømningsvarianter:

1. GIS værktøj til konstruktion af geologiske profiler, der sammenkobler horisontale geologiske data fra jordartskortet med vertikale geologiske data fra Jupiter databasen.
2. GIS værktøj til beregning og udtegning af kort over specifik tilvækst i medianminimum vandføring i vandløb.
3. Metode til estimering af strømningsfordeling i ådale i morænelandskaber.

## ***Indsatsplaner for overfladevand i relation til Vandrammedirektivet***

I forbindelse med EU's Vandrammedirektiv skal der opstilles miljømål for grundvand og udarbejdes indsatsplaner for overfladevand. Miljømålene for grundvand vil blandt andet afspejle grundvandets sammenhæng med og betydning for den kemiske og økologiske tilstand i overfladevande (vandløb, søer og fjorde), der er direkte afhængige af grundvandstilførsel. Grundvandets kemiske og kvantitative tilstand må således ikke føre til, at miljømålene i tilknyttede overfladevande ikke kan opnås, ligesom der ikke må ske signifikant skade på de afhængige terrestriske økosystemer (vådområder).

Ved udarbejdelse af indsatsplaner for overfladevand vil det være af stor betydning, at myndigheden kan benytte et værktøj, som i første omgang kan give overblik over, hvilke ådalsstrækninger, der modtager nitratfrit grundvand, hvilke der modtager nitratbelastet grundvand, samt hvilke strækninger, der har

potentiale for nitratretention i et givet opland til f.eks. en fjord. GOI typologien kan anvendes hertil.

Metoder udviklet i relation til GOI typologien vil desuden understøtte klassifikation af grundvandsforekomster i relation til typologien herfor, der anbefales anvendt i basisanalysen (Miljøstyrelsen, 2004).

***Genskabelse af vådområder i relation til VMP II og III***

Endelig kan GOI typologien finde anvendelse ved genskabelse af vådområder i relation til Vandmiljøplan II og III. Ved genskabelse af vådområder, der har til hovedformål at omsætte nitrat ved overgangen mellem grundvand og overfladevand, har det hidtil været vanskeligt at kvantificere tilførslen af nitrat via grundvand. Værktøjer udviklet i relation til GOI typologien kan i fremtiden anvendes hertil, samt til at estimere strømningfordeling og nitratomsætning i områderne. Typologien vil også kunne vejlede i forhold til, hvordan myndigheden rent praktisk foretager reetablering af et givet vådområde, f.eks. med hensyn til hvordan vandet søges fordelt i det genskabte vådområde.

# Summary and conclusions

## ***Background***

This report summarizes the conclusions of a project covering development and testing of a typology for Groundwater/Surface water Interaction (GSI typology). The typology was developed for the purpose of evaluating river valley impact on water exchange and substance turnover at the transition zone between groundwater and surface water. The project has taken place from 2002-2004, and it has been publicized in Nilsson *et al.*, 2003, and in Dahl *et al.*, 2004.

## ***Structure of GSI typology***

GSI typology has a three-level structure: Landscape Type, River Valley Type and Flow Path Type. In the typology, groundwater flow is characterized on a gradually decreasing scale. Accordingly, Landscape Type characterizes the geological setting of the catchment area, governing the regional distribution of groundwater discharge to the valley. The River Valley Types characterize the interaction of the valleys with Adjacent Hydrogeological Units. Accordingly, River Valley Types describe groundwater discharge to the River Valley Aquifer base. Finally, Flow Path Types specify groundwater flow paths through the River Valley Aquifer to streams, giving way to evaluating denitrification capacity of the valley.

## ***Objectives***

This report presents the development of three tools for classification of River Valley Types and Flow Path Types:

1. GIS tool for geological profile construction, combining horizontal geological data from soil maps with vertical geological data from the national drilling database.
2. GIS tool for computation and generation of maps illustrating specific increase in median minimum stream flow.
3. Estimation method for mapping flow distribution in moraine landscape valleys.

## ***Program of measures for surface water related to the Water Framework Directive***

Within the Water Framework Directive, environmental objectives for groundwater should be outlined, and programs of measures for surface water prepared. Environmental objectives for groundwater will reflect its interaction and impact on chemical and ecological status of dependent surface waters (streams, lakes and coastal waters). Accordingly, the chemical and quantitative status of groundwater must not lead to failure in meeting environmental objectives of dependent surface waters, nor to significant damage to dependent terrestrial ecosystems (wetlands).

In preparing a program of measures for surface waters in the catchment area of nitrate endangered coastal waters, a tool is needed for delineating valley reaches receiving nitrate free groundwater, nitrate polluted groundwater, and

reaches having high denitrification capacity. GSI typology is applicable for this purpose.

Tools developed for GSI typology will also support classification of groundwater bodies in accordance with the groundwater body typology (Miljøstyrelsen, 2004) recommended for basic analysis application in Denmark (WFD, Art. 5).

***Restoration of wetlands related to the Danish Water Protection Plans II and III***

Finally, GSI typology is applicable for restoring of wetlands related to the Danish Water Protection Plans II and III, in pursuing denitrification of nitrate at the transition zone between groundwater and surface water. Estimation of nitrate discharge in groundwater is made possible by use of tools developed within this project. The GSI typology may also offer practical guidance to flow distribution within the restored wetland in order to increase nitrate retention.



# 1 Indledning

## 1.1 Baggrund

Denne rapport omfatter afslutningen af et projekt finansieret af Miljøstyrelsen, der omhandler udvikling af en typologi for Grundvand / Overfladevand Interaktion (GOI typologi). Typologien er udviklet med henblik på at kunne vurdere ådals betydning for vandudveksling og stofomsætning ved overgangen fra grundvand til overfladevand. Projektet har forløbet i perioden 2002-2004 og er hidtil afrapporteret i Nilsson et al. (2003) og Dahl et al. (2004).

Baggrunden for projektet er, at der i forbindelse med EU's Vandrammedirektiv (2000/60/EF) skal opstilles miljømål for grundvand og udarbejdes indsatsplaner for overfladevand. Information om Vandrammedirektivet findes på Miljøstyrelsens hjemmeside: <http://www.mst.dk/vand/06000000.htm>.

Miljømålene for grundvand vil blandt andet afspejle grundvandets sammenhæng med og betydning for den kemiske og økologiske tilstand i overfladevande (vandløb, søer og fjorde), der er direkte afhængige af grundvandstilførsel. Grundvandets kemiske og kvantitative tilstand må således ikke føre til, at miljømålene i tilknyttede overfladevande ikke kan opnås, ligesom der ikke må ske signifikant skade på de afhængige terrestriske økosystemer (Miljøstyrelsen, 2004).

GOI typologien er udviklet, så den understøtter typologien for grundvandsforekomster, der anbefales anvendt ved karakterisering af grundvand i basisanalysen i medfør af bekendtgørelse nr. 811 af 15. juli 2004 om karakterisering af vandforekomster: [http://www.retsinfo.dk/\\_GETDOCM\\_/ACCN/B20040081105-REGL](http://www.retsinfo.dk/_GETDOCM_/ACCN/B20040081105-REGL), og den tilhørende første vejledning af juli 2004 fra Miljøstyrelsen om karakterisering af vandforekomster og opgørelse af påvirkninger: <http://www.mst.dk/udgiv/publikationer/2004/87-7614-359-7/pdf/87-7614-359-7.pdf>. Bekendtgørelse og vejledning for anden del af basisanalysen er p.t. under udarbejdelse.

Endelig er det målet, at GOI typologien kan finde anvendelse i relation til genskabelse af vådområder i relation til Vandmiljøplan II og III.

## 1.2 Formål med projektet

Tabel 1.1 viser GOI typologiens opbygning i tre niveauer: Landskabstype, Ådalstype og Strømningsvariant. Inddelingskriterierne på de forskellige niveauer er ligeledes angivet i tabel 1.1. Typologien er funktionelt opbygget, idet grundvandets strømning karakteriseres på gradvist mindre skala. Således karakteriserer Landskabstypen den regionale geologiske opbygning i oplandet, der er styrende for den overordnede fordeling af grundvandstilstrømning til ådalen. Ådalstyperne karakteriserer ådalens samspil med de Tilgrænsende

Hydrogeologiske Enheder på basis af deres hydrauliske ledningsevne og geometri. Ådalstyperne karakteriserer således grundvandstilstrømningen til bunden af Ådalsmagasinet. Endelig karakteriserer Strømningsvarianterne vandets strømningsveje gennem Ådalsmagasinet til vandløbet. Strømningsvarianterne giver dermed mulighed for at vurdere ådalen denitrifikationskapacitet.

Tabel 1.1. Opbygning af GOI typologien (fra Dahl et al., 2004).

GOI typologi niveau	Inddelingskriterier	Skala
Landskabstype	Regional geomorfologi og geologi	Opland ( > 10 km)
Ådalstype	Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheds hydrauliske ledningsevne og geometri	Strækning ( > 100 m)
	Ådalsmorfologi	
Strømningsvariant	Dominerende strømningsvej gennem Ådalsmagasinet.	Lokal ( > 10 m)

I Dahl et al. (2004) er koncepterne i typologien detaljeret beskrevet og metoder til klassificering af Landskabstyper og Ådalstyper præsenteret (se tabel 1.2). Kortlægning og klassificering ifølge typologien er desuden foretaget på smeltevandssletten langs strækninger af Storåen i Ringkjøbing Amt. Som eksempel på klassificering i et morænelandskab er Ådalstyper langs strækninger af Odense Å i Fyns Amt ligeledes præsenteret.

Formålet med dette projekt er at afslutte metodeudvikling og testning af GOI typologien. Rapporten omfatter således metodeudvikling til brug for klassificering af Strømningsvarianter, samt udvikling og testning af operationelle GIS værktøjer til brug for klassificering af Ådalstyper, som det fremgår af tabel 1.2.

Tabel 1.2. Udvikling, testning og afrapportering af GOI typologien.

GOI typologi niveau	Koncept	Metodik	Operationelt (GIS) værktøj
Landskabstype	Færdigt 2003	Færdig 2003	Færdigt 2003
Ådalstype	Færdigt 2003	Færdig 2003	Delvist udviklet 2003 Færdigudviklet 2004
Strømningsvariant	Færdigt 2003	Delvist udviklet 2003 Færdigudviklet 2004	Udviklet 2004

### 1.3 Aktiviteter i projektet

Projektet omfatter følgende tre aktiviteter:

1. Testning af GIS værktøj til konstruktion af geologiske profiler, der sammenkobler horisontale geologiske data fra jordartskortet med vertikale geologiske data fra Jupiter databasen. Værktøjet anvendes i forbindelse med klassificering af Ådalstyper og Strømningsvarianter.
2. Udvikling af GIS værktøj til beregning og udtegnning af kort over specifik tilvækst i medianminimum vandføring. Værktøjet anvendes til klassificering af Ådalstyper.
3. Udvikling af operationel metode til estimering af strømningsfordeling i ådale til klassificering af Strømningsvarianter i morænelandskab.

#### 1.4 Anvendelse af GOI typologien

##### **Opstilling af miljømål for grundvand**

I typologien for grundvandsforekomster beskrevet i Miljøstyrelsen (2004) skelnes der mellem fire forskellige kontakttyper mellem grundvandsforekomster og overfladevandområder:

- Dyb grundvandsforekomst uden væsentlig udstrømning til ferske overfladevandområder
- Regional grundvandsforekomst med betydende udstrømning hele året
- Lokal grundvandsforekomst med betydende udstrømning en del af året
- Grundvandsforekomst der modtager tilstrømning fra overfladevand.

Kontakttypene kan klassificeres ved brug af metoder udviklet i GOI typologien i relation til klassificering af Ådalstyper (Dahl et al., 2004).

##### **Udarbejdelse af indsatsplaner for overfladevand**

Ved udarbejdelse af indsatsplaner for overfladevand vil det være af stor betydning, at myndigheden kan benytte sig af et værktøj, som i første omgang kan give overblik over, hvilke ådalsstrækninger, der modtager nitratbelastet grundvand, samt hvilke strækninger, der har potentiale for nitratretention i et givet opland til f.eks. en fjord.

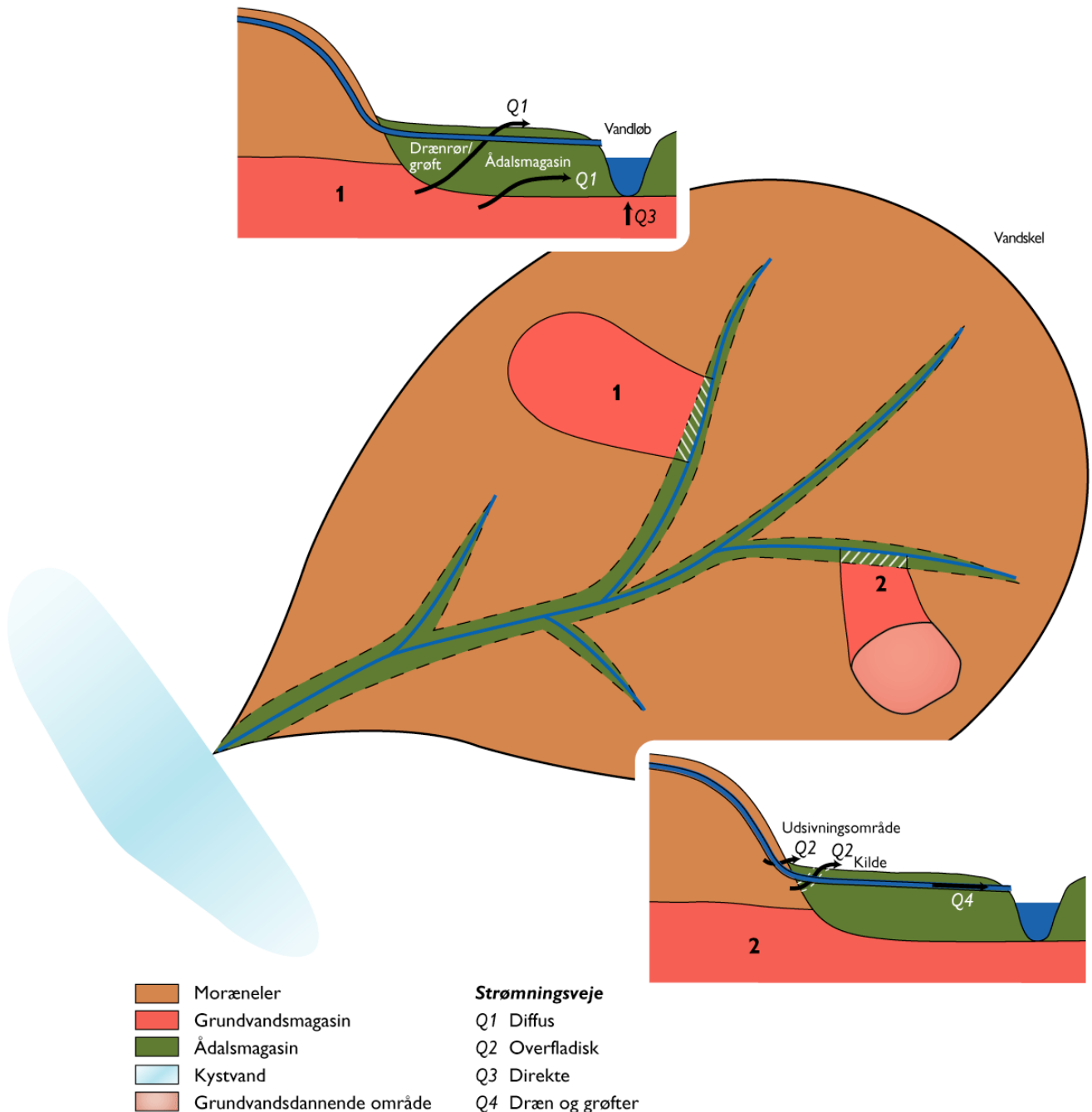
For at kunne udpege, hvor det er nødvendigt med den største indsats for at reducere belastningen, vil det første skridt være at vurdere, hvorvidt den største belastning tilføres fjorden fra belastet overfladevand (overfladisk afstrømning og drænvands-afstrømning) eller belastet grundvand.

Tilføres belastningen hovedsageligt via belastet **drænvand**, vil det øge oplandets nitratreduktionskapacitet at kappe drænene i ådalsskrænterne, og lade vandet strømme overfladisk hen over, eller endnu bedre infiltrere ned i, Ådalsmagasinet, hvor det er muligt.

Såfremt belastningen hidrører fra **grundvand** vil det være vigtigt først at kortlægge hvilke overfladenære magasiner, der bidrager med nitratbelastet grundvand til ådalen, eksemplificeret ved grundvandsmagasin 1 og 2 i figur 1.1. I et morænelandskab vil det ofte være **Ådalstype** 3 og 4, især hvor disse har kontakt med overfladen nær ådalen. Ådalstype 3 er karakteriseret ved kontakt med mindre regionale grundvandsforekomster, mens Ådalstype 4 er karakteriseret ved kontakt med store regionale, ofte dybereliggende, grundvandsforekomster. Langs disse ådalsstrækninger (skraveret hvide på figur 1.1) estimeres fordelingen af strømningsveje i ådalen (**Strømningsvariant**).

I de tilfælde, hvor hovedparten af tilstrømningen til vandløbet passerer Ådalsmagasinet diffust ( $Q_1$ ) eller direkte ( $Q_3$ ) vil størsteparten af nitratindholdet sandsynligvis denitrificeres under passage af ådalen. Denne situation er illustreret ved grundvandsmagasin 1 på figur 1.1. Det er i en sådan situation ikke nødvendigt at foretage nogen nitratbegrænsende tiltag for at mindske tilførslen til fjorden fra grundvandsmagasinet.

Foregår gennemstrømningen af ådalen derimod primært overfladisk ( $Q_2$ ) eller gennem dræn og grøfter ( $Q_4$ ) vil ådalen have en mindre denitrifikationskapacitet. Denne situation er skitseret ved grundvandsmagasin 2 i figur 1.1. For at mindske nitratbelastningen til fjorden fra dette grundvandsmagasin, vil det være væsentligt at indføre næringsstofbegrænsende tiltag i det grundvandsdannende område til magasinet. I ådalen vil det endvidere øge denitrifikationen, hvis dræn og grøfter



Figur 1.1. Skitse over vandløbsopland med nitratbelastede grundvandsmagasiner, Ådalsmagasin og kystvand. De hvidskraverede strækninger af Ådalsmagasinet tilføres nitrat-belastet vand fra overfladenære grundvandsmagasiner. Langs disse strækninger estimeres strømningsfordelingen i ådalen til brug for vurdering af ådalens

nitratreduktionskapacitet, og iværksættelse af nitratbegrænsende tiltag i grundvandsmagasinernes grundvands-dannende område eller i den berørte del af ådalen.

inaktiveres, således at grundvandet strømmer overfladisk hen over Ådalsmagasinet i stedet, da  $Q_2$  har en større denitrifikationskapacitet end  $Q_4$ .

### ***Genskabelse af vådområder i relation til VMP II og III***

Ved genskabelse af vådområder, der har til hovedformål at omsætte nitrat i relation til Vandmiljøplan II og III, kan GOI typologien anvendes til at estimere strøm-ningsfordeling og nitratomsætning i områderne (Strømningsvarianter). Link til VMP II er <http://www.skovognatur.dk/natur/vandmiljoeII/default.htm>.

Det har hidtil været vanskeligt at få tilførslen af nitrat via grundvand kvantificeret. Metoder anvendt i forbindelse med GOI typologiens Ådalstyper vil her være vigtige at anvende i fremtiden (Dahl et al., 2004).

Herudover vil GOI typologien kunne vejlede i forhold til, hvordan myndigheden rent praktisk foretager reetablering af et givet vådområde, f.eks. med hensyn til hvordan vandet søges fordelt i det genskabte vådområde.

## 1.5 Projektets organisering

Projektet er gennemført i samarbejde mellem GEUS, Fyns Amt, Københavns Universitet (Geologisk Institut), og DMU i perioden august til december 2004. Projektgruppen bestod af:

- Mette Dahl, GEUS
- Frants von Platen-Hallermund, GEUS
- Bertel Nilsson, GEUS (projektleder)
- Dirk Müller-Wohlfeil, Fyns Amt
- Ann Fuglsang, Fyns Amt
- Henrik Tornbjerg, Fyns Amt
- Peter Engesgaard, KU
- Mads Banke, KU
- Torben Sonnenborg, KU
- Brian Kronvang, DMU
- Niels Behring Ovesen, DMU

Projektet havde en styregruppe bestående af:

- Martin Skriver, Miljøstyrelsen (formand)
- Lars Mikael Kjellerup Larsen, Skov- og Naturstyrelsen
- Bertel Nilsson, GEUS
- Mette Dahl, GEUS
- Frants von Platen-Hallermund, GEUS
- Dirk Müller-Wohlfeil, Fyns Amt
- Ann Fuglsang, Fyns Amt

Steen Christensen, Århus Universitet, har kommenteret og kvalitetssikret rapporten.

## 1.6 Rapportens indhold – læsevejledning

- Kapitel 1 omhandler projektets baggrund, formål og organisering.
- Kapitel 2 beskriver anvendelsen af GIS værktøjet GeoStudio til konstruktion af geologiske profiler i kagebogsform (aktivitet 1).
- Kapitel 3 beskriver udvikling og testning af et GIS værktøj til beregning af specifik tilvækst i medianminimum vandføring i kagebogsform (aktivitet 2).
- Kapitel 4 beskriver udvikling af metoder til estimering af strømingsfordeling i ådalen i morænelandskaber på Strømningsvariant niveau (aktivitet 3).
- Kapitel 5 omhandler data- og vidensbehov relateret til GOI typologien.

## 2 Geologisk profil

### 2.1 Indledning

Dette kapitel omfatter aktivitet 1, der består af afprøvning af et GIS værktøj til konstruktion af geologiske profiler, der sammenkobler horisontale geologiske data fra jordartskortet med vertikale geologiske data fra Jupiter databasen. Værktøjet anvendes i forbindelse med klassificering af Ådalstyper.

Størrelsesordenen af grundvandstilstrømningen til Ådalsmagasinet bestemmes hovedsageligt af den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheds **hydrauliske egenskaber**. Den hydrauliske ledningsevne anvendes derfor til at skelne mellem høj- og lavpermeable Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheder. Er ledningsevnen høj, består den af et **grundvandsmagasin**. Er ledningsevnen lav, består den af et **dæklag** der eventuelt overlejrer et grundvandsmagasin.

De **geometriske forhold** for de Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheder og Ådalsmagasinet er ligeledes bestemmende for tilstrømningens størrelse og variation. **Grundvandsmagasinet tykkelse** (mægtighed) og udbredelse er således afgørende for størrelsen og stabiliteten af tilstrømningen (Dahl, 1995; Dahl et al., 2004; Vidon og Hill, 2004). Der skelnes mellem lokale magasiner, der har en varierende udstrømning gennem året og tørrer ud om sommeren, og regionale magasiner, der har en stabil udstrømning gennem året. Et eventuelt **dæklags tykkelse** samt **Ådalsmagasinet tykkelse** har også indflydelse på tilstrømningens størrelse.

**Oplandets, ådalsskræntens og ådalens geomorfologi**, udtrykt ved landskabs-elementernes udstrækning og relief (højdeforskel) kan også have betydning for tilstrømningens størrelse.

Grundvandsmagasinet **placering** (overfladenært eller dybere), der har sammen-hæng med **redoxforholdene** i magasinet (oxideret eller reduceret), har betydning for kvaliteten af grundvandstilstrømningen til ådalen. Der skelnes mellem **overfladenære** magasiner, der kan være oxiderede, hvorfor tilstrømningen herfra kan være er nitratholdig, og **dybereliggende**, reducerede magasiner, hvorfra tilstrømningen er nitratfri.

De geologiske profiler anvendes til at karakterisere disse forhold langs ådalen.

### 2.2 Valg af værktøjet GeoStudio

Som støtte til at kunne opbygge en detaljeret geologisk model omkring ådalen skal der konstrueres vertikale profiler passende steder på tværs af åløbet med udgangspunkt i tilgængelige geologiske oplysninger. Der findes flere forskellige programmer, der kan konstruere sådanne profiler. Til den specielle anvendelse, som dette projekt anbefaler, er der dog en yderligere facilitet som er nyttig. Nemlig muligheden for at afbilde en horisontal opdeling af terrænoverfladen (i dette tilfælde et jordartskort) på de vertikale profiler (se



nedenunder hvordan dette fungerer i praksis), således at jordartkortet informationer kan kobles med boringernes.

I dette projekt er det valgt at fokusere på programpakken GeoStudio, som netop er under udvikling af DHI og Watertech i fællesskab – igangsat og finansieret af en lang række amter. Det må derfor formodes at blive et udbredt værktøj ved de myndigheder, der skal arbejde med GOI typologien. Navnet "GeoStudio" vil i den endelige version blive erstattet af "MIKE Geomodel" på grund af et opstået navnesammenfald. I denne rapport vil dog navnet GeoStudio fortsat blive anvendt.

### 2.3 GeoStudios opbygning

GeoStudio er opbygget som en udvidelse til GIS-programmet ArcMap, som er en del af ArcGIS-pakken fra ESRI. Ved afprøvningen i det herværende projekt er anvendt en ikke helt færdigudviklet version fra juli 2004, som ikke er helt stabil - og ikke anbefales til reelt brug af udviklerne. På grund af GeoStudio-projektets forsinkelse har der ikke været andre versioner til rådighed. Det har dog ikke skabt uoverstigelige problemer, men der skal tages forbehold for, at programmet i sin endelige version fungerer en smule anderledes end her beskrevet.

Udover at kunne konstruere profiler ud fra boringsoplysninger (f.eks. fra GEUS's PCJupiter-database) kan GeoStudio anvendes til tolkning af sammenhørende lag og konstruktion af lagoverflader, der evt. kan eksporteres til modelberegnings-programmer. Det er dog kun selve proceduren for opbygning af profilerne, der er omtalt her.

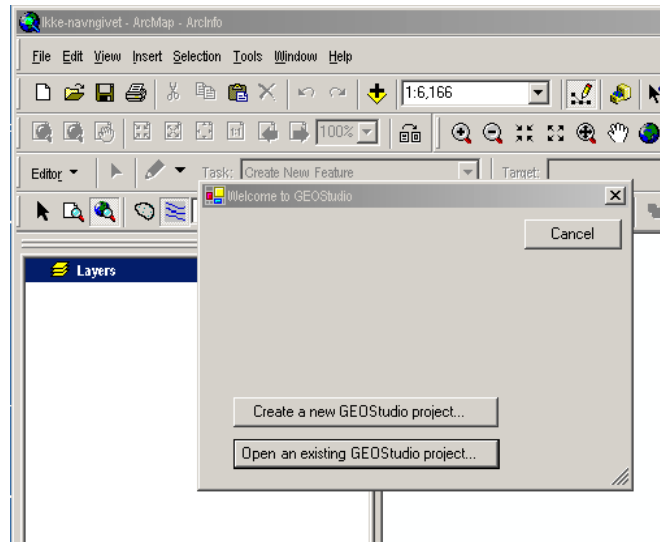
En facilitet i GeoStudio, som er anset for at være særlig vigtig i GOI typologi sammenhæng, er muligheden for at afbilde terrændækkende overfladetemaer på det vertikale profil. Denne facilitet benyttes her til at vise jordartsoplysninger (GEUS's digitale jordartskort i 1:25.000) fra profillinien skæring af terrænet som en farvet bjælke over boringsprofilen. Desuden kan det eller de punkter, hvor profilen skærer et vandløb afbildes på profilen.

### 2.4 Konstruktion af geologiske profiler

Nedenfor følger en forholdsvist detaljeret beskrivelse af proceduren i ArcMap/GeoStudio for udtegningen af disse profiler. Proceduren omfatter 21 trin (trin A til U). De udtegnede profiler med tilhørende horisontalt kort danner udgangspunkt for en geologisk tolkning af området. Denne tolkning kan i princippet også udføres i GeoStudio, men er i projektet udført i hånden.

- A. Man skal have adgang (og licens) til ArcMap. En ArcView-licens er tilstrækkelig (ArcEditor og ArcInfo ikke nødvendig). ArcMap udvidelsen Spatial Analyst er ikke nødvendig til den del af GeoStudio-funktionaliteten, der udnyttes i denne sammenhæng. GeoStudio skal desuden være installeret.
- B. Topografiske baggrundskort skal være tilgængelige. Til det aktuelle formål er det desuden vigtigt at have adgang til GEUS's digitale jordartskort i 1:25.000, et vandløbskort og en digital højdemodel. Højdekurver som vektorer er også velegnede til de horisontale kort.

- C. Som boringsdata anvendes en PC-Jupiter database på MS Access-format. Hvis man allerede har de nødvendige data, men i DBF-format, kan disse importeres ind i en Access-database.
- D. GeoStudio startes – og det indebærer at ArcMap også startes.
- E. Der kan vælges at åbne et eksisterende GeoStudio-projekt eller at oprette et nyt. Første gang skal det selvfølgelig være det sidste der vælges (figur 2.1).



Figur 2.1. Fremstilling af profiler med GeoStudio (Trin E)

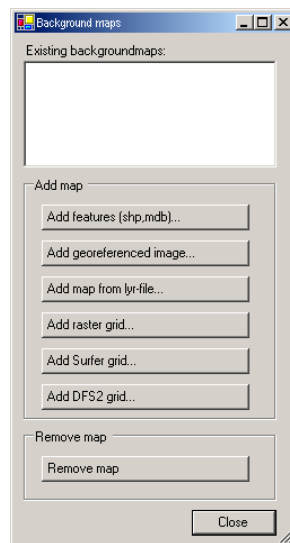
- F. Dialogboksen “Create project” skal nu udfyldes (figur 2.2).



Figur 2.2. Fremstilling af profiler med GeoStudio (Trin F)

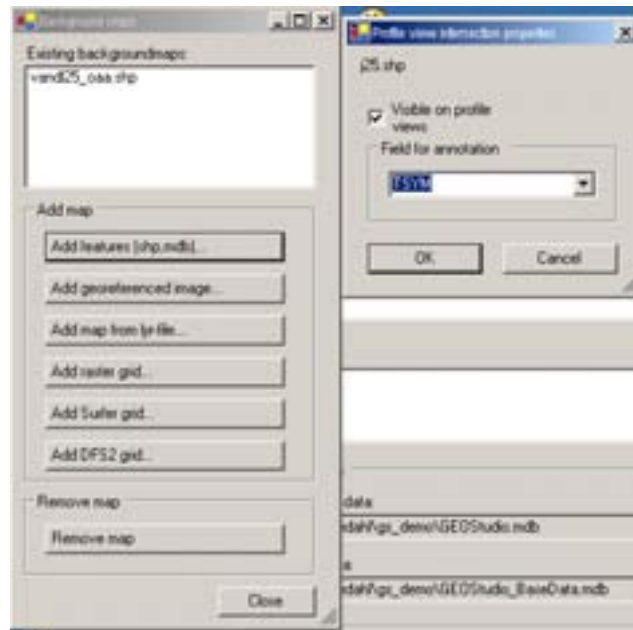
Giv et navn til projektet og dan de 2 GeoStudio-databaser. Læg mærke til, at disse databaser er 2 nye tomme databaser, hvori GeoStudio gemmer data, opsætning og profiler. Det er først i et senere trin, at der skal henvises til den eksisterende PC-Jupiter database. Default værdierne for profiloverhøjning, søjlebredde og båndbredde er muligvis passende, men kan dog ændres efterfølgende. Hvert enkelt profil kan også have sine egne parametre, men det er næppe en god ide når profilerne skal sammenlignes.

- G. Create project-dialogboksen har også en knap for "Background maps". Man kan definere dem her, men også supplere med andre senere (figur 2.3).

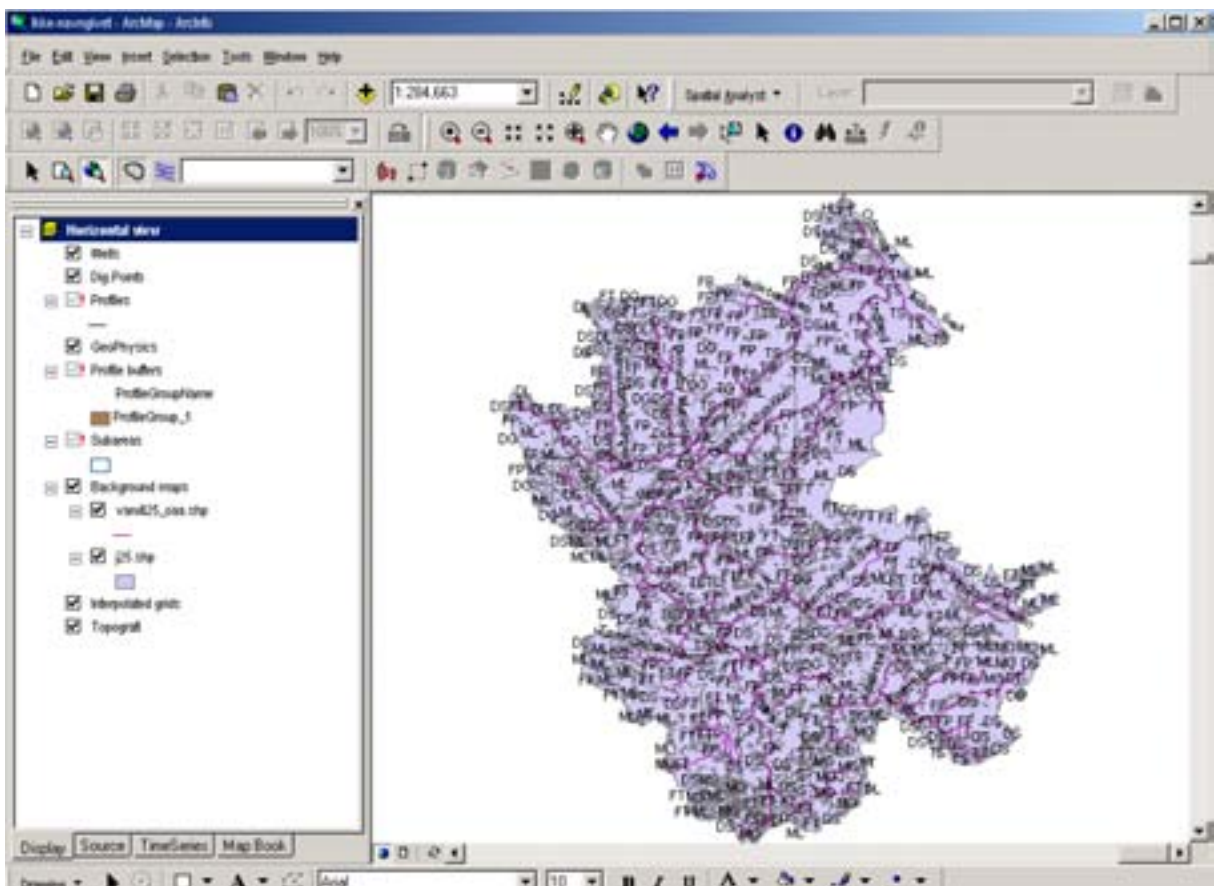


Figur 2.3. Fremstilling af profiler med GeoStudio (Trin G)

Selv om der her kan tilføjes forskellige grids, er det først i et senere trin at selve den digitale højdemodel tilføjes til projektet. Der er mange muligheder for korttyper, men her skal kun omtales "Add features", som dækker vektor-temaer i shape-filer eller geodatabase. Når et sådant tilføjes er der mulighed for at specificere, at det pågældende tema også skal visualiseres på de vertikale profiler. Herved vil profilet's skæring med et linietema blive markeret med et punkt, mens profilet's skæring gennem et polygon-tema vises som en "bjælke" bestående af lige så mange liniestykker, som der skæres polygoner undervejs. Denne facilitet er velegnet til at benytte til vandløbsteamet og jordartskortet. Der skal angives et "field for annotation", dvs. den attribut fra det aktuelle tema, der knyttes til "skærings-temaet". For vandløbsteamet kunne dette felt være et evt. vandløbs-navn – for jordartskortet skal det være feltet 'tsym' (figur 2.4).

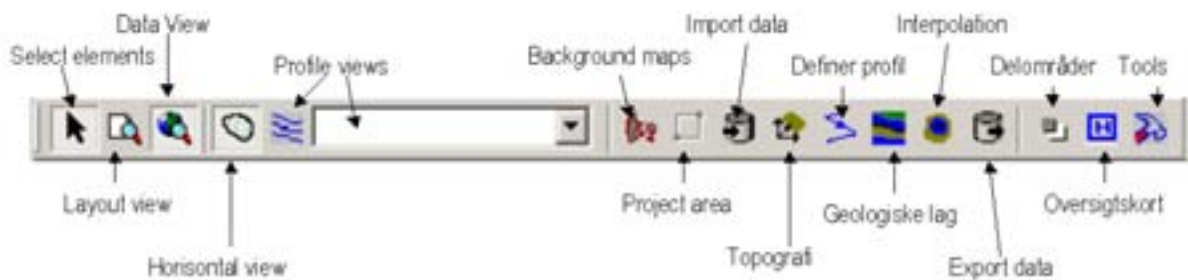


Figur 2.4. Fremstilling af profiler med GeoStudio (Trin G)



Figur 2.5. Fremstilling af profiler med GeoStudio (Trin H)

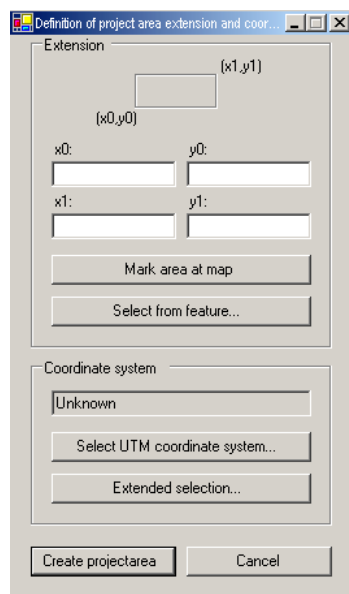
Baggrundstemaerne vises, men ikke nødvendigvis med den rigtige legende, label-opsætning m.v. Oversigten til venstre (Table of contents, TOC) er opbygget efter en GeoStudio-standard, men mange af de refererede temaer vil på dette tidspunkt af processen være tomme.



Figur 2.6. GeoStudios værktøjsbjælke (tool bar).

GeoStudios værktøjsbjælke (figur 2.6) bør være synlig (det er angivet som en del af installationsproceduren at gøre den synlig som standard, men hvis det er glippet, kan den altid fås frem f.eks.. ved at vælge menu View - > Toolbars og herefter sætte hak ved GeoStudio).

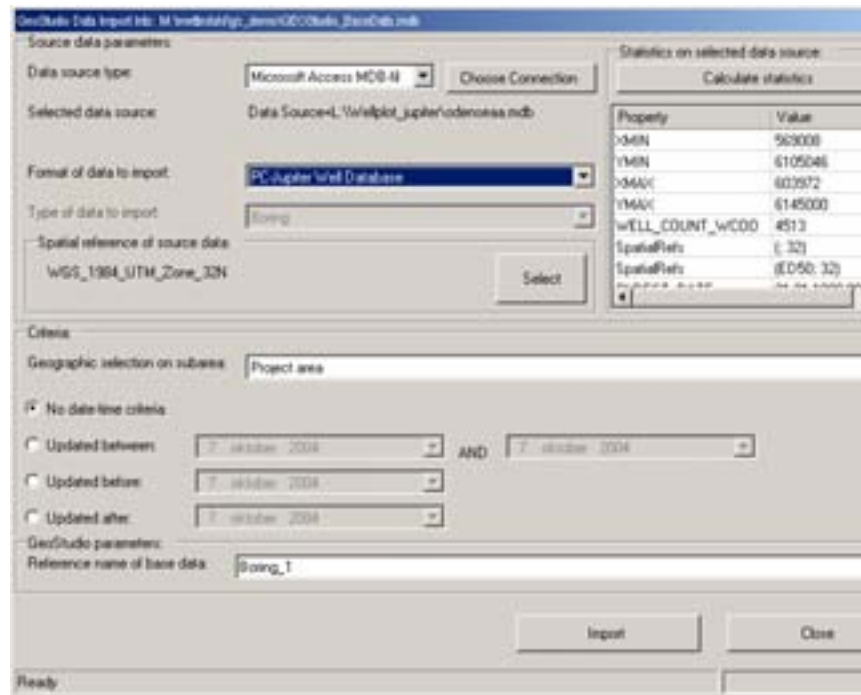
- I. De følgende trin er angivet på GeoStudios værktøjsbjælke, idet man bevæger sig fra "Project area" til højre gennem "Import data" og "Topografi" til "Definer profiler". De øvrige trin til højre bliver ikke anvendt i dette projekt.
- J. Næste trin er definition af projektområde (figur 2.7).



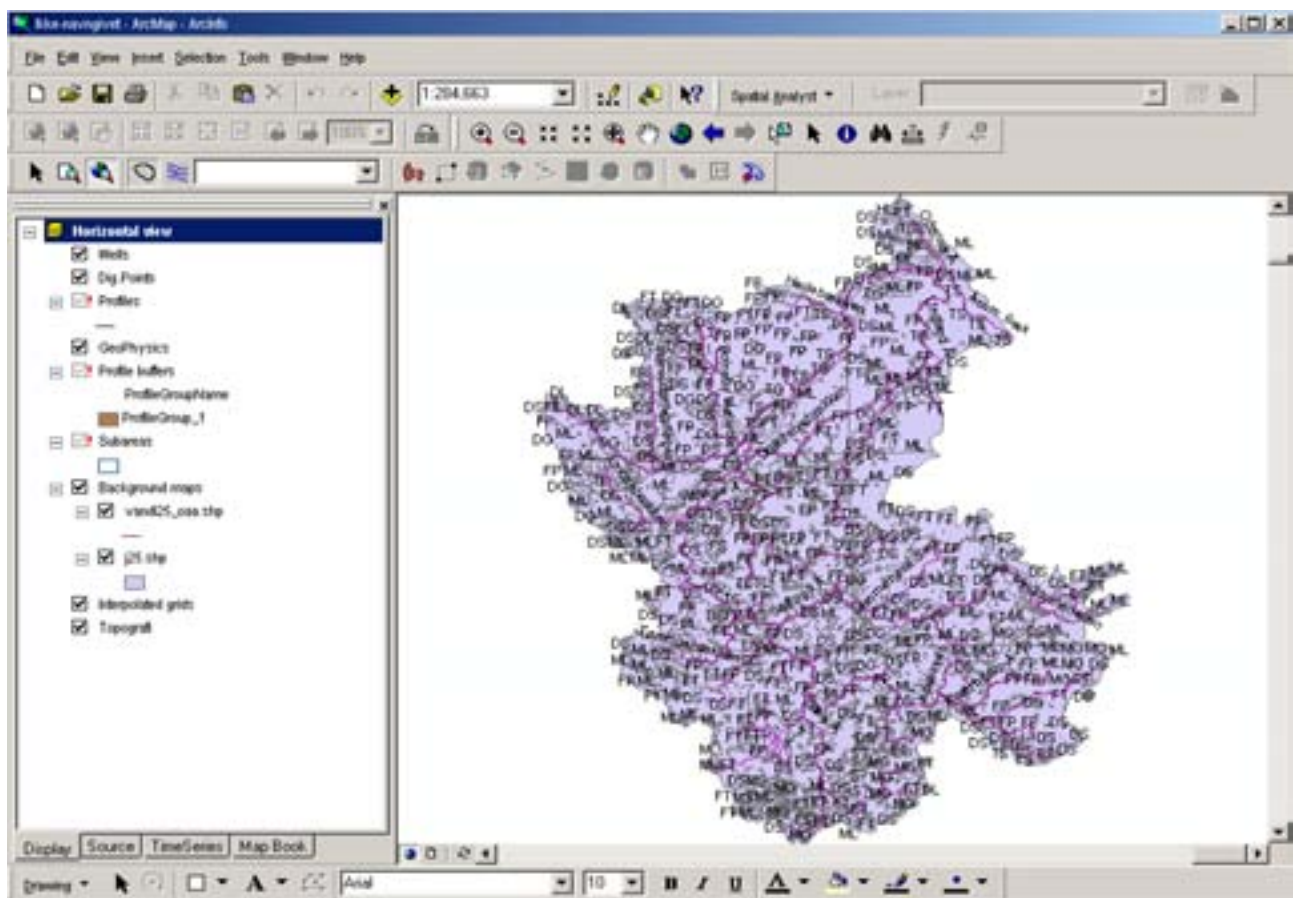
Figur 2.7. Fremstilling af profiler med GeoStudio (Trin I)

Dette gøres enklest ved at vælge "Mark area at map" og derefter tegne et rektangel omkring det ønskede område. Dette tema kan herefter gøres ikke-synligt i TOC'en.

K. Nu kommer tidspunktet hvor boringsdata skal indlæses (figur 2.8).



Figur 2.8. Indlæsning af en ekstern datakilde til GeoStudio's database (Trin K)



Figur 2.9. Fremstilling af profiler med GeoStudio (Trin K)

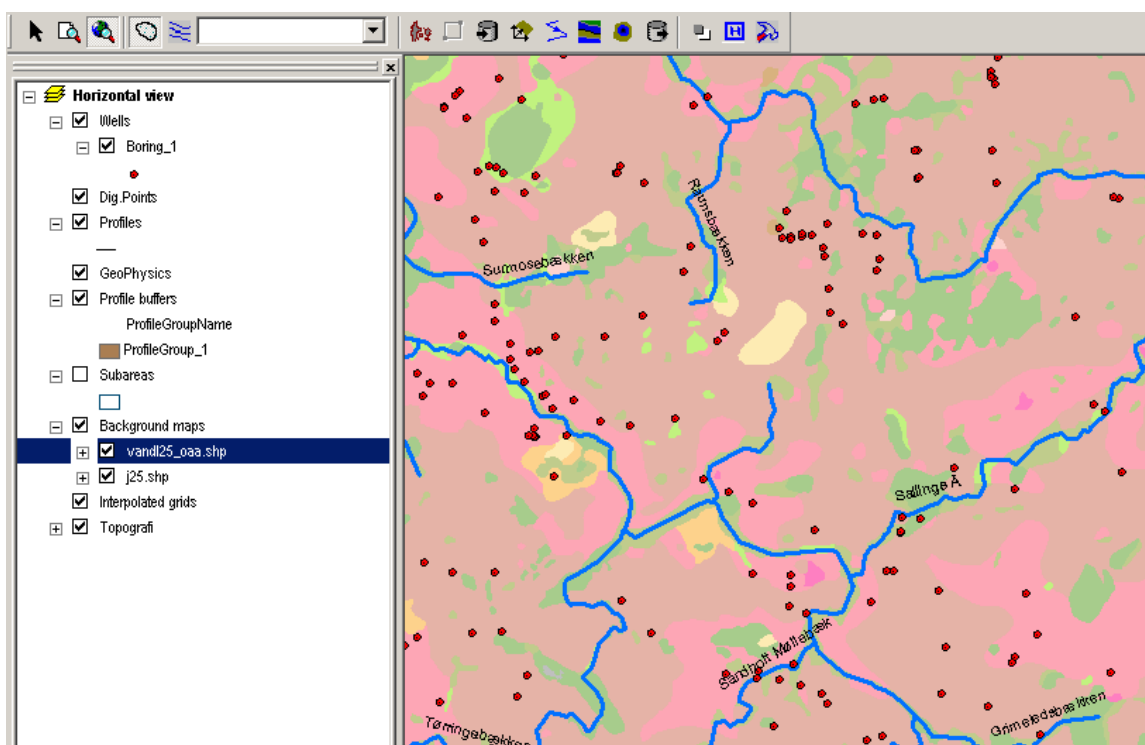
Data skal indlæses fra en ekstern datakilde ind i GeoStudios egen database (der blev oprettet i trin F). Vælg "Microsoft Access MDB-fil" som "Data source type" og vælg den specifikke MDB-fil ved at trykke på "Choose connection". "PC Jupiter Well Database" skal være valgt som "Format of data to import". Ved tryk på "Import" foregår selve dataoverførslen. Herefter vil der optræde et underpunkt til "Wells" i TOC'en med de importerede boringer (figur 2.9).

- L. Topografien kan indlæses nu. En meget enkel dialogboks udfyldes med navnet på det grid, der indeholder den digitale terrænmodel (figur 2.10).



Figur 2.10. Indlæsning af topografi (Trin L)

- M. Det vil nu være et passende tidspunkt at finpudse symboliseringen af det horisontale kort. Dette gøres ved hjælp af ArcMaps generelle værktøjer til dette. En lag-fil (.lyr) med de standardiserede jordartsfarver kan rekvireres hos GEUS. Kortet kan herefter se ud som på figur 2.11. Gem eventuelt også hele projektet på dette tidspunkt (ctrl-S).



Figur 2.11. Symbolisering af det horisontale kort ved hjælp af ArcMaps generelle værktøj (Trin M)

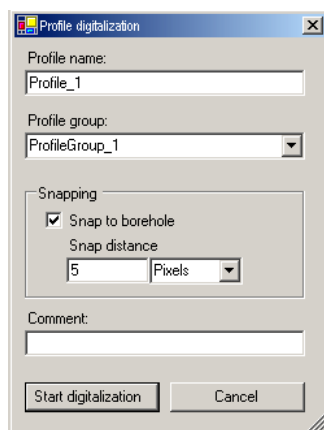
- N. Så er det tid til at definere profilerne. GeoStudio opererer med et hieraki bestående af "Profile Groups" og de enkelte profiler. Alle profiler i samme profile-group deler de 3 egenskaber, der er nævnt i trin F. Der er næppe grund til at arbejde med mere end én profile group i dette projekt.

Dialogboksen i figur 2.12 vises.



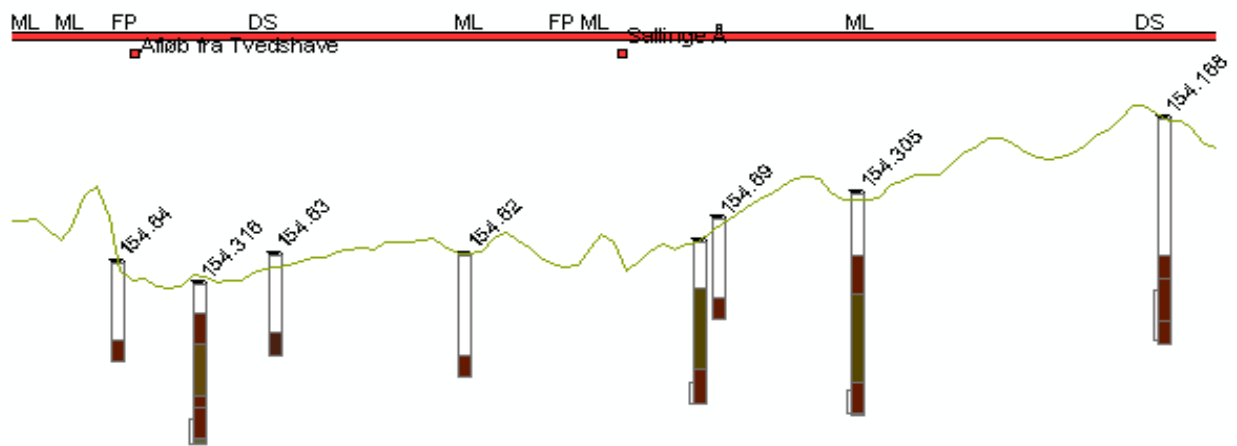
Figur 2.12. Definition af profiler i GeoStudio (trin N)

- O. Vælg knappen "Create and digitize a new profile". Herefter dukker en ny dialogboks op (figur 2.13), som udfyldes med passende navne hvorefter der trykkes på "Start digitization". På det horisontale kort konstrueres nu en linie med museklik – dobbeltklik afslutter. Hvis man har valgt det vil cursoren snappe til boringspunkterne.



Figur 2.13. Fremstilling af profiler med GeoStudio (Trin O)





Figur 2.14 Konstruktion af vertikalt profil.

P. Kortet skifter nu til det konstruerede vertikale profil (figur 2.14).

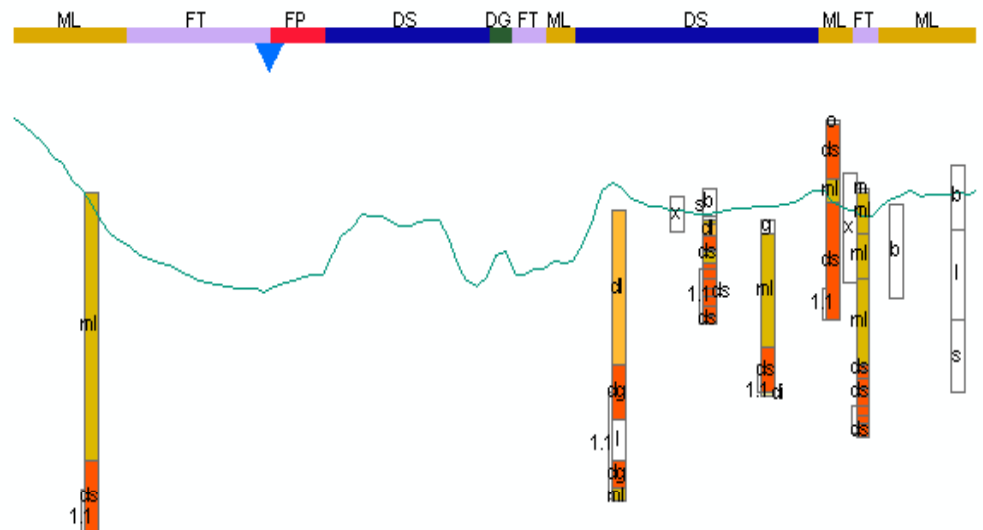
I TOC'en ses nu foruden den "gamle" data frame med navnet "Horisontal View" en ny med samme navn som det nye profil f.eks. "Profile\_1". Kun én data frame er aktiv ad gangen, og kun den aktive vises på skærmen, når man har valgt "Data View", som er standard ved start. Aktivisering af data frames kan foretages enten ved den almindelige ArcMap-metode (højreklik på data frame navn og vælg "Activate" – eller ved de knapper, der er anbragt i GeoStudios værktøjsbjælke (se figur 2.6).

Q. Signaturerne (farverne) for de forskellige bjergarter i profilerne kan redigeres. Tryk på "Edit soil type symbols" i den dialogboks, der definerer profiler (figur 2.12) og der kommer et tabelvindue nederst på skærmen. I dette kan farve-værdierne (RGB) for de enkelte symboler rettes, hvorefter knappen "Update profiles" vil opdatere profilerne med de nye farver. Standardfarver for jordarterne kan rekvireres på GEUS.

R. På profilerne vil der øverst være vist de "skærings-temaer", der er omtalt i trin G. Der vil sandsynligvis være behov for at ændre på deres symbolisering. Hvis man har valgt at vise en jordartsbjælke vil man med fordel kunne sætte strektykkelsen for dette linie-tema højt – f.eks.. 6 pixels. Ydermere skal farven på de enkelte liniesegmenter gerne svare til jordartskortets farver. Dette er en lidt kompliceret proces, som her gennemgås i detaljer

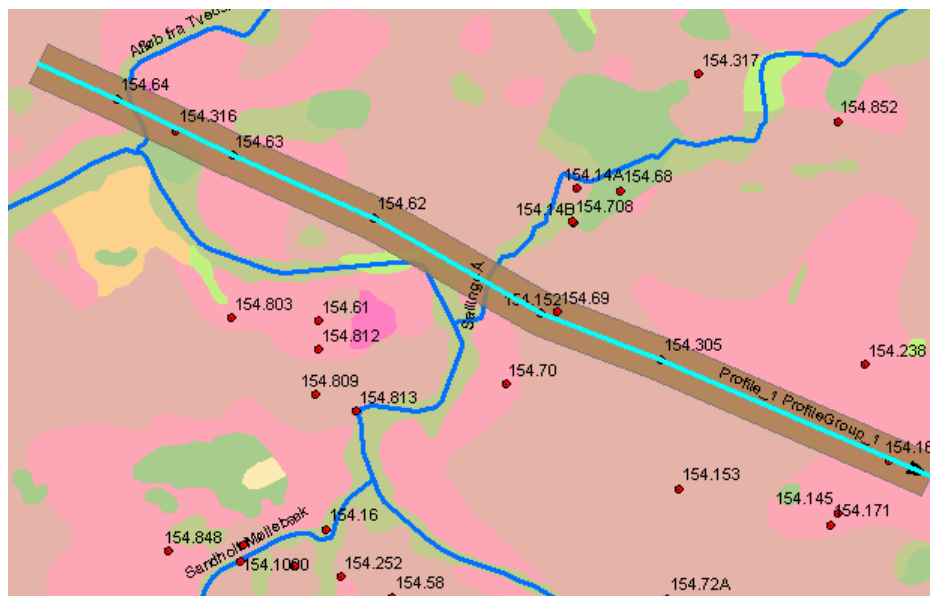
1. Jordartsbjælken gemmer sig under punktet "Background layer intersections" i TOC'en for det aktuelle profil. I denne gruppe er der to layers, et for henholdsvis linier og punkter. "Background maps line intersection" er jordartsbjælken – omdøb eventuelt til dette.
2. Dobbeltklik på navnet bringer "Layer properties"-dialogboksen frem. Vælg "Symbology"-fanen. Symboliserings-metoden er angivet til venstre og er sandsynligvis allerede "Categories"/"Unique values", men det styrende felt ("Value field") skal ændres fra "DataSourceType" til "Name". Tryk herefter på "Add all values" og fjern hakket ved "<all other values>"

3. Højreklik på en tilfældig af symbol-linierne og vælg "Properties for all symbols" – vi vil nemlig sætte den høje linietykkelse for alle symbolerne. Det er nødvendigt at ændre linietyper for at sikre at farvelægningen af de enkelte linesegmenter skifter ved en lodret linie og ikke ved en halvcirkel (dette bliver nemlig særlig tydeligt ved tykke linier). I "Symbol Selector"-dialogboksen vælges "Properties" og i den næste dialogboks ændres "Type" fra "Simple Line Symbol" til "Ca.rtographic Line Symbol", og "Width" sættes til f.eks. 6. Kontrollér at "Line Ca.ps" er sat til "Butt" – det er dette, der styrer linie-endernes form.
4. Med to gange "OK" er man tilbage til "Layer Properties"/"Symbology" – og nu kan farverne for de enkelt jordarter defineres. Enten ved at vælge et passende "Color Scheme" (når alle signaturer er markeret) – eller ved at benytte de samme farver som i det horisontale jordartskort. Desværre kan dettes farver ikke umiddelbart importeres, da der er tale om forskellige geometri-typer.
5. Disse noget komplicerede trin kan forenkles ved at rekvirere en lag-fil (.lyr) til jordartsbjælken fra GEUS. Via "import"-knappen på "Layer Properties"/"Symbology" kan den bringes i anvendelse.



Figur 2.15. Fremstilling af profiler med GeoStudio (trin R)

- S. Samtidigt med at det vertikale profil dannes, sker der også ændringer med det horisontale kort. Den digitaliserede profillinie vises – en pil angiver digitaliseringsretningen og en label viser navnet. Linien er nu gemt i GeoStudios geodatabase som et lag. Desuden er der genereret et polygon-lag, som angiver båndbredden for profilet. Disse 2 nye temaer optræder i TOC'en til det horisontale view under navne "Profiles" og "Profile buffers". Symboliseringen kan ændres efter behov (figur 2.16).



Figur 2.16. Fremstilling af profiler med GeoStudio (Trin S)

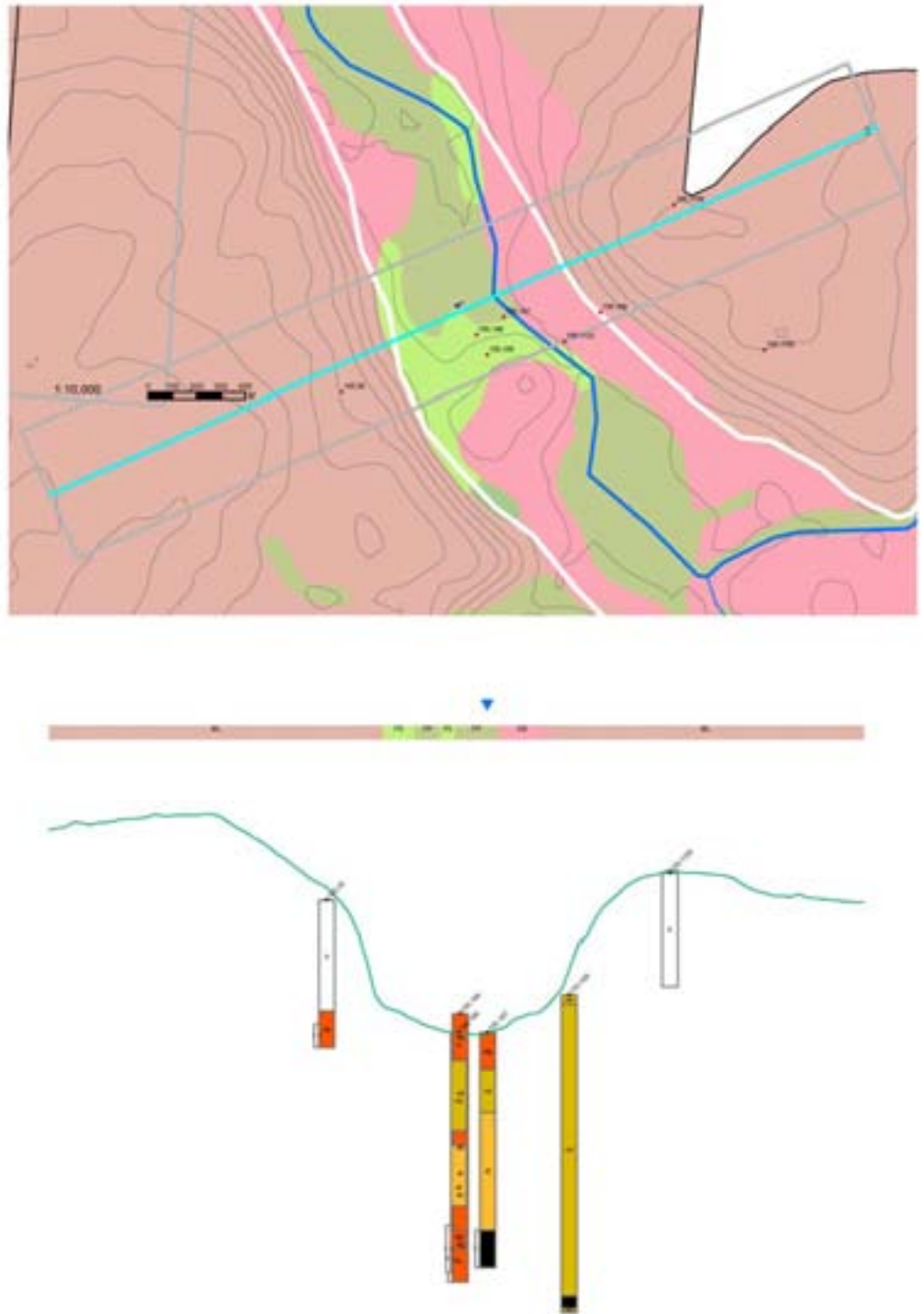
- T. Det vil ofte være praktisk at kunne fremstille et kort hvorpå både det vertikale profil og et passende udsnit af det horisontale kort ses på samme stykke papir. En sådant kort kan komponeres i ArcMaps Layout View, som der kan skiftes til bl.a. via en knap på GeoStudios værktøjsbjælke (nr 2 fra venstre). Det ligger uden for denne vejlednings rammer at beskrive proceduren i dette, da der er tale om generel ArcMap-funktionalitet.
- U. Efter fremstillingen af kort med profiler og eventuelt horisontale kort er arbejdet i ArcMap-regi til dette projekt afsluttet.

## 2.5 Tolkning af geologisk profil

Betegnelsen "profil" er benyttet i det ovenstående, fordi GeoStudio anvender den term. I projektet er der optegnet sådanne profiler for ni udvalgte placeringer langs Sallinge Å og Odense Å. Disse betegnes "transsekt" i det følgende.

Et eksempel på en færdigprocesseret geologisk profil-figur er vist i figur 2.17.

Der er i den afprøvede version af GeoStudio tilsyneladende ikke en facilitet til udtegnning af en lodret akse, i hvilken der tages hensyn til den valgte vertikale overhøjning. Det burde der være. Det har derfor været nødvendigt manuelt at optegne akserne.



Figur 2.17. Eksempel fra transekt T1 på færdigprocesseret profil-figur (før tolkning)

### ***Hydrogeologisk tolkning***

Ved tolkningen, som udføres af en hydrogeolog, trækkes linier, der forbinder sandsynlige sammenhørende afsnit i borerne. Da profilet skal danne baggrund for en hydrogeologisk tolkning lægges der primært vægt på sedimenternes **hydrauliske egenskaber**; således at lag med henholdsvis høj og lav hydraulisk ledningsevne samles. Jordartsbjælken over profilet er et væsentligt supplement til boreringsoplysningerne, idet informationerne herfra anvendes til at tolke lagenes eventuelle kontakt med terrænoverfladen. Denne oplysning er vigtig, da kontakt med jordoverfladen indikerer mulighed for oxiderende

forhold i et overfladenært grundvandsmagasin. Efter tolkning ser den samme figur ud som vist i figur 2.18.

### ***Klassikation af Ådalstyper***

Det tolkede profil danner, sammen med oplysning om specifik baseflow i det tilhørende vandløb (se kapitel 3) grundlag for en klassificering af Ådalstyper ifølge metoder beskrevet i Dahl et al. (2004).

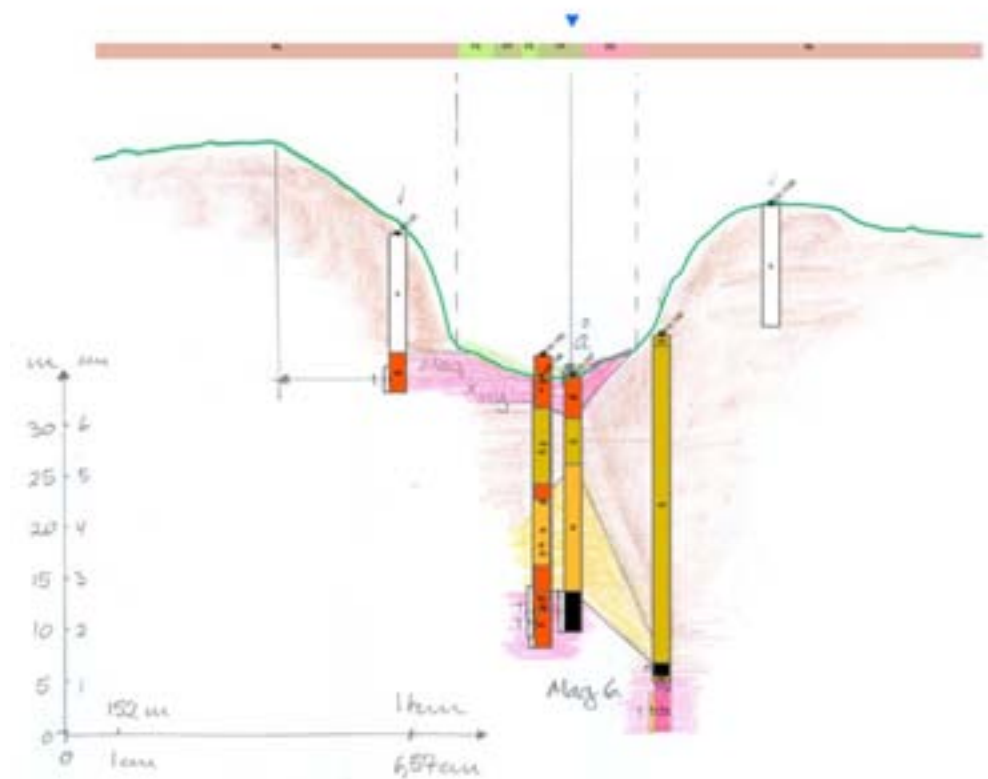
Er ådalen tilgrænset af et lavpermeabelt **dæklag** (ofte bestående af leret moræne) skelnes mellem Ådalstype 1 og 2 på grundlag af dæklagets **tykkelse**. I Dahl et al. (2004) er det angivet, at en tykkelse på mere end 10 - 15 m medfører at dæklaget forhindrer grundvandstilstrømning til ådalen, hvorved ådalen klassificeres som Ådalstype 1. Er tykkelsen af dæklaget derimod mindre end 10 - 15 m klassificeres ådalen som en Ådalstype 2.

Er ådalen tilgrænset af et højpermeabelt **grundvandsmagasin**, danner magasinets **horizontale udbredelse** basis for en skelnen mellem henholdsvis Ådalstype 3 og Ådalstype 4. Har grundvandsmagasinet en lille udbredelse klassificeres ådalen som Ådalstype 3, mens den klassificeres som Ådalstype 4, når udbredelsen er stor. Udbredelsen af **overfladenære** magasiner kvantificeres som afstanden fra vandløbet til det nærmeste topografiske vandskel. I lerede morænelandskaber ser det ud til, at udbredelsen ligger i intervallet 200 – 1100 m (se kapitel 4). Udbredelsen af **dybereliggende regionale** grundvandsmagasiner kvantificeres ud fra ækvipotentialkurvekort som afstanden fra vandløbet til grundvandsskellet for det pågældende magasin (se eksempel i figur 9.12 i Dahl et al. (2004)). **Tykkelsen** af det tilgrænsende grundvandsmagasin kan endvidere kvantificeres ud fra de tolkede profiler (se figur 2.18).

### ***Klassifikation af Strømningsvariant***

På grundlag af det optegnede topografiske profil kan **oplandets, ådalsskræntens og ådalens geomorfologiske karakteristika** kvantificeres. Herved forstås landskabs-elementernes horisontale udstrækning og højdeforskel (relief). Disse informationer anvendes, sammen med ovenstående hydrauliske og geometriske informationer for de tilgrænsende hydrogeologiske enheder til estimering af strømningsfordelingen i ådalen til brug for klassificering af Strømningsvariant (se kapitel 4).

Den væsentligste parameter for estimering af strømningsfordelingen i ådalen er dog den **hydrauliske ledningsevne for Ådalsmagasinet som helhed** (se kapitel 4). Det ses af profilet, at borerne ikke indeholder brugbar information om den geologiske opbygning af Ådalsmagasinet. Jordartsbjælken giver information om jordarten i en meters dybde, men denne information har imidlertid heller ikke en tilstrækkelig fin opløsning (i dybden) til at ledningsevnen for Ådalsmagasinet som helhed kan vurderes med en tilstrækkelig stor nøjagtighed. Ledningsevnen skal kunne vurderes indenfor mindst en dekades nøjagtighed (se kapitel 4). Det er derfor nødvendigt at udføre en detaljeret geologisk beskrivelse af Ådalsmagasinets opbygning. I kapitel 4 er en profilbeskrivelsesnøgle til brug for håndboringer beskrevet.



Figur 2.18. Eksempel fra transekt T1 på færdigprocesseret profil-figur (efter tolkning)

***Eksempel ved transekt T1***

I eksemplet givet i figur 2.18 ses i profilets venstre side den del af profilet, der er arbejdet med i projektet. Ådalen tilgrænses her af et overfladenært grundvands-magasin  $X_{ny}$  med en lille udbredelse (ca. 850 m). Magasinets tykkelse er ca. 5 m. Mellem magasin  $X_{ny}$  og magasin 6 ligger et dæklag på 15 – 20 meters tykkelse, hvilket indikerer, at der ikke finder

grundvandstilstrømning sted af betydning til ådalen fra magasin 6. Det vurderes således, at grundvandstilstrømningen til ådalen udelukkende stammer fra magasin  $X_{ny}$ . Ådalen klassificeres således som en Ådalstype 3.

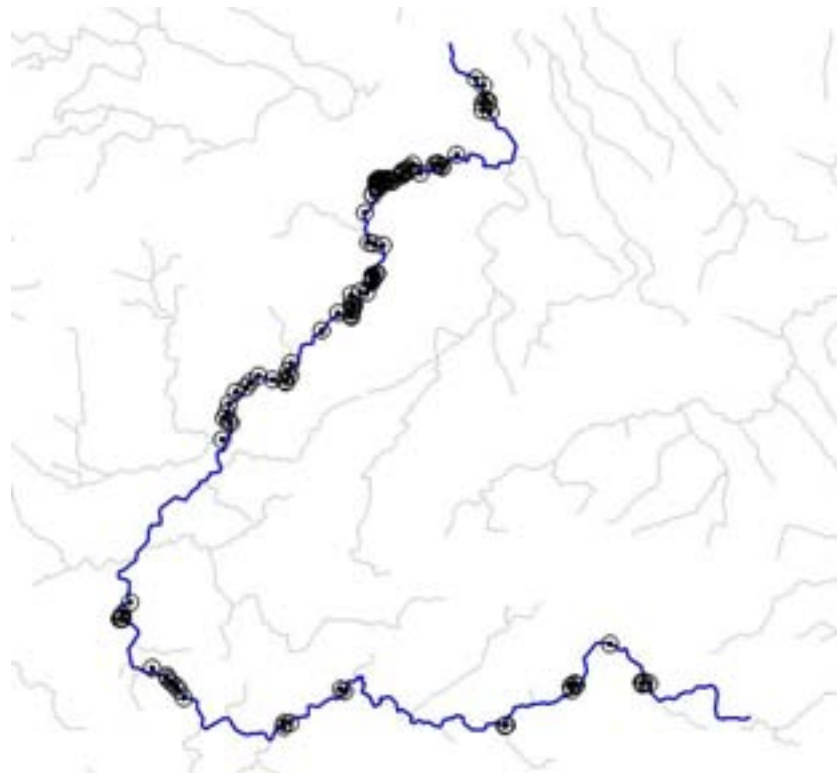
Magasin  $X_{ny}$  har ikke kontakt med terrænoverfladen i oplandet, hvor grundvandsdannelsen finder sted. Da magasinet dækkes af op til 20 m leret moræne, vurderes grundvandstilstrømningen til ådalen i dette tilfælde at være nitratfri, da det må antages, at grundvandet har passeret redoxgrænsen, inden det når magasinet.

I en meters dybde i Ådalsmagasinet findes ferskvandssand (FS) (måske er det i virkeligheden diluvialt sand DS), ferskvandsgytje (FP) og diluvialt sand (DS). Det tyder på, at Ådalsmagasinet ikke har særlig stor dybde i dette tilfælde, således at det er magasin  $X_{ny}$ 's sedimenter der træffes højt beliggende i ådalen.

Den horisontale udbredelse af opland, ådalsskrænt og ådal er henholdsvis ca. 500 m, 10 m og 350 m. De tilsvarende højdeforskelle (relief) er henholdsvis 11 m, 11 m og 2,5 m.

## 2.6 Datagrundlag

Desværre er der ikke så mange boringer tæt ved vandløb, og det betyder at der ikke er frit valg med hensyn til placering af transektter. Frem for at placere dem på de mest optimale steder set ud fra den geologiske opbygning omkring ådalen, vil det ofte være eksistensen af boringer, der bestemmer placeringen. I nedenstående figur er vist placeringen af boringer, der er mindre end 150 m fra Sallinge Å og Odense Å (fra tilløbet af Sallinge Å). Den viste strækning er på ca. 70 km, og der er ialt 125 boringer inden for de 150 m, og de er, som det fremgår af figur 2.19, alt andet end jævnt fordelt.



Figur 2.19. Placeringen af boringer i en afstand på mindre end 150 m fra Sallinge Å og Odense Å

Der er foretaget en landsdækkende analyse af forekomsten af boringer i nærheden af vandløb. Som vandløb er her valgt de strækninger fra TOP10DK's vandløbstema, der er kategoriseret som "bæk, å eller kanal med en bredde større end 2.5 m". Disse har en samlet længde på 17.354 km. Som boringer er valgt alle boringer fra GEUS's Jupiter-database, hvortil der er knyttet en prøvebeskrivelse. Der er der 170.000 af på landsplan. Antallet af boringer i forskellige maksimum afstande fra nærmeste vandløb fremgår af tabel 2.1.

Tabel 2.1. Landsdækkende forekomst af boringer i nærheden af vandløb (fra Jupiter databasen)

Max afstand fra vandløb (m)	Antal boringer	Gennemsnitligt antal boringer pr. km
500	49.765	2,9
300	30.150	1,7
150	15.676	0,9
50	6.589	0,4

Når man betænker, at der skal mindst tre boringer (og meget gerne flere) til at konstruere et brugbart profil, ses det af tabellen, at der meget nemt kan opstå mangel på egnede profilplaceringer. Boringernes og vandløbets placering er sat også relateret til landskabstypen, som den fremgår af et ældre landskabskort fra Dansk JordbrugsForskning i Foulum ([www.agrsci.dk](http://www.agrsci.dk)). Det vil sige, at såvel boringer som vandløbsstrækninger har fået tildelt en landskabskode. Antallet af boringer i den enkelte landskabstype er sammenlignet med den samlede vandløbs-strækning inden for den samme landskabstype. Resultatet er vist i tabel 2.2, der dog kun omfatter de vigtigste landskabstyper (hvori 91 % af vandløbslængden er placeret).

Tabel 2.2. Antal boringer fordelt på landskabstype vægtet i forhold til vandløbsstrækning

Landskabstype	Samlet vandløbslængde (km)	Længde i % af alle vandløb	Antal boringer max 150 m fra vandløb	Gennemsnitligt antal boringer pr km	Antal boringer max 50 m fra vandløb	Gennemsnitligt antal boringer pr km
Hedeslette	4.034	23,3	3.590	0,9	1.229	0,3
Yngre morænelandskaber	3.713	21,5	4.399	1,2	2.002	0,5
Litorina eller yngre	2.849	16,5	2.086	0,7	960	0,3
Bakkeø	1.386	8,0	1.345	1,0	407	0,3
Marsk	1.147	6,6	378	0,3	185	0,2
Tunneldal	1.008	5,8	1.263	1,3	637	0,6
Tørlagt inddæmmet areal	842	4,9	300	0,4	140	0,2
Markant dødislandskab	463	2,7	443	1,0	193	0,4
Yoldia Aflejringer	362	2,1	376	1,0	163	0,4



Det fremgår af tabel 2.2, at vandløbsstrækninger i tunneldale og yngre moræne-aflejringer er bedst dækket med boringer, mens marsk og inddæmmede arealer (forventeligt) er dårligst dækket.

Det vil i visse områder være muligt at kompensere for den dårlige boringsdækning ved at inddrage resultater fra geofysiske undersøgelser. Disse kan eventuelt hentes fra GEUS's Gerda-database eller fra en lokal database. GeoStudio er forberedt til også at håndtere disse datatyper.

# 3 Specifik tilvækst i medianminimum vandføring

Dette kapitel omhandler udvikling af et GIS redskab til beregning og udtegning af kort over specifik tilvækst i medianminimum vandføring i vandløb (projektets aktivitet 2).

Denne størrelse anvendes i forbindelse med GOI typologien som led i klassificering af Ådalstyper samt til estimering af strømning gennem ådalen til vandløbet (Nilsson et al., 2003; Dahl et al., 2004). Det antages at medianminimum vandføring kan anvendes som estimat for den faktiske udstrømning af grundvand efter en lang tør periode. I områder med betydelige oppumpninger af grundvand vil medianminimum vandføringen være stærkt påvirket, hvorfor metoden ikke er velegnet til bestemmelse af det naturlige (oprindelige) grundvandsbidrag her.

## 3.1 Medianminimum vandføring

Medianminimum vandføring er et mål for minimumvandføringen i et vandløb. Den beregnes som medianen af den årlige minimum vandføring i et vandløb, typisk over en periode på mindst 20 år. Medianminimum vandføringen, som dermed er en værdi, der i gennemsnit bliver undskredet hvert andet år, har i mange år været anvendt af amterne i forbindelse med administration af vandløb.

Størrelsen anvendes således til belysning af muligheder for indvinding af overfladevand, samt til vurdering af vandressourcer, specielt ved karakterisering af grundvandsafstrømning fra dybere magasiner. Størrelsen indgår også som reference ved dambrugsforvaltning og forvaltning af udledning fra rensningsanlæg.

Når vandføringen i vandløb efter en længere tør periode om sommeren er reduceret til medianminimum, sker den naturlige tilstrømning til vandløb kun fra grundvandsmagasiner. Hertil kan komme et - ikke naturligt - bidrag fra spildevandsudledninger.

I større vandløbssystemer er målestationer etableret til bestemmelse af døgnmiddelvandføring. Ved disse målestationer råder man over de længste observationsserier, og medianminimum vandføringen kan bestemmes med god nøjagtighed.

En helt nøjagtig bestemmelse af medianminimum vandføringen i alle grene af et vandløbssystem ville kræve en registrering af den daglige vandføring i alle grenene i en lang årrække. Da det er en uoverkommelig opgave, må man anvende andre metoder, når medianminimum ønskes fastlagt.

Dette foretages ved hjælp af synkronmålinger indenfor et helt vandløbssystem inden for et relativt kort tidsrum. Vandføringsmålinger

foretages på et tidspunkt, hvor afstrømningsforholdene er sammenlignelige med afstrømningsforholdene ved udvalgte referencestationer. Bedst er et tidspunkt, hvor afstrømningen ved referencestationerne har været kontinuert faldende efter en længere tør periode, og er faldet til et niveau omkring medianminimum.

På baggrund af måleserierne foretages en konvertering af vandføringen i de enkelte målepunkter ved hjælp af en omsætningsfaktor fra den målte værdi til en medianminimum vandføringsværdi.

De resulterende medianminimum vandføringer er gældende for de enkelte målestationer. De lokale variationer, der kan fremkomme mellem to målesteder, skal altid tolkes med forbehold, da de kan være et resultat af variationer knyttet til selve måledagen, såvel som måleusikkerhed. I enkelte vandløb har lokale udsving på måledagen påvirket vandløbene i en sådan grad, at en modelberegning af medianminimum vandføringen kan være nødvendig. Påvirkningerne er som oftest forårsaget af spildevandsbølger, usikkerheder på enkeltmålinger og nedbørspåvirkninger. Modelberegning af vandføringens kontinuerte forløb i en medianminimum situation kan udjævne disse udsving.

Det enkelte års minimum vandføring kan afvige betydeligt fra medianminimum vandføringen. I meget tørre år kommer niveauet i mange vandløb ned under halvdelen af medianminimum, og i nogen vandløb helt ned på omkring en fjerdedel. Som en konsekvens heraf er fastsættelsen af medianminimum vandføringen følsom overfor valg af beregningsperiodens længde og starttidspunkt.

### 3.2 Kravspecifikationer til GIS redskab

Anvendelse af nedenstående GIS procedure kræver at den udførende institution er i besiddelse af enten ArcView (fra 3.2), MAPINFO (fra 6.0) eller ArcGIS samt digitale data, der repræsenterer vandløb på de strækninger, hvor der foreligger målinger af medianminimum vandføring, samt koordinater for placering af medianminimum målestationerne. Programmerne dækker de GIS redskaber amterne typisk anvender, og som dermed er oplagte at benytte sig af i forbindelse med opgaveløsningen. Det er desuden muligt at konvertere filerne mellem programmerne. Det anbefales, at man anvender ArcView / ArcGIS, da der hertil er udviklet langt flere tillægsprogrammer, som er gratis.

### 3.3 Beskrivelse af GIS redskab

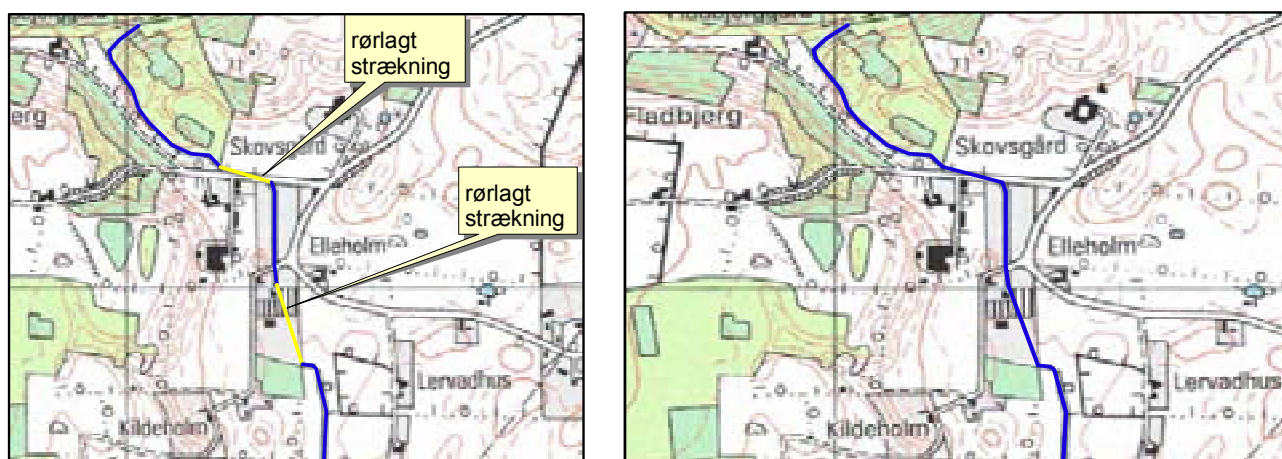
I det følgende præsenteres en trinvis GIS procedure til beregning af stræknings- og oplandsspecifik tilvækst i medianminimum vandføring langs vandløb (tabel 3.1).

Tabel 3.1. GIS procedure til beregning af stræknings- og oplandsspecifik tilvækst i medianminimum vandføring.

Trin	Kort beskrivelse	Funktionalitet
A	Sammenhæng i vandløbsnetværk	Sammenhæng i vandløbsnetværk etableres, hvor delstrækninger i GIS temaet ikke hænger sammen.
B	Entydig vandløbs-ID	Overflødige punkter i vandløbsnetværket fjernes.
C	Vandløbets strømningensretning	Der sørges for at vandløbene løber i nedstrøms retning.
D	Stationering	Tilføjelse af afstand fra udløb.
E	Overførsel af medianminimum vandføringsværdier	Medianminimum vandføring [l/s] ved målestationer overføres til vandløb.
F	Beregning af tilvækst i medianminimum vandføring	Mellem alle punkter, der ligger direkte efter hinanden langs en vandløbsstrækning tilføjes en information om, hvilket punkt der ligger direkte nedstrøms for et givet punkt. Disse informationer anvendes til at beregne tilvækst i medianminimum vandføring mellem målepunkterne. Det er vigtigt, at bidrag fra sidevandløb trækkes fra i beregningerne.
G	Beregning af stræknings- og oplandsspecifikke værdier	Beregning af stræknings- og oplandsspecifik tilvækst i medianminimum vandføring.

### 3.3.1 Trin A: Sammenhæng i vandløbsnetværk

For at kunne beregne tilvæksten i medianminimum vandføring langs en vandløbsstrækning ved hjælp af GIS er det som udgangspunkt nødvendigt, at vandløbsnetværket er sammenhængende. Hul i vandløbsstrækninger kan især opstå, hvor vandløb er rørlagt, eller fordi digitaliseringen har været for dårlig. Samling af vandløbene (snapping) kan enten være baseret på nogle automatiske rutiner eller en manuel bearbejdning i et af de tre ovennævnte GIS programmer (Arcview, ArcGIS eller MAPINFO). Figur 3.1 viser et eksempel herpå.



Figur 3.1. Eksempel hvor rørlagte strækninger, som danner huller i vandløbsnetværket (til venstre) udfyldes, så netværket bliver sammenhængende (til højre).

### 3.3.2 Trin B: Entydig vandløbs-ID

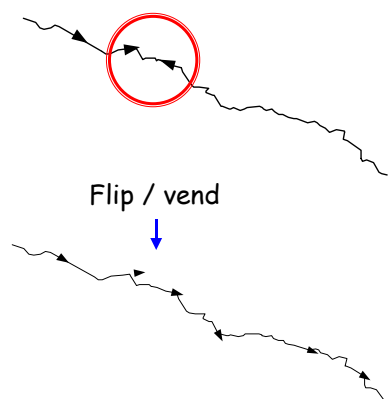
Den videre bearbejdning kræver, at hvert vandløb, for hvilke beregningerne skal gennemføres, kun har ét startsted og ét slutsted. Det vil sige, at alle objekter med en bestemt entydig vandløbs-ID, skal kunne udgøre en samlet

strækning. Dette betyder også, at et sidevandløb (et segment) til et givet vandløb nødvendigvis skal have en selvstændig ID, og at alle vandløb kun må bestå af ét segment, der ikke er underopdelt. Delstrækninger, der tilhører det samme vandløbssegment, samles ved hjælp af en 'dissolve' funktion (ArcView og ArcGIS) eller 'kombiner' funktion (Mapinfo). Det er vigtigt, at alle vandløb tildeles en entydig ID, der konsekvent benyttes i det videre forløb (figur 3.2).

Figur 3.2. Tildeling af entydigt vandløbs-ID (segmentering).

### 3.3.3 Trin C: Vandløbets strømningsretning

Afhængigt af digitaliseringsretning kan vandløb i et digitaliseret vandløbstema vende en vilkårlig vej. I den aktuelle sammenhæng er det vigtigt, at vandløbene løber i nedstrøms retning, når beregningerne langs strækningerne udføres (figur 3.3). Dertil anvendes kommandoen 'flip' i ArcView-tillægsprogrammer som Flip.avx eller Routesurvey.avx (begge kan hentes gratis på ESRI's hjemmeside, <http://arcscripts.esri.com/>), eller 'Vend linie' i Mapinfo's 'kommunepakke (COWI), Mapinfo's 'multipakke' (COWI), Mapinfo's VandløbTools (produceret af tidligere Kampsax Geoplan, Odense) eller 'spatial SQL'. De sidstnævnte hjælpeprogrammer er ikke gratis.

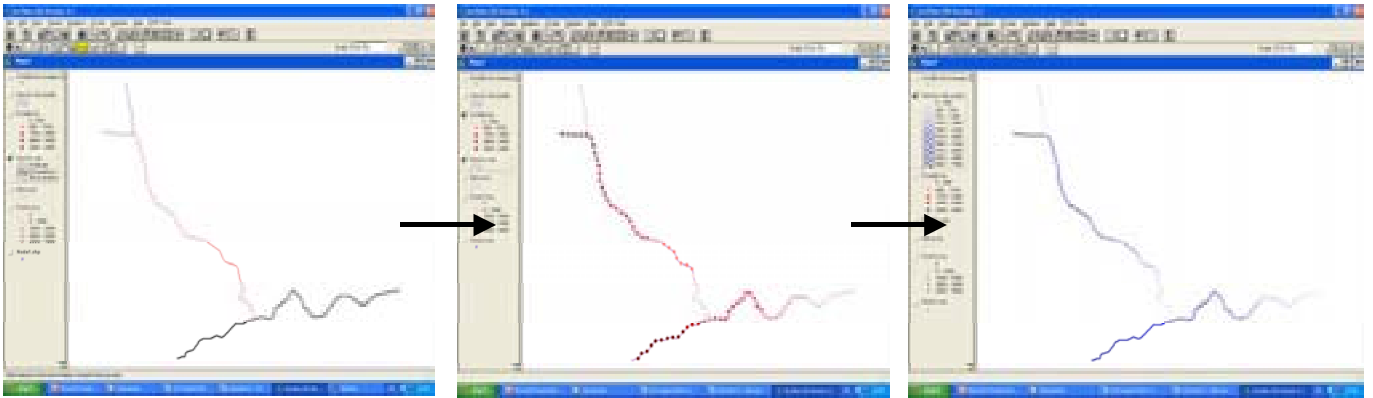


Figur 3.3. Ensretning af vandløbs strømningsretning.

### 3.3.4 Trin D: Stationering

Tildeling af stationering (afstandsangivelse) er påkrævet for at man efterfølgende kan beregne tilvækst i medianminimum vandføring, samt afstande og oplande mellem målestationer langs vandløbene. Et vandløbs nulpunkt defineres ved udløb i andet vandløb eller i havet. Herfra foretages stationeringen i opstrøms retning. Stationeringen angives i meter (se figur 3.4).

Til stationering kan der for eksempel anvendes Mapinfo's VandløbTools eller 'toolbox 1.07'. Det sidstnævnte program kan downloades gratis fra <http://www.routeware.dk/toolbox.php>. Problemet med disse programmer er, at stationering ikke er præcist relateret til punktets beliggenhed, men foretages med 100 meters interval. Alternativt findes der gratis programmer til Arcview (extensions) såsom divid2.avx, som opretter et punkttema med information om afstand fra udløbet. Disse afstandsangivelser kan bagefter overføres til vandløbstemaet ved hjælp af Point & Polyline Tools v1.2.avx (ligeledes gratis på ESRI's hjemmeside).



Figur 3.4. Kilometrering (afstandsangivelse). I starten er strækningerne uden information om afstand fra havet eller fra udløbspunktet til et overordnet vandløb (til venstre). Derefter foretages en segmentering af vandløbene, og der tilføjes samtidig den ønskede afstandsangivelse fra udløbspunkterne (i midten). Denne information relateres efterfølgende til de enkelte segmenters startpunkter (til højre).

### 3.3.5 Trin E: Overførsel af medianminimum vandføringsværdier

Overførslen af medianminimum vandføringsværdierne sker ved hjælp af en 'near relation' procedure mellem punkterne på vandløbstrækningen og målepunkterne, som foreligger i et separat tema. Målepunkterne flyttes til de nærmeste vandløbs-strækninger. Det er vigtigt at kontrollere, at dette udføres korrekt. Til dette kan man anvende gratis tillægsprogrammer til henholdsvis ArcView (Point & Polyline Tools v1.2.avx) og ArcGIS (snap and split program). Simple løsninger til brug med Mapinfo er ikke kendt. Det anbefales derfor, at man enten bruger et af de andre GIS programmer (ArcView / ArcGIS), at man selv programmerer løsningen ved hjælp af Mapbasic, eller at man anvender et af de tillægsprogrammer, der er nævnt under Trin C.

### 3.3.6 Trin F: Beregning af tilvækst i medianminimum vandføring

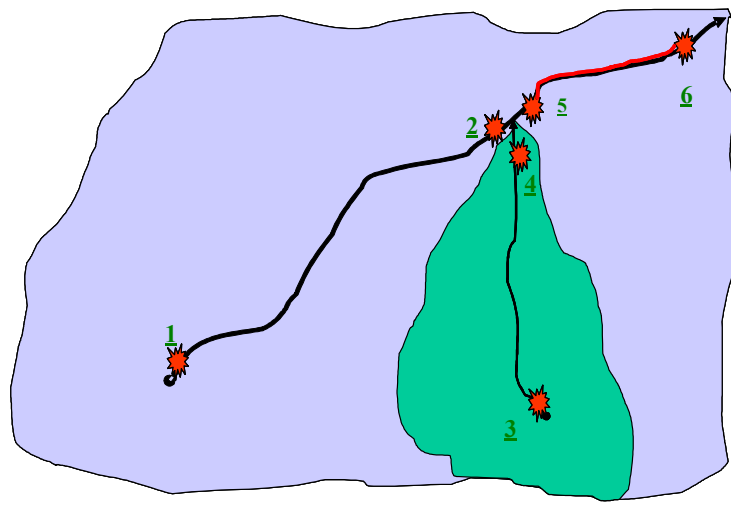
Efter stationeringen er tilføjet, er det muligt at beregne tilvækst i medianminimum vandføring mellem målepunkterne (se eksempel i tabel 3.2).

Tabel 3.2. Oplysninger der anvendes til at beregne tilvækst i medianminimum vandføring langs et vandløb.

Vandløb	Løbende nummer	Start (km)	Slut (km)	Mmin (l/s)	Mmin <sub>1</sub> (l/s)	Tilvækst (l/s)	Specifik tilvækst (l/s/km)
Mølle Å	1	0,0	3,6	10	0	10	2,78
Mølle Å	2	3,6	5,1	8	6	2	1,33
Mølle Å	3	5,1	17,2	6	7	-1	-0,08
Mølle Å	4	17,2	19,0	7	3	4	2,22
Mølle Å	5	19,0	25,6	3	3	0	0,00
Mølle Å	6	25,5	29,0	3	1	2	0,57
Mølle Å	7	29,0	30,7	1	1	0	0,00

Den første kolonne indeholder en identifikation for hvert vandløb, mens 'løbende nummer' kendetegner delstrækninger. Hver af disse delstrækninger starter og slutter ved en medianminimum målestation. Stationerne er sorteret i rækkefølge fra kilde til udløb i hovedvandløb eller hav. De næste to kolonner indeholder kilometrer for startpunkt og slutpunkt for hver delstrækning. De næste to kolonner indeholder medianminimumværdien ved slutpunktet (Mmin) og ved startpunktet (Mmin<sub>1</sub>). De sidste to kolonner viser beregnet absolut tilvækst og strækningsspecifik tilvækst i medianminimum vandføring mellem to stationer.

Alternativt kan der anvendes et tillægsprogram til Arcview, der hedder ArcNodeTopology.avx (kan hentes gratis fra Esri's hjemmeside), som opretter 'punkt til punkt' relationer mellem delstrækninger langs en sammenhængende strækning, eller et Visual Basic program, der hedder 'Calculate Fnode Tnode 1.1' (gratis tilgængeligt fra Esri's hjemmeside), som kan anvendes til at oprette de samme relationer, og kan anvendes sammen med ArcGIS.



Figur 3.5. Beregning af tilvækst i medianminimum vandføring. Beregningerne foretages fra målepunkter der ligger bagved et sidetilløb (punkterne 1, 3 og 5) til målepunkter der ligger foran et tilløb (punkterne 2, 4 og 6).

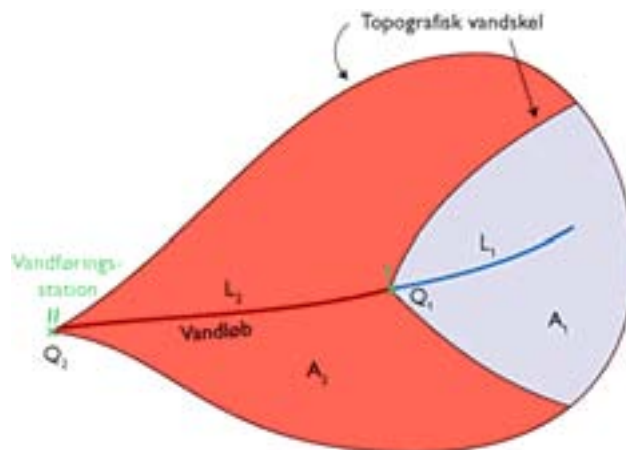
### 3.3.7 Trin G: Beregning af stræknings- og oplandspecifikke værdier

Det har hidtil været almindelig praksis i Danmark at relatere medianminimum vandføringen til det topografiske opland for at opnå sammenlignelige relative værdier. I medianminimum situationen er det imidlertid grundvandsoplandet, der bidrager med tilstrømning til vandløbene. Dette er tilfældet både for de overflade-nære magasiner og for de dybereliggende magasiner, som det er beskrevet i Dahl et al. (2005). Ved brug af topografiske oplande opnås derfor ikke et korrekt billede af fordelingen af grundvandstilstrømningen. Da størrelsen af grundvandsoplandet imidlertid ikke kendes, især ikke for de overfladenære magasiner, anbefales det i stedet at relatere grundvandstilstrømningen til den vandløbsstrækning, der modtager vandet.

For at illustrere forskellen på de to metoder er de anvendt til fremstilling af kort over henholdsvis oplandsspecifik tilvækst i medianminimum vandføring (baseret på topografisk opland mellem målestationer) og strækningsspecifik tilvækst i medianminimum vandføring (baseret på afstande mellem målestationer).

Princippet i beregningerne er vist i figur 3.6. Den oplandsspecifikke værdi for strækningen fra udspring til vandføringsstation I beregnes som  $(Q_1 - 0) / A_1$ , og for strækningen mellem station I og II som  $(Q_2 - Q_1) / A_2$ . De topografiske oplande til hver målestation er bestemt af Hedeselskabet (1995).

Tilsvarende beregnes den strækningsspecifikke værdi for strækningen fra udspring til vandføringsstation I som  $(Q_1 - 0) / L_1$ , og for strækningen fra station I til II som  $(Q_2 - Q_1) / L_2$ . Nedenfor angives metoder til beregning af længden af vandløbsstrækningen mellem målestationerne.



Figur 3.6. Beregning af stræknings- og oplandsspecifik tilvækst i medianminimum vandføring.

#### **Beregning af længde af vandløbsstrækning (L) mellem målestationer**

Når længden af vandløbsstrækningen mellem målestationer (L) skal indgå i beregningen, vil man stå over for det problem, at kortgrundlaget og digitaliseringsnøjagtigheden vil have indflydelse på længdeberegningen.

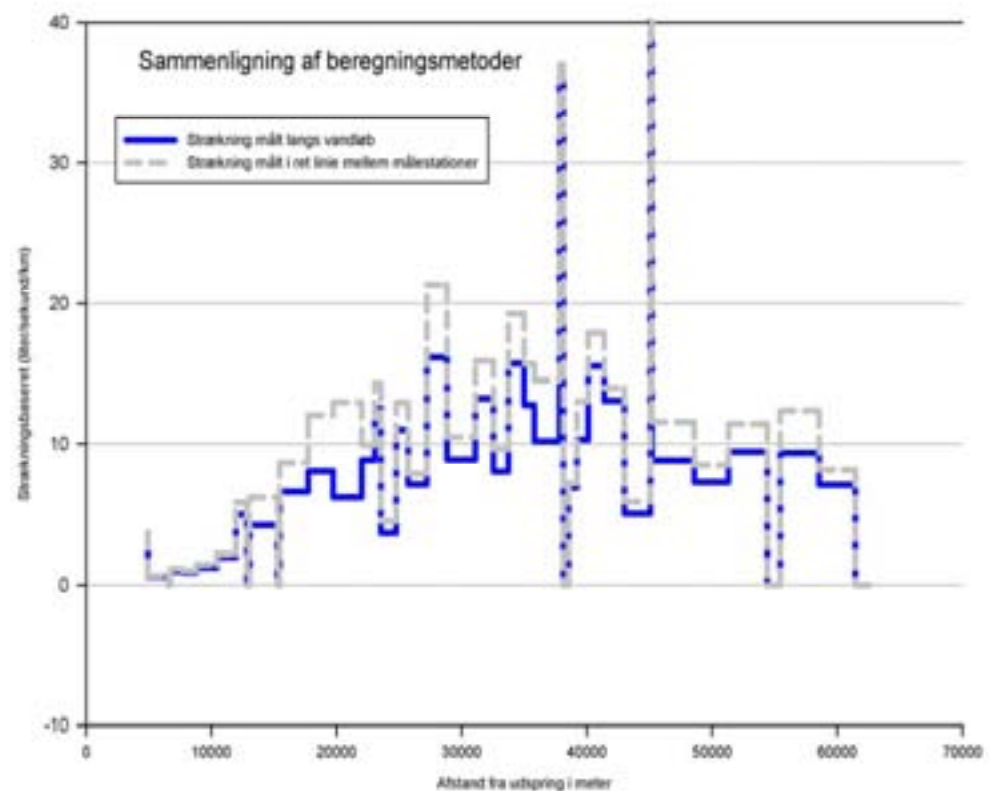
For et specifikt udsnit af en vandløbsstrækning langs Sallinge Å og Odense Å fås f.eks. følgende værdier:



- Vandløbslængde ifølge TOP10DK's vandløbstema: 70574 m
- Vandløbslængde ifølge GEUS's strukturerede vandløbstema: 69003 m
- Vandløbslængde ifølge en grov digitalisering: 68267 m

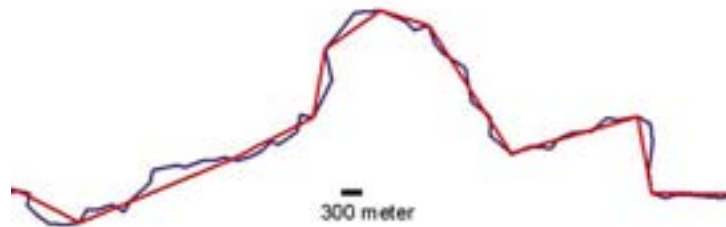
Den korteste er 3 % kortere end den længste – der er altså ikke tale om en voldsom forskel.

Hvis målestationer ligger tilstrækkeligt tæt, kan man vælge at benytte afstanden i lige linie mellem stationerne, som den længde (L), der indgår i beregningerne. For et mindre udsnit af ovennævnte vandløbsstrækning (fra første til sidste målestation) giver en længdeberegning langs GEUS's vandløbstema 58490 m, mens den retlinede rute gennem målestationerne giver 47380. Dette giver naturligvis en mere markant forskel, hvor den lave værdi er 19 % mindre end den høje. Anvendes de to forskellige længdeberegninger til beregning af stræknings-specifik tilvækst i medianminimum vandføring fremkommer resultaterne præsenteret i figur 3.7. Som forventet vil værdierne baseret på den rette linie mellem målestationerne være større, da tilvæksten i vandføring divideres med et mindre tal. Det konkluderes, at det ikke generelt kan anbefales at anvende afstanden i lige linie mellem målestationer.



Figur 3.7. Strækningsspecifik tilvækst i medianminimum vandføring beregnet ud fra afstande henholdsvis langs vandløb (blå), og langs ret linie (grå) mellem målestationer.

Den mest kontrollerbare løsning vil da være at gå ud fra et givet veldefineret tema (f.eks.. TOP10DK (Kort 10 /Vektor)) og underkaste dette en generalisering med en veldefineret al.goritme, f.eks.. Douglas-Peucker med en passende tolerance, f.eks.. 300 m. Figur 3.8 viser en vandløbsstrækning før og efter en sådan generalisering.

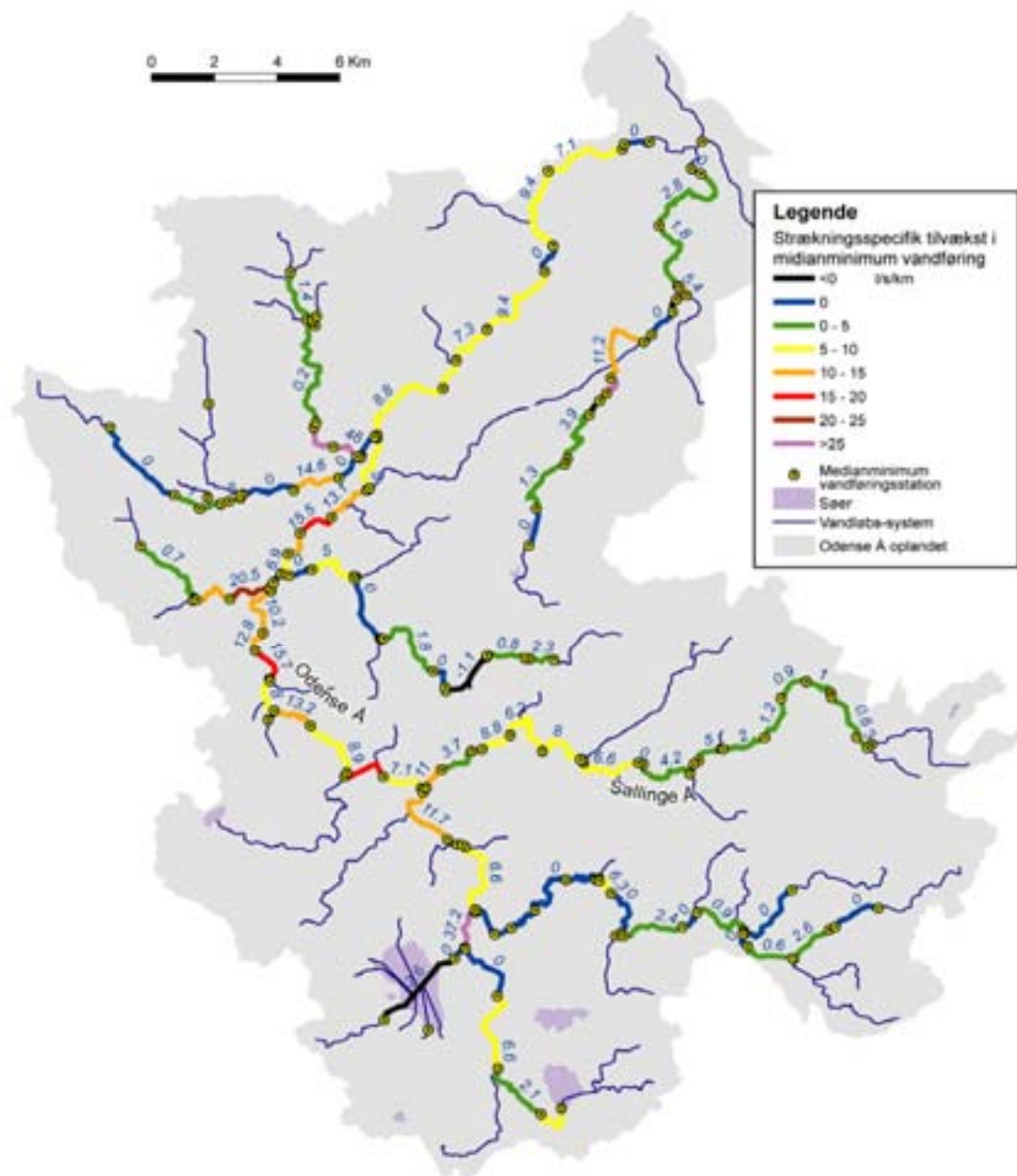


Figur 3.8. Beregning af vandløbslængde langs GEUS's vandløbstema (blå) og en generaliseret rute (Douglas-Peucker algoritme - rød). Det må derfor anbefales, at en sådan generalisering udføres, når der skal laves sammenlignelige beregninger baseret på et varieret kortgrundlag.

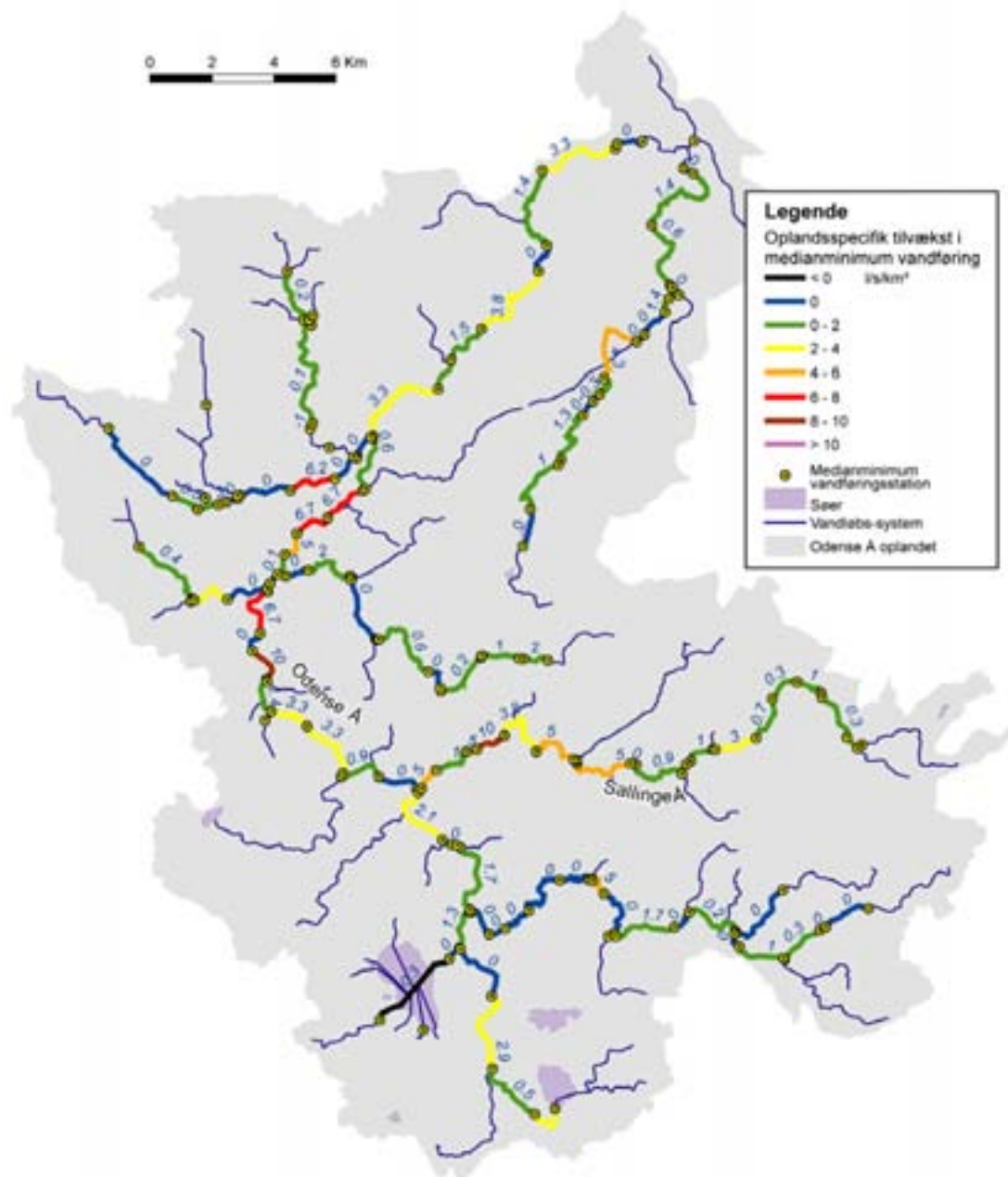
I de nedenstående beregninger er generaliseringen imidlertid ikke udført, da det anvendte vandløbstema i forvejen havde en passende generaliseringsgrad.

#### 3.4 Eksempel fra Odense Å oplandet

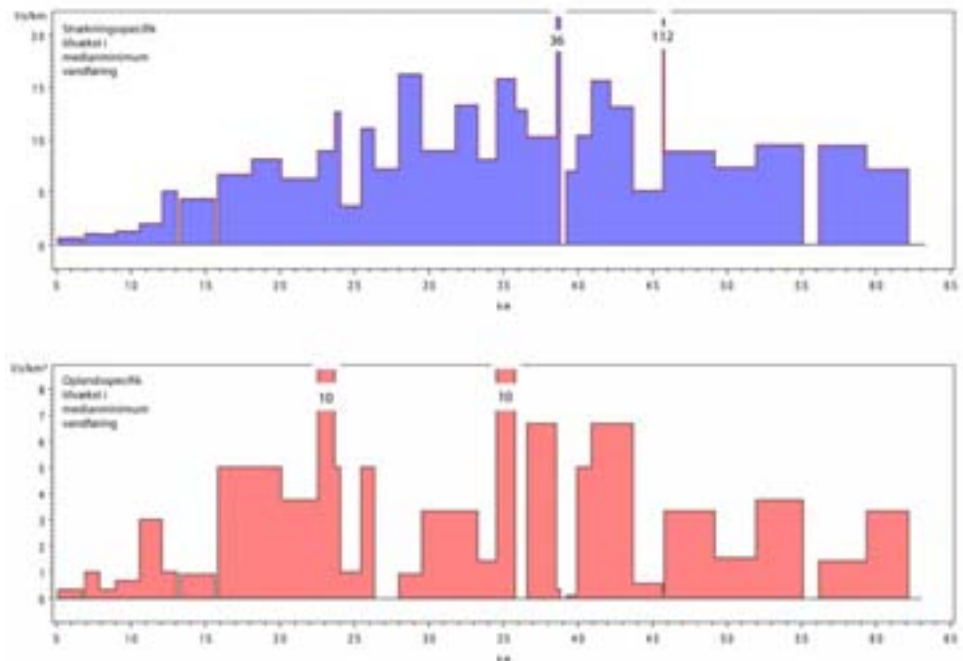
Som eksempel på beregning af de specifikke værdier er vandløbene i Odense Å oplandet anvendt. I figur 3.9 er de strækningsspecifikke værdier illustreret, mens de oplandsspecifikke værdier er præsenteret i figur 3.10. Ved en hensigtsmæssig intervalinddeling af skalaen på de to kort fremkommer en fordeling af værdierne, der overordnet set er sammenlignelig. Dette fremgår af figur 3.11, hvor de specifikke værdier langs Sallinge Å og Odense Å er illustreret.



Figur 3.9. Strækningsspecifik tilvækst i medianminimum vandføring (l/s/km vandløb) i Odense Å oplandet.



Figur 3.10. Oplandsspecifik tilvækst i medianminimum vandføring (l/s/km<sup>2</sup> topografisk opland) i Odense Å oplandet.



Figur 3.11. Stræknings- og oplandsspecifik tilvækst i medianminimum vandføring langs Sallinge Å (fra ca 5 km's afstand fra udspringet til sammenløbet med Odense Å i ca 26 km) og Odense Å (ca 26 km til 63 km nær udløbet i Odense Fjord).

I medianminimum situationen strømmer der generelt ikke grundvand ud ved vandløbsudspringene. Langs de øvre strækninger af vandløbene ligger værdierne på henholdsvis 0-5 l/s/km og 0-2 l/s/km<sup>2</sup>. Langs de midterste strækninger findes generelt de største værdier på henholdsvis 5-20 l/s/km og 2-10 l/s/km<sup>2</sup>. Langs de nedre strækninger falder værdierne igen til henholdsvis 5-10 l/s/km og 0-4 l/s/km<sup>2</sup>. Dette forløb, der er nærmere kommenteret i Dahl et al. (2004), illustrerer vandløbenes kontakt med de bidragende grundvandsmagasiner. De store værdier findes således i det regionale udstrømningsområde for et stort regionalt magasin, der rækker langt ud over det topografiske opland, mens de mindre værdier findes i udstrømningsområder for overfladenære, mindre magasiner, hvis udstrækning sandsynligvis nogle gange er i overensstemmelse med det topografiske opland, mens det nogle gange ikke er i overensstemmelse hermed.

Af figur 3.11 fremgår nogle meget store værdier ved begge metoder. De to meget store strækningsspecifikke værdier findes ved tilløbet af store sidevandløb. De skyldes derfor sandsynligvis usikkerhed i bestemmelsen af medianminimum vandføringen. Årsagen til de to meget store oplandsspecifikke værdier skal derimod sandsynligvis findes i bestemmelsen af det tilhørende topografiske opland. Der bør derfor ses bort fra disse urealistisk store værdier.

For langt hovedparten af strækningerne er der udstrømning af grundvand til vandløbene. Der er dog også få strækninger (se figur 3.9 og 3.10), hvor vandløbsvand infiltrerer ned i et tilgrænsende grundvandsmagasin, hvorved vandføringen mindskes i nedstrøms retning (negativ tilvækst).

Ud fra figur 3.11 fremgår det, at der ikke er overensstemmelse mellem forløbet af de strækningsspecifikke værdier. Forløbet af de oplandsspecifikke værdier varierer meget mere. Nogle gange ligger de over, nogle gange under de strækningsspecifikke.

Dette kan med stor forsigtighed anvendes som indikation på størrelsesforholdet mellem det topografiske opland og grundvandsoplandet, under antagelse af, at der er et nogenlunde konstant forhold mellem længden af vandløbsstrækningen (L) og det topografiske opland (A) mellem to målestationer (se figur 3.6):

- Hvis kurven for den oplandsspecifikke værdi ligger væsentligt over den strækningsspecifikke vil det bidragende grundvandsopland sandsynligvis være større end det topografiske opland.
- Svarer kurverne nogenlunde til hinanden, er der sandsynligvis god overensstemmelse mellem de to oplandes størrelse.
- Ligger kurven for den oplandsspecifikke værdi derimod væsentligt under den strækningsspecifikke, vil grundvandsoplandet sandsynligvis være mindre end det topografiske opland, eller grundvandsmagasinet kan være dækket af et lavpermeabelt lag op mod vandløbet.

På basis af ovenstående diskussion anbefales det i fremtiden primært at anvende kortet over den strækningsspecifikke tilvækst i medianminimum vandføring ved administration af sammenhængen mellem grundvand og overfladevand, da det giver det mest korrekte billede af den relative fordeling af grundvandsudstrømningen til vandløb. Kortet over oplandsspecifik tilvækst i medianminimum vandføring kan dog støtte de hydrologiske tolkninger af sammenhængen, som beskrevet ovenfor.

### 3.5 Status for medianminimum vandføring i Danmark

Der er i oktober 2004 foretaget en spørgeskemaundersøgelse vedrørende data for medianminimum vandføring i amterne. Formålet med undersøgelsen er at give et overblik over antallet af datapunkter, homogenitet, dataformat og relaterede parametre. Undersøgelsens resultater er opsummeret i de nedenstående tabeller og i figur 3.12.

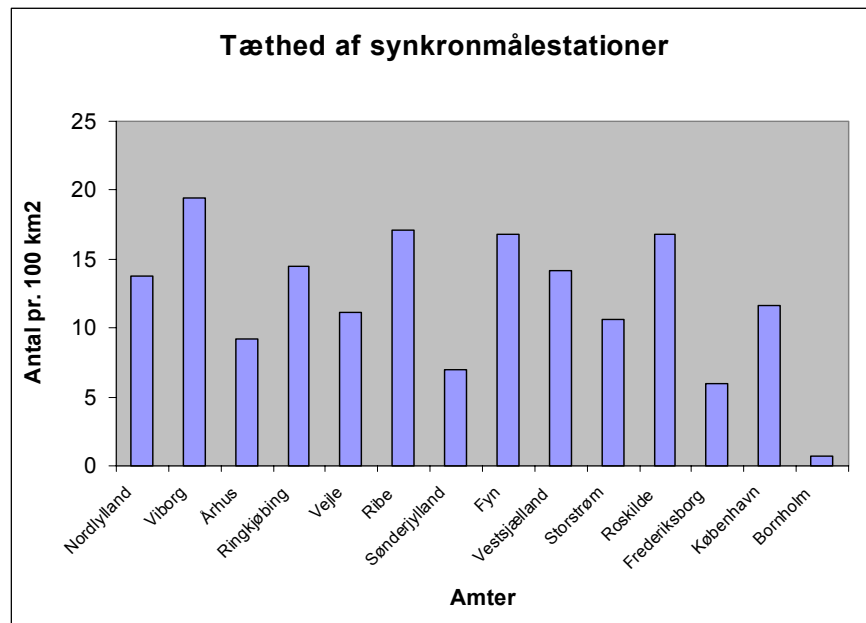
Sammenfattende kan det konkluderes, at de omkring 5600 målestationer med data for medianminimum vandføring er rimeligt jævnt fordelt i Danmark. Metoden til fastlæggelse er den samme i alle amter, men den referenceperiode, der anvendes til opgørelserne, varierer noget mellem amterne. Dette medfører en mindre inhomogenitet i de samlede data. Endvidere er der regionale forskelle på tidspunktet for målinger og beregninger, hvilket gør det samlede datasæt yderligere inhomogent. På trods af dette vurderes det, at datasættet kan anvendes til en samlet oversigt til belysning af samspillet mellem grundvand og overfladevand, herunder medianminimum vandføringens geografiske fordeling.

Tabel 3.3. Status for synkronmålinger og medianminimum vandføring i amterne.

Dataindsamlingsperiode	1975 – 2004. For omkring halvdelen af de større danske vandløbssystemer findes opdaterede data, hvor målingerne er foretaget inden for de seneste 10 år. Enkelte amter har en fast plan for revidering og opdatering af data med 10-års interval. De resterende data er ældre, og mange af de ældste data fra midten af 70'erne anvendes fortsat i en del af amterne.
Referenceperiode	Normalt anvendes 1971 – 1990 eller 1971 – 2000. Enkelte steder anvendes 1981-2000 eller 1976-1995.
Koordinater	Næsten alle målesteder er koordinatsat og kan håndteres i GIS.
Dataformat	De fleste data (ca. 80 %) findes på digitalt format, men den øvrige del findes kun på papir.
Hydrologisk reference og nummerering	Kun meget få af målestationerne har hydrologisk reference. Næsten alle målestationer har 6-cifret nr. i henhold til Hedeselskabets stednr. system.
Oplandsareal	For alle målestationer findes oplysning om arealet af det samlede topografiske opland opstrøms målestationen.
Kortdata	I de fleste tilfælde findes målestationerne i GIS-temaer. Oplandsarealer og deloplande kan kun i enkelte amter håndteres i GIS. Kort over medianminimum afstrømning findes for en større del af nettet, men næsten udelukkende på papir. I flere amter er digitalisering og GIS arbejde i gang.
Geografisk dækning	Hele Danmark er dækket. Der er nogen forskel på datatætheden amterne imellem, men indenfor det enkelte amt er data jævnt fordelt. Alle større vandløbssystemer er dækket, mens det ofte ikke er tilfældet for små kystnære vandløbssystemer.

Tabel 3.4. Amtsvis opgørelse over antal medianminimum vandføringsmålestationer.

Amt	Antal målestationer
Nordjylland	850
Viborg	802
Århus	420
Ringkjøbing	700
Vejle	335
Ribe	535
Sønderjylland	277
Fyn	586
Vestsjælland	423
Storstrøm	362
Roskilde	150
Frederiksborg	80
København	61
Bornholm	4
I alt	5585

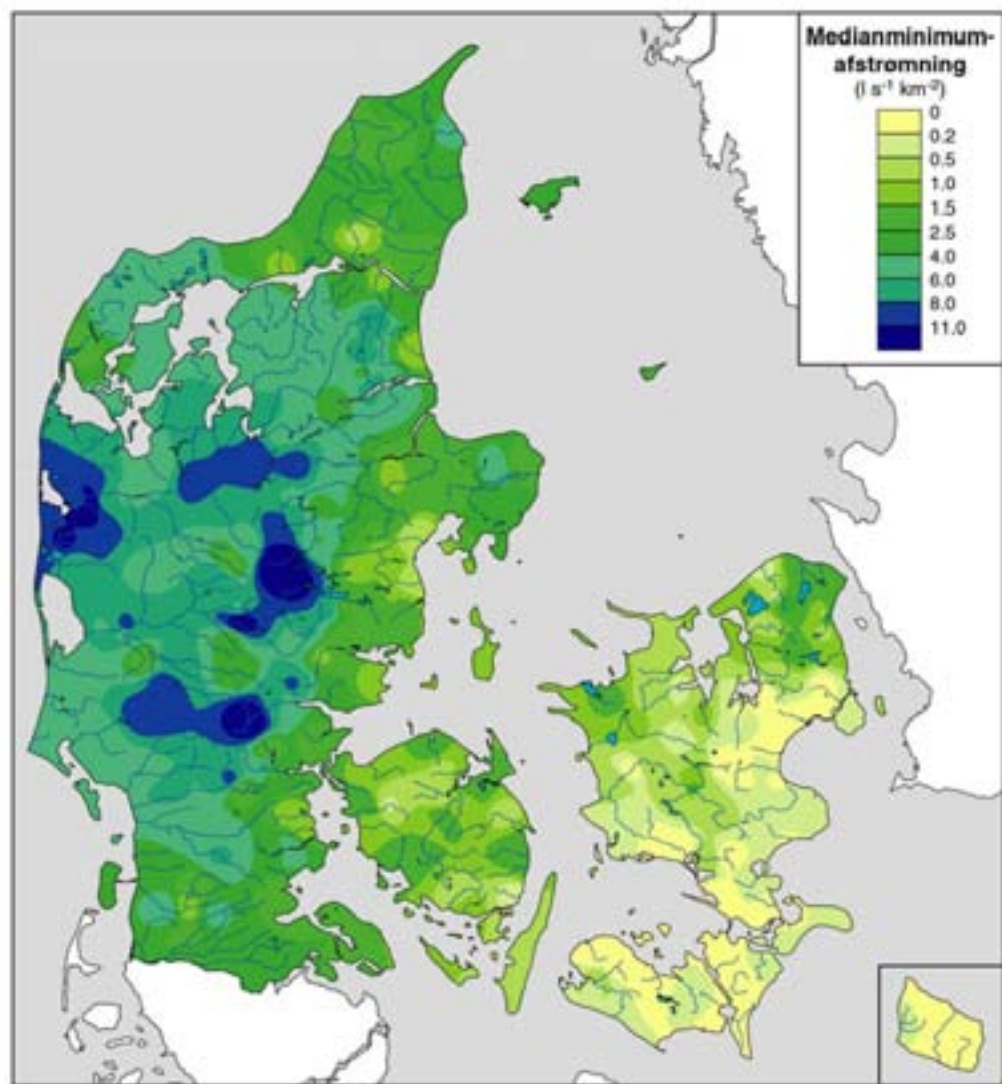


Figur 3.12 Dækningsgrad i amter af målestationer, hvor der foretages synkronmålinger til beregning af medianminimum vandføring.

Figur 3.13 viser en grov fordelingen af **medianminimum afstrømning** for hele landet. Kortet er baseret på 243 målestationer som var i drift den 1. januar 1999, hvor der kontinuerligt registreres vandstand og måles afstrømning i vandløb ifølge Fagdatacenter for Hydrometri (DMU). Dette stationsnet giver et direkte kendskab til medianminimum afstrømningen fra ca. 55 % af landets areal. Derudover findes et antal stationer, hvor vandføringen fastlægges ved enkeltmålinger, der relateres til en nærliggende referencestation samt en del stationer, hvor der kun registreres vandstand. Kortet er fremstillet ved interpolation mellem værdier beregnet som medianminimum vandføring divideret med det samlede opstrøms beliggende topografiske opland til målestationen. Kortet viser derved ikke en oplandsspecifik tilvækst for delstrækninger mellem målestationerne som figur 3.10 og er derfor ikke sammenligneligt hermed.

Et landsdækkende kort over stræknings- og oplandsspecifik tilvækst i medianminimum vandføring er ikke udarbejdet. Udfra ovenstående diskussion anbefales det at udarbejde i det mindste det strækningspecifikke kort til brug for den fremtidige administration af samspillet mellem grundvand og overfladevand.





Figur 3.13. Medianminimum afstrømning i Danmark (Ovesen et al., 2000).

### 3.6 Perspektivering

I forbindelse med implementering af Vandrammedirektivet er det vigtigt at kunne vurdere sammenhængen mellem grundvand og overfladevand både kvantitativt og kvalitativt. Kort over stræknings-specifik tilvækst i medianminimum vand-føring kan være et vigtigt redskab i denne forbindelse, når grundvandsbidraget skal vurderes. Et væsentligt problem består imidlertid i, at der mangler et tilstrækkeligt antal medianminimum vandføringsmålinger, som kan betragtes som repræsentative for en given referenceperiode, og som samtidigt opfylder de krav, der stilles for at kunne beregne tilvæksten langs vandløbsstrækninger.

Et andet problem består i, at det ofte er vanskeligt at samle vandløbstemaer på tværs af amtsgrænser. For at minimere eller helt undgå dette problem vil det være en klar fordel, hvis amterne benyttede den samme procedure til beregning af f.eks.. medianminimum vandføring, eller at DMU eller GEUS var ansvarlige for fremstilling og vedligeholdelse af et medianminimum vandføringstema på landsplan.

Kort over specifik tilvækst i medianminimum vandføring vil, som de andre værktøjer og metoder udviklet i forbindelse med GOI typologien, kunne anvendes i forbindelse med amternes indsatsplaner og vandplaner. Formålet med disse er at identificere de områder, hvori der skal foretages en indsats for at minimere belastningen af overfladevandområderne, uanset om belastningen stammer fra overfladenær eller dybere grundvandsafstrømning.

# 4 Strømningsfordeling i ådal

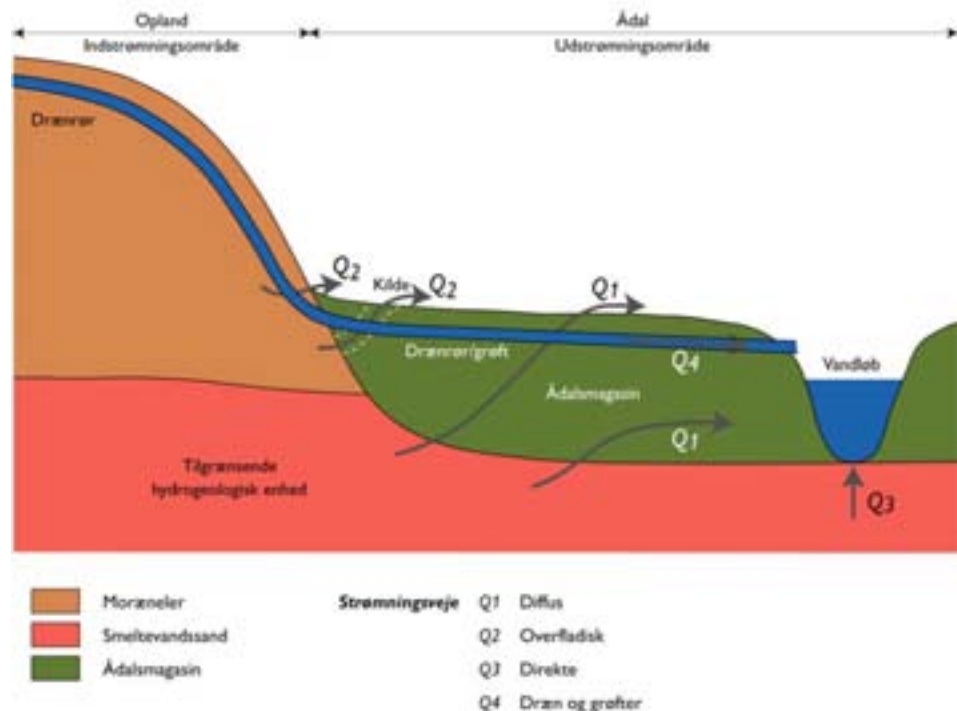
## 4.1 Indledning

I GOI typologiens 3. niveau, Strømningsvariant, klassificeres ådale ifølge den dominerende strømningsvej gennem ådalen (Dahl et al., 2004). I dette projekts aktivitet 3 er der arbejdet med udvikling af en **metode til estimering af strømningsfordeling i ådalen i morænelandskaber**. Dette kapitel beskriver metodeudvikling. Til sammenligning er beregningsmetoder anvendt i DK modellen præsenteret.

### 4.1.1 Strømningsveje i ådalen

I Dahl et al. (2004) blev der foreslået en opdeling af strømmingen gennem ådalen i fire strømningsveje illustreret i figur 4.1 med henblik på at kunne estimere ådales kapacitet til at omsætte nitrat ved denitrifikation. Strømningsvejene blev defineret på basis af vandets kontakt med forskellige materialetyper (specielt organisk materiale) under forskellige redoxforhold, samt den opholdstid, hvori vandet er i kontakt med det organiske materiale.

I forhold til definitionen i Dahl et al. (2004) er der i dette projekt ændret ved definitionen af  $Q_3$  (den direkte strømning), så den blot defineres som en strømning, der forløber lodret fra den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed, eventuelt gennem Ådalsmagasinet, til vandløbet. I Dahl et al. (2004) var det et krav, at vandet under den lodrette strømning ikke kom i kontakt med Ådalsmagasinet.



Figur 4.1. Strømningsveje  $Q_1$  til  $Q_4$  gennem ådal til overfladevand (fra Dahl et al., 2004).

- $Q_1$  er en **diffus strømningsvej gennem Ådalsmagasinet**. Strømningsvejen er defineret ved, at vandet, under reducerende forhold, kommer i kontakt med Ådalsmagasinets sedimenter i længere tid. Vandet kan strømme til nedefra eller fra skrænten, hvorfra det på vej mod vandløbet enten kan forblive i ådalsmagasinet, eller sive frem på ådalens terrænoverflade. Vandet kan også infiltrere ned i Ådalsmagasinet fra naturlige udstrømningsområder ved skræntfoden eller fra dræn, der udmunder i skrænten. Opholdstiden i Ådalsmagasinet,  $T_1$ , forventes at variere mellem uger og år.
- $Q_2$  er en **overfladisk strømningsvej**, der forløber henover Ådalsmagasinet. Strømningsvejen er defineret ved, at vandet kun er i kontakt med ådalsmagasinets sedimenter i kort tid under delvist oxiderende, delvist reducerende forhold. Vandet kan strømme ud på overfladen ved skræntfoden (enten naturligt eller fra drænudmundinger), eller trænge frem længere ude i skarpt afgrænsede kildevæld. Vandet siver herfra henover Ådalsmagasinet, og infiltrerer ikke ned igen. Opholdstiden i den overfladiske strømning,  $T_2$ , forventes at variere mellem timer og få dage.
- $Q_3$  er en **direkte strømningsvej**, der forløber lodret op fra den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed, eventuelt gennem Ådalsmagasinet, gennem bunden af vandløbet. Opholdstiden,  $T_3$ , forventes at være af timer til dages varighed.
- $Q_4$  er **strømning i dræn og grøfter i ådalen**. Strømningsvejen er defineret ved, at vand via detailafvanding i ådalen føres helt ud til vandløbsbrinken, hvorved det ledes uden om Ådalsmagasinets sedimenter. Opholdstiden i dræn og grøfter i ådalen,  $T_4$ , forventes ligeledes at være af timer til dages varighed.

#### 4.1.2 Nitratreduktion for strømningsveje i ådal

I Dahl et al. (2004) blev det på basis af en analyse af hidtil gennemførte danske feltstudier konkluderet, at nitratreduktionens størrelse i ådale primært afhænger af, at nitratholdigt grundvand under reducerende forhold kommer i kontakt med geologiske aflejringer, der indeholder > 3 % organisk materiale bestemt som glødetab. Reduktionsintervallerne for nitrat er gengivet i tabel 4.1 for de fire strømningsveje. Disse værdier blev foreslået anvendt i GOI typologien, men ved retableringsprojekter af vådområder anbefales det, at udføre detailundersøgelser i de aktuelle områder til nærmere estimering af reduktionsprocenter.

Som følge af den ændrede definition af den direkte strømning ( $Q_3$ ), må det tillige antages at nitratreduktionen for denne strømning vil være sammenlignelig med reduktionen for den diffuse strømning,  $Q_1$ .

Tabel 4.1. Nitrat reduktionsintervaller for strømningssvej  $Q_1$  til  $Q_4$  (Dahl et al., 2004).

Strømningssvej	Organisk materiale i Ådalsmagasin (%)	Nitrat-Reduktion (%)
Diffus strømning, $Q_1$	< 3	0
	> 3	(10-97)
Overfladisk strømning, $Q_2$		50 (20-99)
Direkte strømning, $Q_3$		0
Strømning i dræn og grøfter, $Q_4$		0

#### 4.1.3 Metode

Metodeudvikling og afestning er opbygget af seks trin (A til F), der belyser hvilke processer og parametre, der er styrende for strømningfordelingen i ådale. Trin A til D omfatter metodeudvikling til estimering af strømningfordelingen i ådalen. Trin E gennemgår til sammenligning, hvorledes tilstrømningen til vandløb beregnes i DK-modellen.

##### A. **Hypotese for mulige styrende parametre**

Under dette trin blev der opstillet en hypotese for hvilke geomorfologiske, geometriske og hydrogeologiske forhold, der kan have indflydelse på strømningfordelingen i ådalen.

##### B. **Kvantificering af parametre for Ådalstype 2, 3 og 4**

Under dette trin blev der indsamlet intervaller for de mulige styrende parametre for 9 transekter langs Sallinge Å og Odense Å for Ådalstype 2, 3 og 4.

##### C. **Feltarbejde ved transekter**

Ved de udvalgte transekter blev der udført håndboringer i Ådalsmagasinet, nedsat piezometre, foretaget topografisk opmåling samt rekognoscering af vegetation og afvandingsforhold. Endvidere blev andre indikatorer på hydrologiske forhold registreret.

##### D. **Konceptuel modellering af syntetiske tværsnit**

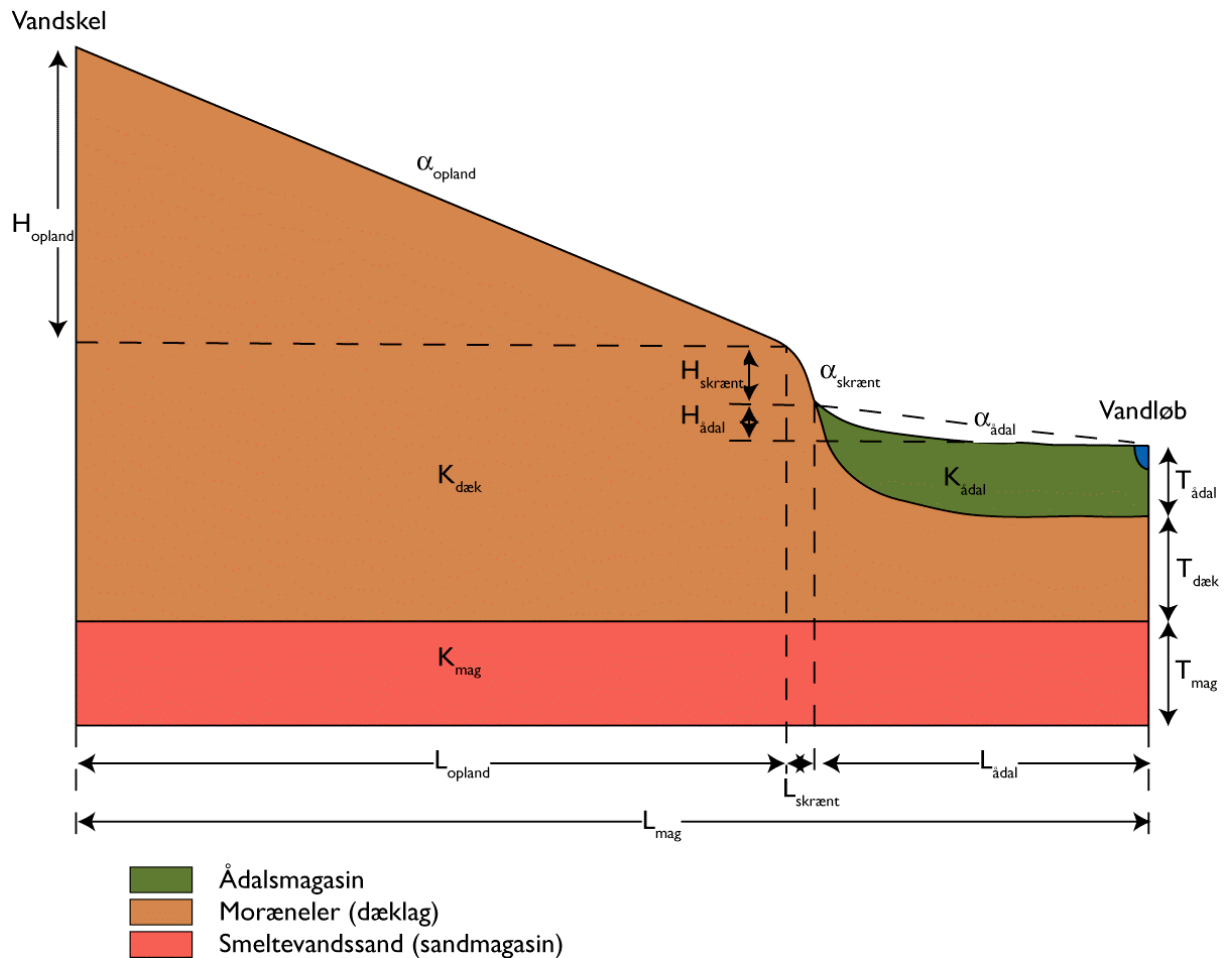
Konceptuelle modelleringer af strømningen i syntetiske todimensionale tværsnit fra vandskel til vandløb er udført med grundvandsmodellen MODFLOW for Ådalstype 2 og 3 i morænelandskaber. Dette trin er udført med henblik på at analysere den relative betydning af parametrene for strømningfordeling i ådalen. Diskretisering i MODFLOW modellen er 1 m.

##### E. **Kvantificering af tilstrømning til ådale med DK-model**

I dette sidste trin kvantificeres tilstrømningen af overfladevand, drænvand og grundvand til Sallinge Å og Odense Å på basis af DK-modellen. Fordelingen af de tre tilstrømningsskomponenter diskuteres i forhold til lækagekoefficienter, størrelsen af bidragende grundvandsmagasiner, samt betydning af den grove skala. Diskretisering i modellen, der er opsat i MIKE SHE, er 1.000 m.

## 4.2 Trin A: Hypotese for mulige styrende parametre

På basis af hidtidige studier (Dahl, 1995), Dahl et al. (1995), Dahl et al. (2004) samt Vidon og Hill (2004) blev der i dette trin opstillet en hypotese for hvilke topografiske, geometriske og hydrogeologiske parametre, der kan have indflydelse på strømningsfordelingen i ådalen. Figur 4.2 illustrerer disse parametre.



Figur 4.2. Mulige styrende geomorfologiske parametre for landskabselementerne opland, ådalsskrænt og ådal, samt geometriske og hydrauliske parametre for de hydrogeologiske enheder Ådalssmagasin, dæklag og sandmagasin.

De **geomorfologiske parametre** omfatter højdeforskel (relief), længde (udbredelse) og hældning af tre landskabselementer: opland, ådalsskrænt og ådal.

De **geometriske parametre** omfatter tykkelse (mægtighed) af tre hydrogeologiske enheder: Ådalssmagasin, dæklag (moræneler) og bidragende sandmagasin (smeltevandssand), samt udbredelsen af det bidragende sandmagasin.

De **hydrauliske parametre** omfatter hydraulisk ledningsevne af de samme tre hydrogeologiske enheder: Ådalssmagasin, dæklag og sandmagasin

Endelig har **afvandingforhold** (detail- og hovedafvanding) også stor betydning for strømningsfordelingen i ådalen.

### 4.3 Trin B: Kvantificering af parametre for Ådalstype 2, 3 og 4

For at fortsætte arbejdet med udvikling og testning af GOI typologien er der benyttet feltlokaliteter langs de vandløbsstrækninger i Odense Å oplandet, for hvilke Ådalstyper blev klassificeret i Dahl et al. (2004). Det drejer sig om Sallinge Å og Odense Å, fra sammenløbet med Sallinge Å til udløbet i Odense Fjord. Odense Å oplandet er beliggende i et morænelandskab.

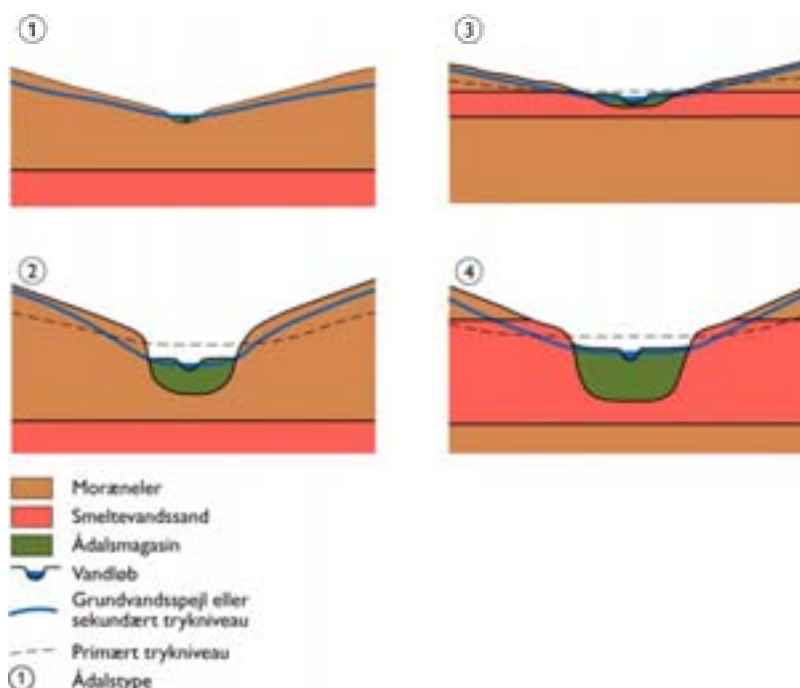
#### 4.3.1 Kriterier for udvælgelse af feltlokaliteter

Feltlokaliteterne blev udvalgt, så de dækker de mest udbredte Ådalstyper: 2, 3 og 4 i Odense Å oplandet (se figur 4.4).

**Ådalstype 2** er karakteriseret ved, at ådalen er tilgrænset af et lavpermeabelt dæklag (moræneler). Dette dæklag er dog ikke tykkere, end at det tillader grundvandtilstrømning til ådalen fra et underlejrende grundvandsmagasin, i modsætning til Ådalstype 1, hvor dæklaget er for tykt til at tillade grundvandstilstrømning.

**Ådalstype 3** er karakteriseret ved at være tilgrænset af et grundvandsmagasin af mindre udbredelse. Grundvandstilstrømningen er kontinuert, men den varierer i løbet af året, således at tilstrømningen mindskes om sommeren.

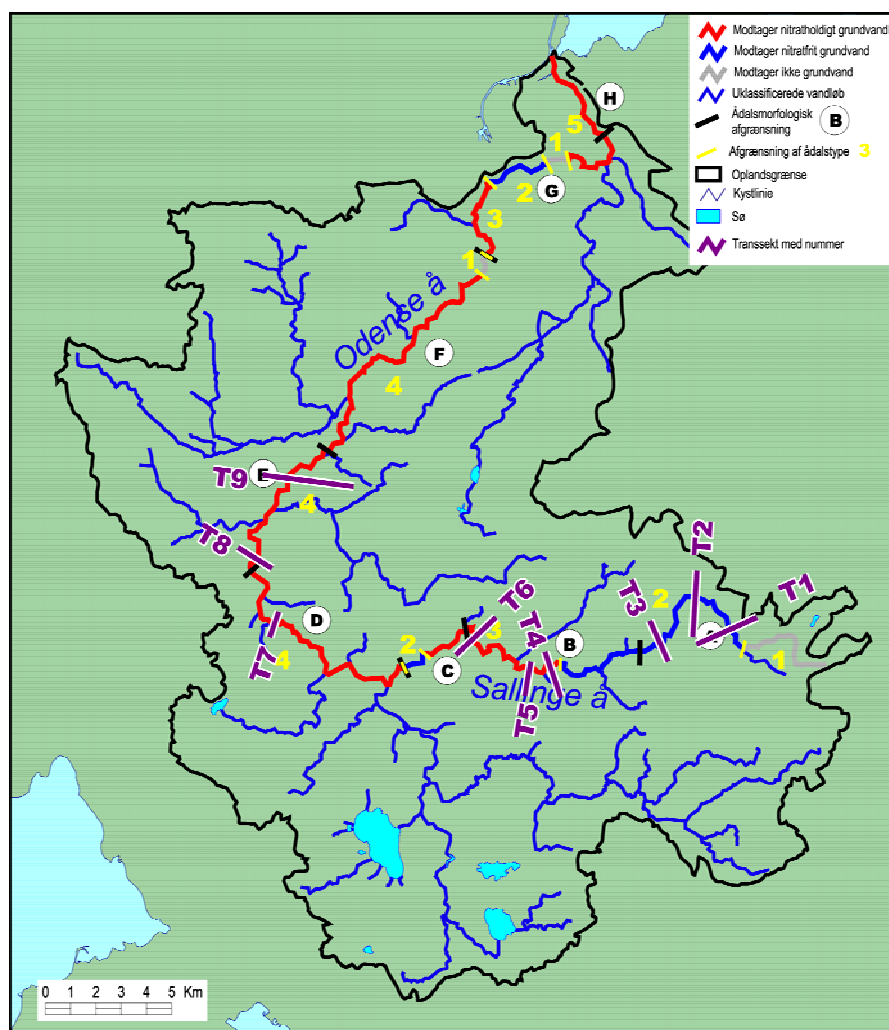
**Ådalstype 4** er ligeledes karakteriseret ved at være tilgrænset af et grundvandsmagasin, der dog har en væsentligt større udbredelse end Ådalstype 3. Grundvandstilstrømningen er også her kontinuert, men mere stabil gennem året, hvorfor tilstrømningen i en baseflow situation også er større end for Ådalstype 3.



Figur 4.3. Ådalstype 1 til 4 for morænelandskab (Dahl et al., 2004).

For hver Ådalstype blev der placeret tre transsekter, således at de repræsenterer forskelle i de geomorfologiske, geometriske, hydrauliske samt afvandingsmæssige forhold. Transsekternes beliggenhed fremgår af figur 4.4.

Det blev tilstræbt, at ådalen i nogle af transekterne ikke var opdyrket (gerne §3 område), samt at der eksisterede geologiske boreprofiler i nærheden.



Figur 4.4. Beliggenhed af transekst T1 til T9 indenfor Ådalstype 2, 3 og 4 (delvist efter Dahl et al., 2004).

#### 4.3.2 Datagrundlag for kvantificering af parametre

Størrelsen af de **geomorfologiske parametre** blev aflæst på målebordsblade (1:20.000) fra ca. 1890, der har en ækvidistance på 1 fod (0,31 m). Et eksempel herpå for transekst T1 er vist på figur 4.5.

De **geometriske parametre** blev bestemt på basis af geologiske profiler optegnet over boringer i Jupiter databasen kombineret med en jordartsbjælke udtrukket fra Danmarks Digitale Jordartskort (1:25.000) ved hjælp af GeoStudio faciliteten beskrevet i kapitel 2. Et eksempel herpå er vist i figur 2.18.

Den hydrogeologiske opbygning nær ådalen (Ådalstype) samt en vurdering af de **hydrauliske parametre** støtter sig for de Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheder, sandmagasin og dæklag, ligeledes til GeoStudio profiludtegningerne. For Ådalsmagasinet støtter vurderingen af den hydrauliske ledningsevne sig til håndboringer foretaget i projektet (beskrevet under trin C).



**Afvandingsforhold** ved transsektterne er for hovedafvandings vedkommende i Odense Å beskrevet i Fyns Amt (1999), hvor information om udretning og uddybning er angivet. En udretning kan endvidere fremgå af sammenligning mellem målebordsblade og nutidige topografiske 4 cm kort. Detailafvanding (grøfter) blev vurderet på basis af de samme kort. Information om eventuel rørlagt dræning af jordene i ådalen er svær at indhente. Der findes dog drænplaner ved f.eks.. Det Danske Hedeselskab, men de er ikke altid dækkende, ligesom det er meget svært at vide, om drænene stadig fungerer. Der blev derfor forsøgt foretaget en rekognoscering efter udmundning af dræn i ådalsskrænten og i vandløbsbrinken. Dette er beskrevet under trin C.

**Vegetation (arealanvendelse)** i ådalen er en indikator for de hydrologiske forhold. Ved transsektterne blev arealanvendelsen vurderet dels udfra målebordsblade (ca. 1890), udfra nutidige topografiske 4 cm kort (2002) samt udfra ortofoto (1999).



Figur 4.5 Målebordsblad fra ca. 1890 ved transsekt T1 (fuldt optrukket rød linie) med ækvistans i fod (0,31 m). De stiplede røde linier angiver en 500 m zone op- og nedstrøms transsektet, indenfor hvilken der blev foretaget rekognoscering af hydrologiske indikatorer. Den lille linie angiver afgrænsning af Ådalmagasinet (fra skræntfod til skræntfod).

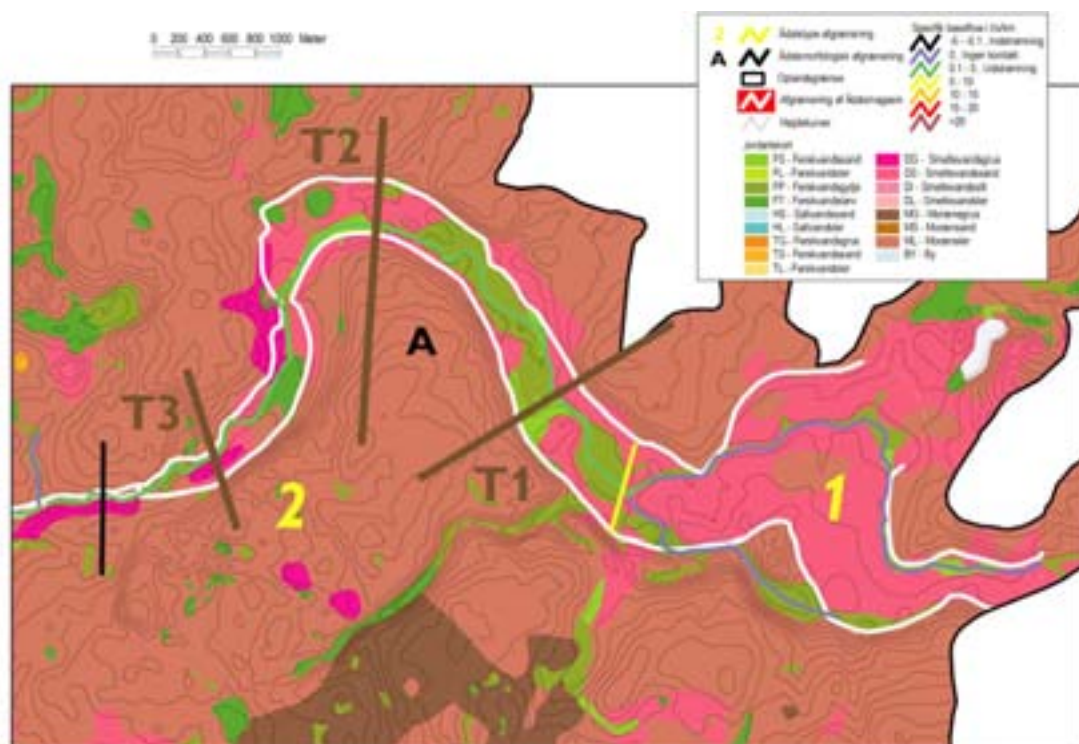
#### 4.3.3 Karakterisering af transsekt T1 til T3 ved Ådalstype 2

En strækning langs Sallinge Å nær Ringe, karakteriseret som Ådalstype 2, blev udvalgt (figur 4.4). Ådalen er en smeltevandsdal, der er nederoderet i moræneler. Ådalens bredde bliver gradvist mindre nedstrøms, fra 700 m til 50 m. Ådalen har stejle skrænter med en højde (relief) på 7,5 - 15 m. Det topografiske opland til ådalen har en udstrækning fra 500 til 1.000 m.

Ud fra jordartskortet vist i figur 4.6 ligger der både ferskvandsaflejringer (FL, FP og FT), smeltevandsaflejringer (DS), samt lidt moræneler (ML) øverst i ådalen (i en meters dybde). Under ådalen har moræneleret en mægtighed på ca. 10 m (figur 4.7). Baseflow tilstrømning er mindre end 5 l/s/km (0,7 – 2,0 l/s/km ved transsektterne) fra Magasin 6, der ligger under morænelersdæklaget, og fra et lille overfladenært magasin  $X_{ny}$  i transsekt T1.

Tre transsekter, T1, T2 og T3, blev udvalgt og karakteriseret i tabel 4.2 til 4.4. Transsektterne repræsenterer primært forskelle i udstrækning af oplandet ( $L_{opl}$ ), i jordart øverst i Ådalsmagasinet, i udbredelse ( $L_{mag}$ ) og tykkelse ( $T_{mag}$ ) af det bidragende sandmagasin, samt ved udeblivelse af et dæklag i transsekt T1. Transsekt T1 har derfor i virkeligheden vist sig at være en Ådalstype 3.

Transsektterne er alle 'tørre'. Der har generelt set ikke været den store ændring i arealanvendelsen ved transsektterne gennem de sidste hundrede år, idet de stadig anvendes til både ager og eng. Der er ikke foretaget hovedafvandning. Transsektterne var dog alle grøftet i 1890. I dag er det kun transsekt T2, der fortsat er grøftet i ådalen. Da ådalen stadig er 'tør' ved de to øvrige er det sandsynligt, at de i stedet er drænet med rør nutildags.



Figur 4.6. Beliggenhed af transsekt T1 til T3 for strækning langs Sallinge Å klassificeret som Ådalstype 2 (transsekt T1 har dog vist sig at være en Ådalstype 3). Delvist efter Dahl et al. (2004).

Tabel 4.2. Geomorfologiske parametre ved transekt T1 til T9.

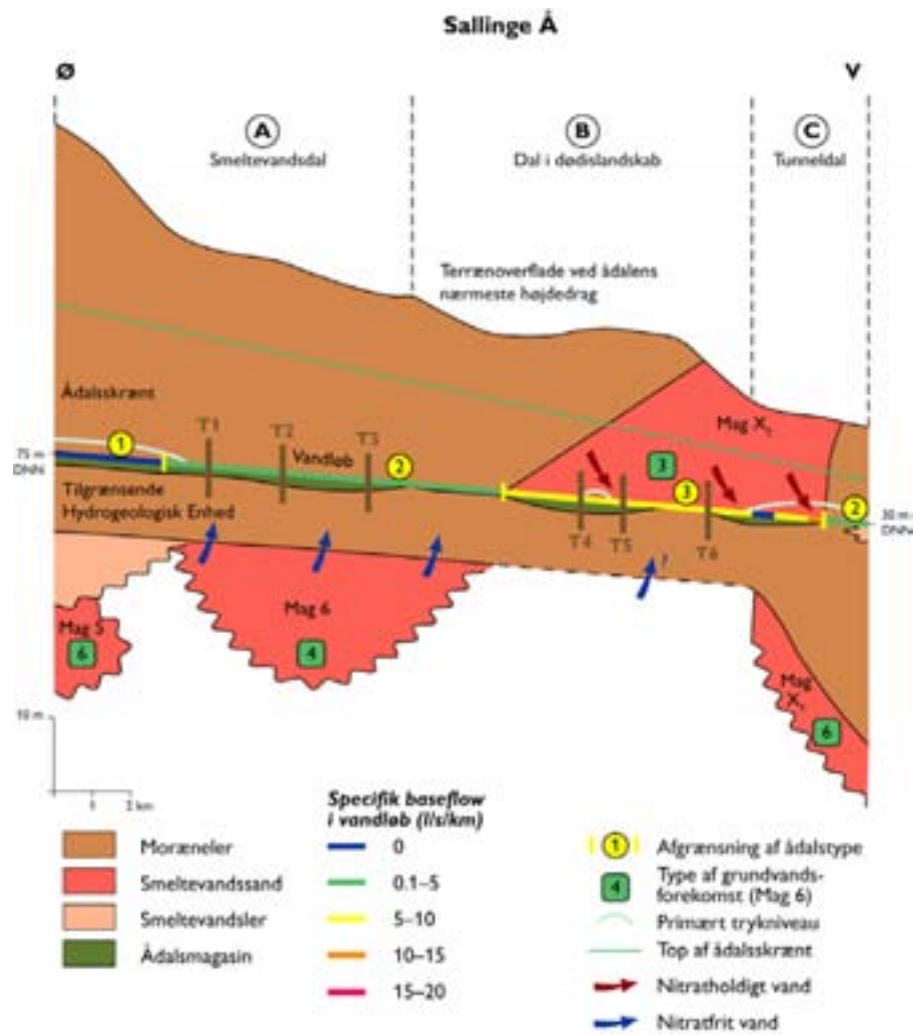
Strækning	Transekt	Opland			Ådalsskrænt			Ådal		
		H <sub>opland</sub> (m)	L <sub>opland</sub> (m)	α <sub>opland</sub> (%)	H <sub>skrænt</sub> (m)	L <sub>skrænt</sub> (m)	α <sub>skrænt</sub> (%)	H <sub>adal</sub> (m)	L <sub>adal</sub> (m)	α <sub>adal</sub> (%)
Ådalstype 2 (Sallinge Å)	T1, Lavvang	11	510	2,2	11	120	9,1	2,5	360	0,7
	T2, Krumseng	2	110	1,8	11	120	9,1	1,9	300	0,6
	T3, Dybendal	4,5	185	0,8	13	180	7,0	1,6	180	0,9
Ådalstype 3 (Sallinge Å)	T4, Engbo	17	605	2,8	11	195	5,6	0,9	285	0,3
	T5, Lundsgård	32	740	4,3	6	120	5,2	1,3	75	1,7
	T6, Ålegård	5	200	2,5	3	45	7,0	0,6	30	2,1
Ådalstype 4 (Odense Å)	T7, Bøgebjerg	14	295	4,7	7	30	3,3	0,2	30	0,5
	T8, Ågård	11	60	18,3	7	145	4,8	1,9	765	0,2
	T9, Flægskov	6	160	3,7	1	10	4,0	1,3	180	0,7

Tabel 4.3. Karakterisering af baseflow tilstrømning, jordart i Ådalsmagasin, samt geometriske parametre for bidragende sandmagasin og dæklag ved transekt T1 til T9.

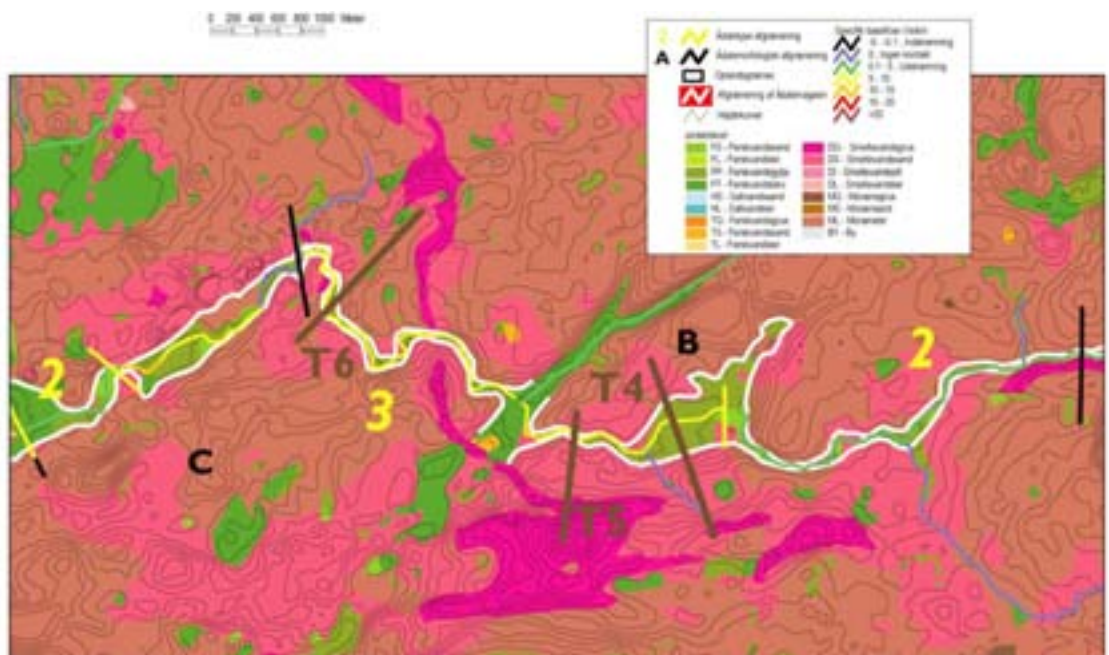
Strækning	Transekt	Baseflow tilstrømning (l/s/km)	Jordart i 1 m 's dybde i Ådalsmagasin	Bidragende sandmagasin			Dæklag
				Navn	Udbredelse (L <sub>mag</sub> ) (m)	Mægtighed (T <sub>mag</sub> ) (m)	Mægtighed (T <sub>dæk</sub> ) (m)
Ådalstype 2 (Sallinge Å)	T1, Lavvang	0,7	FS og FG	Lokalt magasin X <sub>uv</sub>	840	5	0
	T2, Krumseng	1,0	DS, FP, FS	6	1800	5	10
	T3, Dybendal	2,0	DS, DG, FP	6	3600	25	12
Ådalstype 3 (Sallinge Å)	T4, Engbo	6,0	FP	X <sub>2</sub>	1010	15	0
	T5, Lundsgård	6,0	FP	X <sub>2</sub>	900	Ca. 10	0
	T6, Ålegård	7,5	FP	X <sub>2</sub>	300	1,5	0
Ådalstype 4 (Odense Å)	T7, Bøgebjerg	13,3	FS	X <sub>3</sub>	290	Ca. 15	0
	T8, Ågård	10,0	FT	X <sub>3</sub>	140	10	0
	T9, Flægskov	10,0	FP	8	2500	5-10	15-20

Tabel 4.4. Arealanvendelse (vegetation) og afvandingsforhold i ådal ved transekt T1 til T9.

Strækning	Transekt	Arealanvendelse i ådal			Beskyttet område (§ 3)	Hovedafvandings		Grøftning i ådal	
		Målebordsblad (1890)	4 cm kort (2002)	Ortofoto (1999)		Udretning	Uddybning (m)	Målebordsblad (1890)	4 cm kort (2002)
Ådalstype 2 (Sallinge Å)	T1, Lavvang	Ager/eng	Ager	Eng	-	-	0	+	-
	T2, Krumseng	Ager	Ager	Eng/ager	-	-	0	+	+
	T3, Dybendal	Ager	Ca.mping/eng	Ca.mping / eng	-	-	0	+	-
Ådalstype 3 (Sallinge Å)	T4, Engbo	Eng	Ager	Ager	-	-	0	+	-
	T5, Lundsgård	Eng	Ager	Eng	Eng	-	0	-	-
	T6, Ålegård	Fng	Fng	Tileroet/skov	Fng	-	0	-	-



Figur 4.7. Skitse af geologisk opbygning ved Ådalstype 2 og 3 langs Sallinge Å (flerfarvet streg midt i profilet. Delvist efter Dahl et al. (2004).



Figur 4.8. Beliggenhed af transsekt T4 til T6 for Ådalstype 3. Delvist efter Dahl et al. (2004).

#### 4.3.4 Karakterisering af transsekt T4 til T6 ved Ådalstype 3

En strækning langs Sallinge Å nær Sallinge, karakteriseret som Ådalstype 3, blev udvalgt (figur 4.7 og 4.8). Ådalen er langs den aktuelle del af delstrækning B overvejende en smal dal på omkring 100 m's bredde. Der er dog en mindre strækning, hvori dalen udvider sig til omkring 600 m's bredde. Ådalsskræntens højde er 5 – 10 m, ofte med stejle skrænter. Det topografiske opland til ådalen har også her en udstrækning mellem 500 og 1.000 m.

Øverst i ådalen ligger der hovedsageligt ferskvandsaflejringer (FP og FT og lidt FS), hvor ferskvandsgytjen er langt dominerende, men der træffes også lidt ML og en smule DS. Ådalen løber sandsynligvis over et morænelerslag af omkring 10 m's mægtighed (figur 4.7). Ådalen tilgrænses i skrænterne af et mindre grundvands-magasin ( $X_2$ ) bestående af smeltevandssand. Baseflow tilstrømningen til ådalen herfra udgør 5 – 10 l/s/km (6 – 7,5 l/s/km ved de tre transsekter).

Tre transsekter, T4 til T6, er udvalgt langs delstrækning B (se figur 4.7 og 4.8). Transsekterne repræsenterer primært forskelle i højden ( $H_{\text{opland}}$ ) og udstrækningen ( $L_{\text{opland}}$ ) af det topografiske opland, bredden af ådalen ( $L_{\text{adal}}$ ), samt udbredelse ( $L_{\text{mag}}$ ) og mægtighed ( $T_{\text{mag}}$ ) af det bidragende sandmagasin.

Arealanvendelsen var for hundrede år siden eng ved alle transsekter. I dag er ådalen ved transsekt T4 og T5 opdyrket, hvorimod ådalen ved T6 er tilgroet med skov. Ved ingen af transsekterne er der foretaget hovedafvandning. Kun ved T4 har der tidligere været grøftet i ådalen. Det må antages ud fra opdyrkningen af transsekt T4 og T5, at disse ådale i dag er drænedede med rør.

#### 4.3.5 Karakterisering af transsekt T7 til T9 ved Ådalstype 4

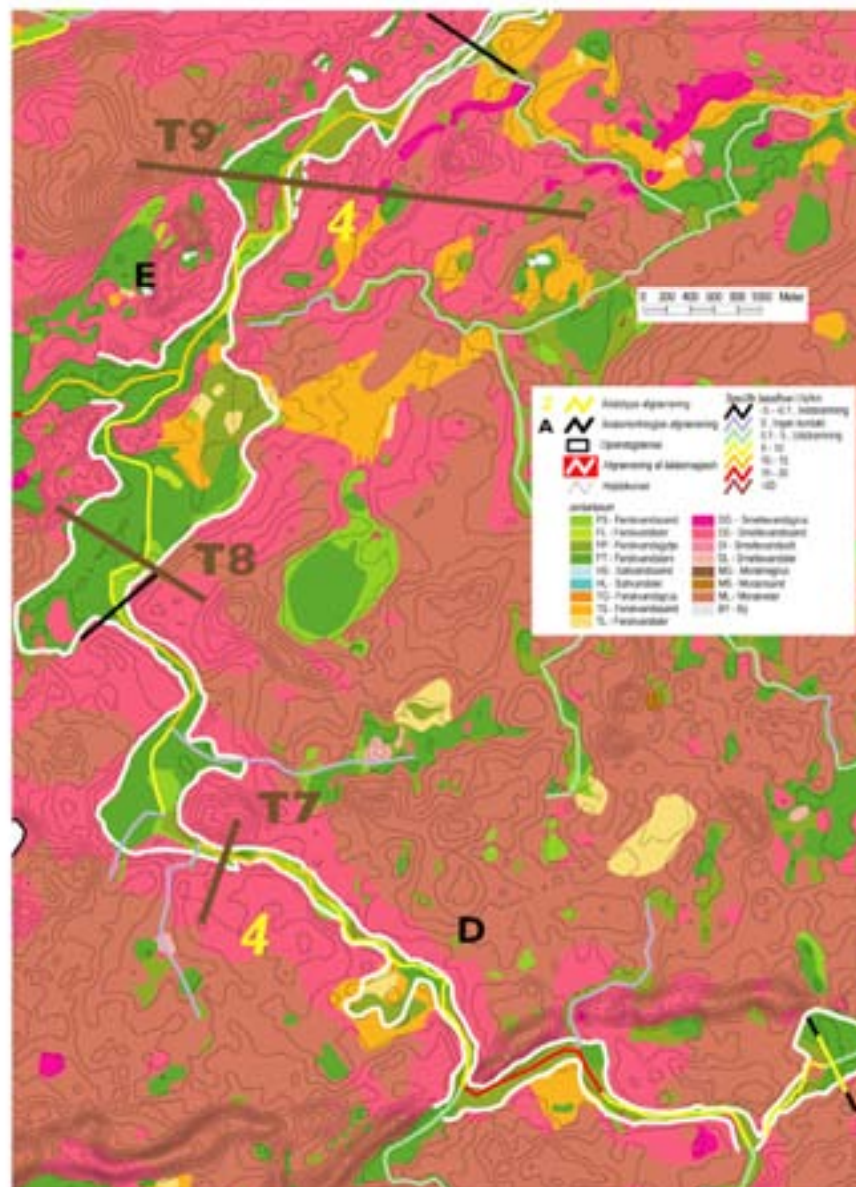
En strækning langs Odense Å nær Broby, karakteriseret som Ådalstype 4, blev ligeledes udvalgt (figur 4.9). Ådalen er langs delstrækning D en smal dal med en overvejende bredde på omkring 150 m. Et sted udvider ådalen sig dog til 600 m's bredde. Langs delstrækning E er dalen karakteriseret som en tunneldal (Smed, 1981), hvori der er udviklet en terrasse. Den recente del af dalen (den underste terrasse) har en bredde på 100 – 1.000 m, mens den større dal har en bredde på omkring 2.500 m. Ådalsskræntens højde langs delstrækning D er 2,5 – 5 m, mens højden i den recente dal langs delstrækning E er ca. 5 m. Skræntens højde i den større dal er samlet 15 – 30 m. Ådalens topografiske opland er også her af størrelsesordenen 400 – 900 m.

Øverst i den recente ådal findes primært postglaciale ferskvandsaflejringer (FT, FP og FL), men senglaciale ferskvandssand (TS) og -ler (TL) træffes også, ligesom smeltevandssand (DS). I den større dalform (den øverste terrasse) træffes de samme jordarter, men her er smeltevandssandet (DS) dominerende. Ådalen løber sandsynligvis over et morænelersdæklag af 5 - 20 meters mægtighed (figur 4.10). Mægtigheden falder i nedstrøms retning. Moræneleret underlejres af grundvands-magasin 66 og 8. På grund af dæklagets mægtighed over magasin 66 er det ikke sandsynligt, at dette magasin bidrager med grundvand til ådalen langs delstrækning D, men på grund af dæklagets mindre mægtighed (< 10 m) over magasin 8 langs delstrækning E, kan dette magasin muligvis bidrage med grundvand til ådalen på denne strækning. Den største grundvandstilstrømning til ådalen stammer

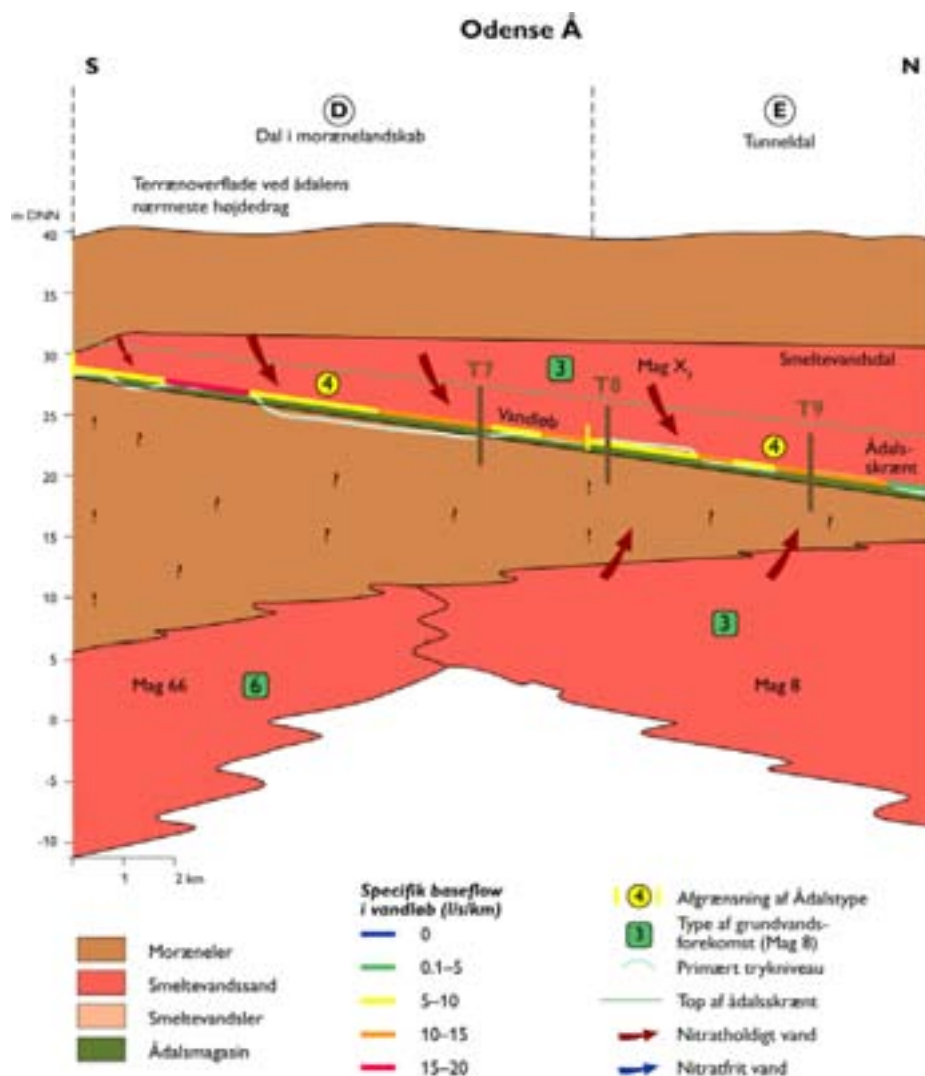
dog sandsynligvis fra det overfladenære grundvandsmagasin  $X_3$ , beliggende i ådalsskrænten langs både delstrækning D og E. Transsekt T8 og T9 er derfor sandsynligvis både Ådalstype 3 og 4. Baseflow tilstrømningen til ådalen varierer hovedsageligt mellem 5 og 20 l/s/km (10 – 13,3 l/s/km ved de tre transsekter).

Tre transsekter er udvalgt, T7 i delstrækning D, og T8 og T9 i delstrækning E (se figur 4.9 og 4.10). Transsekterne repræsenterer forskelle i udstrækning af topografisk opland ( $L_{\text{opland}}$ ), hældning af ådalsskrænt ( $\alpha_{\text{skrænt}}$ ), bredde af ådal ( $L_{\text{ådal}}$ ), jordart øverst i Ådalsmagasin, samt udbredelse ( $L_{\text{mag}}$ ) og mægtighed ( $T_{\text{mag}}$ ) af de bidragende sandmagasiner. Ved T8 og især ved T9 er det væsentligt at bemærke, at udbredelsen af det bidragende magasin 8 strækker sig langt ud over det topografiske opland.

For hundrede år siden var arealanvendelsen ved alle tre transsekter eng. I dag er ådalen ved T7 tilgroet (og klassificeret som beskyttet § 3 mose). Ådalen ved T8 og T9 er opdyrket og delvist tilplantet. Ved T8 og T9 er der foretaget hovedafvandning, der både omfatter en udretning og en uddybning af størrelsesordenen 1,5 til 2 m. Ved alle transsekterne har der været grøftet for hundrede år siden, mens der idag kun ses grøftning ved T8. Denne grøft er også uddybet. Hovedafvandningen er årsag til, at ådalen ved transsekt T8 og T9 idag er opdyrket.



Figur 4.9. Beliggenhed af transsekt T7 til T9 for Ådalstype 4 (delsvist efter Dahl et al., 2004).



Figur 4.10. Skitse af geologisk opbygning ved Ådalstype 4 langs Odense Å (flerfarvet streg midt i profilet). Delvist efter Dahl et al. (2004).

#### 4.4 Trin C: Fel arbejde ved transsekter

Den væsentligste aktivitet i feltarbejdet ved transsekterne var udførelse af håndboringer til **geologiske profilbeskrivelser i Ådalsmagasinet**, da de eksisterende geologiske data ikke gav en tilstrækkelig god beskrivelse heraf. Der blev foretaget boringer ved skræntfoden, midt på engen og ved vandløbsbredden.

Ved boringerne blev der etableret **piezometer reder** (stationer). Her blev der så vidt muligt placeret ét piezometer i en dybde umiddelbart under det, der må anses for at være den laveste sommer grundvandstand, samt ét så dybt som muligt. Piezometrene blev så vidt muligt placeret i højpermeable lag. Piezometrene har et filterinterval på 10 cm og er 1 tomme tykke. Af

tidsmæssige årsager indgår poten-tialemålinger fra piezometrene ikke i indeværende rapport, men de anvendes i 2005 til yderligere verificering af den estimerede strømningfordeling i ådalen (Trin 4 og 5). Rapporteringen heraf vil indgå i Mads Bankes specialerapport, der forventes færdig i sommer 2005.

Det anbefales at benævne transsekter og stationer ved stationerne således, at nummereringen altid følger vandets bevægelsesretning fra opstrøms mod nedstrøms. Transsekt T1 til T9 er benævnt således. **Stationerne** er benævnt station 1 ved foden af skrænten og derefter tælles opad hen mod vandløbet. **Piezometer-dybden** til midten af filtret angives i cm under jordoverfladen. Eksempelvis benævnes transsekt T2, station 3, dybde 100 cm som: T2/S3/D100.

Der blev foretaget en grov **topografisk opmåling** af transsektet ved hjælp af GPS.

Endelig blev en zone på 500 m opstrøms og 500 m nedstrøms transsektet gennemvandret med henblik på at foretage **en rekognoscering af arealanvendelse og afvandingsforhold**. Ved rekognosceringen blev såvel naturlige som menneske-skabte indikatorer for hydrologiske forhold registreret.

**Naturlige indikatorer:**

- Væld / kilder (seepage)
- Overfladiske småløb
- Oversvømmelse

**Menneskeskabte indikatorer:**

- Udretning
- Uddybning
- Drænummündinger ved skræntfod og i vandløbsbrink
- Brøndringe
- Pumpestationer
- Opstemninger
- Inddigninger
- Indvindingsboringer.

Indikatorerne overførtes til et ortofoto i felten, hvorved det samtidigt blev registreret om indikatorerne kunne ses på ortofotoet (se eksempel i figur 4.12).





Figur 4.12. Eksempel på ortofoto ved transekt T1 (fuldt opstruktet rød linie). Rekognosceringszonen (500 m op- og nedstrøms transektet) angives af de stiplede røde linier. Den blå linie er vandløbet, de gule linier højdekurver, og de hvide linier angiver afgrænsning af Ådalsmagasinet.

***Grøftnings- og drændensiteten*** i ådalene foreslås ifølge Dahl et al. (2004) karakteriseret som:

- Høj; for afstande mindre end 100 m
- Middel; for afstande mellem 100 og 250 m
- Lav; for afstande over 250 m.

#### 4.4.1 Borebeskrivelsesnøgle

Da jordartskortet kun beskriver jordarten i en meters dybde under jordoverfladen, og der ikke foreligger detaljerede borebeskrivelser i Jupiterdatabasen for sedimenter i Ådalsmagasinet, præsenteres her en borebeskrivelsesnøgle, der foreslås anvendt ved geologiske profilbeskrivelser i Ådalsmagasinet. På grund af store forskelle i sedimenternes hydrauliske og geokemiske egenskaber er det nødvendigt at skelne mellem forholdsvist mange materialetyper.

#### ***Sedimenttyper***

Der skelnes overordnet mellem organiske og minerogene sedimenttyper, som angivet tabel 4.5.

Tabel 4.5. Organiske og minerogene sedimenttyper.

Benævnelse	Fiberindhold (> 0,1 mm) og kornstørrelse (mm)	Symbol
Stærkt humificeret tørv (sapric)	< 1/3	Z
Moderat humificeret tørv (hemic)	1/3 - 2/3	Y
Svagt humificeret tørv (fibric)	> 2/3	X
Gytje		Gy
Ler	< 0.002	L
Silt	0,002 – 0,063	Si
Finsand	0,063 – 0,2	fA
Mellemsand	0,2 – 1,0	mA
Grovsand	1,0 – 2,0	gA
Grus	2,0 – 20	Gr
Sten	> 20	St

I de **organiske** sedimenter vurderes fiberindholdet (> 0,1 mm) i en uforstyrret prøve. Stærkt humificeret tørv angives f.eks. som (Z). De **minerogene** sedimenter beskrives ud fra deres primære kornstørrelse, f.eks.. finsand (fA). I sedimentet beskrives både det **primære materiale** (> 50 %) og et eventuelt **sekundært materiale** (25 – 50 %).

Endvidere vurderes om det **organiske indhold** er:

- < 3 %. Angives som fA.
- 3 - 25 %. Angives som fA(3Z)
- > 25 %. Angives som fA(25Z).

På denne vis benævnes blandingsmaterialer som f.eks. finsandet, stærkt humificeret tørv Z(25fA) og siltet finsand som fA(25Si), hvis der er mere end 25 % sekundært materiale iblandet.

Et eventuelt **grus- og stenindhold** beskrives tillige.

#### **Farve**

Som indikator for **redoxforhold** beskrives materialets farve som:

- Brunlig (organisk indhold). Angives som B.
- Rødgul (oxideret). Angives som R.
- Grålig (reduceret). Angives som G.

#### 4.4.2 Hydraulisk ledningsevne

De geologiske profilbeskrivelserne i Ådalsmagasinet anvendes som indikator for magasinets hydrauliske ledningsevne. I tabel 4.6 er den hydrauliske ledningsevne gengivet for forskellige sedimenttyper ifølge sammenstillingen i Dahl et al. (2004).

Tabel 4.6. Hydraulisk ledningsevne for minerogene og organiske sedimenttyper (fra Dahl et al., 2004).

Sedimenttype	Hydraulisk ledningsevne (m/dag)
Grus	1000 – 100000
Grovkornet sand	100 – 1000
Mellemkornet sand	10 – 100
Finkornet sand	0,1 – 10
Silt	0,0001 – 1
Ler	0,0000001 – 0,0001
Limnisk materiale (gytje)	0,001 – 0,1
Svagt humificeret tørv	1 – 1000
Moderat humificeret tørv	0,01 – 1
Stærkt humificeret tørv	0,001 – 0,01

Karakteristisk for den geologiske opbygning i et Ådalsmagasin er en meget heterogen opbygning med en hyppigt skiftende tekstur for de minerogene sedimenter og en hyppigt skiftende humificeringsgrad af tørv. Materialetyperne er alle ofte forekommende i Ådalsmagasiner. Med det meget store interval for hydraulisk ledningsevne for disse sedimenter, må det derfor forventes, at Ådals-magasinet samlet set også kan udvise store variationer i hydraulisk ledningsevne.

På basis af de foretagne profilbeskrivelser og ovenstående værdier for hydraulisk ledningsevne for forskellige sedimenttyper er en bulk hydraulisk ledningsevne for Ådalsmagasinet ved transekterne anslået i tabel 4.7. Det fremgår af tabellen, at bulk ledningsevnerne vurderes at ligge mellem 0,01 og 10 m/dag.

Tabel 4.7. Anslået bulk hydraulisk ledningsevne for Ådalsmagasin samt minimumstykkelser af Ådalsmagasin ved T1 til T9.

Transekt	Bulk $K_{\text{Ådal}}$ (m/dag)	Minimum $T_{\text{Ådal}}$ (m)
T1	1	2
T2	0,1	2
T3	0,01	2,5
T4	0,01	2
T6	1	2
T7	0,1	3,5
T8	10	3
T9	10	2,5

På basis af profilbeskrivelserne er en minimumstykkelser af Ådalsmagasinet ( $T_{\text{Ådal}}$ ) endvidere vurderet. Den ligger mellem 2 og 3,5 m, som det fremgår af tabel 4.7.

#### 4.5 Trin D: Konceptuel modellering af syntetiske tværsnit

MODFLOW (McDonald og Harbaugh, 1988) er anvendt til at undersøge den relative betydning af de geomorfologiske, geometriske og hydrauliske parametre samt afvandingsforhold for strømningsfordelingen i ådalen i ***morænelandskaber***.

MODFLOW blev sat op for et vertikalt tværsnit langs en strømlinie gående fra det topografiske vandskel til vandløbet under antagelse af symmetri omkring midten af vandløbet. Det antages således, at al nedbør, der falder i tværsnittets opland passerer ådalen til vandløbet i det samme todimensionale tværsnit.

Karakteristisk for **Ådalstype 1** i morænelandskaber er, at et dæklag af moræneler over grundvandsmagasinet er så tykt, at der ikke forekommer tilstrømning til ådalen fra magasinet. Det blev derfor besluttet ikke at foretage analyser for denne Ådalstype.

Der er derimod foretaget analyser for **Ådalstype 2 og 3**, der er hyppigt forekom-mende i morænelandskaber.

Af tidsmæssige årsager indeholder rapporten ikke resultater for tilsvarende analyser for **Ådalstype 4**, der ligeledes er hyppigt forekommende i morænelandskaber. Disse analyser foretages i 2005 og afrapporteres i Mads Bankes specialerapport, der forventes færdig inden sommer 2005. Karakteristisk for denne Ådalstype er, at det bidragende grundvandsmagasin har væsentligt større udbredelse end det topografiske opland. Simuleringerne foretages ved en hydrogeologisk opbygning svarende til Ådalstype 3. Det bidragende grundvands-magasin tilføres i denne situation en grundvandstilstrømning ved det topografiske vandskel.

I forbindelse med analyserne foretaget for Ådalstype 3, der på mange måder ligner Ådalstype 5 (se Dahl et al., 2004), er der opnået resultater, der indikerer, at der ikke er grund til at skelne mellem Ådalstype 3 og 5. **Ådalstype 5** udgår derfor af GOI typologien.

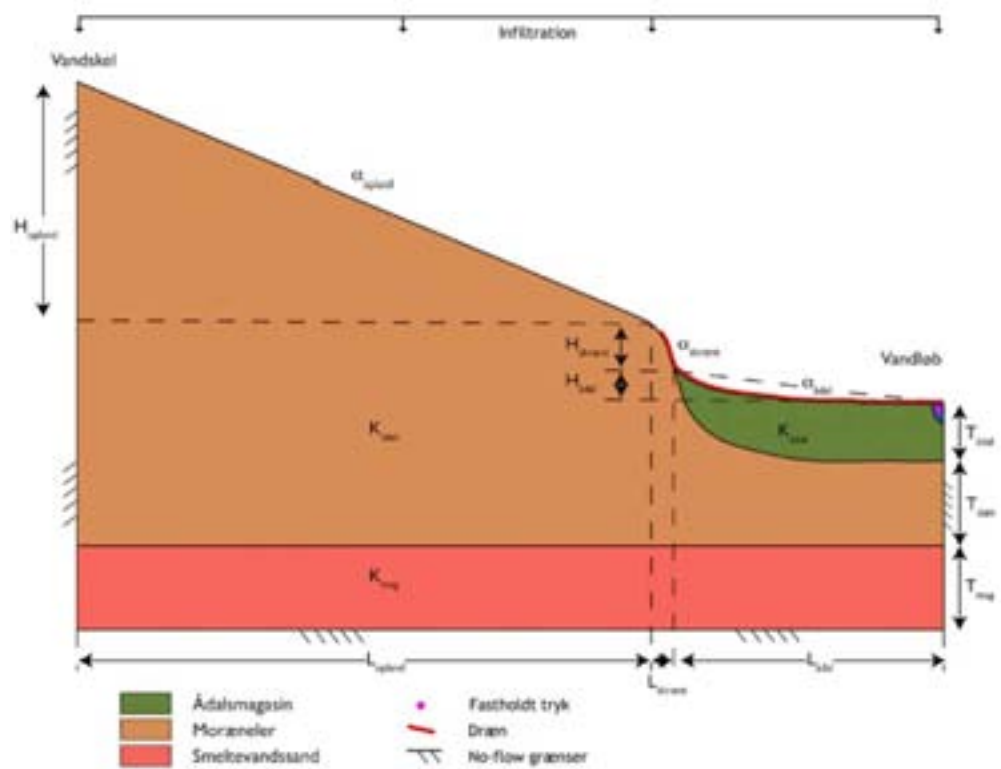
Af tidsmæssige årsager blev Ådalstyper karakteristiske for **smeltevandsslette** og **havaflejringer** (se Dahl et al., 2004) heller ikke analyseret i nærværende projekt. Mulighed for at foretage disse analyser søges i anden sammenhæng. I rapporten er det dog, hvor det er aktuelt, forsøgt at vurdere, hvorvidt resultater for Ådalstype 3 kan indikere strømningsfordeling i ådalen på smeltevandsletten.

For Ådalstyper på **smeltevandssletten** er en alternativ metode til estimering af strømningsfordelingen i ådalen beskrevet i Dahl et al. (2004, side 58 – 59 og 97 - 102). I denne metode anvendes forholdet mellem ådalens våde engzone og vand-løbets effektive bredde som indikator for fordelingen mellem den diffuse gennem-strømning af Ådalsmagasinet ( $Q_1$ ) og den direkte tilstrømning til vandløbet ( $Q_3$ ).

#### 4.5.1 Modelsetup

##### **Randbetingelser**

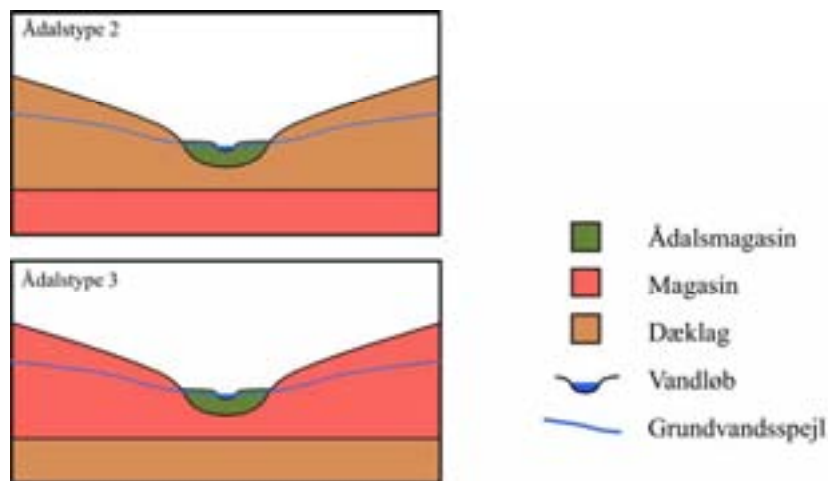
MODFLOW er sat op for et vertikalt tværsnit langs en strømlinie gående fra det topografiske vandskel til vandløbet (figur 4.13). Modelområdet er derfor no-flow grænser. Det antages, at modelområdet underlejres af et impermeabelt lag, således at modelområdets bund ligeledes er en no-flow grænse. Der er indlagt dræn i terrænoverfladen i ådalsskrænt og ådal. Vandløbet simuleres af en celle med fastholdt tryk 0,9 m under terrænoverfladen. Der tilføres en nettonedbør (infiltration) på 250 mm/år svarende til værdier for Midtfyn (Henriksen og Sonnenborg, 2003). Simuleringerne er foretaget stationært.



Figur 4.13. Modelparametre og randbetingelser.

### ***Hydrogeologisk opbygning (Ådalstype) og diskretisering***

Undersøgelsen af styrende parametre for en hydrogeologisk opbygning svarende til Ådalstype 2 og 3 afrapporteres i nærværende rapport.



Figur 4.14. Principskitse over hydrogeologisk opbygning for Ådalstype 2 og 3.

Figur 4.14 viser den hydrogeologiske modelopsætning for Ådalstype 2 og 3. Den afgørende forskel på disse to er, at Ådalsmagasinet adskilles fra det bidragende sandmagasin af et morænelersdæklag i Ådalstype 2, mens Ådalsmagasinet har direkte kontakt med sandmagasinet i Ådalstype 3.

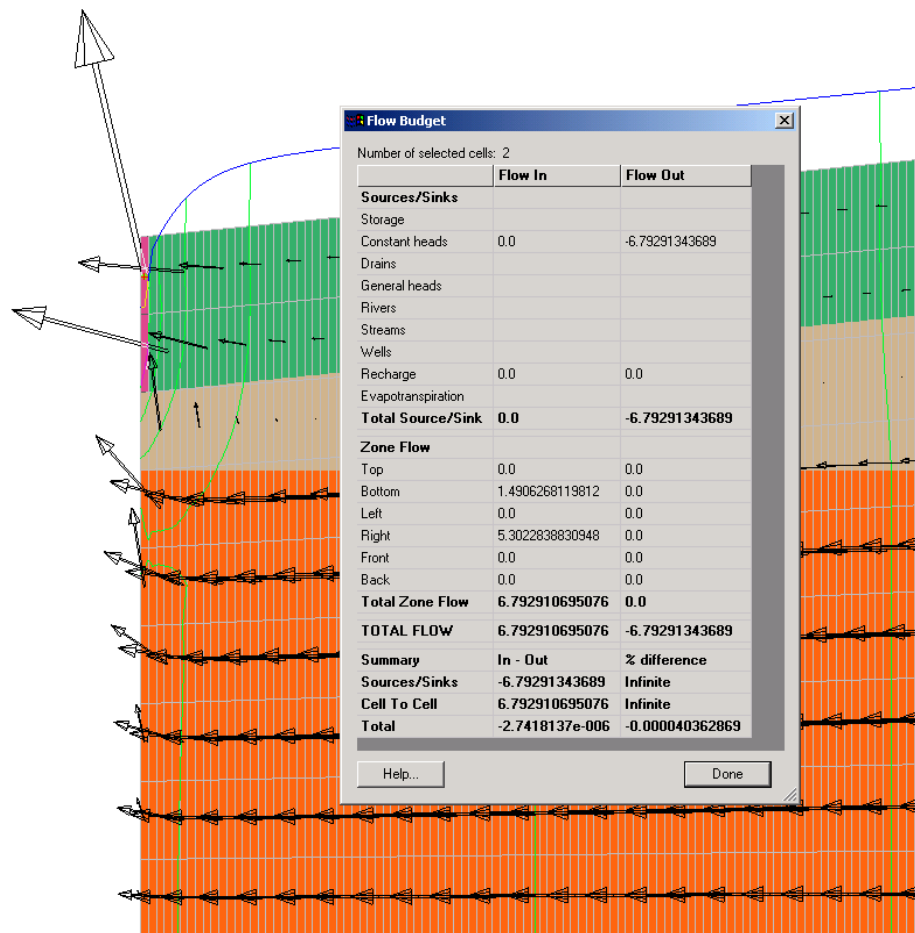
Afhængigt af modelområdets dimensioner er modellen opbygget af 4 til 13 beregningslag. Der er anvendt en horisontal diskretisering på 1 m. I vertikal retning varierer diskretiseringen fra 1 m under vandløbet op til 15 m ved vandskellet afhængigt af modellens dimensioner. Den fineste diskretisering eksisterer dermed i ådalsområdet, hvor strømningen konvergerer.

#### 4.5.2 Estimerer for strømningssvej $Q_1$ til $Q_4$

Resultatet af en simulering afbildes grafisk som i figur 4.15. Et strømningssbudget med horisontal og vertikal flux i  $m^3/dag$  kan udtrækkes for hver enkelt celle.

Som estimat for strømningssvej  $Q_1$  (diffus strømning gennem Ådalsmagasinet) anvendes summen af den horisontale strømning til vandløbscellen og cellen umiddelbart herunder (se figur 4.15).

Tilsvarende anvendes den vertikale strømning til bunden af cellen umiddelbart under vandløbscellen som estimat for strømningssvej  $Q_3$  (direkte tilstrømning til vandløbet).



Figur 4.15. Eksempel på udsnit af simuleringresultat samt strømningssbudget for en celle. Den røde farve illustrerer sandmagasinet, den brune dæklaget af moræner, og den grønne Ådalsmagasinet. Den horisontale, henholdsvis vertikale, tilstrømning til de to lyserøde celler anvendes til estimering af henholdsvis  $Q_1$  og  $Q_3$ . De grønne linier er ækvipotential-kurver og pilene flowvektorer. Der er anvendt 10 gange overhøjning.

Under naturlige forhold vil grundvandet, i situationer hvor ledningsevnen i Ådalsmagasinet er meget lav, træde frem i kilder eller lokale udsivningsområder ved skræntfoden og i ådalen. MODFLOW kan imidlertid ikke simulere en sådan udstrømning på terrænoverfladen samt den videre overfladiske afstrømning hen over jordoverfladen. I disse strømningssituationer vil der derfor simuleres et unaturligt højt trykniveau i

ådal og opland. Da det må antages, at der under naturlige forhold vil være et drænbehov i disse ådale, er der for at råde bod på dette i modellen placeret dræn i skrænten og ådalen. Dræne er placeret i terrænoverfladen for at simulere en samlet virkning af overfladisk afstrømning og drænvandsafstrømning. Dræne er givet en høj drænkoefficient for at sikre, at de er tilstrækkeligt effektive til at sænke grundvandets trykniveau til jordoverfladen. Vandet der på denne måde 'forlader' modelområdet anvendes som et samlet estimat for strømningsvej  $Q_2$  (overfladisk afstrømning) og  $Q_4$  (dræn- og grøftafstrømning). I praksis beregnes  $Q_2 + Q_4$  dog som residual udfra vandbalancen:

$$Q_2 + Q_4 = (\text{Nettonedbør} \times (L_{\text{opland}} + L_{\text{skrænt}} + L_{\text{ådal}}) \times B) - Q_1 - Q_3$$

B er profilets bredde på 1 m.

For at illustrere den relative betydning af de undersøgte parametre er strømningsfordelingen relateret til nettonedbøren på 250 mm/år, der er anvendt i alle simuleringer.

#### 4.5.3 Styrende parametre

De parametre (se figur 4.13), der især forventes at styre strømningsfordelingen i ådalen, er:

- Hydraulisk ledningsevne for Ådalsmagasinet,  $K_{\text{ådal}}$
- Hydraulisk ledningsevne for morænelersdæklaget,  $K_{\text{dæk}}$
- Hydraulisk ledningsevne for sandmagasinet,  $K_{\text{mag}}$
- Udstrækning af opland ( $L_{\text{opland}}$ )
- Bredde af ådal ( $L_{\text{ådal}}$ )
- Tykkelse af dæklag ( $T_{\text{dæk}}$ )
- Tykkelse af sandmagasin ( $T_{\text{mag}}$ )
- Ådalsskræntens hældning ( $\alpha_{\text{skrænt}}$ ).

Der er fra litteraturen valgt typiske ledningsevner for sandmagasin ( $K_{\text{mag}}$ ) og dæklag ( $K_{\text{dæk}}$ ), der begge holdes konstante i alle simuleringer. Derimod varieres ledningsevnen for Ådalsmagasinet ( $K_{\text{ådal}}$ ) indenfor intervallet 0,01 til 100 m/dag. Dette interval er større end de anslåede værdier for transekterne angivet i tabel 4.7. For at tydeliggøre betydningen af 'kontrasterne' mellem de hydrauliske egenskaber for de tre hydrogeologiske enheder for strømningsfordelingen i ådalen, betragtes alle ledningsevner som homogene og isotrope.

Alle øvrige parametre i ovenstående liste varieres systematisk i modelsimuleringerne. På basis af kvantificeringen af parametrene ved de udvalgte transekter T1 til T9 langs Sallinge Å og Odense Å (tabel 4.2 til 4.4) anvendes realistiske intervaller for de enkelte parametre under østdanske forhold (se tabel 4.8).

De resterende parametre (jævnfør figur 4.13) holdes konstant.

En opgørelse af parametrene og deres variation er givet i tabel 4.8.

Tabel 4.8. Konstante og variable parametre, samt sidstnævntes variation.

Status	Betegnelse	Parameter	Værdi
Konstante	$L_{\text{skrænt}}$	Bredde af skrænt (m)	100
	$\alpha_{\text{opland}}$	Hældning af opland (%)	3
	$\alpha_{\text{adal}}$	Hældning af ådal (%)	1
	$T_{\text{adal}}$	Tykkelse af Ådalsmagasin (m)	2
	$K_{\text{mag}}$	Ledningsevne for sandmagasin (m/dag)	10
	$K_{\text{dæk}}$	Ledningsevne for dæklag (m/dag)	0.1
Variable	$L_{\text{opland}}$	Udstrækning af opland (m)	100, 700
	$L_{\text{adal}}$	Bredde af ådal (m)	30, 200, 800
	$\alpha_{\text{skrænt}}$	Hældning af skrænt (%)	5, 15
	$T_{\text{dæk}}$	Tykkelse af dæklag (m)	1, 5
	$T_{\text{mag}}$	Tykkelse af sandmagasin (m)	1, 6
	$K_{\text{adal}}$	Ledningsevne for Ådalsmagasin (m/dag)	0,01; 0,1; 1; 10; 100

#### 4.5.4 Simuleringer

For at undersøge den relative betydning af de variable parametre, er der foretaget stationære simuleringer, hvori nedenstående kombinationer af topografiske, geometriske og hydrauliske parametre er anvendt. Det samlede antal simuleringer beløber sig til henholdsvis ca. 240 for Ådalstype 2 og ca. 120 for Ådalstype 3.

#### **Kombinationer af geomorfologiske parametre**

Kombinationer af geomorfologiske parametre er identificeret ved en **geomorfologi id** (a til l), der fremgår af tabel 4.9.

Tabel 4.9. Kombinationer af geomorfologiske parametre.

Geomorfologi id	$L_{\text{opland}}$ (m)	$L_{\text{adal}}$ (m)	$\alpha_{\text{skrænt}}$ (m)
a	100	30	5
b	100	30	15
c	700	30	5
d	700	30	15
e	100	200	5
f	100	200	15
g	700	200	5
h	700	200	15
i	100	800	5
j	100	800	15
k	700	800	5
l	700	800	15

Det bemærkes at det samlede opland ( $L_{\text{opland}} + L_{\text{skrænt}} + L_{\text{adal}}$ ) er ens (1.000 m) for geomorfologi id "g" og "i".

#### **Kombinationer af geometriske parametre**

For Ådalstype 2 er der fire kombinationer af geometriske parametre identificeret ved en **geometri id** (1-1 til 5-6) angivet i tabel 4.10. Da dæklaget ikke optræder i Ådalstype 3 efterlader det kun to muligheder, hvori  $T_{\text{mag}}$  er henholdsvis 1 og 6 m.



Tabel 4.10. Kombinationer af geometriske parametre.

Geometri id	T <sub>dæk</sub> (m)	T <sub>mag</sub> (m)
1-1	1	1
1-6	1	6
5-1	5	1
5-6	5	6

**Kombinationer af hydrauliske parametre**

Kombinationer af hydraulisk ledningsevne for de tre hydrogeologiske enheder er identificeret ved en **ledningsevne id** (A - E), som fremgår af tabel 4.11. Det bemærkes, at mens ledningsevnen for sandmagasin og dæklag holdes konstant, varieres ledningsevnen for Ådalsmagasinet i kombinationerne.

Tabel 4.11. Kombinationer af hydrauliske parametre.

Ledningsevne id	K <sub>adal</sub> (m/dag)	K <sub>dæk</sub> (m/dag)	K <sub>mag</sub> (m/dag)
A	0,01	0,1	10
B	0,1	0,1	10
C	1	0,1	10
D	10	0,1	10
E	100	0,1	10

I tabel 4.12 er de hydrauliske ledningsevner anvendt i de konceptuelle modelle-ringer relateret til sedimenttyper. De ses at spænde over fire dekader. De anvendte ledningsevner rækker på hver side en dekade ud over intervallet anslået for transsekterne i tabel 4.7.

Tabel 4.12. Hydrauliske ledningsevner anvendt i den konceptuelle modellering relateret til sedimenttyper.

K <sub>adal</sub> (m/dag)	Sedimenttype (ifølge borebeskrivelsesnøgle)
0,01	Stærkt humificeret tørv (Z) Gytje (Gy) Silt (Si)
0,1	Moderat humificeret tørv (Y) Finkornet sand (fA)
1	Moderat til svagt humificeret tørv (Y til X) Finkornet sand (fA)
10	Svagt humificeret tørv (X) Fin- til mellemkornet sand (fA til mA)
100	Svagt humificeret tørv (X) Mellem- til grovkornet sand (mA)

#### 4.5.5 Resultater

##### ***Ådalsskræntens hældning***

Generelt har det vist sig, at ådalsskræntens hældning ( $\alpha_{\text{skrænt}}$ ) ikke har nogen betydning for strømningfordelingen. Resultaterne herfor er derfor udeladt.

##### ***Ådalsmagasinet hydrauliske ledningsevne og topografisk oplands udbredelse***

I figur 4.16 er de estimerede strømningfordelinger vist for både Ådalstype 2 og 3. I denne figur præsenteres fordelingerne som funktion af det topografiske oplands samlede udbredelse,  $T_{\text{opland}} + T_{\text{ådal}}$  (undtaget skræntens længde, der konstant er 100 m), og Ådalsmagasinet hydrauliske ledningsevne ( $K_{\text{ådal}}$ ), idet hver delfigur illustrerer fordelingen ved en given ledningsevne id (A til E). Intervallerne omkring de enkelte punkter er ikke standardafvigelse, men repræsenterer intervallet for ændringer i fordelingen som følge af ændringer i tykkelse af dæklag ( $T_{\text{dæk}}$ ) og tykkelse af sandmagasin ( $T_{\text{mag}}$ ).

##### ***Tykkelse af dæklag og sandmagasin***

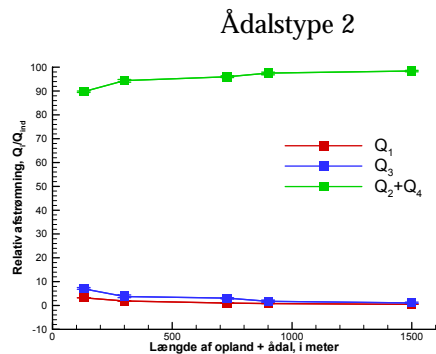
For nuanceret at illustrere betydningen af tykkelsen af dæklag og sandmagasin er fordelingerne også præsenteret som vist i figur 4.17a til 4.17d for Ådalstype 2, og figur 4.18a og 4.18b for Ådalstype 3.

I figur 4.17a er typekurver for estimerede strømningfordelinger vist for geometri id 1-1, det vil sige for en tykkelse af både dæklag og sandmagasin på 1 m (se tabel 4.10). Hver lille delfigur viser strømningfordelingen for en bestemt geomorfologi id, f.eks. "a" hvori  $L_{\text{opland}}$  er 100 m og  $L_{\text{ådal}}$  er 30 m (se tabel 4.9) som funktion af ledningsevne id fra A til E (se tabel 4.11). Figurerne er placeret således, at  $L_{\text{opland}}$  ændres lodret fra 100 til 700 m og  $L_{\text{ådal}}$  ændres vandret fra 30 over 200 til 800 m. Tilsvarende resultater er illustreret i figur 4.17b, 4.17c og 4.17d for henholdsvis geometri id 1-6, 5-1 og 5-6.

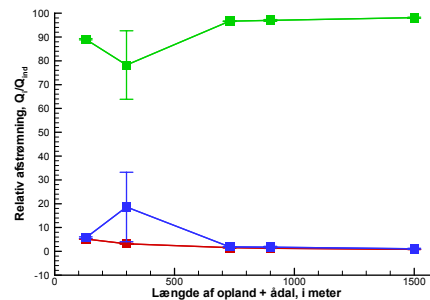
I figur 4.18a og 4.18b er tilsvarende typekurver vist for Ådalstype 3, der ikke har et dæklag mellem Ådalsmagasinet og sandmagasinet. Her varieres derfor kun tykkelsen af det bidragende sandmagasin ( $T_{\text{mag}}$ ).

Lednings-  
evne id

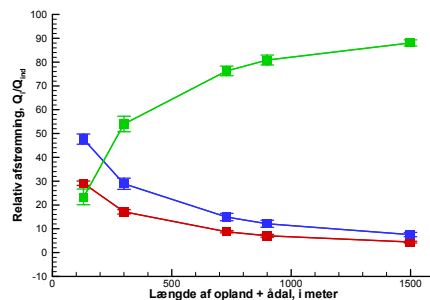
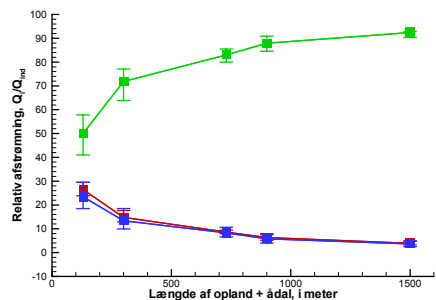
A



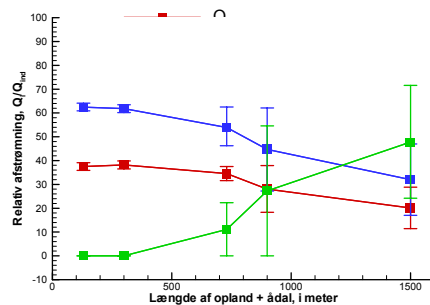
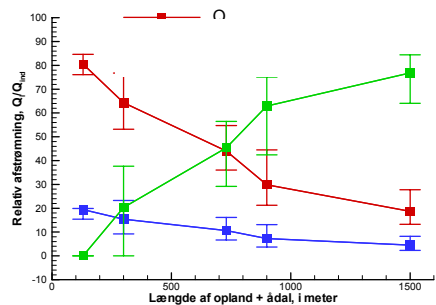
Ådalstype 3



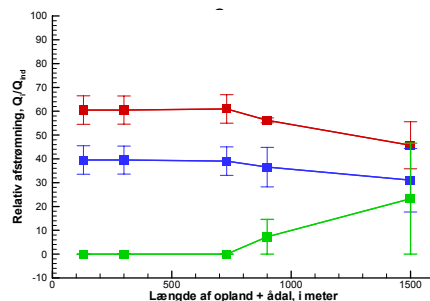
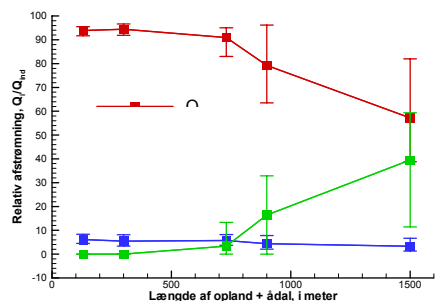
B



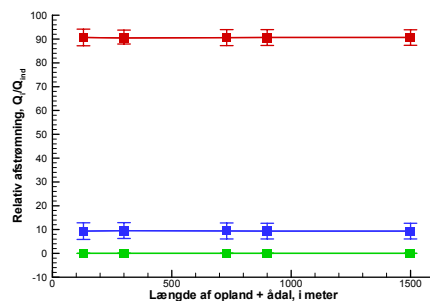
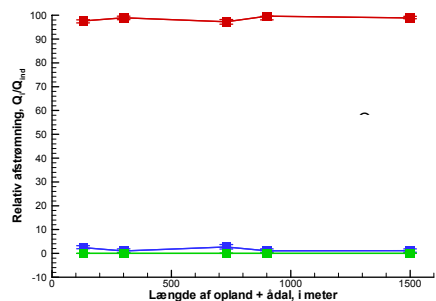
C



D

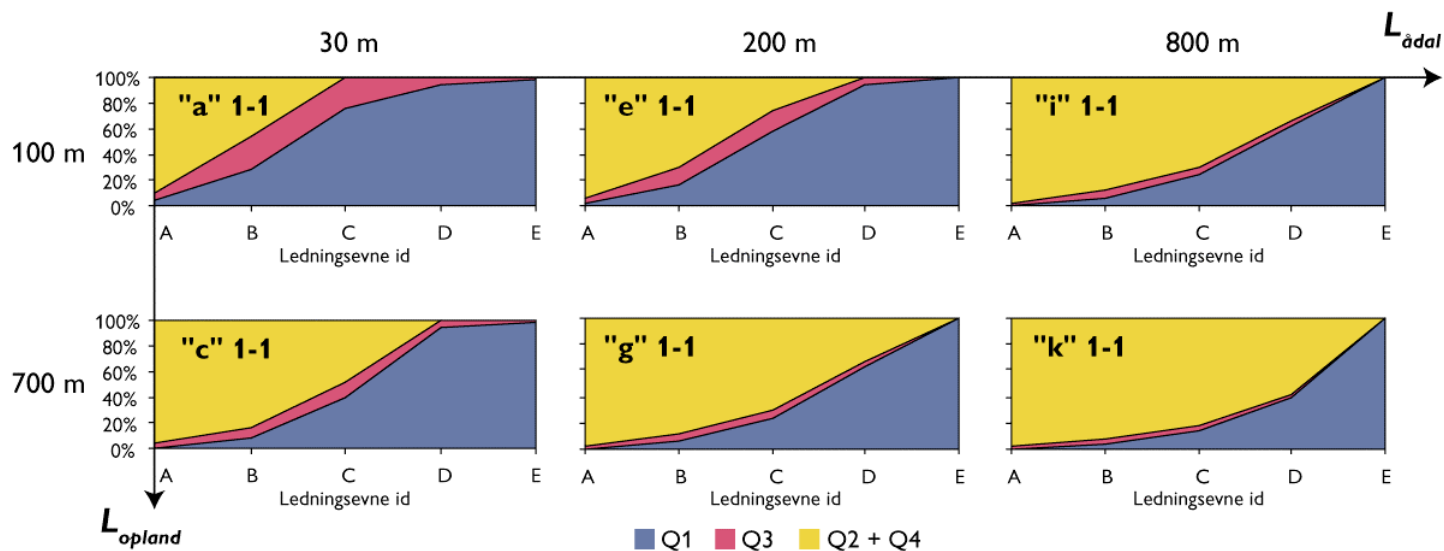


E

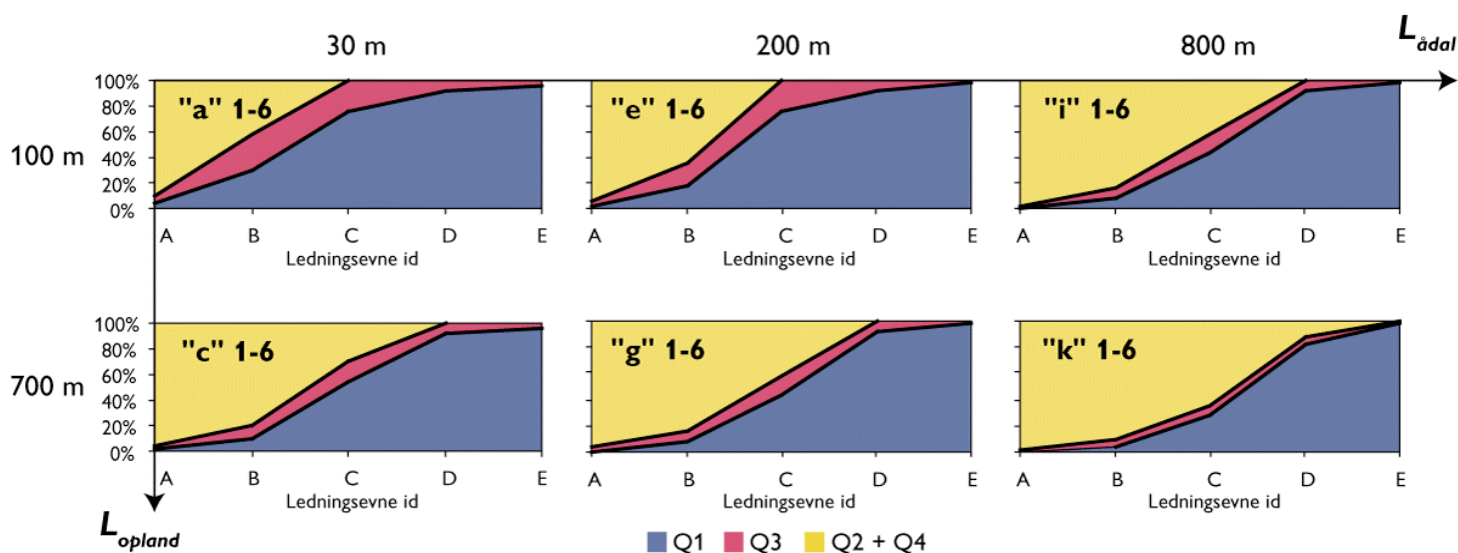


Figur 4.16. Estimerede strømingsfordelinger illustreret som funktion af samlet oplandslængde (undtaget længde af skrænt, der konstant er 100 m) og ledningsevne id. Venstre søjle er resultater for *Ådalstype 2*, højre søjle for *Ådalstype 3*. Øverst i hver søjle er resultater for ledningsevne id A, herunder B, C, D og underst E (se tabel 4.11).

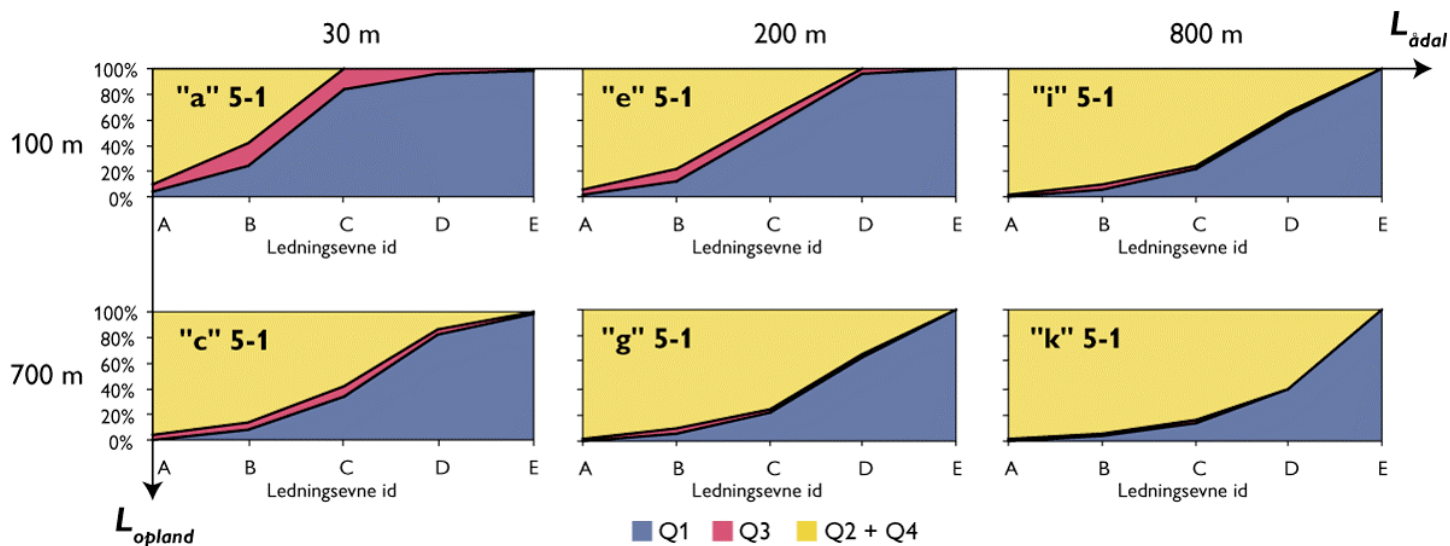
Intervallerne omkring de enkelte punkter er ikke standardafvigelser, men ændringer beregnet som følge af variationer af geometri id (se nærmere beskrivelse i tekst).



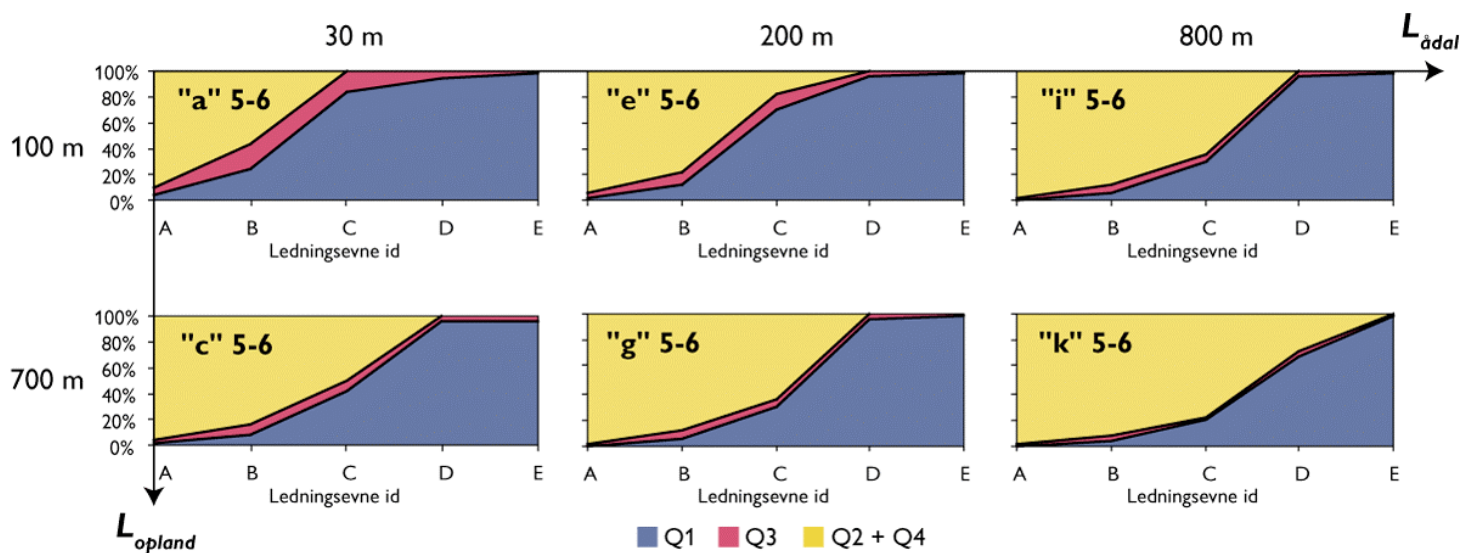
Figur 4.17a. Typekurver for *Ådalstype 2* ved en dæklagstykkelse på 1 m og en sandmagasin tykkelse på 1 m (geometri id 1-1). Ændringer i strømningfordelingen som funktion af varierende geomorfologi id (a til k) og ledningsevne id (A til E).



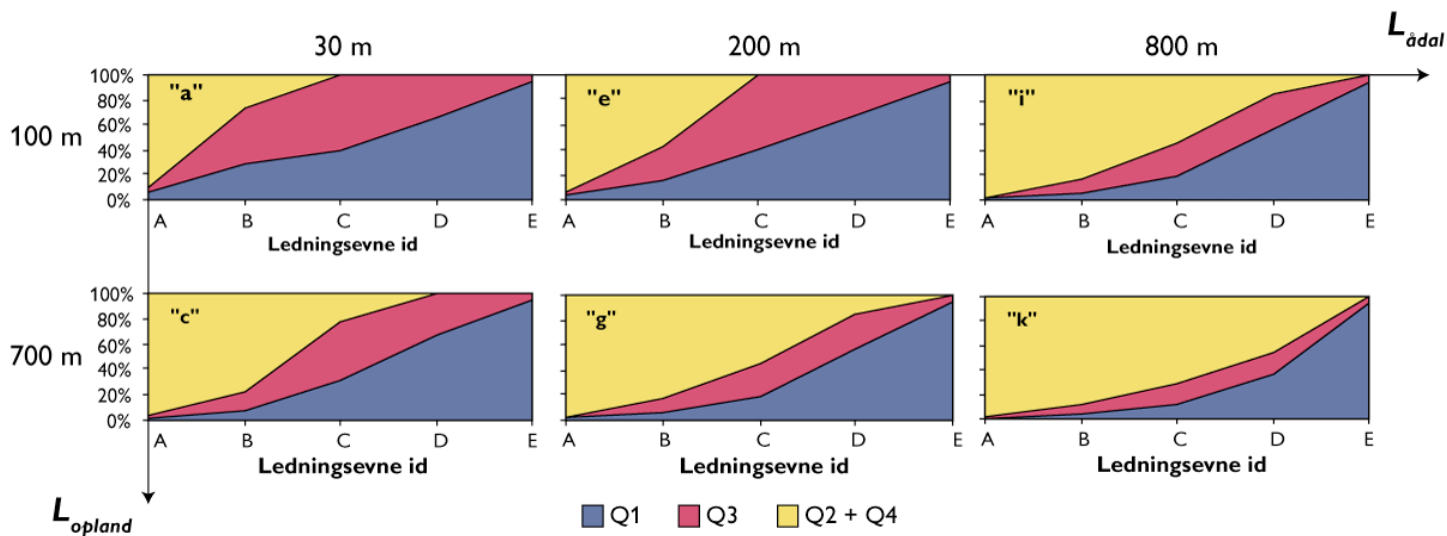
Figur 4.17b. Typekurver for *Ådalstype 2* ved en dæklagstykkelse på 1 m og en sandmagasin tykkelse på 6 m (geometri id 1-6). Ændringer i strømningfordelingen som funktion af varierende geomorfologi id (a til k) og ledningsevne id (A til E).



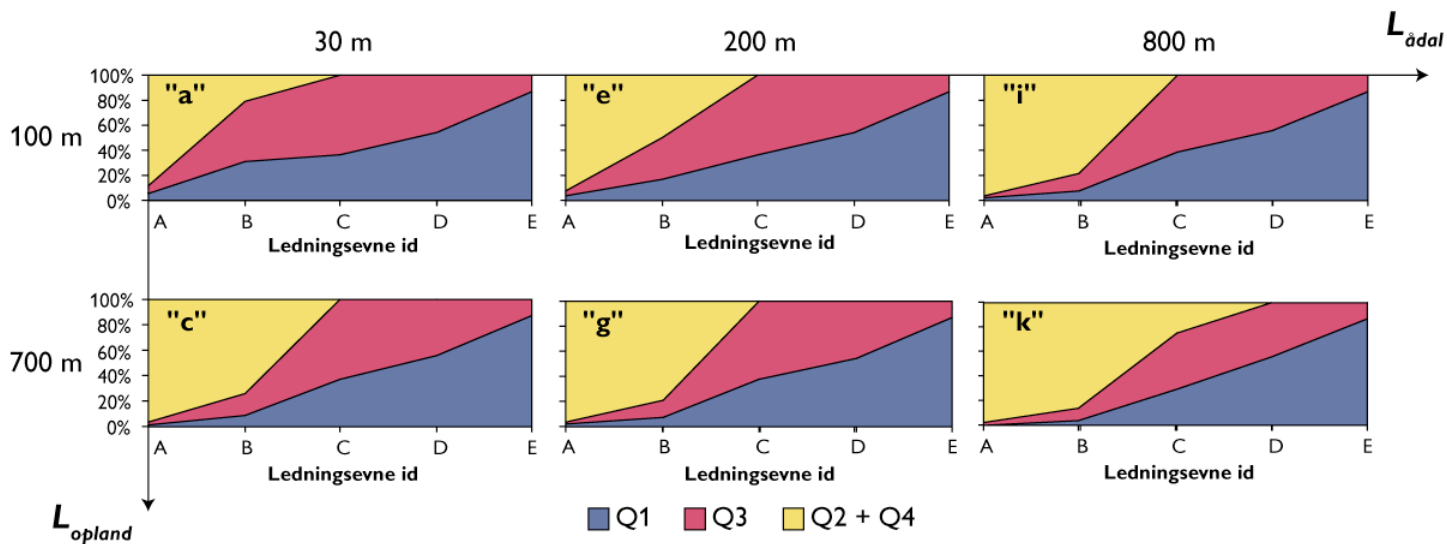
Figur 4.17c. Typekurver for *Ådalstype 2* ved en dæklagstykkelse på 5 m og en sandmagasin tykkelse på 1 m (geometri id 5-1). Ændringer i strømningfordelingen som funktion af varierende geomorfologi id (a til k) og ledningsevne id (A til E).



Figur 4.17d. Typekurver for *Ådalstype 2* ved en dæklagstykkelse på 5 m og en sandmagasin tykkelse på 6 m (geometri id 5-6). Ændringer i strømningfordelingen som funktion af varierende geomorfologi id (a til k) og ledningsevne id (A til E).



Figur 4.18a. Typekurver for **Ådalstype 3** ved en sandmagasin tykkelse på 1 m. Ændringer i strømningfordeling som funktion af varierende geomorfologi id (a til k) og ledningsevne id (A til E).



Figur 4.18b. Typekurver for **Ådalstype 3** ved en sandmagasin tykkelse på 6 m. Ændringer i strømningfordeling som funktion af varierende geomorfologi id (a til k) og ledningsevne id (A til E).

#### 4.5.6 Diskussion

Under diskussionen af ledningsevnernes betydning anvendes følgende termer:

- $K_{\text{ådal}} = 0,01$  m/dag  $\approx$  meget lille
- $K_{\text{ådal}} = 0,1$  m/dag  $\approx$  lille
- $K_{\text{ådal}} = 1$  m/dag  $\approx$  middel
- $K_{\text{ådal}} = 10$  m/dag  $\approx$  stor
- $K_{\text{ådal}} = 100$  m/dag  $\approx$  meget stor.

#### **Ådalstype 2**

Det fremgår af figur 4.16, at den hydrauliske ledningsevne i Ådalsmagasinet ( $K_{\text{ådal}}$ ), der varieres i ledningsevne id A til E (jævnfør tabel 4.10), er meget styrende for strømningfordelingen i ådalen.

Når ledningsevnen i Ådalsmagasinet er **meget lille** (A) dominerer  $Q_2$  til  $Q_4$  fuldstændigt uanset størrelsen af de øvrige parametre.

Ved **lille** ledningsevne i Ådalsmagasinet (B) begynder  $Q_1$  og  $Q_3$  at få en vis betydning på bekostning af  $Q_2 + Q_4$  for små topografiske oplande. I denne situation har de øvrige parametre heller ingen betydning.

Ved **middel** ledningsevne i Ådalsmagasinet (C) sker der en stor omfordeling af strømningmønstrer primært afhængigt af udbredelsen af det **topografiske opland**. Jo større det topografiske opland er, jo større andel får  $Q_2 + Q_4$ . Det modsatte er tilfældet for  $Q_1$ .  $Q_3$  ligger stabilt på et lavt niveau. I denne situation øver størrelsen af de geometriske parametre desuden indflydelse. Som det fremgår af figur 4.17a til 4.17d giver en øget **dæklagstykkelse** sig udtryk i en stigning i andelen af  $Q_2 + Q_4$  på bekostning af både  $Q_3$  og  $Q_1$ . En øget **tykkelsen af sandmagasinet** har den modsatte effekt, idet andelen af  $Q_2 + Q_4$  falder til fordel for andelen af både  $Q_3$  og  $Q_1$ .

Ved **stor** ledningsevne i Ådalsmagasinet (D) er  $Q_1$  dominerende, især ved små topografiske oplande. Ved store oplande får  $Q_2 + Q_4$  dog en stigende betydning på bekostning af  $Q_1$ .  $Q_3$  ligger meget stabilt på et lavt niveau. Især ved store topografiske oplande har **sandmagasinet tykkelse** meget stor indflydelse på fordelingen mellem  $Q_1$  og  $Q_2 + Q_4$ . En stigende magasin tykkelse omfordeler således op til 30 % af strømmingen fra  $Q_2 + Q_4$  til  $Q_1$ .

Ved **meget stor** ledningsevne i Ådalsmagasinet (E) dominerer  $Q_1$  fuldstændigt uanset variation i alle øvrige parametre.

#### **Ådalstype 3**

For **meget lille** (A) og **meget stor** (E) hydraulisk ledningsevne i Ådalsmagasinet er strømningfordelingerne nogenlunde ens for Ådalstyper 3 og Ådalstype 2.

Ved **lille** (B), **middel** (C) og **stor** (D) ledningsevne i Ådalsmagasinet er effekten af ændringen i ledningsevnen imidlertid generelt større for Ådalstype 3 end for Ådalstype 2 forårsaget af det manglende dæklag mellem det bidragende sandmagasin og Ådalsmagasinet ved Ådalstype 3. Den direkte strømning til vandløbet ( $Q_3$ ) har således en meget større betydning for denne Ådalstype på bekostning af både overfladisk og drænastrømning ( $Q_2 + Q_4$ ) samt diffus strømning gennem Ådalsmagasinet ( $Q_1$ ). For middel ledningsevne er  $Q_3$  endda dominerende, hvilket aldrig er tilfældet for Ådalstype 2.



Udbredelsen af det **topografiske opland** har generelt ingen betydning for meget små og meget store ledningsevner. For små til store ledningsevner har udbredelsen samme betydning som for Ådalstype 2, at et større opland generelt tvinger en større andel af strømmingen op mod overfladen ( $Q_2 + Q_4$ ) på bekostning af både  $Q_1$  og  $Q_3$ .

Ved større topografiske oplande og middel til store ledningsevner (C og D) medfører en øget **tykkelse af sandmagasinet** et fald på op til 50 % i  $Q_2 + Q_4$ , der fordeles ligeligt mellem  $Q_1$  og  $Q_3$ .

#### 4.5.7 Nøgle til strømningsfordeling

For at operationalisere modelsimuleringerne er der, som hjælp til at finde frem til den rigtige typekurve over den estimerede strømningsfordeling for en given ådal, i tabel 4.13 opbygget som en nøgle. De anvendte parametre er i nævnte rækkefølge:

- $T_{\text{dæk}}$
- $T_{\text{mag}}$
- $L_{\text{ådal}}$
- $L_{\text{opland}}$
- $K_{\text{ådal}}$

I kapitel 2 og 3 samt Trin C og D i dette kapitel er der anvist metoder til kvantificering af parametrene.

Tabel 4.13. Nøgle til valg af typekurve for strømningfordeling. I tabellen er et eksempel for transsekt T1 illustreret ved gråfarvning.

Ådalstype	$T_{\text{dæk}}$ (m)	$T_{\text{mag}}$ (m)	$L_{\text{adal}}$ (m)	$L_{\text{opland}}$ (m)	$K_{\text{adal}}$ (m/dag)	Strømningfordeling (%)	
3	0	1	30	100 'a'	0.01 A 0.1 B 1 C 10 D 100 E	Aflæses på figur	
			Fig 4.18a'a' og 'c'	700 'c'			
			200	100 'e'			
			Fig 4.18a'e' og 'g'	700 'g'			
			800	100 'i'			
	Fig 4.18a'i' og 'k'	700 'k'					
	Fig. 4.18	6	Fig. 4.18b	30	100 'a'	0.01 A 0.1 B 1 C 10 D 100 E	Aflæses på figur
				Fig 4.18b'a' og 'c'	700 'c'		
				200	100 'e'		
				Fig 4.18b'e' og 'g'	700 'g'		
800				100 'i'			
Fig 4.18b'i' og 'k'	700 'k'						
2	1	1	30	100 'a'	0.01 A 0.1 B 1 C 10 D 100 E	Aflæses på figur	
			Fig 4.17a'a' og 'c'	700 'c'			
			200	100 'e'			
			Fig 4.17a'e' og 'g'	700 'g'			
		Fig. 4.17a	800	100 'i'			
			Fig 4.17a'i' og 'k'	700 'k'			
			6	30	100 'a'	0.01 A 0.1 B 1 C 10 D 100 E	Aflæses på figur
				Fig 4.17b'a' og 'c'	700 'c'		
	200	100 'e'					
	Fig 4.17b'e' og 'g'	700 'g'					
	Fig 4.17b	800	100 'i'				
		Fig 4.17b'i' og 'k'	700 'k'				
		5	1	30	100 'a'	0.01 A 0.1 B 1 C 10 D 100 E	Aflæses på figur
				Fig 4.17c'a' og 'c'	700 'c'		
	200			100 'e'			
	Fig 4.17c'e' og 'g'			700 'g'			
Fig 4.17c	800		100 'i'				
	Fig 4.17c'i' og 'k'		700 'k'				
	6		30	100 'a'	0.01 A 0.1 B 1 C 10 D 100 E	Aflæses på figur	
			Fig 4.17d'a' og 'c'	700 'c'			
200		100 'e'					
Fig 4.17d'e' og 'g'		700 'g'					
Fig 4.17c og 4.17d	800	100 'i'					
	Fig 4.17d'i' og 'k'	700 'k'					

#### 4.5.8 Estimerede strømningfordelinger for transsekt T1 til T9

På basis af de kvantificerede parametre for transsekt T1 til T9, præsenteret tidligere i kapitlet, kan strømningfordelingen for transsekterne estimeres ud fra figur 4.17a til 4.17d og figur 4.18a og 4.18b ved anvendelse af ovenstående nøgle.

I tabel 4.13 er der vist et eksempel på gennemgang af transsekt T1.  $T_{\text{dæk}}$  på 0 m medfører indgang i figur 4.18.  $T_{\text{mag}}$  på 5 m tilnærmes ved indgang i figur 4.18b.  $L_{\text{adal}}$  på 360 m tilnærmes ved indgang i figur 4.18b 'e' eller 'g'.  $L_{\text{opland}}$  på 510 m indsnævner indgangen til figur 4.18b 'g'. En estimeret  $K_{\text{adal}}$  på 1 m/dag medfører aflæsning af denne figur udfor D. Den estimerede

strømningsfordeling aflæses til  $Q_1$  på 40 %,  $Q_3$  på 60 %  $Q_2 + Q_4$  på 0 %, vist i tabel 4.14. Resultatet af en tilsvarende gennemgang af de øvrige transekter er ligeledes angivet i tabellen.

Transekterne er herefter klassificeret som Strømningsvarianter ifølge Dahl et al. (2004) på basis af den dominerende strømningsvej (se tabel 4.14). I eksemplet transekt T1 er den dominerende strømningsvej  $Q_3$ , hvorfor Strømningsvarianten er Direkte.

Tabel 4.14. Parametre og strømningsfordeling for transekt T1 til T9.

<sup>1)</sup> omhandler det overfladenære magasin  $X_3$ . <sup>2)</sup> er estimeret ud fra jordartskort, da der ikke foreligger håndboringer. Eksemplet for transekt T1 er gråfarvet.

Transekt		Parameter					Strømningsfordeling			
		$T_{\text{dæk}}$ (m)	$T_{\text{mag}}$ (m)	$L_{\text{ådal}}$ (m)	$L_{\text{opland}}$ (m)	$K_{\text{ådal}}$ (m/dag)	$Q_1$ (%)	$Q_3$ (%)	$Q_2+Q_4$ (%)	
T1	3	0	5	360	510	1	40	60	0	Direkte
T2	2	10	5	300	110	0,1	10	10	80	Overfladisk /Detail
T3	2	12	25	180	185	0,01	5	5	90	Overfladisk /Detail
T4	3	0	15	285	605	0,01	3	2	95	Overfladisk /Detail
T5	3	0	10	75	740	0,01 <sup>2)</sup>	3	2	95	Overfladisk /Detail
T6	3	0	1.5	30	200	1	40	60	0	Direkte

Der er stor variation i strømningsfordelingen mellem transekterne. Variationen er primært styret af tilstedeværelsen eller fraværet af et dæklag samt af  $K_{\text{ådal}}$ . Der er ingen entydig sammenhæng mellem Ådalstype og Strømningsvariant.

#### **Ekstrapolation af resultater til Ådalstyper på smeltevandsslette**

Med forsigtighed vil resultater for Ådalstype 3 sandsynligvis også kunne anvendes for Ådalstyper på smeltevandssletten. Der er således indikation for, at Strømnings-varianten langs de **øvre og nedre** strækninger af vandløbssystemet, hvor det bidragende grundvandsmagasins udbredelse er forholdsvis lille skifter fra Overfladisk / Detailafvandet, over Direkte til Diffus ved stigende ledningsevner i Ådalsmagasinet. Langs den **midterste** strækning af vandløbssystemet, hvor det bidragende grundvandsmagasin har meget større udbredelse, vil der sandsynligvis være en tendens til, at Strømningsvarianten enten er Overfladisk / Detailafvandet ved lave ledningsevner, eller Diffus ved store ledningsevner i Ådalsmagasinet. Den Direkte Strømningsvariant forventes ikke at findes på denne strækning.

#### 4.5.9 Indikatorer for dominerende strømningsvej

Tabel 4.15. Parametre og indikatorer for dominerende strømningsvej for **Ådalstype 2**.

Parametre og indikatorer	$Q_1$ (Diffus)	$Q_2+Q_4$ (Overfladisk / Detailafvandet)	Datakilde
$K_{\text{ådal}}$ (m/dag)	$\geq 10$	$\leq 0.1$	Håndboringer
$K_{\text{ådal}}$ (m/dag)	$= 1$ og $L_{\text{opland}} + L_{\text{skrænt}} + L_{\text{ådal}} < 800$ m	$= 1$ og $L_{\text{opland}} + L_{\text{skrænt}} + L_{\text{ådal}} > 800$ m	Håndboringer Topografiske kort
Overflade-	Tør	Hvis drænet tør.	Målebordsblade

hydrologi			
Areal-anvendelse	Eng	Vådområde / mose	AIS kort (§3)

Tabel 4.16. Parametre og indikatorer for dominerende strømningsvej for **Ådalstype 3**.

Parametre og indikatorer	$Q_1$ (Diffus)	$Q_3$ (Direkte)	$Q_2+Q_4$ (Overfladisk / Detailafvandet)	Datakilde
$K_{\text{adal}}$ (m/dag)	$\geq 10$	1	$\leq 0.1$	Håndboringer
Terræn-overflade	Tør	Eventuelt vådt udsivningsområde nær vandløb.	Hvis drænet tør. Ellers vådt udsivningsområde nær skræntfod, eventuelt kilder, eventuelt helt vanddækket.	Målebordsblade Jordartskort Ortofoto Feltrekognoscering
Areal-anvendelse	Eng	Eng	Vådområde / mose	AIS kort (§3)

Af tidsmæssige årsager har det ikke været muligt i dette projekt at teste de estimerede strømningfordelinger for transekt T1 til T9 med indikatorer fra feltet. Afrapporteringen heraf vil finde sted i Mads Bankes speciale, der forventes færdigt inden sommer 2005.

#### 4.5.10 Sammenfatning om konceptuel modellering

##### **Styrende parametre**

Den konceptuelle modellering og følsomhedsanalyse af de geomorfologiske, geometriske og hydrauliske parametre har vist, hvilke parametre, der er mest styrende for fordelingen af strømningsveje gennem en ådal.

##### **Ådalstype 2**

I Ådalstype 2 dominerer den direkte strømning til vandløbet ( $Q_3$ ) aldrig. For middel ledningsevner udgør strømmingen mellem 5 og 15 %, mens den er uden betydning for meget lave og meget høje ledningsevner.

$K_{\text{adal}}$  er den altafgørende styrende parameter for hvilken af de to andre strømning-veje, der dominerer i ådalen. Hvis  $K_{\text{adal}}$  er  $\geq 10$  m/dag (svarende til svagt humificeret tørv og mellem- til grovkornet sand) dominerer den diffuse strømning ( $Q_1$ ) uanset størrelsen af de øvrige parametre. Det må forventes, at ådalen i dette tilfælde er tør (eng eller opdyrket) og at den ikke behøver dræning.

Hvis  $K_{\text{adal}}$  derimod er  $\leq 0.1$  m/dag (svarende til moderat humificeret tørv, finkornet sand, gytje og silt) dominerer den overfladiske afstrømning og drænvandsafstrømningen ( $Q_2 + Q_4$ ). Denne type ådal vil under naturlige forhold være våd (mose) og have behov for dræning. Der kan være lokale, våde udstrømningsområder ved skræntfoden.

Hvis  $K_{\text{adal}}$  derimod er 1 m/dag (svarende til moderat til svagt humificeret tørv eller finkornet sand) er den dominerende strømning afhængig af de øvrige parametres størrelse. Især ved små topografiske oplande og smalle ådale går tendensen mod diffus strømning (og tør overflade), mens store oplande og brede ådale tenderer mod at give overfladisk afstrømning (og våd overflade med drænbehov). En stigende dæklagstykkelse trækker ligeledes i retning af

overfladisk afstrømning, mens en stigende sandmagasin tykkelsen trækker i retning af større diffus strømning.

Ådalens strømningsmæssigt aktive del ændres fra skræntfoden og overfladen ved meget små ledningsevner til Ådalsmagasinet ved meget store ledningsevner. Ved middel ledningsevner har strømmingen direkte til vandløbet tillige nogen betydning.

Ved middel til store topografiske oplande tvinger en stigende dæklagstykkelse tillige en større del af strømmingen mod skræntfoden og overfladen, mens en stigende sandmagasin tykkelse bevirker, at en større del af strømmingen løber diffust gennem Ådalsmagasinet og direkte op i vandløbet.

### **Ådalstype 3**

I Ådalstype 3 kan den direkte strømning op mod vandløbet være dominerende. Dette er tilfældet, når  $K_{\text{adal}}$  er omkring 1 m/dag (svarende til moderat til svagt humificeret tørv eller finkornet sand). I en sådan strömningssituation forventes det, at ådalen er tør, men det er muligt, at der findes et mere vådt lokalt udströmnings-område nær vandløbet.

Ligesom for Ådalstype 2 dominerer den diffuse strømning, når  $K_{\text{adal}}$  er  $\geq 10$  m/dag (svarende til svagt humificeret tørv og mellem- til grovkornet sand). Ådalens overflade forventes da at være tør.

Tilsvarende dominerer den overfladiske strømning også her, når  $K_{\text{adal}}$  er  $\leq 0.1$  m/dag (svarende til moderat humificeret tørv, finkornet sand, gytje og silt). Ådalens overflade forventes også her at være våd og at have drænbehov.

Strömningfordelingen for Ådalstype 3 er mere følsom overfor  $K_{\text{adal}}$  end Ådalstype 2. For Ådalstype 3 er den direkte strømning til vandløbet mere betydningsfuld forårsaget af det manglende dæklag mellem det bidragende sandmagasin og Ådalsmagasinet. Grundvandet strømmer tillige lettere diffust gennem Ådalsmagasinet, hvorved den overfladiske afstrømning og drænvandsafstrømningen får mindre betydning sammenlignet med Ådalstype 2.

### **Nødvendige parametre til estimering af strömningfordelingen**

For at kunne estimere strömningfordelingen i en given ådal er det ud fra ovenstående diskussion meget væsentligt at kunne vurdere bulk hydraulisk ledningsevne for Ådalsmagasinet ( $K_{\text{adal}}$ ).

Hernæst er information om bredden af ådalen ( $L_{\text{adal}}$ ) vigtig.

Udstrækningen af det topografiske opland ( $L_{\text{opland}}$ ) som mål for udstrækningen af overfladenære grundvandsmagasiner er tillige vigtig at bestemme, hvor disse er tilstede (Ådalstype 3). For Ådalstype 4 vil den tilsvarende størrelse for de dybereliggende grundvandsmagasiner udgøres af magasinets horisontale udbredelse ( $L_{\text{mag}}$ ). Den har sandsynligvis også stor indflydelse på strömningfordelingen.

Endelig er det også vigtigt at kvantificere det bidragende grundvandsmagasins tykkelse ( $T_{\text{mag}}$ ) og dæklagets tykkelse ( $T_{\text{dæk}}$ ).

I rapporten er der anvist metoder til bestemmelse af parametrene.

### **Hydraulisk ledningsevne i Ådalsmagasinet**

Ledningsevnerne, der er anvendt for Ådalsmagasinet i den konceptuelle modellering, er isotrope og af en størrelsesorden, der repræsenterer almindelige sedimenttyper i Ådalsmagasiner. Da Ådalsmagasiner dog oftest er anisotropt opbygget på grund af hyppigt vekslende lag af meget varierende tekstur og omsætningsgrad for tørvens vedkommende med deraf følgende store skift i hydraulisk ledningsevne indenfor korte afstande, er det således en meget væsentlig opgave at bestemme en effektiv (bulk) ledningsevne for Ådalsmagasinet. Denne bulk ledningsevne vil på grund af anisotropien være forskellig i horisontal og vertikal retning. Det ligger imidlertid udenfor dette projekts rammer at foreslå metoder hertil.

I simuleringerne har det vist sig, at selv forholdsvist små ændringer i den hydrauliske ledningsevne for Ådalsmagasinet har drastiske følger for strømningsfordelingen. Bulk værdierne anslået på basis af håndboringerne foretaget ved transsektorer T1 til T9 ligger i intervallet 0,01 til 10 m/dag (svarende til ledningsevne id A til D). Ændringer indenfor dette interval kan fuldstændig omfordele  $Q_1$  (diffus) og  $Q_2 + Q_4$  (overfladisk og drænastrømning), som det fremgår af alle typekurverne.

Da

- $K = 0,01$  m/dag svarer til stærkt humificeret tørv, gytje og silt
- $K = 0,1$  m/dag svarer til moderat humificeret tørv og finkornet sand
- $K = 1$  m/dag svarer til moderat til svagt humificeret tørv og finkornet sand
- $K = 10$  m/dag svarer til svagt humificeret tørv og mellemkornet sand

fremgår det med stor tydelighed, hvor vigtigt det er, at have detaljerede geologiske data med tilstrækkelig fin opløsning fra Ådalsmagasinet.

I kapitel 2 blev det konkluderet, at boringer i Jupiter databasen ikke indeholder brugbar information om den geologiske opbygning af Ådalsmagasinet. Jordarts-kortet giver information om jordarten i 1 meters dybde, men denne information har imidlertid heller ikke en tilstrækkelig fin opløsning (i dybden) til at en bulk ledningsevne for Ådalsmagasinet kan vurderes med en tilstrækkelig stor nøjagtighed. **Ledningsevnen skal kunne vurderes indenfor mindst en dekades nøjagtighed** for at give en rimelig pålidelighed i de estimerede strømnings-fordelinger. Det er derfor nødvendigt at udføre en detaljeret geologisk beskrivelse af Ådalsmagasinet opbygning. En profilbeskrivelsesnøgle til brug for håndbo-ringer er derfor beskrevet.

Ved Danmarks JordbrugsForskning findes en database over 8000 boringer foretaget i lavbunds-jorde under okkerkortlægningen i 1980'erne. Disse boringer rækker et par meter ned i Ådalsmagasinet og indeholder detaljeret information om geologien (inklusive omsætningsgrad af tørv). Det vil således være særdeles væsentligt at tilgængeliggøre disse data til brug for GOI typologien.

### **Estimering af strømningsfordeling og klassifikation af Strømningsvariant**

Nøglen angivet i tabel 4.13 kan, på basis af kvantificerede parametre, anvendes til at finde frem til den aktuelle typekurve for en given ådal, ud fra hvilken strøm-ningsfordelingen kan estimeres. Ud fra den dominerende strømningsvej kan ådalen herefter klassificeres som en af fire (tre) Strømningsvarianter ifølge Dahl et al. (2004).

### ***Følsomhed af estimerede strømningfordelinger***

Den estimerede strømningfordeling skal vurderes på baggrund af de foretagne antagelser for kvantificering af de enkelte strømningkomponenter i MODFLOW.

Eksempelvis viser analyser, hvori **vandløbsbredden** (den halve på grund af symmetri) er 2 m i stedet for 1 m, at  $Q_3$  maksimalt stiger med en faktor 2 fra 13 til 26 % for Ådalstype 2.

Sænkes **vandstanden i vandløbet** fra 0,9 m til 1,9 m stiger andelen af  $Q_3$  af samme størrelsesorden som ovenfor.

For Ådalstype 2 medfører en øgning af **sandmagasinets tykkelse** fra 6 m til 15 m kun en øgning af  $Q_3$  på nogle få %. Øges **dæklagets tykkelse** tilsvarende fra 5 m til 15 m medfører det omvendt en mindskelse af  $Q_3$  på nogle få %.

For Ådalstype 3 medfører en stigning i sandmagasinets tykkelse fra 6 m til 15 m kun en ændring i strømningfordelingen for meget store oplande ("k"), hvor andelen af  $Q_3$  stiger fra 40 til 60 %.

**Anisotropi** for alle hydrauliske ledningsevner (hvor den vertikale ledningsevne er en faktor 10 mindre end den horisontale) medfører en stigning i  $Q_2 + Q_4$ .

**Anisotropi som ovenfor sammen med en vandløbsbredde på 2 m** giver ingen væsentlig forskel fra en situation med en vandløbsbredde på 1 m. Det vil sig, at de hydrauliske egenskaber betyder mere end de geomorfologiske forhold for strømningfordelingen.

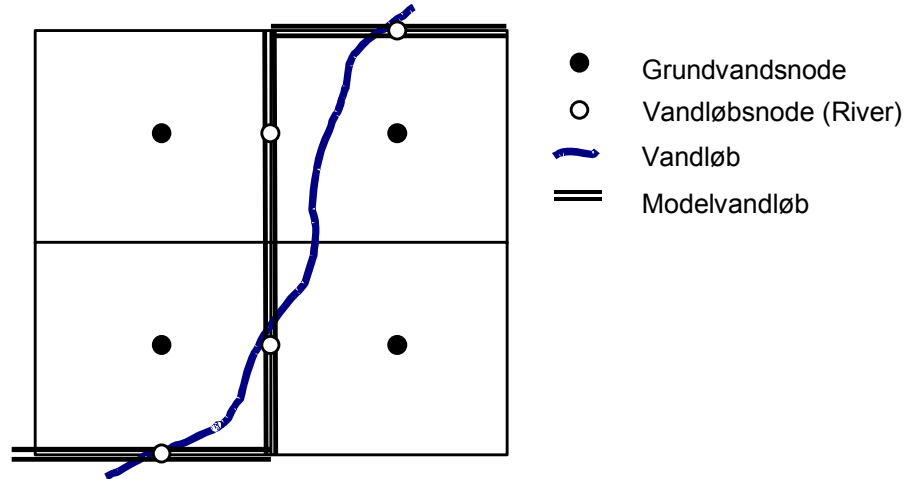
### ***Dynamisk simulering***

Som første tilnærmelse er simuleringerne foretaget under **stationære** forhold. Det er imidlertid ønskeligt senere at foretage analyserne under **dynamiske** forhold også, men det ligger udenfor dette projekts tidsrammer.

## 4.6 Trin E: Kvantificering af tilstrømning til ådale ud fra DK model

### 4.6.1 Beskrivelse af model-system

På baggrund af DK-model Fyn (Henriksen et al., 1997) er vandløbstilstrømningen på strækningen nedstrøms Sallinge Å's udspring blevet analyseret. DK-model Fyn er opstillet i MIKE SHE (v. oktober 2001), og inkluderer i den aktuelle opsætning komponenterne grundvandsstrømning i mættet zone, drænastrømning, overfladevandsafstrømning og strømning i vandløb. Vandløbsplaceringen approksimeres i MIKE SHE til grænsen mellem de numeriske celler, der benyttes ved beregningen af grundvands- og overfladevandsstrømning, se figur 4.19.



Figur 4.19 Modelapproximation af vandløbsgeometri i MIKE SHE.

I DK-modellen benyttes en diskretisering i grundvandssystemet på  $x = 1$  km, og der kan derfor optræde betydelige forskelle mellem den virkelige placering af vandløbene og modellens approksimation af vandløbsplaceringen.

Vandstanden i vandløbene beregnes i de såkaldte river links (se figur 4.19), og vandudvekslingen mellem vandløb og grundvand beregnes på basis af hhv. den beregnede vandstand i river linket og de to tilgrænsende grundvandsknudepunkter. Grundvandstilstrømningen er styret af Darcy's lov og i den aktuelle DK-model opsætning er udvekslingen angivet til kun at være styret af modstanden i vandløbets bund. I dette tilfælde kan udvekslingen skrives som:

$$Q_{aq} = \frac{K_R}{d_R} w_i \Delta x (h_i - h_R) = L_R w_i \Delta x (h_i - h_R) \quad ; \quad h_i \geq h_R$$

hvor  $K_R$  og  $d_R$  er hhv. vandløbsbundens hydrauliske ledningsevne og tykkelse.  $w_i$  er den befugtede perimenter,  $h_i$  er trykniveauet i grundvandscellen og  $h_R$  er vandstanden i vandløbet (svarende til det aktuelle river link).  $L_R$  er lækagekoefficienten [ $T^{-1}$ ], som der skal specificeres værdier for i modellen. Udvekslingen beskrevet ved ovenstående ligning foregår i grundvandsmodellag, hvor der er fysisk kontakt mellem vandløb og det pågældende lag. Oftest vil de specificerede vandløbstværsnit udelukkende være placeret i det øverste grundvandsmodellag, men hvis der benyttes en relativ fin diskretisering i vertikal retning, kan vandløbet have kontakt med flere af de øverste modellag.

Dræn kan kun placeres i det øverste numeriske modellag i den mættede zone. Drænvandsafstrømning genereres i de tilfælde, hvor grundvandsspejlet ligger over niveauet, hvor drænene er placeret. I grundvandsceller, hvor dette sker, vil en vandfluks være givet ved følgende udtryk:

$$Q_{dr} = C_d \Delta x^2 (h_i - z_d) \quad ; \quad h_i \geq z_d$$

hvor  $C_d$  er den såkaldte drænvandskoefficient [ $T^{-1}$ ],  $z_d$  er koten for drænets placering, og  $x$  er sidelængden af de numeriske celler. Vandet, der løber til drænene, routes direkte til vandløb, hvor terrænets hældning bestemmer, hvilket vandløb vandet løber til. Drænvand flyttes med andre ord ikke fra celle til celle ned mod vandløbet. Cellen, hvor drænvandet genereres, kortsluttes med vandløbet, og transporttiden fra området, hvor drænvandet dannes, til



vandløbet negligeres dermed. På grund af kortslutningen vil drænvand, der genereres i en celle langt fra vandløbet, ikke kunne reinfiltrere til grundvandet, hvis der mellem den pågældende celle og vandløbet optræder områder, hvor grundvandsspejlet står lavere end drænniveau.

Overfladevandsafstrømningen beregnes ved hjælp af en approksimation til St. Venants ligninger, og inputdata består af overfladeruhed udtrykt via Manningtallet. En brøkdel af nettonedbøren, som afhænger af jordoverfladens beskaffenhed, tildeles i hver celle til jordoverfladen, hvorved der genereres en strømning på overfladen. Mængden af vand, der genereres i hver celle, bliver transporteret mod de naboceller, der har lavere terrænkote. Samtidig vil der, hvis der er en nedadrettet trykgradient, ske en strømning mod grundvandet, hvis størrelse afhænger af de øvre jordlags hydrauliske egenskaber. Hvis grundvandsspejlet ligger under terræn, hvis den hydrauliske ledningsevne af topjorden er forholdsvis høj, og hvis nedbørsmængden er relativt lav, vil al vand sandsynligvis infiltrere til grundvandsspejlet. Der er derfor større chance for at generere overfladevandsafstrømning til vandløb i vinterhalvåret, hvor grundvandsspejlet står forholdsvis højt og regnhændelserne oftest er kraftigst. Til forskel fra drænvandsafstrømning transporteres det vand, der strømmer på jordoverfladen, fra celle til celle, og kan derfor, hvis forholdene begunstiger det, infiltrere til grundvandsspejlet undervejs til vandløbet.

Både drænvandsafstrømning og overfladevandsafstrømning routes til de såkaldte river links (se figur 4.19).

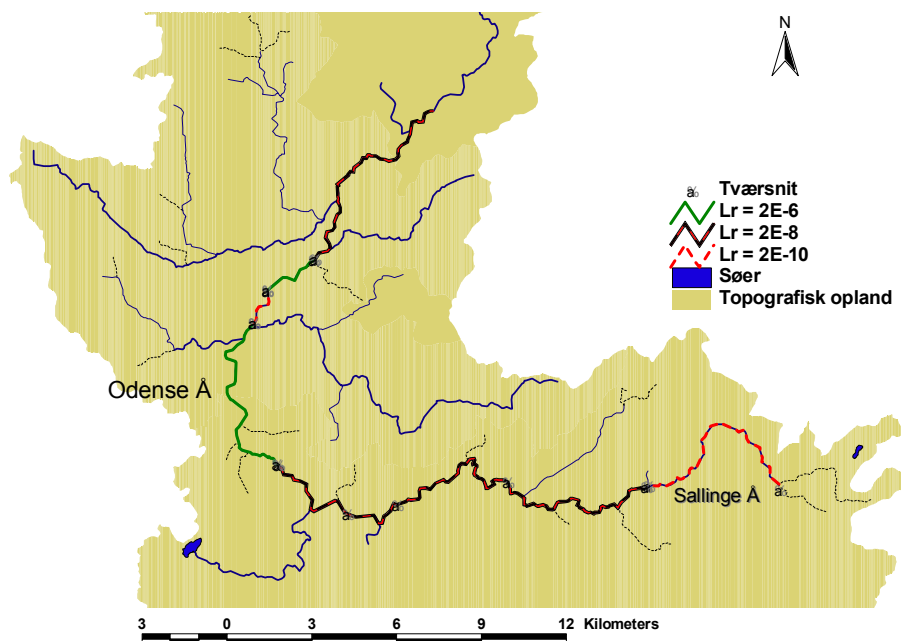
#### 4.6.2 Undersøgelsesområde

Det undersøgte område er vist på figur 4.20, hvor vandløbssystemet i den centrale del af Odense Å's opland er illustreret. Vandløb, der ikke er inkluderet i det anvendte modelsetup, er angivet med stiplede linier.

Der er specificeret dræn i hele området. Drænene er indlagt i et niveau svarende til 0,5 m under terræn, og grundvandsspejlet skal derfor overstige dette niveau, før der genereres drænvandsafstrømning. Drænvandskoefficienten er i hele området angivet til  $C_d = 7 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ .

Vandløbslækagekoefficientens fordeling er baseret på Dahl et al. (1995) og varierer ned gennem vandløbssystemet som vist på figur 4.20. Der er anvendt tre forskellige lækagekoefficienter på henholdsvis  $2 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}$ ,  $2 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ , og  $2 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ , hvor den lave værdi på  $2 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}$  kun er anvendt på en lille strækning i den centrale del af området samt i opstrøms ende af Sallinge Å. Den lave værdi er tildelt strækninger, hvori vandløbet har kontakt med leret moræne, den høje værdi er tildelt strækninger, der har kontakt med sand, og den mellemste værdi tildelt strækninger med kontakt til en blanding af ler og sand.

Reference-nettonedbøren beregnet i forbindelse med arbejdet med Ferskvandets Kredsløb (Henriksen og Sonnenborg, 2003) er anvendt som nedbørsinput til modellen. Reference-nettonedbøren er beregnet ved at midle daglig nettonedbør over en årrække. Herved bestemmes en nettonedbør for f.eks. 1. januar, der er middelværdien af nettonedbøren 1. januar i perioden 1981-2000. Årlig nettonedbør er beregnet til 288 mm. Modellen er kørt dynamisk i perioden 1981-2000, hvor der hvert år er anvendt samme nedbørsinput. Resultater fra år 2000, hvor modellen er i fuld balance, er trukket ud og analyseret (årlig middel).



Figur 4.20. Topografiske oplande til vandløbsstrækningen Sallinge Å – Odense Å, samt vandløbslækagekoefficient for vandløbsdelstrækninger. Vandløb, der ikke er medtaget i modelopsætningen, er stiplede. Lokalteter, hvor der er specificeret vandløbstværsnit i opsætningen af modelvandløbet, er vist på figuren.

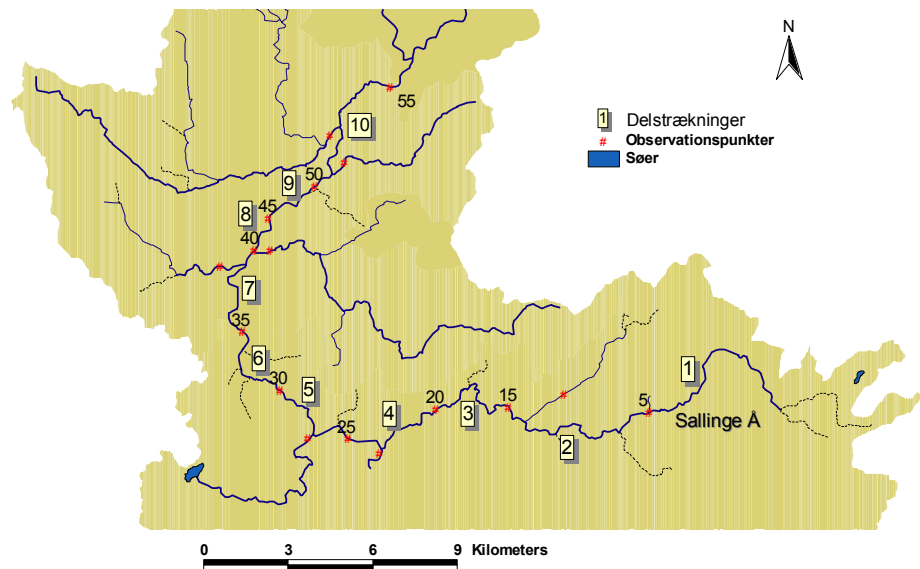
#### 4.6.3 Analyse af tilstrømning til vandløb

På figur 4.21 ses i hvilke punkter, der er trukket data ud af modellen. Observations-punkterne er placeret på steder, hvor vandløbslækagekoefficienten ændrer værdi. Desuden er der på nogle strækninger indlagt yderligere punkter for at opnå en bedre opløsning af tilstrømningen til vandløbet. I tabel 4.18 er den absolutte og procentuelle tilstrømning til de 10 observationspunkter opskrevet. Vandførings-værdierne i tabel 4.18 angiver fordelingen af den akkumulerede vandløbsaf-strømning på det pågældende sted i vandløbet. Tallene repræsenterer med andre ord den akkumulerede tilstrømning opstrøms for det pågældende punkt. Fordelingen af overfladevandtilstrømning og drænvandtilstrømning varierer ikke nævneværdigt, mens der er en tendens til, at grundvandtilstrømningen stiger med øget opland. Den akkumulerede vandløbsafstrømning ses at være domineret af drænvandtilstrømning på hele strækningen (mellem 73 og 77 % af den total vandføring).

Da det primært er hovedløbene Sallinge Å og Odense Å, der ønskes resultater for som funktion af oplandets og vandløbenes karakteristika, er der foretaget en analyse af delstrækninger, hvor tilstrømningen fra sideløb er trukket fra i analysen. Der opnås hermed resultater for tilstrømningen til 10 delstrækninger, som på figur 4.21 repræsenterer tilstrømningen mellem nummererede observationspunkter. Eksempelvis repræsenterer delstrækning nr. 6 tilstrømningen mellem observationspunkterne 30 og 35.

Tabel 4.18. Akkumuleret tilstrømning af henholdsvis overfladevand, drænvand og grundvand til de 10 observationspunkter på vandløbssystemet. Det første tal angiver fluksen i l/s, mens tallet i parentes angiver det procentuelle bidrag.

Komponent	Observationspunkt									
	5	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Overfladevand	43 (22)	87 (19)	95 (18)	341 (16)	389 (16)	414 (16)	421 (16)	459 (16)	505 (15)	656 (15)
Drænvand	147 (77)	348 (76)	416 (77)	1691 (78)	1902 (78)	2032 (77)	2048 (76)	2156 (74)	2529 (74)	3141 (73)
Grundvand	0 (00)	23 (05)	29 (05)	127 (06)	136 (06)	185 (09)	234 (09)	312 (11)	382 (11)	481 (11)
Total	190	458	540	2159	2427	2631	2703	2927	3416	4278



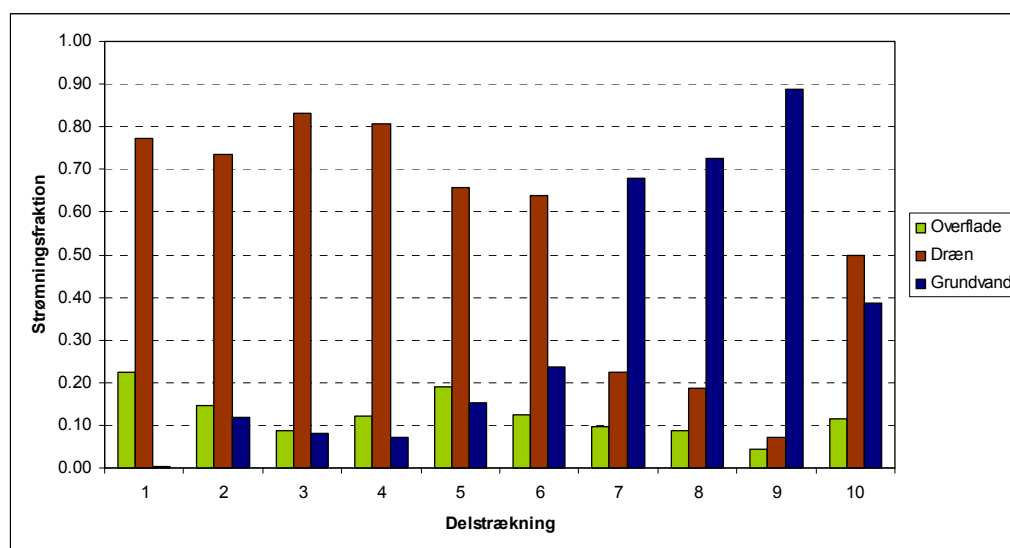
Figur 4.21. Placering af punkter, hvor tilstrømning til vandløb er kvantificeret. Delstrækninger, hvor de enkelte tilstrømningskomponenter er beregnet, er nummeret fra 1 til 10. Observationspunkterne 35 og 55 svarer til vandføringsstationerne 45.01 og 45.21.

Tilstrømningen til delstrækning 3, 4, 5, 7 og 9 er ifølge tabel 4.19 forholdsvis lav (under 90 l/s), mens tilstrømningen til delstrækning 1, 2, 6, og 10 er forholdsvis høj (170- 200 l/s). Dette hænger til dels sammen med størrelsen af delstrækningernes topografiske opland, som man kan få et indtryk af på figur 4.24, hvor der er lavet et groft overslag over arealer, der ikke bidrager med overfladenær afstrømning (overfladisk, drænvands- og overfladenær grundvandsafstrømning) til de definerede delstrækninger. En anden del af forklaringen er, at delstrækning 7 til 10 modtager grundvandtilløb fra et meget stort regionalt magasin, der strækker sig langt ud over de topografiske oplande. De beregnede tilstrømninger til delstrækning 8 skal sandsynligvis tolkes med varsomhed, da denne strækning er relativt kort sammenlignet med diskretiseringen.

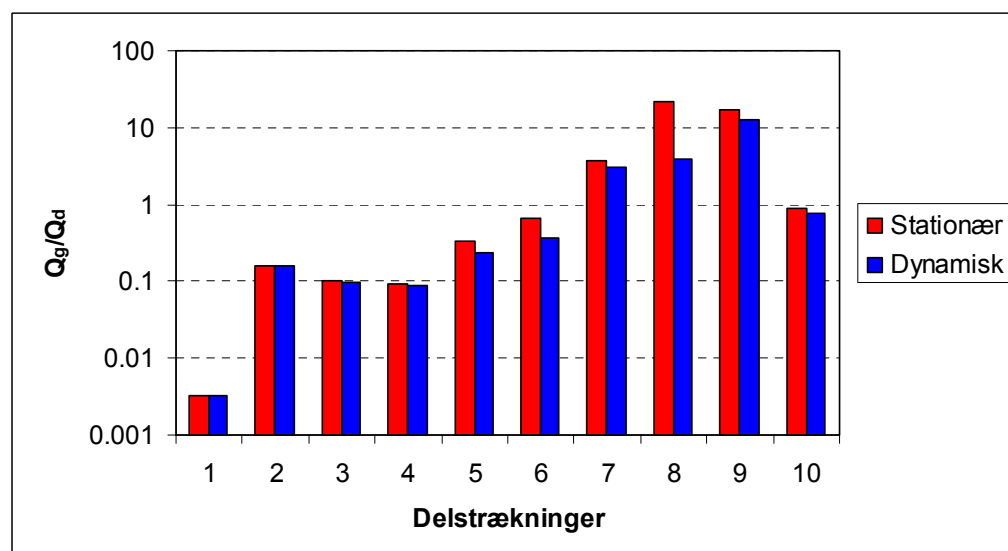
Tabel 4.19. Fordeling af henholdsvis overfladevandstilstrømning, drænvandstilstrømning og grundvandstilstrømning til de enkelte delstrækninger. Det første tal angiver fluksen i l/s, mens tallet i parentes angiver det procentuelle bidrag.

Komponent	Delstrækning									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Overfladevand	43 (22)	27 (15)	7 (09)	11 (12)	12 (19)	25 (12)	7 (10)	11 (09)	3 (04)	20 (12)
Drænvand	147 (77)	134 (74)	69 (83)	71 (81)	41 (66)	130 (64)	16 (22)	23 (19)	6 (07)	86 (50)
Grundvand	0 (00)	21 (12)	7 (08)	6 (07)	10 (15)	48 (24)	49 (68)	89 (73)	70 (89)	67 (39)
Total	190	182	83	87	62	203	72	123	78	174

Tilstrømningen ses af figur 4.22 at være domineret af drænvandstilstrømning for delstrækningerne 1 til 6, mens grundvandstilstrømning dominerer for delstrækningerne 7 til 9. For delstrækning 10 er de to komponenter af samme størrelsesorden. Overfladevandstilstrømningen udgør i alle tilfælde en mindre del af den totale tilstrømning, og varierer mellem 4 % og 22 %.

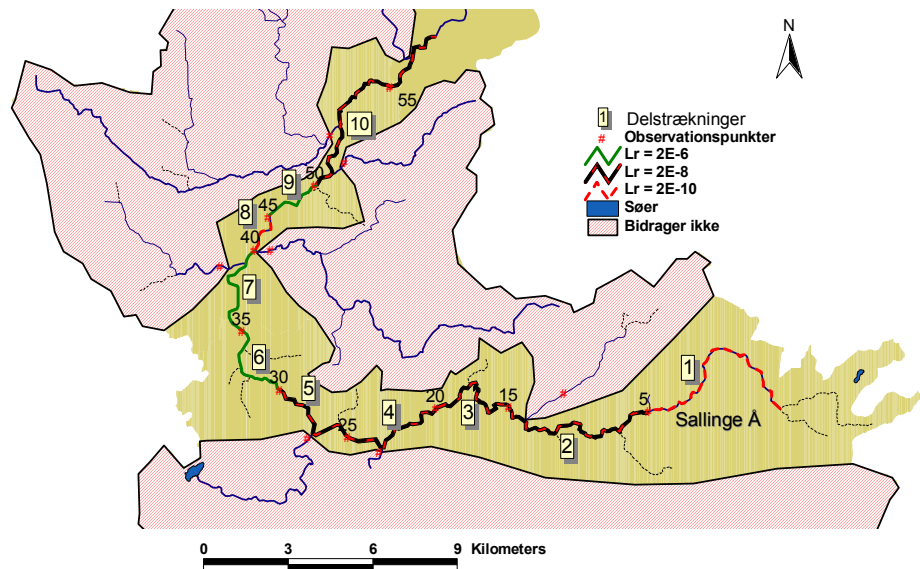


Figur 4.22. Tilstrømningsfordeling for de enkelte delstrækninger.



Figur 4.23. Forholdet mellem grundvandstilstrømning ( $Q_g$ ) og drænvandstilstrømning ( $Q_d$ ) opgjort på delstrækninger for henholdsvis stationær og dynamisk simulering.

Der er gennemført en stationær kørsel med modellen, hvor der som nettonedbør er brugt en middelværdi af reference-nettonedbøren beskrevet ovenfor, og øvrige input er baseret på data fra år 2000. Den stationære version af modellen inkluderer ikke overfladevandsafstrømning, og det er derfor ikke muligt at beregne den totale vandløbsafstrømning i et punkt. Forholdet mellem drænvandsafstrømning og grundvandsafstrømning kan imidlertid sammenlignes med det tilsvarende resultat fra den dynamiske kørsel, se figur 4.23. For det aktuelle tilfælde, hvor den ikke-stationære simulering har opnået en dynamisk ligevægt, og der på årsbasis ikke sker opmagasinerings af vand, findes der relativt ens resultater for den dynamiske og stationære simulering.



Figur 4.24. Delstrækninger, hvor tilstrømningen er opgjort, sammenholdt med vandløbslækagekoefficienten. Desuden er der foretaget et groft skøn over arealer (udenfor topografiske oplande), der ikke bidrager ved opgørelsen af tilstrømning til delstrækninger (skraveret).

Sammenholdes tilstrømningsfordelingen vist i figur 4.22 med fordelingen af vandløbslækagekoefficienten vist i figur 4.20, findes en relativt god overensstemmelse for specielt Sallinge Å (se også figur 4.24). I opstrøms ende (delstrækning 1), hvor lækagekoefficienten er lav ( $L_R = 2 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}$ ) findes en lille grundvandstilstrømning på mindre end 1 % af den samlede tilstrømning. På de efterfølgende delstrækninger 2 til 5 er lækagekoefficienten middel ( $L_R = 2 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ ), hvilket resulterer i en forøget grundvandstilstrømning på 7-15 %. For delstrækningerne 6, 7, og 9 er lækagekoefficienten høj ( $L_R = 2 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ), men det er kun for delstrækning 7 og 9, at dette slår fuldt igennem med hensyn til grundvandstilstrømning. På delstrækning 6 ses kun en mindre stigning i forhold til middel lækagekoefficient. Den sidste delstrækning 10 er karakteriseret ved en middel lækagekoefficient på ( $L_R = 2 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ ), men der findes en relativt høj (sammenlignet med delstrækning 2 til 5) grundvandstilstrømning på 39 %. Fordelingen af lækagekoefficienten forklarer dermed ikke hele variationen i fordelingen mellem drænvandstilstrømning og grundvandstilstrømning.

#### 4.6.4 Skalaforhold

Når diskretiseringen øges (x gøres større) mindskes muligheden for at reproducere variationer i topografien. Dermed reduceres evnen til at beskrive f.eks. ådalen og de mekanismer, der foregår lokalt omkring ådalen. Med en gridstørrelse på  $1 \text{ km}^2$ , vil det stort set ikke være muligt at opløse Sallinge og Odense Å's ådale, og det vil derfor ikke være muligt at reproducere f.eks. den virkelige fordeling mellem henholdsvis diffus ( $Q_1$ ), direkte ( $Q_3$ ), overfladisk ( $Q_2$ ) og drænvands- ( $Q_4$ ) afstrømning.

En grov diskretisering vil desuden betyde, at beskrivelsen af vandløbssystemet bliver forsimplet. Det er ikke hensigtsmæssigt at inkludere små vandløb, der har oplande på nogle få celler i det numeriske setup. En del af den afstrømning, der i virkeligheden foregår til småvandløb og grøfter, vil derfor blive simuleret som drænafstrømning. Der er derfor en tendens til, at drænvandsafstrømningen overestimeres i en numerisk model, der på grund af diskretiseringen ikke kan opløse mindre vandløb.

Det er på baggrund af de ovenstående resultater vanskeligt at vurdere, hvordan skalaeffekter spiller ind på de beregnede tilstrømninger. Der ses ingen klar tendens ned gennem vandløbet for nogle af de tre afstrømningskomponenter. Et forsigtigt bud vil imidlertid være, at drænvandskomponenten overestimeres mest i opstrøms ende af vandløbet.

Der er et stort behov for en undersøgelse af skalaeffekter på den undersøgte problemstilling. Dette kræver et studium, der involverer en undersøgelse af følgende faktorer: (a) diskretisering, (b) detaljeringsgraden af vandløbssetup'et, og (c) detaljeringsgrad af topografi. Det må forventes, at resultaterne af en sådan undersøgelse vil afhænge af det hydrogeologiske setup, det vil f.eks. sige geologiske opbygning og Ådalstype.

# 5 Data- og vidensbehov

## 5.1 Data behov

I løbet af projektperioden 2002-2004 er der identificeret et stort behov for nedenstående yderligere data, da de tilgængelige data i ådalene er meget sparsomme.

### ***Geologiske data, hydrauliske potentialer og vandkemiske data***

Der er generelt ikke mange geologiske data, målinger af hydraulisk potentiale og vandkemiske data i ådalene, hverken i den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed, i Ådalsmagasinet eller i vandløbsbunden. For at få en mere præcis og finere rumlig forståelse af grundvand / overfladevand interaktion er det derfor påkrævet at indsamle flere af disse typer data, samt tilgængeliggøre dem der allerede er indsamlet digitalt.

Specielt bør det nævnes, at der er et stort behov for at færdiggøre kortlægningen af **Danmarks Digitale Jordartskort (1:25.000)**. Der mangler fortsat at blive kortlagt omkring 15 % af landet. Dette kort anbefales anvendt til afgrænsning af Ådalsmagasinet udstrækning samt til kortlægning af overfladenære / lokale grundvandsmagasiner, der har direkte kontakt med ådalen eller overfladevandet. Disse magasiner bidrager ofte med oxideret, eventuelt nitratholdigt og pesticidholdigt grundvand til overfladevandet. Kortet er således særdeles centralt for arbejdet med GOI typologien.

Endelig må det anbefales at **database over boringer foretaget i forbindelse med okkorkortlægningen i lavbundsforde i Jylland** (Madsen, 1980; Madsen et al., 1984 samt Madsen et al., 1985), der er placeret ved Danmarks Jordbrugs-Forskning, tilgængeliggøres digitalt. Denne database rummer mange særdeles værdifulde oplysninger om geologien i Ådalsmagasinet i Jylland til anvendelse i GOI typologien. Endvidere **bør tilsvarende data indsamles i ådalen i det østlige Danmark.**

## 5.2 Vidensbehov

Der er behov for at **teste** de estimerede strømningsfordelinger, for Ådalstyper i morænelandskaber, i **velkendte ådallokalteter**, hvorfra der er indsamlet en detaljeret information om de hydrologiske forhold.

Der er behov for at gennemføre analyser svarende til dem, der er udført i nærværende projekt, for **Ådalstyper på smeltevandssletten og på havaflejringer.**

Der savnes metoder til estimering af **bulk hydraulisk ledningsevne for Ådalsmagasinet**, der tillige omfatter anisotropi forhold. Viden om de hydrauliske egenskaber er særdeles vigtig for estimering af strømningfordelingen i ådalen i følge GOI typologien, for opsætning af modeller til kvantificering af udvekslingen mellem grundvand og overfladevand, og for kvantificering af påvirkning fra grundvandsindvinding.

Der er behov for større viden om **nitratretentionen** i de forskellige strømningsveje relateret til kulstofindholdet i Ådalsmagasinets sedimenter, samt opholdstiden heri, med henblik på opbygning af standardparametre til brug i model-simuleringer af nitratretentionen, og til brug for reableringsprojekter i ådale.

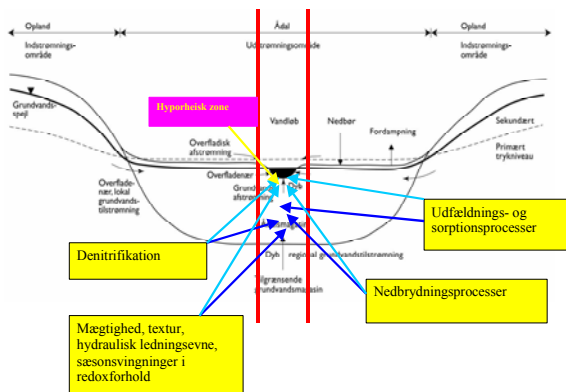
For at kunne **kvantificere ådales reduktionskapacitet på regional skala**, er der behov for at sammenkoble strømningsfordelinger i ådalen estimeret ifølge GOI typologien med kvantificerede tilstrømninger beregnet ved hjælp af regionale numeriske modeller.

En reduceret vandføring forårsaget af grundvandsindvinding vil påvirke **vandløbsøkologien**. Specielt vil en reduktion af sommervandføringen mange steder resultere i dårligere forhold for fisk og smådyr. Vores viden om effekterne af grundvandsindvinding, hovedafvanding og detailafvanding for vandføringsregime og især baseflow i vandløb er i dag begrænset. Derved kan det heller ikke forudsiges, hvilke eventuelle positive effekter en genskabelse af de naturlige strømningsveje i ådalene kan få. Endvidere mangler der egentlige værktøjer til økologiske effektvurderinger af forskellige påvirkninger af overfladevandets kvantitative variation.

**Genopretning** af naturlige strømningsveje for grundvand i ådale vil ofte medføre et øget samspil mellem overfladevand, ådal og grundvand i form af **oversvømmelser**. Der er behov for viden om betydning af dette modsatrettede samspil mellem overfladevand og grundvand for biogeokemiske processer i de øvre og nedre dele af Ådalsmagasinets aflejringer, samt dette samspils betydning for de økologiske forhold i ådalen.

Generelt er der manglende viden om de biogeokemiske processer, som påvirker **fosfor** ved grundvandets strømning gennem Ådalsmagasinet, også set i forhold til denitrifikationsprocessen.

Udstrækningen og de biogeokemiske processer i den **hyporheiske zone** omkring vandløb i forskellige Ådalstyper mangler der viden om i Danmark (figur 5.1). Grundvandstilstrømning gennem vandløbsbund og -brinker forekommer naturligt i de fleste ådale og spørgsmålet er, i hvor høj grad biogeokemiske processer i den iltede hyporheiske zone kan fremme fosforsorption og nedbrydning af miljøfremmede stoffer og dermed mindske belastningen fra grundvand til overfladevand.



Figur 5.1 Vidensbehov i den ånære (hyporheiske) zone (fra Dahl et al., 2004).



## 6 Referencer

Dahl, M. (1995): Flow dynamics and water balance in two freshwater wetlands (Strømningsdynamik og vandbalance i to ferske vådområder). Ph.D afhandling. Danmarks Miljøundersøgelser.

Dahl, M., Harrar, W.G., Henriksen, H.J. og Knudby, C.J. (1995): Integrated hydrological modelling of fresh water resources in Denmark – distribution of aquifer-river exchange parameters. Preceding fra konference 'Gambling with Groundwater', editeret af Brahana, J V, Eckstein, Y., Ongley, L. K., Schneider, R. og Moore, J.E., pp 607-616.

Dahl, M., Langhoff, J. H., Kronvang, B., Nilsson, B., Christensen, S., Andersen, H.E., Hoffmann, C.C., Rasmussen, K.R., Platen-Hallermund, F.v og Refsgaard, J.C. (2004): Videreudvikling af ådalstypologi – Grundvand-Overfladevand Interaktion (GOI). Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr 16. Tilgængelig på [www.mst.dk/udgiv/Publikationer/2004/87-7614-492-5/pdf/87-7614-493-3.PDF](http://www.mst.dk/udgiv/Publikationer/2004/87-7614-492-5/pdf/87-7614-493-3.PDF).

Fyns Amt (1999): Odense Å – et vandløb under stadig forandring. Fyns Amt, Natur- og vandmiljøafdelingen.

Hedeselskabet (1995). Bestemmelse af vandføringens medianminimum i Fyns Amt. Upubliceret rapport, tilgængelig via Fyns amt.

Henriksen, H.J., Knudby, C. Rasmussen, P., Nyegaard, P. (1997): National vandressourcemodel. Modelopstilling og kalibrering for Fyn. GEUS rapport 1997/139.

Henriksen, H.J., Sonnenborg, A. (2003): Ferskvandets kredsløb, NOVA 2003 Temarapport, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser.

Madsen (1980): Fastlæggelse af højokkerpotentielle områder i Himmerland. Landbrugsministeriet, Arealdatakontoret.

Madsen, H.B., Jensen, N.H., Jacobsen, B.H. og Platou, S.W. (1984): Okkerkortlægning. Potentielt svovlsure jorder i Jylland. Landbrugsministeriet, Arealdatakontoret og Miljøministeriet, Miljøstyrelsen.

Madsen, H.B., Jensen, N.H., Jacobsen, B.H. og Platou, S.W. (1985): A method for identification and mapping potentially acid sulfate soils in Jutland, Denmark. Catena vol 12, nr. 4: 363-371.

McDonald, M.G., og Harbaugh, A.W. (1988): A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model: U.S. Geological Survey Techniques of Water Resources Investigations, Book 6, Chapter A1, 586 p.

Miljøstyrelsen (2004): Basisanalyse af vandforekomster. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 2. Tilgængelig på [www.mst.dk/udgiv/Publikationer/2004/87-7614-359-7/pdf/87-7614-359-7.PDF](http://www.mst.dk/udgiv/Publikationer/2004/87-7614-359-7/pdf/87-7614-359-7.PDF).

Nilsson, B., Refsgaard, J.C., Dahl, M., Møller, I., Kronvang, B., Andersen, H.E., Hoffmann, C.C., Christensen, S., Langhoff, J.H., Rasmussen, K.R. (2003): Hydrokemisk interaktion mellem Grundvand og Overfladevand (HYGRO). En metode til klassifikation af ådale i typeområder. Arbejdsrapport nr. 10 fra Miljøstyrelsen. Tilgængelig på [www.mst.dk/udgiv/Publikationer/2003/87-7972-500-7/pdf/87-7972-501-5.PDF](http://www.mst.dk/udgiv/Publikationer/2003/87-7972-500-7/pdf/87-7972-501-5.PDF).

Ovesen, N.B., Iversen, H.L., Larsen, S.E., Müller-Wohlfeil, D.-I., Svendsen, L.M., Blicher, A.S. og Jensen, P.M. (2000). Afstrømningsforhold i danske vandløb. Ragli rapport fra DMU, nr. 340.

Smed, P. (1981): Landskabskort over Danmark, Blad 4. GO Geografforlaget.

Vidon, P.G.F. og Hill, A.R. (2004): Landscape controls on hydrology of stream riparian zones. *Journal of Hydrology* 292: 210-228.